

# Moor- und weitere organische Böden in Deutschland – Klassifikation, Verbreitung und Eigenschaften

Von der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften  
der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
zur Erlangung des Grades und Titels

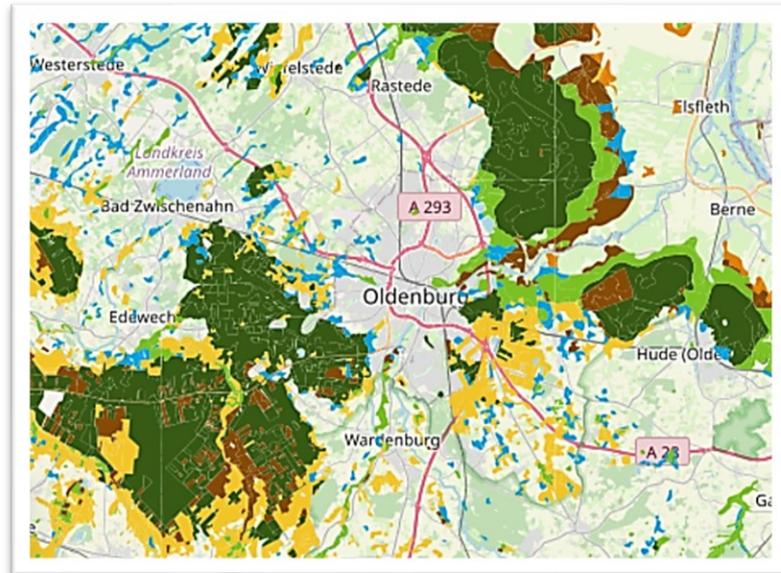
Doktorin der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

angenommene Dissertation

von

Frau Mareille Wittnebel

geboren am 28.02.1991 in Hildesheim



**Erstgutachter:** PD. Dr. Holger Freund  
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
Institut für Chemie und Biologie des Meeres  
Arbeitsgruppe Geoökologie

**Zweitgutachterin:** Dr.-Ing Bärbel Tiemeyer  
Johann Heinrich von Thünen-Institut  
Institut für Agrarklimaschutz  
Arbeitsbereich Moore

**Tag der Disputation:** 16.04.2025

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz durchgeführt und vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft in den Projekten „Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZW-LW)“ und „Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz, Teil 1: Offenland (MoMoK)“ gefördert.

Die Dissertation wurde am Thünen-Institut von Frau Dr.-Ing. Bärbel Tiemeyer betreut. Die Betreuung seitens der Universität Oldenburg übernahm Frau Prof. Dr. Luise Giani, die leider im Sommer 2024 verstarb. Herr PD Dr. Holger Freund hat daraufhin im Herbst 2024 die Betreuung übernommen.

Kapitel 2 zeigt einen bereits veröffentlichten Artikel in der internationalen peer-reviewed Zeitschrift *Mires and Peat*. Kapitel 3 ist als Artikel in der Hauspublikationsschrift „Thünen Working Paper“ des Thünen-Instituts erschienen. Als Thünen Working Paper werden aktuelle Forschungsarbeiten berichtet und in einem arbeitsgruppeninternen Review-Verfahren geprüft. Beide Veröffentlichungen wurden bis auf vereinzelte redaktionelle Korrekturen unverändert übernommen.

Meine Anteile an den Veröffentlichungen stellen sich wie folgt dar:

### **Kapitel 2: Peat and other organic soils under agricultural use in Germany: Properties and challenges for classification**

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**(19): 1–24. <https://doi.org/10.19189/MaP.2020.SJ.StA.2093>

Die Profildaten und Laboranalysen sind Teil der ersten BZE-LW. Gemeinsam mit Ullrich Dettmann und Bärbel Tiemeyer habe ich die Studie konzipiert. Mit Bärbel Tiemeyer habe ich das Klassifikationsschema entworfen und mit der Hilfe von Ullrich Dettmann die Analysen der Bodeneigenschaften durchgeführt. Ich habe den ersten Entwurf des Manuskriptes unter Beteiligung von Bärbel Tiemeyer verfasst und gemeinsam mit Bärbel Tiemeyer und Ullrich Dettmann die Ergebnisse diskutiert, sowie das Manuskript überarbeitet.

### **Kapitel 3: Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland**

WITTNEBEL, M., FRANK, S. & TIEMEYER, B. (2023a): Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. Braunschweig. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 78 p, Thünen Working Paper 212. <https://doi.org/10.3220/WP1683180852000>

Die Arbeit wurde im Rahmen vom MoMoK (Offenland) durchgeführt und basiert auf den dankenswerterweise zur Verfügung gestellten Bodendaten der Landesämter. Das Konzept zur Harmonisierung der Bodendaten habe ich gemeinsam mit Stefan Frank und Bärbel Tiemeyer erstellt. Ich habe alle Daten akquiriert und entsprechend dem Harmonisierungskonzept bearbeitet, sowie die finale Kulisse erstellt und die Flächenauswertungen erstellt. Dabei wurde ich in Teilen durch Stefan Frank unterstützt. Gemeinsam mit Stefan Frank und Bärbel Tiemeyer habe ich die Ergebnisse diskutiert und das Manuskript verfasst und überarbeitet.

## Zusammenfassung

Ein Großteil der Moore in Deutschland ist entwässert und überwiegend unter landwirtschaftlicher Nutzung. Dabei werden die ursprünglich wassergesättigten Torfe belüftet, was sich auf ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften auswirkt. Sie werden schneller mineralisiert und die ursprünglich über Jahrtausende konservierte organische Bodensubstanz geht verloren. Hinzu kommt die Anwendung einer Vielzahl von Kultivierungstechniken, die in Mooren angewandt wurden und werden, was zur Bildung sehr unterschiedlicher Moor- und weiterer organischer Böden führte. Eine korrekte Beschreibung mittels der deutschen bodenkundlichen Kartieranleitung ist nur erschwert möglich, da die tatsächliche Vielseitigkeit dieser Böden nicht abgebildet werden kann. Infolge der Torfmineralisation und ggf. Düngung emittieren sie große Mengen an Treibhausgasen (THG). Trotz ihres geringen Flächenanteils von ca. 5 % tragen entwässerte organische Böden etwa zu 7 % der gesamten THG-Emissionen Deutschlands bei. Im Rahmen der nationalen THG-Emissionsberichterstattung, aber auch für weitere nationale und internationale Programme mit den Zielen der THG-Emissionsminderung und Wiederherstellung der natürlichen Funktionen von Mooren, besteht daher ein großer Bedarf an aktuellen und harmonisierten Daten zur Verbreitung dieser Böden und ihren Eigenschaften in Deutschland.

Ziel meiner Dissertation war es, die vorhandenen Daten von Moor- und weiteren organischen Böden in Deutschland hinsichtlich ihrer Klassifikation, Verbreitung und bodenkundlichen Eigenschaften zusammenzustellen, zu harmonisieren und auszuwerten. Dazu dienten zum einen die Punktdaten landwirtschaftlich genutzter Flächen aus der ersten Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW), anhand derer deutschlandweit einheitlich Profileigenschaften und Messwerte von Ober- und Unterböden ermittelt wurden. Zum anderen habe ich die aktuellen nutzungsübergreifenden Bodenflächendaten aller Bundesländer akquiriert, um sie zu einer aktualisierten Kulisse organischer Böden zusammenzustellen. Die Datensätze beider Projekte wiesen im originalen Zustand eine große inhaltliche Heterogenität auf, die eine deutschlandweite Betrachtung weiterer Eigenschaften nicht zuließ.

Sowohl für die Punkt- als auch die Flächendaten wurde daher zunächst eine Harmonisierungsmethode benötigt. Dafür habe ich ein Klassifikationsschema für die stark gestörten landwirtschaftlich genutzten Standorte der BZE-LW entwickelt. Dieses zeigt vereinfachte Moorklassen basierend auf grundlegenden Bodenprofileigenschaften mit Relevanz für Stoffvorräte und THG-Emissionen, anstelle der bodenkundlichen Differenzierung aus den Feldansprachen. Anhand der Moorklassen wurde u.a. die Auswertung der Gehalte und Vorräte von organischem Bodenkohlenstoff ( $C_{org}$ ) und Stickstoff (N) ermöglicht. Weiterhin hat sich das Schema als nützliche Grundlage für die Harmonisierung der Flächendaten gezeigt, indem ich es zu einem umfangreichen Konzept mit der Differenzierung weiterer Profilmerkmale

weiterentwickelt habe. Basierend auf den Kombinationen dieser Merkmale lassen sich je Flächeneinheit die vereinfachten Moorbodenkategorien darstellen.

Die aufgenommenen Daten der insgesamt 146 Standorte auf Moor- und weiteren organischen Böden der BZE-LW zeigen trotz Entwässerung und landwirtschaftlicher Nutzung sehr hohe  $C_{org}$ -Vorräte. In allen Moorklassen sind diese Werte mindestens doppelt so hoch wie in den Mineralböden der gleichen Inventur, im oberen Meter mit insgesamt  $529 \pm 201 \text{ t ha}^{-1}$  sogar um ein fünffaches höher. Das betont die Relevanz der weiteren organischen Böden, d.h. Moorfolge-, überdeckte und tiefumgebrochene Moorböden, die etwas mehr als die Hälfte aller Standorte ausmachen. Zusammen mit bisherigen Erkenntnissen zu hohen THG-Emissionen aus solchen Böden untermauert dies die Notwendigkeit ihrer Berücksichtigung im nationalen THG-Inventar. Dazu trägt auch der Parameter der  $C_{org}$ -Dichte bei. Es wurde deutlich, dass auch Proben mit geringen  $C_{org}$ -Gehalten hohe Werte in der gleichen Größenordnung von „echten“ Torfe zeigen. Darüber hinaus konnte ich für Ober- und Unterböden differenzierte Pedotransferfunktionen für die Trockenrohdichte (TRD) und die  $C_{org}$ -Dichte in Abhängigkeit der  $C_{org}$ -Gehalte ermitteln. Solche Funktionen sind von großem Nutzen für Studien, in denen die aufwändig zu bestimmenden Messwerte der TRD nicht vorliegen.

Als Hauptteil meiner Dissertation stellt die aktualisierte Kulisse organischer Böden einen einzigartigen deutschlandweiten Datensatz dar und dient damit zukünftig als wichtige Neuerung der Aktivitätsdaten in der THG-Emissionsberichterstattung. Ein wichtiger Aspekt für die Akquise der jeweils aktuellsten und am besten geeigneten Datensätze der Länder war die transparente und vertrauensvolle Kommunikation mit allen beteiligten Institutionen. Das Ergebnis ist eine harmonisierte Kulisse der insgesamt 1,93 Mio. ha Moor- und weiteren organischen Böden. Das neu entwickelte Harmonisierungskonzept ermöglicht die Darstellung der verschiedenen Merkmale und ihrer Kombinationen, auf deren Basis die Parametrisierung mit weiteren relevanten Bodeneigenschaften, bspw. für hydrologische Fragestellungen, weiterentwickelt werden kann. Dank der umfangreichen Dokumentation und Veröffentlichung steht die Kulisse allen Akteuren im Bereich des Moorbodenschutzes zur Verfügung. Dies erleichtert die Vorarbeiten für weitere Projekte, da die jeweiligen Länderdatensätze bereits zusammengetragen und auch für bodenkundliche Laien verständlich harmonisiert wurden.

## Summary

Most peatlands in Germany are drained and mainly used for agriculture. The originally waterlogged peat is aerated, which affects their physical and chemical properties. They mineralise more quickly, and the soil organic matter originally preserved over thousands of years is lost. This is compounded by a variety of cultivation techniques that have been and are being used on peatlands which has led to the formation of many different peat and other organic soils. It is difficult to give an accurate description using the German soil mapping guidelines, as the true diversity of these soils cannot be represented. As a result of peat mineralisation and any fertilisation, they emit large quantities of greenhouse gases (GHG). Despite their small area of about 5 %, drained organic soils contribute around 7 % of Germany's total GHG emissions. As part of the national emission reporting, but also for other national and international programmes aimed at reducing GHG emissions and restoring the natural functions of peatlands, there is therefore a great need for up-to-date and harmonised data on the distribution of these soils and their properties in Germany.

The aim of my dissertation was to compile, harmonise and evaluate the existing data on peat and other organic soils in Germany regarding their classification, distribution and pedological properties. Firstly, I used the point data collected in the first Agricultural Soil Inventory (BZE-LW), where standardised profile characteristics and measurements of topsoils and subsoils were evaluated across Germany. Secondly, I acquired the current spatial soil data for all land uses in all federal states to compile them into an updated map of organic soils. In their original state, the datasets of both projects were highly heterogeneous in terms of content, which did not allow for a Germany-wide analysis of further properties.

Therefore, a harmonisation method for both the point and spatial data was required initially. To this end, I developed a classification scheme for the heavily disturbed agricultural sites of the BZE-LW. It shows simplified peat classes based on basic soil profile properties relevant to stocks and GHG emissions, instead of the pedogenetic characteristics from the field surveys. The peat classes have been used to analyse, among other properties, the content and stocks of soil organic carbon (SOC) and nitrogen (N). Furthermore, the scheme proved to be a useful basis for harmonising spatial data by developing it into a comprehensive concept with differentiation of further profile characteristics. Based on their combinations, the simplified peat soil categories can be depicted for each area unit.

Data from a total of 146 sites on peat and other organic soils in the BZE-LW show very high stocks of SOC despite drainage and agricultural use. In all peat classes, these stocks are at least twice as high as in the mineral soils of the same inventory, and five times higher in the upper metre with a total of  $529 \pm 201 \text{ t ha}^{-1}$ . This highlights the importance of other organic soils, i.e. peat-derived, covered and deep-ploughed peat soils, which account for just over half of all

sites. Together with previous findings on high GHG emissions from such soils, this underlines the need to include them in the national GHG inventory. The parameter of SOC density also contributes to this. It became clear that even samples with low SOC contents show high values in the same order of magnitude as 'real' peat. In addition, I was able to determine pedotransfer functions for bulk density (BD) and SOC density as a function of SOC content differentiated for topsoils and subsoils. Such functions are very useful for studies where measurements of BD are not available, as its determination is laborious.

As the main part of my dissertation, the updated map of organic soils represents a unique Germany-wide dataset and will therefore serve as an important innovation for activity data in GHG emission reporting in the future. The transparent and trustful communication with all institutions involved was an important aspect for the acquisition of the most up-to-date and suitable data sets from the federal states. The result is a harmonised dataset of in total 1.93 Mio. ha peat and other organic soils. Using the newly developed harmonisation concept it allows the representation of the different properties and their combinations for a wide range of assessments and, on this basis, can be further developed for parameterisation with other soil properties relevant to i.e. hydrological issues. Thanks to the comprehensive documentation and publication, it is available to all stakeholders in the field of peatland protection. This will facilitate the preparation of further projects, as the federal datasets have already been compiled and harmonised in a way that can be understood by non-specialists in soil science.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	III
Zusammenfassung .....	V
Summary .....	VII
Inhaltsverzeichnis .....	IX
Abbildungsverzeichnis .....	XIII
Tabellenverzeichnis .....	XVII
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund.....	1
1.1.1 Moore als Ökosysteme.....	1
1.1.2 Definition von Moor- und weiteren organischen Böden.....	5
1.1.3 Verbreitung von Moor- und weiteren organischen Böden.....	7
1.1.4 Entwässerung und Nutzung von Mooren.....	9
1.2 Motivation und Forschungslücken .....	11
1.2.1 Berichterstattung von THG-Emissionen und Minderungsziele.....	11
1.2.2 Nationale Bodenmonitoringprogramme.....	12
1.2.3 Klassifikation und Harmonisierung von Punkt- und Flächendaten.....	13
1.3 Ziele der Dissertation .....	15
<b>2 Peat and other organic soils under agricultural use in Germany: Properties and challenges for classification .....</b>	<b>16</b>
Summary.....	16
2.1 Introduction.....	17
2.2 Methods .....	20
2.2.1 Study area and field sampling.....	20
2.2.2 Sample preparation and laboratory analyses.....	22
2.2.3 Classification approach .....	22
2.2.4 Data analysis.....	24
2.3 Results.....	26
2.3.1 Stocks of soil organic carbon and total nitrogen.....	26
2.3.2 Soil properties.....	28

2.3.2.1	Soil organic carbon content -----	28
2.3.2.2	Total nitrogen content and C:N ratio -----	28
2.3.2.3	Bulk density and its relationship to soil organic carbon -----	32
2.3.2.4	Mineral covers-----	37
2.4	Discussion .....	37
2.4.1	German peat and other organic soils under agricultural use: disturbance beyond drainage.....	37
2.4.2	The well-known and the hidden: properties of different classes of peat and other organic soils .....	38
2.4.3	SOC density matters .....	41
2.4.4	Towards fully parameterised profiles of peat and other organic soils .....	42
2.4.4.1	Conversion factor and boundary between mineral and organic soils -----	42
2.4.4.2	Refinement according to pedogenetic processes and peatland genesis ---	42
2.4.4.3	Adding missing types of peat and other organic soils -----	43
<b>3</b>	<b>Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland -----</b>	<b>44</b>
	Zusammenfassung.....	44
	Summary.....	45
3.1	Einleitung.....	46
3.1.1	Organische Böden in der Emissionsberichterstattung .....	46
3.1.1.1	Hintergrund -----	46
3.1.1.2	Herausforderungen bei der Definition „Organischer Böden“ -----	48
3.1.2	Deutschlandweite Kartenwerke zu (organischen) Böden.....	53
3.1.3	Ziele der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden.....	55
3.2	Harmonisierung der Bodendaten .....	56
3.2.1	Datensätze der Bundesländer .....	56
3.2.2	Konzept der Harmonisierung der Bodendaten.....	67
3.2.2.1	Merkmal 1: Genese-----	78
3.2.2.2	Merkmal 2: Mineralische Überdeckung-----	80
3.2.2.3	Merkmal 3: Torfmächtigkeit -----	81
3.2.2.4	Merkmal 4: Abmoorigkeit -----	83

3.2.2.5	Merkmal 5: Tiefumbruch -----	84
3.2.2.6	Merkmal 6: Unterlagernde Mudde -----	85
3.2.2.7	Merkmal 7: Unterlagerndes mineralisches Substrat -----	86
3.2.2.8	Zusammenfassung und Beispiele der verwendeten Nomenklatur -----	88
3.2.3	Verarbeitung der Datensätze in GIS.....	92
3.3	Aktualisierte Flächenkulisse.....	94
3.3.1	Deutschlandweite Betrachtung und Vergleich mit anderen Kartenwerken.....	94
3.3.2	Kategorien und Verteilung der organischen Böden in Deutschland.....	98
3.3.3	Nutzung der organischen Böden.....	103
3.3.4	Ausprägungen der Merkmale organischer Böden.....	106
3.3.4.1	Genese -----	108
3.3.4.2	Mineralische Überdeckung -----	110
3.3.4.3	Torfmächtigkeit-----	114
3.3.4.4	Abmoorigkeit-----	117
3.3.4.5	Tiefumbruch-----	119
3.3.4.6	Unterlagernde Mudden -----	119
3.3.4.7	Unterlagerndes mineralisches Substrat -----	121
3.3.5	Verwendung des Flächendatensatzes.....	123
3.3.6	Ausblick.....	126
<b>4</b>	<b>Synthese -----</b>	<b>128</b>
4.1	Klassifikation von Moor- und weiteren organischen Böden.....	128
4.1.1	Entwickelte Harmonisierungskonzepte.....	128
4.1.2	Definitorische Untergrenze der C <sub>org</sub> -Gehalte.....	130
4.1.3	Umrechnungsfaktor zwischen C <sub>org</sub> - und OBS-Gehalten.....	131
4.2	Verbreitung von Moor- und weiteren organischen Böden.....	133
4.2.1	Verteilung in den untersuchten Punkt- und Flächendatensätzen.....	133
4.2.2	Limitierungen und Verbesserungen der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland.....	135
4.2.3	Gebietskulissen organischer Böden in Deutschland nach GAPKondV.....	137
4.2.4	Flächendaten organischer Böden in anderen Ländern.....	138

4.3	Eigenschaften von Moor- und weiteren organischen Böden.....	140
4.4	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	141
	Literaturverzeichnis-----	143
	Appendix A-----	158
	Appendix B-----	161
	Danksagung -----	198
	Wissenschaftlicher Werdegang -----	200
	Eigenständigkeitserklärung-----	201

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Die Wechselbeziehungen zwischen Torf, Wasser und Pflanzen in einem Moor, nach PARISH et al. (2008). .....	2
Abbildung 2-1: Beprobungsschema eines hypothetischen Profils mit zwei organischen (org., Horizonte 1 und 2) und einem mineralischen (min., Horizont 3) Horizonten im oberen Meter. Die Profile wurden in festen Tiefenstufen (links) beprobt, die durch Horizontgrenzen (rechts) unterteilt waren, es sei denn, der Beitrag eines Horizonts zu einer Tiefenstufe betrug weniger als 4 cm (betrifft hier die Tiefenstufe 50-70 cm). Ein Horizont kann von mehr als einer Tiefenstufe beprobt worden sein (hier: Horizont 3). Proben aus Tiefen zwischen 0 und 30 cm werden als Oberbodenproben definiert, Proben aus Tiefen zwischen > 30 und 100 cm als Unterbodenproben. S1-S6: Proben.21	
Abbildung 2-2: Klassifikationsschema für gestörte Moor- und weitere organische Böden in der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. SOM: soil organic matter (organische Bodensubstanz).....	23
Abbildung 2-3: Vorräte an (a) organischem Bodenkohlenstoff ( <i>soil organic carbon</i> , SOC) und (b) Gesamtstickstoff (N <sub>t</sub> ) je Moorklasse im Oberboden (0-30 cm), Unterboden (30-100 cm) und bis zur Torfbasis (> 100 cm). Mittelwerte und Standardabweichung, weiße Zahlen: mittlere Vorräte je Tiefe, Buchstaben: signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen Moorklassen in derselben Tiefe. ....	27
Abbildung 2-4: Gehalt (%) an organischem Bodenkohlenstoff ( <i>soil organic carbon</i> , SOC) der Moorklassen in verschiedenen Tiefenstufen. *_all* umfasst alle Tiefenstufen, während sich *_org* nur auf organische Tiefenstufen (SOC $\geq 8,7$ %, markiert durch die gestrichelte Linie) bezieht. Boxen: Median (fette Linie) und Quartile, Whiskers: 1,5-facher Interquartilsabstand unterhalb des ersten Quartils oder oberhalb des dritten Quartils, Ausreißer (Punkte): $\geq 1,5$ -facher Interquartilsabstand. Org.: organisch.....	29
Abbildung 2-5: Gehalt (%) an Gesamtstickstoff (N <sub>t</sub> ) der Moorklassen in verschiedenen Tiefenstufen. *_all* umfasst alle Tiefenstufen, während sich *_org* nur auf organische Tiefenstufen (SOC $\geq 8,7$ %, markiert durch die gestrichelte Linie in Abbildung 2-4) bezieht. Boxen: Median (fette Linie) und Quartile, Whiskers: 1,5-facher Interquartilsabstand unterhalb des ersten Quartils oder oberhalb des dritten Quartils, Ausreißer (Punkte): $\geq 1,5$ -facher Interquartilsabstand. Org.: organisch. ....	30
Abbildung 2-6: C/N-Verhältnisse der Moorklassen in verschiedenen Tiefenstufen. *_all* umfasst alle Tiefenstufen, während sich *_org* nur auf organische Tiefenstufen (SOC $\geq 8,7$ %, markiert durch die gestrichelte Linie in Abbildung 2-4) bezieht. Boxen: Median (fette Linie) und Quartile, Whiskers: 1,5-facher Interquartilsabstand unterhalb des ersten Quartils oder oberhalb des dritten Quartils, Ausreißer (Punkte): $\geq 1,5$ -facher Interquartilsabstand. Org.: organisch.....	31

Abbildung 2-7: Trockenrohdichte (bulk density, BD, g cm <sup>-3</sup> ) der Moorklassen in verschiedenen Tiefenstufen. *_all“ umfasst alle Tiefenstufen, während sich ,*_org‘ nur auf organische Tiefenstufen (SOC ≥ 8,7 %, markiert durch die gestrichelte Linie in Abbildung 2-4) bezieht. Boxen: Median (fette Linie) und Quartile, Whiskers: 1,5-facher Interquartilsabstand unterhalb des ersten Quartils oder oberhalb des dritten Quartils, Ausreißer (Punkte): ≥ 1,5-facher Interquartilsabstand. Org.: organisch. ....	33
Abbildung 2-8: a) Abhängigkeit von Trockenrohdichte (bulk density, BD) vom Gehalt an organischem Bodenkohlenstoff (soil organic carbon, SOC) mit logarithmischen Fits und ergänzenden Funktionen anderer Studien. b) Abhängigkeit von SOC Dichte vom SOC-Gehalt mit quadratischen Fits für Oberboden (0–30 cm), Unterboden (30–100 cm) und alle Proben (SOC-Gehalt ≥ 8,7 %). Bänder stellen die 2,5-97,5 % Perzentile dar.....	34
Abbildung 2-9: Bodenarten mineralischer Überdeckungen (flach und mächtig) in den ausgewerteten organischen Böden. Bodenartendreieck nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005).....	37
Abbildung 3-1: Beispiele von Tiefumbruchböden aus Hochmoortorf (links) bzw. Niedermoortorf (rechts). Quelle: Thünen-Institut.....	51
Abbildung 3-2: Iterationsprozess der Beschaffung und Harmonisierung von Bodendaten zur Verwendung für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. Quelle: Thünen-Institut.....	58
Abbildung 3-3: 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.....	79
Abbildung 3-4: 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 .....	81
Abbildung 3-5: 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. Quelle: Thünen-Institut.....	83
Abbildung 3-6: 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.....	84

