

Wittnebel, Mareille; Frank, Stefan; Tiemeyer, Bärbel

Working Paper

Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland

Thünen Working Paper, No. 212

Provided in Cooperation with:

Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries

Suggested Citation: Wittnebel, Mareille; Frank, Stefan; Tiemeyer, Bärbel (2023) : Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland, Thünen Working Paper, No. 212, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, <https://doi.org/10.3220/WP1683180852000>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/273350>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland

Mareille Wittnebel, Stefan Frank, Bärbel Tiemeyer

Thünen Working Paper 212

Mareille Wittnebel
Dr. Stefan Frank
Dr.-Ing. Bärbel Tiemeyer

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz
Bundesallee 65
38116 Braunschweig

Tel.: 0531-596 2621
E-Mail: stefan.frank@thuenen.de, ak-moorfragen@thuenen.de

Thünen Working Paper 212

Braunschweig/Germany, Juni 2023

Zusammenfassung

Moor- und weitere organische Böden speichern große Mengen an organischem Bodenkohlenstoff. Dies umfasst nicht nur nach deutscher Nomenklatur typische Moorböden, sondern auch ein breites Spektrum von weiteren Böden mit hohen Bodenkohlenstoffgehalten (C_{org}), die eine Moorvergangenheit haben. Da diese Böden in Deutschland größtenteils entwässert sind, tragen sie entscheidend zu den Emissionen von Treibhausgasen (THG) aus den Sektoren Landwirtschaft und Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) bei. Die Kenntnis der Verbreitung von organischen Böden ist daher von zentraler Bedeutung für die Planung und Evaluierung von THG-Minderungsmaßnahmen sowie deren adäquate Abbildung durch die THG-Berichterstattung. Vor diesem Hintergrund zielt das Projekt „Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitoring für den Klimaschutz (MoMoK)“ am Thünen-Institut darauf ab, ein langfristiges Monitoringnetzwerk aufzubauen sowie Kartengrundlagen und Modellansätze zu verbessern, darunter die Kulisse organischer Böden.

Seit die derzeit in der THG-Berichterstattung verwendete Kulisse erstellt wurde, haben mehrere Bundesländer ihre Bodeninformationen generell oder im Hinblick auf organische Böden verbessert. Die Harmonisierung zu einer deutschlandweiten Kulisse bleibt jedoch eine Herausforderung, da sich die Datensätze der Bundesländer in ihren Definitionen, bodensystematischen Einheiten, Maßstäben und Aktualitäten stark unterscheiden.

Die aktuellsten Vektordatensätze der Boden- oder Moorkarten wurden durch die zuständigen Länderbehörden zur Verfügung gestellt und durch uns zu einer Gesamtkulisse der Verbreitung von organischen Böden in Deutschland vereinheitlicht. Dabei stand weniger eine bodensystematische Harmonisierung als die Relevanz der jeweiligen Legendeneinheiten für die THG-Emissionen, die hydrologische Einbindung in die Landschaft und mögliche Minderungsmaßnahmen im Vordergrund. Entsprechend wurden die Ausgangsdaten anhand von 7 Merkmalen klassifiziert: Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, „Abmoorigkeit“ (Vorhandensein abmooriger Horizonte mit 7,5 bis < 15 % C_{org}), Tiefumbruch, unterlagernde Mudden und unterlagerndes mineralisches Substrat. Insgesamt umfasst die aktualisierte Kulisse deutschlandweit 1,93 Mio. ha organische Böden (1,87 Mio. ha ohne mächtig überdeckte Moorböden). Für eine kartographische Darstellung wurden Niedermoorböden (47,3 %), Hochmoorböden (13,9 %), Moorfolgeböden (24,4 %), flach (10 bis < 30 cm; 4,6 %) und mächtig (30 bis < 100 cm; 3,4 %) überdeckte Moorböden sowie Tiefumbruchböden aus Moor (6,4 %) unterschieden. Der Geodatensatz ist auf dem Repository OpenAgrar (<https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>) sowie im ThünenAtlas (<https://atlas.thuenen.de/>) frei verfügbar. Zukünftige Aktualisierungen aufgrund von Verbesserungen einzelner Länderdatensätze werden möglich sein und sind angestrebt.

Schlüsselwörter: Moorböden, Organische Böden, Moorkarte, Torf, Bodeneigenschaften, Treibhausgase

Summary

Peat and other organic soils store large amounts of soil organic carbon. This includes not only typical peat soils according to the German soil classification, but also a wide range of other soils with high soil organic carbon (SOC) contents that have a peatland origin. As these soils are largely drained in Germany, they contribute a large share to the greenhouse gas (GHG) emissions from the sectors Agriculture and Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF). Knowledge of the distribution of organic soils is therefore essential for the planning and evaluation of mitigation measures as well as their adequate representation in the GHG inventory. Against this background, the project "Implementation of the German peatland monitoring programme for climate protection" aims to establish a long-term monitoring network and to improve mapping and modelling approaches, including the map of organic soils.

Since the map currently used in the GHG inventory was compiled, several German federal states have improved their soil information in general or with regard to organic soils. However, harmonisation into a nationwide data set remains a challenge, as the data sets of the federal states strongly differ in their definitions, soil systematic units, scales and age.

The latest vector data sets of the soil or peatland maps were made available by the responsible state authorities and harmonised into an overall map of the distribution of organic soils in Germany. The focus here was less on soil-systematic harmonisation than on the relevance of the respective legend units for GHG emissions, hydrological modelling and possible mitigation measures. Accordingly, the vector data sets were classified based on 7 characteristics: genesis, mineral soil cover, peat thickness, existence of peaty horizons (7.5 to < 15 % SOC), deep ploughing, underlying gyttja and underlying mineral substrate. In total, the updated map covers 1,93 million ha of organic soils throughout Germany (1,87 million ha without thickly covered peat soils). For a cartographic representation, the mapping units were summarized to fen peat soils (47.4 %), bog peat soils (13.9 %), peat-derived organic soils (24.4 %), shallow (10 to < 30 cm; 4.6 %) and thickly (30 to < 100 cm; 3.4 %) covered peat soils as well as deep-ploughed peat soils (6.4 %). The geodata set is freely available at the repository OpenAgar (<https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>). Future updates due to improvements of individual federal state's datasets will be possible and are intended.

Key words: peat soils, organic soils, peatland map, peat, soil properties, greenhouse gases

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Summary	ii
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Organische Böden in der Emissionsberichterstattung	1
1.1.1 Hintergrund	1
1.1.2 Herausforderungen bei der Definition „Organischer Böden“	2
1.2 Deutschlandweite Kartenwerke zu (organischen) Böden	6
1.3 Ziele der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden	7
2 Harmonisierung der Bodendaten	9
2.1 Datensätze der Bundesländer	9
2.2 Konzept der Harmonisierung der Bodendaten	16
2.2.1 Merkmal 1: Genese	24
2.2.2 Merkmal 2: Mineralische Überdeckung	25
2.2.3 Merkmal 3: Torfmächtigkeit	26
2.2.4 Merkmal 4: Abmoorigkeit	28
2.2.5 Merkmal 5: Tiefumbruch	29
2.2.6 Merkmal 6: Unterlagernde Mudden	30
2.2.7 Merkmal 7: Unterlagerndes mineralisches Substrat	31
2.2.8 Zusammenfassung und Beispiele der verwendeten Nomenklatur	32
2.3 Verarbeitung der Datensätze in GIS	35
3 Aktualisierte Flächenkulisse	37
3.1 Deutschlandweite Betrachtung und Vergleich mit anderen Kartenwerken	37
3.2 Kategorien und Verteilung der organischen Böden in Deutschland	40
3.3 Nutzung der organischen Böden	44
3.4 Ausprägungen der Merkmale organischer Böden	47
3.4.1 Genese	49
3.4.2 Mineralische Überdeckung	50
3.4.3 Torfmächtigkeit	53
3.4.4 Abmoorigkeit	56
3.4.5 Tiefumbruch	57
3.4.6 Unterlagernde Mudden	58
3.4.7 Unterlagerndes mineralisches Substrat	59
3.5 Verwendung des Flächendatensatzes	61
3.6 Ausblick	63
Danksagung	64
Literaturverzeichnis	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispiele von Tiefumbruchböden aus Hochmoortorf (links) bzw. Niedermoortorf (rechts).	5
Abbildung 2:	Iterationsprozess der Beschaffung und Harmonisierung von Bodendaten zur Verwendung für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland.	10
Abbildung 3:	Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Genesen (NH: Niedermoortorf, HH: Hochmoortorf, MD: organische Muddede). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.	24
Abbildung 4:	Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen mineralischen Überdeckungen (DK1s: sandige Decke 10 bis < 30 cm, DK2s: sandige Decke 30 bis < 70 cm, DK3b: bindige Decke 70 bis < 100 cm). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.	26
Abbildung 5:	Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Torfmächtigkeiten (TM1: 10 bis < 30 cm, TM2: 30 bis < 70 cm, TM3: 70 bis < 120 cm, TM4: 120 bis < 200 cm, TM5: ≥ 200 cm, TM0: keine Torf- oder organische Muddeschicht vorhanden). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.	27
Abbildung 6:	Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlicher Abmoorigkeit (ABb: abmooriger Horizont mit bindigem Substrat, ABs: abmooriger Horizont mit sandigem Substrat). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.	28
Abbildung 7:	Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit Tiefumbruch (TR1: Tiefumbruch vorhanden, HH: Hochmoortorf, NH: Niedermoortorf). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.	29
Abbildung 8:	Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Mudden unter Torfen (MDm: mineralische Muddede, MDk: Kalkmuddede, MDh: organische Muddede). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.	30
Abbildung 9:	Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen mineralischen Substraten unter Torfen, abmoorigen Horizonten oder Mudden (LGs: sandiges Substrat oder Lockergestein, LGl: lehmiges Substrat, LGu: schluffiges Substrat, LGt: toniges Substrat, LGb: bindiges Substrat, LGf: Festgestein). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.	31
Abbildung 10:	Beispiele für Merkmalskombinationen mit abgeleiteten Moorbodenkategorien (fett) und beispielhaften Profilen.	34
Abbildung 11:	Verbreitung der organischen Böden in Deutschland dargestellt nach Moorbodenkategorien.	39
Abbildung 12:	Flächen der Niedermoor-, Hochmoor-, Moorfolge- und weiteren organischen Böden in der aktualisierten Kulisse organischer Böden je Bundesland. Die Prozentzahl gibt den Anteil organischer Böden an der Landesfläche an.	40
Abbildung 13:	Flächenanteile der Moorbodenkategorien in der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland.	42

Abbildung 14:	Prozentuale Verteilung der Moorbodenkategorien innerhalb der Landnutzungskategorien.	44
Abbildung 15:	Kumulierter Flächenanteil organischer Böden, der sich durch die nach ihrem jeweiligen Flächenanteil geordneten Anzahl von Kombinationen aller Merkmalsausprägungen sowie der Merkmale 1-5 (Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, Abmoorigkeit und Tiefumbruch) beschreiben lässt. *Aus Gründen der Lesbarkeit ist die Anzahl der Kombinationen auf 150 begrenzt. Die fehlenden 462 Kombinationen tragen insgesamt zu < 2 % der Gesamtfläche bei.	49
Abbildung 16:	a) Anteile der Ausprägungen des Merkmals „Genese“ aller Flächen sowie b) je Moorbodenkategorie. NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK_FL: flach überdeckter Moorboden, DK_MA: mächtig überdeckter Moorboden, TR: Tiefumbruchboden aus Moor.	50
Abbildung 17:	Flächen der Mächtigkeitsstufen mineralischer Überdeckungen von Moor- und Moorfolgeböden (ohne Tiefumbruchböden) je Bundesland. Prozentzahlen geben den Anteil überdeckter Moor- und Moorfolgeböden an der Gesamtfläche organischer Böden je Bundesland an.	51
Abbildung 18:	Flächenanteile der verschiedenen Ausprägungen der Torfmächtigkeit je Moorbodenkategorie. Nicht gezeigt: Tiefumbruchboden aus Moor. NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK_FL: flach überdeckter Moorboden, DK_MA: mächtig überdeckter Moorboden.	54
Abbildung 19:	Flächenanteile der verschiedenen Ausprägungen der Torfmächtigkeit je Bundesland.	55
Abbildung 20:	Flächen der Substrate abmooriger Horizonte organischer Böden je Bundesland. Prozentzahlen geben den Anteil der Flächen mit Abmoorigkeit an der Gesamtfläche organischer Böden je Bundesland an.	57
Abbildung 21:	Verteilung der Muddearten ausgewiesener unterlagernder Mudden.	59
Abbildung 22:	Flächenanteile der unterschiedlichen Ausprägungen unterlagernder mineralischer Substrate je Bundesland.	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verwendete Datensätze der Bundesländer (BL) und deren Metadaten für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. (Stichtag: 22.12.2022). Die Angaben basieren auf Auskünften der Bezugsbehörden.	12
Tabelle 2:	Übersicht der Anzahl und des Aufbaus der Legendeneinheiten der verwendeten Datensätze für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland nach der Bearbeitung in GIS.	20
Tabelle 3:	Vorhandensein von Informationen zu den Klassifizierungsmerkmalen in den Datensätzen der Bundesländer (BL). Min.: mineralisches.	22
Tabelle 4:	Übersicht aller verwendeten Merkmale sowie deren Ausprägungen und Klassifikationen für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland.	33
Tabelle 5:	Flächen organischer Böden in verschiedenen deutschlandweiten Kartenwerken im Vergleich zur aktualisierten Kulisse organischer Böden („Thünen-Kulisse“). BÜK: Bodenübersichtskarte, NIR: <i>National Inventory Report</i> (Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar).	38
Tabelle 6:	Fläche organischer Böden je Bundesland und Moorbodenkategorie (in ha). GF: Gesamtfläche, DE: Deutschland, org: organische, NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK_FL_NH: flach überdeckter Niedermoorboden, DK_FL_HH: flach überdeckter Hochmoorboden, DK_MA_NH: mächtig überdeckter Niedermoorboden ¹ , TR_NH: Tiefumbruchboden aus Niedermoortorf, TR_HH: Tiefumbruchboden aus Hochmoortorf.	43
Tabelle 7:	Fläche organischer (org.) Böden je Landnutzung gemäß Klassifikation des ATKIS [®] Basis-DLM 2020 (BKG, 2020) für die Emissionsberichterstattung und Moorbodenkategorie (in ha). GF: Gesamtfläche, NH: Niedermoorböden, HH: Hochmoorböden, MF: Moorfolgeböden, DK_FL_*: flach überdeckte Nieder- und Hochmoorböden (nicht unterteilt), DK_MA_*: mächtig überdeckte Nieder- und Hochmoorböden (nicht unterteilt), TR_*: Tiefumbruchböden aus Nieder- und Hochmoortorfen (nicht unterteilt).	46
Tabelle 8:	Häufigste Kombinationen der Merkmalsausprägungen und deren Anteil an der Gesamtfläche der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland unter Einbeziehung aller Merkmale, sowie nur der Merkmale 1-5 (Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, Abmoorigkeit und Tiefumbruch).	48
Tabelle 9:	Flächen mineralisch überdeckter organischer Böden nach Moorbodenkategorie, Mächtigkeit und Substrat der Überdeckung.	52
Tabelle 10:	Flächen und Anteile der Ausprägung des Merkmals Torfmächtigkeit in der aktualisierten Kulisse organischer Böden.	54
Tabelle 11:	Flächen und Anteile von unterlagernden Mudden nach Genese.	58
Tabelle 12:	Flächen und Anteile der unterlagernden mineralischen Substrate in der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland.	60

1 Einleitung

1.1 Organische Böden in der Emissionsberichterstattung

1.1.1 Hintergrund

Moore sind nach der letzten Eiszeit über Jahrtausende an Standorten mit Wasserüberschuss entstanden. Dort konnten torfbildende Pflanzen wie Torfmoose, Schilf oder Seggen nicht vollständig durch Mikroorganismen abgebaut werden, sondern wurden unter Luftabschluss konserviert. So entstanden unterschiedliche Torfe, die zum größten Teil aus organischer Substanz bestehen und durch die Reste der verschiedenen torfbildenden Pflanzen charakterisiert sind (MEYER-UHLHERR et al., 2015). Der Torfkörper wächst entsprechend über Jahrtausende langsam in die Höhe (CLYMO, 1984). Moore sind also die einzigen terrestrischen Ökosysteme, die der Atmosphäre über lange Zeiträume Kohlenstoffdioxid (CO₂) entziehen können (KLEINEN et al., 2012; TOLONEN & TURUNEN, 1996). In nassen Mooren müssen die Mikroorganismen ihren Stoffwechsel auf den Mangel an Sauerstoff anpassen und produzieren dabei das Treibhausgas Methan (CH₄) (TURETSKY et al., 2014). Lebende Moore – also solche, in denen mehr Biomasse aufwächst als durch Mikroorganismen abgebaut wird – sind eine Senke von Kohlenstoff. Wenn dies nicht der Fall wäre, würde kein Torf entstehen und die Moore würden nicht in die Höhe wachsen können. Solche wachsenden Moore wirken je nach Standort- und Klimabedingungen langfristig treibhausgasneutral oder leicht kühlend (FROLKING & ROULET, 2007). Sie sind in Deutschland jedoch extrem selten, da der Großteil der Flächen entwässert wurde und nur noch durch genauere Betrachtung der Böden als ehemaliges Moorökosystem erkennbar ist. Wenn Moore für land- oder forstwirtschaftliche Nutzung oder Torfabbau entwässert werden, gelangt mehr Sauerstoff in den Boden, so dass Mikroorganismen den Torf effizient ab- und umbauen können. Dabei entstehen große Mengen an CO₂ und insbesondere an gedüngten Standorten auch das sehr starke Treibhausgas Lachgas (N₂O) (EVANS et al., 2021; LEPELLET et al., 2014; TIEMEYER et al., 2020).

Deutschland hat sich international dazu verpflichtet, Emissionen von Treibhausgasen (THG) und luftverschmutzenden Stoffen zu mindern. Entsprechend der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) müssen diese auf nationaler Ebene im Emissionsinventar zusammengetragen und berichtet werden. Dies erfolgt in Form des Nationalen Inventarberichts (*National Inventory Report*, NIR), der für Deutschland jährlich durch das Umweltbundesamt (UBA) herausgegeben wird. Die Emissionen werden nach verschiedenen Sektoren getrennt berichtet: Energie, Industrieprozesse, Landwirtschaft, Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (*Land Use, Land Use Change and Forestry*, LULUCF), Abfall und Abwasser sowie Andere. Das Thünen-Institut ist durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) beauftragt, das deutsche Emissionsinventar für die Sektoren Landwirtschaft und LULUCF zu erstellen.

Die Methodiken zur Berechnung der Emissionen sind grundsätzlich durch international gültige Regularien für die Emissionsberichterstattung vorgegeben (z.B. IPCC, 2006, 2014). Auf nationaler Ebene werden diese nach eigenen Grundlagen angepasst und präzisiert. Für THG-Emissionen aus organischen Böden (Definition siehe Kapitel 1.1.2) ist die Berichterstattung momentan an das in TIEMEYER et al. (2020) beschriebene Vorgehen angelehnt. Die relevanten Eingangsdaten dafür sind die aktuelle Landnutzung nach digitalem Basis-Landschaftsmodell des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS® Basis-DLM), die Karte organischer Böden nach ROßKOPF et al. (2015), die regionalisierten Grundwasserflurabstände in organischen Böden nach BECHTOLD et al. (2014) sowie die in TIEMEYER et al. (2020) ermittelten Funktionen für die Abhängigkeit der Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O von Landnutzung und/oder Wasserständen. Die auf einem 100 m x 100 m-Grid berechneten Emissionen werden für die Landnutzungskategorien Ackerland, Grünland im engeren Sinne, „terrestrische Feuchtgebiete“, industrieller Torfabbau und Siedlungen zu sogenannten „impliziten Emissionsfaktoren“ aggregiert. Für Wald und Gehölze werden nicht die Funktionen aus TIEMEYER et al. (2020),

sondern der Standard-Emissionsfaktor nach IPCC (2014) verwendet. Eine Unterscheidung verschiedener Typen organischer Böden erfolgt nicht. Mit Ausnahme von N₂O-Emissionen aus Acker- und Grünlandnutzung, die im Sektor Landwirtschaft berichtet werden, werden Emissionen aus organischen Böden unter allen Landnutzungen im Sektor LULUCF berichtet.

Organische Böden sind in Deutschland größtenteils entwässert oder durch angrenzende Entwässerung beeinträchtigt und werden zu etwa 71 % landwirtschaftlich genutzt (UBA, 2023). Im Jahr 2021 betragen die Emissionen aus den organischen Böden in Deutschland ca. 54 Mio. t CO₂-Äquivalente, was 7 % der Gesamtemissionen Deutschlands bzw. 44 % der Emissionen aus Landwirtschaft und landwirtschaftlich genutzten Böden entspricht (UBA, 2023).

Zunehmende Anstrengungen bei der Umsetzung von Minderungsmaßnahmen und ständig steigende Anforderungen an die Emissionsberichterstattung erfordern sowohl adäquate Methoden zur Regionalisierung von THG-Emissionen als auch ein konsistentes und langfristiges Monitoring. Das am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz angesiedelte Projekt „Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz (MoMoK) – Teil 1: Offenland“ (2020 bis 2025) stellt sich der Herausforderung, ein langfristiges deutschlandweites repräsentatives Monitoringnetz für Moorböden aufzubauen und Regionalisierungsmethoden zu verbessern (TIEMEYER et al., 2022). Ein zentraler Bestandteil dieses Projektes ist die Aktualisierung der Kulisse Organischer Böden. Organische Böden unter Wald werden am Thünen-Institut für Waldökosysteme untersucht.

1.1.2 Herausforderungen bei der Definition „Organischer Böden“

Der THG-Austausch mineralischer und organischer Böden wird für die Emissionsberichterstattung mit unterschiedlichen Methoden berechnet. Die Regularien der Emissionsberichterstattung (IPCC, 2006; IPCC, 2014) sehen eine **Definition organischer Böden** („*organic soils*“) in Anlehnung an die erste Ausgabe der *World Reference Base of Soil Resources* (WRB; FAO 1998) vor:

“Organische Böden werden als solche definiert, wenn sie die Kriterien 1 und 2 oder 1 und 3 erfüllen:

- (1) *Mächtigkeit eines organischen Horizonts größer oder gleich 10 cm. Ein Horizont mit weniger als 20 cm Mächtigkeit muss mindestens 12 % organischen Kohlenstoff in der Mischprobe bis 20 cm enthalten.*
- (2) *Böden, die nie mehr als wenige Tage im Jahr wassergesättigt sind, müssen mehr als 20 % organischen Kohlenstoff enthalten (d.h. ungefähr 35 % organische Substanz).*
- (3) *Böden mit längeren Phasen von Wassersättigung und entweder:*
 - i. *Mindestens 12 % organischen Kohlenstoff (d.h. ungefähr 20 % organische Substanz), wenn kein Ton enthalten ist; oder*
 - ii. *Mindestens 18 % organischen Kohlenstoff (d.h. ungefähr 30 % organische Substanz), bei Tongehalten von mindestens 60 %; oder*
 - iii. *Einem intermediären proportionalen Gehalt organischen Kohlenstoffs für intermediäre Tongehalte.“*

In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass die Definition von „*organic soils*“ nach IPCC nicht der eines „*Histosols*“ nach WRB (FAO, 1998) entspricht, da auf die Anwendung weiter Kriterien (Mächtigkeit der organischen Schicht, Fehlen eines „*andic*“ oder „*vitric*“ Horizontes im Oberboden) verzichtet wurde. Im methodischen Ergänzungsband des IPCC für Feuchtgebiete (*Wetlands Supplement*; IPCC, 2014) wurde die oben aufgeführte Definition übernommen und bewusst auf eine Definition von Torf verzichtet. So besteht die Möglichkeit, nationale Klassifikationssysteme und Definitionen zu nutzen, um die Richtlinien für die Emissionsberichterstattung zu erfüllen. Dies ist wichtig, da die direkte Übersetzung und Anwendung der oben aufgeführten Definition organischer Böden in die länderspezifischen Konzepte oft nicht möglich sind. Stattdessen ist es entscheidend, die Böden zu identifizieren, deren Emissionsverhalten dem eindeutig organischer Böden nach IPCC ähnlich ist.

Die **deutsche Bodensystematik** ist in der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Ad-HOC-AG BODEN, 2005) beschrieben. Hierin werden Böden zunächst in übergeordnete Abteilungen eingeteilt, die sich im Weiteren in Bodenklassen und darin in Bodentypen und -subtypen gliedern. Auf Basis des Wasserregimes werden die Abteilungen Terrestrische Böden, Semiterrestrische Böden und Semisubhydrische/Subhydrische Böden unterschieden. Moore werden wegen ihrer Sonderstellung in Entstehung und Substrat ebenfalls als eigene Abteilung herausgestellt. Böden der Abteilung Moore sind definiert als „Böden aus Torfen (≥ 30 Masse-% organische Bodensubstanz, OBS) von ≥ 30 cm Mächtigkeit“. Die weitere Unterteilung in Bodenklassen erfolgt anhand des Entwicklungszustandes, sodass in der Abteilung Moore die Klassen „Naturnahe Moore“ und „Erd- und Mulmmoore“ getrennt betrachtet werden. Innerhalb dieser Klassen erfolgt die Unterteilung in Nieder- und Hochmoor, die sich anhand ihrer standorttypischen Substrate (Pflanzenreste) unterscheiden lassen. Weiterhin werden Bodentypen anhand charakteristischer Horizonte und Horizontabfolgen beschrieben, die sich aufgrund spezifischer pedogenetischer Prozesse entwickeln. So gibt es bspw. die Bodentypen „Normniedermoor“ oder „Erdhochmoor“. Neben den Böden der Abteilung Moore gibt es auch in den Abteilungen der Terrestrischen sowie Semiterrestrischen Böden potenziell als organisch zu berücksichtigende Böden. Dies sind vor allem Böden mit flachgründigen Torfen (z.B. „Moorgleye“) oder solche mit anmoorigen Horizonten (z.B. „Anmoorgleye“), die einen OBS-Gehalt von 15 bis < 30 Masse-% aufweisen. Allerdings ist aufgrund der umfassenden Entwässerung und fortschreitenden Degradierung davon auszugehen, dass im Großteil dieser Böden keine Anmoordynamik, d.h. Akkumulation oder zumindest Konservierung organischer Substanz mehr stattfindet. Für diese Böden wird zukünftig in der Neufassung der Bodenkundlichen Kartieranleitung der Begriff „Abmoor“ geschaffen (EBERHARDT et al., 2019; MLUK, 2020; ROßKOPF & BAURIEGEL, 2022). Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass es noch vereinzelt echte anmoorige Bildungen gibt, so dass in diesem Dokument an- und abmoorige Horizonte zusammenfassend abmoorige Horizonte genannt werden.

Eine eindeutige Übertragung der IPCC-Definition (2006, 2014) auf die Systematik der KA5 ist nicht möglich, da sich die bodensystematischen Konzepte in wichtigen Punkten unterscheiden (siehe z.B. WITTNEBEL et al., 2021). Beispielsweise sieht die KA5 weder die Tongehalte noch die Dauer der Wassersättigung als Parameter zur Ausweisung organischer Horizonte vor. Es ist zu beachten, dass als relevantes Kriterium die OBS verwendet wird, während die IPCC-Definition auf Gehalte an organischen Bodenkohlenstoffs (C_{org}) basiert. Auch ist der Umrechnungsfaktor von C_{org} in OBS in der KA5 nicht eindeutig (mineralische Substrate: Faktor 1,72 und Torfe: Faktor 2,0), was dazu führt, dass Böden mit abmoorigen Substraten sich nicht eindeutig den „*organic soils*“ gemäß der oben aufgeführten Definition zuordnen lassen.

Da das Wetlands Supplement (IPCC, 2014) jedoch Freiheiten in der Definition organischer Böden einräumt und mit der deutschen Bodensystematik ein gutes und nachvollziehbares System vorliegt, kann diese für die Abgrenzung organischer Böden im Sinne der Emissionsberichterstattung verwendet werden. Während die Einordnung von **Böden der Abteilung Moore** unstrittig ist, ist die Bewertung von **Abmooren und weiteren stark anthropogen beeinflussten kohlenstoffreichen Böden** schwieriger. Aufgrund der oben dargelegten definitorischen Herausforderungen wurden im Verbundprojekt „Organische Böden“ (www.organische-boeden.de) Messungen der THG-Emissionen auf einigen dieser schwierig einzuordnenden Bodentypen durchgeführt.

Als ein wichtiges Ergebnis dieses Projektes zeigten TIEMEYER et al. (2016) in einer Synthesestudie mit 48 Grünlandstandorten, dass auch an entwässerten Standorten mit abmoorigen Substraten und an flachgründigen Standorten mit einer Torfmächtigkeit von weniger als 30 cm mit so hohen CO_2 -Emissionen wie an typischen Moorstandorten zu rechnen ist. Dies zeigte sich in der Gesamtschau aller Daten, aber auch in einzelnen Mooregebieten sowohl mit Hochmoorböden (LEIBER-SAUHEITL et al., 2014) als auch mit Niedermoorböden (EICKENSCHIEDT et al., 2015). Entsprechend sind solche Standorte - wie schon von ROßKOPF et al. (2015) in die Kulisse organischer Böden einzubeziehen.

Da die IPCC-Definition für organische Böden nicht festlegt, in welcher Tiefe sich der organische Horizont befinden muss, fallen auch **Moorböden mit mineralischen Überdeckungen** prinzipiell in die Kategorie organischer Böden. Daneben zeigen Messdaten von landwirtschaftlich genutzten Standorten in Deutschland, dass auch solche Standorte hohe THG-Emissionen aufweisen (z.B. BEYER, 2014; HÖPER, 2015; PAGENKEMPER et al., 2022) und dass die organische Substanz in den entsprechenden Oberböden nicht stabil ist (SÄURICH et al., 2019). Ähnliche Ergebnisse wurden für finnische bzw. niederländische Standorte mit abmoorigen Oberböden über Torfen berichtet (MALJANEN et al., 2004; SCHRIER-UJIL et al., 2014). Daneben sind unter den Überdeckungen hohe Vorräte an C_{org} zu finden (WITTNEBEL et al., 2021), die bei entsprechender Entwässerungstiefe vulnerabel sind. Einzelne Untersuchungen zeigen jedoch geringere CO_2 -Emissionen von Standorten mit Überdeckung und Grünlandnutzung im Vergleich zu angrenzendem Grünland auf Niedermoorboden (HÖPER, 2015) bzw. eine verminderte Umsetzung von altem, torfbürtigen Kohlenstoffs bei frisch angelegten Überdeckungen (WANG et al., 2021). Im Falle von Überdeckungen stellt sich die Frage, wie sich die Mächtigkeit sowie die Eigenschaften der Überdeckung auf die THG-Emissionen auswirken. Derzeit liegen nur Messdaten für bis zu 40 cm mächtigen Überdeckungen vor (PAGENKEMPER et al., 2022; TIEMEYER et al., 2020: Standorte GN6 und GN7). Die THG-Emissionen mächtiger überdeckter Standorte sind bisher noch nicht untersucht. Allerdings konnte bei den bisherigen Untersuchungen keine Abnahme der CO_2 -Emissionen mit zunehmender Deckschichtmächtigkeit festgestellt werden. Daher wurde aufgrund typischer Entwässerungstiefen von mehr als 40 cm davon ausgegangen, dass auch bei mächtigeren Überdeckungen an entwässerten Standorten Torfmineralisierung stattfindet, und in Anlehnung an Grenzen für Deckschichtmächtigkeiten in verschiedenen bodenkundlichen Kartenwerken Flächen mit Überdeckungen kleiner 100 cm in die Datenauswahl einbezogen.

Trepssole sind Tiefumbruchböden aus Hoch- und Niedermoor torfen. Die Maßnahme des Tiefumbruchs von Moorböden wurde zu Meliorationszwecken vor allem im 20. Jahrhundert als sog. „Deutsche Sandmischkultur“ oder „Tiefpflugsanddeckkultur“ durchgeführt, um diese Standorte für die Landwirtschaft nutzbar zu machen oder um die Ertragsfähigkeit stark degradierter Standorte zu erhöhen (KUNTZE, 1972). Dabei wurde mit Hilfe spezieller Pflüge die Fläche bis in den mineralischen Untergrund gepflügt und dadurch der Torf mit dem Mineralboden in balkenähnliche, schräggestellte Wechselschichtung gebracht (GÖTTLICH, 1990; SCHINDLER & MÜLLER, 2001) (Abbildung 1). Weitere Verfahren, bei denen Torfe umgelagert wurden, sind bspw. Baggerkühlungen (unsystematisches Durchmischen der Torfe mit dem Unterbodenmaterial und Überdeckung; CAPELLE & BURGHARDT, 2007) oder Spittkulturen (Kleiauftrag auf umgelagerte Torfe nach teilweisem Torfabbau; FLEISCHMANN & VOIGT, 1963). Mit der Anlage einer Sandmischkultur wurde im Oberboden durch die Vermengung von Sand und Torf ein Ausgangsgehalt an organischer Substanz von 10-15 % angestrebt, der nach 20 bis 30 Jahren auf 5 bis 6 % zurückgeht (KUNTZE, 1987). Studien zur Entwicklung von Kohlenstoffvorräten des gesamten Bodenprofils bzw. zu Treibhausgasemissionen dieser Flächen liegen nicht vor. HÖPER (2015) zeigt in einer Untersuchung der Oberböden von Sandmischkulturen jährliche C_{org} -Verluste von 1,1 t pro ha, zu den Veränderungen in den tiefen Horizonten ist jedoch nichts bekannt. Auch die Daten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) zeigen für diese Böden hohe C_{org} -Vorräte, die potentiell vulnerabel (WITTNEBEL et al., 2021) und deutlich höher als die der Mineralböden aus der gleichen Erhebung (POEPLAU et al., 2021) sind. Daher müssen sowohl diese tiefumgebrochenen in der verwendeten Karte identifizierbar sein, um perspektivisch passende Emissionsfaktoren zuweisen zu können.

Abbildung 1: Beispiele von Tiefumbruchböden aus Hochmoortorf (links) bzw. Niedermoortorf (rechts).



Quelle: Thünen-Institut

In der Neuauflage der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA6) werden voraussichtlich **Muddemoore** enthalten sein (ROBKOPF & BAURIEGEL, 2022). Diese sind bisher nur in wenigen Kartenwerken ausgewiesen. Da jedoch organische Mudden definitionsgemäß hohe Gehalte an OBS aufweisen, werden sie hier in die Definition organischer Böden eingeschlossen.

Zum Emissionsverhalten von **Organomarschen** ist nichts bekannt; sie sind jedoch häufig mit Niedermoorböden vergesellschaftet und enthalten potenziell hohe C_{org} -Vorräte (GIANI et al., 1996; MORDHORST et al., 2018). Per Definition nach KA5 (AD-HOC-AG BODEN, 2005) handelt es sich bei diesen Böden um stark humose (OBS-Gehalte von mindestens 8 %) tonige Substrate, in denen häufig Torfe und Mudden zwischengelagert sind. Sie sind häufig stark sauer und enthalten verbreitet Schwefelverbindungen. Das Klassifikationssystem für Marschen wurde in Niedersachsen in der aktuellen Bodenkarte 1:50.000 weiter differenziert. Dabei wird für die Organomarsch beschrieben, dass sie „häufig nicht als Reinform vorhanden ist, sondern als Unterlagerung von Kleimarschen oder Niedermooren ausgebildet ist“ (GEHRT, 2021). Nach HÖPER & GEHRT (2022) zeigen Organomarschen C_{org} -Gehalte von 4-8 % und sind damit keine organischen Böden nach IPCC-Definition. Im Entwurf zur Bodenkarte 1:50.000 von Schleswig-Holstein (LfU, 2022) werden ebenfalls Organomarschen dargestellt, jedoch häufig als Überlagerung von Torfen. Diese werden als überdeckte Moorböden in die Kulisse aufgenommen. In Anlehnung an Experteneinschätzungen der Geologischen Dienste in Niedersachsen und Schleswig-Holstein, wo diese Böden hauptsächlich auftreten, wurde jedoch die Entscheidung getroffen, in Reinform ausgewiesene Organomarschen aufgrund der oft geringen C_{org} -Gehalte nicht zu den organischen Böden im Sinne der Emissionsberichterstattung zu zählen.

Zusammengefasst werden also nach aktuellem Kenntnisstand folgende Bodentypen, deren Subtypen, Varietäten und Subvarietäten sowie weitere anthropogen veränderte organische Böden (nach KA5: „Kultivierte Moore“) als **Moor- und weitere organische Böden** berücksichtigt, die – mit Ausnahme der Muddemoore – auch bei der Standortauswahl für das deutschlandweite Moorbodenmonitoring (MoMoK) im Offenland untersucht werden (FRANK et al., 2022):

- Bodentypen der Abteilung Moore
- Moor- und Anmoorgleye
- Hochmoor-, Niedermoor- und Anmoorstagnogleye
- Anmoorpseudogleye
- Überdeckte organische Böden
- Treposole aus organischen Böden, Sandmischkulturen, Tiefpflugsanddeckkulturen, Baggerkuhlungen
- Muddemoore

1.2 Deutschlandweite Kartenwerke zu (organischen) Böden

Im Verbundprojekt „Organische Böden“ (www.organische-boeden.de) wurden von 2009 bis 2013 anhand deutschlandweit erhobener Daten Methoden, Aktivitätsdaten (z.B. Moorwasserstände) und Emissionsfaktoren für die Emissionsberichterstattung ermittelt und verbessert. Ein wesentlicher Teil der Verbesserung der Aktivitätsdaten war die Erstellung der **Karte organischer Böden** (FELL et al., 2012; ROßKOPF et al., 2015). In diese Karte sind je nach Datenverfügbarkeit bzw. Datenbereitstellung für jedes Bundesland verschiedene digitale Flächendaten eingegangen (u.a. Bodenkarten, Geologische Karten, Forstliche Standortkartierung, Bodenschätzung) und zu einer deutschlandweiten Kulisse zusammengefügt worden. Die räumliche Auflösung ist dadurch heterogen und liegt im Maßstabsbereich von 1:10.000 bis 1:200.000. Insgesamt wurden mehr als 25 Datensätze berücksichtigt, die nicht nur räumlich, sondern auch inhaltlich bzgl. zugrundeliegender Klassifikation, Datenalter und -struktur sehr unterschiedlich sind. Aus diesen Daten wurden Legendeneinheiten nach deutscher Bodensystematik oder anderer Kartierschlüssel ausgewählt, die den „*organic soils*“ nach IPCC (2006) möglichst nahekommen (Definition vgl. Kapitel 1.1.2). Zusätzlich wurden die Daten in Standorttypen klassifiziert, die an das Konzept der hydrogenetischen Moortypen (SUCCOW & JESCHKE, 1986) angelehnt sind, und mittels standardisierter Bodenprofile parametrisiert wurden. Insgesamt umfasst die Fläche organischer Böden 1,64 Mio. ha (Flächendatensatz; FELL et al., 2012) bzw. 1,58 Mio. ha (ROßKOPF et al., 2015). In ROßKOPF et al. (2015) wurde über eine randomisierte Beprobung versucht abzuschätzen, wie viele der abmoorigen Legendeneinheiten noch als „*organic soils*“ vorhanden sind und die Fläche entsprechend rechnerisch verkleinert. Der Flächendatensatz wurde jedoch nicht verändert. Für die **Verwendung in der Emissionsberichterstattung** hingegen, wurden im Flächendatensatz Anpassungen vorgenommen, sodass momentan mit einer Fläche von 1,82 Mio. ha kalkuliert wird (UBA, 2023). Dies entspricht einem Anteil von 5,1 % an der Landfläche Deutschlands.

Insgesamt stellte die Karte von FELL et al. (2012) eine deutliche Verbesserung zur bis dahin verwendeten Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK1000; BGR, 2013) dar. Allerdings gibt es mittlerweile Aktualisierungsbedarf. Zum einen wurden nicht alle in Kapitel 1.1.2 genannten Bodentypen berücksichtigt, so dass vor allem Treposole und überdeckte organische Böden nur unzureichend durch die Kulisse erfasst werden. Weiterhin gibt es seit der Datenakquise und Erstellung der Karte in vielen, v.a. den moorreichen Bundesländern neue und/oder verbesserte Flächendaten zu (organischen) Böden. Dies umfasst neue Bodenkarten im Maßstab 1:50.000 in Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein, eine auf umfangreichen Kartierungsarbeiten beruhende referenzierte Moorkarte in Brandenburg (FELL et al., 2015; LBGR, 2022) sowie Moorkartierungen in Hamburg (BUKEA, 2017) und Berlin (KLINGENFUß et al., 2015). Somit liegen auch für Bundesländer, für die für FELL et al. (2012) u.a. Daten im Maßstab 1:200.000 eingingen nun räumlich hochauflösende Informationen vor. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die Datenbereitstellung für die Kulisse nach FELL et al. (2012) unter der Prämisse erfolgte, dass die finale Karte ausschließlich für die Emissionsberichterstattung zu verwenden ist. Sie steht daher der Wissenschaft und allgemein der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung, obwohl der Bedarf an einer solchen Karte für diverse Fragestellungen im Moor-, Klima- und Naturschutz sehr hoch ist.

Das **Greifswald Moor Centrum (GMC)** hat im Jahr 2021 eine **Aggregierte Karte der organischen Böden Deutschlands** erarbeitet (TEGETMEYER et al., 2021) und als Datensatz öffentlich frei zugänglich gemacht. Diese Karte stellt eine Aktualisierung der Karte von FELL et al. (2012) dar, da neuste Flächendaten aus allen Bundesländern zusammengetragen wurden und die Auswahl der relevanten Legendeneinheiten auf der unter Kapitel 1.1.2 beschriebenen Definition organischer Böden beruht. Allerdings ist sie insbesondere für hydrologische Modelle oder die Anwendung bodenspezifischer Emissionsfaktoren nur eingeschränkt nutzbar, da die Karte lediglich die Umrisse der Flächen, aber keine inhaltlichen Informationen bspw. zum Profilaufbau enthält.

Ein weiterer deutschlandweiter und öffentlich zugänglicher Bodenflächendatensatz ist die **Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:250.000 (BÜK250)**, die von der **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)** herausgegeben wird (BGR, 2018). Sie basiert auf der BÜK200, welche eine Harmonisierung der hauptsächlich

mittelmaßstäbigen Bodenkarten aller Bundesländer unter Mitarbeit der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) Deutschlands darstellt. Die Flächendaten wurden in eine gemeinsame Datenstruktur mit gleicher Auflösung und einheitlicher Legende überführt. Die Geometrien entsprechen der Topografischen Karte im Maßstab 1:250.000 und können mit der Sachdatenbank der BÜK200 verknüpft werden, sodass Informationen zu Bodentypen und Profilen vorliegen. Aufgrund der langen Entstehungszeit der BÜK200/BÜK250 (Projektstart 1995) sind in dieses Kartenwerk Bodendaten und -karten von Anfang der 1990er bis in die Mitte der 2010er Jahre eingeflossen, welche mittlerweile nicht mehr zwangsläufig die aktuellsten Informationen zu Moor- und weiteren organischen Böden darstellen. Diese Böden kommen in der Landschaft zudem häufig als kleinräumige Strukturen vor, die durch kleinmaßstäbige Karten wie der BÜK250 nur unzureichend dargestellt werden können. Die Regularien der Emissionsberichterstattung verpflichten zur Verwendung der bestmöglichen Informationen auch im Hinblick auf die räumliche und inhaltliche Auflösung. Somit ist auch dieser Datensatz dafür nicht ausreichend.

Aufgrund der Limitierung der deutschlandweit verfügbaren Datensätze ist eine Verwendung der Flächendaten der Bundesländer (Kapitel 2.1) notwendig, um eine Kulisse mit bestmöglicher Qualität bezüglich Auflösung und Inhalt zu erstellen. Diese Daten sind sehr heterogen (Tabelle 1, Tabelle 2, Tabelle 3), was eine Harmonisierung und Aggregation der Inhalte der Legendeneinheiten notwendig macht (Details in Kapitel 2.2 und in WITTNEBEL et al., 2023).

1.3 Ziele der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden

Mit der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden sollen die oben angesprochenen Limitierungen der bisher deutschlandweit verfügbaren Kartenwerke überwunden und damit ein neuer *Status quo* für die Emissionsberichterstattung geschaffen werden, der die aktuellsten und besten Flächendaten zu organischen Böden aller Bundesländer und die Selektion aller relevanter Legendeneinheiten umfasst.

Dieser Datensatz soll nicht nur als reine Flächenkulisse für die Emissionsberichterstattung genutzt werden, sondern auch Grundlage für eine verbesserte räumliche Differenzierung von THG-Emissionen darstellen. Dies bedeutet insbesondere, dass auch bodenkundliche Informationen, die zur Abschätzung von Moorwasserständen benötigt werden, in die Kulisse übernommen werden. Dadurch kann die Modellierung von derzeitigen, aber auch unter veränderten Rahmenbedingungen potenziell möglichen Moorwasserständen verbessert werden. Somit soll, auch unter Nutzung von Daten zum Profilaufbau (z.B. mineralische Überdeckungen), eine Modellierung von Landnutzungsoptionen und Projektionen von Auswirkungen verschiedener Minderungsmaßnahmen auf die THG-Emissionen ermöglicht werden.

Aufgrund der Heterogenität der Datengrundlagen der Bundesländer ist eine Methode zur Harmonisierung und Aggregation der vorhandenen Informationen notwendig, die sowohl für sehr detaillierte als auch stark vereinfachte Eingangsdatensätze anwendbar ist. Dabei liegt der Fokus aufgrund der beabsichtigten Verwendung zur räumlich differenzierten Ableitung von THG-Emissionen nicht auf bodensystematischen Einheiten (z.B. Bodentypen), sondern auf Eigenschaften, die für die Modellierung von THG-Emissionen und ihrer Steuerfaktoren sowie von Landnutzungsoptionen relevant sind. In diesem Zusammenhang spielen Eingangsgrößen für die Berechnung von C_{org} - und Stickstoffvorräten (Genese, Torfmächtigkeit), anthropogene Veränderungen des Profilaufbaus sowie Substrate an der Moorbasis eine wichtige Rolle.

Weiterhin wird der harmonisierte Datensatz für Wissenschaft und Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Dieses Working Paper beschreibt Hintergründe, Vorgehensweisen und Ergebnisse, während der Flächendatensatz als Shape-File zitierfähig auf OpenAgrar (WITTNEBEL et al., 2023; <https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>) zum Download bereitsteht. Dem Flächendatensatz ist zusätzlich eine detaillierte Beschreibung der Klassifikation der Legendeneinheiten der einzelnen Länderdatensätze beigefügt. Außerdem ist eine kartographische Darstellung im ThünenAtlas zu finden.

Zusammengefasst werden mit der Aktualisierung folgende Ziele verfolgt:

- Aktualisierung der Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung
- Harmonisierung der Bodendaten der Bundesländer anhand von emissionsrelevanten Eigenschaften
- Schaffung einer Grundlage für die Berechnung von Moorwasserständen und THG-Emissionen sowie für die Ableitung von Szenarien und Landnutzungsoptionen
- Förderung von Transparenz

2 Harmonisierung der Bodendaten

2.1 Datensätze der Bundesländer

Deutschlandweite kleinmaßstäbige Karten (ab 1:200.000 und kleiner) und zugehörige Daten werden durch die BGR vertrieben. Für alle größeren Betrachtungsmaßstäbe sind die Bundesländer verantwortlich. Offizielle Bodendaten werden von den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) herausgegeben, die in den Bundesländern oft als Landesämter für Geologie und/oder Umwelt etabliert sind. **Kartenwerke zu Bodenflächendaten** sind i.d.R. landesweit flächendeckend vorhanden und durch die Landesämter auf Basis verschiedener Eingangsdaten wie z.B. Geologische Karten (GK), Topografische Karten (TK), Bodenkundliche Karten einzelner Kartenblätter, Profilinformatoren aus der Landesaufnahme oder der Bodenschätzung (BS) über viele Jahre oder Jahrzehnte konzipiert worden. Sie liegen i.d.R. als mittelmaßstäbige Karten (1:25.000 und 1:50.000) vor, wobei einige Länder auch Daten in größeren (1:5.000 oder 1:10.000) oder kleineren (1:100.000) Maßstäben bereitstellen. Die Karten liegen entweder als amtliche Bodenkarten (BK), Bodenübersichtskarten (BÜK) oder, je nach Bearbeitungsstand, auch als vorläufige Bodenkarten (VBK) oder Konzeptbodenkarten (KBK bzw. BKkonz) vor. Bei kleineren Maßstäben werden Legendeneinheiten (z.B. Flächen gleicher/ähnlicher Bodenformen) zusammengefasst und i.d.R. anhand gröberer bodensystematischer Einheiten (z.B. Bodenklassen) dargestellt, während in mittel- und großmaßstäbigen Karten eine detaillierte Beschreibung z.B. nach Bodentypen angestrebt wird. Zudem wird oft die substratsystematische Einheit („...der typisierte, zusammengefasste Ausdruck einer einheitlichen Substratartenabfolge.“; AD-HOC-AG BODEN, 2005, S. 132) angegeben und je nach Maßstab und Konzipierung der Legendeneinheiten werden Neben- oder Begleitböden ausgewiesen. Die Legendeneinheiten beruhen zumeist grundsätzlich auf der Bodenkundlichen Kartieranleitung (je nach Erstellungsjahr der Karte in verschiedenen Auflagen), weisen jedoch auch regionale Besonderheiten und entsprechenden Anpassungen oder Erweiterungen auf (z.B. GEHRT, 2021). Einige Landesämter bieten zusätzlich zu ihren Flächendaten auch Profilinformatoren zu den Böden ihrer ausgewiesenen Legendeneinheiten an. Diese liegen in unterschiedlichen Detailtiefen vor, d.h. von einzelnen Leitprofilen in Form von Bodentypen oder Bodenformen je Legendeneinheit, über nutzungsdifferenzierte Profile für die Hauptnutzungsformen Acker, Grünland und Forst bis hin zu umfangreichen Datenbanken mit verschiedenen Profilen je Legendeneinheit und Informationen zu weiteren bodenkundlichen Kennwerten.

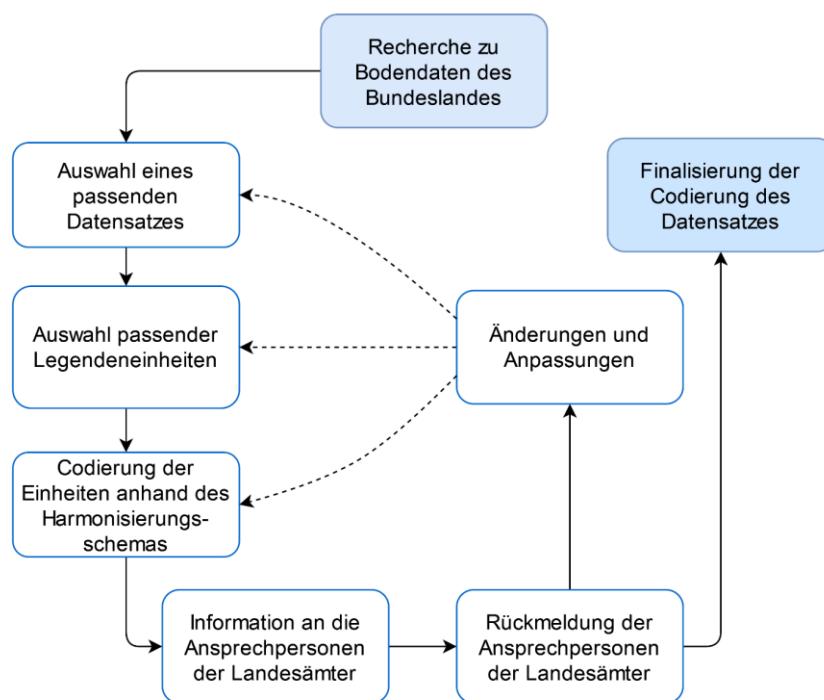
Zusätzlich wurden in einigen Bundesländern Karten für einzelne Verwaltungseinheiten oder für spezielle Zwecke (z.B. Halden, Weinbauggebiete, Moorböden) entwickelt. Im Falle der Moorböden gibt es verschiedene Beispiele von Kompositkarten, also solchen Karten, die auf Grundlage verschiedener Datensätze Flächen ausweisen, die jedoch nicht notwendigerweise auf einen einheitlichen Maßstab harmonisiert wurden. Dies sind z.B. das Sächsische Informationssystem für Moore und organische Nässtandorte (SIMON; LfULG, 2011), und die Referenzierte Moorkarte für das Land Brandenburg (FELL et al., 2015; LBGR, 2022). Daneben wurde in den beiden Stadtstaaten Berlin (KLINGENFUß et al., 2015) und Hamburg (BUKEA, 2017) eine systematische Kartierung von Moorböden durchgeführt und die Ergebnisse als Flächendaten veröffentlicht.

Außerhalb der SGD beschäftigen sich auch andere Behörden mit Bodendaten. So wird auf landwirtschaftlichen Nutzflächen die **Bodenschätzung (BS)** durchgeführt, die u.a. Grundlage für die Besteuerung ist und in der Verantwortlichkeit der Finanzämter liegt. Die Schätzung erfolgt anhand eines definierten Vorgehens zur Bewertung der Ertragsfähigkeit der Böden sowie einer relativen Schätzung des Wertes nach dem Bodenschätzungsgesetz (BodSchätzG, 2007). Die Methodik der Ansprache der Böden unterscheidet sich stark von der klassischen Kartierung nach bodenkundlicher Kartieranleitung, da der Fokus auf den Faktoren liegt, die die Ertragsfähigkeit beeinflussen: Bodenart, Zustandsstufe, Entstehungsart, Wasserverhältnisse und Klima (durchschnittliche Jahresmitteltemperaturen). Aus diesen Merkmalen wird unterschiedlich für Acker- und Grünlandnutzung ein Klassenzeichen bestimmt, welches die Grundlage der Schätzung bildet. Für die hier entwickelte Kulisse wurde lediglich die Bodenart des Klassenzeichens je aufgenommener Fläche berücksichtigt.

Aufgrund der Methodik der Schätzung einzelner landwirtschaftlicher Grundstücke bzw. der Abgrenzung von Flächen mit gleichen natürlichen Ertragsbedingungen liegt der Betrachtungsmaßstab bei ca. 1:1.000 bis 1:10.000.

Wald- und Forstflächen werden mit Hilfe der **forstlichen Standortkartierung (FSK)** kartiert, die in der Verantwortung der Landesforsten liegt. Dabei werden ähnlich wie bei der Bodenschätzung die Standorteigenschaften von Wald- und Forstflächen bestimmt und in Form von Standorteinheiten dargestellt. Diese basieren u.a. auf geologischem Substrat, Wasserversorgung, Klimazonen, Nährstoffen sowie Wuchsgebieten und Relief (ThüringenForst, 2022). Eine direkte Übersetzung der Standorteinheiten in Bodentypen nach Bodenkundlicher Klassifikation ist ebenso wie bei der BS nicht möglich. Bei der Interpretation des entsprechenden Kartenwerkes für die aktualisierte Kulisse wurde daher auf die Unterstützung der Landesanstalt zurückgegriffen (Tabelle 1).

Abbildung 2: Iterationsprozess der Beschaffung und Harmonisierung von Bodendaten zur Verwendung für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland.



Quelle: Thünen-Institut

Für die Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland sollten die räumlich möglichst flächendeckenden und am höchsten aufgelösten nutzungsübergreifenden Flächendaten eingehen, die entweder alle Böden abdecken oder spezifisch Moor- und weitere organische Böden umfassen. Es erfolgte daher zunächst eine umfangreiche Recherche zu allen verfügbaren und passenden Daten (vektorbasierte GIS-Datensätze) der Bundesländer (Abbildung 2). Die Auswahl geeigneter Kartenwerke und ggf. Zusatzdaten sowie die anschließende Selektion der für die Fragestellung passenden Legendeneinheiten und deren Klassifikation in das neu entwickelte Schema (Kapitel 2.2) erfolgte in enger Abstimmung und i.d.R. in mehreren Rückmeldungsschleifen mit den jeweiligen Ansprechpersonen der Landesämter (Abbildung 2). So wurde für jedes Bundesland und jeden Datensatz eine bestmögliche Darstellung der Moor- und weiteren organischen Böden in der aktualisierten Kulisse sichergestellt (Tabelle 1), da in allen Fällen die Daten dankenswerterweise zur Verfügung gestellt wurden. Detaillierte Beschreibungen der verwendeten Datensätze und der Klassifikation ihrer Legendeneinheiten sind im bereitgestellten Datensatz auf OpenAgrar zu finden (<https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>; WITTNEBEL et al., 2023).

Bei einem Großteil der bereitgestellten Daten handelt es sich um typische Boden- oder Bodenübersichtskarten bzw. Auszüge davon im Maßstab 1:50.000 (Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein) oder im Maßstab 1:25.000 (Bayern, Bremen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen). Zwei Bundesländer (Saarland, Thüringen) haben derzeit nur kleinmaßstäbige Bodenkarten (1:100.000). Für die Bundesländer Bayern und Sachsen wurden nach Absprache ergänzend zu den Bodenkarten die Flächen der Bodenschätzung verwendet. Daten der Bodenschätzung sind auch schon in zahlreiche Boden- oder Kompositkarten der Bundesländer eingegangen (Tabelle 1). In Thüringen fand neben der Bodenkarte die Forstliche Standortkartierung Anwendung, da diese bei Erstellung der Bodengeologischen Konzeptkarte weitestgehend fehlte. Die verwendeten Geodaten enthielten zusätzlich zu den üblichen Angaben Informationen zu Torfmächtigkeit und generalisiertem Bodentyp (Moor bzw. Anmoor) (ergänzt durch ThüringenForst).

In den Stadtstaaten Hamburg und Berlin wurden spezifische Kartierungen von Moorböden durchgeführt, sodass hier die höchsten Auflösungen und die aktuellsten Informationen zu den Flächen vorliegen. In Hamburg fand die Kartierung im Jahr 2016 statt und deckte organische Böden an der Oberfläche sowie bis in den tieferen Untergrund (bis max. 10 m) ab (BUKEA, 2017). Diese wurden in einzelnen Datensätzen mit teils detaillierten Beschreibungen der angesprochenen Profile und den Torfmächtigkeiten bereitgestellt. In Berlin wurden im Rahmen des Umweltentlastungsprogramm (UEP)-Projekts „Berliner Moorböden im Klimawandel – Entwicklung einer Anpassungsstrategie zur Sicherung ihrer Ökosystemdienstleistungen“ (2011-2015) die organischen Böden im Stadtgebiet kartiert und ebenfalls umfangreiche Informationen u.a. zu Bodentypen, Substrate und Mächtigkeiten aufgenommen (KLINGENFUß et al., 2015). Zusätzlich zu den Flächendaten waren die Bohrprofilaten sowie detaillierte Steckbriefe für einzelne Gebiete vorhanden.

Eine Besonderheit ist die „Referenzierte Moorkarte für Brandenburg auf das Jahr 2021“, die eine Aktualisierung der bestehenden auf das Jahr 2013 referenzierten Moorkarte darstellt (FELL et al., 2015). Hierbei handelt es sich um eine modellbasierte Karte, die auf einer Vielzahl an Eingangsdaten, sowie aktuellen Profilaufnahmen basiert. Aus alten und neuen Daten wurden Verlustraten ermittelt und eine Verringerung der Moorfläche berechnet und dargestellt. Dieses Modell ermöglicht somit eine dynamische Darstellung der Karte und daraus folgend die Abbildung von Verlusten von Moorböden. Das ist in dieser Form deutschlandweit einzigartig. Aus dem Modellansatz, der auf einem Raster im 10 x 10 m Grid beruht, ergeben sich bei der Darstellung anstelle der für typische Bodenkarten charakteristischen kartierungs- und topographiebedingten Polygone in einigen Gebieten viele sehr kleine (ca. 1 ha) vier- bis sechseckige Polygone.

Über alle Länderdaten hinweg ist festzustellen, dass die räumliche Auflösung und somit auch die dargestellte Mindestflächengröße zwar große Spannweiten hat (1:1.000 bis 1:100.000), die meisten Daten aber einem Maßstabsäquivalent von 1:25.000 bis 1:50.000 entsprechen (Tabelle 1). Die Kartenwerke wurden größtenteils zwischen 2015 und 2022 (mit zwei Ausnahmen von 2001 und 1980) veröffentlicht, wobei manche der Datensätze final vorliegen, andere jedoch (u.a. BS und FSK) fortlaufend aktualisiert werden. Das Alter der verschiedenen Datensätze ist sehr unterschiedlich und auch innerhalb einzelner Datensätze heterogen, wobei häufig auf Daten aus der Mitte des 20. Jahrhunderts zurückgegriffen wurde (Tabelle 1). Dabei kann nicht angegeben werden, welches Alter die Informationen in einem spezifischen Polygon haben, da dies in Bodenkarten meist nicht mitgeführt ist und zudem häufig verschiedene Datenquellen kombiniert wurden.

Auch inhaltlich, strukturell und in der Darstellung gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Datensätzen (siehe Kapitel 2.2, Tabelle 2, Tabelle 3). Mit Ausnahme von BS und FSK ist jedoch allen gemein, dass Flächen grundsätzlich mittels Bodentypen, Bodenformen oder Bodengesellschaften klassifiziert wurden, die teilweise durch (Leit-) Bodenprofile konkretisiert wurden. Unterschiede bestehen auch im Umgang mit Gewässerflächen und Infrastruktur (Tabelle 1), was für einen späteren Verschnitt mit Daten zur Landnutzung relevant ist. Beispielsweise ist ein Vergleich von Siedlungsflächen auf organischen Böden nicht möglich, wenn Infrastrukturelemente aus einem Teil der Daten herausgeschnitten wurden.

Tabelle 1: Verwendete Datensätze der Bundesländer (BL) und deren Metadaten für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. (Stichtag: 22.12.2022). Die Angaben basieren auf Auskünften der Bezugsbehörden.

BL	Datensatz	Stand	Maßstabs- äquivalent	Mindest- flächen- größe	Gewässer- flächen enthalten	Infrastruktur- elemente enthalten	Bezugs- behörde	Grunddaten & Alter
BB	Referenzierte Moorkarte (2021); Bodentypen und Substrate	2022	Grid (10 m)	nein	nein	nein	LBGR	Bodenschätzung (älter als 1954, Ergänzung 1970-1980), PGK (älter als 1935), FSK (weite Spanne), Biotoptypen (aktuell), Moorarchiv der Humboldt Universität (1954-1990), Meliorative Standortuntersuchungen (1950-1990), Rohstofferkundung (1947-1990)
BE	UEP-Projekt: Berliner Moorböden im Klimawandel; Moorteilflächen und Aufnahmepunkte	2015	1:5.000	4,5 m ²	nein	nein	SenUMVK Berlin	Geologische Karte von Preußen 1874-1937, Berliner Biotoptypenkartierung (2012), Bodenkundliche Kartierungen (2011 bis 2015), DGM1
BW	Bodenkarte 1:50.000 (BK50)	2022	1:50.000	nein	nein	nein	LGRB	Bodenschätzung (keine Altersangabe), FSK (fortlaufende Aktualisierung), Kartenblätter der BK25 und interne Unterlagen zu groß- und mittelmaßstäbigen Projektkartierungen (unterschiedliche Stände), GK50 (fortlaufende Aktualisierung, sowie ältere Karten), Moorkataster BW (fortlaufende Aktualisierung bis 2017), DGM (fortlaufende Aktualisierung)
BY	Moorbodenkarte Bayern 1:25.000 (MBK25); Selektion aus der Übersichtsbodenkarte von Bayern 1:25.000 (ÜBK25)	2021	1:25.000	nein	teilweise (größere Gewässer ausgeschnitten)	Nein (teils als Legenden-einheiten in der Basiskarte ÜBK25)	LfU	Geologische Karten und Manuskriptkarten 1:25.000, teilweise 1:20.000 (ca. 1950 bis aktuell), GÜK200 (BGR), wo mittelmaßstäbige GK nicht verfügbar (keine Altersangabe), Bodenschätzungs-übersichtskarte 1:25.000 (aufbereitete Karten, ca. 1950-1980), FSK (unveröffentlicht, keine Altersangabe)

BL	Datensatz	Stand	Maßstabs- äquivalent	Mindest- flächen- größe	Gewässer- flächen enthalten	Infrastruktur- elemente enthalten	Bezugs- behörde	Grunddaten & Alter
BY	Bodenschätzung, Auszug aus dem ALKIS	2022	1:1.000	nein	nein	nein	LDBV über die LfL	fortlaufend aktualisierte Daten der Bodenschätzung (1930 bis aktuell)
HB	Bodentypen aus der Bodenkarte 1:25.000 (BK25)	2016	1:25.000	nein	nein	teilweise	GDfB	Keine Angabe
HE	Bodenflächendaten 1:50.000 (BFD50), zweite Auflage	2020	1:50.000	nein	teilweise (außer Fließgewässer und Stillgewässer)	ja, außer historische Siedlungskerne	HLNUG	Bodenkartierung 1:50.000 (1987-1995), Bodenkartierung 1:25.000 (1977 und 1980), Bodenkarte von Hessen 1:25.000 (1962-1982), Bodenkarte der nördlichen Oberrheinebene 1:50.000 (1963/1980-1986), Standortkarte der hessischen Weinbaugebiete, I. Böden, 1:50.000 (1959), Bodenkarte von NW 1:50.000 (1986-1989)
HH	Moorkartierung; Moorbodenoberfläche und oberflächennahe Torfe	2016	1:1.000	nein	nein	nein	BUKEA	Kartierungen (2016)
MV	Konzeptbodenkarte 1:25.000, Auszug der Kohlenstoffreichen Böden (KBK25_KB)	2022	1:25.000	0,02 ha	als Polygone ab einer Fläche > 2 ha	nein	LUNG	Bodenschätzung, Geologische Arbeitskarte 1:25.000, Übersichtskarte Quartär 1:200.000, FSK, Moorstandortkatalog MV (alle ohne Altersangabe)
NI	Bodenkarte 1:50.000 (BK50)	2017	1:50.000	6 ha (teilweise kleiner)	nur kleinere Flächen	nein	LBEG	Geologische Karte 1:50.000 (2002), Bodenschätzung 1:5.000 (unterschiedlich 1938-2006), Boden- und Moorkarte des Emslandes 1:5.000 (ca. 1960)
NW	Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:50.000 (BK50)	2022	1:50.000	0,03 ha	ja	nein	GD NRW	Keine Angabe

BL	Datensatz	Stand	Maßstabs- äquivalent	Mindest- flächen- größe	Gewässer- flächen enthalten	Infrastruktur- elemente enthalten	Bezugs- behörde	Grunddaten & Alter
RP	Bodenflächendaten 1:50.000 (BFD50)	2019	1:50.000	nein	nein	nein	LGB	BK25-Blattschnittkartierung Oberrheingraben und Neuwieder Becken (1986-2003), BK50-Blattschnittkartierung (RP Süd) (Ende 90er-2003), BK50- Einzugsgebietkartierung (RP Nord) (2004- 2013)
SH	Entwurf zur Bodenkarte 1:50.000 von Schleswig- Holstein (BK50), Auszug	2022	1:10.000 bis 1:50.000	ca. 0,5 ha	ja	teils ja (Deiche), teils nein (Straßen)	LfU	Keine Angabe
SL	Bodenübersichtskarte 1:100.000 (BÜK100)	2001	1:100.000	2 ha	nein	nein	LUA	Keine Angabe
SN	Bodenkarte 1:50.000 (BK50)	2020	1:50.000	1 ha	nein	nein	LfULG	Keine Angabe
SN	Bodenkundliche Konzeptkarte 1:25.000 (BKkonz) aus: Sächsisches Informationssystem für Moore und organische Nasstandorte (SIMON)	2011	1:10.000 bis 1:25.000	0,5 ha	nein	nein	LfULG	Schwach aggregierte bodenkundliche Bewertung durch Übertragung der MMK und FSK (fortlaufend)
SN	Bodenschätzung, Auszug aus dem ALKIS	2021	1:10.000	nein	nein	nein	GeoSN über das LfULG	fortlaufend aktualisierte Daten der Bodenschätzung mit großer Altersspanne seit den 1930er Jahren

BL	Datensatz	Stand	Maßstabs- äquivalent	Mindest- flächen- größe	Gewässer- flächen enthalten	Infrastruktur- elemente enthalten	Bezugs- behörde	Grunddaten & Alter
ST	Vorläufige Bodenkarte 1:50.000 (VBK50)	2014	1:50.000	nein	ja	nein, bis auf Kanäle (als Gewässer)	LGB	Gedruckte Bodenkarten Blätter „Halle und Umgebung“ und „Klötze“ 1:50.000 (1996- 1998), Bodenkundliche Objektkartierungen 1:25.000 (1972-1996), Bodenkundliche Objektkartierungen 1:10.000 (1970-1975), MMK-Arbeitskarten 1:25.000 (1980), Kippenkarten 1:25.000 (2001), FSK 1:10.000 (seit 1950)
TH	Bodengeologische Konzeptkarte von Thüringen 1:100.000 (BGKK100)	um 1970	1:100.000	nein	ja	einzelne Bergbau- flächen	TLUBN	Bodenschätzung (meist 1930-1950er Jahre), wenige Blätter der Geologischen Karte 1:25.000 der PGK (19. und 20. Jahrhundert), FSK (zur Erstellungszeit weiträumig fehlend), unveröffentlichte geologische und bodenkundliche Dokumentationen des Geologischen Dienstes (in der Zeit vor und um 1970)
TH	Forstliche Standortskartierung (FSK)	2022	1:5.000 bis 1:10.000	1 ha	nein	nein	ThüringenForst - AöR	Fortlaufend aktualisierte Daten der forstlichen Standortskartierung (Stand 2022)

BB: Brandenburg; BE: Berlin; BW: Baden-Württemberg; BY: Bayern; HB: Bremen; HE: Hessen; HH: Hamburg; MV: Mecklenburg-Vorpommern; NI: Niedersachsen; NW: Nordrhein-Westfalen; RP: Rheinland-Pfalz; SH: Schleswig-Holstein; SL: Saarland; SN: Sachsen; ST: Sachsen-Anhalt; TH: Thüringen; DGM: Digitales Geländemodell (DGM1: Gitterweite 1 m); GK50: Geologische Karte 1:50.000; GÜK200: Geologische Übersichtskarte 1:200.000; MMK: Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung; PGK: Preußische Geologische Karte; UEP: Umweltentlastungsprogramm; LBGR: Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe; SenUMVK: Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz (jetzt: Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, SenMVKU); LGRB: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau; LfU: Bayerisches Landesamt für Umwelt bzw. Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein; LDBV: Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung; LfL: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft; GDfB: Geologischer Dienst für Bremen; HLNUG: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie; BUKEA: Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft; LUNG: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie; LBEG: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; GD NRW: Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen - Landesbetrieb -; LGB: Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz bzw. Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt; LUA: Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz; LfULG: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; GeoSN: Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (jetzt: Landesamt für Geobasisinformation Sachsen); TLUBN: Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz; ThüringenForst - AöR: ThüringenForst - Anstalt öffentlichen Rechts

2.2 Konzept der Harmonisierung der Bodendaten

Mit der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden soll eine Grundlage für eine räumlich differenzierte Modellierung von Moorwasserständen und THG-Emissionen sowie für die Ableitung von Szenarien und Landnutzungsoptionen geschaffen werden. Entsprechend soll eine Harmonisierung der Datengrundlagen der Bundesländer anhand emissionsrelevanter Eigenschaften stattfinden, die für zukünftige Modellansätze möglichst flächendeckend aus der Kulisse organischer Böden extrahierbar sein sollen. Für diese Zwecke ist eine Harmonisierung und inhaltliche Aggregation aus fachlichen und rechtlichen Gründen notwendig.