Abbildung 3-7: 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 .....	85
Abbildung 3-8. Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Mudden unter Torfen (MDm: mineralische Mudde, MDk: Kalkmudde, MDh: organische Mudde). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant. Quelle: Thünen-Institut.....	86
Abbildung 3-9. 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. Quelle: Thünen-Institut.....	87
Abbildung 3-10: Beispiele für Merkmalskombinationen mit abgeleiteten Moorbodenkategorien (fett) und beispielhaften Profilen. Quelle: Thünen-Institut .....	91
Abbildung 3-11: Verbreitung der organischen Böden in Deutschland dargestellt nach Moorbodenkategorien. Quelle: Thünen-Institut nach den in der Abbildung angegebenen Datenquellen.....	97
Abbildung 3-12: 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 ....	99
Abbildung 3-13: Flächenanteile der Moorbodenkategorien in der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland. Quelle: Thünen-Institut.....	101
Abbildung 3-14: Prozentuale Verteilung der Moorbodenkategorien innerhalb der Landnutzungskategorien. Quelle: Thünen-Institut .....	104
Abbildung 3-15: 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.....	108
Abbildung 3-16: 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. Quelle: Thünen-Institut.....	110

Abbildung 3-17: 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.....	111
Abbildung 3-18: 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. Quelle: Thünen-Institut.....	115
Abbildung 3-19: Flächenanteile der verschiedenen Ausprägungen der Torfmächtigkeit je Bundesland. Quelle: Thünen-Institut.....	116
Abbildung 3-20: 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.....	118
Abbildung 3-21: Verteilung der Muddearten ausgewiesener unterlagernder Mudden. Quelle: Thünen-Institut.....	121
Abbildung 3-22: Flächenanteile der unterschiedlichen Ausprägungen unterlagernder mineralischer Substrate je Bundesland. Quelle: Thünen-Institut .....	123
Abbildung 4-1: Versuchskonzept zur Bestimmung des Umrechnungsfaktors zwischen Gehalten organischer Bodensubstanz (OBS) und organischem Bodenkohlenstoff ( $C_{org}$ ) für verschiedene Torfsubstrate und -horizonte und Verhältnisse zwischen Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N). Horizontkürzel nach KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005, siehe Tabelle A1); Zersetzungsgrade nach WRB (IUSS WORKING GROUP WRB 2022), fibric: schwach zersetzt, hemic: mittel stark zersetzt, sapric: stark zersetzt. ....	132
Abbildung 4-2: Umrechnungsfaktor zwischen Gehalten organischer Bodensubstanz (OBS) und organischem Bodenkohlenstoff ( $C_{org}$ ) für verschiedene Torfsubstrate aus Unterböden. a) Unterschiede nach Horizonten, b) Unterschiede nach Zersetzungsgraden. Horizontkürzel nach KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005, siehe Tabelle A1); Zersetzungsgrade nach WRB (IUSS WORKING GROUP WRB 2022): fibric: schwach zersetzt, hemic: mittel stark zersetzt, sapric: stark zersetzt. ....	132
Abbildung 4-3: Prozentuale Flächenanteile der fünf moorreichsten Bundesländer an den Moorbodenkategorien der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland. NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK_FL: flach überdeckter Moorboden, DK_MA: mächtig überdeckter Moorboden, TR: Tiefumbruchboden aus Moor.....	133

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Hydrogenetische Moortypen und ihre Kennzeichnung (aus: SUCCOW & JOOSTEN 2001, Tab. 6-3; angepasst und ergänzt mit Angaben aus SUCCOW & JESCHKE 1986) .....	3
Tabelle 2-1: Parameter der Gleichung 1 ( $BD = -a \cdot \ln(\text{SOC content}) + b$ ) für die Abhängigkeit der Trockenrohddichte ( <i>bulk density</i> , BD) vom Gehalt an organischem Bodenkohlenstoff ( <i>soil organic carbon</i> , SOC) einschließlich Literaturwerten, der jeweilige Root Mean Square Error (RMSE) und Anzahl der Proben (n). Für Parameter und RMSE sind der Median und die 2,5-97,5 %-Perzentile angegeben (in Klammern). Unsicherheiten sind für Literaturdaten nicht vollständig verfügbar, SONNEVELD & VAN DEN AKKER (2011), berichten die 95 % Perzentile.....	35
Tabelle 2-2: Parameter der Gleichung 2 ( $\text{SOC density} = -c \cdot (\text{SOC content})^2 + d \cdot (\text{SOC content}) + e$ ) für die Abhängigkeit der Dichte des organischen Bodenkohlenstoffs ( <i>soil organic carbon</i> , SOC) vom SOC-Gehalt, der jeweilige Root Mean Square Error (RMSE) und Anzahl der Proben (n). Für Parameter und RMSE sind der Median und die 2,5-97,5 %-Perzentile angegeben (in Klammern).....	36
Tabelle 3-1: 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. ....	61
Tabelle 3-2: Übersicht der Anzahl und des Aufbaus der Legendeneinheiten der verwendeten Datensätze für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland nach der Bearbeitung in GIS. ....	72
Tabelle 3-3: Vorhandensein von Informationen zu den Klassifizierungsmerkmalen in den Datensätzen der Bundesländer (BL). Min.: mineralisches.....	75
Tabelle 3-4: Übersicht aller verwendeten Merkmale sowie deren Ausprägungen und Klassifikationen für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland.....	89
Tabelle 3-5: 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).....	96
Tabelle 3-6: Fläche organischer (org.) Böden je Bundesland und Moorbodenkategorie (in ha). GF: Gesamtfläche, DE: Deutschland, NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK_FL_NH: flach überdeckter Niedermoorboden, DK_FL_HH: flach überdeckter Hochmoorboden, DK_MA_NH: mächtig überdeckter Niedermoorboden <sup>1</sup> , TR_NH: Tiefumbruchboden aus Niedermoortorf, TR_HH: Tiefumbruchboden aus Hochmoortorf.....	102
Tabelle 3-7: 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) .....	105
Tabelle 3-8: 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). .....	107
Tabelle 3-9: Flächen mineralisch überdeckter organischer Böden nach Moorbodenkategorie, Mächtigkeit und Substrat der Überdeckung.....	112
Tabelle 3-10: Flächen und Anteile der Ausprägung des Merkmals Torfmächtigkeit in der aktualisierten Kulisse organischer Böden. ....	115
Tabelle 3-11: Flächen und Anteile von unterlagernden Mudden nach Genese. ....	120
Tabelle 3-12: Flächen und Anteile der unterlagernden mineralischen Substrate in der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland.....	122
Tabelle 4-1: Beprobungspunkte (BP) in der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft gesamt und auf Moor- und weiteren organischen (org.) Böden. ....	134
Tabelle A1: Typische Horizonte und Horizontabfolgen nach der deutschen bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005) der in dieser Studie definierten Moorklassen. SOM: <i>soil organic matter</i> (organische Bodensubstanz) .....	158

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

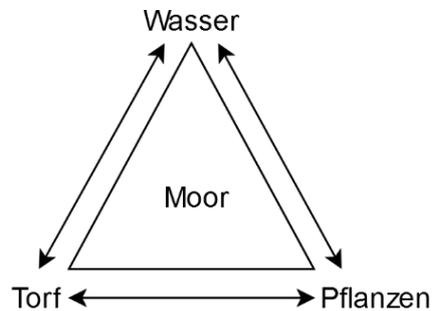
### 1.1.1 Moore als Ökosysteme

Moore sind Ökosysteme in Landschaften, die durch einen Wasserüberschuss gekennzeichnet sind. Im Wurzelraum der wachsenden Pflanzen herrschen durch den hohen Wasserstand sauerstoffarme Verhältnisse, sodass sie nur unvollständig zersetzt werden. Es kommt zur Ablagerung der Pflanzenreste und zur Bildung von Torf, dem Grundmaterial der Moore. In der nördlichen Hemisphäre kommen Moore vor allem in den durch die letzten Eiszeiten geprägten Gebieten vor (UNEP 2022). Das dort vorherrschende kühle und feuchte Klima sorgt für hohe Niederschläge bei geringer Verdunstung. Sind zusätzlich die geomorphologischen Untergründe passenden (z.B. Senken, verdichtete Böden), sind die Bedingungen für die Torfbildung günstig und die Moorentwicklung folgte dem Rückgang der Gletscher (GORHAM 1991; RUPPEL *et al.* 2013).

Die Entstehungsbedingungen von Mooren sind vielfältig und sie können je nach Betrachtungsweise unterschiedlich klassifiziert werden. In der einfachsten Form unterscheidet man zunächst Moore, die ausschließlich durch Regenwasser gespeist werden (ombrogen, „Hochmoore“) und Moore, die neben Regenwasser auch durch Grund- und Oberflächenwasser beeinflusst werden (minerogen, „Niedermoore“). Sie zeichnen sich durch unterschiedliche Pflanzengesellschaften und damit Torfarten aus (MEIER-UHLHERR *et al.* 2015). Weitere Differenzierungen haben entweder einen ökologischen oder einen hydrologischen Fokus, wobei beide auch gemeinsam zur Beschreibung von Mooren herangezogen werden können (SUCCOW & JESCHKE 1986; SUCCOW 1988; SUCCOW & JOOSTEN 2001; Tabelle 1-1).

Die **ökologische Differenzierung** beruht auf dem Nährstoffzustand (Trophie, ausgedrückt durch das Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N)) und dem pH-Wert, die die vorherrschenden Pflanzengesellschaften beeinflussen. Das Spektrum reicht von sauer ( $\text{pH} \leq 4,8$ ) und oligotroph ( $\text{C/N} > 33$ ), über mesotrophe Verhältnisse und mittlere pH-Werte bis hin zu basisch oder kalkhaltig ( $\text{pH}$  bis 8,5) und eutroph ( $\text{C/N} < 20$ ). Diese Bedingungen hängen maßgeblich von dem Wasser ab, das das jeweilige Moor speist. Hochmoore sind aufgrund des Regenwassers immer nährstoffarm, während Niedermoore je nach Zusammensetzung und Fließverhalten des Grund- und Oberflächenwassers das gesamte Spektrum umfassen können. Anhand der hydrologischen Rahmenbedingungen erfolgt eine Unterscheidung in **hydrogenetische Moortypen**. Nach SUCCOW & JESCHKE (1986) und SUCCOW & JOOSTEN (2001) werden für Mitteleuropa acht Typen beschrieben (Tabelle 1-1). Dabei ist die Herkunft des Wassers entscheidend für die Entstehung und bedingt auch den Entwicklungstyp nach primär, sekundär oder sogar tertiär, was auch die Kombinationen mehrerer Moortypen zeigt. Neben der Unterteilung nach dem Ursprung des Wassers werden mit Bezug zum Wasserstand horizontale und geneigte Moore beschrieben. Während sich horizontale Moore hinsichtlich des

Landschaftswasserhaushalts eher passiv verhalten, weisen geneigte Moore eine Wasserströmung auf und beeinflussen durch ihr Wachstum die Wasserbewegung. Die Wasserverhältnisse stehen wiederum in Wechselwirkung mit den Pflanzengesellschaften und den daraus gebildeten Torfen und bedingen u.a. deren Zersetzungsgrad und Mächtigkeit (Tabelle 1-1, Abbildung 1-1).



**Abbildung 1-1:** Die Wechselbeziehungen zwischen Torf, Wasser und Pflanzen in einem Moor, nach PARISH *et al.* (2008).

Auch innerhalb Deutschlands sorgten die unterschiedlichen topografischen und klimatischen Bedingungen für verschiedene Moorgenesen. Die typische Hochmoorbildung fand vor allem in Niedersachsen statt, wo sich vereinfacht zunächst erste Niedermoore entwickelten, die dann mit Hochmoortorfen überwachsen wurden (OVERBECK 1975; LBEG 2022). Die tieferen Schichten sind häufig stark („Schwarztorf“) und die jüngeren Schichten schwach zersetzt („Weißtorf“). Im Nordosten dagegen waren die Bedingungen hauptsächlich für Niedermoorbildung in vielfältigen Ausprägungen gegeben (LUTHARDT & ZEITZ 2014). Aber auch der Mensch hat bereits ab dem frühen Mittelalter bspw. durch Entwaldung und Mühlenstau in die Wasserverhältnisse der Landschaft eingegriffen und damit die Moorbildung befördert (GÖTTLICH 1990; SUCCOW & JESCHKE 1986).

Tabelle 1-1: Hydrogenetische Moortypen und ihre Kennzeichnung (aus: SUCCOW & JOOSTEN 2001, Tab. 6-3; angepasst und ergänzt mit Angaben aus SUCCOW & JESCHKE 1986)

	Verlandungs- moor	Überflutungs- moor	Versumpfungs- moor	Durch- strömungs- moor	Quellmoor	Hangmoor	Kesselmoor	Regenmoor
<b>Wasser- speisung</b>	stehendes Gewässer	Überflutungs- wasser (periodisch)	Grund- und Oberflächen- wasser (Grundwasser- anstieg)	durch- strömendes Grundwasser zum Vorfluter	Quellwasser	Hangzulauf- wasser bei versickerungs- gehemmtem Untergrund	Oberflächig zusammen- laufendes Mineralboden- wasser	ausschließlich Niederschlags- wasser
<b>Vor- herrschende Bewegung des Wassers</b>	meist wenig bewegt, vorwiegend vertikal, im Torfkörper	auf dem Torfkörper	meist wenig bewegt, vorwiegend vertikal, im Torfkörper	im Großteil des Torfkörpers	meist in „Gängen“ im Torfkörper, in Rinnsalen auf dem Torfkörper	flächig auf dem Torfkörper	meist wenig bewegt, vorwiegend in obersten Schichten des Torfkörpers	im und auf dem Torfkörper, vorwiegend in obersten Schichten
<b>Oberfläche</b>	horizontal	horizontal	horizontal	geneigt	geneigt	geneigt	Übergang zwischen horizontal und geneigt	geneigt
<b>Entwicklungs- typ</b>	primär	primär	primär	sekundär	primär	primär	sekundär	primär, sekundär oder tertiär
<b>Zersetzungs- grad</b>	mäßig	hoch	meist hoch	meist gering bis mäßig	meist hoch	mäßig bis hoch	gering bis mäßig	gering bis mäßig

	Verlandungs- moor	Überflutungs- moor	Versumpfungs- moor	Durch- strömungs- moor	Quellmoor	Hangmoor	Kesselmoor	Regenmoor
<b>Häufige Vergesell- schaftung</b>	in Kontakt zu Versumpfungsmoor	oft Verlandungs- moore einschließend	teilweise auf Verlandungs- moor	auf Ver- sumpfungs-, Hang- oder Verlandungs- mooren	Kontakt zu Durch- strömungs- oder Verlandungs- moor	Kontakt zu Quell-, Ver- sumpfungs- oder Regenmoor	auf Verlandungs- moor	direkt auf mineralischem Untergrund; auf Verlandungs-, Versumpfungs- oder Hangmoor; auf Durch- strömungs- oder Kesselmoor
<b>Ökologische Moortypen (ungestört)</b>	eutroph, mesotroph- sauer, mesotroph- subneutral, mesotroph- kalkhaltig	eutroph	eutroph, mesotroph- sauer, oligotroph- sauer	mesotroph- sauer mesotroph- subneutral, mesotroph- kalkhaltig,	eutroph, mesotroph- sauer, mesotroph- subneutral, mesotroph- kalkhaltig	mesotroph- sauer, mesotroph- subneutral, eutroph	oligotroph- sauer, mesotroph- sauer, mesotroph- subneutral	oligotroph-sauer
<b>Flächenanteil in Deutschland</b>	Ca. 15 %	Ca. 5 %	Ca. 30 %	Ca. 25 %	< 1 %	Ca. 1-2 %	Ca. 1-2 %	Ca. 20 %

Sie sind somit in der Lage, Kohlenstoff über lange Zeiträume festzulegen. Schätzungen gehen davon aus, dass weltweit etwa 600 Gigatonnen C gespeichert sind (YU *et al.* 2010), was ungefähr einem Drittel der geschätzten Kohlenstoffmenge aller Böden und damit auch mehr als der oberirdischen Biomasse entspricht (GORHAM 1991; SCHARLEMANN *et al.* 2014). Die Mengen der THG-Emissionen aus entwässerten und genutzten Mooren werden nach internationalen Konventionen und Vorgaben (IPCC 2006; IPCC 2014) im Rahmen der nationalen Berichterstattung ermittelt und veröffentlicht (siehe Kapitel 1.2.1).

### 1.1.2 Definition von Moor- und weiteren organischen Böden

Die in Kapitel 1.1.1 beschriebenen Unterteilungen von Mooren beziehen sich auf die Ökosysteme. Je nach Fachdisziplin gibt es weitere Definitionen. Da der Fokus dieser Arbeit auf Böden liegt, ist die bodenkundliche Definition von Mooren in Deutschland maßgeblich. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein und die Mächtigkeit von Torfschichten, die sich aus den vor Ort wachsenden Pflanzen gebildet haben und bestehen. Bodenbildung und die Entstehung des Ausgangsmaterials sind also gleichzeitige Prozesse. Dies ist der Hauptunterschied dieser organischen Böden zu Mineralböden, welche aus dem Material verwitterter Gesteine und neu gebildeter Bodenminerale bestehen. (AD-HOC-AG BODEN 2005; AMELUNG *et al.* 2018)

In der **deutschen Bodensystematik** wird die offizielle bodenkundliche Kartieranleitung verwendet. Am weitesten verbreitet ist derzeit die Nomenklatur der 5. Auflage (KA5, AD-HOC-AG BODEN 2005). Diese basiert auf den grundsätzlichen Bildungsbedingungen der Böden, sowie den bodenbildenden Prozessen und Merkmalen im vertikalen Profilaufbau eines Bodens. Dabei werden sogenannte Bodenhorizonte unterschieden, die in ihren spezifischen Ausprägungen und Abfolgen zur Beschreibung von Böden herangezogen werden. Moorböden bilden eine eigene Abteilung und werden definiert als „Böden aus Torfen ( $\geq 30$  Masse-% organische Bodensubstanz, OBS) von  $\geq 30$  cm Mächtigkeit“. Diese Torfe müssen innerhalb der obersten 40 cm beginnen, ansonsten werden sie nach dieser Nomenklatur den mineralischen Böden zugeordnet.

Darüber hinaus können weitere Böden mit Torfen oder anmoorigen Horizonten (mindestens 15 % OBS) beschrieben werden. Bei diesen wird im Vergleich zu den Moorböden entweder das Kriterium der Torfmächtigkeit (z.B. „Moorgleye“ mit 10 bis  $< 30$  cm Torf) oder das Kriterium der OBS (z.B. „Anmoorgleye“ mit anmoorigen Horizonten mit einem OBS-Gehalt von 15 bis  $< 30$  Masse-%) nicht erfüllt. Während in Moorgleyen „echte“ Torfhorizonte vorhanden sind, sind in Anmoorgleyen die OBS-Gehalte aufgrund von langanhaltendem Grund- oder Stauwasser zwar sehr hoch, jedoch niedriger als die der Torfe. Weiterhin können OBS-reiche Horizonte Sedimente am Grund von Gewässern (Mudden) beschreiben, die auch bei der Moorbildung auftreten können. Ergänzend werden in der KA5 kultivierte Moore beschrieben, die in dieser Arbeit eine wichtige Rolle als weitere organische Böden einnehmen. Dabei handelt

es sich um Standorte „bei denen im Zuge der Bodenbearbeitung das Bodenprofil und damit auch die wesentlichen Eigenschaften des Moores beseitigt worden sind“ (AD-HOC-AG BODEN 2005). Dazu zählen vor allem der Tiefumbruch und das Überdecken mit mineralischen Substraten zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Nutzbarkeit.

Die Klassifikation von Moor- und weiteren organischen Böden ist ein wesentlicher Aspekt meiner Dissertation. Eine ausführliche Beschreibung der Systematik und ihrer Limitierungen ist daher in Kapitel 2.1 und Kapitel 3.1.1.2 zu finden. Grundsätzlich werden in dieser Arbeit alle Böden aus Torfen, ehemaligen Torfen und anmoorigen Substraten berücksichtigt und als **Moor- und weitere organische Böden** bezeichnet.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in der KA5 auch Auflagen aus nicht vollständig zersetztem Pflanzenmaterial als organische Horizonte bezeichnet werden. Diese sind in einer eigenen Bodenklasse oder auch als Humusformen in Böden unter Wäldern mit hoher Nachlieferung an organischem Pflanzenmaterial beschrieben (AD-HOC-AG BODEN 2005). Hierbei findet jedoch keine Moor- und Torfbildung statt, weshalb Böden dieser Klasse bzw. mit diesen Horizonten in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet werden.

Mitte des Jahres 2024 erschien die 6. Auflage der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA6, AG BODEN 2024). Diese bringt für Moorböden mehrere Verbesserungen in Form von weiteren Differenzierungen, insbesondere hinsichtlich der zunehmenden Degradierung und Bodenbildung durch langjährige Entwässerung und Nutzung („Moorfolgeböden“), der Neuordnung der stark veränderten „Moorkultisole“ als eigene Bodentypen, sowie der Ergänzung der Muddemoore. Zur Zeit der Erstellung dieser Arbeit stand sie jedoch noch nicht zur Verfügung und konnte daher nur perspektivisch berücksichtigt werden.

Wie Deutschland haben auch andere Länder ihre eigenen Bodenklassifikationssysteme und Definitionen für Moorböden und Torf, die jedoch voneinander abweichen (LOURENCO et al. 2023). Auf **internationaler Ebene** wird die „*World Reference Base for Soil Resources*“ (WRB) angewendet (IUSS WORKING GROUP WRB 2022). Sie soll den Austausch in einem einheitlichen System ermöglichen, ohne regionale Klassifikationssysteme zu ersetzen. Gegenüber dem Ansatz der KA5 gibt es deutliche konzeptionelle Unterschiede, die dort bereits erläutert wurden (AD-HOC-AG BODEN 2005).

Die erste Version der WRB-Klassifikation dient zudem als Grundlage für die Definition der „*organic soils*“ (organische Böden) für die THG-Emissionsberichterstattung (IPCC 2006; IPCC 2014; siehe Kapitel 1.2.1). Es besteht jedoch Spielraum für länderspezifische Definitionen und Klassifikationskonzepte der eigenen Daten, die begründet in den nationalen Berichten verwendet werden können, was auch für Deutschland so umgesetzt wird. Eine große Unsicherheit im Vergleich der Systeme liegt in den unterschiedlichen Parametern, die zur Definition verwendet werden. Während für die deutsche KA5 der OBS-Gehalt ausschlaggebend ist, basieren IPCC und WRB auf dem  $C_{org}$ -Gehalt. Für organische Böden liegt

dieser in Abhängigkeit von Tongehalt und Wassersättigung demnach bei 12 bis 18 %. Grundsätzlich können beide Werte unter Verwendung eines Faktors ineinander umgerechnet werden. In der KA5 wurde er für mineralische Substrate auf den Wert 1,72 und für Torfe auf 2,0 festgelegt (AD-HOC-AG BODEN 2005). Dies entspricht für Torfe einem  $C_{org}$ -Gehalt von mindestens 15 % und umfasst damit nicht alle organischen Böden nach IPCC und WRB. Auf der anderen Seite werden Substrate mit weniger als 15 %  $C_{org}$  nicht als Torfe definiert und dafür der Faktor 1,72 angewendet, sodass die errechneten OBS-Gehalte bei < 30 % liegen. Folglich ist es nicht ausreichend, für die THG-Emissionsberichterstattung lediglich die nach KA5 definierten Moorböden einzubeziehen. Außerdem legen Erkenntnisse zu Kohlenstoffvorräten und THG-Emissionen nahe, dass sich auch weitere organische Böden mit mineralischer Überdeckung oder Tiefumbruch ähnlich verhalten wie „echte“ Moorböden (BEYER 2014; HÖPER 2015; TIEMEYER *et al.* 2020; PAGENKEMPER *et al.* 2022) und daher berücksichtigt werden müssen. Auch auf diese Problematik wird in Kapitel 2.1 und Kapitel 3.1.1.2 ausführlicher eingegangen.

Allerdings ist selbst der allgemein häufig verwendete **Umrechnungsfaktor** von 1,72, der auf der Annahme beruht, dass die OBS zu 58 % aus  $C_{org}$  besteht, nicht unumstritten. PRIBYL (2010) geht in seinem kritischen Übersichtsartikel ausführlich auf die Herkunft dieses etablierten Faktors ein. Dabei stellt er fest, dass die meisten Studien, die seither versucht haben, diesen Faktor zu überprüfen, zu dem Ergebnis gekommen sind, dass er zu niedrig sei. Stattdessen sei ein höherer Faktor von 1,9 oder 2,0 für die meisten Böden passender. Die Wahl eines zu niedrigen Umrechnungsfaktors führt zur Überschätzung der  $C_{org}$ -Gehalte und damit auch zur Beeinflussung der Höhe der  $C_{org}$ -Vorräte. Er weist jedoch auch darauf hin, dass aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren auf Böden und Substrate kein Wert allgemeingültig sein kann.

KLINGENFUß *et al.* (2014) haben die Umrechnungsfaktoren speziell für verschiedene Torfsubstrate untersucht. Auch sie kommen zu dem Schluss, dass je nach Substrat spezifische Werte verwendet werden sollten. Diese liegen für Torfe zwischen 1,73 und 2,05, für anmoorige Substrate („humoser Sand“) sogar bei 2,41 – allerdings jeweils mit großer Variabilität und regionaler Prägung der Proben. Somit bestätigt auch diese Studie, dass kein Faktor Allgemeingültigkeit besitzt und dass für organische Substrate weitere Untersuchungen zur Festigung und Anpassung der Faktoren notwendig sind.

### **1.1.3 Verbreitung von Moor- und weiteren organischen Böden**

Moore sind weltweit verbreitet und bedecken je nach Schätzung etwa 2,2 bis 3,8 % der Landfläche (YU *et al.* 2010; TUBIELLO *et al.* 2016; LEIFELD & MENICETTI 2018; UNEP 2022). Sie kommen in fast allen Ländern der Erde vor, wenn auch nicht gleichmäßig verteilt: Große Gebiete liegen vor allem in den nördlichen Breiten (Russland, Kanada, USA, Nordeuropa) und in den Tropen (Brasilien, Indonesien, Zentralafrika/Kongo). Auch in den südlichen Breiten gibt es Moore, jedoch aufgrund der kleineren Landmassen in geringerer Ausdehnung (Patagonien, Australien, Neuseeland).

In Europa befinden sich ca. 12 % der globalen Moorflächen und machen dort einen Flächenanteil von ca. 6 % aus (UNEP 2022). Die Hauptverbreitungsgebiete liegen im europäischen Teil Russlands, in Skandinavien, Finnland und Weißrussland. Weitere moorreiche europäische Länder sind die baltischen Staaten, die Britischen Inseln, die Niederlande, Deutschland und Polen.