Zum einen ist eine Veröffentlichung der Originaldaten aus rechtlichen Gründen ausgeschlossen, zum anderen sind die Flächendaten nicht nur in Maßstab und Alter (Tabelle 1), sondern auch in Aufbau und Anzahl der Legendeneinheiten äußerst heterogen (Tabelle 2). Selbst konzeptionell ähnliche Karten (z.B. BK50), in denen hauptsächlich Bodentypen oder Bodengesellschaften dargestellt werden, zeigen deutliche Unterschiede. Dazu kommen Besonderheiten weiterer Flächendaten wie die Bodenschätzung in Bayern und Sachsen (19 bzw. 17 Einheiten mit fest definierten Klassenzeichen) oder die modellbasierte Karte für Brandenburg. Bei Flächendaten, die auch Profilinformatoren liefern, ist die Anzahl der Legendeneinheiten sehr hoch (Niedersachsen: Flächendatensatz 185, mit Profildatenbank: 1076; Berlin 52 bzw. 439). Die geringste Anzahl an Legendeneinheiten (2) liegt im Datensatz der BÜK100 des Saarlandes vor, die höchste bei der Kompositkarte in Brandenburg, da hier zwei Datensätze mit getrennten Informationen zu Bodentyp und Substraten kombiniert wurden (insg. 3740 Legendeneinheiten). Der Informationsumfang ist jedoch nicht zwangsläufig umso höher, je mehr Legendeneinheiten ein Datensatz umfasst. Vielmehr ist relevant, welche Informationen in welcher Detailtiefe gegeben sind. Diese hohe (und räumlich heterogene) Anzahl von Legendeneinheiten macht nicht nur eine Harmonisierung, sondern auch eine Aggregation zwingend notwendig, da perspektivisch eine Parametrisierung z.B. bodenhydrologischer Eigenschaften oder die Zuweisung spezifischer Emissionsfaktoren ohne Aggregation nicht möglich ist. Auch wird die auf BECHTOLD et al. (2014) aufbauende und noch zu aktualisierende Karte der Moorwasserstände wieder auf Ansätzen des *Machine Learnings* beruhen, für das nur eine begrenzte Anzahl von Ausprägungen kategorialer Variablen sinnvoll verarbeitbar ist. Das zu entwickelnde Harmonisierungskonzept muss zudem auf Kartenwerke verschiedener Detailgrade anwendbar sein.

Theoretisch wäre eine Klassifikation nach bodensystematischen Einheiten der KA5 ähnlich wie bei der BÜK250 denkbar, da der Großteil der verwendeten Bodendaten der Bundesländer auf entsprechenden Einheiten basiert (Tabelle 2). Für diesen Ansatz wäre auch die Berücksichtigung von Bodenhorizonten notwendig geworden, jedoch liegen Angaben in dieser Detailstufe nicht in allen Datensätzen vor. Ein solches Vorgehen würde zudem einer sehr aufwendigen Abstimmung mit allen verantwortlichen Landesämtern bedürfen, was im zeitlichen Rahmen dieses Projektes nicht realisierbar wäre. Daneben ist die Heterogenität der Daten in Bezug auf eine Ausweisung von Bodentypen bzw. Horizonten noch größer als im Falle der hier verwendeten Merkmale, da es zahlreiche länderspezifische Besonderheiten gibt. Eine Klassifikation nach bodensystematischen Einheiten wurde allerdings nicht nur aufgrund der Datenheterogenität verworfen, sondern auch weil der inhaltliche Fokus auf den für die Hydrologie, Nutzbarkeit und THG-Emissionen relevanten Bodeneigenschaften liegen sollte. Dies lässt sich u.a. auch darin begründen, dass bei bisherigen Synthesestudien keine Unterschiede in den THG-Emissionen von beispielsweise Erd- und Mulmniedermooren gefunden wurden (TIEMEYER et al. 2016).

Die Moorwasserstände sind entscheidend für die THG-Emissionen (z.B. EVANS et al., 2021) und bilden somit derzeit die Grundlage für die Berechnung der CO₂- und CH₄-Emissionen im THG-Inventar (TIEMEYER et al., 2020). Neben der Entwässerung durch Rohr- und Grabendränung – zu der keine deutschlandweiten Daten vorliegen – und Maßnahmen zur Wiedervernässung spielt die hydrogeologische Einbettung in die Landschaft eine zentrale Rolle. Offensichtlichster Punkt ist hier die Unterscheidung zwischen Standorten mit Hoch- bzw. Niedermoorgeneese, d.h. die Frage nach einer Speisung ausschließlich aus Niederschlagswasser oder auch aus Grund- und Oberflächenwasser.

BECHTOLD et al. (2014) zeigten in ihrem Modell, dass der Standorttyp nach ROßKOPF et al. (2015) nach der Landnutzungskategorie der zweitwichtigste Parameter für die Erklärung von Moorwasserständen war. Niedrigere Moorwasserstände waren demnach eher in Niedermoorböden ohne Anbindung an Oberflächengewässer zu finden. Auch weitere organische Böden zeigten niedrigere Wasserstände als Hochmoorböden oder Niedermoorböden mit Gewässeranbindung. Zudem erwies sich das Substrat an der Moorbasis als wichtiger Treiber: Standorte, die mit Mudden oder Festgestein unterlagert sind, hatten tendenziell höhere Moorwasserstände als solche mit Lockergestein. Das Vorhandensein von Mudden lässt auf die Möglichkeit der Genese bestimmter hydrogenetischer Moortypen (z.B. Auenüberflutungs- oder Verlandungsmoore) und damit auf die spezifische Einbindung in die Landschaft schließen. Zum anderen sind mit Lockergestein unterlagerte Standorte aufgrund der hohen Leitfähigkeit der Substrate tendenziell noch stärker von Veränderungen der Hydrologie im Einzugsgebiet (z.B. Entwässerungsmaßnahmen, Wasserentnahme) beeinflusst. Entsprechend dieser Zusammenhänge und bisherigen Erfahrungen (BECHTOLD et al., 2014) werden Informationen zum Vorkommen von Mudden und zum unterlagernden Substrat in die Kulisse organischer Böden übernommen.

Auch die anthropogene Umgestaltung des Bodenprofils hat Auswirkungen auf die Standorthydrologie. Die Anlage von Tiefumbruchböden z.B. hatte nicht nur die Verbesserung der Befahrbarkeit zum Ziel, sondern diente auch der Förderung der Entwässerung, d.h. es wurde angenommen, dass die Sandbalken aufgrund ihrer hohen hydraulischen Leitfähigkeit entwässernd wirken, während die Torfbalken feucht bleiben (GÖTTLICH, 1990). Durch das Tiefpflügen wurden somit eventuell vorhandenen Stauhorizonte z.B. aus Schwarztorf zerstört und eine Anbindung an tiefere Grundwasserleiter geschaffen. Bei tiefen regionalen Grundwasserständen ist somit von einer deutlichen Auswirkung auf die Moorwasserstände auszugehen. Neben den Auswirkungen auf Standorthydrologie und Nutzungsoptionen (vermutlich erhöhte Tragfähigkeit auch unter nasseren Bedingungen) sind die THG-Emissionen dieser Standorte noch unklar (Kapitel 1.1.2), sodass die Information, ob es sich um einen Tiefumbruchboden handelt, ebenfalls in die Kulisse übernommen wurde.

Neben Unterschieden in den Moorwasserständen haben auch Bodeneigenschaften einen Einfluss auf die Höhe der THG-Emissionen. Dabei sind insbesondere die Vorräte an C_{org} und an Stickstoff (N) von Interesse. Beispielweise haben TIEMEYER et al. (2016) gezeigt, dass die belüfteten N-Vorräte, also der über dem mittleren Moorwasserstand befindliche N-Vorrat in dem ungesättigten Teil des Torfkörpers, ein wichtiger Erklärungsparameter für die Höhe der CO_2 -Emissionen sind. Die aktualisierte Kulisse organischer Böden enthält keine Parametrisierung der Trockenrohddichte oder der C_{org} - bzw. N-Gehalte, schafft jedoch die Grundlagen dafür, dass dies in späteren Arbeitsschritten geschehen kann. Zentral für die Berechnung von Stoffvorräten sind Kenntnisse zur Torfmächtigkeit. Weiterhin kann die Torfmächtigkeit auch für die Berechnung von „effektiven Moorwasserständen“ eingesetzt werden, d.h. Wasserstände unterhalb der Torfbasis werden der Torfmächtigkeit gleichgesetzt. In einer umfangreichen Datensynthese haben EVANS et al. (2021) gezeigt, dass die effektiven Moorwasserstände der zentrale Parameter für die Höhe der CO_2 - und CH_4 -Emissionen sind.

Zusätzlich zur Torfmächtigkeit haben auch die Genese sowie das Vorhandensein von mineralischen Überdeckungen, Tiefumbruch und abmoorigen Horizonten, einen Einfluss auf die C_{org} - bzw. Stickstoffvorräte, da diese sowohl Trockenrohddichten als auch Stoffgehalte beeinflussen. Hochmoorböden haben generell weitere C:N-Verhältnisse als Niedermoorböden (WITTNEBEL et al., 2021) und bei gleichen Torfmächtigkeiten und Trockenrohddichten somit geringere Stickstoffvorräte als Niedermoorböden. Dies wurde bereits als Erklärung für niedrigere CO_2 -Emissionen von Hochmoorstandorten herangezogen (TIEMEYER et al., 2016); neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass intensiv genutzte Hochmoorgrünländer ebenfalls sehr hohe CO_2 -Emissionen aufweisen können (PAGENKEMPER et al., 2022; WEIDEVELD et al., 2021).

Bei den mineralischen Überdeckungen ist ebenfalls die Mächtigkeit und der sich daraus ergebende C_{org} -Vorrat relevant für die Höhe der CO_2 -Emissionen (PAGENKEMPER et al., 2022). Weil für organische Böden mit Überdeckungen > 40 cm keine Daten zu THG-Emissionen vorliegen (siehe Kapitel 1.1.2), müssen verschiedene Mächtigkeitsstufen der Überdeckung im Datensatz erkennbar bleiben. Daneben kann sich das Substrat (sandige

vs. bindige Überdeckungen mit unterschiedlichen hydraulischen Leitfähigkeiten) auf die Standorthydrologie auswirken.

Schließlich haben die Bodeneigenschaften Auswirkungen auf mögliche Landnutzungsoptionen bzw. Optionen für THG-Minderungsmaßnahmen. In diesem Kontext werden neben Restaurierung der Moorökosysteme und unterschiedlichen Formen der Wasserstandsanehebung an Grünlandstandorten verschiedene Paludikulturen, d.h. Formen der produktiven Nutzung vernässter Moorböden, diskutiert (WICHTMANN et al., 2016). Während auf Hochmoorböden vor allem der Anbau von Torfmoosen als Gartenbausubstrat in Frage kommt (z.B. GAUDIG et al., 2018), gibt es für Niedermoorstandorte eine Reihe von Optionen u.a. zur Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen im Baubereich (NÄRMANN et al., 2021). Überdeckte und auch abmoorige Standorte weisen vermutlich aufgrund höherer Trockenrohdichten im Oberboden eine höhere Tragfähigkeit als tiefgründige echte Moorböden auf, was z.B. eine Beweidung erleichtern könnte.

Entsprechend dieser Überlegungen wurden folgende **Merkmale** der organischen Böden aus den Kartenwerken extrahiert und klassifiziert:

- Genese bzw. (Torf-) Substrat
- Vorhandensein und Eigenschaften mineralischer Überdeckungen
- Torfmächtigkeit
- Vorhandensein und Substrat abmooriger Horizonte (Abmoorigkeit)
- Vorhandensein eines Tiefumbruchs
- Unterlagernde Mudden unter Torf bzw. abmoorigen Horizonten
- Unterlagerndes mineralisches Substrat unter Torf bzw. Mudden

Diese Merkmale wurden jeweils in verschiedenen Ausprägungen für alle Länderdatensätze einheitlich klassifiziert (Kapitel 2.2.1 bis 2.2.7). Alle Flächen lassen sich so durch die jeweils eindeutigen Kürzel der Merkmalsausprägungen beschreiben und durch Kombination aller Merkmale können generalisierte Profilaufbauten abgeleitet werden (Kapitel 2.2.8).

Der Großteil der Länderdatensätze enthält Informationen zu allen Merkmalsausprägungen. Einige Angaben oder die Informationen sind jedoch uneindeutig oder fehlen (Tabelle 3). In diesen Fällen wurde jeweils eine unbekannte Ausprägung angenommen. Informationen zu Hoch- bzw. Niedermoorogenese lagen in allen Datensätzen mit Ausnahme der Bodenschätzung und einem Teildatensatz in Hamburg vor. Muddeböden wurden dagegen nur in drei Datensätzen ausgewiesen (Niedersachsen, Sachsen und Schleswig-Holstein). Überdeckte organische Böden werden in fast allen Bundesländern dargestellt, wobei Informationen zur Mächtigkeit und zum Substrat nicht immer vorhanden sind. Auch abmoorige Böden sind fast durchgängig zu finden, jedoch nicht immer mit Angabe eines Substrats. Tiefumbruchböden werden lediglich in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen ausgewiesen, wo diese Maßnahmen auf Mooren in großem Stil durchgeführt wurden. Informationen zur Torfmächtigkeit sind zwar fast flächendeckend vorhanden, werden allerdings hauptsächlich kategorisiert und nicht numerisch beschrieben. Angaben zu unterlagernden Mudden und mineralischen Substraten sind in den meisten Datensätzen zu finden oder mit Hilfe von Expert*innen der jeweiligen Bundesländer ermittelt bzw. präzisiert worden. Hierbei ist die Betrachtungstiefe der Kartenwerke limitierend: In Bodenschätzung und Forstlicher Standortkartierung ist diese üblicherweise maximal 100 cm, in den typischen offiziellen Bodenkarten meist 200 cm. Entsprechend sind die Angaben zu den Torfmächtigkeiten meistens auf diese maximale Tiefe beschränkt und Angaben zu unterlagernden Substraten fehlen für sehr tiefgründige Standorte. In einigen Fällen konnten durch die Expertise der Bodenexpert*innen der Bundesländer, durch die Verwendung von Zusatzinformationen, weitere Merkmalsausprägungen präzisiert werden (siehe Tabelle 3). So wurden z.B. auch Informationen zu unterlagernden Mudden oder mineralischen Substraten unter extrem mächtigen Moorböden (> 200 cm) integriert.

Das Vorgehen bei der Klassifizierung, d.h. die Zuweisung von Merkmalsausprägungen zu den Legendeneinheiten der Kartenwerke, ist in dem bereitgestellten Datensatz (WITTNEBEL et al., 2023) für die einzelnen Bundesländer im Detail beschrieben und wurde iterativ mit den zuständigen Behörden der Bundesländer abgestimmt (Abbildung 2). Die Übersetzungsschlüssel zur Ableitung der Merkmalsausprägungen aus den Legendeneinheiten der Länderdaten sind auf dem Repository OpenAgrar (<https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>) als *.csv-Dateien sowie ausführlich im zusätzlich bereitgestellten Textdokument beschrieben und frei verfügbar.

Tabelle 2: Übersicht der Anzahl und des Aufbaus der Legendeneinheiten der verwendeten Datensätze für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland nach der Bearbeitung in GIS.

BL	Datensatz	Anzahl Legendeneinheiten	Aufbau Legendeneinheiten	Maximale Betrachtungstiefe
BB	Referenzierte Moorkarte (2021); Bodentypen und Substrate	3739 (durch räumlichen Verschnitt beider Datensätze; einzeln: Bodentypen 26, Substrate 2535)	Bodentypen: Kurzzeichen und Bezeichnung nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5); Substrate: Substrattypen nach KA5	unterschiedlich in den Grunddaten
BE	Moorkartierung; Moorteilflächen und Aufnahmepunkte	439 (durch Kombination von Flächen und Punktinformatoren; nur Moorteilflächen 52)	Moorteilflächen: Bodentypkürzel und Bodenklasse nach KA5 Punktinformation: Substrattypen nach KA5, Torfmächtigkeit und Muddemächtigkeit numerisch	Bei Bohrungen meist bis Moorbasis (bis > 700 cm); Flächen-daten ca. 200 cm
BW	BK50	190	Kartenkurzlegende (verbale Bodentypen und Substrate), Bodentypen nach KA5 mit länderspezifischer Nomenklatur (verbal), Ausgangsmaterial (verbal), Bodenarten (KA4, Kürzel) von max. 3 Schichten, Mächtigkeiten von max. 2 Schichten (Bereiche)	200 cm
BY	MBK25	20	Bodengesellschaften oder -komplexe aus Bodentypen und Substraten (verbal); zusätzliche Referenzprofile (unveröffentlicht)	200 cm
BY	BS	19	Bodenart des Klassenzeichens	100 cm
HB	BK25	44	Bodentypkürzel und -Bezeichnung mit Mächtigkeitsstufe in Anlehnung an KA nach niedersächsischer Nomenklatur	200 cm
HE	BFD50	20	Leitböden und Begleitböden (verbal, ohne Substrate); zusätzliche nutzungsdifferenzierte Modellprofile	200 cm
HH	Moorkartierung; MBO und ONT	MBO: 717 ONT: 36	MBO: Bodentyp/Bodenklasse (verbal), Beschreibung des Substrats, Torfmächtigkeit (numerisch); ONT: Torfmächtigkeit unter max. 90 cm mineralischer Überdeckung (numerisch)	MBO: 780 cm ONT: 100 cm
MV	KBK25_KB	27	Beschreibung als Kürzel der Bodenform (Bodentypen und Substraten) nach KA5 als Bodengesellschaften mit verbaler Einordnung der jeweiligen Flächenrelevanz; zusätzliche nutzungsdifferenzierte Idealprofile je Legendeneinheit	200 cm

BL	Datensatz	Anzahl Legendeneinheiten	Aufbau Legendeneinheiten	Maximale Betrachtungstiefe
NI	BK50	1075 (durch Kombination von Flächen und Profilinformatio- nen; nur Flächendatensatz: 185)	Kategorie organischer Böden (verbal beschrieben), Bodentypkürzel mit Bezeichnung der Entwicklungstiefe in Anlehnung an KA nach niedersächsischer Nomenklatur, Torfmächtigkeit (numerisch); zusätzlich Bodenartlicher Profiltyp nach KA5 (generalisierte Bodenartenschichtung)	200 cm
NW	BK50	477	Bodentyp (verbal) sowie spezifische Bodeneinheit, anhand derer die Klassifizierung durch den Geologischen Dienst NRW durchgeführt wurde	200 cm
RP	BFD50	24	Bodenformengesellschaften (verbal), Bodentypkürzel und Substrattyp Kürzel nach KA5	200 cm
SH	Entwurf zur BK50	1710	Bodentypkürzel nach KA5 (teilweise länderspezifisch), Kürzel der Substrattypen und Geogenese nach KA5	200 cm
SL	BÜK100	2	Leitböden und Substrate (verbal)	200 cm
SN	BK50	49	Bodentyp und Substrattyp (Kürzel und verbal) nach KA5	200 cm
SN	BKkonz	86	Bodentypkürzel nach KA4, z.T. als Gesellschaft mit rel. Flächenanteil als vorgestellte Ziffer, Substrattypen nach KA4, Torfmächtigkeit gruppiert	ca. 100 cm
SN	BS	17	Bodenart des Klassenzeichens	100 cm
ST	VBK50	28	Bodentyp (Kürzel und verbal), Substrattypkürzel, Beschreibung der Grobbodenart unterteilt in zwei Schichten, nach KA5	200 cm
TH	BGKK100	6	Legendenkürzel mit zusätzlicher Beschreibung des zugehörigen Profilaufbaus der Leitbodenform (Bodentypen nach KA4, Substrate, Schichtmächtigkeit)	ca. 100-200 cm
TH	FSK	131	Standorteinheit nach FSK, Typ (Moor vs. Anmoor) sowie Mächtigkeit der organischen Horizonte (numerisch) ermittelt und bereitgestellt durch ThüringenForst	ca. 100 cm

BB: Brandenburg; BE: Berlin; BW: Baden-Württemberg; BY: Bayern; HB: Bremen; HE: Hessen; HH: Hamburg; MV: Mecklenburg-Vorpommern; NI: Niedersachsen; NW: Nordrhein-Westfalen; RP: Rheinland-Pfalz; SH: Schleswig-Holstein; SL: Saarland; SN: Sachsen; ST: Sachsen-Anhalt; TH: Thüringen; BK50: Bodenkarte 1:50.000; MBK25: Moorbodenkarten Bayern 1:25:000; BS: Bodenschätzung; BK25: Bodenkarte 1:25:000; BFD50: Bodenflächendaten 1:50.000; MBO: Moorbodenoberfläche; ONT: Oberflächennahe Torfe; KBK25_KB: Konzeptbodenkarte 1:25.000, Auszug der kohlenstoffreichen Böden; BÜK100: Bodenübersichtskarte 1:100.000; BKkonz: bodenkundliche Konzeptkarte; VBK50: Vorläufige Bodenkarte 1:50.000, BGKK100: Bodengeologische Konzeptkarte von Thüringen 1:100.000, FSK: Forstliche Standortkartierung

Tabelle 3: Vorhandensein von Informationen zu den Klassifizierungsmerkmalen in den Datensätzen der Bundesländer (BL). Min.: mineralisches.

BL	Datensatz	Genese	Mudde- böden	Mineralische Überdeckungen	Torfmächtig- keit	Abmoorig- keit	Tiefumbruch- böden	Unterlagernde Mudden	Unterlagerndes min. Substrat
BB	Referenzierte Moorkarte (2021); Bodentypen und Substrate	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	nein	ja	ja
BE	Moorkartierung; Moorteilflächen und Aufnahmepunkte	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat (zum Teil)	ja, zum Teil	ja, inkl. Substrat	nein	ja, zum Teil	ja, zum Teil
BW	BK50	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	nein	ja, zum Teil	ja, zum Teil
BY	MBK25	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat ¹	ja ¹	ja, inkl. Substrat	nein	ja ¹	ja ¹
BY	BS	nein	nein	ja, nur Substrat	nein	nein ²	nein	nein	ja, zum Teil
HB	BK25	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja, zum Teil	ja, ohne Substrat	nein	nein	nein
HE	BFD50	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	nein	ja ¹	ja ¹
HH	Moorkartierung; MBO und ONT	MBO: ja ONT: nein	MBO: nein ONT: nein	MBO: nein, nur anstehende Torfe ONT: ja, nur Mächtigkeit	MBO: ja ONT: ja	MBO: ja ONT: nein	MBO: nein ONT: nein	MBO: ja, zum Teil ONT: nein	MBO: ja, zum Teil ONT: nein
MV	KBK25_KB	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja ¹	ja, inkl. Substrat	nein	ja ¹	ja ¹
NI	BK50	ja	ja	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	ja	ja	ja
NW	BK50	ja ¹	nein ¹	ja, Mächtigkeit und Substrat ¹	ja ¹	ja, inkl. Substrat ¹	ja ¹	ja ¹	ja ¹

BL	Datensatz	Genese	Mudde- böden	Mineralische Überdeckungen	Torfmächtig- keit	Abmoorig- keit	Tiefumbruch- böden	Unterlagernde Mudden	Unterlagerndes min. Substrat
RP	BFD50	ja ¹	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat ¹	ja ¹	ja, inkl. Substrat ¹	nein	ja ¹	ja ¹
SH	Entwurf zur BK50	ja	ja	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	nein	ja	ja
SL	BÜK100	ja	nein	nein	nein (unsicher)	ja, inkl. Substrat	nein	nein	nein (unsicher)
SN	BK50	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	nein	ja	ja
SN	BKkonz	ja	ja	nein	ja	ja, inkl. Substrat	nein	ja	ja
SN	BS	nein	nein	ja, nur Substrat	nein	nein ²	nein	nein	ja, zum Teil
ST	VBK50	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	nein	ja	ja
TH	BGKK100	ja ¹	nein	ja, ohne Mächtigkeit und Substrat ¹	ja ¹	ja, inkl. Substrat ¹	nein	ja ¹	ja ¹
TH	FSK	ja	nein	nein	ja ¹	ja, inkl. Substrat ¹	nein	nein	ja

¹: mit Hilfe von Experteneinschätzungen und/oder unveröffentlichten Zusatzinformationen des Landesamtes

²: Abmoorigkeit in der Bodenschätzung nur bei Mischbodenarten interpretiert.

BB: Brandenburg; BE: Berlin; BW: Baden-Württemberg; BY: Bayern; HB: Bremen; HE: Hessen; HH: Hamburg; MV: Mecklenburg-Vorpommern; NI: Niedersachsen; NW: Nordrhein-Westfalen; RP: Rheinland-Pfalz; SH: Schleswig-Holstein; SL: Saarland; SN: Sachsen; ST: Sachsen-Anhalt; TH: Thüringen;

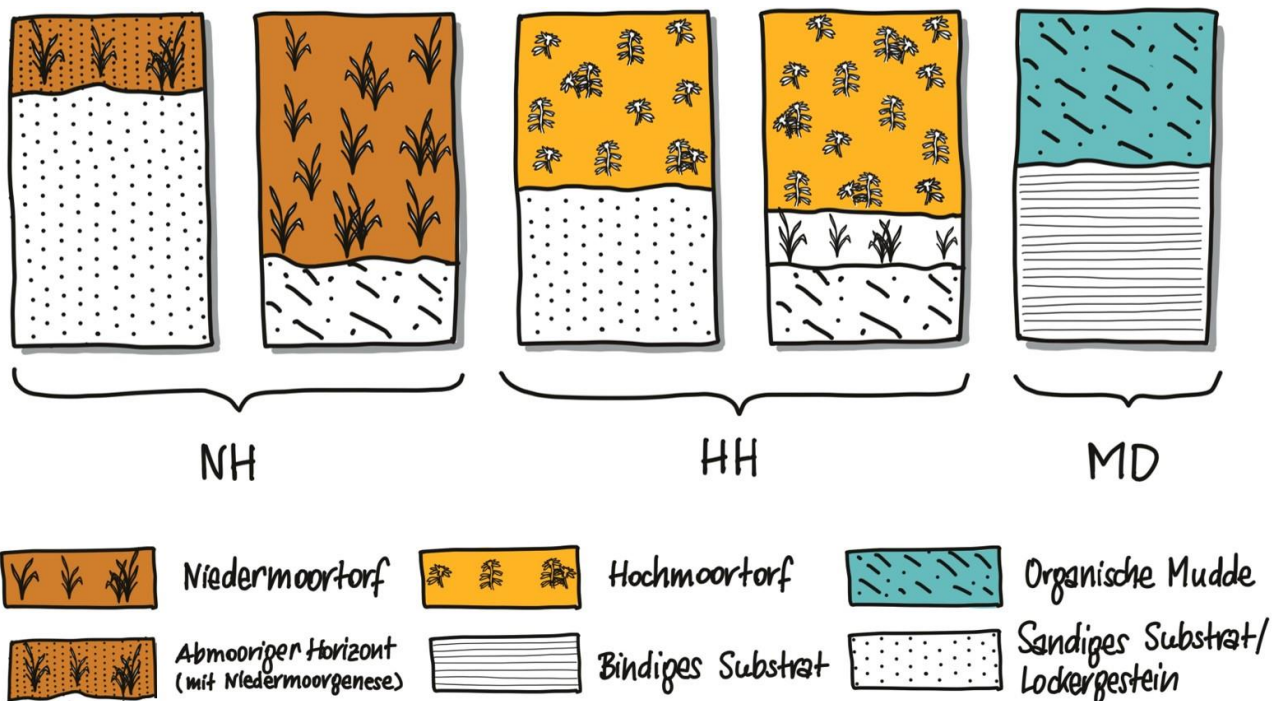
BK50: Bodenkarte 1:50.000; MBK25: Moorbodenkarten Bayern 1:25:000; BS: Bodenschätzung; BK25: Bodenkarte 1:25:000; BFD50: Bodenflächendaten 1:50.000; MBO: Moorbodenoberfläche; ONT: Oberflächennahe Torfe; KBK25_KB: Konzeptbodenkarte 1:25.000, Auszug der kohlenstoffreichen Böden; BÜK100: Bodenübersichtskarte 1:100.000; BKkonz: bodenkundliche Konzeptkarte; VBK50: Vorläufige Bodenkarte 1:50.000, BGKK100: Bodengeologische Konzeptkarte von Thüringen 1:100.000, FSK: Forstliche Standortkartierung

2.2.1 Merkmal 1: Genese

Das Merkmal **Genese** gibt das dominierende Torfsubstrat der Legendeneinheit und damit einen stark vereinfachten Hinweis auf die Moorgenese wieder. In Abbildung 3 sind verschiedene Bodenprofile mit unterschiedlichen Genesen schematisch dargestellt. Es wurde nach den Torfarten Hoch- bzw. Niedermoortorf unterschieden, wobei Böden aus Übergangsmoortorfen entsprechend der KA5 als Niedermoortorf klassifiziert wurden. Daten zu weiteren Substraten (z.B. Radizellen- oder Schilftorfe) liegen nur sehr vereinzelt vor und wurden daher für die Zwecke dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Wenn im Profilverlauf Hoch- über Niedermoortorf liegt und in der Legendeneinheit des Datensatzes ein Hochmoorboden vermerkt ist, wird für entsprechende Flächen das Merkmal Genese als Hochmoortorf klassifiziert. Ein Substratwechsel zwischen Hoch- und Niedermoortorf kann durch das Klassifikationsschema entsprechend nicht abgebildet werden.

Abmoorige Horizonte werden durch das Merkmal der Abmoorigkeit (Kapitel 2.2.4) charakterisiert und werden nicht durch das Merkmal Genese widerspiegelt, da abmoorige Horizonte sowohl aus Niedermoor- als auch aus Hochmoortorf entstanden sein können. Falls das Ausgangssubstrat der abmoorigen Horizonte bekannt oder abzuleiten war, wurde es durch das Merkmal Genese entsprechend gekennzeichnet. In den meisten Fällen wurde eine Niedermoorgenese angenommen.

Abbildung 3: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Genesen (NH: Niedermoortorf, HH: Hochmoortorf, MD: organische Mude). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.



Quelle: Thünen-Institut

In einigen Länderdatensätzen treten in geringem Flächenanteil Mudeböden aus organischen Mudden auf, die mit einer eigenständigen Genese gekennzeichnet wurden. Böden aus ausschließlich mineralischen Mudden wurden nicht berücksichtigt, da diese auf Basis des C_{org} -Gehaltes nicht zweifelsfrei als organische Böden klassifiziert werden können. Unter Torfen befindliche Mudden wurden durch das Merkmal „Unterlagernde Mudden“ erfasst (Kapitel 2.2.6).

Sofern die Torfart nicht bekannt war, wurde dies so vermerkt („X“ steht bei allen Merkmalen für unbekannte Merkmalsausprägungen).

Ausprägungen des Merkmals „Genese“ in der aktualisierten Kulisse organischer Böden:

- HH: Hochmoortorf
- NH: Niedermoortorf (inkl. Übergangsmoortorf)
- XH: Torfsubstrat unbekannt
- MD: organische Mudde (nur wenn einziges organisches Substrat im Profil)

2.2.2 Merkmal 2: Mineralische Überdeckung

Mineralische Überdeckungen enthalten i.d.R. weniger als 15 % OBS und liegen über organischen Böden, d.h. nicht nur über typischen Hoch- und Niedermoorböden, sondern je nach Länderdatensatz auch über bspw. Anmooren, Moorgleyen oder organischen Mudden. In Fällen von Marschenablagerungen kann der OBS-Gehalt höher sein. Es wurden sowohl natürliche (z.B. durch marine Überschlickung) als auch anthropogene (z.B. Sanddeckkultur) Überdeckungen berücksichtigt, jedoch nicht funktional bzw. genetisch unterschieden, da dies keine Relevanz für die THG-Emissionen hat und die genaue Angabe nur selten eindeutig in den Daten zu finden ist.