In Deutschland kommen Moor- und weitere organische Böden in allen Bundesländern vor. Die amtlichen Bodenübersichtskarten (BÜK) für Deutschland von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) weisen insgesamt ca. 1,68 Mio. ha (BÜK1000; BGR 2013) bzw. 1,88 Mio. ha (BÜK250; BGR 2018). aus. Diese Karten basieren auf den Flächendaten der Bundesländer und sind inhaltlich und räumlich auf einen Betrachtungsmaßstab von 1:1.000.000 (BÜK1000) bzw. 1:250.000 (BÜK250) harmonisiert.

Für eine räumlich höher aufgelöste Betrachtung haben ROßKOPF *et al.* (2015) eine Karte organischer Böden auf Basis der Flächendaten der Bundesländer erstellt und diese zwar inhaltlich, jedoch nicht räumlich harmonisiert. Eine grobe inhaltliche Differenzierung wurde in Niedermoor, Hochmoor und weitere organische Böden vorgenommen und zusätzlich – in Anlehnung an hydrogenetische Moortypen – in mehrere Standorttypen unterteilt. Da die Länderdaten zum Teil viele Jahrzehnte alt sind, ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Verbreitung aufgrund von langjähriger Entwässerung und Mineralisierung bereits geringer ist als in den Daten dargestellt. Die Autor\*innen haben daher eigene Erhebungen durchgeführt, um den Flächenverlust zu berechnen. Die Karte umfasst insgesamt 1,64 Mio. ha bzw. 1,57 Mio. ha nach rechnerischer Verkleinerung der Gesamtfläche, die jedoch nicht flächenscharf umgesetzt werden konnte. Darüber hinaus haben sie auf Grundlage der Geländeaufnahmen und ergänzenden Altdaten idealisierte Profile je Einheit abgeleitet und deren Kohlenstoffvorräte geschätzt. Dieser Datensatz fand bis zum Jahr 2024 Anwendung in der THG-Emissionsberichterstattung, wobei die Gesamtfläche aufgrund von Anpassungen in den Flächendaten mit 1,82 Mio. ha etwas größer ist als im Originaldatensatz (UBA 2024a). Den gleichen Ansatz des Zusammenfügens der aktuellen Bodendaten der Bundesländer, jedoch ohne inhaltliche Harmonisierung, dafür mit umfangreicherer Auswahl der Legendeneinheiten, haben TEGETMEYER *et al.* (2021) durchgeführt und eine Gesamtfläche von 1,84 Mio. ha ermittelt.

Je nach Betrachtungsmaßstab und Auswahl der verschiedenen Bodentypen machen die Moor- und weiteren organischen Böden somit einen Anteil von 4,4 bis 5,3 % der Gesamtfläche Deutschlands aus. Die Verbreitungsgebiete liegen vor allem im Norden und Süden und spiegeln die eiszeitlich geprägten Gebiete wider, die für die Moorbildung der letzten ca. 12.000 Jahre entscheidend waren.

### 1.1.4 Entwässerung und Nutzung von Mooren

Moore wurden und werden seit vielen Jahrhunderten vom Menschen genutzt. Weltweit sind ca. 8-12 % der Moore entwässert und degradiert, wobei der Großteil in der nördlichen Hemisphäre liegt (TUBIELLO *et al.* 2016; LEIFELD & MENICHETTI 2018; UNEP 2022). Es wird geschätzt, dass in der EU bzw. in ganz Europa bereits ungefähr die Hälfte der Flächen betroffen ist (TANNEBERGER *et al.* 2021; UNEP 2022), in Deutschland sogar über 90 % (TIEMEYER *et al.* 2020). Die Hauptnutzung der Moore in Deutschland ist mit ca. 70 % die Landwirtschaft, gefolgt von Wald mit ca. 15 % (UBA 2024a). Auf knapp 1 % der Moorflächen findet noch Torfabbau für nicht-energetische Zwecke (Gartenbausubstrat) statt. Damit gehört Deutschland trotz des geringen Flächenanteils mengenmäßig zu den führenden Torfsubstratproduzenten in Europa (HIRSCHLER & OSTERBURG 2022). Etwa 6 % der Moorflächen werden als ungenutzt klassifiziert (TIEMEYER *et al.* 2020). Dies impliziert allerdings nicht, dass diese Flächen auch naturnah sind, da auch wiedervernässte Moore z.B. nach Torfabbau darunter fallen und über deren Zustand im Allgemeinen wenig bekannt ist. Insgesamt ist daher davon auszugehen, dass es in Deutschland kaum noch ursprüngliche und ungestörte Moore gibt.

Die Zeit der anthropogenen Moornutzung begann ungefähr im 17./18. Jahrhundert mit ersten Entwässerungen, um Torf zu stechen und Flächen landwirtschaftlich zu nutzen (GÖTTLICH 1990; SUCCOW & JESCHKE 2022). Vor allem im 20. Jahrhundert wurde die Moorkultivierung auch durch staatliche Maßnahmen vorangetrieben und auf ein industrielles Niveau gehoben. Dazu wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, die entweder die Moorprofile in ihrem Schichtaufbau nicht beeinflussten (z.B. Deutsche Hochmoorkultur) oder zur Entwicklung neuer Böden führte. Vor allem regional in Niedersachsen wurden eine ganze Reihe solcher Kultivierungsverfahren durchgeführt, z.B. die Spittkultur, die Deutsche Sandmischkultur, die Sanddeckkultur, die Baggerkuhlung und der industrielle Torfabbau (GÖTTLICH 1990; SCHWENK & GEHRT 2023). Die Ziele waren in der Regel die weitere Entwässerung, bessere Befahrbarkeit und höhere Ertragsfähigkeit dieser sonst nicht ertragreich nutzbaren Flächen.

Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung haben weitreichende **Auswirkungen auf die Moore**. Zunächst führt die Absenkung des Moorwasserstands rein physikalisch zum Verlust des Auftriebs und damit zur Sackung und Schrumpfung der Torfschichten (GÖTTLICH 1990). Gleichzeitig kommen die Torfschichten mit Luft und Sauerstoff in Kontakt. Dadurch nimmt die Aktivität von Mikroorganismen zu, der Abbau und die Mineralisierung der Torfe wird beschleunigt, was in weiterem Absinken der Geländeoberfläche resultiert (EVANS *et al.* 2021a). Nach einiger Zeit muss aufgrund des Höhenverlustes noch tiefer entwässert werden, sodass weitere Torfschichten mineralisiert werden, was im schlimmsten Fall zum vollständigen Torfverlust führen kann. Dies wird auch als „Teufelskreis der landwirtschaftlichen Moornutzung“ bezeichnet (KUNTZE 1982; SUCCOW & JOOSTEN 2001).

Sackungs-, Schrumpfungs- und Mineralisationsprozesse, insbesondere in Kombination mit landwirtschaftlichen Maßnahmen wie Pflügen und Düngen, führen zu Veränderungen der

chemischen und physikalischen Eigenschaften der Torfe, die wiederum miteinander zusammenhängen (SEIDEL *et al.* 2023; DETTMANN *et al. in prep.*). Zunächst verändert sich die Porenstruktur stark, was gerade in den ersten Jahren nach der Entwässerung besonders deutlich ausgeprägt ist (LIU *et al.* 2020). Dadurch kommt es zur Erhöhung der Lagerungs- bzw. Trockenrohddichte (TRD), was mit einer Verschlechterung der Wasserleitfähigkeit einhergeht (ZEITZ & VELTY 2002; KECHAVARZI *et al.* 2010; WORD *et al.* 2022). Das führt zu einer spezifischen Bodenbildung in den entwässerten Moorböden (OKRUSZKO 1993; ZEITZ & VELTY 2002; ILNICKI & ZEITZ 2003). Im Oberboden kommt es zur Vererdung oder Vermulmung, im Unterboden bilden sich Aggregate und Risse und im Wasserschwankungsbereich finden oxidative Prozesse statt. Bereiche mit diesen jeweiligen Ausprägungen werden in der Bodenkunde als eigene Horizonte beschrieben (AD-HOC-AG BODEN 2005; CONSTANTIN *et al.* 2022; AG BODEN 2024). Darüber hinaus entstehen durch verschiedene Kultivierungstechniken völlig neue Bodenprofile (siehe Kapitel 3.1.1.2).

Weiterhin kommt es zur Abnahme der  $C_{org}$ -Gehalte und zur Anreicherung von Nährstoffen wie N und Phosphor vor allem im Oberboden, was durch zusätzliche Düngung verstärkt wird (ZEITZ & VELTY 2002; EWING *et al.* 2012; RENO-WILSON *et al.* 2021). Dies hat auch ökologische Konsequenzen, da  $C_{org}$  und Nährstoffe mobilisiert und ausgewaschen werden können, was zur Eutrophierung angrenzender Gewässer führt (ZAK *et al.* 2010; FRANK *et al.* 2014; TIEMEYER & KAHLE 2014). Die fortschreitende Mineralisation der Torfe resultiert außerdem, gesteuert von der Tiefe der Entwässerung (TIEMEYER *et al.* 2020; EVANS *et al.* 2021b) und von der Höhe des N-Vorrats im belüfteten Teil des Torfkörpers (TIEMEYER *et al.* 2016), in hohen  $CO_2$ -Emissionen. Die Folge ist der Verlust der hohen  $C_{org}$ -Vorräte und der ursprünglichen Funktion der Moore als  $CO_2$ -Senken. Auf landwirtschaftlich genutzten und gedüngten Flächen kann es zusätzlich zu Emissionen von Lachgas ( $N_2O$ ) kommen (MALJANEN *et al.* 2010; OFFERMANN *et al.* 2023; TIEMEYER *et al.* 2024).

Die Veränderungen und Verluste der Moore durch die Folgen der langjährigen Entwässerungs- und Nutzungsgeschichte sind auch insofern problematisch, als dass die Wiederherstellung naturnaher Wasserverhältnisse schwierig ist und die Neubildung von Torf im Vergleich zur Verlustrate nur sehr langsam und unter optimalen Bedingungen erfolgt. Moore und die in ihnen ursprünglich gespeicherten  $C_{org}$ -Vorräten können daher nicht kurzfristig wiederhergestellt werden. Kenntnisse über den *Status quo* der physikalischen, chemischen und hydrologischen Eigenschaften von Moorböden sind daher wichtig für die Ermittlung der THG-Emissionen (BECHTOLD *et al.* 2014) sowie für den Erfolg und die Folgen von Wiedervernässungsmaßnahmen (WORD *et al.* 2022; ZAK & MCINNIS 2022).

## 1.2 Motivation und Forschungslücken

### 1.2.1 Berichterstattung von THG-Emissionen und Minderungsziele

Auf der Weltklimakonferenz der Vereinten Nationen (*united nations*, UN) in Paris im Jahr 2015 hat sich ein Großteil der Staaten darauf geeinigt, die globale Erderwärmung auf möglichst unter 1,5 °C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit zu begrenzen. Auch die Europäische Union (EU) schließt sich diesen Beschlüssen an und hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 THG-neutral zu sein (EU 2021). Entsprechend hat sich auch Deutschland dazu verpflichtet und strebt laut Klimaschutzgesetz (KSG) die THG-Neutralität bereits bis 2045 an.

Im Rahmen der internationalen Abkommen sind die anthropogenen THG-Emissionen zu ermitteln und im jährlichen Nationalen Inventarbericht (NIR), der vom Umweltbundesamt (UBA) herausgegeben wird, zu berichten. Darin werden die Emissionen in verschiedenen Sektoren aufgeschlüsselt, wobei das Thünen-Institut für die Erstellung der Inventare der Sektoren Landwirtschaft, sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (*land-use, land-use change and forestry*, LULUCF) zuständig ist. Diesem Sektor kommt eine besondere Bedeutung zu, da er laut KSG gestaffelt bis 2045 als Netto-Kohlenstoffsенке von mindestens 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten wirken soll, was eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen erfordert (UBA 2024b).

Grundsätzlich war die Senkenfunktion im LULUCF-Sektor durch die der Wälder bereits seit vielen Jahren gegeben, wenn auch noch in zu geringem Umfang. Infolge der Trockenperioden der letzten Jahre, verbunden mit großflächigen Borkenkäferschädigungen vor allem an Fichten, sind die Wälder jedoch mittlerweile ebenfalls zu einer Kohlenstoffquelle geworden (BMEL 2024). Damit rücken die entwässerten und genutzten Moor- und weiteren organischen Böden mehr in den Fokus, da sie im Jahr 2022 mit ca. 53,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten allein für etwas mehr als 7 % der Gesamtemissionen verantwortlich waren und damit mehr emittieren als der gesamte Industriesektor (UBA 2024a). Aufgrund dieser Relevanz bekamen sie auch politisch in den letzten Jahren mehr Aufmerksamkeit. Eine Fortführung der Nutzung mit tiefer Entwässerung steht im Widerspruch zu den angestrebten Klimazielen. Daher wird derzeit intensiv an einer nachhaltigen Moornutzung mit höheren Wasserständen, angepassten Nutzungsformen und reduzierten THG-Emissionen geforscht. Dies wird basierend auf der Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz (BUND UND LÄNDER 2021), der Nationalen Moorschutzstrategie (BMUV 2022) und des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (BMUV 2023) angestrebt und gefördert. Zusätzlich gilt seit 2024 die EU-Verordnung über die Wiederherstellung der Natur („*Nature Restoration Law*“, EU 2024), nach der EU-weit 20 % der Flächen in einen natürlichen ökologischen Zustand zurückzusetzen sind. Das betrifft auch landwirtschaftlich genutzte Moorflächen, die bis 2050 zu mindestens einem Drittel wiedervernässt sein sollten.

Es ist daher notwendig, den aktuellen Zustand der Böden in Deutschland insbesondere hinsichtlich ihrer  $C_{org}$ -Vorräte zu erfassen und im Rahmen von Monitoringprogrammen langfristig zu beobachten. Zudem ist die Methodik zur Berechnung der THG-Emissionen und damit verbunden die räumliche Ausdehnung und Differenzierung weiter zu verbessern, da zukünftig die Anforderungen an die Berichterstattung u.a. im Bereich „*managed wetlands*“ steigen (EU 2023). Letzteres ist insbesondere für die vielseitig genutzten Moor- und weiteren organischen Böden von besonderer Relevanz.

### 1.2.2 Nationale Bodenmonitoringprogramme

Änderungen der  $C_{org}$ - und N-Vorräte in Böden ergeben sich aus der Speicherung (Zunahme der Vorräte) bzw. den Verlusten (Abnahme der Vorräte) in Form THG-Emission als  $CO_2$ ,  $CH_4$  und  $N_2O$  oder in gelöster Form über Auswaschung (UBA 2024a). Sie hängen stark von der standortspezifischen Landnutzung und deren Änderung (IPCC 2006; POEPLAU *et al.* 2020), sowie im Falle der organischen Böden entscheidend vom Wasserstand ab (TIEMEYER *et al.* 2020). Zusätzlich spielen weitere Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren eine wichtige Rolle.

Um die Methodik in der Emissionsberichterstattung im LULUCF-Sektor zu verbessern und weiterzuentwickeln, wurde das Thünen-Institut vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) mit der Durchführung der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) beauftragt. Dabei wurde erstmals bundesweit einheitlich der *Status quo* der  $C_{org}$ -Vorräte in landwirtschaftlich genutzten Böden, sowie deren Beeinflussung durch weitere Klima-, Boden- und Nutzungsfaktoren untersucht (JACOBS *et al.* 2018; POEPLAU *et al.* 2020). Somit wurde die Grundlage für ein regelmäßiges Monitoring geschaffen, um potenzielle Veränderungen detektieren und Empfehlungen für das Bodenmanagement ableiten zu können. Die Auswahl der Standorte erfolgte basierend auf einem deutschlandweiten 8 x 8 km Raster, von dem jeder Punkt auf landwirtschaftlichen Flächen (Acker, Grünland, Sonderkulturen) ausgewählt wurde. Zwischen den Jahren 2011 und 2018 wurden insgesamt 3104 Flächen beprobt.

Die Ergebnisse der BZE-LW lieferten wichtige Grundlagen und Erkenntnisse zum Zustand der landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. Für organische Böden wurde jedoch einschränkend festgestellt, dass die Auswahl anhand eines gleichmäßigen Rasters zur Unterrepräsentanz vor allem kleiner Mooregebiete führte (JACOBS *et al.* 2018). Zudem wurde der für die THG-Emissionen entscheidende Parameter des Wasserstandes nicht aufgenommen und die  $C_{org}$ -Vorräte nicht an allen Standorten für den gesamten Torfkörper bis zur Basis, die deutlich tiefer liegen kann als die standardisiert beprobte Tiefe von 2 m, erfasst. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, ein angepasstes Monitoringkonzept für Moor- und weitere organische Böden zu entwickeln.

Das Thünen-Institut wurde daher zusätzlich mit dem Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz (MoMoK) beauftragt. Dabei wird in den Jahren

2020 bis 2025 ein langfristiges, konsistentes und räumlich repräsentatives Messnetz von Moor- und weiteren organischen Böden in den Bereichen Offenland und Wald etabliert (FRANK *et al.* 2022; TIEMEYER *et al.* 2022; [www.moorbodenmonitoring.de](http://www.moorbodenmonitoring.de)). Die Standortauswahl folgt nicht dem Rasteransatz der BZE-LW. Stattdessen werden räumliche Cluster in Mooregebieten gebildet, in denen verschiedene Kombinationen von Moorbodentypen und Landnutzungen vorkommen. Der Fokus des Programms liegt auf der Messung von Änderungen in den  $C_{org}$ -Vorräten und Geländehöhen sowie auf der Verbesserung des Verständnisses über die beeinflussenden Prozesse. Ziel ist die Entwicklung dynamischer Regionalisierungsansätze für die THG-Emissionen und deren Steuerfaktoren (v.a. Grundwasserflurabstände). In diesem Zusammenhang spielt auch die Aktualisierung der Karte organischer Böden eine entscheidende Rolle.

### 1.2.3 Klassifikation und Harmonisierung von Punkt- und Flächendaten

Die Bodenklassifikation nach der deutschen Bodensystematik hat im Allgemeinen einige Limitierungen (ALBRECHT *et al.* 2005). Dies hat sich auch in der korrekten Ansprache von stark gestörten landwirtschaftlich genutzten organischen Böden der BZE-LW gezeigt, was Teil dieser Dissertation ist (siehe Kapitel 2.1). Eine einheitliche Betrachtung von Moor- und weiteren organischen Böden und deren Eigenschaften auf Ebene von Punktdaten selbst innerhalb von größeren Projekten mit vielen Standortaufnahmen wird daher erschwert. Ebenso kann die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Projekten eingeschränkt sein.

Auch die auf Länderebene verfügbaren Flächendaten von Moor- und weiteren organischen Böden sind nicht einheitlich aufbereitet. Sie werden von den Landesämtern herausgegeben, die sich in der Regel an die Klassifikation nach offizieller Bodensystematik halten. Einige nutzen jedoch bspw. eigene Ergänzungen (GEHRT *et al.* 2021), haben die Inhalte feiner (LBGR 2022) oder gröber (LUA 2001) aufgelöst oder es werden andere fachliche Einheiten gewählt (RAU *et al.* 2000). Die Zusammenstellung der aktuellen Bodenflächendaten stellte einen wichtigen Teil meiner Arbeit dar und wird in Kapitel 3.2.1 und in Appendix B dieser Dissertation detailliert beschrieben. Die inhaltliche Arbeit mit solchen Datensätzen ist je Bundesland gut realisierbar. Die Vergleichbarkeit untereinander ist jedoch aufgrund inhaltlicher und räumlicher Unterschiede erschwert. Für deutschlandweite Berechnungen, wie die Modellierung von Wasserständen oder THG-Emissionen, können sie daher in dieser Form nicht verwendet werden.

Somit ergibt sich die Notwendigkeit der Entwicklung eines vereinfachten Klassifikationsschemas zur Harmonisierung von Punkt- und Flächendaten von Moor- und weiteren organischen Böden im Hinblick auf Stoffvorräte und relevante Bodenprofileigenschaften für hydrologische Parameter zur Ableitung der THG-Emissionen.

Für die THG-Emissionsberichterstattung wurde zur räumlichen Abgrenzung von den mineralischen Böden im Zeitraum dieser Arbeiten die Karte organischer Böden nach ROßKOPF

et al. (2015) verwendet. Dieser Datensatz stellte bereits eine deutliche Verbesserung in der THG-Emissionsberichterstattung für organische Böden dar, da sich die bis dato verwendete BÜK1000 als zu grob und ungenau gezeigt hat (FELL et al. 2014). Inzwischen ergab sich jedoch erneut Überarbeitungsbedarf, da in einigen Bundesländern neuere Bodenflächendaten vorliegen. Diese wurden teilweise sogar speziell für Moor- und weitere organische Böden erneuert und verbessert, sodass die Aktualität nicht mehr gegeben ist (z.B. BUKEA 2017; GEHRT et al. 2021; LBGR 2022). Zudem müssen Einheiten der weiteren organischen Böden umfassend einbezogen werden. Darüber hinaus werden für die deutschlandweite Regionalisierung von Wasserständen und Landnutzungsoptionen Flächendaten benötigt, die mit Bodeneigenschaften parametrisiert sind. Die bislang verfügbaren Daten sind dafür entweder zu kleinmaßstäbig (BÜK1000, BÜK250), nicht aktuell und umfassend genug (ROßKOPF et al. 2015) oder enthalten keine Flächeninformationen (TEGETMEYER et al. 2021). Ein weiterer Aspekt ist, dass die bisher verwendete Karte nicht öffentlich verfügbar ist, sondern ausschließlich vom Thünen-Institut in der THG-Emissionsberichterstattung verwendet werden darf. Dies ist angesichts der zunehmenden Bedeutung von Moor- und weiteren organischen Böden und ihrer Nutzung bzgl. der Minderung von THG-Emissionen nicht mehr zeitgemäß.

Folglich muss basierend auf vorhandenen Länderdaten ein mittelmaßstäbiger deutschlandweiter Flächendatensatz zur aktuellen Verbreitung dieser Böden erstellt werden, in dem für alle Flächen ein vereinfachter harmonisierter Profilaufbau abgeleitet ist und der mit weiteren Bodeneigenschaften parametrisiert werden kann.

Bislang liegen keine deutschlandweiten Auswertungen zu den Eigenschaften Moor- und weiterer organischer Böden vor, die für die THG-Emissionen relevant sind und die Bedingungen der Berichterstattung erfüllen. Dabei spielen sowohl die Punktdaten der BZE-LW als auch die Flächendaten der Bundesländer wichtige Rollen. Die Bodeninventur liefert einen Überblick des Profilaufbaus und grundlegender Parameter, wie Gehalten und Vorräten von  $C_{org}$  und N, das C/N-Verhältnis und die TRD. Zudem bietet sich die Möglichkeit, anhand dieses großen umfangreichen Datensatzes mittels der Zusammenhänge der Parameter Pedotransferfunktionen abzuleiten. Die Bodenflächendaten der Bundesländer hingegen stellen die Bodentypen und ihre Profileigenschaften in unterschiedlichen Detailgraden i.d.R. flächendeckend und nutzungsübergreifend dar, sodass deutschlandweite Aussagen getroffen werden können. Für beide Datentypen (Punkt- und Flächendaten) steht dabei zunächst die Harmonisierung anhand des Klassifikationsschemas im Vordergrund.

### 1.3 Ziele der Dissertation

Diese Dissertation hat zum Ziel, die Klassifikation und die bodenkundlichen Eigenschaften stark gestörter landwirtschaftlich genutzter Moor- und weiterer organischer Böden zu beleuchten und deren deutschlandweite Verbreitung anhand aktueller Flächendaten zusammenzustellen. Damit sollen die Möglichkeiten zur Harmonisierung heterogener Datensätze untersucht und die Datenbasis für die THG-Emissionsberichterstattung verbessert werden.

In Kapitel 2 werden die Ergebnisse aus den erhobenen Punktdaten auf Moor- und weiteren organischen Böden der BZE-LW dargestellt. Neben dem generellen Ziel der BZE-LW, die  $C_{org}$ -Vorräte zu erfassen hat die vorliegende Studie die Ziele

- i. ein einfaches Klassifikationsschema für entwässerte und stark gestörte Moor- und weitere organische Böden zu entwickeln,
- ii. ausgewählte bodenkundliche Eigenschaften dieser Böden auszuwerten,
- iii. Pedotransferfunktionen mit  $C_{org}$ -Gehalten als erklärende Variable abzuleiten und
- iv. Schritte in Richtung parametrisierter Profile von Moor- und weiteren organischen Böden vorzuschlagen.

Kapitel 3 stellt eine umfangreiche Dokumentation des Vorgehens zur Erstellung der aktualisierten Kulisse organischer Böden und deren Ergebnisse dar. Die gewonnenen Erfahrungen aus der BZE-LW hinsichtlich der Klassifikation Moor- und weiterer organischer Böden stellten hierfür eine wichtige Wissensgrundlage dar. Die Ziele dieser Arbeit sind

- i. die Aktualisierung des Grundlagendatensatzes der Fläche organischer Böden für die THG-Emissionsberichterstattung anhand aktueller Bodenflächendaten der Bundesländer,
- ii. die Harmonisierung der Bodenflächendaten anhand von Eigenschaften, die relevant für die THG-Emissionen sind,
- iii. die Schaffung einer Grundlage für die Berechnung von Moorwasserständen und damit THG-Emissionen, sowie für die Ableitung von Szenarien und Landnutzungsoptionen organischer Böden und
- iv. die Förderung von Transparenz durch die Veröffentlichung des Vorgehens und der Daten für die breite Verwendung.