Die Überdeckungen wurden nach Mächtigkeit und mineralischem Substrat klassifiziert (vereinfacht in sandig oder bindig) (Abbildung 4). Die Mächtigkeitsstufen wurden an die Kriterien für Substratwechsel nach KA5 (AD-HOC-AG BODEN, 2005) angelehnt, da ein Großteil der Länderdatensätze diese Kriterien zur Beschreibung von mineralischen Überdeckungen nutzt. Eine Ausnahme stellt die BK50 für Niedersachsen dar, nach der flache Überdeckungen < 40 cm mächtig sind. Prinzipiell wäre es wünschenswert, die Klassifikation an der Datenverfügbarkeit bzw. perspektivisch auch an möglichen Unterschieden in den THG-Emissionen zu orientieren. Bisher wurden nur THG-Daten zu Überdeckungen bis 40 cm erhoben (Kapitel 1.1.2), so dass mächtig überdeckte Böden nicht repräsentativ abgebildet werden, da diese eine Deckschicht von 30 bis 70 cm aufweisen und die THG-Emissionen je nach Moorwasserständen ab einer gewissen Deckschichtmächtigkeit möglicherweise abnehmen. Eine entsprechende Klassifikation war aber aufgrund der üblicherweise verfügbaren Informationen aus den Länderdatensätzen nicht möglich.

Bei Legendeneinheiten mit tiefumgebrochenen Moorböden (Kapitel 2.2.5) wurde stets eine mineralische Überdeckung von 30 cm Mächtigkeit (entspricht DK2) angenommen. In wenigen Fällen wurden Legendeneinheiten mit Mudden über Torfen ausgewiesen und diese als bindige Überdeckung klassifiziert. Generell wurden nur Überdeckungen von weniger als 100 cm berücksichtigt; Moorböden mit mächtigeren Überdeckungen sind folglich nicht Teil der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland.

Moorböden mit abmoorigen Horizonten im oberen Teil des Profils (bspw. „reliktischer Anmoorgley über Niedermoor“) wurden nicht mit mineralischer Überdeckung klassifiziert, sondern mittels des Merkmals der Abmoorigkeit (Kapitel 2.2.4) erfasst.

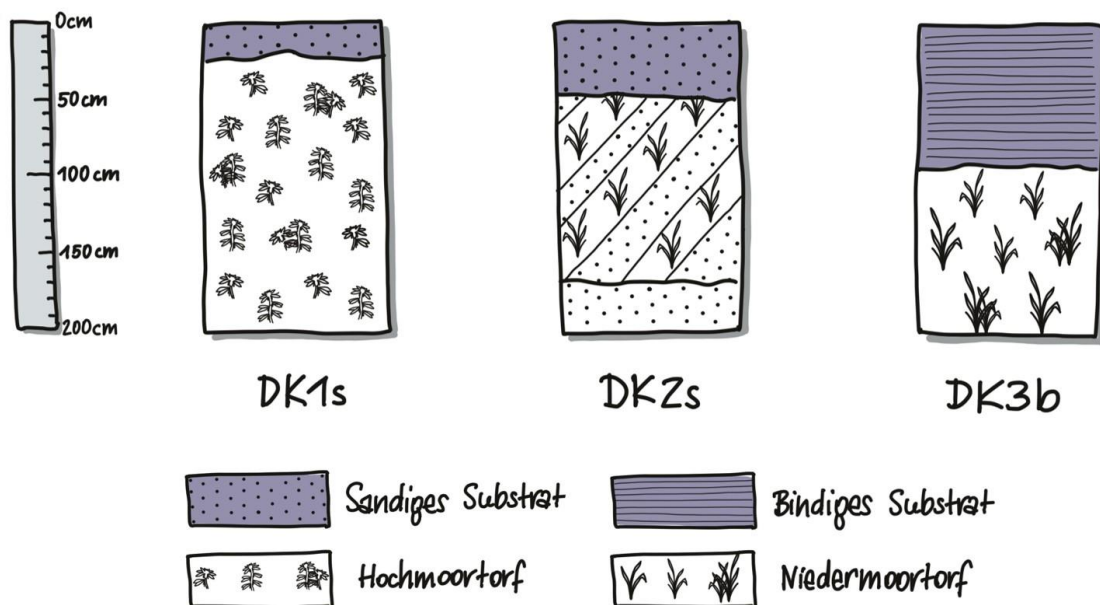
Ausprägungen des Merkmals „Mineralische Überdeckung“ in der aktualisierten Kulisse organischer Böden:

- DK0: Keine mineralische Überdeckung vorhanden
- Mächtigkeit der mineralischen Überdeckung
 - DK1: 10 bis < 30 cm (flach)
 - DK2: 30 bis < 70 cm (mächtig)
 - DK3: 70 bis < 100 cm (sehr mächtig)
 - DKX: Mächtigkeit unbekannt

- Substrat der Überdeckung: sandig [s], bindig [b], unbekannt [x]
 - Sandig: Hauptbodenart Sand (lehmgige, tonige, schluffige und reine Sande)
 - Bindig: alle anderen Bodenarten

Mögliche Ausprägungen sind folglich: DK0, DK1s, DK1b, DK1x, DK2s, DK2b, DK2x, DK3s, DK3b, DK3x, DKXs, DKXb, DKXx.

Abbildung 4: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen mineralischen Überdeckungen (DK1s: sandige Decke 10 bis < 30 cm, DK2s: sandige Decke 30 bis < 70 cm, DK3b: bindige Decke 70 bis < 100 cm). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.



Quelle: Thünen-Institut

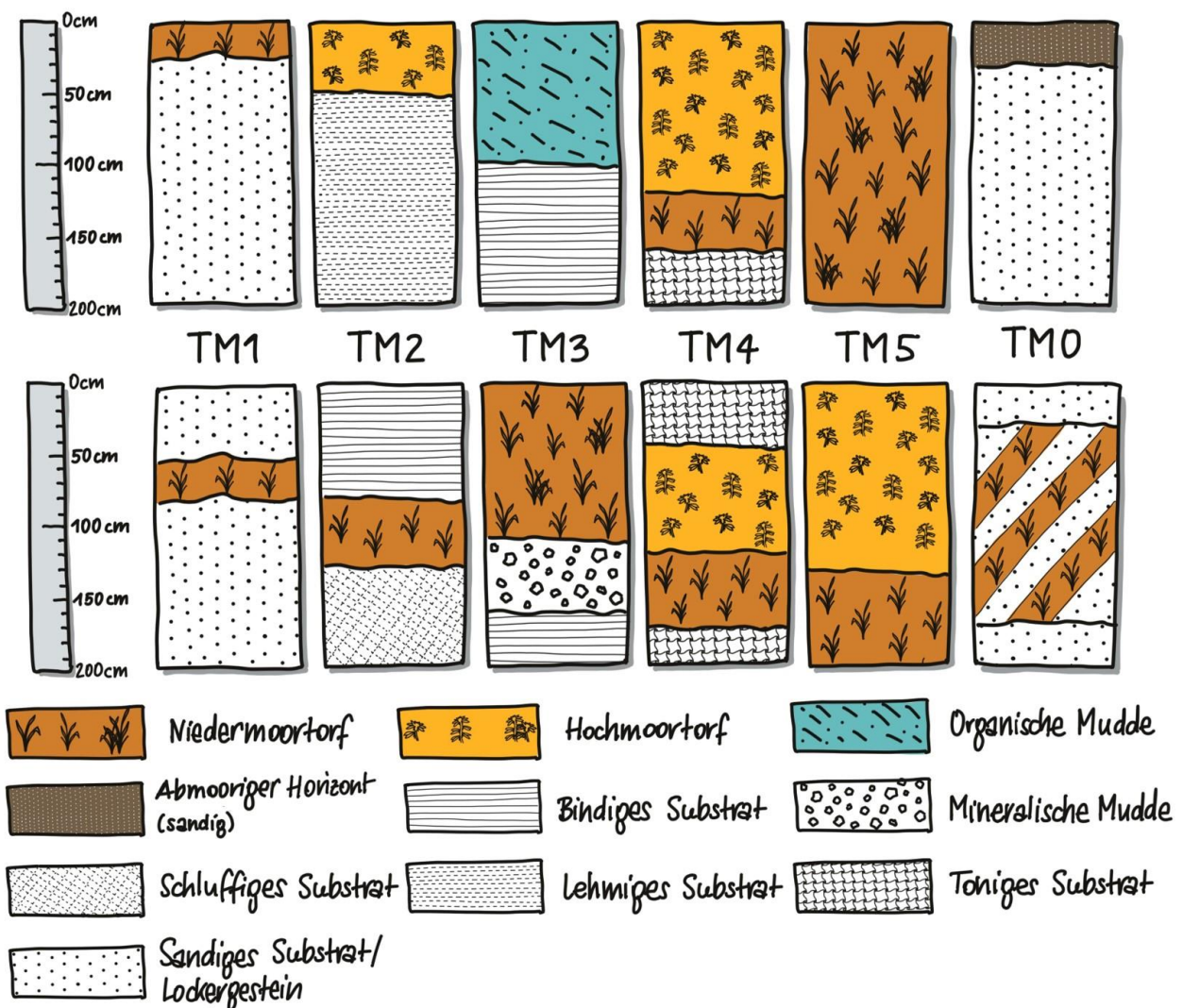
2.2.3 Merkmal 3: Torfmächtigkeit

Unter dem Merkmal der **Torfmächtigkeit** wird die Gesamtmächtigkeit von Torfschichten ($\geq 30\%$ OBS) oder organischen Mudden (bei reinen Muddeböden) verstanden. Mineralische Überdeckungen (Kapitel 2.2.2), abmoorige Horizonte (Kapitel 2.2.4) oder unterlagernde Mudden (Kapitel 2.2.6) wurden nicht miteinbezogen (Abbildung 5), sodass hier die Torfmächtigkeit nicht unbedingt der gesamten Moor- oder Profilmächtigkeit entspricht. Die Torfmächtigkeit wurde in an die KA5 angelehnte Stufen der Entwicklungstiefe (AD-HOC-AG BODEN, 2005) gruppiert, da in vielen Datensätzen Informationen zu Substraten nur in dieser Form, aber keine numerischen Angaben enthalten sind (Tabelle 2). Sofern nur abmoorige Horizonte (15 bis < 30 % OBS) oder Böden mit Tiefumbruch angegeben waren, wurde die Stufe TM0 ausgewiesen. Die Stufe TM1, also flache (10 bis < 30 cm) Torfe, entspricht den Moorgleyen. Die Betrachtungstiefe in Bodenkarten entspricht meist 200 cm und wurde daher als die größte Stufe in den Ausprägungen festgelegt. Je nach Betrachtungstiefe oder Genauigkeit der Informationen in den Bodendaten (Tabelle 2, Tabelle 3), kann es sich jedoch um Mindestmächtigkeiten handeln und die reale Torfmächtigkeit deutlich höher sein.

Ausprägungen des Merkmals „Torfmächtigkeit“ in der aktualisierten Kulisse organischer Böden:

- TM0: keine Torf- oder organische Muddeschicht vorhanden (Böden mit ausschließlich abmoorigen Horizonten oder Tiefumbruchböden)
- TM1: 10 bis < 30 cm (flach)
- TM2: 30 bis < 70 cm (geringmächtig)
- TM3: 70 bis < 120 cm (mächtig)
- TM4: 120 bis < 200 cm (sehr mächtig)
- TM5: ≥ 200 cm (extrem mächtig)
- TMX: Torfmächtigkeit unbekannt

Abbildung 5: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Torfmächtigkeiten (TM1: 10 bis < 30 cm, TM2: 30 bis < 70 cm, TM3: 70 bis < 120 cm, TM4: 120 bis < 200 cm, TM5: ≥ 200 cm, TM0: keine Torf- oder organische Muddeschicht vorhanden). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.



2.2.4 Merkmal 4: Abmoorigkeit

Der Begriff **Abmoorigkeit** existiert bisher noch nicht. Wir verstehen unter Abmoorigkeit das Vorhandensein von entweder sehr stark C_{org} -verarmten Horizonten über Torfen (bspw. „reliktischer Anmoorgley über Niedermoor“), ausschließlich anmoorigen Böden („Anmoorgley“, „Anmoor-Stagnogley“, „Anmoor“, usw.) oder perspektivisch auch die nach KA6 vorgesehenen Abmoorböden (EBERHARDT et al., 2019). Dabei spielt es keine Rolle, ob die entsprechend kartierten Böden entweder nie über dieses Stadium der C_{org} -Gehalte in Richtung Moorentwicklung herausgekommen sind oder es sich um mittlerweile extrem C_{org} -verarmte Torfe (Abmoore) handelt. Wir gehen davon aus, dass derzeit i.d.R. keine Anmoorbildung mehr stattfindet.

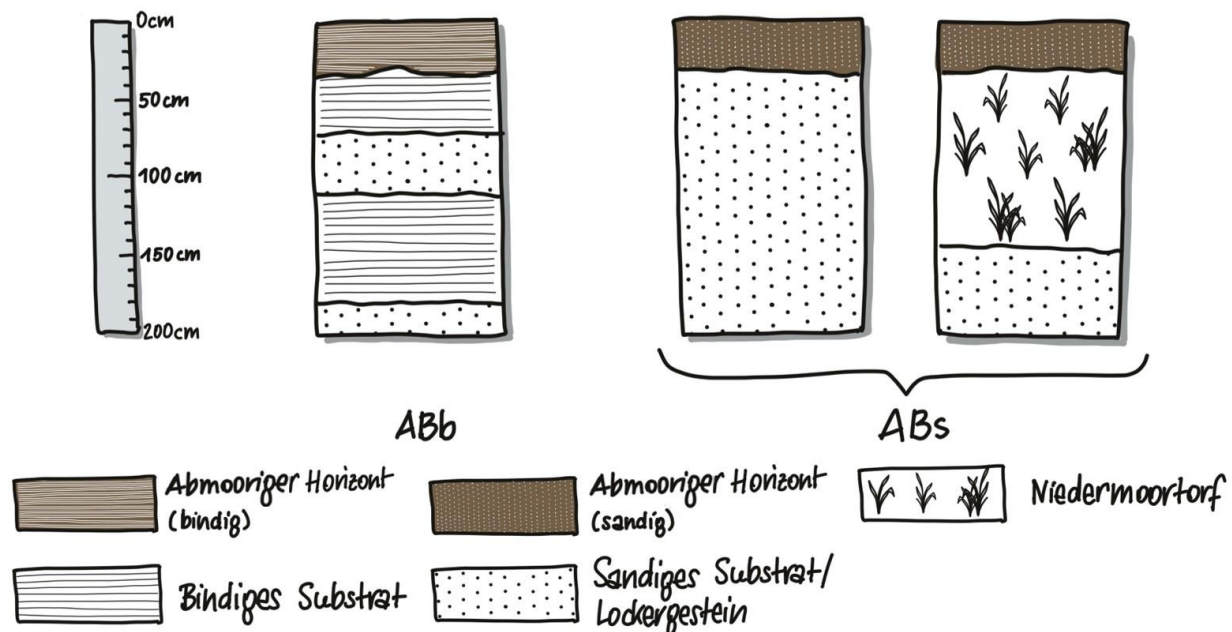
Das mineralische Substrat des abmoorigen Horizontes wurde vereinfacht in sandig oder bindig unterschieden (Abbildung 6). Sofern die ursprüngliche Torfart oder die genetischen Bedingungen bekannt waren, wurde diese als Genese (Kapitel 2.2.1) angegeben. Eine Unterscheidung verschiedener Mächtigkeitsstufen wurde nicht vorgenommen, da sich gezeigt hat, dass die meisten in den Kartenwerken ausgewiesenen Böden dieser Art abmoorige Horizonte von ca. 20 bis 40 cm Mächtigkeit aufwiesen.

Ausprägungen des Merkmals „Abmoorigkeit“ in der aktualisierten Kulisse organischer Böden:

- AB0: keine Abmoorigkeit vorhanden (als Bodentyp oder Oberboden)
- Mineralisches Substrat des abmoorigen Horizontes: sandig [s], bindig [b], unbekannt [x]
 - Sandig: Hauptbodenart Sand (lehmmige, tonige, schluffige und reine Sande)
 - Bindig: alle anderen Bodenarten

Kombinationsmöglichkeiten sind folglich: AB0, ABs, ABb, ABx.

Abbildung 6: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlicher Abmoorigkeit (ABb: abmooriger Horizont mit bindigem Substrat, ABs: abmooriger Horizont mit sandigem Substrat). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.



Quelle: Thünen-Institut

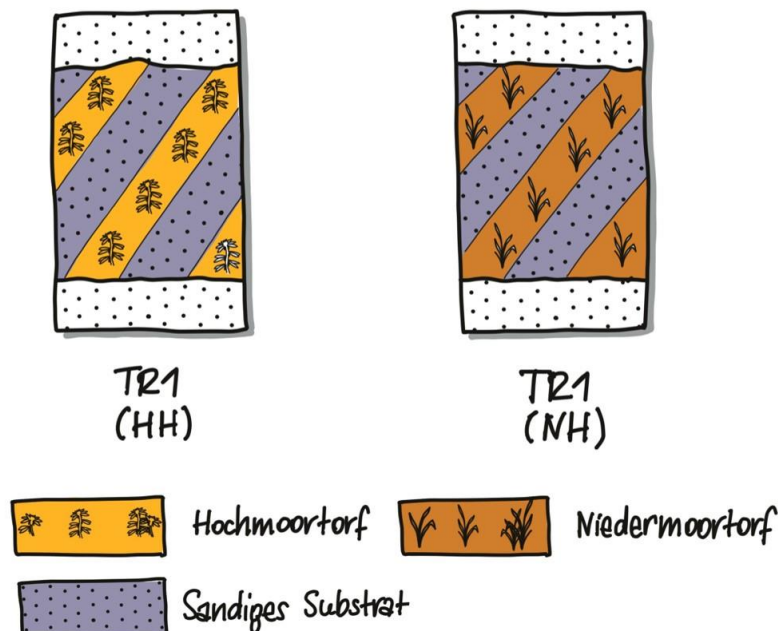
2.2.5 Merkmal 5: Tiefumbruch

Mit dem Merkmal **Tiefumbruch** werden alle Arten der komplett profilverändernden Maßnahmen an Hoch- und Niedermoorstandorten gekennzeichnet (Abbildung 7). In den Kartenwerken wurden überwiegend klassische Tiefumbrüche (Sandmischkulturen, Tiefflug-Sanddeckkulturen) ausgewiesen. In Niedersachsen sind zusätzlich Baggerkuhlungs- und Spittkulturböden aus Moor in der BK50 enthalten und wurden ebenfalls mit dem Merkmal „Tiefumbruch“ gekennzeichnet. Eine Unterscheidung nach Mächtigkeit des Umbruchs fand nicht statt, da die Angaben in den Karten unsicher bzw. nicht vorhanden sind und die Maßnahme in der Realität nicht unbedingt nach Vorgabe erfolgte, sodass eine große Variabilität in der Ausprägung von Umbruchtiefe und Balkenbreite zu finden ist (JACOBS et al., 2018). Üblicherweise wurde der Oberboden in den oberen 30 cm gepflügt und homogenisiert, sodass ein C_{org} -reicher, aber mineralischer Horizont oberhalb der Torf-Sand-Balken entstand. Daher wurde grundsätzlich auch eine mineralische Überdeckung ausgewiesen (Kapitel 2.2.2).

Ausprägungen des Merkmals „Tiefumbruch“ in der aktualisierten Kulisse organischer Böden:

- TR0: kein Tiefumbruch vorhanden
- TR1: Tiefumbruch vorhanden

Abbildung 7: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit Tiefumbruch (TR1: Tiefumbruch vorhanden, HH: Hochmoortorf, NH: Niedermoortorf). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.



Quelle: Thünen-Institut

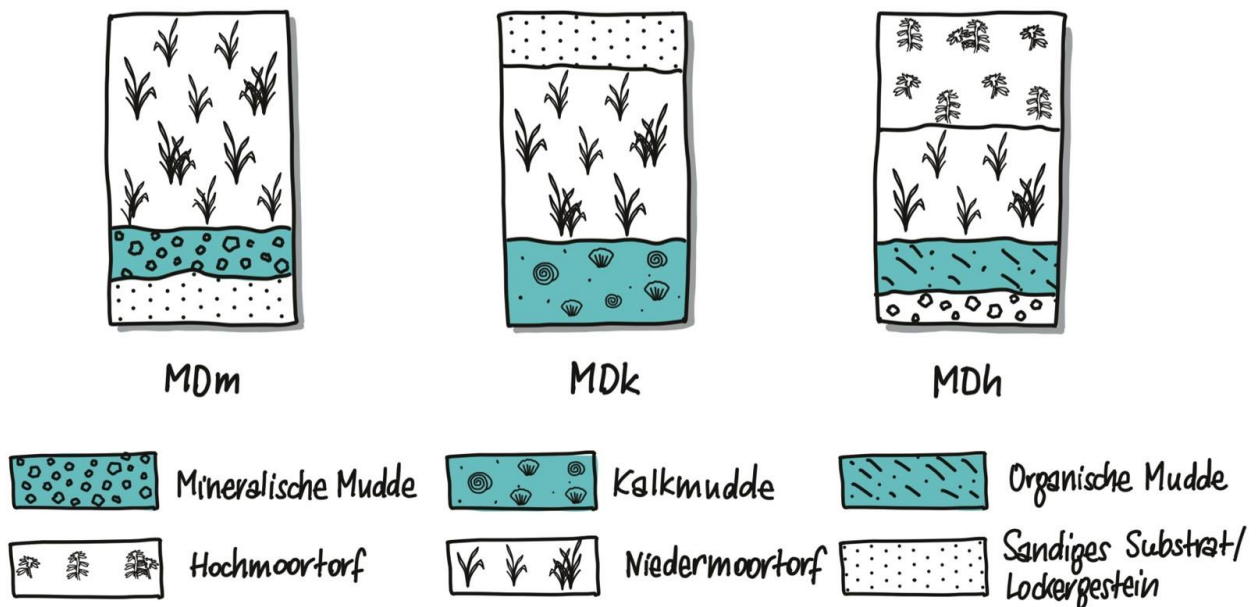
2.2.6 Merkmal 6: Unterlagernde Mudden

Das Merkmal der **unterlagernden Mudden** beschreibt ausschließlich das Vorhandensein von Mudden unterhalb von Torfen oder abmoorigen Horizonten. Eigens ausgewiesene Muddeböden aus organischen Mudden wurden durch das Merkmal *Genese* erfasst (Kapitel 2.2.1). Die Mächtigkeit von Mudden variiert sehr stark und ist für hydrologische Fragestellungen äußerst relevant, konnte jedoch aus den vorhandenen Kartenwerken nicht oder nur sehr ungenau entnommen werden. Zwischengelagerte Muddeschichten wurden nicht weiter berücksichtigt. Die in seltenen Fällen über Torfen an der Oberfläche auftretenden Muddeschichten (z.B. als rezente Ablagerungen an überstauten Standorten) wurden als bindige Decken klassifiziert (Kapitel 2.2.2). Wenn möglich, wurden in Anlehnung an die KA5 organische Mudden und organo-mineralische Mudden (hier vereinfacht: mineralische Mudden), sowie im speziellen Kalkmudden unterschieden (Abbildung 8). Sofern mehrere Mudden ausgewiesen wurden, wurde nur die direkt unter dem Torf befindliche klassifiziert.

Klassifikation des Merkmals „unterlagernde Mudden“ in der aktualisierten Kulisse organischer Böden:

- MD0: keine Mude unter Torf oder abmoorigem Horizont vorhanden
- MDk: Kalkmudde
- MDm: weitere mineralische Mude
- MDh: organische Mude
- MDx: Muddeart unbekannt

Abbildung 8: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Mudden unter Torfen (MDm: mineralische Mude, MDk: Kalkmudde, MDh: organische Mude). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.



Quelle: Thünen-Institut

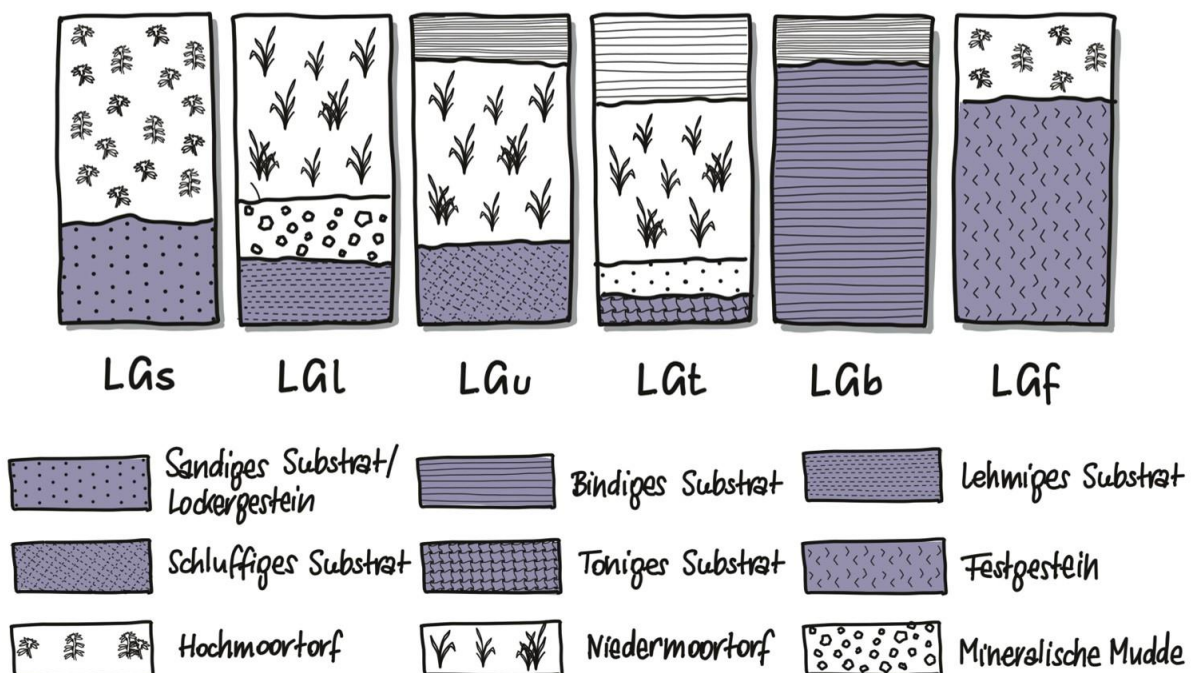
2.2.7 Merkmal 7: Unterlagerndes mineralisches Substrat

Zuletzt wurde das **mineralische Substrat unterhalb des Torfes bzw. der Mude** (Kapitel 2.2.6) betrachtet (Abbildung 9). Dabei wurde nach Hauptbodenart (Sand, Lehm, Schluff, Ton) bzw. Gesteinsart (Locker-/Festgestein) unterschieden. Sofern mehrere mineralische Substrate untereinander vorkamen, wurde mit zunehmender hydraulischer Leitfähigkeit entsprechend folgender Reihung priorisiert: Festgestein > Ton > Schluff > Lehm > Sand/Lockergestein. Dies bedeutet, wenn beispielsweise zusätzlich zu Sanden auch ein toniges Substrat als unterlagerndes Substrat angegeben war, wurde dies aufgrund der potenziellen Staufunktion als das relevanteste Substrat gewertet und das Unterlagernde entsprechend klassifiziert. Eine Besonderheit bildete der Datensatz für das Land Brandenburg, in welchem aufgrund der Vielzahl und Komplexität an Kombinationen immer das direkt unter dem Torf bzw. der Mude befindliche mineralische Substrat berücksichtigt wurde.

Klassifikation des Merkmals „Unterlagerndes mineralisches Substrat“ in der aktualisierten Kulisse organischer Böden:

- LGs: sandig (Hauptbodenart Sand; lehmige, tonige, schluffige und reine Sande) oder Lockergestein
- LGl: lehmig (Hauptbodenart Lehm)
- LGu: schluffig (Hauptbodenart Schluff; lehmige, tonige, sandige und reine Schluffe)
- LGt: tonig (Hauptbodenart Ton; lehmige, schluffige, sandige und reine Tone)
- LGb: bindig (sofern nicht eindeutig lehmig, schluffig oder tonig)
- LGf: Festgestein
- LGx: Substrat unbekannt

Abbildung 9: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen mineralischen Substraten unter Torfen, abmoorigen Horizonten oder Mudden (LGs: sandiges Substrat oder Lockergestein, LGl: lehmiges Substrat, LGu: schluffiges Substrat, LGt: toniges Substrat, LGb: bindiges Substrat, LGf: Festgestein). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.



2.2.8 Zusammenfassung und Beispiele der verwendeten Nomenklatur

In diesem Abschnitt wird das Harmonisierungskonzept anhand von Beispielen für Kombinationen der Merkmalsausprägungen illustriert und die Merkmalsausprägungen für eine kartographische und summarische Darstellung zu **Moorbodenkategorien** zusammengefasst. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der verwendeten Kürzel und deren Beschreibung je Merkmal.

Konkret umfasst die finale Kulisse insgesamt 612 Kombinationen aller 7 verwendeten Merkmalsausprägungen. Einige Beispiele dieser Kombinationen und ihre Interpretation in einen vereinfachten Profilaufbau sind in Abbildung 10 zu sehen.

Wenn nur die Merkmale Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, Abmoorigkeit und Tiefumbruch herangezogen werden, ergeben sich insgesamt 123 Kombinationen der Merkmale. Für die kartographische Darstellung der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland wurden die Geodaten anhand dieser 5 Merkmale in Anlehnung an WITTNEBEL et al. (2021) zusammengefasst. Diese **Moorbodenkategorien** wurden auch für die Auswahl der Standorte des Moorbodenmonitorings im Offenland genutzt:

- **Niedermoorböden:** alle Flächen aus Niedermoortorf oder aus unbekannter Torfart und ohne Überdeckung, ohne Tiefumbruch und nicht aus ausschließlich abmoorigen Horizonten
- **Hochmoorböden:** alle Flächen aus Hochmoortorf und ohne Überdeckung, ohne Tiefumbruch und nicht aus ausschließlich abmoorigen Horizonten
- **Moorfolgeböden:** alle Flächen mit ausschließlich abmoorigen Horizonten (keine zusätzlich auftretenden Torfe), Muddeböden sowie Moorböden mit Torfmächtigkeiten bis < 30 cm („Moorgley“), die ggf. auch mineralisch überdeckt sein können, aber ohne Tiefumbruch
- **Flach (< 30 cm) überdeckte Moorböden** (Ergebnisdarstellung: zusätzlich Trennung von überdeckten Nieder- und Hochmoorböden): alle Flächen mit flacher oder mit unbekannter Mächtigkeit der Überdeckung (größtenteils Daten der Bodenschätzung) (nur Moorböden; nicht überdeckte Anmoorgleye, Moorgleye o.Ä.), aber ohne Tiefumbruch
- **Mächtig (30 bis < 100 cm) überdeckte Moorböden** (Ergebnisdarstellung: zusätzlich Trennung von überdeckten Nieder- und Hochmoorböden): alle Flächen mit mächtiger oder sehr mächtiger Überdeckung (nur Moorböden; nicht überdeckte Anmoorgleye, Moorgleye o.Ä.), aber ohne Tiefumbruch
- **Tiefumbruchboden aus Moor** (tabellarische Ergebnisdarstellung: zusätzlich Trennung Tiefumbruchböden aus Nieder- und Hochmoortorfen): alle Flächen mit Tiefumbruch

Tabelle 4: Übersicht aller verwendeten Merkmale sowie deren Ausprägungen und Klassifikationen für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland.

Merkmal	Klassifikation - Kürzel	Klassifikation – Beschreibung
Genese	HH	Hochmoortorf
	NH	Niedermoortorf
	XH	Torfsubstrat unbekannt
	MD	Organische Mudde
Mineralische Überdeckung	DK0	keine mineralische Überdeckung vorhanden
	DK1s	Mächtigkeit 10 bis < 30 cm (flach), sandiges Substrat
	DK1b	Mächtigkeit 10 bis < 30 cm (flach), bindiges Substrat
	DK1x	Mächtigkeit 10 bis < 30 cm (flach), Substrat unbekannt
	DK2s	Mächtigkeit 30 bis < 70 cm (mächtig), sandiges Substrat
	DK2b	Mächtigkeit 30 bis < 70 cm (mächtig), bindiges Substrat
	DK2x	Mächtigkeit 30 bis < 70 cm (mächtig), Substrat unbekannt
	DK3s	Mächtigkeit 70 bis < 100 cm (sehr mächtig), sandiges Substrat
	DK3b	Mächtigkeit 70 bis < 100 cm (sehr mächtig), bindiges Substrat
	DK3x	Mächtigkeit 70 bis < 100 cm (sehr mächtig), Substrat unbekannt
	DKXs	Mächtigkeit unbekannt, sandiges Substrat
	DKXb	Mächtigkeit unbekannt, bindiges Substrat
DKXx	Mächtigkeit unbekannt, Substrat unbekannt	
Torfmächtigkeit	TM0	keine Torf- oder organische Muddeschicht vorhanden (Böden mit ausschließlich abmoorigen Horizonten oder Tiefumbruchböden)
	TM1	Mächtigkeit 10 bis < 30 cm (flach)
	TM2	Mächtigkeit 30 bis < 70 cm (geringmächtig)
	TM3	Mächtigkeit 70 bis < 120 cm (mächtig)
	TM4	Mächtigkeit 120 bis < 200 cm (sehr mächtig)
	TM5	Mächtigkeit ≥ 200 cm (extrem mächtig)
	TMX	Torfmächtigkeit unbekannt
Abmoorigkeit	AB0	Keine Abmoorigkeit vorhanden
	ABs	Abmooriger Horizont vorhanden, sandiges Substrat
	ABb	Abmooriger Horizont vorhanden, bindiges Substrat
	ABx	Abmooriger Horizont vorhanden, Substrat unbekannt
Tiefumbruch	TR0	Kein Tiefumbruch vorhanden
	TR1	Tiefumbruch vorhanden
Unterlagernde Mudden	MD0	keine Mudde unter Torf oder abmoorigem Horizont vorhanden
	MDk	Kalkmudde
	MDm	weitere mineralische Mudde
	MDh	organische Mudde
	MDx	Muddeart unbekannt
Unterlagerndes mineralisches Substrat	LGs	sandig/Lockergestein
	LGI	lehmig
	LGu	schluffig
	LGt	tonig
	LGb	bindig (sofern nicht eindeutig lehmig, schluffig oder tonig)
	LGf	Festgestein
	LGx	Substrat unbekannt

Abbildung 10: Beispiele für Merkmalskombinationen mit abgeleiteten Moorbodenkategorien (fett) und beispielhaften Profilen.