## 2 Peat and other organic soils under agricultural use in Germany: Properties and challenges for classification

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**(19): 1–24. <https://doi.org/10.19189/MaP.2020.SJ.StA.2093>

### Summary

Under natural conditions, peatlands store large amounts of soil organic carbon (SOC). However, they are under threat due to drainage which leads to mineralisation of soil organic matter to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). This situation is especially severe in Germany, where more than 70 % of peat and other organic soils are used for agriculture. This study assessed the properties of these soils within the framework of the first German Agricultural Soil Inventory. In a nationwide 8 × 8 km grid, soils from a total of 3104 sites were sampled to depths of up to one metre or down to the peat base. Of these sites, 146 were on peat and other organic soils; and 31 % of the 146 sites were being affected not only by drainage but also by changes in horizonation (e.g. mineral covers, deep ploughing). The classification of heavily disturbed sites is limited within the German Manual of Soil Mapping, which has led to the development of an adapted classification scheme for peat and other organic soils under agricultural use in Germany. The respective peat classes showed distinct patterns of SOC and total nitrogen (N<sub>t</sub>) contents and stocks, bulk density (BD) and C:N ratios. Overall, a SOC stock of 529 ± 201 t ha<sup>-1</sup> and a N<sub>t</sub> stock of 29.3 ± 13.9 t ha<sup>-1</sup> were found within a depth of 0–100 cm. However, in deeper profiles, 48 % of the total SOC was stored below 100 cm depth down to the peat base. High SOC stocks were also found in peat-derived, mineral-covered and deep-ploughed organic soils, which might be classified as mineral soils depending on the classification system used but are still prone to mineralisation and need to be considered in terms of emissions reporting and mitigation. Logarithmic and quadratic pedotransfer functions were developed to estimate BD and SOC density, respectively, from SOC contents. This is necessary for the calculation of SOC stocks when analyses of BD are absent. The quadratic relationship between SOC content and SOC density clearly showed that heavily degraded organic soils store as much SOC in a defined volume as more natural ones, and that any estimates of differences in potential CO<sub>2</sub> emissions should not be based on SOC content, but on SOC density instead.

**KEY WORDS:** bulk density, mineral soil cover, nitrogen, SOC density, soil organic carbon

## 2.1 Introduction

Peatlands store large amounts of soil organic carbon (SOC), even though they cover only 2.2–3 % of the global land surface (YU *et al.* 2010; TUBIELLO *et al.* 2016; LEIFELD & MENICHETTI 2018). These are the only ecosystems that accumulate carbon as peat over millennia but the peat is highly vulnerable to anthropogenic disturbance, principally by drainage. Drainage for agriculture and forestry has turned these greenhouse gas (GHG) sinks into large sources of GHGs (LEIFELD *et al.* 2019), particularly carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and, especially when fertilised, nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) as well (MALJANEN *et al.* 2010; FROLKING *et al.* 2011; TIEMEYER *et al.* 2016). In addition, drainage leads to the shrinkage and subsidence of peatland, inducing changes in the peat structure and promoting a distinctive process of soil development (OKRUSZKO 1993; ILNICKI & ZEITZ 2003). Cultivation techniques, such as sand addition or deep ploughing, also have a considerable effect on the appearance and properties of the soil (KUNTZE 1987; GÖTTLICH 1990; RICHARDSON *et al.* 1991). Worldwide, TUBIELLO *et al.* (2016) estimated that about 8 % of all peatlands are drained for agriculture, mainly (60 %) in boreal and cool temperate areas. Including drainage for forestry, LEIFELD & MENICHETTI (2018) calculated the fraction of drained peatlands at about 11 %, of which 52 % are located in the boreal and temperate zones. In Europe as a whole, 25–44 % of organic soils are under agricultural use (LEPPELT *et al.* 2014), while in Germany agriculture affects more than 70 % of all organic soils (TIEMEYER *et al.* 2020).

Knowledge about the soil properties of managed peatlands is essential in order to estimate GHG emissions and assess the potential effects of mitigation measures, especially when applying models at different scales. SOC contents and stocks have already been reported in numerous studies (GORHAM 1991; YU 2012; LOISEL *et al.* 2014; ROßKOPF *et al.* 2015), while data on nitrogen (N) and the C:N ratio are less commonly available, particularly for drained peatlands. (LOISEL *et al.* 2014) summarise the N contents and C:N ratios of mainly undisturbed northern peatlands, while LEIFELD & MENICHETTI (2018) complement these data with new findings from tropical areas. However, both N stocks and the C:N ratio could be crucial factors for determining N<sub>2</sub>O (LEPPELT *et al.* 2014) and CO<sub>2</sub> emissions (TIEMEYER *et al.* 2016).

In the calculation of stocks, bulk density (BD) is the most important factor, but obtaining these samples is laborious. Where data are missing, pedotransfer functions (PTFs) can help estimate BD from SOC contents (SONNEVELD & VAN DEN AKKER 2011). The PTFs would preferably be parameterised specifically for organic soils (HIEDERER & KÖCHY 2011). Data on SOC stocks are mostly restricted to the upper one or two metres of the soil (BATJES 1996; HIEDERER & KÖCHY 2011; ROßKOPF *et al.* 2015). This might be sufficient for mineral soils, where most of the SOC is stored in the topsoil (BATJES 1996; POEPLAU *et al.* 2020), but not for organic soils, which have a potential thickness of several metres.

Unfortunately, comparability of information on soil properties and the extent of certain land-use classes is restricted not only by a lack of data but also by differences in classification systems and definitions of 'peat' and 'organic soils' (JOOSTEN *et al.* 2017). This issue is also encountered internationally as several European countries carry out inventories in order to determine SOC stocks, all using different classification systems (e.g. BELLAMY *et al.* 2005; CHAPMAN *et al.* 2013; HEIKKINEN *et al.* 2013; TAGHIZADEH-TOOSI *et al.* 2014). The aim of the first German Agricultural Soil Inventory, of which this study is a part, was to improve GHG emissions reporting. Thus, the basic definition of 'organic soils' comes from the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006; IPCC 2014). These follow the first version of the World Reference Base for Soil Resources (WRB; FAO 1998), which defines soils as 'organic' if they satisfy requirements (1) and (2) or (1) and (3) below:

- (1) thickness 10 cm or more; a horizon less than 20 cm thick must have 12 % or more organic carbon when mixed to a depth of 20 cm;
- (2) the soil is never saturated with water for more than a few days and contains more than 20 % (by weight) organic carbon (about 35 % organic matter);
- (3) the soil is subject to water saturation episodes and has either:
  - (i.) *at least 12 % (by weight) organic carbon (about 20 % organic matter) if it has no clay, or*
  - (ii.) *at least 18 % (by weight) organic carbon (about 30 % organic matter) if it has  $\geq 60$  % clay, or*
  - (iii.) *an intermediate, proportional amount of organic carbon for intermediate amounts of clay.*

It is important to note that a 'Histosol' (FAO 1998) is not the same as an 'organic soil', according to (IPCC 2006; IPCC 2014), since the IPCC definition omits the thickness criterion and the occurrence of andic or vitric horizons included in the FAO definition. Furthermore, the terms 'peat' and 'peatland' were deliberately not defined by the IPCC's guidelines to leave room for country-specific definitions and classification systems. Therefore, it is not necessary to translate soil units exactly in order to comply with emissions reporting guidelines. In any case, a translation of this kind is often impossible within existing systems. Instead, it is crucial to identify the soil types that behave like 'organic soils' in terms of their GHG emissions.

In Germany, soils are classified using the Manual of Soil Mapping (AD-HOC-AG BODEN 2005). Peat soils are defined as soils consisting of peat containing at least 30 % soil organic matter (SOM) with a minimum thickness of 30 cm starting within the upper 20 cm of the soil. Using SOM instead of SOC is the first major difference compared with the WRB/IPCC definitions, and requires a conversion factor to be used. Mineral covers of 20–40 cm are mentioned as a soil type overlying the peat soil, whereas peat covered with  $\geq 40$  cm mineral horizons is classified as mineral soil. Generally, peat soils are subdivided into near-natural and degraded classes. Within these classes, a differentiation is made between rain-fed bogs and groundwater-fed

fens. The general approach of the German classification system is that soil horizons should reflect soil development processes. In the case of peat soils, horizon designation could therefore indicate 'earthification' or 'permanent water saturation', for example.

However, the classification of heavily disturbed or anthropogenically modified sites is challenging in the German nomenclature. Many soils have heavily degraded topsoils or even completely degraded profiles with SOM contents of between 15 and 30 %. Depending on their texture, which is not relevant for the German nomenclature in this case, and the conversion factor between SOC and SOM, these soils may or may not be 'organic' according to the IPCC definition. A conversion factor of 1.72 is given for mineral substrate and 2.00 for peat (AD-HOC-AG BODEN 2005), but it is unclear how to treat samples with SOC contents at the boundary between mineral soils and peat. Furthermore, soil types cannot be assigned for several specific combinations of horizons (e.g. mineral covers without profile development as topsoil, shallow peat above gley soils with redoximorphic features pointing to a deep groundwater table, or topsoils with SOM contents between 15 and 30 % above a thin peat horizon). Additionally, shallow peat or transitory horizons are assumed to develop towards peatland, but not to lose SOC and thus to develop towards mineral soil. Cultivation techniques such as sand-covering or deep ploughing cannot be mapped clearly either, as there are no distinct soil types for such sites. In summary, the mapping guidelines are too inflexible for mapping heavily disturbed organic soils. These issues are relevant not only for the soil data of the present study, but also for sampling in other projects and for the depiction of soils in maps.

Classification issues of this kind may lead to misunderstandings when talking about 'organic soils'. Therefore it is crucial to clarify that, in this article, the term 'organic soil' does not exactly match the IPCC definition. As with the German emissions inventory (UBA 2019), we included sites with horizons of transitory SOM content (15–30 %) irrespective of texture, as they were found to emit as much CO<sub>2</sub> as typical peat soils (LEIBER-SAUHEITL *et al.* 2014; TIEMEYER *et al.* 2016). All the soils included in the present study are referred to as 'peat and other organic soils'. This study is part of the German Agricultural Soil Inventory, the objective of which is to improve the GHG inventory and acquire knowledge about the current status of SOC stocks and other basic soil properties. Besides providing data for modelling or upscaling, the aims of this article are:

- (i.) to propose a simple classification scheme for drained and heavily disturbed peat and other organic soils;
- (ii.) to evaluate the properties of agriculturally used peat and other organic soils in Germany;
- (iii.) to derive pedotransfer functions using SOC content as an explanatory variable; and
- (iv.) to propose steps towards fully parameterised profiles of peat and other organic soils.

## 2.2 Methods

### 2.2.1 Study area and field sampling

The objective of the first German Agricultural Soil Inventory was to validate, improve and develop Germany's greenhouse gas inventory reporting in the sector of 'Land Use, Land Use Change and Forestry' (LULUCF). In line with the German Forest Soil Inventory (GRÜNEBERG *et al.* 2014), it was carried out nationwide in a fixed 8 × 8 km grid, where the first grid point was a LUCAS site (Land Use / Land Cover Area Frame Survey, TÓTH *et al.* 2013). Wherever a grid point coincided with an agricultural field (cropland, grassland, permanent crops) the site was chosen for sampling. Landowners were contacted and asked for their cooperation by completing a questionnaire about their field management in the past decade. This resulted in a total of 3104 agricultural field sites, of which 146 were found to be on peat and other organic soils. At each site, a soil pit of about 1 m<sup>2</sup> was dug down to 1 m depth. The soils were described following the German Manual of Soil Mapping (AD-HOC-AG BODEN 2005). Between a depth of 1 and 2 m, horizon description and sampling were conducted using soil cores and the total peat depth was determined using a Russian peat corer.

Disturbed samples were collected for soil chemical analysis and texture, while three sample rings (100 cm<sup>3</sup>) were taken as undisturbed samples to determine BD. Sampling was conducted in five fixed depth increments of 0–10, 10–30, 30–50, 50–70 and 70–100 cm (Figure 1). When a depth increment comprised more than one soil horizon and when the horizon or parts of it comprised > 4 cm of that depth increment, the increment was subdivided accordingly (in the example given in Figure 1, the 10–30 cm increment is subdivided into Samples S2 and S3). Conversely, single thick horizons may have been sampled across several depth increments (Horizon 3 comprises Samples S5 and S6). Therefore, unambiguous soil properties are not necessarily identified for each horizon. In this article, 0–30 cm is designated as 'topsoil' and 30–100 cm as 'subsoil'. Even though there may be subsoil horizons within 0–30 cm, this term is used following the nomenclature of the German Agricultural Soil Inventory. Data were either analysed for depth increments or for individual samples.

For present purposes, 'profile depth' is defined as the thickness of the whole soil profile, including overlaying or interlaying mineral soil horizons and underlying organic or calcareous sediment ('gyttja'). In contrast, 'peat thickness' is the total thickness of organic horizons only ( $\geq 15$  % SOM or 8.7 % SOC, respectively).

In order to evaluate the spatial variability of SOC stocks, additional one-metre-long driving hammer samples were taken in all eight main and auxiliary cardinal points 10 m from the soil pit. These cores were divided into the same depth increments without consideration being given to divergent horizon thicknesses. Compaction and stretching during the drilling procedure were captured by comparing borehole depths and total core lengths. Still in the field, each core

was cut bearing in mind the necessary correction for compaction and stretching. Here, only the cores of deep-ploughed organic soils were evaluated. For more details, see JACOBS *et al.* (2018) and POEPLAU *et al.* (2020).

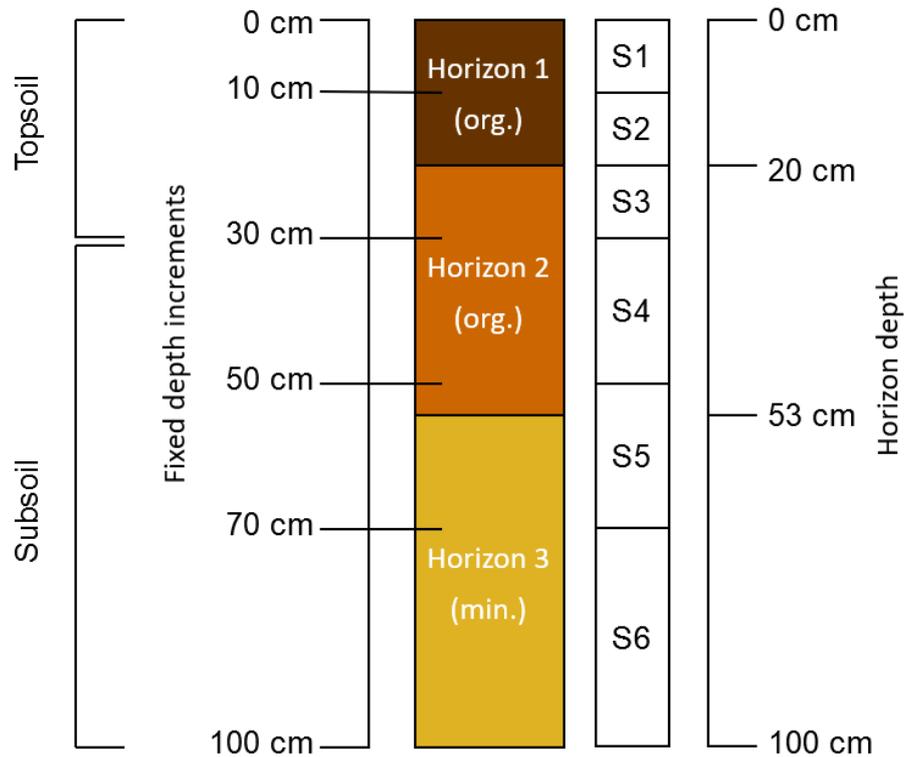


Abbildung 2-1: Beprobungsschema eines hypothetischen Profils mit zwei organischen (org., Horizonte 1 und 2) und einem mineralischen (min., Horizont 3) Horizonten im oberen Meter. Die Profile wurden in festen Tiefenstufen (links) beprobt, die durch Horizontgrenzen (rechts) unterteilt waren, es sei denn, der Beitrag eines Horizonts zu einer Tiefenstufe betrug weniger als 4 cm (betrifft hier die Tiefenstufe 50-70 cm). Ein Horizont kann von mehr als einer Tiefenstufe beprobt worden sein (hier: Horizont 3). Proben aus Tiefen zwischen 0 und 30 cm werden als Oberbodenproben definiert, Proben aus Tiefen zwischen > 30 und 100 cm als Unterbodenproben. S1-S6: Proben.

Figure 1: Sampling scheme of a hypothetical profile with two organic (org., Horizons 1 and 2) and one mineral (min., Horizon 3) horizons in the upper metre. Profiles were sampled in fixed depth increments (left) subdivided by horizon boundaries (right) unless the contribution of a horizon to a depth increment was less than 4 cm (the depth increment here is 50–70 cm). One horizon may have been sampled by more than one depth increment (here: Horizon 3). Samples from depths between 0 and 30 cm are defined as topsoil samples, samples from depths between > 30 and 100 cm are defined as subsoil samples. S1–S6: samples.

## 2.2.2 Sample preparation and laboratory analyses

All sample preparation and analyses were carried out in the same laboratory following standardised protocols (JACOBS *et al.* 2018). To minimise drying effects on soil chemical analysis, disturbed samples and soil cores were dried at 40 °C and SOC-rich samples (estimated from field mapping) at 60 °C with reference to the methods of the German Forest Soil Inventory (GRÜNEBERG *et al.* 2014) that are based on the expert committee on Forest Analysis (HFA 2005). Undisturbed samples were dried to constant weight at 105 °C in order to remove all water for subsequent determination of BD. Dried samples were sieved to 2 mm and rock fragments and roots were separated and weighed.

Bulk density (BD) was calculated as the mass of dry soil minus coarse soil and roots per unit volume. For samples with SOC contents < 17.4 % (corresponding to a SOM content of < 30 %), texture was determined after aggregate destruction and the removal of salts and organic matter using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (DIN ISO 11277). Sand fractions were determined by wet sieving, and silt and clay fractions by the pipette method using a semi-automatic device (Sedimat 4-12, UGT, Müncheberg, Germany).

Contents of total carbon (C<sub>t</sub>) and total nitrogen (N<sub>t</sub>) were measured by dry combustion (TRUMAC, LECO, Saint Joseph, USA), as % of dry mass. If the pH<sub>CaCl2</sub> was < 6.2 it was assumed that no inorganic C (SIC) was present and thus C<sub>t</sub> equalled SOC. Otherwise, fractionation of SIC and SOC was determined by combustion at 550 °C for SOC and 1000 °C for SIC. In the case of core samples, N<sub>t</sub> was measured in only four of the eight cores due to the laboratory's capacity limits (only relevant for deep-ploughed organic soils). The C:N ratio was evaluated as the quotient of SOC (%) and N<sub>t</sub> (%).

## 2.2.3 Classification approach

The mapping of diverse and anthropogenically disturbed peat and other organic soils presented a challenge due to the shortcomings of the German Manual of Soil Mapping mentioned above. Therefore, we developed an adapted but simplified classification scheme explicitly for the German Agricultural Soil Inventory (Figure 2). It was designed as a flow chart with yes/no decisions and thickness criteria for mineral covers and peat or organic horizons respectively. The definition of 'peat' followed the approach of the German Manual of Soil Mapping, setting the boundary between mineral and organic material at 30 % SOM. Here, 'organic' also includes the transitional section between 15 and 30 % SOM. For a consistent conversion of all samples within the inventory, SOM was derived from the SOC content using the factor of 1.72 (AD-HOC-AG BODEN 2005). Based on profile descriptions and laboratory data, the following six 'peat classes' were distinguished: fen peat soil, bog peat soil, peat-derived organic soil, shallowly covered organic soil, thickly covered organic soil, and deep-ploughed organic soil. Although further subdivisions might be appropriate in future, we required at least ten sites in each class.

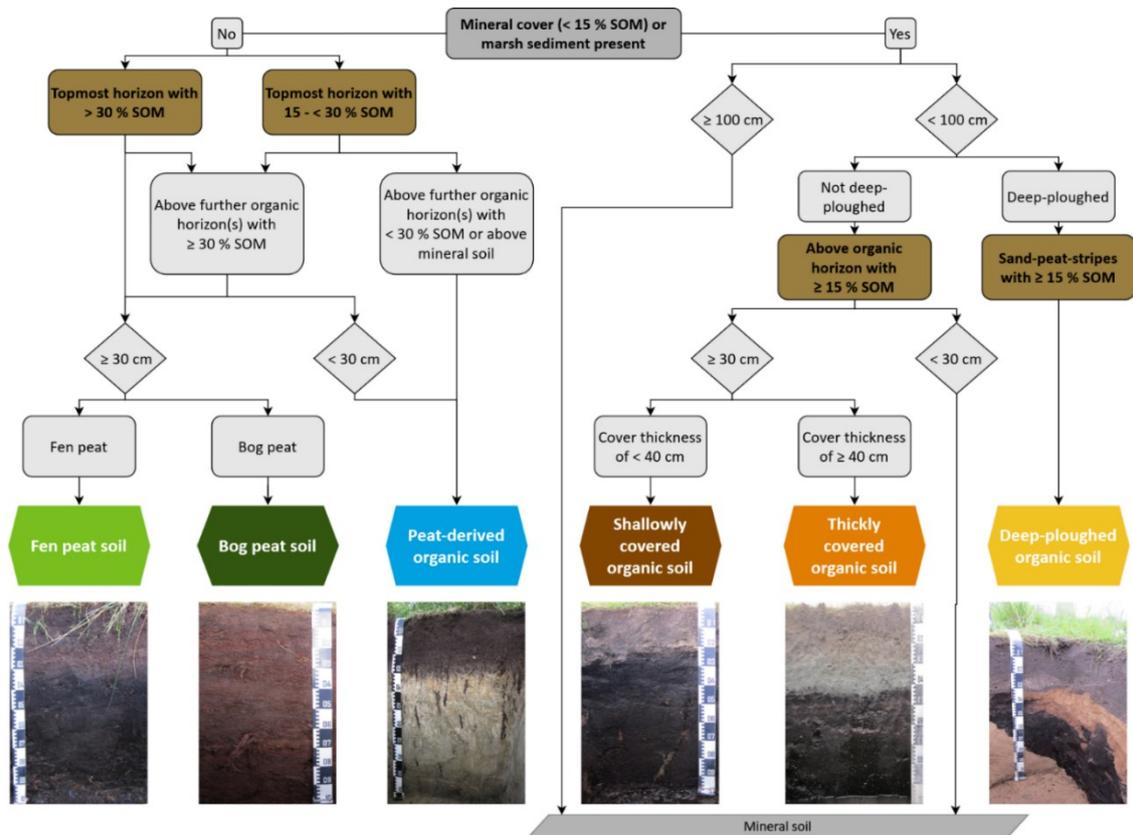


Abbildung 2-2: Klassifikationsschema für gestörte Moor- und weitere organische Böden in der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. SOM: soil organic matter (organische Bodensubstanz)  
 Figure 2: Classification scheme for disturbed peat and other organic soils of the German Agricultural Soil Inventory with exemplary pictures. SOM: soil organic matter.

The first decision criterion was the existence of a mineral soil cover, which is defined by a SOM content < 15 % or by being marsh sediment with a high SOM content not resulting from peatland genesis. However, this definition does not imply that other topsoils do not contain mineral soil material.

*Fen and bog peat soils* are ‘typical’ peat soils following the German Manual of Soil Mapping and feature peat horizons with ≥ 30 % SOM content and ≥ 30 cm peat thickness. However, they may have heavily degraded topsoil horizons with SOM contents between 15 and 30 % above further peat horizons.

The category of *peat-derived organic soils* includes a rather wide variety of organic soils. The term ‘peat-derived’ appears in literature but is not found in the official German Manual of Soil Mapping. Regionally different definitions might encompass shallow and ploughed sites (SCHLICHTING et al. 2002), those with a peat thickness of < 30 cm or SOM contents of < 30 % (SCHLEIER & BEHRENDT 2000), or sites with highly degraded topsoils with SOM contents of < 15 % above peat (LBGR 2020). In this study we use the term for soils with organic topsoil

horizons  $\geq 10$  cm, including sites with shallow ( $< 30$  cm) peat topsoil horizons. The typical subsoil of these sites comprises sandy or loamy gleyic horizons. As all the sites were drained and under agricultural use, it can safely be assumed that they are not currently accumulating carbon, hence the use here of the term 'peat-derived'

*Covered organic soils* feature a mineral cover with  $< 15$  % SOM, although marsh horizons without any peat formation history may exceed this value. The mineral covers differ in thickness with shallow covers being  $< 40$  cm and thick covers  $\geq 40$  cm (AD-HOC-AG BODEN 2005). Underlying organic horizons have at least 15 % SOM and are  $\geq 30$  cm thick. Within the German classification, soils having a thick cover of  $\geq 40$  cm would be classified as mineral soil, but this is extended up to a cover of  $< 100$  cm in this study.

*Deep-ploughed organic soils* are a special form of cultivated peat soils (e.g. 'German sand-mixing culture'). In northwest Germany, mainly bogs were ploughed to depths of 1.8 to 2.5 m to improve aeration, drainage and trafficability, e.g. to enable cultivation of degraded peatlands or former peat extraction sites. Thus, these soils show distinct tilted sand-peat stripes underneath a homogenised ploughing horizon of thickness  $\sim 30$  cm (Figure 2). A similar technique has been applied on usually rather shallow fen peat soils in northeast Germany. The sites have been deep-ploughed and tilted and additional sand from underneath has been deposited on top ('Deep-ploughing sand cover culture', SCHINDLER & MÜLLER 2001; ZEITZ 2014). Here, all deep-ploughed soils with organic depth increments containing  $\geq 15$  % SOM were included.

Typical horizon sequences based on the German Manual of Soil Mapping are presented in, to support the verbal description of each 'peat class' above.

#### 2.2.4 Data analysis

All data analyses were performed with the R software environment (version R-3.6.0, R CORE TEAM 2019) mainly using the packages `data.table` (DOWLE & SRINIVASAN 2019) and `dplyr` (WICKHAM *et al.* 2020). Figures were created with `ggplot2` (WICKHAM 2016).

Stocks of SOC and  $N_t$  (in  $t\ ha^{-1}$ ) were calculated by multiplying the respective contents by the fine soil stock, according to POEPLAU *et al.* 2017). The fine soil stock is the product of BD and the thickness of the depth increment corrected for coarse fragments. SOC density ( $g\ cm^{-3}$ ) was calculated as the product of SOC content and BD for each organic sample, i.e. the stock normalised to a specific depth.