NH_DK0_TM2_ABO_TR0_MDK_LGx

Niedermoorboden aus Niedermoororf, ohne Überdeckung, mit geringmächtiger Torfmächtigkeit (30 bis < 70 cm), ohne Abmoorigkeit, ohne Tiefumbruch, mit unterlagernder Kalkmudde, über unbekanntem mineralischen Substrat



HH_DK0_TM2_ABO_TR0_MDO_LGs

Hochmoorboden aus Hochmoortorf, ohne Überdeckung, mit geringmächtiger Torfmächtigkeit (30 bis < 70 cm), ohne Abmoorigkeit, ohne Tiefumbruch, ohne unterlagernde Mudde, über sandigem mineralischen Substrat



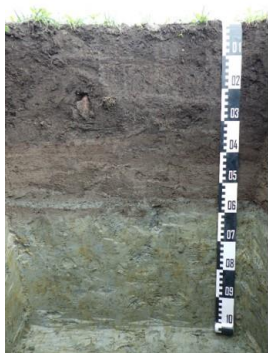
HH_DK1s_TM4_ABO_TR0_MDO_LGx

flach überdeckter Hochmoorboden aus Hochmoortorf, mit flacher und sandiger Überdeckung (< 30 cm), mit sehr mächtiger Torfmächtigkeit (120 bis < 200 cm), ohne Abmoorigkeit, ohne Tiefumbruch, ohne unterlagernder Mudde, über unbekanntem mineralischen Substrat



NH_DK2b_TM3_ABO_TR0_MDO_LGx

mächtig überdeckter Niedermoorboden aus Niedermoororf, mit mächtiger und bindiger Überdeckung (30 bis < 70 cm), mit mächtiger Torfmächtigkeit (70 bis < 120 cm), ohne Abmoorigkeit, ohne Tiefumbruch, ohne unterlagernder Mudde, über unbekanntem mineralischen Substrat



NH_DK0_TM0_ABb_TR0_MDm_LGb

Moorfolgeboden mit Niedermoorogenese, ohne Überdeckung, ohne Torfmächtigkeit, mit abmoorigem Horizont aus bindigem Substrat, ohne Tiefumbruch, mit unterlagernder mineralischer Mudde, über bindigem mineralischen Substrat



NH_DK2s_TM0_ABO_TR1_MDO_LGs

Tiefumbruchboden aus Niedermoororf, mit mächtiger und sandiger Überdeckung (30 bis < 70 cm), ohne Torfmächtigkeit, ohne Abmoorigkeit, ohne unterlagernder Mudde, über sandigem mineralischen Substrat

2.3 Verarbeitung der Datensätze in GIS

Alle Flächendatensätze lagen im Vektorformat vor. Die Geometrien wurden, wie von den zuständigen Behörden erhalten, im Grundsatz original belassen. Ausnahmen und generelle Arbeitsschritte werden im Folgenden beschrieben.

Die Bearbeitung erfolgte, wenn möglich, skriptbasiert mit PostGIS (pgAdmin 4, Version 5.6), sowie für einige Arbeitsschritte mit ESRI© ArcGIS (ArcGIS Desktop 10.8.1) und QGIS (Version 3.10.3). Zunächst wurde die verwendete Projektion geprüft und ggf. mit PostGIS in ETRS89/UTM32 (EPSG Code: 25832) umprojiziert. Danach erfolgte in ArcGIS das Ausschneiden (Werkzeug „clip“) aller Flächendaten auf den Umriss der Landflächen des jeweiligen Bundeslands gemäß der Verwaltungsgrenzen 1:250.000 des BKG (2019). So wurde sichergestellt, dass es zu keinen Überlappungen zwischen Daten verschiedener Bundesländer kam und ein einheitlicher Umriss der Bundesrepublik verwendet wurde.

Für alle Datensätze erfolgte anschließend eine Prüfung der Inhalte auf Relevanz und Nutzbarkeit für die Harmonisierung anhand der oben beschriebenen vordefinierten Merkmale und deren Ausprägungen. Dies umfasste eine systematische Auseinandersetzung mit allen Angaben der Attributtabelle und Beschreibungen von Legendeneinheiten bzw. Leitprofilen sowie in einigen Fällen auch zusätzlichen Datensätzen, wie Profildatenbanken, die mittels PostGIS oder ArcGIS mit dem entsprechenden Flächendatensatz verknüpft wurden. Aufgrund der Vielfalt der eingegangenen Daten hinsichtlich z.B. Disziplin (Bodenkunde, Geologie, Forstwissenschaften), Klassifikationssystem und Detailgrad war dieser Prozess sehr arbeitsintensiv. Jegliche Unklarheiten und Unstimmigkeiten wurden mit den entsprechenden Ansprechpartnern der Landesämter diskutiert, was auf beiden Seiten für mehr Verständnis und Verbesserungen der Nutzbarkeit der Datensätze sorgte. Auch die Auswahl aller für diese Zwecke relevanten Legendeneinheiten sowie deren Klassifizierung erfolgte in enger Abstimmung und oft in mehreren Iterationsrunden (Abbildung 2) und wurde final skriptbasiert in PostGIS umgesetzt.

Wie oben beschrieben, wurden die originalen Geometrien (Polygone) der Länderdatensätze grundsätzlich beibehalten. Eine Ausnahme stellt auf Grund des hohen Detailgrades (3740 Kombinationen aus Bodentypen und Substraten, siehe Tabelle 2) der Länderdatensatz für Brandenburg dar. Hier wurden aneinandergrenzende Flächen mit identischen Merkmalskombinationen (z.B. NH_DKO_TM3_ABO_TRO_MDO_LGs, Kapitel 2.2.8) in ArcGIS räumlich aggregiert (Werkzeug „dissolve“), um die Anzahl der Einzelflächen zu verringern.

Im Falle der Kombination mehrerer Datensätze (d.h. für die Bundesländer Bayern, Sachsen und Thüringen) wurden diese in Haupt- und ergänzende Datensätze eingeteilt. Aus allen Datensätzen wurden zunächst die relevanten Legendeneinheiten organischer Böden selektiert. Mittels ArcGIS wurden aus den ergänzenden Flächendaten die durch den Hauptdatensatz abgedeckten Flächen entfernt (Werkzeug „erase“). Anschließend wurden die zusätzlichen Flächen mit dem Hauptdatensatz zusammengeführt (Werkzeug „merge“). Die Flächendaten der Bodenschätzung in Bayern wurden aus Datenschutzgründen zunächst klassifiziert und anhand der möglichen Kombinationen die Geometrien in ArcGIS räumlich aggregiert (Werkzeug „dissolve“), bevor sie mit den Flächen der Moorbodenkarte (MBK25) zusammengeführt wurden. Für Sachsen wurden die Flächen der BK50 mit denen der Bodenkundlichen Konzeptkarte (BKkonz) aus dem SIMON sowie der Bodenschätzung ergänzt. Für Thüringen wurden die Datensätze der BGKK100 und der FSK nach Selektion der Legendeneinheiten organischer Böden in ArcGIS vereinigt (Werkzeug „union“), um alle Informationen in gemeinsamen Flächen für die anschließende Klassifikation zu behalten.

Nach erfolgter Verarbeitung aller Geodaten und Klassifikation der Bodenmerkmale wurden die Länderdatensätze in PostGIS zum finalen deutschlandweiten Datensatz zusammengeführt. Hierbei wurden lediglich die Ausprägungen der sieben Merkmale, sowie je ein Attribut für das Bundeslandkürzel und den Maßstab der Ausgangsdaten übernommen. Originale Inhalte werden somit nicht veröffentlicht. An diesem Datensatz wurde dann eine Topologieprüfung in ArcGIS durchgeführt. Dadurch wurden Überlappungen von insgesamt 3,5 ha Fläche händisch bereinigt.

Details zur Klassifikation und Verarbeitung der einzelnen Datensätze sowie Tabellen mit den Übersetzungsschlüsseln zwischen den Originaldatensätzen und der Kulisse organischer Böden sind im Repository Open Agrar (<https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>; WITTNEBEL et al., 2023) zugänglich.

Die Verteilung der Landnutzung auf organischen Böden in der aktualisierten Kulisse wurde anhand eines Verschnitts des Datensatzes in PostGIS mit dem ATKIS[®] Basis-DLM aus dem Jahr 2020 (BKG, 2020) ermittelt. Das ATKIS[®] Basis-DLM ist ein deutschlandweit verfügbares Landschaftsmodell, das im Falle von Acker- und Grünland die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) ausweist. Aus diesem Grund ergeben sich Unterschiede zur Agrarstatistik, d.h. der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF). Die in der Agrarstatistik erfasste LF weist weniger Flächen aus als die nach ATKIS ermittelte LN, denn die LF umfasst nur die tatsächlich landwirtschaftlich genutzten Flächen in den von der Agrarstatistik erfassten Landwirtschaftsbetrieben.

3 Aktualisierte Flächenkulisse

3.1 Deutschlandweite Betrachtung und Vergleich mit anderen Kartenwerken

Die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland umfasst **eine Gesamtfläche von 1,93 Mio. ha**. Ohne die Berücksichtigung der mächtig überdeckten (30 bis < 100 cm) Moorböden ergibt sich eine **Fläche von 1,87 Mio. ha**. Damit ist die Gesamtfläche um ca. 290.000 ha größer als der Flächendatensatz von FELL et al. (2012) nach dem Ansatz von ROBKOPF et al. (2015) (Tabelle 5). Verglichen mit der adaptierten Karte für die Emissionsberichterstattung (NIR) sind es ca. 110.000 ha mehr (UBA, 2023). Der Zugewinn an Fläche ist durch die konsistente Integration weiterer Legendeneinheiten der Bodenkarten der Länder zu erklären und sollte nicht etwa mit einem tatsächlichen Wachstum von Moorflächen verwechselt werden. Obwohl die, in die aktualisierte Kulisse organischer Böden eingegangenen, Datengrundlagen vor allem in den moorreichen Bundesländern aktueller sind, ergibt sich jedoch dadurch erstaunlicherweise nicht zwangsläufig ein geringerer Flächenumfang. In manchen Ländern sind zusätzliche Daten eingegangen (z.B. Bodenschätzung in Bayern und Sachsen), sodass auch hierdurch die vergrößerte Gesamtfläche bedingt ist, während in anderen Bundesländern aufgrund veränderter Flächendaten eine kleinere Fläche ausgewiesen wurde (z.B. Mecklenburg-Vorpommern).

Ein Blick auf die Moorbodenkategorien zeigt, dass in der aktualisierten Kulisse organischer Böden jeweils ca. 40.000 ha weniger Nieder- und Hochmoorböden ausgewiesen werden als im Flächendatensatz von FELL et al. (2012) und dass die Fläche der weiteren organischen Böden mehr als doppelt so groß ist. Einige der neuen Grunddaten weisen untypische organische Böden differenzierter aus, sodass mehr Legendeneinheiten für weitere organische Böden vorhanden sind, die in den älteren Daten womöglich noch unter den reinen Moorböden einbezogen waren. Auch können sich in älteren Kartenwerken noch als Moorböden dargestellte Standorte mittlerweile zu Abmooren entwickelt haben oder im Profilaufbau umgestaltet worden sein bzw. im Falle von Brandenburg durch die Modellanwendung („Referenzierung“) als solche ausgewiesen worden sein (FELL et al., 2015).

In die Aggregierte Karte der organischen Böden Deutschlands des Greifswald Moor Centrum (GMC) (TEGETMEYER et al., 2021) sind nahezu die gleichen Länderdaten wie in die aktualisierte Kulisse eingegangen. Auch die Auswahl der Legendeneinheiten basierte auf der gleichen weit gefassten Definition organischer Böden. Die Gesamtfläche der Karte des GMC ist jedoch um ca. 90.000 ha geringer als in der aktualisierten Kulisse organischer Böden (Tabelle 5). Die iterative Abstimmung mit den zuständigen Instituten und Behörden der Bundesländer resultierte in einigen Unterschieden der Kartenauswahl und Selektion von Legendeneinheiten. Für Baden-Württemberg, Brandenburg, Bremen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein wurden (teilweise) andere Kartenwerke genutzt, während für Bayern, Sachsen und Thüringen durch die Kombinationen mehrerer Datensätze mehr Flächen übernommen wurden. Jedoch gibt es auch Gebiete, in denen die aktualisierte Kulisse organischer Böden weniger Flächen zeigt als die Karte des GMC. Ein Beispiel dafür ist der Küstenbereich von Niedersachsen. Die originalen Legendeneinheiten sind dort sehr mächtig überdeckte Torfe. Bei zusätzlicher Verwendung der Profildatenbank zur BK50 wurde festgestellt, dass diese jedoch mindestens 100 cm überdeckt sind und somit für die Zwecke dieser Arbeit ausgeschlossen wurden.

Zusätzlich zu Karten von ausschließlich organischen Böden sind flächendeckende Bodenübersichtskarten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) verfügbar. In der älteren und geringer aufgelösten BÜK1000 (BGR, 2013) werden verschiedene Leitbodentypen unterschieden, wobei es für organische Böden nur die Legendeneinheiten „Niedermoorboden“ und „Hochmoorboden“ gibt. Diese beiden Legendeneinheiten umfassen verglichen mit den Kategorien der aktualisierten Kulisse organischer Böden deutlich mehr Fläche, die Gesamtfläche ist jedoch um gut 250.000 ha geringer (Tabelle 5). Da in der BÜK1000 weder Legendeneinheiten mit Anmoorgleyen noch mit überdeckten oder tiefumgebrochenen Moorböden ausgewiesen wurden, ist davon auszugehen, dass ein Teil dieser Flächen maßstabsbedingt in den Nieder- und Hochmoorboden-Einheiten inbegriffen ist, wodurch die größeren Gesamtsummen dieser Legendeneinheiten verglichen mit der aktualisierten Kulisse organischer Böden zu erklären sind. Aufgrund des Maßstabs ist auch davon auszugehen,

dass kleinere Flächen organischer Böden durch die BÜK1000 nicht erfasst und große Flächen überschätzt werden (FELL et al., 2014). Zudem ist zu beachten, dass die in die Erstellung der BÜK Mitte der 1990er Jahre eingegangenen Flächendaten der Bundesländer deutlich älter sind als die mittlerweile verfügbaren.

Die BÜK250 (BGR 2018) bildet Böden in einem größeren Maßstab und damit sehr viel differenzierter als die BÜK1000 ab und unterscheidet in ihren Legendeneinheiten nicht nur Nieder- und Hochmoorböden, sondern auch weitere organische Böden wie Anmoorgleye, Moorgleye, überdeckte Moore und Treposole. Die Selektion aller relevanter Legendeneinheiten ergibt eine Gesamtfläche organischer Böden von 1,88 Mio. ha und ist damit nur um ca. 50.000 ha geringer als die der aktualisierten Kulisse organischer Böden (Tabelle 5). Die BÜK250 umfasst etwas mehr Flächen reiner Nieder- und Hochmoorböden und weniger weitere organische Böden, jedoch ist die Übereinstimmung der Flächen insgesamt recht hoch. Dies ergibt sich dadurch, dass in die BÜK250 die mittelmaßstäbigen Karten der Bundesländer eingegangen sind, diese jedoch ältere Arbeitsstände (BGR, 2018) haben können. Außerdem wurden die Grunddaten für den kleineren Maßstab generalisiert, sodass sich Änderungen und Verluste vor allem kleinerer Strukturen ergeben und Unschärfen durch Generalisierungen analog zur BÜK1000 auftreten.

Tabelle 5: Flächen organischer Böden in verschiedenen deutschlandweiten Kartenwerken im Vergleich zur aktualisierten Kulisse organischer Böden („Thünen-Kulisse“). BÜK: Bodenübersichtskarte, NIR: *National Inventory Report* (Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar).

Kategorien organischer Böden	Thünen-Kulisse	NIR (UBA, 2023)	FELL al. (2012) (Flächendatensatz) ²	TEGETMEYER et al. (2021)	BÜK1000 (BGR, 2013)	BÜK250 (BGR, 2018)
Niedermoorböden	915.128 ha		954.928 ha		1.228.677 ha	1.016.655 ha
Hochmoorböden	268.942 ha	<i>Nicht unterteilt</i>	310.405 ha	<i>Nicht unterteilt</i>	452.642 ha	319.617 ha
Weitere organische Böden	750.310 ha		370.597 ha		<i>Nicht als Legendeneinheit vorhanden</i>	540.715 ha
Gesamt	1,93 Mio. ha¹	1,82 Mio. ha	1,64 Mio. ha	1,84 Mio. ha	1,68 Mio. ha	1,88 Mio. ha

¹: ohne mächtig überdeckte Moorböden: 1,87 Mio. ha.

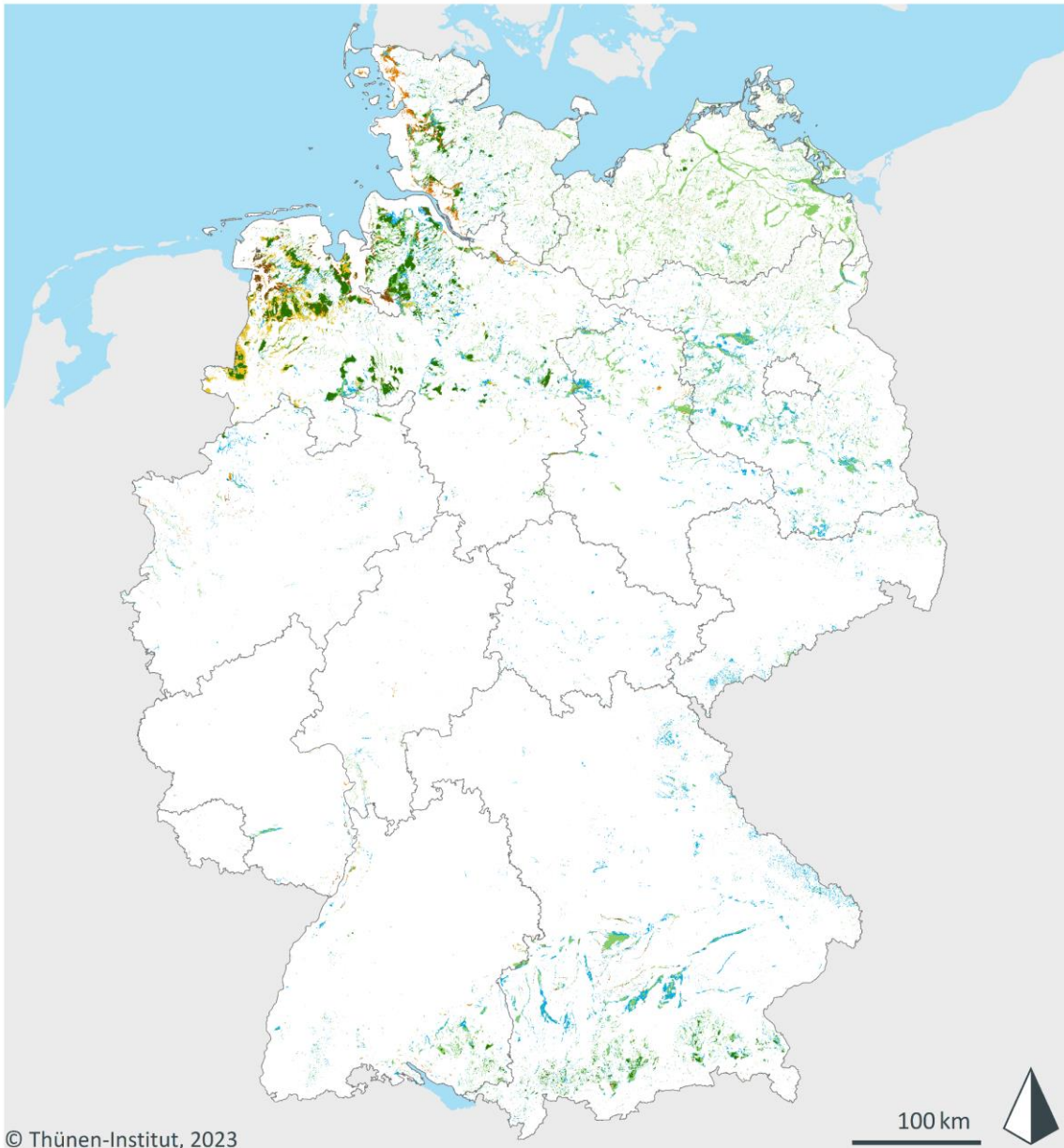
²: Die Veröffentlichung von ROBKOPF et al. (2015) enthält eine auf Stichproben beruhende prozentuale Verringerung der Fläche weiterer organischer Böden auf 1,57 Mio. ha, die nicht in den Flächendatensatz übernommen wurde.

Abbildung 11: Verbreitung der organischen Böden in Deutschland dargestellt nach Moorbodenkategorien.

Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland



Version 1.0, Stand Datenakquise: 12/2022



© Thünen-Institut, 2023

Moorbodenkategorien

■ Niedermoorböden	■ Moorfolgeböden	■ flach überdeckter Moorboden
■ Hochmoorböden	■ Tiefumbruchböden aus Moor	■ mächtig überdeckter Moorboden

Datenquellen:

GeoBasis-DE / BKG (2022)
 Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021)
 Bayerische Vermessungsverwaltung (2022)
 Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (2022)
 Umweltatlas Berlin / Moore - Mooregebiete (2015)
 Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (2022)
 Geologischer Dienst für Bremen (2016)
 Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft Hamburg (2016)
 Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2020)
 Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (2022)

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (2017)
 Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (2021)
 Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (2019)
 Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz Saarland (2001)
 Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2020, 2011)
 Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (2021)
 Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2014)
 Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (2022)
 ThüringenForst AoR, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha (2022)
 Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (1996-1974)

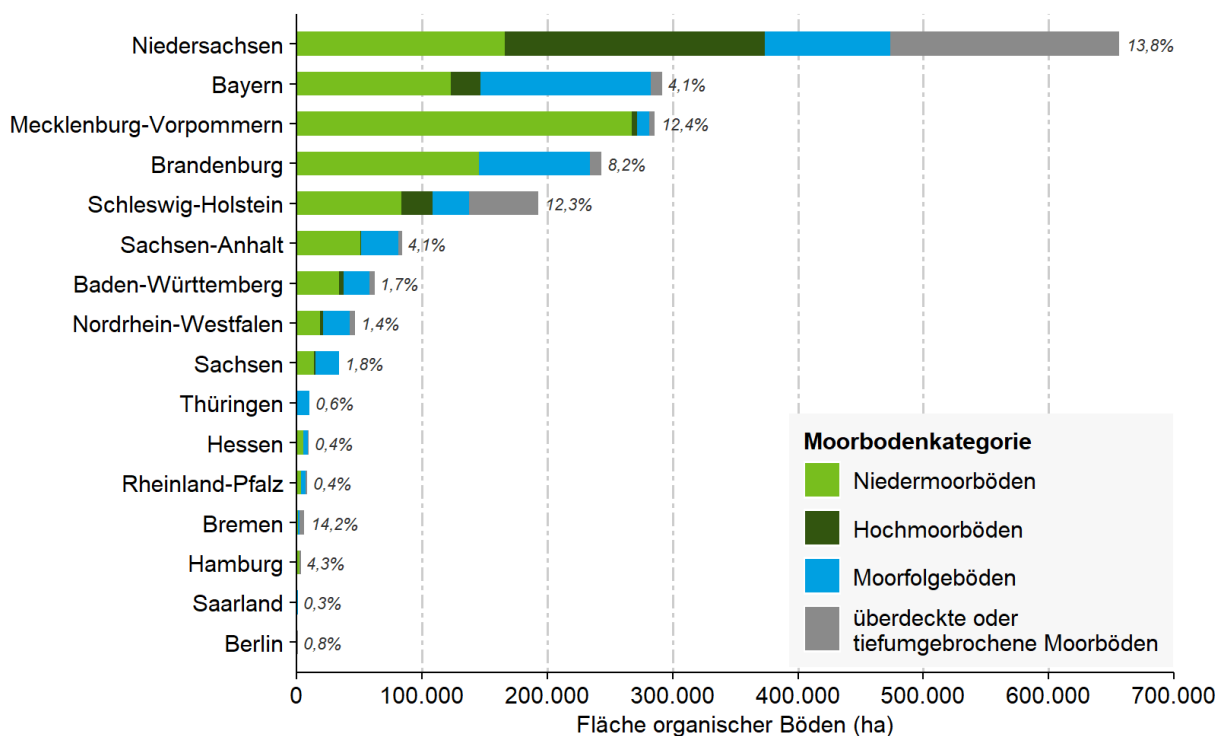
Quelle: Thünen-Institut nach den in der Abbildung angegebenen Datenquellen

3.2 Kategorien und Verteilung der organischen Böden in Deutschland

Abbildung 11 zeigt die räumliche Verbreitung der verschiedenen Kategorien organischer Böden in Deutschland. Diese ergibt sich naturräumlich durch eiszeitliche Morphologie sowie hydrologische und klimatische Bedingungen (z.B. SUCCOW & JOOSTEN, 2001). Insbesondere im Nordosten zeigen sich die durch die letzte Eiszeit geprägten Gebiete mit ihren morphologischen Besonderheiten wie Urstromtälern, Grund- und Endmoränen und damit den großen Niedermoorgebieten Deutschlands. Die Hochmoorböden befinden sich weit verbreitet im Nordwesten, aber auch im niederschlagsreichen Voralpenraum Süddeutschlands und kleinräumig in Mittelgebirgen. Als kleinräumigere Strukturen sind charakteristische Tallagen und flussbegleitende Moorböden auch außerhalb der großen Flusstalmoore deutlich erkennbar.

Etwa 86 % der 1,93 Mio. ha organischer Böden in Deutschland befinden sich in den fünf moorreichsten Bundesländern: Niedersachsen (33,9 % der Gesamtfläche), Bayern (15,1 %), Mecklenburg-Vorpommern (14,7 %), Brandenburg (12,6 %) und Schleswig-Holstein (10,0 %) (Abbildung 12, Tabelle 6). Aber auch in allen anderen Bundesländern kommen organische Böden vor, wobei der Anteil organischer Böden an der jeweiligen Landesfläche stark variiert. Am höchsten ist er mit 14,2 % in Bremen, wo allerdings nur 0,3 % aller organischen Böden in Deutschland liegen, gefolgt vom moorreichsten Bundesland Niedersachsen mit 13,8 %, sowie den ebenfalls moorreichen Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern (12,4 %) und Schleswig-Holstein (12,3 %). In Bayern, welches nach Niedersachsen die größte Fläche organischer Böden aufweist, liegt der Anteil an der Landesfläche lediglich bei 4,1 %. Am niedrigsten ist der Flächenanteil im Saarland (0,3 %), das mit 805 ha nach Berlin (740 ha) die geringste Fläche organischer Böden aufweist. Auch die Verteilung von Niedermoor-, Hochmoor-, Moorfolge- und weiteren organischen Böden ist in den Bundesländern unterschiedlich.

Abbildung 12: Flächen der Niedermoor-, Hochmoor-, Moorfolge- und weiteren organischen Böden in der aktualisierten Kulisse organischer Böden je Bundesland. Die Prozentzahl gibt den Anteil organischer Böden an der Landesfläche an.



Quelle: Thünen-Institut

Niedermoorböden machen mit 915.000 ha knapp die Hälfte (47,4 %; Abbildung 13) aller organischen Böden in Deutschland aus und werden in allen Bundesländern ausgewiesen (Tabelle 6, Abbildung 11, Abbildung 12). Sie befinden sich hauptsächlich in jungpleistozän geprägten Gebieten der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Brandenburg und Bayern.

Hochmoorböden umfassen 13,9 % der Gesamtfläche in insgesamt 11 der 16 Bundesländer. Dieser Anteil ist deutlich geringer als in vorherigen Kartenwerken geschätzt (z.B. 27 % in der BÜK1000 oder 19 % in der Flächenkulisse von FELL et al., 2012; Tabelle 5). Möglicherweise liegt dies daran, dass in Niedersachsen Hochmoorböden großflächig tief umgebrochen, abgetorft oder übersandet wurden und nun in anderen Moorbodenkategorien (oder gar nicht mehr) zu finden sind. Mehr als zwei Drittel der verbliebenen Hochmoorböden liegen in Niedersachsen (ca. 208.000 ha) gefolgt von Schleswig-Holstein (ca. 25.000 ha) und Bayern (ca. 24.000 ha).

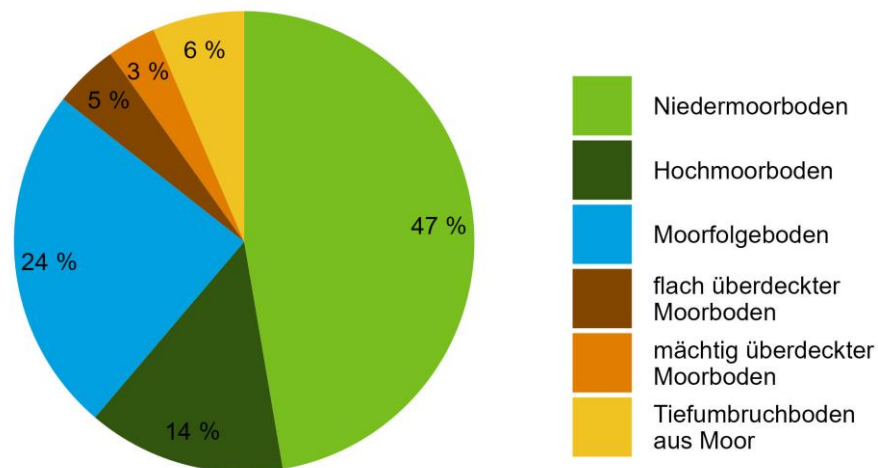
Moorfolgeböden umfassen in der aktualisierten Kulisse organischer Böden alle Legendeneinheiten der anstehenden oder überdeckten Anmoorgleye (u.ä.), Moorgleye und Muddeböden. Sie machen mit über 471.000 ha rund ein Viertel (24,4 %) aller organischen Böden in Deutschland aus und sind wie Niedermoorböden in allen Länderdatensätzen enthalten (Tabelle 6). Aufgrund des teilweisen hohen Alters der Länderdatensätze (Tabelle 1) ist anzunehmen, dass der reale Anteil von Moorfolgeböden noch höher liegt. Unter den moorreichen Bundesländern ist sowohl die größte Fläche als auch der höchste Anteil (47 %) an Moorfolgeböden in Bayern zu finden, während in Mecklenburg-Vorpommern nur 4 % der organischen Böden als Moorfolgeböden ausgewiesen wurden. Ein Großteil (84 %) der Moorfolgeböden weist eine Niedermoorgenese auf. Legendeneinheiten, die den Degradierungsstatus der Moorböden explizit widerspiegeln („Abmoore“ nach KA6) sind noch in keinem Datensatz vorhanden. Lediglich die Referenzierte Moorbodenkarte für das Land Brandenburg (2013) (FELL et al., 2014) umfasste als Moorfolgeböden deklarierte Legendeneinheiten (z.B. „reliktischer Anmoorgley über Niedermoor [Moorfolgeboden]“). Diese Bezeichnungen der reliktischen Böden sowie explizit Moorfolgeböden wurden jedoch in der hier genutzten aktualisierten Fassung dieses Datensatzes (referenziert auf das Jahr 2021) nicht mehr verwendet.

Überdeckte Moorböden werden auf ca. 154.000 ha ausgewiesen (8 %), wovon ein Großteil überdeckte Niedermoorböden sind (siehe auch Kapitel 3.4.2). Sie werden in nahezu allen Bundesländern (Ausnahme: Saarland und Thüringen) ausgewiesen; der Schwerpunkt liegt jedoch in Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Diese meist bindig überdeckten Moorböden kommen vor allem in den Küstenbereichen an der Nordsee vor und sind oft natürliche Marschablagerungen (SCHULZ & WALDECK, 2015; GEHRT et al., 2021). Vor allem in Niedersachsen finden sich zudem viele anthropogen und meist sandig überdeckte Moorböden (Ausweisung als „Sanddeckkultur“). Außerhalb von Niedersachsen werden anthropogene Überdeckungen explizit lediglich im Datensatz von Nordrhein-Westfalen ausgewiesen, auch wenn in anderen Bundesländern ebenfalls anthropogen entstandene, aber nicht explizit kartographisch dargestellte überdeckte Moorböden existieren (z.B. „Rimpau'sche Moordammkultur“ in Sachsen-Anhalt oder Brandenburg; SAUERBREY et al., 2003). Weiterhin ist festzustellen, dass mehr flach überdeckte (ca. 88.000 ha) als mächtig und sehr mächtig überdeckte (ca. 66.000 ha) Moorböden ausgewiesen werden. Auch in der Kategorie der Moorfolgeböden sind überdeckte Flächen inbegriffen, die definitorisch nicht Moorböden entsprechen und dadurch nicht in die Moorbodenkategorie „überdeckte Moorböden“ eingeordnet wurden.

Tiefumbruchböden aus Moor sind aus einer Reihe verschiedener Kultivierungstechniken hervorgegangen (Kapitel 1.1.2). Insbesondere in Niedersachsen sind Moorböden großflächig durch Tiefpflügen in ihrem Profilaufbau verändert worden. Zusammen mit kleineren Flächen in Nordrhein-Westfalen machen diese Böden insgesamt 6,4 % (ca. 125.000 ha) aller organischen Böden in Deutschland sowie ca. 19 % der organischen Böden in Niedersachsen aus. Dabei sind Hochmoortorfe und Niedermoortorfe zu fast gleichen Anteilen tiefumgebrochen worden (Tabelle 6). In der niedersächsischen BK50 werden nicht nur die klassischen tiefgepflügten Treposole als eigene Bodentypen erfasst, sondern auch Baggerkühlungen und Spittkulturen, die in der aktualisierten Kulisse organischer Böden ebenfalls unter Tiefumbruchböden subsummiert wurden (ca. 8.200 ha; GEHRT et al., 2021). Auch aus anderen norddeutschen Bundesländern sind tiefumgebrochene

Moorflächen bekannt (z.B. Brandenburg: ZEITZ, 2014; Mecklenburg-Vorpommern: WOJAHN, 1960), jedoch werden sie in den entsprechenden Bodenkarten nicht eigens ausgewiesen.

Abbildung 13: Flächenanteile der Moorbodenkategorien in der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland.



Quelle: Thünen-Institut

In der aktualisierten Kulisse organischer Böden stellen weniger als zwei Drittel (1,18 Mio. ha) aller berücksichtigten Legendeneinheiten der Länderdatensätze typische Nieder- und Hochmoorböden dar. Zusammen mit den Moorfolgeböden und flach überdeckten organischen Böden, die teilweise auch in der Kulisse von FELL et al. (2012) berücksichtigt wurden, werden 90 % (1,74 Mio. ha) der Gesamtfläche von diesen vier Moorbodenkategorien abgedeckt. Fast 40 % der Fläche der aktualisierten Kulisse organischer Böden werden von weiteren organischen Böden, also Moorfolgeböden, überdeckten oder tiefumgebrochenen Moorböden, eingenommen. In der ersten Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) machten diese Böden etwas mehr als die Hälfte der beprobten organischen Böden aus (WITTNEBEL et al., 2021). Der Anteil in der aktualisierten Kulisse organischer Böden ist vermutlich geringer, weil hier nicht nur landwirtschaftlich genutzte Standorte, sondern sämtliche Landnutzungstypen berücksichtigt werden und der Anteil weiterer organischer Böden an landwirtschaftlich genutzten Flächen überdurchschnittlich hoch ist (Kapitel 3.3). Dieser hohe Anteil weiterer organischer Böden betont die Relevanz und Notwendigkeit der Berücksichtigung entsprechender Legendeneinheiten für die Emissionsberichterstattung und in den zu Grunde liegenden Modellen, aber auch bei der Erhebung von Monitoringdaten und Entwicklung von Landnutzungskonzepten.

Tabelle 6: Fläche organischer Böden je Bundesland und Moorbodenkategorie (in ha). GF: Gesamtfläche, DE: Deutschland, org: organische, NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK_FL_NH: flach überdeckter Niedermoorboden, DK_FL_HH: flach überdeckter Hochmoorboden, DK_MA_NH: mächtig überdeckter Niedermoorboden¹, TR_NH: Tiefumbruchboden aus Niedermoortorf, TR_HH: Tiefumbruchboden aus Hochmoortorf.

Bundesland	Gesamtfläche (GF)	Anteil an GF org. Böden DE	NH	HH	MF	DK_FL_NH	DK_FL_HH	DK_MA_NH ¹	TR_NH	TR_HH
Baden-Württemberg	62.075	3,2 %	33.917	3.736	20.139	350	-	3.934	-	-
Bayern	291.570	15,1 %	122.787	23.626	136.015	8.330	-	812	-	-
Berlin	740	0,0 %	619	-	18	61	-	41	-	-
Brandenburg	243.300	12,6 %	145.520	-	88.293	6.224	-	3.264	-	-
Bremen	5.707	0,3 %	1.131	194	875	2.741	16	749	-	-
Hamburg	3.190	0,2 %	2.057	-	395	16	-	721	-	-
Hessen	9.468	0,5 %	5.111	223	3.290	-	-	844	-	-
Mecklenburg-Vorpommern	285.267	14,7 %	267.484	3.807	10.234	30	-	3.712	-	-
Niedersachsen	656.584	33,9 %	165.874	207.680	100.352	35.345	14.165	9.039	56.136	67.993
Nordrhein-Westfalen	46.529	2,4 %	18.530	2.728	21.000	1.063	264	2.483 ¹	-	460
Rheinland-Pfalz	8.475	0,4 %	3.537	-	3.273	1.113	-	552	-	-
Saarland	805	0,0 %	536	-	269	-	-	-	-	-
Sachsen	34.019	1,8 %	13.812	981	18.966	142	-	117	-	-
Sachsen-Anhalt	84.032	4,3 %	50.682	430	30.017	-	-	2.903	-	-
Schleswig-Holstein	192.525	10 %	83.466	25.172	28.995	15.669	2.100	37.123 ¹	-	-
Thüringen	10.095	0,5 %	65	366	9.664	-	-	-	-	-
Gesamt	1.934.380	100 %	915.128	268.942	471.795	71.086	16.545	66.295¹	56.136	68.453
Flächenanteile	-	-	47,3 %	13,9 %	24,4 %	3,7 %	0,9 %	3,4 %	2,9 %	3,5 %

¹Mächtig überdeckte Niedermoorböden inkl. ca. 510 ha mächtig überdeckte Hochmoorböden in Nordrhein-Westfalen (437 ha) und Schleswig-Holstein (74 ha).

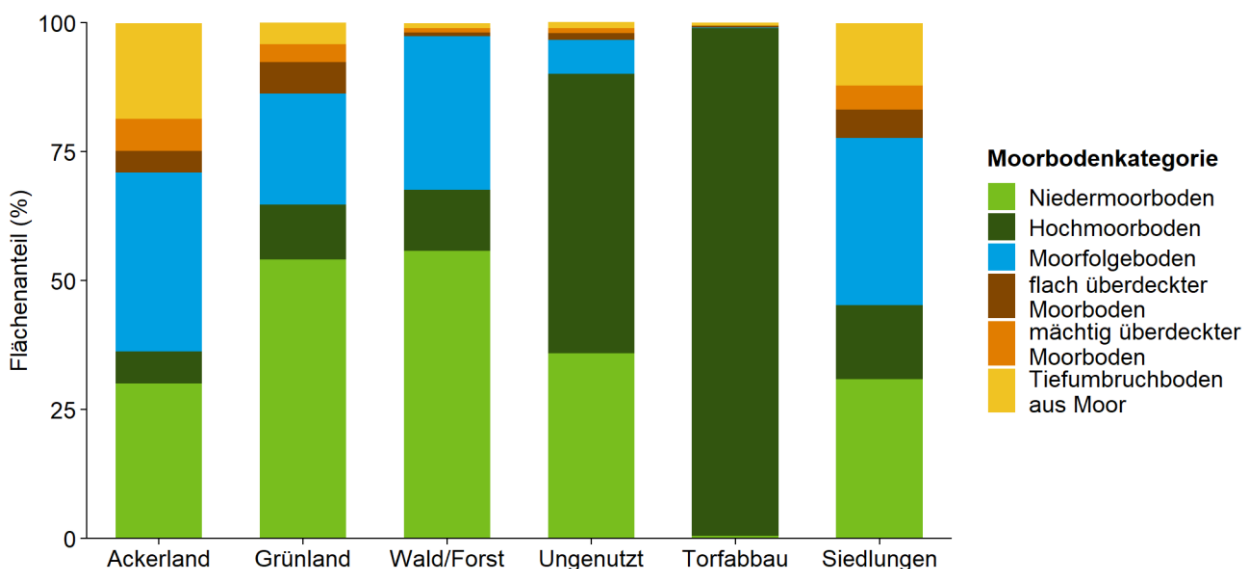
3.3 Nutzung der organischen Böden

Die Nutzung organischer Böden ist einer der entscheidenden Faktoren für die Modellierung von Moorwasserständen (BECHTOLD et al., 2014) und letztendlich für die Berechnung der THG-Emissionen (TIEMEYER et al., 2020). Hier wird die Landnutzung aus dem ATKIS® Basis-DLM für das Jahr 2020 (BKG, 2020) verwendet, die entsprechend der in der Emissionsberichterstattung genutzten Landnutzungskategorien klassifiziert wurde. Unterschieden wird nach Ackerland, Grünland, Wald/Forst, ungenutzte Flächen, Torfabbau sowie Siedlung. Ungenutzte Flächen sind tendenziell feuchter als die anderen Landnutzungskategorien, aufgrund der für das ATKIS® Basis-DLM genutzten Klassifikationsansätze (grobes Landnutzungsmodell, keine expliziten Angaben zu Vegetationstypen) können jedoch keine direkten Rückschlüsse auf nasse oder vernässte Flächen organischer Böden gezogen werden. Da im NIR für das Jahr 2021 noch die alte Flächenkulisse verwendet wurden, weichen die hier dargestellten Zahlen von den Daten im NIR (UBA, 2023) ab.

Wie erwartet dominiert Grünland die Nutzung organischer Böden (55 % bzw. ca. 1,07 Mio. ha; Tabelle 7). Ackerland nimmt 19 % der Fläche der organischen Böden ein, Wald bzw. Forst 15 % und ungenutzte Flächen 7 %. Noch auf etwa 1 % der Fläche organischer Böden in Deutschland wird Torfabbau betrieben (das sind fast 5 % der Hochmoorböden). Lediglich knapp 4 % der ausgewiesenen organischen Böden sind Siedlungsflächen.

Deutschlandweit befinden sich mehr als 15 % aller Grünlandflächen auf organischen Böden, wobei der Anteil regional deutlich höher liegt (auf Landkreisebene teilweise > 50 %; KOPPENSTEINER et al., 2023). Dies verdeutlicht die Bedeutung der organischen Böden für die Grünland- und insbesondere Milchviehwirtschaft. Im Vergleich zum Grünland sind die organischen Böden für die Acker- bzw. Wald-/Forstnutzung im deutschlandweiten Maßstab eher unbedeutend (der Anteil liegt jeweils bei < 3 %; Tabelle 7).

Abbildung 14: Prozentuale Verteilung der Moorbodenkategorien innerhalb der Landnutzungskategorien.



Quelle: Thünen-Institut

Mit Ausnahme von Torfabbau sind alle Nutzungstypen auf allen Moorbodenkategorien zu finden (Tabelle 7). Grünland ist die dominierende Nutzung aller Moorbodenkategorien. Eine Ausnahme bilden die Tiefumbruchböden, die vorrangig ackerbäulich genutzt werden. Auch ist der Ackeranteil auf überdeckten organischen Böden und Moorfolgeböden deutlich höher als auf typischen Hoch- und Niedermoorböden, während sich umgekehrt kaum bewaldete Flächen auf überdeckten Moorböden oder Tiefumbruchböden finden lassen. Da die anthropogene Profilumgestaltung mit dem Zweck der landwirtschaftlichen Nutzung durchgeführt

wurde, entspricht diese Verteilung den Erwartungen. Auffallend ist jedoch, dass fast 30 % der Hochmoorböden als ungenutzt klassifiziert werden.

Umgekehrt betrachtet finden sich Grünlandnutzung und Wald/Forst vor allem auf Niedermoor- oder Moorfolgeböden (Abbildung 14). Ackernutzung findet sich vorrangig auf Moorfolgeböden und Niedermoorböden, aber auch Tiefumbruchböden nehmen einen relevanten Flächenanteil ein. Hochmooräcker sind dagegen selten. Da nur Hochmoortorf abgebaut wird, sind die geringen Flächen der Kategorie Torfabbau auf anderen Moorböden auf Unschärfen in den Karten zurückzuführen. Ungenutzte Flächen sind dagegen meist Hochmoorböden. Dies kann darin begründet liegen, dass diese Klassifikation auf dem ATKIS® Basis-DLM Attribut „Moor, Heide“ beruht, das eher an Hochmoorstandorten ausgewiesen wird, während sich feuchte oder nasse Vegetationstypen im Niedermoor weniger einfach von Grünland unterscheiden lassen.

Tabelle 7: Fläche organischer (org.) Böden je Landnutzung gemäß Klassifikation des ATKIS® Basis-DLM 2020 (BKG, 2020) für die Emissionsberichterstattung und Moorbodenkategorie (in ha). GF: Gesamtfläche, NH: Niedermoorböden, HH: Hochmoorböden, MF: Moorfolgeböden, DK_FL_*: flach überdeckte Nieder- und Hochmoorböden (nicht unterteilt), DK_MA_*: mächtig überdeckte Nieder- und Hochmoorböden (nicht unterteilt), TR_*: Tiefumbruchböden aus Nieder- und Hochmoortorfen (nicht unterteilt).

Landnutzungs- kategorie	Gesamtfläche (GF)	Anteil an GF org. Böden	Anteil an GF in Deutschland ¹	NH	HH	MF	DK_FL_*	DK_MA_*	TR_*
Ackerland	361.048	18,7 %	2,8 %	108.486	22.210	125.448	15.253	22.770	66.880
Grünland	1.067.360	55,2 %	15,5 %	577.786	113.184	230.218	64.646	36.730	44.797
Wald/Forst	286.421	14,8 %	2,6 %	159.735	33.791	85.441	2.040	2.422	2.992
Ungenutzt	133.888	6,9 %	4,3 %	48.059	72.527	8.717	1.850	1.156	1.579
Torfabbau	17.800	0,9 %	99,7 % ²	89	17.515	14	79	-	103
Siedlungen	67.862	3,5 %	1,6 %	20.972	9.715	21.957	3.763	3.217	8.238

¹ Anteil an der in Deutschland vorhandenen Gesamtfläche der jeweiligen Landnutzungskategorie

² Torfabbauf Flächen finden sich nur auf organischen Böden; fehlende Flächen (0,3 %) beruhen auf Unschärfen in den Datengrundlagen.

3.4 Ausprägungen der Merkmale organischer Böden

Die Merkmale zur Beschreibung der Bodenprofileigenschaften lassen sich in ihren Ausprägungen einzeln oder miteinander kombiniert betrachten und auswerten, wobei nicht alle theoretisch möglichen, d.h. inhaltlich sinnvollen, Kombinationen im Datensatz vorkommen (Tabelle 8, Kapitel 2.2.8). Unter Berücksichtigung aller sieben Merkmale enthält die Kulisse insgesamt 612 Kombinationen, wobei sich mit den häufigsten 10 Merkmalskombinationen bereits über 50 % der Gesamtfläche beschreiben lassen (Tabelle 8). Mit 28 Merkmalskombinationen sind bereits 80 % abgedeckt, während knapp 500 Kombinationen jeweils zu weniger als 0,1 % zur Gesamtfläche beitragen (Abbildung 15). Die häufigsten Kombinationen beschreiben die Moorbodenkategorien extrem mächtiger (≥ 200 cm) Niedermoor- bzw. Hochboden mit unbekanntem unterlagerndem mineralischem Substrat (8,9 % bzw. 6,0 % der Gesamtfläche) sowie einen Moorfolgeboden (sandiges Abmoor mit Niedermoorgenese und Sandunterlagerung; 6,1 %). Auch die weiteren 7 der häufigsten 10 Merkmalskombinationen beschreiben verschiedene Ausprägungen von Nieder- und Hochmoorböden mit unterschiedlichen Torfmächtigkeiten, die entweder eine sandige oder unbekannte mineralische Unterlagerung haben. Unterlagernde (unbekannte) Mudden treten bei zwei dieser Kombinationen auf, mineralische Überdeckungen oder Tiefumbruch jedoch nicht.

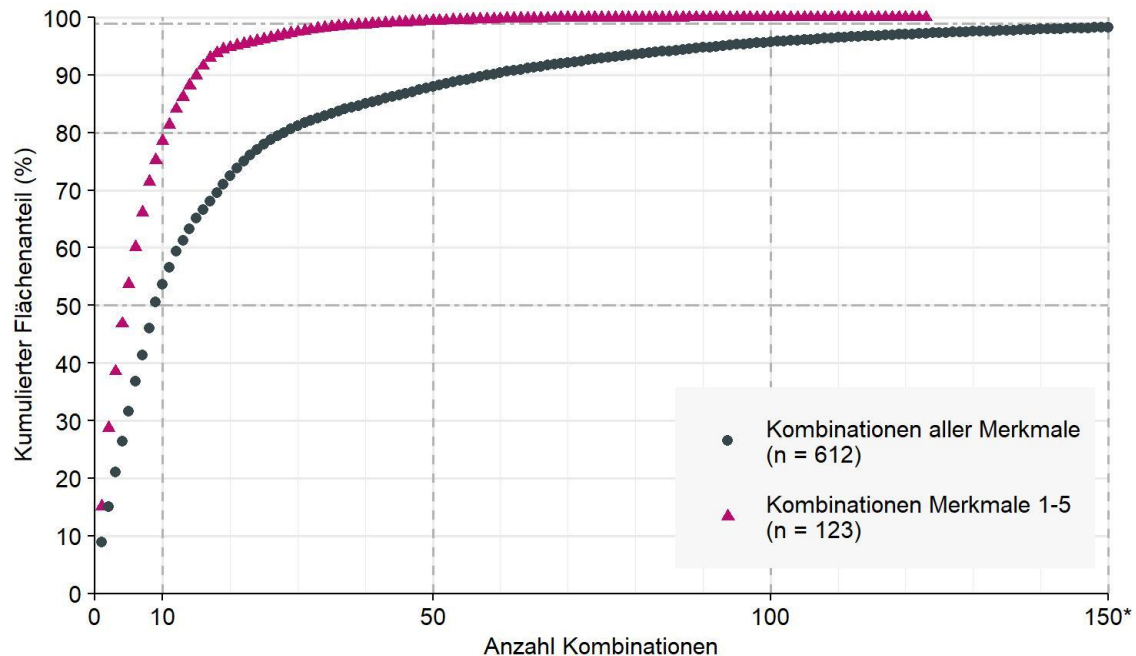
Wenn nur die für die Gruppierung der Moorbodenkategorien herangezogenen Merkmale 1 bis 5 (Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, Abmoorigkeit und Tiefumbruch) berücksichtigt werden, ergeben sich insgesamt 123 Merkmalskombinationen, von denen die häufigsten 10 schon fast 80 % der Gesamtfläche organischer Böden abdecken (Tabelle 8). Ungefähr 40 Merkmalskombinationen reichen aus, um 99 % zu beschreiben (Abbildung 15). Die 6 häufigsten Kombinationen sind Böden mit Niedermoorgenese, davon Niedermoorböden in allen fünf Torfmächtigkeitsstufen und ein Moorfolgeboden (sandiges Abmoor). Am häufigsten kommen mächtige Niedermoorböden vor (15,1 %). Insgesamt lassen sich 60 % der Fläche mit verschiedenen Niedermoorböden beschreiben. Daneben haben auch mächtige und extrem mächtige Hochmoorböden eine hohe Flächenrelevanz (3,8 bzw. 6,0 %). Weiterhin ist ein bindiges Abmoor mit Niedermoorgenese unter den häufigsten zehn Kombinationen zu finden und sogar mit 3,3 % Flächenrelevanz der Tiefumbruchboden aus Hochmoortorf mit sandiger Überdeckung.

Basierend auf diesen Ergebnissen sollte eine weitere Differenzierung der Flächenkulisse, d.h. eine mögliche weitere Stratifizierung nach hydrogenetischen Moortypen, Horizonten oder Bodentypen auf normale Niedermoorböden ohne weitere Merkmale wie z.B. mineralische Überdeckungen fokussieren. Bei einer zukünftigen Parametrisierung der Flächenkulisse sind die dominanten Merkmalskombinationen zu priorisieren.

Tabelle 8: Häufigste Kombinationen der Merkmalsausprägungen und deren Anteil an der Gesamtfläche der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland unter Einbeziehung aller Merkmale, sowie nur der Merkmale 1-5 (Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, Abmoorigkeit und Tiefumbruch).

Rang	Kombinationen alle Merkmale	Moorboden-kategorie	Anteil	Kombinationen Merkmale 1-5	Moorboden-kategorie	Anteil
1	NH_DK0_TM5_ABO_TR0_MD0_LGx	Niedermoorboden	8,9 %	NH_DK0_TM3_ABO_TR0	Niedermoorboden	15,1 %
2	NH_DK0_TM0_ABs_TR0_MD0_LGs	Moorfolgeboden	6,1 %	NH_DK0_TM5_ABO_TR0	Niedermoorboden	13,7 %
3	HH_DK0_TM5_ABO_TR0_MD0_LGx	Hochmoorboden	6,0 %	NH_DK0_TM2_ABO_TR0	Niedermoorboden	9,8 %
4	NH_DK0_TM2_ABO_TR0_MD0_LGs	Niedermoorboden	5,3 %	NH_DK0_TM0_ABs_TR0	Moorfolgeboden	8,3 %
5	NH_DK0_TM3_ABO_TR0_MD0_LGs	Niedermoorboden	5,3 %	NH_DK0_TM4_ABO_TR0	Niedermoorboden	6,9 %
6	NH_DK0_TM3_ABO_TR0_MDx_LGx	Niedermoorboden	5,1 %	NH_DK0_TM1_ABO_TR0	Moorfolgeboden	6,4 %
7	NH_DK0_TM1_ABO_TR0_MD0_LGs	Moorfolgeboden	4,6 %	HH_DK0_TM5_ABO_TR0	Hochmoorboden	6,0 %
8	NH_DK0_TM5_ABO_TR0_MDx_LGx	Niedermoorboden	4,6 %	NH_DK0_TM0_ABb_TR0	Moorfolgeboden	5,3 %
9	NH_DK0_TM4_ABO_TR0_MD0_LGx	Niedermoorboden	4,6 %	HH_DK0_TM3_ABO_TR0	Hochmoorboden	3,8 %
10	HH_DK0_TM3_ABO_TR0_MD0_LGs	Hochmoorboden	3,1 %	HH_DK2s_TM0_ABO_TR1	Tiefumbruchboden aus Hochmoortorf	3,3 %
Summe			53,6 %			78,5 %

Abbildung 15: Kumulierter Flächenanteil organischer Böden, der sich durch die nach ihrem jeweiligen Flächenanteil geordneten Anzahl von Kombinationen aller Merkmalsausprägungen sowie der Merkmale 1-5 (Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, Abmoorigkeit und Tiefumbruch) beschreiben lässt. *Aus Gründen der Lesbarkeit ist die Anzahl der Kombinationen auf 150 begrenzt. Die fehlenden 462 Kombinationen tragen insgesamt zu < 2 % der Gesamtfläche bei.



Quelle: Thünen-Institut

3.4.1 Genese

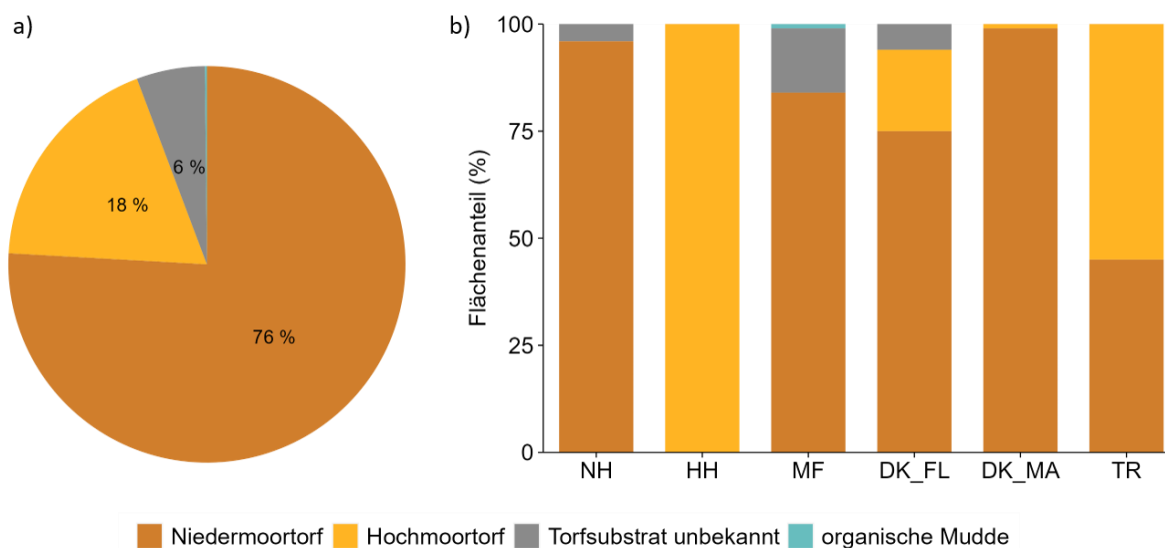
Die Flächen der aktualisierten Kulisse organischer Böden weisen erwartungsgemäß hauptsächlich eine Niedermoorgenese aus (76 %, Abbildung 16a), 18 % zeigen eine Hochmoorgenese und nur 0,2 % sind Böden aus organischen Mudden. Diese sind nur in wenigen Bundesländern ausgewiesen (Niedersachsen, Sachsen, Schleswig-Holstein). Es ist davon auszugehen, dass diese Böden auch in der Realität nur eine geringe Flächenrelevanz besitzen. Durch andauernde Degradierung der Moorböden können die Muddeböden zukünftig an Bedeutung gewinnen und häufiger in Kartenwerken auftauchen. Dass sie in der nächsten Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA6) durch die neu spezifizierten Muddemoore eindeutig beschrieben werden können, kann eine mögliche zukünftige Ausweisung begünstigen.

Knapp 6 % der Flächen (ca. 108.000 ha) konnte keine eindeutige Genese zugeordnet werden. Der überwiegende Teil dieser Flächen betrifft Moorfolgeböden, die aus der Bodenschätzung in Bayern und Sachsen abgeleitet wurden. Die Ursache hierfür liegt darin, dass sich aus dem Klassenzeichen keine Torfart ableiten lässt und Informationen der beschriebenen Grablöcher nicht zur Verfügung standen. Ebenfalls betrifft dies einige Anmoorgley-Einheiten, für die keine Niedermoorgenese angenommen werden konnte (Abbildung 16b). Moorböden ohne Information zur Torfart wurden wie in Kapitel 2.2.8 erwähnt den Niedermoorböden zugeordnet.

Moorfolgeböden weisen größtenteils eine Niedermoorgene auf. Nur für 0,25 % der Moorfolgeböden konnte klar eine Hochmoorgene angegeben werden. Es ist davon auszugehen, dass dies nicht der Realität entspricht, sondern Artefakte sowie Annahmen in den Bodendaten darstellt, da in Niedersachsen große Flächen (rund 19.000 ha; FRANK et al., 2021) abgetorfte Hochmoore in die landwirtschaftliche Nutzung übergegangen sind und insbesondere bei Ackernutzung und fehlendem Tiefumbruch den Kriterien von Moorfolgeböden entsprechen können (siehe z.B. LEIBER-SAUHEITL et al., 2014).

Flach überdeckte Moorböden haben zu 75 % Niedermoorgene, zu 19 % Hochmoorgene und zu 6 % eine unbekannte Torfart (Abbildung 16b). Hingegen finden sich unter mächtigen und sehr mächtigen Überdeckungen zu 99 % Niedermoortorfe. Dies lässt sich möglicherweise durch die Entstehung überdeckter Moorböden erklären: mächtige Überdeckungen sind hauptsächlich in den niedermoorgeprägten Marschbereichen in Schleswig-Holstein zu finden und entstehen dort auf meist natürliche Weise. Flache Überdeckungen sind fließgewässerbegleitend in ganz Deutschland zu finden, jedoch wurden auch anthropogen zur Meliorierung von Mooren mineralische Substrate aufgebracht – großräumig in den hochmoorreichen Gebieten Nordwest-Niedersachsens (Abbildung 11). Tiefumgebrochene Böden sind nahezu gleich auf ursprüngliche Nieder- bzw. Hochmoortorfe verteilt (siehe auch Tabelle 5, Kapitel 3.4.5).

Abbildung 16: a) Anteile der Ausprägungen des Merkmals „Genese“ aller Flächen sowie b) je Moorbodenkategorie. NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeböden, DK_FL: flach überdeckter Moorboden, DK_MA: mächtig überdeckter Moorboden, TR: Tiefumbruchboden aus Moor.



Quelle: Thünen-Institut

3.4.2 Mineralische Überdeckung

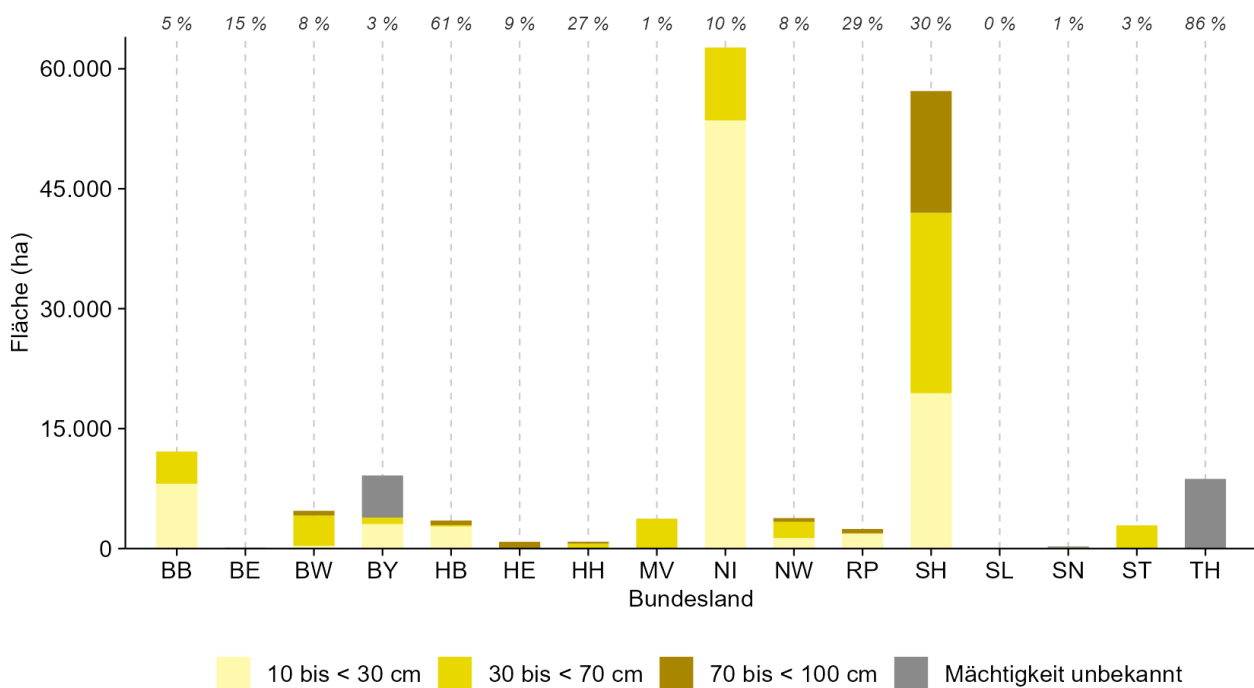
Basierend auf der Mächtigkeit der mineralischen Überdeckungen wurde zwischen den Moorbodenkategorien „flach überdeckter“ (< 30 cm) bzw. „mächtig überdeckter“ Moorboden (30 bis 100 cm) unterschieden. Auch Flächen der Kategorie Moorfolgeböden können mineralische Überdeckungen aufweisen, während Tiefumbruchböden generell eine mächtige Überdeckung zugewiesen wurde. Insgesamt finden sich knapp 300.000 ha überdeckter Flächen (rund 15 % aller organischen Böden) in der aktualisierten Kulisse organischer Böden (Tabelle 9). Dies zeigt deutlich, dass eine Analyse von Oberböden allein (terrestrisch oder per Fernerkundung) den Umfang, die Kohlenstoffvorräte und die CO₂-Emissionen organischer Böden deutlich unterschätzen würde. Entsprechende Monitoringansätze wie sie z.B. bei der LUCAS Inventur (*Land Use and Coverage Area frame Survey*) angewandt werden, sind daher nicht geeignet, die Klimawirksamkeit organischer Böden zu beurteilen. Der hohe Flächenanteil und die Variabilität der überdeckten Moorböden unterstreicht die

Notwendigkeit, diese im Moorbodenmonitoring und letztendlich in der Emissionsberichterstattung zu erfassen. Dabei ist zu beachten, dass das Emissionsverhalten mächtig überdeckter Moorböden bisher noch unklar ist, da Messdaten nur für Überdeckungen bis 40 cm Mächtigkeit vorliegen (Kapitel 1.1.2).

Von allen überdeckten organischen Böden stellen mehr als die Hälfte (ca. 154.000 ha) typische überdeckte Moorböden dar und umfassen so 8 % der Gesamtfläche organischer Böden in Deutschland (Tabelle 6). Tiefumbruchböden tragen mit knapp 125.000 ha zu über 40 % der überdeckten Böden bzw. 6,4 % der Gesamtkulisse bei (Kapitel 3.4.5), während überdeckte Moorfolgeböden auf über 19.000 ha zu finden sind (4 % aller Moorfolgeböden) (Tabelle 9).

Regional finden sich überdeckte organische Böden v.a. in Niedersachsen und Schleswig-Holstein, also in den Ländern mit bekannten großen Gebieten natürlich und anthropogen überdeckter Moorböden. Insgesamt weisen alle Länderdaten (Ausnahme: Saarland) überdeckte organische Böden aus, wobei der Anteil an der Gesamtfläche des jeweiligen Bundeslandes in Thüringen am höchsten ist (86 %, überdeckte Anmoorgleye), gefolgt von Bremen mit 61 %. Am niedrigsten ist der Anteil in Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen mit je 1 % (Abbildung 17). Tiefumbruchböden sind in Abbildung 17 nicht mit dargestellt. Unter Berücksichtigung der Überdeckung dieser Flächen steigt der Anteil überdeckter organischer Böden in Niedersachsen von 10 % auf 28 % sowie in Nordrhein-Westfalen von 8 % auf 9 %.

Abbildung 17: Flächen der Mächtigkeitsstufen mineralischer Überdeckungen von Moor- und Moorfolgeböden (ohne Tiefumbruchböden) je Bundesland. Prozentzahlen geben den Anteil überdeckter Moor- und Moorfolgeböden an der Gesamtfläche organischer Böden je Bundesland an.



Quelle: Thünen-Institut

Über alle Kategorien hinweg und unter Ausschluss der Tiefumbruchböden ist der Großteil der Überdeckungen flach (10 bis < 30 cm; 52 %), gefolgt von mächtigen (30 bis < 70 cm; 29 %), sehr mächtigen (70 bis < 100 cm; 11 %) und unbekannt mächtigen (8 %) Überdeckungen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Flächen mineralisch überdeckter organischer Böden nach Moorbodenkategorie, Mächtigkeit und Substrat der Überdeckung.

Moorbodenkategorie	Mächtigkeit der Überdeckung	Substrat der Überdeckung	Fläche
Überdeckter Hochmoorboden	10 bis < 30 cm	bindig	7.399 ha
		sandig	9.146 ha
	30 bis < 70 cm	bindig	46 ha
		sandig	22 ha
	70 bis < 100 cm	bindig	2 ha
		sandig	440 ha
<i>Gesamtfläche überdeckter Hochmoorböden:</i>			<i>17.055 ha</i>
Überdeckter Niedermoorboden	10 bis < 30 cm	bindig	50.756 ha
		Sandig	11.792 ha
		Substrat unbekannt	3.121 ha
	30 bis < 70 cm	bindig	39.374 ha
		sandig	7.958 ha
		Substrat unbekannt	611 ha
	70 bis < 100 cm	bindig	17.033 ha
		sandig	682 ha
		Substrat unbekannt	126 ha
	Mächtigkeit unbekannt	bindig	5.351 ha
		sandig	52 ha
		Substrat unbekannt	13 ha
<i>Gesamtfläche überdeckter Niedermoorböden:</i>			<i>136.870 ha</i>
<i>Gesamtfläche überdeckter Moorböden:</i>			<i>153.926 ha</i>
Moorfolgeboden	10 bis < 30 cm	Bindig	6.281 ha
		Sandig	2.083 ha
		Substrat unbekannt	2 ha
	30 bis < 70 cm	bindig	1.194 ha
		sandig	622 ha
		Substrat unbekannt	2 ha
	70 bis < 100 cm	bindig	85 ha
		sandig	38 ha
		Substrat unbekannt	118 ha
	Mächtigkeit unbekannt	Substrat unbekannt	8.721 ha
<i>Gesamtfläche überdeckter Moorfolgeböden:</i>			<i>19.146 ha</i>
Tiefumbruchboden	30 bis < 70 cm	bindig	7.165 ha
		sandig	117.424 ha
<i>Gesamtfläche Tiefumbruchböden:</i>			<i>124.589 ha</i>
<i>Gesamtfläche weiterer überdeckter organischer Böden:</i>			<i>143.735 ha</i>
Gesamtfläche aller überdeckter organischer Böden			297.660 ha

Niedermoorböden zeigen Überdeckungen aller Mächtigkeitsstufen, jedoch mit überwiegend (> 80 %) bindigen Substraten (Tabelle 9). Letzteres lässt auf die natürliche Genese der Überdeckung in Marsch- und Flussbereichen schließen, insbesondere im Falle mächtiger Überdeckungen. Sandige Überdeckungen von Niedermoorböden sind meist flach und kommen vor allem in Brandenburg, aber auch in allen weiteren norddeutschen Bundesländern vor. Einige dieser Flächen können anthropogen als Sanddeckkulturen angelegt worden sein (ZEITZ, 2014); beispielsweise wurden im Drömling (Niedersachsen/Sachsen-Anhalt) sowie in Brandenburg schon im 19. Jahrhundert erste „Moordammkulturen“ angelegt (SAUERBREY et al., 2003; VON MASSENACH, 1887). Daneben sind auch natürliche Prozesse wie Ablagerung durch Windtransport als Ursache denkbar. Es ist zu beachten, dass nur in den Datensätzen Niedersachsens und Nordrhein-Westfalens eindeutig anthropogen überdeckte Moorböden beschrieben wurden (Kapitel 3.2) Unsicher ist die Klassifikation der Klassenzeichen der Bodenschätzung (verwendet in Bayern und Sachsen). All jene mit einer Mineralbodenart über Torf (z.B. S/Mo) wurden grundsätzlich mit unbekannter Mächtigkeit der Überdeckung klassifiziert und für die übergeordnete Klassifikation als „flach überdeckte Niedermoorböden“ zusammengefasst.