Mean and median values of all measured soil properties were calculated for the five depth increments. When a depth increment comprised more than one sample (e.g. S2 and S3 for 10–30 cm in Figure 1), weighted means using the fine soil stock of the relevant depth increment as the weighting factor were applied. SOC and  $N_t$  stocks were then totalled for a) topsoil (0–

30 cm) and subsoil (30–100 cm), b) the whole upper metre, and c) the entire profile of sites with peat depth > 1 m. As samples were only available up to a maximum of 2 m, stocks were extrapolated from the last sampled horizon to the peat base. Differences in SOC and N<sub>t</sub> stocks between the peat classes at each depth were determined by a generalised least squares model using the R package nlme (PINHEIRO *et al.* 2018). P-values of pair-wise comparisons were then calculated using Tukey's honest significant difference test ( $\alpha = 0.05$ ) and adjusted with the Bonferroni correction using the R package multcomp (HOTHORN *et al.* 2008).

A distinction was made between organic ( $\geq 8.7$  % SOC, S1–S4 in the example in Figure 1) and mineral (< 8.7 % SOC, S5 and S6) samples and depth increments. Thus, the results were aggregated by peat class twice, first using all the increments and second using organic increments only. The first approach had the advantage of delivering full profile data without leaving 'blanks' in the topsoil of covered organic soils or in the subsoil of shallow organic soils. The second approach avoided misinterpretation of, for example, typical depth distributions of soil properties due to organic and mineral horizons being combined.

For deep-ploughed organic soils, analyses were based on the soil cores. Due to the typical tilting structure of these soils and the cores being cut into depth increments, it was not possible to distinguish between mineral and organic depth increments. Therefore, most samples were a mixture of organic and mineral material.

To determine the relationship between SOC content and BD as well as between SOC content and SOC density, bootstrapped data ( $n = 1000$ ) of all organic samples (in contrast to depth increments) were used. Data for deep-ploughed organic soils were omitted. For SOC content 8.7–56.8 %, the relationship between SOC content ( $SOC_c$ , %) and BD is described using a logarithmic equation (Equation 1) and between  $SOC_c$  and SOC density ( $SOC_d$ , g cm<sup>-3</sup>) using a quadratic equation (Equation 2).

$$BD = -a * \ln(SOC_c) + b \quad [1]$$

$$SOC_d = -c * (SOC_c)^2 + d * (SOC_c) + e \quad [2]$$

The parameters  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  and  $e$  (all in g cm<sup>-3</sup>) were estimated by minimising the sum of squared residuals with the 'shuffled complex evolution' (SCE-UA) algorithm of DUAN *et al.* (1992) implemented in the R package SoilHyP (DETTMANN 2019). For both correlations, a distinction was made between all samples, topsoil samples and subsoil samples. The scope for SOC contents was similar for all subsets, i.e. 8.7–56.0 % for topsoil samples and 9.1–56.8 % for subsoil samples.

## 2.3 Results

### 2.3.1 Stocks of soil organic carbon and total nitrogen

The data for individual sites, along with the mean and median values for the five depth increments, are provided in Tables S1–S4 in the Supplementary Material (MS Excel file; Appendix A). Of the 146 sites identified as peat and other organic soils, only 47 % could be classified as 'typical' fen ( $n = 53$ ) or bog peat soil ( $n = 16$ ), 22 % are classified as peat-derived organic soils ( $n = 32$ ), nearly one-fifth of all sites have either a shallow ( $n = 12$ ) or thick ( $n = 16$ ) mineral cover, and 12 % are deep-ploughed ( $n = 17$ ).

In the upper metre of German peat and other organic soils under agriculture, the SOC store is  $529 \pm 201 \text{ t ha}^{-1}$  (mean  $\pm$  standard deviation). Stratified by peat class, the highest SOC stocks are in fen peat soils ( $665 \pm 135 \text{ t ha}^{-1}$ , Figure 3a, Table S1), followed by bog peat and shallowly covered organic soils ( $628 \pm 118 \text{ t ha}^{-1}$  and  $618 \pm 97 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively). The SOC stocks of thickly covered, peat-derived and deep-ploughed organic soils are significantly lower than those of the other classes ( $490 \pm 128 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $343 \pm 187 \text{ t ha}^{-1}$  and  $332 \pm 112 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively).

In topsoils, SOC stocks are naturally higher at sites with peat on top (fen peat, bog peat and peat-derived organic soils). Thus, in classes with mineral topsoils SOC stocks are lower, although the stocks of the respective subsoils are slightly higher than in fen and bog peat subsoils (Figure 3a, Table S1). The predominantly mineral subsoils of peat-derived and deep-ploughed organic soils store significantly lower amounts of SOC. On average, about 45 % of SOC in the upper metre is stored within the topsoil and 55 % in the subsoil.

Considering stocks down to the peat base is extremely important in terms of the total SOC stocks (Figure 3a). Peat thickness may be  $> 400 \text{ cm}$ , and SOC storage in the respective sites is  $> 1000 \text{ t ha}^{-1}$  (Table S2). Corresponding to the highest mean peat thickness, the highest SOC stocks below 100 cm are found in fen peat soils. Excluding peat-derived organic soils, only about half (52 %) of the total SOC is stored in the upper metre and 48 % in the deep subsoil between 100 cm and the peat base. Unsurprisingly, we found a linear correlation between SOC stocks and peat thickness (not shown). Stocks of  $N_t$  show a similar pattern to SOC stocks (Figure 3b). The average  $N_t$  stock in the upper metre is  $29.3 \pm 13.9 \text{ t ha}^{-1}$  with the highest stocks in fen peat soils as well as in shallowly and thickly covered organic soils ( $40.3 \pm 10.7 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $33.8 \pm 8.7 \text{ t ha}^{-1}$  and  $30.6 \pm 6.2 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively; Figure 3b, Table S1). In bog peat soils, peat-derived and deep-ploughed organic soils,  $N_t$  stocks are significantly lower ( $19.4 \pm 6.6 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $22.8 \pm 12.7 \text{ t ha}^{-1}$  and  $12.3 \pm 4.1 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively). In topsoils, the highest  $N_t$  stocks are observed in fen peat soils, whereas all other soils have significantly lower stocks. The lowest stocks are in deep-ploughed organic soils. In the subsoil, higher amounts of  $N_t$  are stored in covered and fen peat soils than in other classes. Analogous to the SOC stocks, high amounts of  $N_t$  are stored in

the peat below 100 cm depth (31 % of the total  $N_t$  stock) with the highest  $N_t$  stocks in the fen peat soils. All the numbers given here (and in Figure 3, Table S1) include all the horizons, i.e. both mineral covers and subsoils. Slight differences in the numbers are due to rounding.

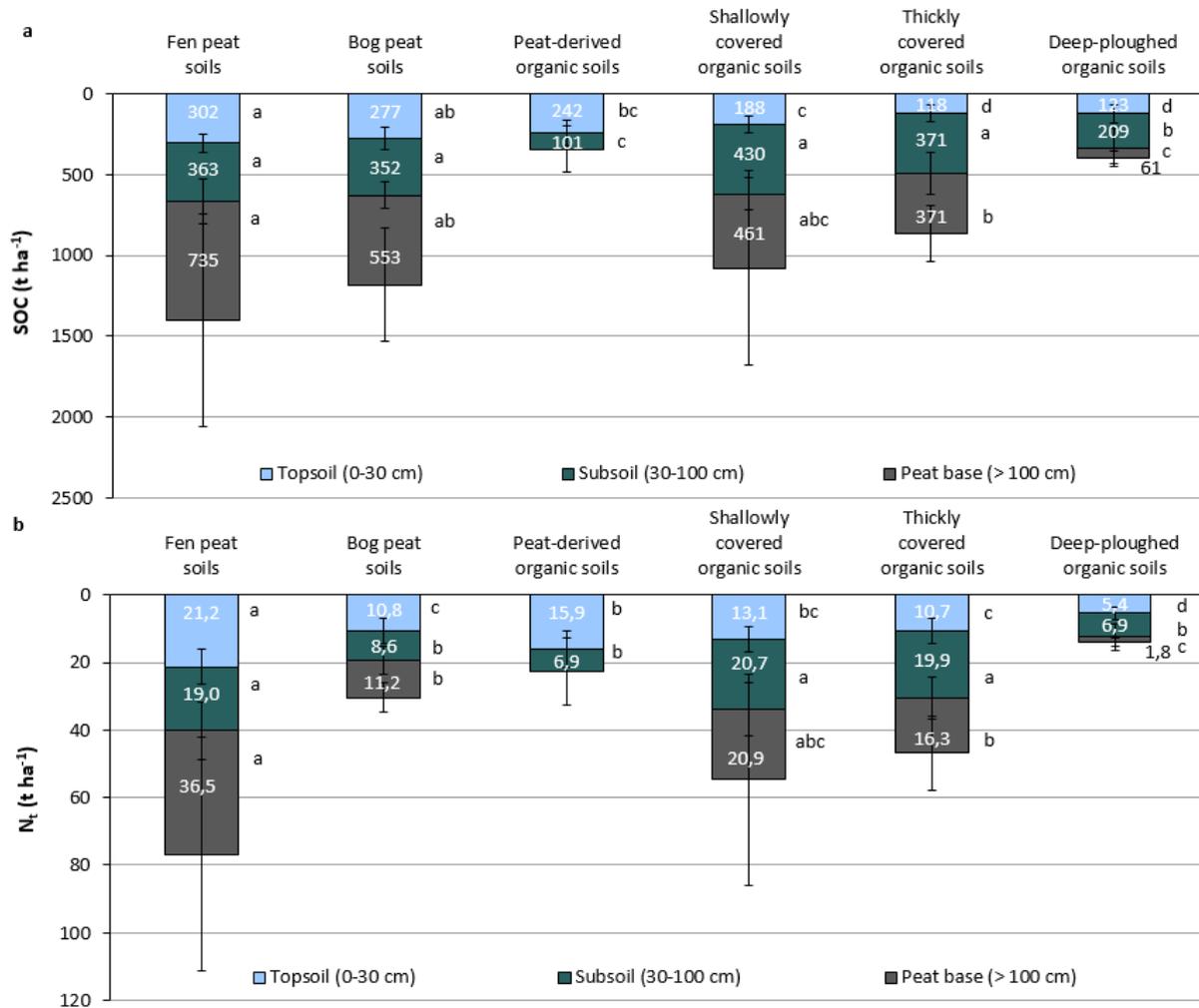


Abbildung 2-3: Vorräte an (a) organischem Bodenkohlenstoff (*soil organic carbon*, SOC) und (b) Gesamtstickstoff ( $N_t$ ) je Moorklasse im Oberboden (0–30 cm), Unterboden (30–100 cm) und bis zur Torfbasis (> 100 cm). Mittelwerte und Standardabweichung, weiße Zahlen: mittlere Vorräte je Tiefe, Buchstaben: signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen Moorklassen in derselben Tiefe.

Figure 3. Stocks of (a) soil organic carbon (SOC) and (b) total nitrogen ( $N_t$ ) of each peat class in topsoil (0–30 cm), subsoil (30–100 cm) and to the peat base (> 100 cm). Means and standard deviation, white numbers: mean stocks per depth, letters: significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between peat classes in the same depth.

## **2.3.2 Soil properties**

### **2.3.2.1 Soil organic carbon content**

Figures 4–7 summarise the major soil properties in the upper metre of the six different peat classes. The properties are shown for organic increments ('org') and for all increments ('all'). The description focuses on organic increments only with the exception of deep-ploughed organic soils.

The SOC contents of fen and bog peat soils increase with depth (Figure 4). Peat-derived organic soils have lower SOC contents per definition (mainly between 14 and 11 %). As expected, covered organic soils are characterised by divergent SOC contents of topsoils and subsoils. Beneath shallow covers, the SOC contents of organic increments are similar to fen peat soils, while they are lower beneath thick covers, where they also increase with depth. SOC contents of deep-ploughed organic soils are mostly around 3 %, reflecting the mixed material in the core samples.

### **2.3.2.2 Total nitrogen content and C:N ratio**

In contrast to SOC contents,  $N_t$  contents do not vary with depth in fen peat soils, but clearly decrease as depth increases in bog peat soils (Figure 5). Peat-derived soils have low  $N_t$  contents similar to those in bog peat soils. While  $N_t$  contents in the covers are low, they are generally comparable with those in the organic increments of fen peat soils. With increasing depth,  $N_t$  contents decrease slightly in shallowly covered organic soils and increase slightly in thickly covered organic soils, reaching similar values at a depth of 70–100 cm. Compared with those of other organic soils, the  $N_t$  contents of deep-ploughed organic soils are low throughout the profile.

The C:N ratios of fen peat and peat-derived organic soils are on a similar level and increase with depth (Figure 6). Bog peat soils show the highest C:N ratios in all depth increments and a very distinct pattern: the C:N ratios of the upper increment (0–10 cm) are markedly lower than at greater depths. Patterns in covered organic soils resemble those of fen peat soils, while C:N ratios in deep-ploughed organic soils also increase with depth and lie between those for bog peat soils and all other classes.

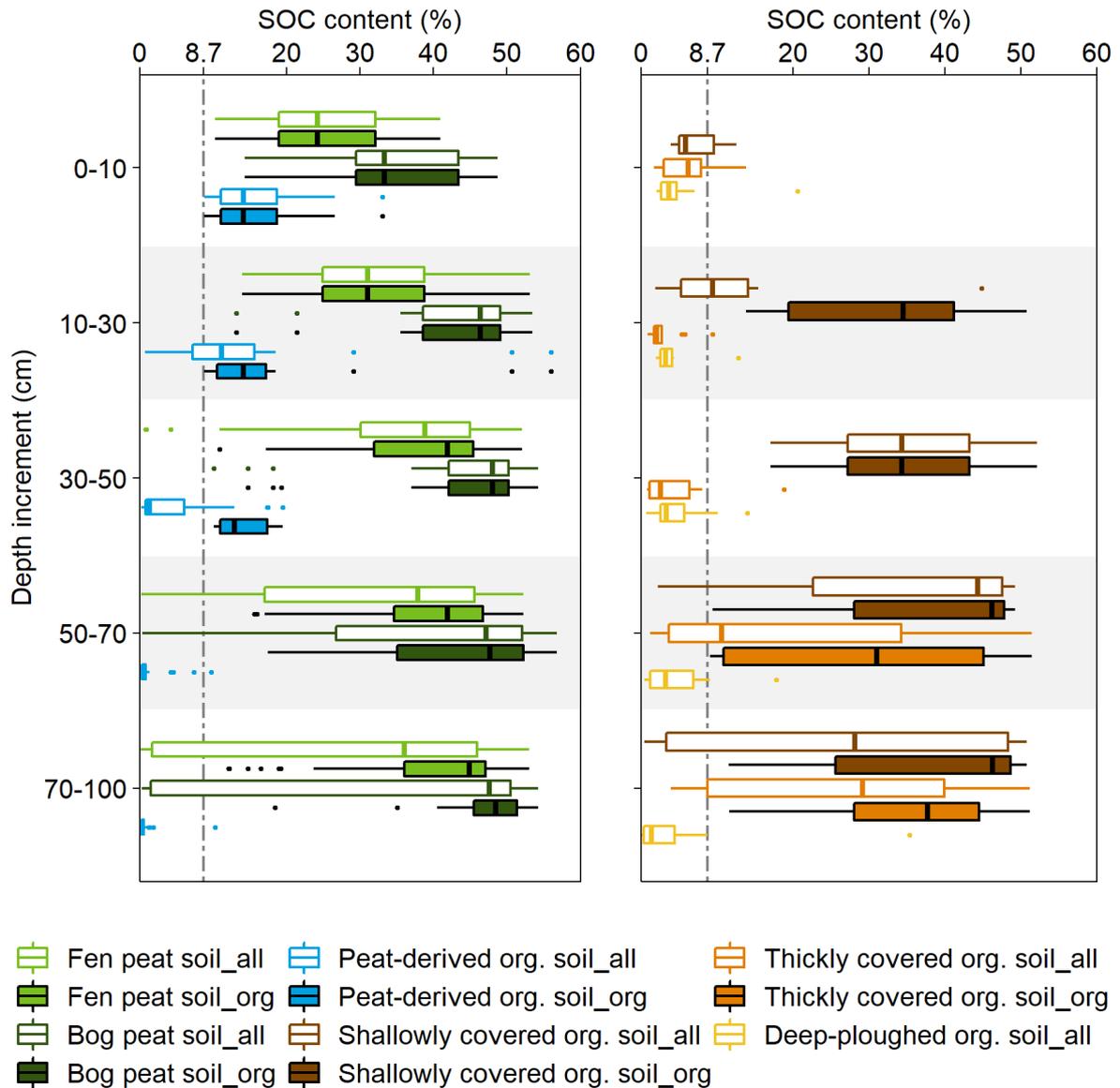


Abbildung 2-4: Gehalt (%) an organischem Bodenkohlenstoff (soil organic carbon, SOC) der Moorklassen in verschiedenen Tiefenstufen. \*\_all\* umfasst alle Tiefenstufen, während sich \*\_org\* nur auf organische Tiefenstufen (SOC  $\geq$  8,7 %, markiert durch die gestrichelte Linie) bezieht. Boxen: Median (fette Linie) und Quartile, Whiskers: 1,5-facher Interquartilsabstand unterhalb des ersten Quartils oder oberhalb des dritten Quartils, Ausreißer (Punkte):  $\geq$  1,5-facher Interquartilsabstand. Org.: organisch.

Figure 4. Soil organic carbon (SOC) content (%) of peat classes in different depth increments. \*\_all\* comprises all depth increments, while \*\_org\* refers to organic depth increments (SOC  $\geq$  8.7 %, marked by dashed line) only. Boxes: median (bold line) and quartiles, whiskers: 1.5 times the interquartile range below the first quartile or above the third quartile, outliers (dots):  $\geq$  1.5 times the interquartile range. Org.: organic.

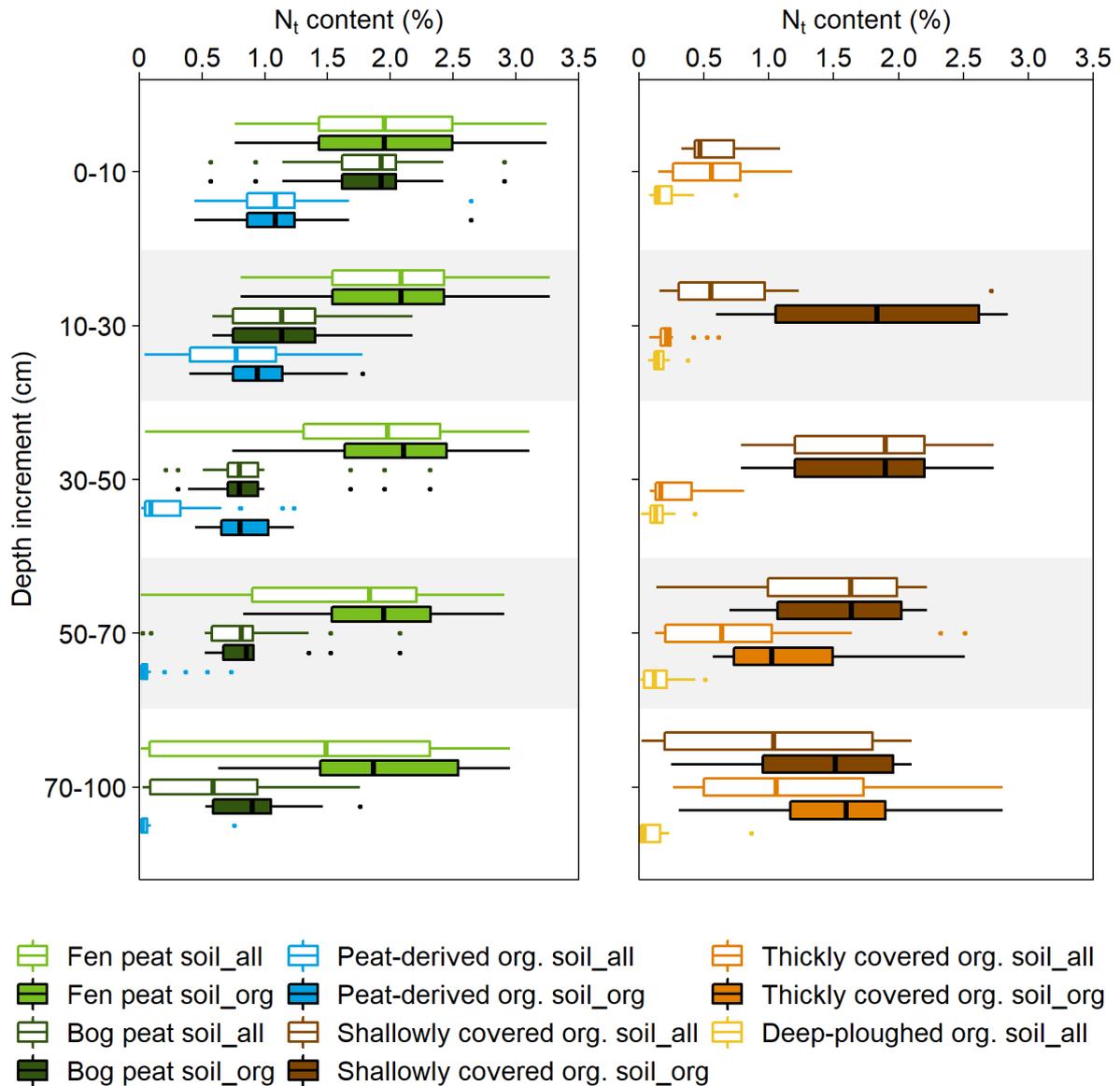


Abbildung 2-5: Gehalt (%) an Gesamtstickstoff (N<sub>t</sub>) der Moorklassen in verschiedenen Tiefenstufen. \*\_all\* umfasst alle Tiefenstufen, während sich \*\_org\* nur auf organische Tiefenstufen (SOC ≥ 8,7 %, markiert durch die gestrichelte Linie in Abbildung 2-4) bezieht. Boxen: Median (fette Linie) und Quartile, Whiskers: 1,5-facher Interquartilsabstand unterhalb des ersten Quartils oder oberhalb des dritten Quartils, Ausreißer (Punkte): ≥ 1,5-facher Interquartilsabstand. Org.: organisch.

Figure 5: Total nitrogen (N<sub>t</sub>) content (%) of peat classes in different depth increments. \*\_all\* comprises all depth increments, while \*\_org\* refers to organic depth increments (SOC ≥ 8.7 %, marked by dashed line in Figure 4) only. Boxes: median (bold line) and quartiles, whiskers: 1.5 times the interquartile range below the first quartile or above the third quartile, outliers (dots): ≥ 1.5 times the interquartile range. Org.: organic.

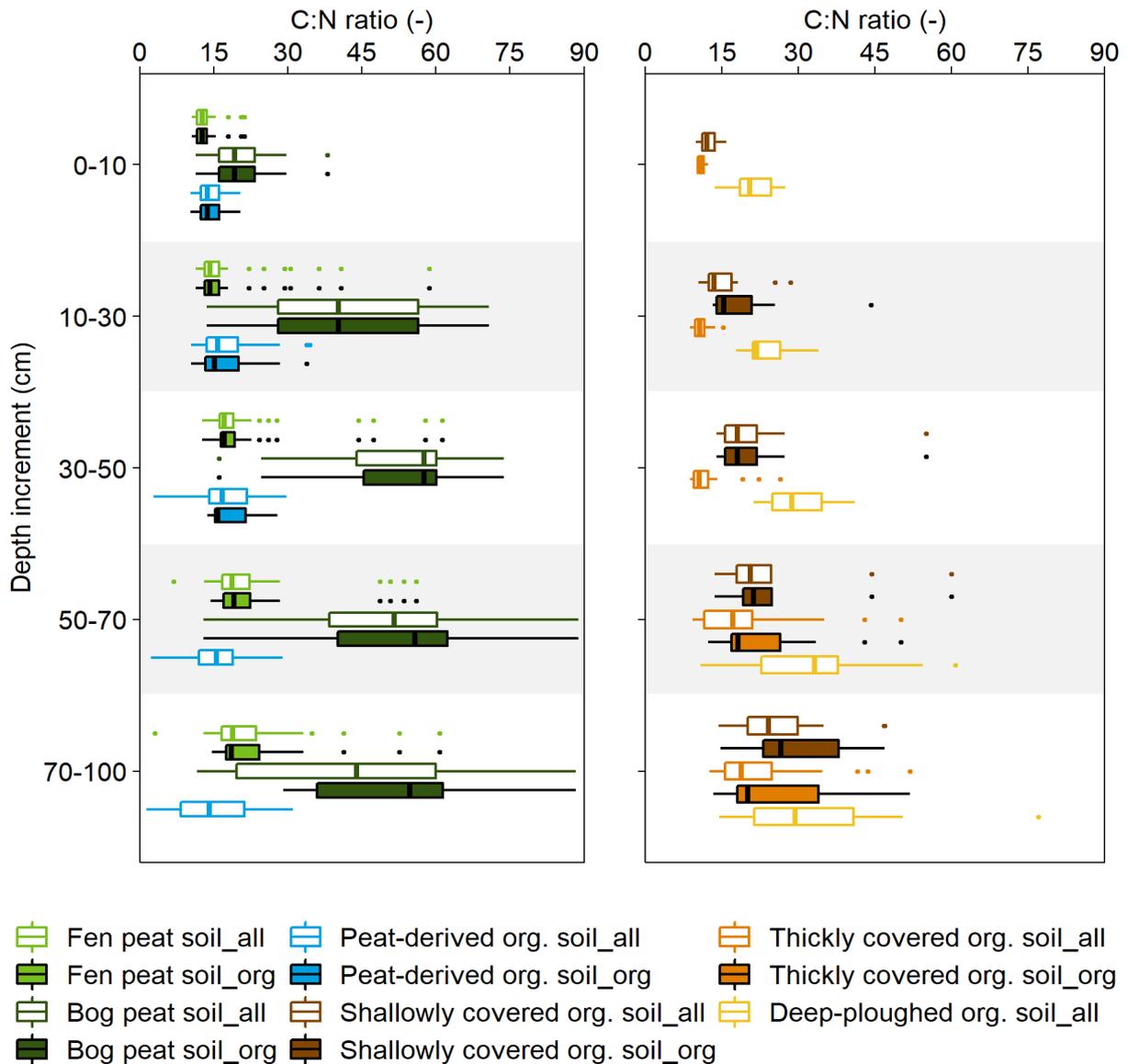


Abbildung 2-6: C/N-Verhältnisse der Moorklassen in verschiedenen Tiefenstufen. \*\_all\* umfasst alle Tiefenstufen, während sich \*\_org\* nur auf organische Tiefenstufen (SOC  $\geq$  8,7 %, markiert durch die gestrichelte Linie in Abbildung 2-4) bezieht. Boxen: Median (fette Linie) und Quartile, Whiskers: 1,5-facher Interquartilsabstand unterhalb des ersten Quartils oder oberhalb des dritten Quartils, Ausreißer (Punkte):  $\geq$  1,5-facher Interquartilsabstand. Org.: organisch.

Figure 6: C:N ratio (-) of peat classes in different depth increments. \*\_all\* comprises all depth increments, while \*\_org\* refers to organic depth increments (SOC  $\geq$  8.7 %, marked by dashed line in Figure 4) only. Boxes: median (bold line) and quartiles, whiskers: 1.5 times the interquartile range below the first quartile or above the third quartile, outliers (dots):  $\geq$  1.5 times the interquartile range. Org.: organic.

### 2.3.2.3 Bulk density and its relationship to soil organic carbon

Fen and bog peat soils show decreasing BD with depth and BD is slightly lower in bog peat soils (Figure 7). In peat-derived organic soils BD is higher than in fen and bog peat soils, even in the organic increments. The BD of covered organic soils decreases with depth, but remains at slightly higher levels than in fen and bog peat soils. In deep-ploughed organic soils, BD does not show a clear pattern of variation with depth; the values are higher than for other classes, but lower than for mineral subsoils of peat-derived organic soils.

Bulk density strongly correlates with the SOC content (Figure 8a, Table 1, Table S3). Considering all organic samples (except samples from deep-ploughed sites), a decrease of BD with increasing SOC content was found, following a logarithmic correlation. There is a clear difference in functions between topsoil samples and subsoil samples over the whole observed range of SOC contents. As the relationship between SOC and BD is well known, the respective pedotransfer functions (PTFs) from other studies are also shown (Figure 8a, Table 1) ZAUFT *et al.* (2010) investigated peatlands in north-eastern Germany and found a logarithmic fit which nearly follows the same line as our function for all samples. TIEMEYER *et al.* (2017) used a logarithmic fit for data on organic samples from several studies with a range of SOC contents similar to that in the present study, and their results resemble our function for topsoils. The two logarithmic functions of SONNEVELD & VAN DEN AKKER 2011 are valid for Dutch grassland topsoils encompassing not only peat (mean SOC content 16 %) but also sandy and clayey soils with higher BD. LIU *et al.* (2019) found a linear relationship for their data for peat soils, which does not fit here. Finally, RUEHLMANN & KÖRSCHENS (2009) calculated PTFs for a wide range of mainly mineral soils and defined an exponential correlation, but even though the appropriate parameters for wetland soils that include peatlands were used here, this function does not match our data.

The correlation of SOC density with SOC content is depicted by a quadratic function (Figure 8b, Table 2, Table S3). At the same SOC content, topsoil samples show higher SOC densities than subsoil samples. Overall, data are scattered and the correlation is not as conclusive as the correlation between SOC content and BD.

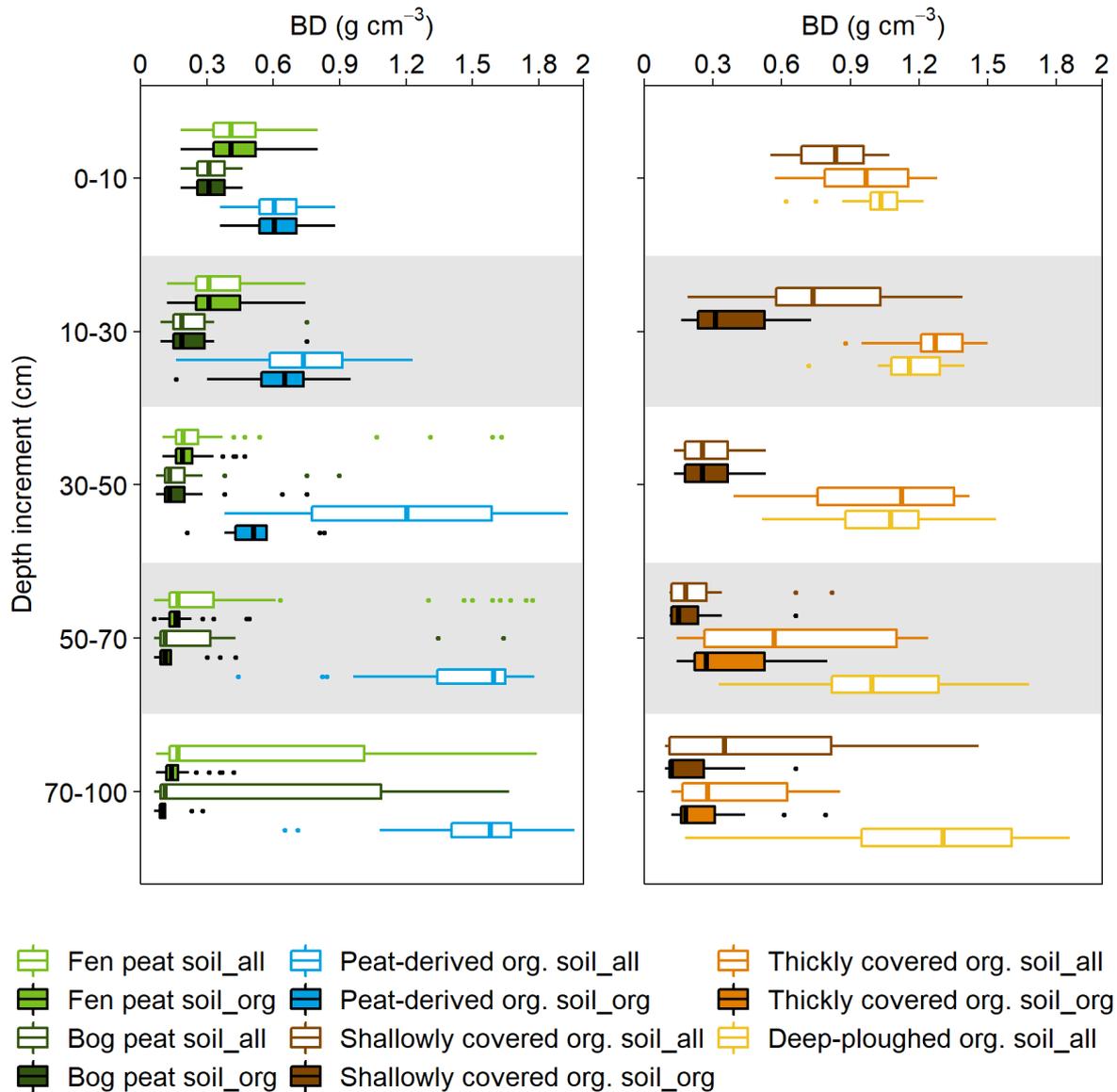


Abbildung 2-7: Trockenrohdichte (bulk density, BD, g cm<sup>-3</sup>) der Moorklassen in verschiedenen Tiefenstufen. \*\_all\* umfasst alle Tiefenstufen, während sich \*\_org\* nur auf organische Tiefenstufen (SOC ≥ 8,7 %, markiert durch die gestrichelte Linie in Abbildung 2-4) bezieht. Boxen: Median (fette Linie) und Quartile, Whiskers: 1,5-facher Interquartilsabstand unterhalb des ersten Quartils oder oberhalb des dritten Quartils, Ausreißer (Punkte): ≥ 1,5-facher Interquartilsabstand. Org.: organisch.

Figure 7: Bulk density (BD, g cm<sup>-3</sup>) of peat classes in different depth increments. \*\_all\* comprises all depth increments, while \*\_org\* refers to organic depth increments (SOC ≥ 8.7 %, marked by dashed line in Figure 4) only. Boxes: median (bold line) and quartiles, whiskers. 1.5 times the interquartile range below the first quartile or above the third quartile, outliers (dots): ≥ 1.5 times the interquartile range. Org.: organic.

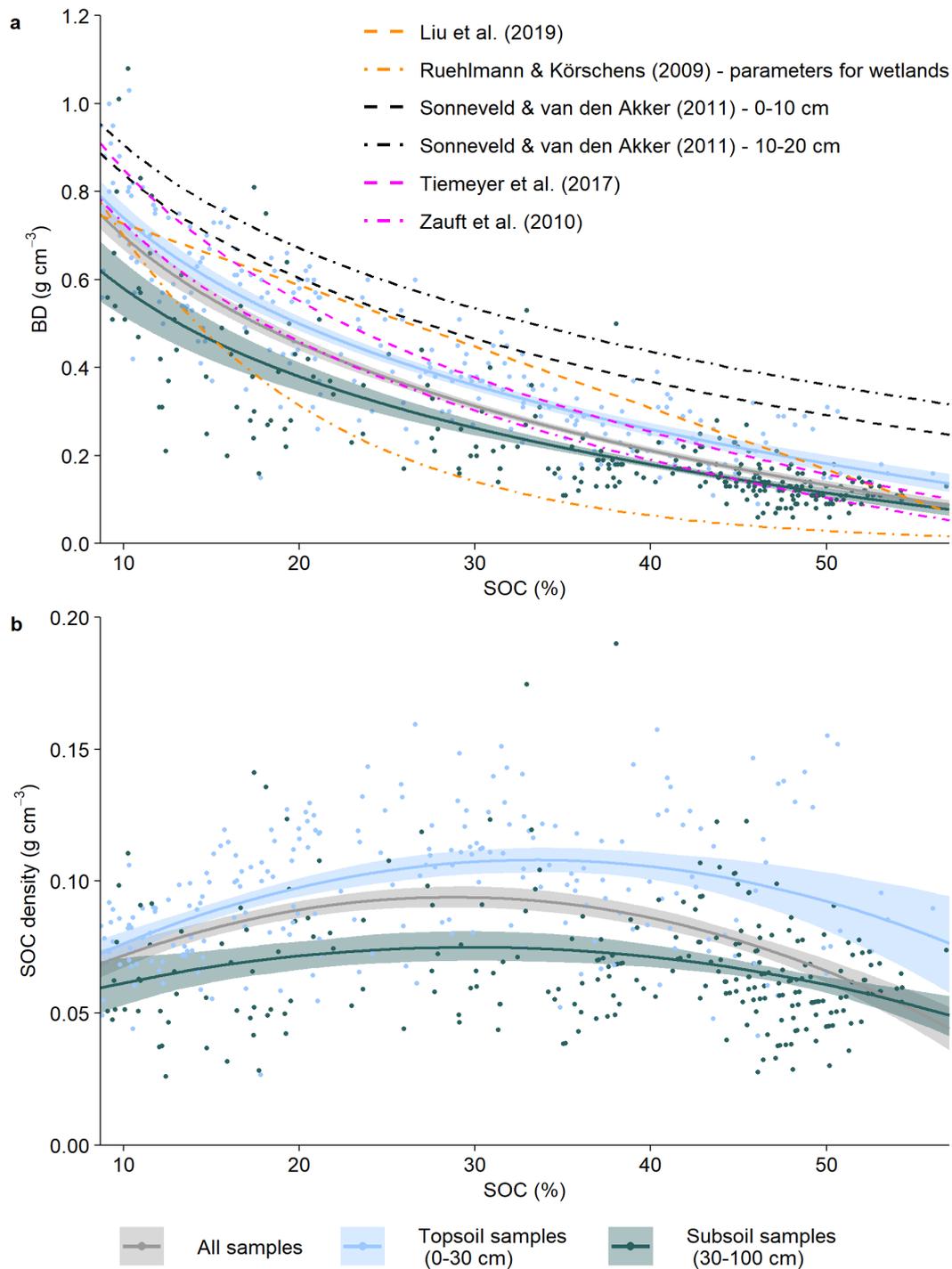


Abbildung 2-8: a) Abhängigkeit von Trockenrohddichte (bulk density, BD) vom Gehalt an organischem Bodenkohlenstoff (soil organic carbon, SOC) mit logarithmischen Fits und ergänzenden Funktionen anderer Studien. b) Abhängigkeit von SOC Dichte vom SOC-Gehalt mit quadratischen Fits für Oberboden (0–30 cm), Unterboden (30–100 cm) und alle Proben (SOC-Gehalt  $\geq 8,7$  %). Bänder stellen die 2,5–97,5 % Perzentile dar.

Figure 8: a) Dependence of bulk density (BD) on soil organic carbon (SOC) content with logarithmic fits and additional functions of other studies, b) dependence of SOC density on SOC content with quadratic fits for topsoil (0–30 cm), subsoil (30–100 cm) and all samples (SOC content  $\geq 8.7$  %). Ribbons depict the 2.5–97.5 % percentiles.

Tabelle 2-1: Parameter der Gleichung 1 ( $BD = -a * \ln(\text{SOC content}) + b$ ) für die Abhängigkeit der Trockenrohdichte (*bulk density*, BD) vom Gehalt an organischem Bodenkohlenstoff (*soil organic carbon*, SOC) einschließlich Literaturwerten, der jeweilige Root Mean Square Error (RMSE) und Anzahl der Proben (n). Für Parameter und RMSE sind der Median und die 2,5-97,5 %-Perzentile angegeben (in Klammern). Unsicherheiten sind für Literaturdaten nicht vollständig verfügbar, SONNEVELD & VAN DEN AKKER (2011), berichten die 95 % Perzentile.

Table 1: Parameters of Equation 1 ( $BD = -a * \ln(\text{SOC content}) + b$ ) for dependence of bulk density (BD) on soil organic carbon (SOC) content including literature values, the respective root mean square error (RMSE) and number of samples (n). For parameters and RMSE, the median and 2.5–97.5 % percentiles (in brackets) are given. Uncertainties are not fully available for literature data; SONNEVELD & VAN DEN AKKER (2011) report the 95 % percentile.

	<i>a</i> (g cm <sup>-3</sup> )	<i>b</i> (g cm <sup>-3</sup> )	RMSE (g cm <sup>-3</sup> )	n
All samples	0.35 (0.33–0.37)	1.51 (1.42–1.58)	0.11 (0.01–0.12)	487
Topsoil samples (0–30 cm)	0.35 (0.32–0.37)	1.54 (1.45–1.63)	0.10 (0.09–0.11)	232
Subsoil samples (30–100 cm)	0.29 (0.25–0.33)	1.24 (1.08–1.40)	0.09 (0.08–0.11)	255
SONNEVELD & VAN DEN AKKER (2011) Dutch peat, sandy and clayey soils, 0–10 cm	0.340 (0.292–0.388)	1.622 (1.524–1.719)	no data	54
SONNEVELD & VAN DEN AKKER (2011) Dutch peat, sandy and clayey soils, 10–20 cm	0.339 (0.301–0.378)	1.687 (1.617–1.757)	no data	54
TIEMEYER <i>et al.</i> (2017) Different peat types and depths, data from different countries	0.43 (no data)	1.84 (no data)	no data	no data
ZAUFT <i>et al.</i> (2010) Fen peat soils from north-east Germany, data for different depths	0.3881 (no data)	1.6219 (no data)	no data	393

Tabelle 2-2: Parameter der Gleichung 2 ( $\text{SOC density} = -c * (\text{SOC content})^2 + d * (\text{SOC content}) + e$ ) für die Abhängigkeit der Dichte des organischen Bodenkohlenstoffs (soil organic carbon, SOC) vom SOC-Gehalt, der jeweilige Root Mean Square Error (RMSE) und Anzahl der Proben (n). Für Parameter und RMSE sind der Median und die 2,5-97,5 %-Perzentile angegeben (in Klammern).

Table 2: Parameters of Equation 2 ( $\text{SOC density} = -c * (\text{SOC content})^2 + d * (\text{SOC content}) + e$ ) for dependence of soil organic carbon (SOC) density on SOC content, the respective root mean square error (RMSE) and number of samples (n). For parameters and RMSE, the median and 2.5–97.5 % percentiles are given (in brackets).

	<i>c</i> (g cm <sup>-3</sup> × 10 <sup>-5</sup> )	<i>d</i> (g cm <sup>-3</sup> × 10 <sup>-3</sup> )	<i>e</i> (g cm <sup>-3</sup> × 10 <sup>-2</sup> )	RMSE (g cm <sup>-3</sup> × 10 <sup>-2</sup> )	n
All samples	6.2 (4.8–7.8)	3.6 (2.7–4.5)	4.2 (3.0–5.4)	2.6 (2.4–2.8)	487
Topsoil samples (0–30 cm)	5.8 (3.6–7.7)	3.9 (2.7–5.0)	4.3 (3.1–5.7)	2.3 (2.1–2.5)	232
Subsoil samples (30–100 cm)	3.5 (1.7–5.5)	2.1 (0.86–3.5)	4.5 (2.5–6.3)	2.2 (1.9–2.5)	255

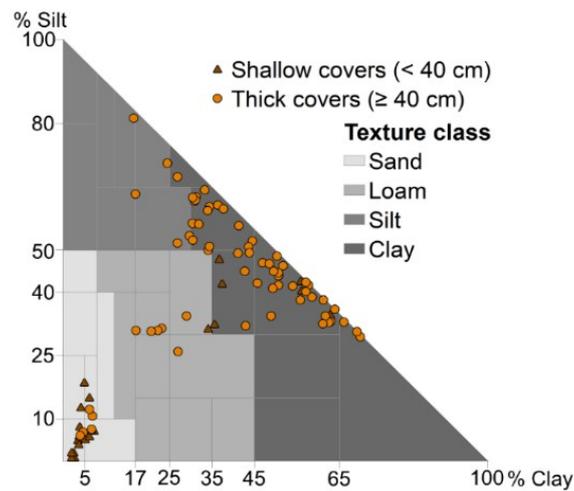


Abbildung 2-9: Bodenarten mineralischer Überdeckungen (flach und mächtig) in den ausgewerteten organischen Böden. Bodenartendreieck nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005).

Figure 9: Texture composition of mineral covers (shallow and thick) in the investigated organic soils. Texture triangle after the German Mapping Guidelines (AD-HOC-AG BODEN 2005).

#### 2.3.2.4 Mineral covers

The textures of the mineral covers on the organic soils are heterogeneous (Figure 9). Shallow covers (thickness < 40 cm) are mainly sandy, while most of the thick covers are silty or loamy. Considering samples from covers only (instead of depth increments as in Figure 4), the mean SOC content in shallow covers is slightly higher ( $6.6 \pm 3.6\%$ ) than in thick covers ( $4.0 \pm 3.1\%$ , Table S4). Although mean BD is slightly lower in shallow covers than in thick covers, SOC density in shallow covers is  $0.05 \pm 0.02 \text{ g cm}^{-3}$ , while in thick covers it is  $0.04 \pm 0.02 \text{ g cm}^{-3}$  (Table S4).

## 2.4 Discussion

### 2.4.1 German peat and other organic soils under agricultural use: disturbance beyond drainage

The results of the first German Agricultural Soil Inventory show that only 47 % of peat and other organic soils under agricultural use could be classified as 'typical' fen or bog peat soils. The remainder are either shallow or low in SOC (< 17.4 %) (22 %), covered with mineral soil (19 %) or deep-ploughed (12 %). While an extrapolation of these percentages to all German peatlands would be inappropriate and some of the covers might be of natural origin, these values nonetheless indicate a dramatic loss of soils with 'typical' fen or bog peat horizonation. This finding is supported by FELL *et al.* (2015), who calculated a decrease in peatland area of

about 40 % in the federal state of Brandenburg between the start of the 20<sup>th</sup> century and the year 2013. As ROßKOPF *et al.* (2015) estimated a share of only 18 % of 'non-peat organic soils', the results of the present study are surprising. However, there are several issues that limit comparability with their study. First, there is a difference in classification because it was not possible for them to evaluate covered peatlands in all federal states, so they describe fen, bog and non-peat organic soils only. Furthermore, it should be noted that data availability and quality differ between the federal states. Nevertheless, ROßKOPF *et al.* (2015) provide the key reference in terms of the extent and properties of organic soils at national scale.

Generally, another issue is that the data included in meta-studies often come from project sites (e.g. BECHTOLD *et al.* 2014; LIU *et al.* 2019), which are frequently typical or well-preserved sites. This might also influence scientists' perception of the status of organic soils in general. Thus, we believe that the grid sampling approach avoided a bias towards sites presumed 'typical', and that the high number of nontypical organic soils is indeed relevant.

Despite being disturbed, peat and other organic soils under agricultural use still store on average  $529 \pm 201 \text{ t ha}^{-1}$  of SOC and  $29.3 \pm 13.9 \text{ t ha}^{-1}$  of  $\text{N}_t$ , considering the upper metre only. To quantify complete stocks, such soils need to be sampled down to the peat base. Even the two classes with the lowest SOC stocks, the peat-derived and deep-ploughed organic soils, store at least twice as much SOC ( $343 \pm 118$  and  $332 \pm 112 \text{ t ha}^{-1}$ ) as typical mineral soils under agricultural use, for which the German Agricultural Soil Inventory found average SOC stocks of  $96 \pm 48 \text{ t ha}^{-1}$  and  $135 \pm 70 \text{ t ha}^{-1}$  under cropland and grassland respectively (POEPLAU *et al.* 2020). Thus, peat-derived, covered and deep-ploughed organic soils, which might be classified as mineral soils depending on the classification system, also need to be considered in terms of emissions reporting and GHG mitigation efforts.

#### **2.4.2 The well-known and the hidden: properties of different classes of peat and other organic soils**

In *fen and bog peat soils*, the well-known 'typical' organic soils, the SOC contents follow a characteristic, increasing trend with depth, as observed by ZAUFT *et al.* (2010). As was also found by ROßKOPF *et al.* (2015), SOC content is generally lower and BD higher in fen peat than in bog peat soils. This can be explained by differences in vegetation and development conditions, e.g. the addition of mineral material during peatland development (e.g. occasional flooding). Furthermore, statistical analysis of > 1000 dipwells showed that some fen peatland types tend to be drier than bog peatlands BECHTOLD *et al.* (2014), which might cause stronger degradation and thus higher BD and lower SOC contents in fen peat soils. With a few exceptions, the BD even of most subsoils is higher than in natural peatlands (about  $0.1 \text{ g cm}^{-3}$ , LOISEL *et al.* 2014).

ROßKOPF *et al.* (2015) estimated SOC stocks for different peatland types in Germany. Their values for the upper metre in fens (669 t ha<sup>-1</sup>, area-weighted mean of all fen types under arable and grassland use) and bogs (693 t ha<sup>-1</sup>, area-weighted mean of both bog types under arable and grassland use) exceed our results of 665 and 628 t ha<sup>-1</sup>. This discrepancy might be due to the inclusion of non-agricultural sites and older data (i.e. sites will have lost C since sampling) in their derivation of idealised profiles, and the relatively small number of sites in our dataset. In addition, samples from bog peat are underrepresented in ROßKOPF *et al.* (2015) and did not reflect the distribution of bogs across the whole of Germany.

Both N<sub>t</sub> contents and C:N ratios show an enrichment of N in the topsoil, which is especially evident for bog peat soils (Figure 5 and Figure 6). The low C:N ratios of fen peat soils are typical for drained sites (MÜLLER *et al.* 2007), while there are limited data for drained bog peat soils beyond single-site studies. However, even in deeper horizons, the C:N ratios of drained bog peat soils are lower than in natural sites (81 ± 49.2 for Sphagnum peat, LOISEL *et al.* (2014). While the relevance of peat and other organic soils as SOC pools is well known, their importance for the N cycle is less acknowledged. Fen peat and covered organic soils in particular store large amounts of N<sub>t</sub> (Figure 3b). Although carbon in particular is lost following drainage-induced mineralisation (OKRUSZKO 1993), N<sub>t</sub> is also mineralised and might be leached into surface waters (TIEMEYER & KAHLE 2014) or transformed into N<sub>2</sub>O (LEPPELT *et al.* 2014). Overall, the present dataset is the first comprehensive dataset on N<sub>t</sub> contents and stocks as well as on C:N ratios of agriculturally used peat and other organic soils (Table S2). Thus, the results offer a first step towards regionalisation and parameterisation of GHG models or simple transfer functions, for which N<sub>t</sub> stocks and C:N ratios have been shown to be of major importance (TIEMEYER *et al.* 2016; LEIFELD 2018).

*Peat-derived organic soils* reflect the transitory state of peat soils caused by advanced degradation processes. In addition, there are sites where remaining peat has been mixed with the underlying mineral soil e.g. after peat extraction (LEIBER-SAUHEITL *et al.* 2014). According to their C:N ratios (14–16 in the organic increments; Figure 6) the sites in the present dataset are, however, fairly comparable with fen peat soils. The high BD resulted in high SOC and N<sub>t</sub> stocks in the upper metre (343 ± 187 and 22.8 ± 12.7 t ha<sup>-1</sup>, Figure 3). These might previously have been under-estimated - ROßKOPF *et al.* (2015) indicate only about one-third of our value for SOC stock (123 t ha<sup>-1</sup>, area-weighted mean of both types of 'non-peat organic soils' under arable and grassland use). Besides classification issues, another reason for this might be their assumption of zero SOC stocks below a depth of 30 cm. In addition to the high stocks, such sites usually have low groundwater levels (BECHTOLD *et al.* 2014; TIEMEYER *et al.* 2016) which, in combination with the high stocks, may be a reason for high CO<sub>2</sub> emissions in the same range as 'typical' peat soils (LEIBER-SAUHEITL *et al.* 2014; EICKENSCHIEDT *et al.* 2015). If drainage-

based agriculture continues, such organic soils are likely to maintain or increase these emission levels in future.