Hochmoorböden hingegen zeigen fast ausschließlich flache Überdeckungen, die zu ungefähr gleichen Teilen als sandig und bindig charakterisiert werden können (Tabelle 9). Diese Flächen liegen vor allen in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. In Nordrhein-Westfalen werden sandige und bindige Deckkulturböden getrennt ausgewiesen (siehe WITTNEBEL et al., 2023). In der BK50 von Niedersachsen wird nach natürlichen und anthropogenen Prozessen unterschieden, indem „flach überlagerte Torfe“ getrennt von „Sandmischkulturen“ ausgewiesen werden (siehe WITTNEBEL et al., 2023). Dabei ist zu beachten, dass die Gliederungsstufen für Böden in Niedersachsen von der hier verwendeten Nomenklatur leicht abweichen: „flach“ im Sinne der BK50 von Niedersachsen entspricht einer Untergrenze des bestimmenden diagnostischen Horizontes in 20 bis < 40 cm Tiefe, d.h. einige der für Niedersachsen als „flach überdeckt“ ausgewiesenen Standorte können eine mineralische Decke von bis zu 39 cm aufweisen. Dieses methodische Vorgehen kann dazu geführt haben, dass in Niedersachsen 85 % der Überdeckungen eine flache Ausprägung haben, während in Schleswig-Holstein mit 68 % mächtige Überdeckungen dominieren. Weiterhin fällt auf, dass in Niedersachsen keine sehr mächtig überdeckten Moorböden zu finden sind. Dies ist ebenfalls durch eine definitorische Unschärfe bedingt, da „mächtig überlagerte Torfe“ in der niedersächsischen Nomenklatur 80 bis 130 cm mineralische Überdeckung aufweisen, welche im Mittel bei > 100 cm liegt und damit für die Zwecke dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden (Details siehe WITTNEBEL et al., 2023).

Insgesamt (ohne Berücksichtigung der Tiefumbruchböden) dominieren in allen drei Mächtigkeitstufen bindige Überdeckungen: 71 % in flachen (10 bis < 30 cm), 82 % in mächtigen (30 bis < 70 cm) und 92 % in sehr mächtigen (70 bis < 100 cm) Decken. Im Gegensatz dazu sind im Datensatz der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) fast alle flachen Überdeckungen sandig (WITTNEBEL et al., 2021). Dieser Unterschied könnte am geringen Probenumfang der BZE-LW für überdeckte organische Böden liegen.

3.4.3 Torfmächtigkeit

Die Torfmächtigkeit (TM1 bis TM5) konnte für 74 % aller Flächen eindeutig beschrieben werden (Tabelle 10). Ein vollkommenes Fehlen von Angaben (TMX) zur Torfmächtigkeit ist selten (2 %), während es sich bei 24 % der Flächen entweder um Standorte mit ausschließlich abmoorigen Horizonten oder Tiefumbruchböden (ohne Zuweisung einer Torfmächtigkeit, TM0; siehe Kapitel 3.4.5) handelt.

Niedermoorböden (einschließlich Flächen mit abmoorigen Oberböden über Torfen) weisen eine recht gleichmäßige Mächtigkeitverteilung auf (Abbildung 18). Am häufigsten treten die Klassen TM3 (70 bis < 120 cm) und TM5 (≥ 200 cm) auf, die auch in der gesamten Kulisse jeweils ca. 20 % der Flächen ausmachen (Tabelle 10). Für weniger als 4 % der Niedermoorböden konnte keine Torfmächtigkeit ermittelt werden. Bei den Hochmoorböden sind die Torfmächtigkeiten für alle Flächen bekannt. Davon nehmen die höchsten Torfmächtigkeiten (≥ 200 cm) den größten Flächenanteil (ca. 43 %) ein. Moorfolgeböden sind größtenteils (71 %) durch eine Abmoorigkeit (TM0) gekennzeichnet, während lediglich 28 % als Moorgleye mit der entsprechenden

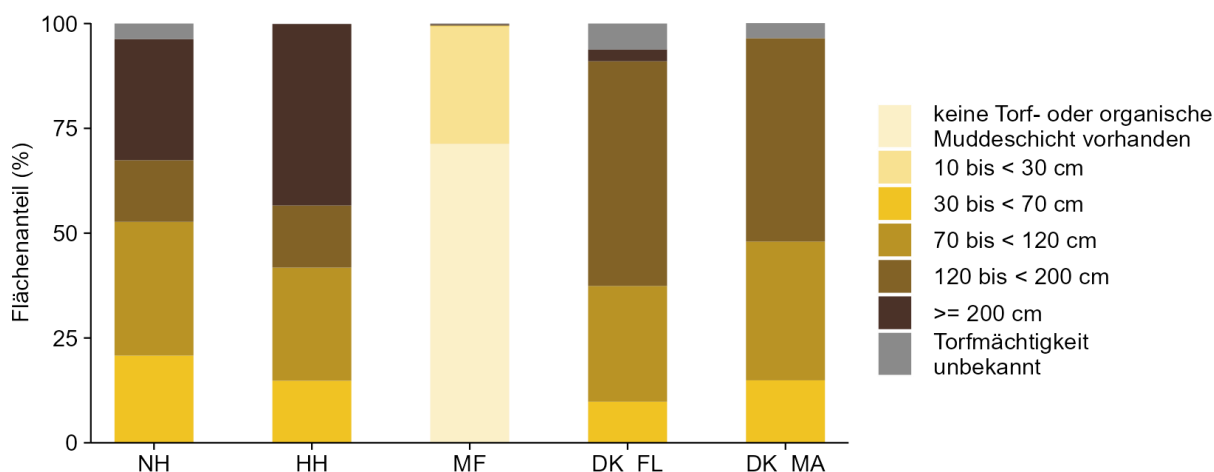
Ausprägung der Torfmächtigkeit (TM1, also 10 bis < 30 cm) klassifiziert wurden. Muddeböden, die auch Torfmächtigkeiten größer als 30 cm aufweisen, haben einen Anteil von < 1 %.

Tabelle 10: Flächen und Anteile der Ausprägung des Merkmals Torfmächtigkeit in der aktualisierten Kulisse organischer Böden.

Torfmächtigkeit (Kürzel)	Torfmächtigkeit (Beschreibung)	Fläche	Anteil
TM0	Keine Torfmächtigkeit zugewiesen	460.957 ha	24 %
TM1	10 bis < 30 cm	132.328 ha	7 %
TM2	30 bis < 70 cm	249.120 ha	13 %
TM3	70 bis < 120 cm	411.149 ha	21 %
TM4	120 bis < 200 cm	254.415 ha	13 %
TM5	≥ 200 cm	384.346 ha	20 %
TMX	Torfmächtigkeit unbekannt	42.066 ha	2 %

Unter Flächen der Kategorien flach bzw. mächtig überdeckter Moorböden ist jeweils etwa die Hälfte der Moorböden mindestens 120 cm (TM4 und TM5) mächtig, ein etwas geringer Anteil von etwa 30 % ist zwischen 70 und 120 cm mächtig. Durch die Betrachtungstiefe der Länderdatensätze von 200 cm kann die Mächtigkeit unterhalb der Überdeckung unterschätzt worden sein, da z.B. bei einer sehr mächtigen Decke mit 90 cm Mächtigkeit lediglich eine Torfmächtigkeit von 110 cm (TM3) ausgewiesen wird. Daher ist die Mächtigkeitsstufe TM5 kaum (DK_FL) oder gar nicht (DK_MA) vertreten. Nichtsdestotrotz ist für die Abschätzung von C_{org} -Vorräten überdeckter Moorböden die Torfmächtigkeit der entscheidende Parameter. Anhand der Daten der BZE-LW konnte gezeigt werden, dass die C_{org} -Vorräte überdeckter organischer Böden unterhalb der mineralischen Überdeckung im Wesentlichen denen der echten Moorböden entsprechen (WITTNEBEL et al., 2021). Die hohen Torfmächtigkeiten (mindestens TM3) unter überdeckten organischen Böden in der aktualisierten Kulisse bestätigen dieses Ergebnis.

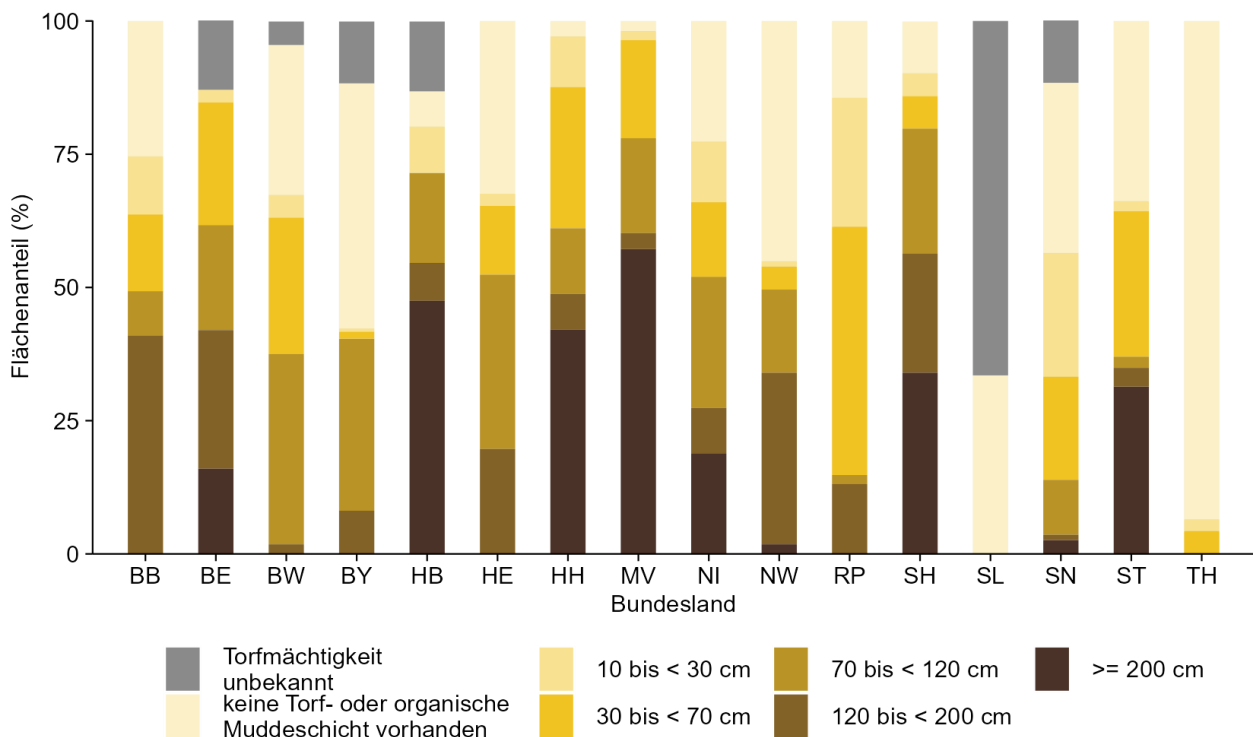
Abbildung 18: Flächenanteile der verschiedenen Ausprägungen der Torfmächtigkeit je Moorbodenkategorie. Nicht gezeigt: Tiefumbruchboden aus Moor. NH: Niedermoorböden, HH: Hochmoorböden, MF: Moorfolgeböden, DK_FL: flach überdeckter Moorböden, DK_MA: mächtig überdeckter Moorböden.



Bei einer bundeslandweisen Betrachtung lassen sich einige regionale Besonderheiten ableiten (Abbildung 19). Extrem mächtige Moorböden (≥ 200 cm) sind vor allem in Norddeutschland ausgewiesen, wo sie in Mecklenburg-Vorpommern den größten Anteil aller organischen Böden ausmachen. Dort befinden sich die großen Gebiete der Flusstalmoore (z.B. Peenetal), die deutlich mächtiger als die hier maximal betrachteten 200 cm sein können. Zudem sind auch in Bremen, Hamburg, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein große Anteile dieser extrem mächtigen Moorböden zu finden; zu geringen Anteilen auch in Niedersachsen, Berlin, Sachsen und Nordrhein-Westfalen. Es fällt auf, dass solche Einheiten in den Bodendaten der süddeutschen Bundesländer nicht auftauchen, obwohl extrem mächtige Moore auch dort anzutreffen sind. So schätzen WEINZIERL & WALDMANN (2015) aus Nachkartierungen in Baden-Württemberg, dass 43 % der Standorte organischer Böden mächtiger als 125 cm und immerhin 28 % mächtiger als 200 cm sind.

Der größte Anteil von Flächen ohne eine zugewiesene Torfmächtigkeit (TMO) befindet sich in Thüringen, da es sich hier größtenteils um Moorfolgeböden handelt. Ansonsten ist der Anteil dieser Flächen recht variabel und liegt zwischen ca. 2 und 50 %, wobei der Anteil in Bremen, Hamburg oder Mecklenburg-Vorpommern an niedrigsten ist (< 5 %) und in Berlin keine solcher Flächen ausgewiesen wurden. Der Anteil von Flächen mit unbekanntem Mächtigkeiten (TMX) ist sehr gering und wurde nur in 6 der 16 Bundesländer angegeben. Der höchste Flächenanteil wurde mit 67 % (ca. 540 ha) im Saarland festgestellt. In den anderen fünf Bundesländern (Berlin, Baden-Württemberg, Bayern, Bremen und Sachsen) lag der Anteil zwischen 4 und 13 %.

Abbildung 19: Flächenanteile der verschiedenen Ausprägungen der Torfmächtigkeit je Bundesland.



Quelle: Thünen-Institut

Bei den hier gezeigten Auswertungen ist zu beachten, dass die Torfmächtigkeiten sowohl unter- als auch überschätzt sein können. Aufgrund der typischen Betrachtungstiefe von 200 cm (Tabelle 2) werden extrem mächtige Standorte grundsätzlich unzureichend erfasst. Von den im Rahmen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (JACOBS et al., 2018) erfassten Standorten organischer Böden wiesen rund 30 % Torfmächtigkeiten von ≥ 200 cm auf. Wenn man zusätzlich in Betracht zieht, dass an ungenutzten Standorten größtenteils die mächtigeren Moorbodenkategorien und kaum Moorfolgeböden auftreten (Abbildung 14), ist von einer erheblichen Unterschätzung der Fläche extrem mächtiger Moorböden und damit auch von jeglichen daraus abgeleiteten Bodenkohlenstoffvorräten auszugehen.

Dem gegenüber steht das teilweise erhebliche Alter der Datenquellen (Tabelle 1). Aufgrund der fortschreitenden entwässerungsbedingten Verlusten an Geländehöhe (z.B. Sackung oder Mineralisation) ist davon auszugehen, dass viele Flächen u.a. in Abhängigkeit ihrer ursprünglichen Torfmächtigkeit mittlerweile geringere Torfmächtigkeiten aufweisen (FELL et al., 2015).

3.4.4 Abmoorigkeit

In der aktualisierten Kulisse organischer Böden finden sich ca. 339.000 ha (18 % der Gesamtfläche) mit einer ausgewiesenen Abmoorigkeit. Diese wurden größtenteils (99 %) als Moorfolgeböden klassifiziert, ein geringerer Anteil (1 %) sind abmoorige Oberböden über Niedermoortorfen, die entsprechend den Niedermoorböden zugewiesen wurden.

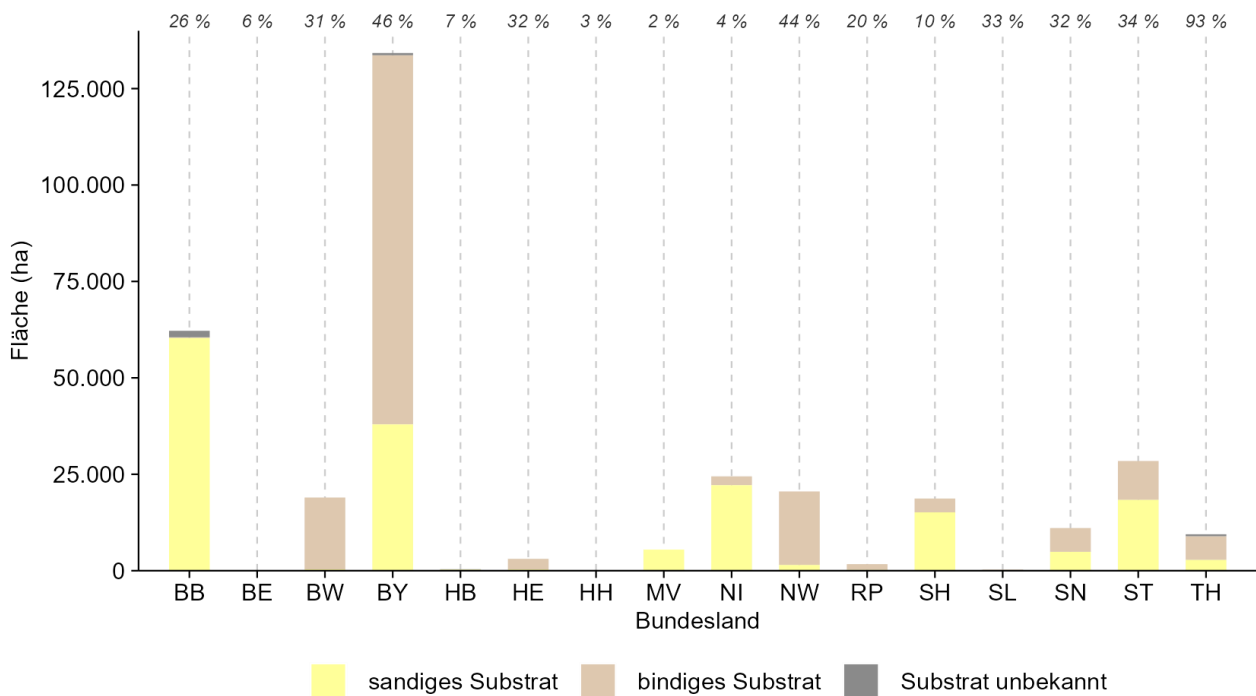
In den Länderdatensätzen wurden diese Flächen überwiegend als verschiedene Anmoorgley-Einheiten ausgewiesen. Die Genese dieser Flächen ist zu 80 % Niedermoor und zu 20 % unbekannt; Hochmoor- oder Muddegenesen tragen mit insgesamt 130 ha zu weniger als einem Prozent der Flächen bei (siehe Kapitel 3.4.1). Für nahezu alle Flächen konnte ein rezentes mineralisches Substrat angegeben werden, das zu fast gleichen Teilen bindiger (49 %) oder sandiger (50 %) Ausprägung war; für 1 % war das Substrat unbekannt.

Flächen mit Abmoorigkeit werden in allen Bundesländern ausgewiesen, der Anteil an der Gesamtfläche ist jedoch sehr unterschiedlich und bewegt sich zwischen 2 % in Mecklenburg-Vorpommern bis 93 % in Thüringen (Abbildung 20). In Bayern und Nordrhein-Westfalen machen diese Flächen etwas weniger als die Hälfte aus, in Sachsen-Anhalt, dem Saarland, Hessen, Sachsen und Baden-Württemberg ungefähr ein Drittel. In den Stadtstaaten sowie den moorreichen Ländern Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern liegt der Anteil bei weniger als 10 %. Auch die mineralischen Substrate der abmoorigen Horizonte sind nicht gleich verteilt, bspw. dominieren in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein sandige Substrate, während in Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen mehr bindige Substrate angegeben werden. Da aufgrund der für entsprechend hohe C_{org} -Gehalte aufwendigen Probenaufbereitung kaum Messdaten zur Textur vorliegen, ist eine Einordnung der Angaben schwierig. Im Rahmen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft wurde u.a. die Textur für abmoorige Horizonte erfasst. Dabei traten an 57 % der Standorte mit solchen Horizonten im Oberboden bindige und an 43 % sandige Substrate auf (WITTNEBEL et al., 2021), so dass die Aufteilung in der Kulisse grundsätzlich plausibel erscheint.

Eine Besonderheit stellen die abmoorigen Oberböden über Niedermoortorfen dar, die nur 2.660 ha umfassen und v.a. in Baden-Württemberg sowie zu geringerem Anteil in Rheinland-Pfalz, Brandenburg, Sachsen, Schleswig-Holstein und Berlin liegen. Das Substrat ist zu über 85 % bindig, während die Mächtigkeit der darunterliegenden Torfe zu jeweils 40 % entweder als 30 bis < 70 cm oder als unbekannt klassifiziert wurde.

Das Vorkommen von Flächen mit Abmoorigkeit ist stark von der Datengrundlage und deren Interpretation beeinflusst, da anzunehmen ist, dass sich in allen Moorregionen aufgrund entwässerungsbedingter Degradierung sowie Bodenbearbeitung echte Moorböden hin zu Abmooren entwickeln.

Abbildung 20: Flächen der Substrate abmooriger Horizonte organischer Böden je Bundesland. Prozentzahlen geben den Anteil der Flächen mit Abmoorigkeit an der Gesamtfläche organischer Böden je Bundesland an.



Quelle: Thünen-Institut

3.4.5 Tiefumbruch

Alle Flächen mit dem Merkmal „Tiefumbruch“ wurden als Tiefumbruchböden ausgewiesen, so dass die Flächen identisch mit der Moorbodenkategorie „Tiefumbruchboden aus Moor“ sind, die schon in Kapitel 3.2 diskutiert wurden. Hier werden die Merkmale der Profileigenschaften dieser Flächen näher betrachtet.

Die ursprüngliche Moorgenese der tiefumgebrochenen Flächen ist fast zu gleichen Teilen Nieder- (45 %) und Hochmoor (55 %) (Tabelle 6). Der Oberboden einer Fläche mit Tiefumbruch wurde generell als mineralische Überdeckung klassifiziert und kann entweder durch Vermengen von Torf und Mineralboden und darauffolgender Verringerung der C_{org} -Gehalte durch Mineralisierung organischer Bodensubstanz ($1,1 \text{ t } C_{org} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; HÖPER, 2015) oder durch zusätzliches Auftragen („Tiefpflug-Sanddeckkultur“) entstanden sein. Erwartungsgemäß sind hier überwiegend sandige und nur vereinzelt bindige Überdeckungen zu finden. Bindige Ausprägungen besitzen vor allem die in Niedersachsen gesondert beschriebenen Spittkulturböden (FLEISCHMANN & VOIGT, 1963).

Aus den Flächendaten lassen sich keine konsistenten Daten zur Pflugtiefe bzw. zur Mächtigkeit des Pflughorizontes (R-Horizont) ableiten. Auch wenn die Pflugtiefe bekannt ist, wäre eine Herleitung der rezenten Torfmächtigkeit bzw. eines Torfmächtigkeitsäquivalentes konzeptionell schwierig, da nicht nur der Winkel der Balken sowie die Balkenbreite (Abbildung 1), sondern auch die Verdichtung der Torfbalken bekannt sein müssten. Aufgrund dieser Schwierigkeiten wurden alle Flächen mit „TMO“ klassifiziert. Obwohl die frühe Literatur (GÖTTLICH, 1990; KUNTZE, 1987) Empfehlungen zu Pflugtiefe und Winkel ($100\text{-}135^\circ$) sowie dem Verhältnis von Torf- und Sandbalken (je nach Bodeneigenschaften 2:1 bis 1:2) gibt, lassen sich diese idealen Sandmischkulturen in Realität häufig nicht wiederfinden. Stattdessen ist die räumliche Heterogenität nicht nur zwischen Standorten, sondern auch innerhalb einer Fläche sehr groß, so dass der Aufwand für eine Bestimmung von C_{org} -Vorräten von Tiefumbruchböden nicht nur an Moorstandorten sehr hoch ist (ALCANTARA et al., 2016; FRANK et al., 2022).

Das unterlagernde mineralische Substrat konnte dagegen für nahezu alle Flächen bestimmt werden und ist erwartungsgemäß zu fast 90 % sandig, da das Vorhandensein von Sand als Unterlagerndes der Torfe Voraussetzung für eine Empfehlung zur Anlage eines Tiefumbruchs war (GÖTLICH, 1990).

3.4.6 Unterlagernde Mudden

Die Unterlagerung von Mudden bezieht sich auf Standorte mit Torfen oder abmoorigen Horizonten im Oberboden, d.h. auf den überwiegenden Teil aller Flächen. Nur bei ausschließlichem Vorkommen anstehender oder überdeckter organischer Mudden wurden diese Böden mit einer Muddegenese („Muddeböden“) erfasst, nicht aber mit einer zusätzlichen Muddeunterlagerung charakterisiert (siehe Kapitel 2.2.1, 3.4.1).

Tabelle 11: Flächen und Anteile von unterlagernden Mudden nach Genese.

Genese	Fläche	Anteil Muddeunterlagerung an allen Flächen dieser Genese
Niedermoortorf	339.738 ha	23 %
Hochmoortorf*	25.082 ha	7 %
Torfsubstrat unbekannt	1.996 ha	2 %

* Annahme, dass die Hochmoortorfe von Niedermoortorfen unterlagert sind.

Insgesamt wurde für knapp 367.000 ha (also 19 % der Gesamtkulisse) eine Muddeunterlagerung ausgewiesen. Davon entfällt erwartungsgemäß der Großteil auf Flächen mit Niedermoorgenese, die zu 23 % muddeunterlagert sind (Tabelle 11). Auch unter 7 % aller Hochmoorflächen wurden Mudden ausgewiesen. Moorgenetisch ist ein Aufwachsen von Hochmoortorfen auf Mudden nicht plausibel. Die entsprechenden Einheiten weisen zum größten Teil Hochmoortorfe über Niedermoortorfen aus oder wurden mit Hilfe länderspezifischen Expertenwissens entsprechend beschrieben und daher als „Hochmoorgenese“ kategorisiert (Abbildung 3). Unter diesen Niedermoortorfen ist ein Vorkommen von Mudden schlüssig.

Mudden entstehen unter limnischen Bedingungen. Insbesondere in den Jungmoränengebieten Nordostdeutschlands und im Alpenvorland führte eine Muddebildung zur Verlandung von z.B. Seen oder Altarmen von Flüssen. Die so entstandenen Verlandungsmoore, die einen hohen Flächenanteil an den Mooren in Deutschland haben, sind entsprechend durch unterlagernde Mudden charakterisiert (ROBKOPF et al., 2015; SUCCOW & JOOSTEN, 2001).

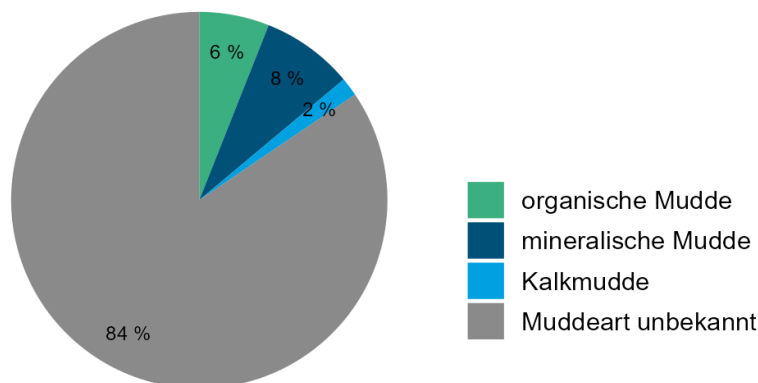
Unterlagernde Mudden werden in der aktualisierten Kulisse organischer Böden anteilig und absolut am häufigsten in Mecklenburg-Vorpommern (181.000 ha, 64 % aller organischen Böden in diesem Bundesland) ausgewiesen. Auch in Berlin ist der Anteil mit 60 % hoch, im umgebenen Brandenburg mit 13 % deutlich geringer. In Süddeutschland (Baden-Württemberg mit 45 % und Bayern mit 36 %) finden sich ebenfalls vermehrt Flächen mit unterlagernden Mudden. Auch in Hamburg (27 %) und Hessen (12 %) wurden unterlagernde Mudden für einige Einheiten ausgewiesen, während der Anteil in allen anderen Bundesländern unter 10 % liegt, wobei Bremen und das Saarland keine unterlagernden Mudden in ihren Flächendaten beschreiben.

Die räumliche Verteilung der unterlagernden Mudden hat zum einen naturräumliche Gründe, da einige hydrogenetische Moortypen wie beispielsweise Versumpfungsmoore, Hangmoore und wurzelechte, d.h. direkt auf Mineralböden aufgewachsene Hochmoore keine Mudden aufweisen. Andererseits kann das Fehlen der Information auch in der Betrachtungstiefe der Flächendaten begründet liegen, da unter extrem mächtigen Torfen liegende Mudden nur für einige Flächen mit Hilfe von Einschätzungen der Expert*innen der Bundesländer oder anhand von Kartierbohrungen (Berlin, Hamburg) ausgewiesen werden konnten. Beispielsweise wurden für auf Verlandungsmooren aufgewachsene Durchströmungsmoore (z.B. Flusstalmoore in Mecklenburg-Vorpommern; SUCCOW & JOOSTEN, 2001) Mudden in einer Tiefe > 200 cm nicht in den Legendeneinheiten aufgeführt. Zur Reduzierung dieses Fehlers wurde nach Rücksprache für Einheiten mit extrem mächtigen Torfen (TM5; 88.900

ha) eine Muddeunterlagerung in > 200 cm Tiefe angenommen, sofern in der ausgewiesenen Bodengesellschaft Begleitböden mit Muddeunterlagerung ausgewiesen waren (Tabelle 3, nähere Erläuterung in WITTNEBEL et al., 2023).

Eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Muddearten war lediglich für 16 % der Flächen mit unterlagernder Mudde möglich (Abbildung 21). Ausgewiesen wurden zu fast gleichen Teilen organische oder mineralische Mudden, sowie in geringerem Umfang Kalkmudden.

Abbildung 21: Verteilung der Muddearten ausgewiesener unterlagernder Mudden.



Quelle: Thünen-Institut

3.4.7 Unterlagerndes mineralisches Substrat

Das unterlagernde mineralische Substrat konnte für 58 % aller organischen Böden ermittelt werden (Tabelle 12). Ungefähr 75 % der ausgewiesenen Substrate besitzen eine sandige Ausprägung oder sind Lockergestein, gefolgt von bindigen und hauptsächlich lehmigen Ausprägungen. Bei weniger als 1 % aller Flächen wurde Festgestein angegeben. Unterschiede nach Moorgenese wurden nicht festgestellt; die Verteilungen der Substrate unter Flächen mit Nieder- bzw. Hochmoorgenese sind ähnlich und entsprechen jeweils der Gesamtverteilung. Unterhalb ausgewiesener unterlagernder Mudden sind die mineralischen Substrate größtenteils unbekannt (61 %) oder sandig (29 %).

In den meisten Bundesländern dominieren sandige unterlagernde Substrate. In Nordrhein-Westfalen überwiegen mit 70 % bindige Substrate und auch in Rheinland-Pfalz ist deren Anteil mit knapp 50 % recht hoch; dort ist insbesondere der Anteil speziell toniger Substrate am größten. Zu weniger als 10 % wurden bindige Substrate in Berlin, Brandenburg, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen ausgewiesen. Festgestein wird nur in fünf Ländern explizit angegeben. Die größten Flächen finden sich in Niedersachsen (2.540 ha) und Thüringen (3.850 ha). In Thüringen ist der Anteil an der Gesamtfläche entsprechend hoch (38 %).

In Abhängigkeit der Eingangsdaten sind regional deutliche Unterschiede im Anteil unbekannter Substrate (LGx) zu erkennen. So fehlen eindeutige Informationen zum Unterlagernden in Bremen und dem Saarland vollständig, während sie in Hessen, Nordrhein-Westfalen und Berlin für mehr als 95 % der Flächen angegeben waren (Abbildung 22). Im moorreichsten Bundesland Niedersachsen liegen zu 76 %, in den weiteren moorreichen Ländern Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein zu ungefähr 40 bis 55 % Informationen zum unterlagernden mineralischen Substrat vor.

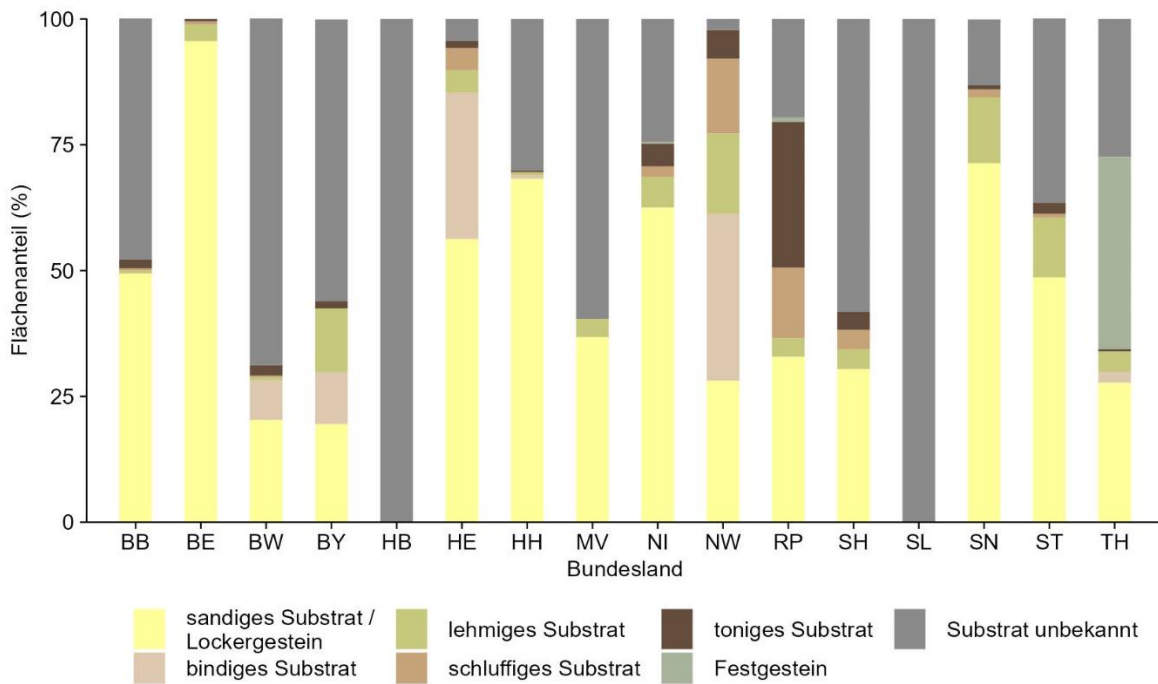
Tabelle 12: Flächen und Anteile der unterlagernden mineralischen Substrate in der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland.