Another relevant proportion comprises *covered organic soils*. Shallow covers are mainly sandy (Figure 9), which points to an aeolian or anthropogenic origin. However, there are also cases of either alluvial or anthropogenic addition of loamy or clayey material ('Spittkultur'). In contrast, most of the thick covers are silty or loamy, which might indicate tidal or riverine deposition. Those sites are located in coastal regions, where they make up a considerable proportion of organic soils (SCHULZ & WALDECK 2015; LLUR 2016). SOC and N<sub>t</sub> stocks in the upper metre are comparable with fen peat soils but might be overlooked, as sites with a thick cover could be classified as mineral soils. A general similarity between covered organic soils and fen peat soils in the present dataset was expected as the subsoils mainly comprise fen peat (92 %). These high "hidden" stocks are vulnerable to degradation as it is not yet clear whether there are conditions under which mineral soil covers protect the underlying peat. ZAIDELMAN & SHVAROV (2000) identified increased biochemical depletion of peat beneath sand covers, while HÖPER (2015) found that a covered site under grassland had lower CO<sub>2</sub> emissions than a corresponding site without cover, but no differences under cropland. In a laboratory study comparing degraded topsoils with organo-mineral covers (SOC contents between 4.9 and 21.4 %), (SÄURICH, et al. 2019a) found no differences in specific CO<sub>2</sub> fluxes of the two types of topsoil, indicating a low stability of SOM even in the covers themselves. As in SÄURICH et al. (2019a), the relatively high SOC contents especially in shallow covers (6.6 ± 3.6 %) in the present study point to frequent ploughing of peat into the covers. There is an absence of field studies on GHG emissions from thickly covered organic soils, but while the peat itself is being subjected to drainage, there is little reason to assume protection from mineralisation.

Originating from a special cultivation technique, *deep-ploughed organic soils* are a regional phenomenon mainly in the north-west of Germany, but nevertheless account for 12 % of all sites in this study. It is assumed that the study sites, which are all located in the federal state of Lower Saxony with one exception in North Rhine-Westphalia, were formerly bogs due to the high C:N ratios and the general land use history of the region. Deep ploughing was intended to provide an enhancement in terms of agricultural use and the conservation of peat in the subsoil (KUNTZE 1987; GÖTTLICH 1990; BAMBALOV 1999). Actual measurements of long-term SOC dynamics are rare, however, and restricted to topsoils, for which (HÖPER 2015) estimated a SOC loss of 1.8 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. Some studies on deep-ploughed mineral soils (ALCÁNTARA et al. 2016; SCHIEDUNG et al. 2019) found that deep ploughing leads to higher SOC stability of the buried former topsoils and generally higher SOC stocks. However, the stabilisation mechanism from mineral soils may not be transferred to (former) peat soils. Therefore, while there is a lack of actual data on the SOC dynamics of deep-ploughed organic soils, they should be treated like other degraded d former peat soils due to precautionary principles and because of their high

SOC stocks. In this study, the SOC stocks of deep-ploughed organic soils are similar to those of peat-derived organic soils, which have been shown to emit large quantities of CO<sub>2</sub> (LEIBER-SAUHEITL *et al.* 2014; TIEMEYER *et al.* 2016). However, the stock estimates presented here are likely to be highly uncertain as they are based on only eight (SOC, BD) or even four (N<sub>t</sub>) soil cores, which is well below the number of 20 cores used in the study on deep-ploughed mineral soils by ALCÁNTARA *et al.* (2016).

### 2.4.3 SOC density matters

When data on BD are absent, PTFs relying on SOC content are useful for calculating BD or SOC stocks. As in previous studies (ZAUFT *et al.* 2010; SONNEVELD & VAN DEN AKKER 2011; TIEMEYER *et al.* 2017), we found a negative logarithmic relationship between SOC content and BD (Figure 8a). For the drained peat and other organic soils studied here, the data could not be described by the exponential function of RUEHLMANN & KÖRSCHENS (2009) or the linear function of LIU *et al.* (2019). As a result of drainage, the BD of managed peat and other organic soils increases due to physical and biological processes, but only the latter influences SOC content (ILNICKI & ZEITZ 2003). There are clear differences between topsoils and subsoils (Table 1), with topsoil showing higher BD at the same SOC content due to greater compaction. In future, more data on moisture (CHAPMAN *et al.* 2017) or pedogenetic features, for example, are needed to enhance the ability of PTFs to parameterise specific horizons also with additional properties (e.g. N<sub>t</sub>).

Furthermore, a quadratic relationship was found between SOC content and SOC density (Figure 8b). Due to the relationship between BD and SOC content discussed above, the SOC density of topsoils is also higher than that of subsoils at the same SOC content. Overall, organic soils with low SOC contents show SOC densities similar to natural peat soils, with SOC contents of around 50 %. These results have important implications. The line between peat and mineral soils is frequently drawn at 12–18 % SOC (FAO 1998; AD-HOC-AG BODEN 2005). However, the high SOC densities of heavily degraded sites below this limit show that these soils are prone to mineralisation when drained (which is usually the case, see the discussion above on peat-derived organic soils). Indeed, SÄURICH *et al.* (2019b) demonstrated that soils with SOC contents at the boundary between mineral and organic soils show high and variable basal respiration rates. There is no indication that respiration decreases with decreasing SOC content, but instead specific respiration rates may increase with degradation. In terms of the CO<sub>2</sub> emission potentials of organic soils, SOC content is not an appropriate variable and the distinction between “peat” and “other organic soils” seems superfluous in this context. Therefore, SOC (and N<sub>t</sub>) densities (or stocks) should be used when upscaling CO<sub>2</sub> emissions or when developing mitigation measures.

#### **2.4.4 Towards fully parameterised profiles of peat and other organic soils**

We developed a simplified classification scheme that is applicable for drained and disturbed peat and other organic soils. The classification is based on basic soil properties (i.e. SOC content, thickness of the organic layers, peat type, or anthropogenic measures), which require only basic knowledge about peatland genesis. This is helpful in order to homogenise rather heterogeneous soil data. However, besides the limited number of sites in this study, several issues need to be highlighted in order to be able to progress towards fully parameterised profiles and eventually to maps of peat and other organic soils. These issues are discussed below.

##### **2.4.4.1 Conversion factor and boundary between mineral and organic soils**

One uncertainty is the conversion factor between SOC and SOM content. Here, the factor 1.72 was used for peat instead of 2.00 (AD-HOC-AG BODEN 2005), but the German Manual is not clear on how to deal with substrates at the boundary between mineral and organic substrate. Depending on peat substrates, the conversion factor may vary between 1.73 and 2.41 (KLINGENFUß *et al.* 2014). PRIBYL (2010) has shown that, for soils in general, a factor of 1.9 or 2.0 would be more accurate. Apart from this rather technical question, the real challenge lies in defining an appropriate classificatory boundary between organic and mineral soils. As highlighted above, SOC content is not necessarily suitable for all purposes. Therefore, further work should focus on identifying (former) peatland sites where the organic matter is mainly derived from peat and thus is not stabilised in the same way as in mineral soils. Such work would comprise both experimental work and analyses of land cover and land use history.

##### **2.4.4.2 Refinement according to pedogenetic processes and peatland genesis**

In a first step, peat-derived, covered or deep-ploughed organic soils might be differentiated by peat substrate or, in the case of covers, by texture. A further distinction according to a profile development in terms of pedogenetic features (e.g. earthification, formation of aggregates or moorsh) has not yet been included as this was considered to be of minor importance - at least compared with strong changes in horizonation - for the soil properties evaluated here. However, especially when aiming at adding soil-hydrological properties to the parameterisation, a differentiation by horizons will become necessary since pedogenetic features of this kind do not only influence bulk density (as approximated by topsoil and subsoil here), but hydraulic conductivity, water retention characteristics and hydrophobicity as well (SCHWÄRZEL *et al.* 2002; WALLOR *et al.* 2018). Peatland genesis results in a distinct combination of horizons and peat substrates with specific properties (OKRUSZKO 1993; ROßKOPF *et al.* 2015). Thus, for example, hydrogenetic mire types have been shown to affect typical peat thickness and hence total SOC storage (ZAUFT *et al.* 2010; ROßKOPF *et al.* 2015), and to be valuable for the regionalisation of groundwater levels (BECHTOLD *et al.* 2014). Therefore, an

ideal classification for peat and other organic soils should combine pedogenetic and anthropogenic features with peatland genesis.

#### **2.4.4.3 Adding missing types of peat and other organic soils**

Due to the limited number of sampling sites, it was not possible to include rarer types of organic soils, such as organic marshes or organic gyttja soils. The latter develop when (nearly) all peat has been mineralised and former sediment forms the upper part of the profile (CHMIELESKI & ZEITZ 2006). Furthermore, no near-natural peatlands have yet been considered because they are rare in Germany and have not been examined in the Agricultural Soil Inventory. Finally, successfully rewetted peatlands develop distinct soil profiles with either fresh organic sediment or even newly-formed peat on top of a degraded peat profile. If climate mitigation efforts accelerate rewetting, it is hoped that such soils will become more common in the future.

#### ***Acknowledgements***

This study was funded by the German Federal Ministry of Food and Agriculture within the framework of the German Agricultural Soil Inventory. We gratefully acknowledge the field and laboratory teams of the German Agricultural Soil Inventory coordinated by Roland Prietz, Arne Heidkamp and Anna Jacobs; and the work of Rayk Hopfstock on database management. We also thank Tina Asmuß, Stefan Frank, Sebastian Heller, Wiltrut Koppensteiner, Jan Oestmann, Laura Panitz, Arndt Piayda, Christopher Poeplau and Liv Sokolowsky for valuable discussions on previous versions of this manuscript; and Sabine Jordan as Article Editor and the anonymous reviewers for their helpful comments.

### 3 Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland

WITTNEBEL, M., FRANK, S. & TIEMEYER, B. (2023a): Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. Braunschweig. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 78 p, Thünen Working Paper 212. <https://doi.org/10.3220/WP1683180852000>

#### 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 OpenAgrar (<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

## 3.1 Einleitung

### 3.1.1 Organische Böden in der Emissionsberichterstattung

#### 3.1.1.1 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 (MEIER-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 (CO<sub>2</sub>) 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 (CH<sub>4</sub>) (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 CO<sub>2</sub> und insbesondere an gedüngten Standorten auch das sehr starke Treibhausgas Lachgas (N<sub>2</sub>O) (LEPPELT et al. 2014; TIEMEYER et al. 2020, EVANS et al. 2021b)

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; IPCC 2014). Auf nationaler Ebene werden diese nach eigenen Grundlagen angepasst und präzisiert. Für THG-Emissionen aus organischen Böden (Definition siehe Kapitel 3.1.1.2) 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<sup>®</sup> 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O-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 CO<sub>2</sub>-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.

### 3.1.1.2 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 weiterer 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 ( $\geq 30$  Masse-% organische Bodensubstanz, OBS) von  $\geq 30$  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](http://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<sub>2</sub>-Emissionen wie an typischen Moorstandorten zu rechnen ist. Dies zeigte sich in der Gesamtschau aller Daten, aber auch in einzelnen Moorgebieten 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.* 2019a). Ähnliche Ergebnisse wurden für finnische bzw. niederländische Standorte mit abmoorigen Oberböden über Torfen berichtet (MALJANEN *et al.* 2004; SCHRIER-UIJL *et al.* 2014). Daneben sind unter den Überdeckungen hohe Vorräte an C<sub>org</sub> zu finden (WITTNEBEL *et al.* 2021), die bei entsprechender Entwässerungstiefe vulnerabel sind. Einzelne Untersuchungen zeigen jedoch geringere CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-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.

**Trepsole** sind Tiefumbruchböden aus Hoch- und Niedermoortorfen. 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 Wechschichtung gebracht (GÖTTLICH 1990; SCHINDLER & MÜLLER 2001) (Abbildung 3-1). 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 potenziell vulnerabel (WITTNEBEL et al. 2021) und deutlich höher als die der Mineralböden aus der gleichen Erhebung (POEPLAU et al. 2020) sind. Daher müssen sowohl diese tiefumgebrochenen in der verwendeten Karte identifizierbar sein, um perspektivisch passende Emissionsfaktoren zuweisen zu können.



Abbildung 3-1: Beispiele von Tiefumbruchböden aus Hochmoortorf (links) bzw. Niedermoortorf (rechts). Quelle: Thünen-Institut

In der Neuauflage der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA6) werden voraussichtlich **Muddemoore** enthalten sein (ROßKOPF & 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.* 1997; 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 *et al.* 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

### 3.1.2 Deutschlandweite Kartenwerke zu (organischen) Böden

Im Verbundprojekt „Organische Böden“ ([www.organische-boeden.de](http://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 nahekamen (Definition vgl. Kapitel 3.1.1.2). 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 3.1.1.2 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 3.1.1.2 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 Umriss 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 3.2.1) notwendig, um eine Kulisse mit bestmöglicher Qualität bezüglich Auflösung und Inhalt zu erstellen. Diese Daten sind sehr heterogen (Tabelle 3-1, Tabelle 3-2, Tabelle 3-3), was eine Harmonisierung und Aggregation

der Inhalte der Legendeneinheiten notwendig macht (Details in Kapitel 3.2.2 und in Appendix B).

### 3.1.3 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. 2023b), <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

## 3.2 Harmonisierung der Bodendaten

### 3.2.1 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 *et al.* 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, Weinbaugebiete, 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 Nassstandorte (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). 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 aufgenommenen 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 3-1).

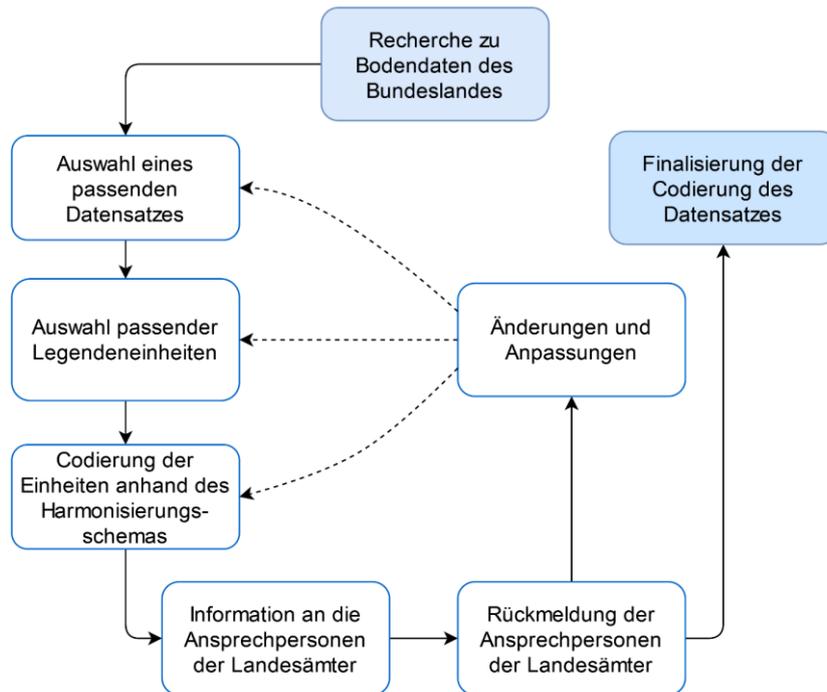


Abbildung 3-2: Iterationsprozess der Beschaffung und Harmonisierung von Bodendaten zur Verwendung für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. Quelle: Thünen-Institut

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 3-2). 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 3.2.2) erfolgte in enger Abstimmung und i.d.R. in mehreren Rückmeldungsschleifen mit den jeweiligen Ansprechpersonen der Landesämter (Abbildung 3-2). So wurde für jedes Bundesland und jeden Datensatz eine bestmögliche Darstellung der Moor- und weiteren organischen Böden in der aktualisierten Kulisse sichergestellt (Tabelle 3-1), 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>, Appendix B).

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 3-1). 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 Verlusten 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 3-1). 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 3-1). 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 3.2.2, Tabelle 3-2, Tabelle 3-3). 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 3-1), 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 3-1: 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 <sup>2</sup>	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)

BL	Datensatz	Stand	Maßstabs- äquivalent	Mindest- flächen- größe	Gewässer- flächen enthalten	Infrastruktur- elemente enthalten	Bezugs- behörde	Grunddaten & Alter
BY	Moorbodenkarte Bayern 1:25.000 (MBK25); Selektion aus der Übersichtsboden- karte 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), Bodenschätzungsübersichtskarte 1:25.000 (aufbereitete Karten, ca. 1950-1980), FSK (unveröffentlicht, keine Altersangabe)
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 Siedlungs- kerne	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)

BL	Datensatz	Stand	Maßstabs- äquivalent	Mindest- flächen- größe	Gewässer- flächen enthalten	Infrastruktur- elemente enthalten	Bezugs- behörde	Grunddaten & Alter
HH	Moorkartierung; Moorboden- oberfläche 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
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)

BL	Datensatz	Stand	Maßstabs- äquivalent	Mindest- flächen- größe	Gewässer- flächen enthalten	Infrastruktur- elemente enthalten	Bezugs- behörde	Grunddaten & Alter
SH	Entwurf zur Boden- karte 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	Bodenübersichts- karte 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 Nass- standorte (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 boden- kundliche 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	Thüringen Forst 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

### 3.2.2 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 3-1), sondern auch in Aufbau und Anzahl der Legendeneinheiten äußerst heterogen (Tabelle 3-2). 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 3-2). 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.* 2021b) und bilden somit derzeit die Grundlage für die Berechnung der CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-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. Niedermoorogenese, 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 diene 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 nasserem Bedingungen) sind die THG-Emissionen dieser Standorte noch unklar (Kapitel 3.1.1.2), 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 Trockenrohdichte 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.* (2021b) 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 Trockenrohdichten als auch Stoffgehalte beeinflussen. Hochmoorböden haben generell weitere C:N-Verhältnisse als Niedermoorböden (WITTNEBEL *et al.* 2021) und bei gleichen Torfmächtigkeiten und Trockenrohdichten 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 3.1.1.2), müssen verschiedene Mächtigtkeitsstufen 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 Wasserstandsanhhebung 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 3.2.2.1 bis 3.2.2.7). Alle Flächen lassen sich so durch die jeweils eindeutigen Kürzel der Merkmalsausprägungen beschreiben und durch Kombination aller Merkmale können generalisierte Profilaufbauten abgeleitet werden (Kapitel 3.2.2.8).

Der Großteil der Länderdatensätze enthält Informationen zu allen Merkmalsausprägungen. Einige Angaben oder die Informationen sind jedoch uneindeutig oder fehlen (Tabelle 3-3). 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 3-3). 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.* 2023b) für die einzelnen Bundesländer im Detail beschrieben und wurde iterativ mit den zuständigen Behörden der Bundesländer abgestimmt (Abbildung 3-2). 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 3-2: 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 Punktinformationen; 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); Flächendaten 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

BL	Datensatz	Anzahl Legendeneinheiten	Aufbau Legendeneinheiten	Maximale Betrachtungstiefe
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
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

BL	Datensatz	Anzahl Legendeneinheiten	Aufbau Legendeneinheiten	Maximale Betrachtungstiefe
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 Standortskartierung

Tabelle 3-3: 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	Unter- lagerndes 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 Aufnahmepunkt e	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 <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>	ja, inkl. Substrat	nein	ja <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>
BY	BS	nein	nein	ja, nur Substrat	nein	nein <sup>2</sup>	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 <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>

BL	Datensatz	Genese	Mudde- böden	Mineralische Überdeckungen	Torfmächtig- keit	Abmoorig- keit	Tiefumbruch- böden	Unterlagernde Mudden	Unter- lagerndes min. Substrat
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 <sup>1</sup>	ja, inkl. Substrat	nein	ja <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>
NI	BK50	ja	ja	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	ja	ja	ja
NW	BK50	ja <sup>1</sup>	nein <sup>1</sup>	ja, Mächtigkeit und Substrat <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>	ja, inkl. Substrat <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>
RP	BFD50	ja <sup>1</sup>	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>	ja, inkl. Substrat <sup>1</sup>	nein	ja <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>
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 <sup>2</sup>	nein	nein	ja, zum Teil
ST	VBK50	ja	nein	ja, Mächtigkeit und Substrat	ja	ja, inkl. Substrat	nein	ja	ja

BL	Datensatz	Genese	Mudde- böden	Mineralische Überdeckungen	Torfmächtig- keit	Abmoorig- keit	Tiefumbruch- böden	Unterlagernde Mudden	Unter- lagerndes min. Substrat
TH	BGKK100	ja <sup>1</sup>	nein	ja, ohne Mächtigkeit und Substrat <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>	ja, inkl. Substrat <sup>1</sup>	nein	ja <sup>1</sup>	ja <sup>1</sup>
TH	FSK	ja	nein	nein	ja <sup>1</sup>	ja, inkl. Substrat <sup>1</sup>	nein	nein	ja

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

<sup>2</sup>: 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

### 3.2.2.1 Merkmal 1: Genese

Das Merkmal **Genese** gibt das dominierende Torfsubstrat der Legendeneinheit und damit einen stark vereinfachten Hinweis auf die Moorgenese wieder. In Abbildung 3-3 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 3.2.2.4) charakterisiert und werden nicht durch das Merkmal Genese wiedergespiegelt, 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.

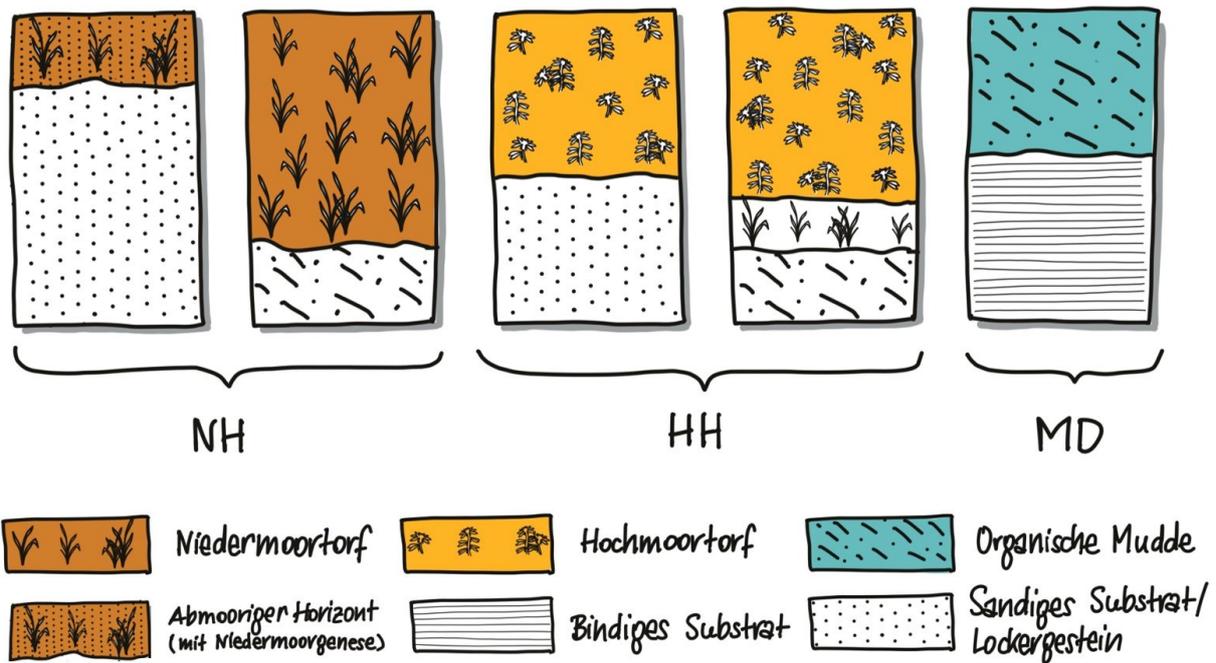


Abbildung 3-3: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Genesen (NH: Niedermoortorf, HH: Hochmoortorf, MD: organische Muddede). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant. Quelle: Thünen-Institut

In einigen Länderdatensätzen treten in geringem Flächenanteil Muddeböden 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 3.2.2.6).

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 Muddede (nur wenn einziges organisches Substrat im Profil)

### 3.2.2.2 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 3-4). 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 3.1.1.2), 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 3.2.2.5) 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 3.2.2.4) erfasst.

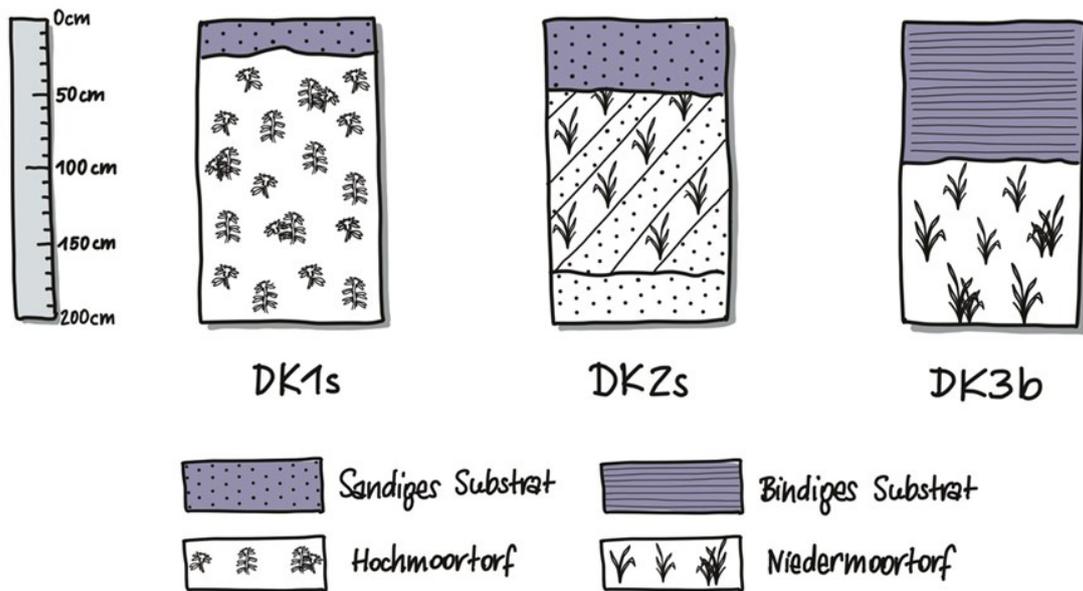


Abbildung 3-4: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen mineralischen Überdeckungen (DK1s: sandige Decke 10 bis < 30 cm, DK2s: sandige Decke 30 bis < 70 cm, DK3b: bindige Decke 70 bis < 100 cm). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant. Quelle: Thünen-Institut

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 (lehmige, 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.