Unterlagerndes mineralisches Substrat		Fläche	Flächenanteil (inklusive LGx)	Flächenanteil (exklusive LGx)
Kürzel	Beschreibung			
LGs	sandig oder Lockergestein	855.563 ha	44,2 %	76,2 %
LGb	bindig (allgemein)	53.747 ha	2,8 %	4,8 %
LGl	lehmig	119.462 ha	6,2 %	10,7 %
LGu	schluffig	32.386 ha	1,7 %	2,9 %
LGt	tonig	53.454 ha	2,8 %	4,8 %
LGf	Festgestein	6.484 ha	0,3 %	0,5 %
LGx	Substrat Unbekannt	813.287 ha	42,0 %	-

Einen möglichen Grund für das Fehlen von Angaben stellt die maximale Betrachtungstiefe der Länderdatensätze (Bodenkarten: 200 cm; Bodenschätzung: 100 cm) dar (Tabelle 2; Kapitel 2.2), aufgrund derer bei Torfen (mit oder ohne Muddeunterlagerung), die bis mindestens in diese Tiefe reichen, keine weiteren Angaben zum Unterlagernden vorhanden sind. Dies betrifft z.B. einen Großteil (380.890 ha) der Flächen mit einer Torfmächtigkeit von mehr als 200 cm (TM5) sowie alle Flächen der Bodenschätzung mit dem Klassenzeichen „Mo“ (ca. 19.700 ha). Zum anderen führten uneindeutige Angaben zum unterlagernden Substrat, beispielsweise bei Legendeneinheiten mit Angaben eines Substratspektrums (z.B. „fast ausschließlich Gleye über Niedermoor aus Auensand bis -schluff über Niedermoor“) ebenfalls zur Ausweisung eines unbekanntes Substrates.

Sofern möglich wurde über zusätzliche Informationen (z.B. Leitprofile oder Begleitbodentypen der Legendeneinheiten) und nach Rücksprache mit den Bodenexpert*innen der entsprechenden Bundesländer (siehe Kapitel 2.1; Tabelle 3) versucht, weitere Informationen über das unterlagernde Substrat (> 200 cm Tiefe) zu erhalten. So konnten z.B. für ca. 2.000 ha der extrem mächtigen Niedermoore (TM5) Informationen zum unterlagernden Substrat ausgewiesen werden. In Bundesländern mit Länderdatensätzen aus aktuellen Kartierbohrungen (> 200 cm; z.B. Hamburg, Berlin) konnten ebenfalls Angaben zum unterlagernden Substrat z.B. bei extrem mächtigen Moorböden (TM5) abgeleitet werden (ca. 1.400 ha).

Abbildung 22: Flächenanteile der unterschiedlichen Ausprägungen unterlagernder mineralischer Substrate je Bundesland.



Quelle: Thünen-Institut

3.5 Verwendung des Flächendatensatzes

Die Kulisse organischer Böden wurde im Rahmen des Projektes „Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz (MoMoK) – Teil 1: Offenland“ aktualisiert und wird am Thünen-Institut zukünftig als Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung dienen. Da THG-Emissionen abhängig von modellierten Moorbwasserständen berichtet werden, muss nach der Aktualisierung der Kulisse auch das Wasserstandsmodell (BECHTOLD et al., 2014) angepasst werden, da ansonsten für Teilflächen der neuen Kulisse keine Moorbwasserstände vorliegen würden. Entsprechend wird die aktualisierte Kulisse frühestens im Inventarbericht 2025 (der im Herbst 2024 finalisiert wird) Verwendung finden können. Die Kulisse wird daneben auch für die Modellierung von Landnutzungsoptionen und Szenarien genutzt werden.

Mit der aktualisierten Kulisse wurde ein neues Konzept zur Harmonisierung und Aggregation heterogener Flächendaten zu organischen Böden entwickelt, das mit der Fokussierung auf emissionsrelevante Eigenschaften bodensystematische Klassifizierungen ergänzen kann. Das auf WITTNEBEL et al. (2021) aufbauende Harmonisierungskonzept kann und soll auch über die hier erstellte Kulisse hinaus verwendet und weiterentwickelt werden. Entwicklung und Umsetzung des Konzepts wurden durch die umfangreichen Datengrundlagen der Bundesländer sowie die intensive Diskussion mit allen zuständigen Behörden ermöglicht.

Eine enge Zusammenarbeit mit allen Landesämtern, die Schaffung größtmöglicher Transparenz anhand einer detaillierten Dokumentation sowie der freien Bereitstellung der Daten stellten von Beginn an eine hohe Priorität dar. Der Datensatz selbst ist Dank der Erlaubnis aller Landesämter zur Veröffentlichung frei zugänglich (<https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>; WITTNEBEL et al., 2023) und steht anderen Institutionen und Personen zur Bearbeitung deutschlandweiter Fragestellungen zur Verfügung. Damit wird das Spektrum deutschlandweiter Kartenwerke zu Böden um eines explizit für organische Böden erweitert.

Der hier beschriebene und diskutierte Datensatz ist „Version 1.0“ der aktualisierten Kulisse organischer Böden, in der die Flächendaten inhaltlich harmonisiert, die Flächenpolygone selbst jedoch nur in sehr wenigen Ausnahmefällen verändert wurden (Kapitel 2.3). Bei der Verwendung des Datensatzes ist daher zu

berücksichtigen, dass in dieser Version der Kulisse noch Lücken vorhanden sind, die bewusst nicht korrigiert wurden. Dies betrifft zum einen Lücken an den Grenzen zwischen Bundesländern (z.B. aufgrund von Unterschieden in den Projektionen der Länderdatensätze), zum anderen aber auch Lücken innerhalb von Mooregebieten, wenn Infrastruktur- oder Gewässerelemente entfernt wurden (Tabelle 1). Solche Lücken führen zu Problemen bei der statistischen Modellierung von Moorwasserständen, da Abstände zum Moorrand möglicherweise ein sinnvoller Parameter für die Abschätzung von Moorwasserständen sind (BECHTOLD et al., 2014). Da es keine deutschlandweit konsistente Definition von Mooregebieten gibt, kann die Verteilung von Abständen zum Moorrand innerhalb bestimmter Gebietseinheiten (z.B. Landkreise) auch als Proxy für Moorgrößen genutzt werden (KOPPENSTEINER et al., 2023). Des Weiteren werden in der Emissionsberichterstattung gemäß den Vorgaben des *Wetlands Supplements* (IPCC, 2014) auch Methanemissionen aus Gräben berichtet. Dies ist nicht möglich, wenn nicht nur große Gewässer, sondern auch Gräben grundsätzlich aus den Flächendatensätzen herausgeschnitten wurden (Tabelle 1). Entsprechend wird in diesen Fällen zukünftig eine Lückenschließung notwendig werden.

Es ist zu betonen, dass der Datensatz vorrangig für deutschlandweite Auswertungen erstellt wurde. Bei Verwendung dieser Kulisse für großmaßstäbigen Fragestellungen ist die Unsicherheit der Angaben bezogen auf den Maßstab zu berücksichtigen. Die Flächen wurden nicht auf einen einheitlichen Maßstab generalisiert, sondern im Original belassen bzw. Datensätze mit unterschiedlichen Maßstäben kombiniert (Tabelle 1). Aufgrund des Datenalters, das sich im Rahmen der Aktualisierung der Kulisse nicht für einzelnen Polygone, sondern nur für die Flächendatensätze im Allgemeinen ermitteln ließ (Kapitel 2.1), sind für standortspezifische Fragestellungen (z.B. Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen) zusätzlich konkrete Untersuchungen vor Ort unerlässlich. Auch liegen ggf. weitere Informationen für einzelne Gebiete bei den zuständigen Landesämtern oder auch weiteren Institutionen vor, die dort angefragt werden können und sollten.

Aufgrund des Alters der Eingangsdatensätze ist davon auszugehen, dass die Gesamtfläche an organischen Böden trotz der Verwendung der aktuellsten Länderdatensätze überschätzt wird oder dass sich einzelne Merkmalsausprägungen seit der Erstellung der Länderdatensätze verändert haben (z.B. verringerte Torfmächtigkeiten oder Entwicklung hin zum Abmoor). So ermittelten FELL et al. (2015) bei der Erstellung der auf das Jahr 2013 referenzierten Moorkarte für Brandenburg, dass die Gesamtfläche aller organischen Böden in Brandenburg abnahm, Moorböden in ihrem Flächenanteil an der Karte zurückgingen und der Flächenanteil von Moorfolgeböden (Anmoore, Moorgleye) hingegen zunahm. Dieser Trend setzte sich mit der neusten Moorkarte, die auf das Jahr 2021 referenziert ist, fort. Für 2021 wurde eine um 5.000 ha geringe Fläche an Moorböden ermittelt, was einem jährlichen Rückgang von 625 ha entspricht (LBGR, 2022).

Einen stärkeren Rückgang an Moorflächen weisen GEPP et al. (2023) für den Landkreis Emsland (Niedersachsen) aus. Hier verblieben nach einer aktuellen Kartierungskampagne (10.000 Bohrungen) lediglich 19.000 ha von der Eingangskulisse von 38.000 ha. Allerdings wurden Tiefumbruchböden nicht kartiert. In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass das Emsland basierend auf dem „Emslandplan“ durch eine sehr ausgeprägte anthropogene Umgestaltung der Mooregebiete charakterisiert ist, so dass unsere aktualisierte Kulisse ca. 38.000 ha Tiefumbruchböden ausweist. Daher ist davon auszugehen, dass ein Teil des Verlustes durch die Umwandlung in Tiefumbruchböden zu erklären ist, und dass die für den Landkreis Emsland festgestellte Verlustrate weder für Niedersachsen noch für Deutschland repräsentativ ist.

WEINZIERL & WALDMANN (2015) gehen für Baden-Württemberg davon aus, dass 6.400 ha flachgründige Moorböden (Moorgleye; < 25 cm) bis 2050 ihren Moorcharakter gänzlich verlieren werden. Diese Prognose basiert auf einer Nachvermessung (Zeitraum: 1949-1974 vs. 2012/13) der Geländehöhen an 11.541 Standorten, die eine mittlere Moorschwundrate von 0,65 cm/Jahr ergeben hat.

Beim Vergleich mit den im Rahmen der BZE-LW in einem 8 x 8 km Raster auf landwirtschaftlich genutzten Böden aufgenommen Bodenprofilen (JACOBS et al., 2018) zeigt sich, dass von 3.104 Standorten der BZE-LW 75 Standorte innerhalb der aktualisierten Kulisse nicht (mehr) als organische Böden, sondern häufig als Gleye (n = 35) angesprochen wurden. Umgekehrt lagen von den 146 als organische Böden klassifizierten Standorten (WITTNABEL

et al., 2021) 44 Standorte *nicht* in der aktualisierten Kulisse und verdeutlichen, dass nicht alle kleinflächigen Moore in der Kulisse enthalten sind bzw. dass Grenzen ungenau sein können. Dies verdeutlicht, dass eine Abschätzung von Verlustraten aus nicht flächendeckenden Nachkartierungen zu einer Überschätzung der Verlustraten führen wird, da bisher unbekannte Moorstandorte nicht erfasst werden.

Zusätzliche Unschärfen, die ebenfalls zu einer Unterschätzung der Fläche organischer Böden führen, können durch die fehlende Berücksichtigung von über Bodenkarten hinausgehenden Daten entstehen. Beispielsweise enthält die Kulisse im „Programm Niedersächsische Moorlandschaften“ (MU, 2016) zusätzliche Moorlebensräume, die u.a. anhand von Biotopkartierungen identifiziert wurden. Solche Standorte wurden in der aktualisierten Kulisse organischer Böden nicht ausgewiesen.

Trotz der genannten Punkte liefert die aktualisierte Kulisse organischer Böden eine wertvolle und konsistente Grundlage für Fragestellungen im Bereich der Moorforschung, des Moorbodenschutzes und daraus folgend des Klimaschutzes. Zusätzlich wird mit dieser Kulisse erstmalig ein transparenter Datensatz für die Emissionsberichterstattung für organische Böden erstellt. Die einzeln ausgewiesenen Merkmalsausprägungen (z.B. Torfmächtigkeit, Mudde) bieten über die Moorbodenkategorien hinaus deutschlandweit wertvolle Informationen für spezifische Fragestellungen wie beispielsweise einer Ausweisung von Kulissen für Photovoltaik-Anlagen auf vernässten Moorböden oder zur Potenzialanalyse der Umsetzungschancen von Wiedervernässungsmaßnahmen (KOPPENSTEINER et al., 2023).

3.6 Ausblick

Der in diesem Thünen Working Paper beschriebene Datensatz stellt Version 1.0 der aktualisierten Kulisse organischer Böden dar, die in Zukunft weiter verbessert werden soll. Ein erster Arbeitsschritt wird das in Kapitel 3.5 beschriebene Schließen von Lücken sein, um die Verwendbarkeit für das Wasserstandsmodell zu verbessern und einen Verschnitt mit Daten zu Fließgewässern (v.a. Gräben) zu ermöglichen. Daneben wird mittelfristig eine Parametrisierung der Kulisse angestrebt, um die Berechnungen der Moorwasserstände und THG-Emissionen weiter zu verbessern. Zentrale Bodeneigenschaften sind hier Trockenrohdichten sowie C_{org} - und Stickstoffgehalte zur Berechnung von Stoffvorräten sowie gesättigte hydraulische Leitfähigkeiten für hydrologische Fragestellungen. Des Weiteren wird eine Aktualisierung der Kulisse angestrebt, sobald Bundesländer aktualisierte Flächendaten zu organischen Böden bereitstellen.

Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft für die Finanzierung des Projekts „Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz – Teil 1: Offenland“ aus Sondermitteln für die Klimaberichterstattung, Projektionen, Maßnahmen. Daneben bedanken wir uns bei Andreas Laggner und Wiltrut Koppensteiner für die Unterstützung bei den GIS-Arbeiten sowie Merten Minke und weiteren Kolleg*innen der Arbeitsgruppe Moorforschung für Anmerkungen zum Dokument.

Die Erstellung der Kulisse wäre nicht ohne die tatkräftige Unterstützung aller Ansprechpartner*innen der Landesämter und -Institutionen möglich gewesen, die freundlicherweise ihre Bodendaten für dieses Projekt zur Verfügung gestellt haben und für jegliche Rückfragen (Datennutzung, inhaltlich zur Harmonisierung der Legendeneinheiten) mit Rat und Tat zur Verfügung standen.

Um einzelne Personen nicht zu vergessen, seien an dieser Stelle alle datengebenden Institutionen genannt:

- Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Baden-Württemberg
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
- Berliner Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt (vorher: Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz)
- Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- Geologischer Dienst für Bremen
- Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Hamburg
- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen
- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen - Landesbetrieb -
- Landesamt für Geologie und Bergbau, Rheinland-Pfalz
- Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz, Saarland
- Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Sachsen
- Landesamt für Geobasisinformation Sachsen (vorher: Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung, Sachsen)
- Landesamt für Geologie und Bergwesen, Sachsen-Anhalt
- Landesamt für Umwelt, Schleswig-Holstein
- ThüringenForst – AÖR (Anstalt öffentlichen Rechts), forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum
- Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz, Thüringen

Vielen herzlichen Dank für die vertrauensvolle und kooperative Zusammenarbeit!

Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Alcántara V, Don A, Well R, Nieder R (2016): Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks. *Global Change Biology* 22(8): 2939-2956. <https://doi.org/10.1111/gcb.13289>
- Bechtold M, Tiemeyer B, Laggner A, Leppelt T, Frahm E, Belting S (2014): Large-scale regionalization of water table depth in peatlands optimized for greenhouse gas emission upscaling. *Hydrology and Earth System Sciences* 18: 3319-3339. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3319-2014>
- Beyer C (2014): Greenhouse gas exchange of organic soils in Northwest Germany - Effects of organic soil cultivation, agricultural land use and restoration. PhD thesis at the University of Bremen, Germany, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:46-00103939-13>
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2018): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:250.000 V5.5. Verknüpft mit der Sachdatenbank der BÜK200 Version 0.7 (Juni 2021). Online unter: <https://www.bgr.bund.de/buek200>
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2013): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000. Online unter: <https://www.bgr.bund.de/buek1000>
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (2020): Digitales Basis-Landschaftsmodell für Deutschland 2020.
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (2019): Verwaltungsgebiete 1:250.000 (VB250).
- BodSchätzG (2007), Gesetz zur Schätzung des landwirtschaftlichen Kulturbodens (Bodenschätzungsgesetz – BodSchätzG) vom 20. Dezember 2007 (BGBl. I S. 3150, 3176), das zuletzt durch Artikel 15 des Gesetzes vom 26. November 2019 (BGBl. I S. 1794) geändert worden ist.
- BUKEA (Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft; vorher: BUE, Behörde für Umwelt und Energie) (2017): Moore in Hamburg - Verbreitung und Geschichte der Moorböden Hamburgs. Freie und Hansestadt Hamburg. Online unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/9096684/1ee16e391e76c8521530f40bd07ca975/data/d-moorbericht.pdf> (letzter Zugriff: 22.06.2023)
- Capelle A, Burghardt H (2007): Zur bodentypologischen Profilsprache anthropogen veränderter Moor- und Mineralböden. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 110: 63-64.
- Clymo RS (1984): The limits to peat bog growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 303(1117): 605-654. <http://www.jstor.org/stable/2396128>
- Eberhardt E, Fleck W, AG Bodensystematik (2019): Statusbericht Bodensystematik. Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission V. 24.-29. August 2019, Bern.
- Eickenscheidt T, Heinichen J, Drösler M (2015): The greenhouse gas balance of a drained fen peatland is mainly controlled by land-use rather than soil organic carbon content. *Biogeosciences* 12: 5161-5184. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5161-2015>
- Evans CD, Peacock M, Baird AJ, Artz RRE, Burden A, Callaghan N, Chapman PJ, Cooper HM, Coyle M, Craig E, Cumming A, Dixon S, Gauci V, Grayson RP, Helfter C, Heppell cm, Holden J, Jones DL, Kaduk J, Levy P, Matthews R, McNamara NP, Misselbrook T, Oakley S, Page SE, Rayment M, Ridley LM, Stanley KM, Williamson JL, Worrall F, Morrison R (2021): Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature* 593: 548-552. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1998): World reference base for soil resources. *World Soil Resources Reports*, 84, Rome. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-classification/world-reference-base/en>
- Fell H, Roßkopf N, Zeitz J (2012): Aktivitätsdaten organische Böden. Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre.
- Fell H, Roßkopf N, Zeitz J (2014): Impact of the spatial resolution of soils data on climate reporting for organic soils using the example of Germany. *Mires and Peat Article* 3: 1-9. <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map14/map1403.php>
- Fell H, Roskopf N, Bauriegel A, Hasch B, Schimmelmann M, Zeitz J (2015): Erstellung einer aktuellen Moorkarte für das Land Brandenburg. *TELMA* 45: 75-104. <https://doi.org/10.23689/fidgeo-2898>

- Fleischmann R, Voigt H (1963): Die Entstehung und Entwicklung der umgespitteten Böden im Küstenmoor des Jadedbusens. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 1: 41-51.
- Frank S, Dettmann U, Heidkamp A, Piayda A, Oehmke W, Tiemeyer B (2022): Methodenhandbuch zu den Gelände- und Laborarbeiten für den Aufbau des deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz (MOMOK) - Teil 1: Offenland, Version 1.0. Thünen Working Paper 199. Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig, 111 S. <https://doi.org/10.3220/WP1661764883000>
- Frank S, Caspers G, Höper H, Schäfer W (2021): Karte der Flächen mit industriellem Torfabbau in Niedersachsen. *GeoBerichte* 38, Hannover. https://doi.org/10.48476/geober_38_2021
- Frolking S, Roulet N (2007): Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions. *Global Change Biology* 13: 1079-1088. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01339.x>
- Gaudig G, Krebs M, Prager A, Wichmann S, Barney M, Caporn SJM, Emmel M, Fritz C, Graf M, Grobe A, et al. (2018): Sphagnum farming from species selection to the production of growing media: a review. *Mires and Peat* 20 (13): 1-30. <https://doi.org/10.19189/MaP.2018.OMB.340>
- Gehrt E, Benne I, Evertsbusch S, Krüger K, Langner S (2021): Erläuterungen zur BK50 von Niedersachsen. *GeoBerichte* 40, Hannover. https://doi.org/10.48476/geober_40_2021
- Gepp N, Hofer B, Rosinski E, Katins L, Rudolph J, Stephan B, Sandfort S (2023): Moor- und Klimaschutz durch Moorentwicklung braucht eine solide Datenbasis - das Emsländische Moor-Informationssystem (EL-MIS). *Natur und Landschaft* 98: 104-113.
- Giani L, Kücks U, Straatmann M (1996): Genese und Klassifikation von Organomarschen in der Wesermarsch. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160: 15-20. <https://doi.org/10.1002/jpln.19971600105>
- Göttlich K (Hrsg.) (1990): Moor- und Torfkunde, 3. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.
- Höper H (2015): Treibhausgasemissionen aus Mooren und Möglichkeiten der Verringerung. *TELMA Beiheft* 5: 133-158. <https://doi.org/10.23689/fidgeo-2929>
- Höper H, Gehrt E (2022): Karten der kohlenstoffreichen Böden in Niedersachsen im Maßstab 1:50.000. *Geofakten* 37, 12 S., Hannover. https://doi.org/10.48476/geofakt_37_1_2022
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006): Good practice guidance for land use, land use change and forestry. Volume 4, Chapter 3: Consistent representation of land. Genf. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi T, Krug T, Tanabe K, Srivastava N, Baasansuren J, Fukuda M, Troxler TG. (Eds.), IPCC, Switzerland. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands>
- Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Laggner A, Weiser C, Freibauer A (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. *Thünen Report* 64. Johann Heinrich von Thünen- Institut, Braunschweig, Germany. <https://doi.org/10.3220/REP1542818391000>
- Kleinen T, Brovkin V, Schuldt RJ (2021): A dynamic model of wetland extent and peat accumulation: results for the Holocene. *Biogeosciences* 9: 235–248. <https://doi.org/10.5194/bg-9-235-2012>
- Klingenfuß C, Möller D, Heller C, Thrum T, Köberich K, Zeit J (2015): Berliner Moorböden im Klimawandel - Entwicklung einer Anpassungsstrategie zur Sicherung ihrer Ökosystemdienstleistungen. UEP-II-Forschungsprojekt, Abschlussbericht. Humboldt-Universität zu Berlin, <http://www.berliner-moorboeden.hu-berlin.de/content/project.php> (letzter Zugriff: 01.06.2023).
- Koppensteiner W, Wegmann J, Ischebeck M, Laggner A, Tiemeyer B (2023): Ermittlung von Potenzialgebieten für Moorschutzmaßnahmen in Deutschland. *Natur und Landschaft* 98(3): 94-10. <https://doi.org/10.19217/NuL2023-03>
- Kuntze H (1972): Rekultivierung gealterter Moorkulturen. *TELMA* 2: 109-118.
- Kuntze H (1987): Prozesse der Bodenentwicklung auf Sandmischkulturen. *TELMA* 17: 41-49.
- LBGR (Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg) (2022): Referenzierte Moorkarte (2022), FISBO LBGR. <https://lbgr.brandenburg.de/lbgr/de/geologischer-dienst/bodengeologie/downloads/> (letzter Zugriff: 08.06.2023).

- Leiber-Sauheitl K, Fuß R, Voigt C, Freibauer A (2014): High CO₂ fluxes from grassland on histic Gleysol along soil carbon and drainage gradients. *Biogeosciences* 11: 749-761. <https://doi.org/10.5194/bg-11-749-2014>
- Leppelt T, Dechow R, Gebbert S, Freibauer A, Lohila A, Augustin J, Drösler M, Fiedler S, Glatzel S, Höper H, Järveoja J, Lærke PE, Maljanen M, Mander Ü, Mäkiranta P, Minkinen K, Ojanen P, Regina K, Strömberg M (2014): Nitrous oxide emission budgets and land-use-driven hotspots for organic soils in Europe. *Biogeosciences* 11, 6595-6612, <https://doi.org/10.5194/bg-11-6595-2014>
- LfU (Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein) (2022): Auszug aus dem Entwurf zur BK50 des Landes Schleswig-Holstein (unveröffentlicht).
- LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2011): Informationssystem Moore. Schriftenreihe, Heft 14/2011. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14936> (letzter Zugriff: 26.07.2022).
- LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein; jetzt: Landesamt für Umwelt) (2016): Moore in Schleswig-Holstein 2. Auflage. Schriftenreihe LLUR SH Natur, 23, Flintbek, Deutschland. <https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/N/naturschutz/Downloads/moorbrochure.html> (letzter Zugriff: 12.06.2023).
- Maljanen M, Komulainen V-M, Hytönen J, Martikainen PJ, Laine J (2004): Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1801-1808. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.05.003>
- MLUK (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg) (2020): Steckbriefe Brandenburger Böden. Moorfolgeböden. Online unter: <https://mluk.brandenburg.de/Steckbriefe-BB-Boeden/SB-13-7-Moorfolgeboeden.pdf> (letzter Zugriff: 22.06.2023).
- Mordhorst A, Fleige H, Zimmermann I, Burbaum B, Filipinski M, Cordsen E, Horn R (2018): Organische Kohlenstoffvorräte von Bodentypen in den Hauptnaturräumen Schleswig-Holsteins (Norddeutschland). *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 96(2): 85-95. <https://doi.org/10.2478/boku-2018-0008>
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz) (2016): Programm Niedersächsische Moorlandschaften. Grundlagen, Ziele, Umsetzung. Hannover.
- Närmann F, Birr F, Kaiser M, Neger M, Luthardt V, Zeitz J, Tanneberger F (2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. BfN-Skripten 616, 341 S., Bonn-Bad Godesberg, <https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-11/Skript616.pdf>
- Pagenkemper S, Jansen-Minßen F, Krause A, Ernsing-Blaga M, Herzberg I, Kahne L, Höper H, Minke M, Sieber AC, Tiemeyer B, Heller S, Oehmke SW, Bräuer M, Dettmann U, Lange G, Gatersleben P, Schröder U, Giani L, Landscheidt S, Buchwald R, Kupke L (2022): Das Projekt SWAMPS - Verfahrensanalysen und Handlungsoptionen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen und zum Schutz von Mooren für landwirtschaftlich genutztes Grünland. Abschlussbericht der Projektjahre 2015 bis 2021, 315 S., https://www.gruenlandzentrum.org/wp-content/uploads/2022/01/SWAMPS_Abschlussbericht_2022.pdf
- Poeplau C, Jacobs A, Don A, Vos C, Schneider F, Wittnebel M, Tiemeyer B, Heidkamp A, Prietz R, Flessa H (2020): Stocks of organic carbon in German agricultural soils - Key results of the first comprehensive inventory. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 183: 665-681. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000113>
- Roßkopf N, Bauriegel A (2022): Moore und Subhydrische Böden in der Neufassung der Bodensystematik. Vortrag auf der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 2022 in Trier.
- Roßkopf N, Fell H, Zeitz J (2015): Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *Catena* 133: 157-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.004>.
- Sauerbrey R, Lehrkamp H, Göbel F (2003): Rimpau'sche Moordammkultur in Brandenburg. *TELMA* 33: 121-132.
- Säurich A, Tiemeyer B, Dettmann U, Don A (2019): How do sand addition, soil moisture and nutrient status influence greenhouse gas fluxes from drained organic soils? *Soil Biology and Biochemistry* 135: 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.04.013>.
- Schindler U, Müller L (2001): Rehabilitation of the soil quality of a degraded peat site, In: Stott DE, Mohtar RH, Steinhardt GC (Hrsg.) (2001): *Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th International Soil*

- Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, S. 648-654.
- Schrier-Uijl AP, Kroon PS, Hendriks DMD, Hensen A, van Huissteden J, Berendse F, Veenendaal EM (2014): Agricultural peatlands: towards a greenhouse gas sink - a synthesis of a Dutch landscape study. *Biogeosciences* 11; 4559-4576, <https://doi.org/10.5194/bg-11-4559-2014>
- Schulz S, Waldeck A (2015): Kohlenstoffreiche Böden auf Basis hochauflösender Bodendaten in Niedersachsen. *GeoBerichte* 33, Hannover. https://doi.org/10.48476/geober_33_2015
- Succow M, Jeschke L (1986): Moore in der Landschaft. Entstehung, Haushalt, Lebewelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore, 268 S., Urania Verlag, Berlin.
- Succow M, Joosten H (Hrsg.) (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Tegetmeyer C, Barthelmes KD, Busse S, Barthelmes A (2021): Aggregierte Karte der organischen Böden Deutschlands. 2. Überarbeitete Fassung. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 01/2021 (Selbstverlag, ISSN 2627-910X), 10 S. https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2021-01_Tegetmeyer%20et%20al.pdf
- ThüringenForst AöR, Forstliches Forschungs- und kompetenzzentrum Gotha (2022): Standortkartierung. Online unter: <https://geomis.geoportal-th.de> (letzter Zugriff: 08.06.2023).
- Tiemeyer B, Dettmann U, Piayda A, Frank S (2022): Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz (MoMoK) – Teil 1: Offenland. Project Brief 2022/38, Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig, 2 S., <https://doi.org/10.3220/PB1667294290000>
- Tiemeyer B, Freibauer A, Albiac Borraz E, Augustin J, Bechtold M, Beetz S, Beyer C, Ebli M, Eickenscheidt T, Fiedler S, Förster C, Gensior A, Giebels M, Glatzel S, Heinichen J, Hoffmann M, Höper H, Jurasinski G, Laggner A, Leiber-Sauheitl K, Peichl-Brak M, Drösler M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- Tiemeyer B, Albiac Borraz E, Augustin J, Bechtold M, Beetz S, Beyer C, Drösler M, Eickenscheidt T, Ebli M, Fiedler S, Förster C, Freibauer A, Giebels M, Glatzel S, Heinichen J, Hoffmann M, Höper H, Jurasinski G, Leiber-Sauheitl K, Peichl-Brak M, Roßkopf N, Sommer M, Zeitz J. (2016): High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biology* 22: 4134-4149. <https://doi.org/10.1111/gcb.13303>
- Tolonen K, Turunen J (1996): Accumulation rates of carbon in mires in Finland and implications for climate change. *The Holocene* 6(2): 171-178. <https://doi.org/10.1177/095968369600600204>
- Turetsky MR, Kotowska A, Bubier J, Dise NB, Crill P, Hornibrook ERC, Minkinen K, Moore TR, Myers-Smith IH, Nykänen H, Olefeldt D, Rinne J, Saarnio S, Shurpali N, Tuittila ES, Waddington JM, White JR, Wickland KP, Wilmking M (2014): A synthesis of methane emissions from 71 northern, temperate, and subtropical wetlands. *Global Change Biology* 20: 2183-2197. <https://doi.org/10.1111/gcb.12580>
- UBA (Umweltbundesamt) (2023): Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change 2023 – National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990-2021, 974 S., <https://unfccc.int/documents/627785>
- Meier-Uhlherr R, Schulz C, Luthardt V (2015): Steckbriefe Moorsubstrate. 2. Auflage, HNE Eberswalde (Hrsg.), Berlin, 154 S., <https://doi.org/10.23689/fidgeo-3724>
- Von Massenbach G (1887): Praktische Anleitung zur Rimpau'schen Moordammkultur. Paul Parey, Berlin.
- Wang Y, Paul SM, Jocher M, Espic C, Alewell C, Szidat S, Leifeld J (2021): Soil carbon loss from drained agricultural peatland after coverage with mineral soil. *Science of the Total Environment* 800: Article 149498. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149498>
- Weideveld STJ, Liu W, van den Berg M, Lamers LPM, Fritz C (2021:) Conventional subsoil irrigation techniques do not lower carbon emissions from drained peat meadows. *Biogeosciences* 18: 3881-3902. <https://doi.org/10.5194/bg-18-3881-2021>
- Weinzierl W, Waldmann F (2015): Ermittlung langjähriger CO₂-Emissionen und Beurteilung der Moore Oberschwabens auf Basis historischer und aktueller Höhengivellements. LGRB Fachbericht 2015/2, 119 S., Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg.
- Wichtmann W, Schröder C, Joosten H (Hrsg.) (2016): Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore. 272 S., Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart.

Wittnebel M, Frank S, Tiemeyer, B (2023): Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland [Datensatz].
<https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>

Wittnebel M, Tiemeyer B, Dettmann U. (2021): Peat and other organic soils under agricultural use in Germany: Properties and challenges for classification, Mires and Peat 27: Article 19.
<https://doi.org/10.19189/MaP.2020.SJ.StA.2093>

Wohjan E (1960): Über die Standortverbesserung flachgründiger, sandunterlagerter Niedermoore durch Anlage von Pflugsanddeckkulturen. Zeitschrift für Landeskultur Band 1: 31-71, Akademie-Verlag Berlin.

Zeitz J (2014): Ausgewählte Meliorationsverfahren. In: Luthardt V, Zeitz J (Hrsg.) Moore in Brandenburg und Berlin. Natur+Text GmbH, Rangsdorf, Germany, 106-113.

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek
verzeichnet diese Publikationen in
der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet unter
www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek
(German National Library) lists this
publication in the German National
Bibliographie; detailed bibliographic
data is available on the Internet at
www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene
Bände finden Sie im Internet unter
www.thuenen.de

Volumes already published in this
series are available on the Internet at
www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:
Wittnebel M, Frank S, Tiemeyer B (2023): Aktualisierte Kulisse organischer
Böden in Deutschland. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut,
78 p, Thünen Working Paper 212. DOI: 10.3220/WP1683180852000

Die Verantwortung für die Inhalte
liegt bei den jeweiligen Verfassern
bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are
responsible for the content of
their publications.



Thünen Working Paper 212

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Germany

thuenen-working-paper@thuenen.de

www.thuenen.de

DOI: 10.3220/WP1683180852000

urn: nbn:de:gbv:253-202305-dn066305-9