### 3.2.2.3 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 3.2.2.2), abmoorige Horizonte (Kapitel 3.2.2.4) oder unterlagernde Mudden (Kapitel 3.2.2.6) wurden nicht miteinbezogen (Abbildung 3-5), 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 3-2). 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 3-2, Tabelle 3-3), 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:  $\geq 200$  cm (extrem mächtig)
- TMX: Torfmächtigkeit unbekannt

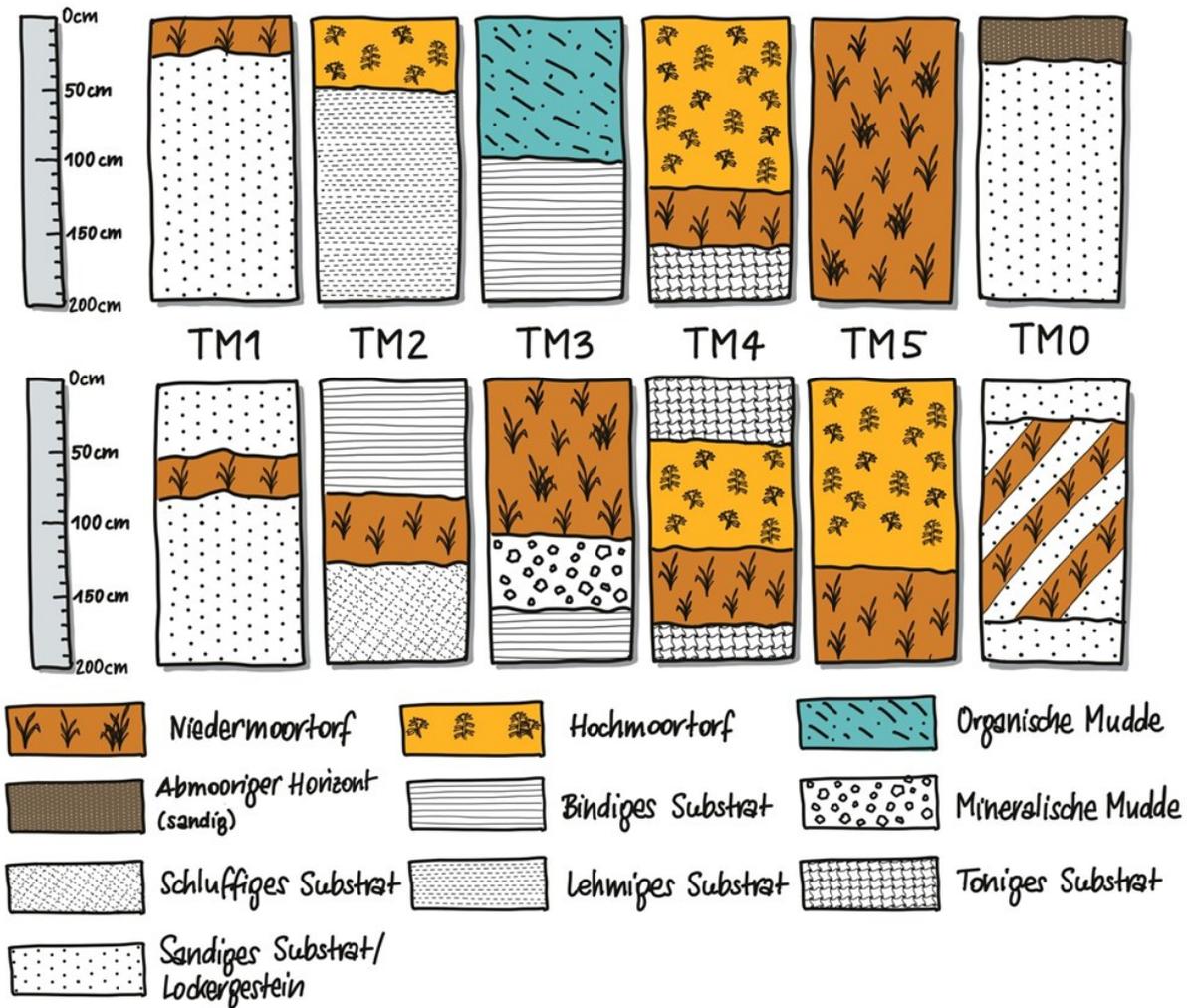


Abbildung 3-5: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Torfmächtigkeiten (TM1: 10 bis < 30 cm, TM2: 30 bis < 70 cm, TM3: 70 bis < 120 cm, TM4: 120 bis < 200 cm, TM5:  $\geq 200$  cm, TM0: keine Torf- oder organische Muddeschicht vorhanden). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant. Quelle: Thünen-Institut

### 3.2.2.4 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 3-6). Sofern die ursprüngliche Torfart oder die genetischen Bedingungen bekannt waren, wurde diese als Genese (Kapitel 3.2.2.1) 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 (lehmige, tonige, schluffige und reine Sande)
- Bindig: alle anderen Bodenarten

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

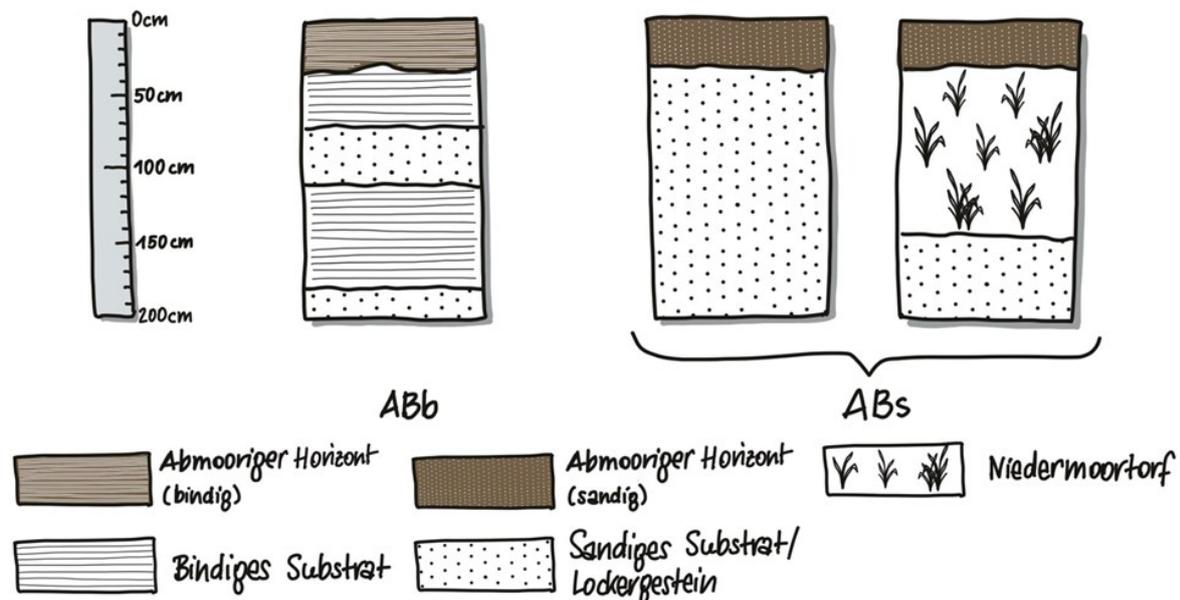


Abbildung 3-6: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlicher Abmoorigkeit (ABb: abmooriger Horizont mit bindigem Substrat, ABs: abmooriger Horizont mit sandigem Substrat). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant.  
Quelle: Thünen-Institut

**3.2.2.5 Merkmal 5: Tiefumbruch**

Mit dem Merkmal **Tiefumbruch** werden alle Arten der komplett profilverändernden Maßnahmen an Hoch- und Niedermoorstandorten gekennzeichnet (Abbildung 3-7). In den Kartenwerken wurden überwiegend klassische Tiefumbrüche (Sandmischkulturen, Tiefpflug-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 3.2.2.2).

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

- TR0: kein Tiefumbruch vorhanden
- TR1: Tiefumbruch vorhanden

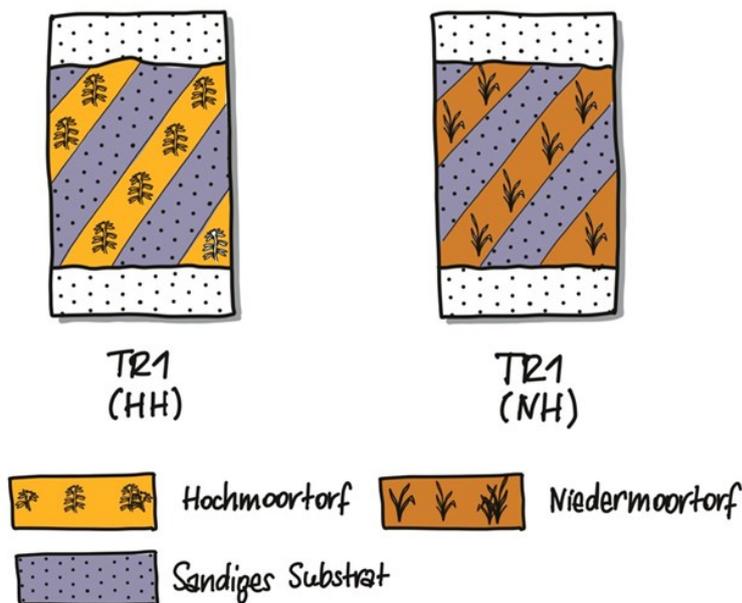


Abbildung 3-7: Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit Tiefumbruch (TR1: Tiefumbruch vorhanden, HH: Hochmoortorf, NH: Niedermoortorf). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant. Quelle: Thünen-Institut

### 3.2.2.6 Merkmal 6: Unterlagernde Muddede

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 3.2.2.1). 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 3.2.2.2). Wenn möglich, wurden in Anlehnung an die KA5 organische Mudden und organo-mineralische Mudden (hier vereinfacht: mineralische Mudden), sowie im speziellen Kalkmudden unterschieden (Abbildung 3-8). Sofern mehrere Mudden ausgewiesen wurden, wurde nur die direkt unter dem Torf befindliche klassifiziert.

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

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

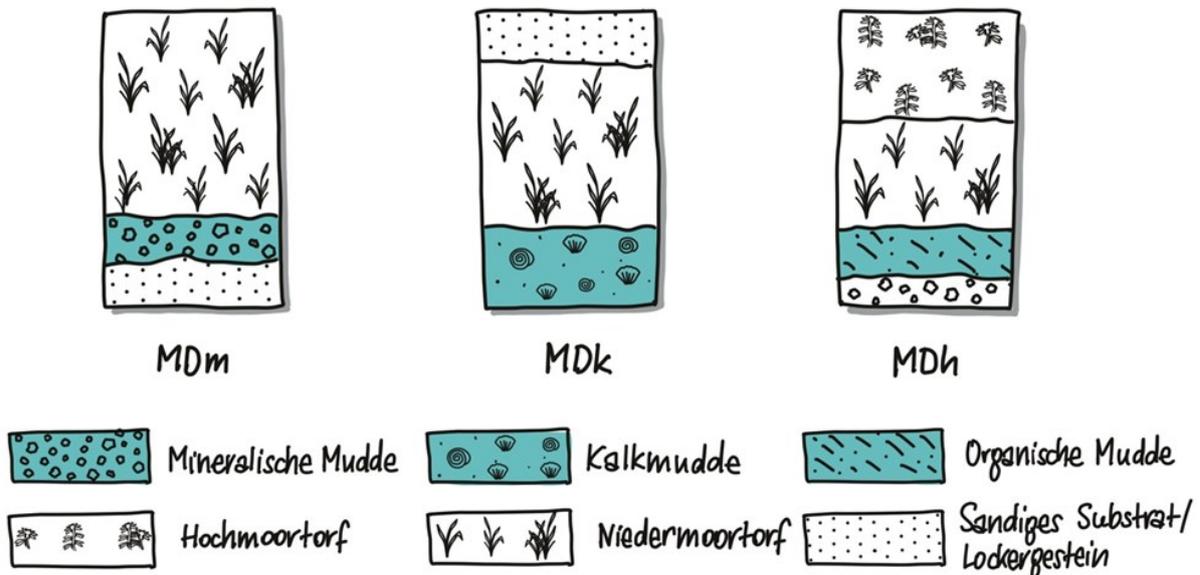


Abbildung 3-8. Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen Mudden unter Torfen (MDm: mineralische Mudde, MDk: Kalkmudde, MDh: organische Mudde). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant. Quelle: Thünen-Institut

**3.2.2.7 Merkmal 7: Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Zuletzt wurde das **mineralische Substrat unterhalb des Torfes bzw. der Mudde** (Kapitel 3.2.2.6) betrachtet (Abbildung 3-9). 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 Muddede befindliche mineralische Substrat berücksichtigt wurde.

**Ausprägungen 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

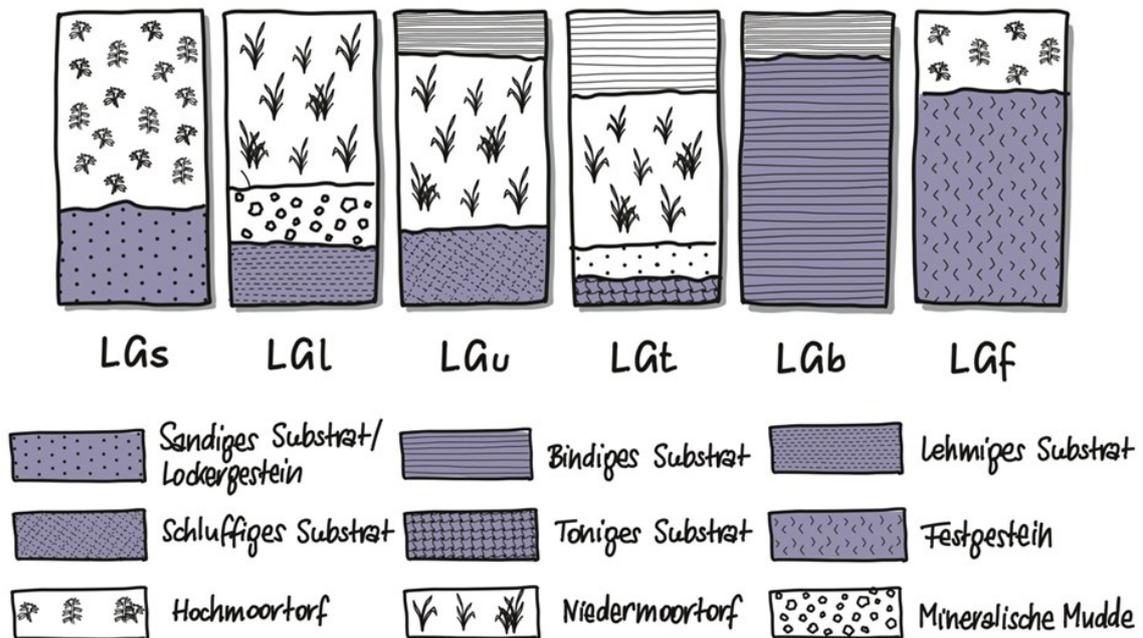


Abbildung 3-9. Schematische Darstellung von Beispielen für Bodenprofile mit unterschiedlichen mineralischen Substraten unter Torfen, abmoorigen Horizonten oder Mudden (LGs: sandiges Substrat oder Lockergestein, LGl: lehmiges Substrat, LGu: schluffiges Substrat, LGt: toniges Substrat, LGb: bindiges Substrat, LGf: Festgestein). Farblich markierte Bereiche sind für die Merkmalsausprägung relevant. Quelle: Thünen-Institut

### 3.2.2.8 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 3-4 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 3-10 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 3-4: Übersicht aller verwendeten Merkmale sowie deren Ausprägungen und Klassifikationen für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland.

Merkmale	Klassifikation - Kürzel	Klassifikation – Beschreibung
<b>Genese</b>	HH	Hochmoortorf
	NH	Niedermoortorf
	XH	Torfsubstrat unbekannt
	MD	Organische Mudde
<b>Mineralische Überdeckung</b>	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	
<b>Torfmächtigkeit</b>	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
<b>Abmoorigkeit</b>	AB0	Keine Abmoorigkeit vorhanden
	ABs	Abmooriger Horizont vorhanden, sandiges Substrat
	ABb	Abmooriger Horizont vorhanden, bindiges Substrat
	ABx	Abmooriger Horizont vorhanden, Substrat unbekannt
<b>Tiefumbruch</b>	TR0	Kein Tiefumbruch vorhanden
	TR1	Tiefumbruch vorhanden
<b>Unterlagernde Mudden</b>	MD0	keine Mudde unter Torf oder abmoorigem Horizont vorhanden

---

	MDk	Kalkmudde
	MDm	weitere mineralische Mudde
	MDh	organische Mudde
	MDx	Muddeart unbekannt
<b>Unterlagerndes mineralisches Substrat</b>	LGs	sandig/Lockergestein
	LGl	lehmig
	LGu	schluffig
	LGt	tonig
	LGb	bindig (sofern nicht eindeutig lehmig, schluffig oder tonig)
	LGf	Festgestein
	LGx	Substrat unbekannt

---



NH\_DK0\_TM2\_ABO\_TRO\_MDk\_LGx

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



HH\_DK0\_TM2\_ABO\_TRO\_MD0\_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\_TRO\_MD0\_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\_TRO\_MD0\_LGx

**mächtig überdeckter Niedermoorboden** aus Niedermoortorf, 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\_TRO\_MDm\_LGb

**Moorfolgeboden** mit Niedermoorgenese, 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\_MD0\_LGs

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

Abbildung 3-10: Beispiele für Merkmalskombinationen mit abgeleiteten Moorbodenkategorien (fett) und beispielhaften Profilen. Quelle: Thünen-Institut

### 3.2.3 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 3-2) 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 3-2) der Länderdatensatz für Brandenburg dar. Hier wurden aneinandergrenzende Flächen mit identischen Merkmalskombinationen (z.B. NH\_DK0\_TM3\_AB0\_TR0\_MD0\_LGs, Kapitel 3.2.2.8) 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>); zugänglich.

Die Verteilung der Landnutzung auf organischen Böden in der aktualisierten Kulisse wurde anhand eines Verschnitts des Datensatzes in PostGIS mit dem ATKIS<sup>®</sup> Basis-DLM aus dem Jahr 2020 (BKG 2020) ermittelt. Das ATKIS<sup>®</sup> 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<sup>®</sup> ermittelte LN, denn die LF umfasst nur die tatsächlich landwirtschaftlich genutzten Flächen in den von der Agrarstatistik erfassten Landwirtschaftsbetrieben.

### 3.3 Aktualisierte Flächenkulisse

#### 3.3.1 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 ROßKOPF *et al.* (2015) (Tabelle 3-5). 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 3-5). 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 3-5). 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 3-5). 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 3-5: 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 et al. (2012) (Flächendatensatz) <sup>2</sup>	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
<b>Gesamt</b>	<b>1,93 Mio. ha<sup>1</sup></b>	<b>1,82 Mio. ha</b>	<b>1,64 Mio. ha</b>	<b>1,84 Mio. ha</b>	<b>1,68 Mio. ha</b>	<b>1,88 Mio. ha</b>

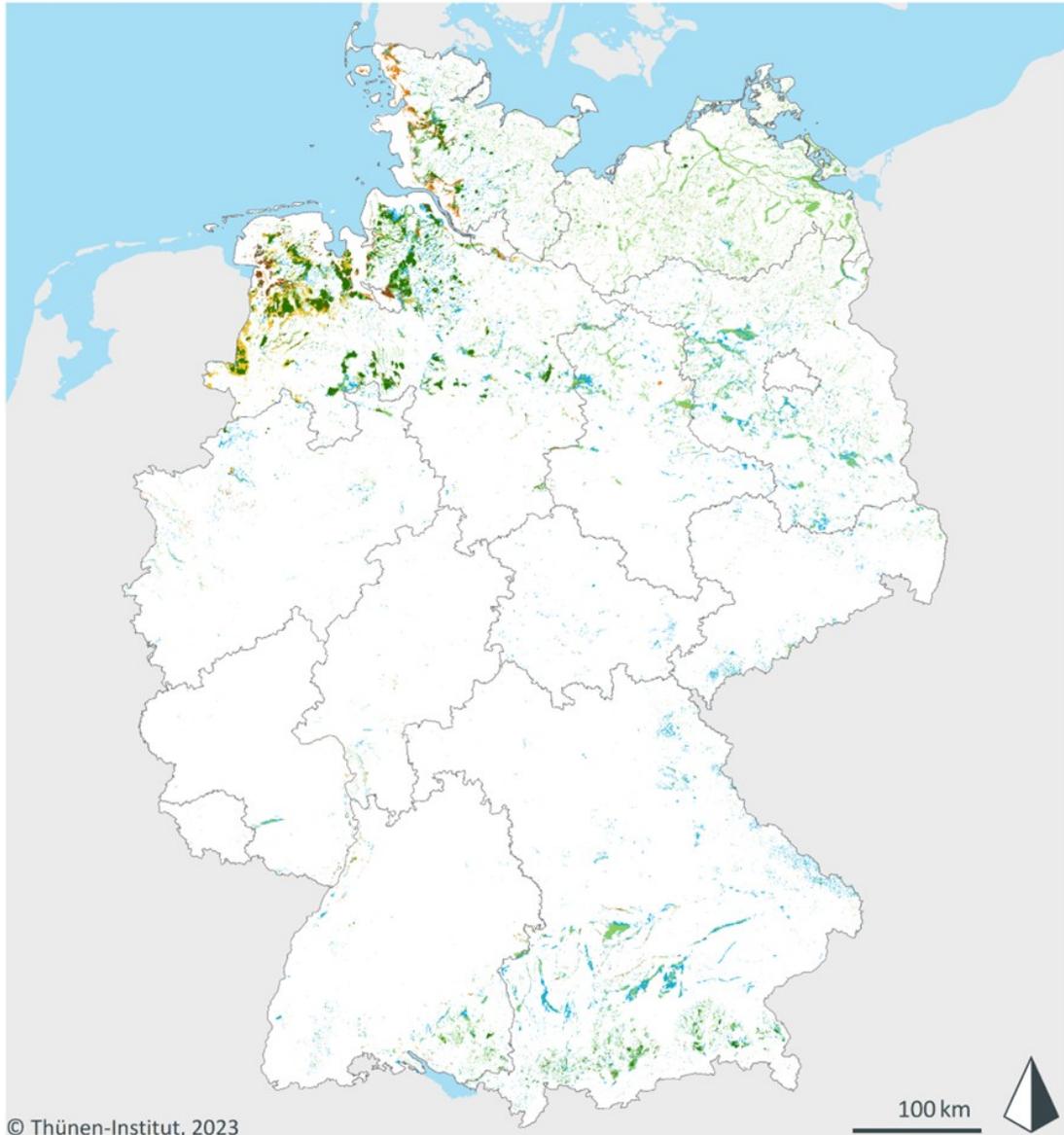
<sup>1</sup>: ohne mächtig überdeckte Moorböden: 1,87 Mio. ha.

<sup>2</sup>: Die Veröffentlichung von ROßKOPF 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.

## Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland



Version 1.0, Stand Datenakquise: 12/2022



© Thünen-Institut, 2023

### Moorbodenkategorien

Niedermoorboden	Moorfolgeboden	flach überdeckter Moorboden
Hochmoorboden	Tiefumbruchboden 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 AöR, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha (2022)  
Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (1996-1974)

Abbildung 3-11: Verbreitung der organischen Böden in Deutschland dargestellt nach Moorbodenkategorien. Quelle: Thünen-Institut nach den in der Abbildung angegebenen Datenquellen.

### 3.3.2 Kategorien und Verteilung der organischen Böden in Deutschland

Abbildung 3-11 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 3-12, Tabelle 3-6). 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.

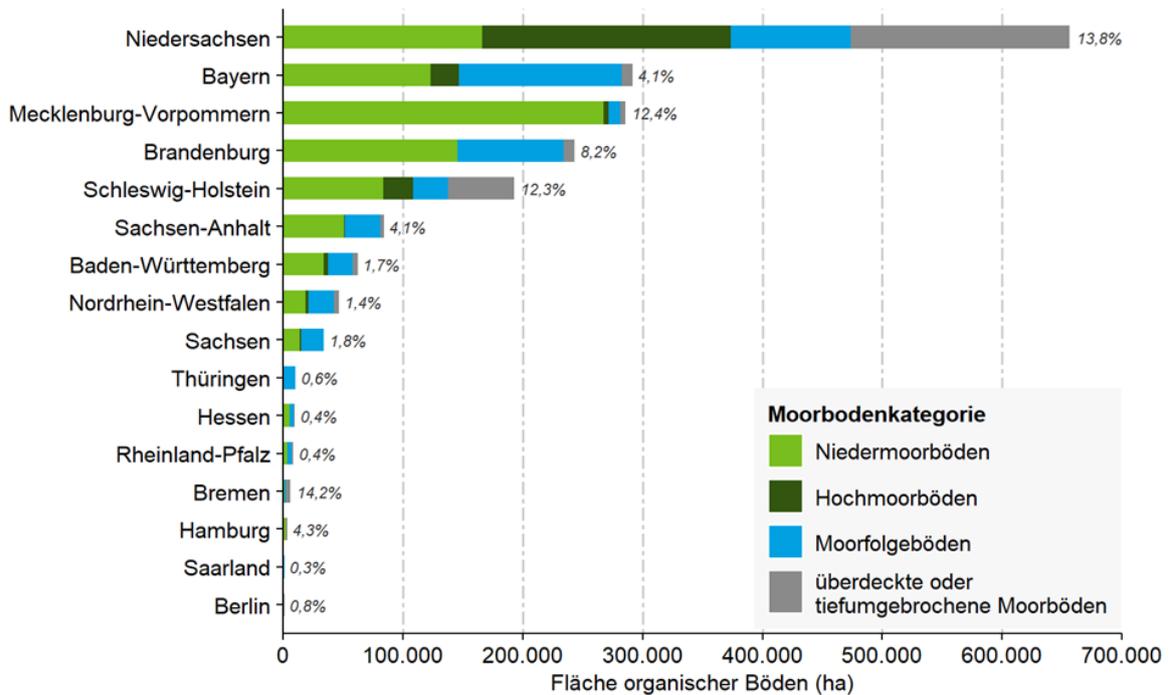


Abbildung 3-12: Flächen der Niedermoor-, Hochmoor-, Moorfolge- und weiteren organischen Böden in der aktualisierten Kulisse organischer Böden je Bundesland. Die Prozentzahl gibt den Anteil organischer Böden an der Landesfläche an. Quelle: Thünen-Institut

**Niedermoorböden** machen mit 915.000 ha knapp die Hälfte (47,4 %; Abbildung 3-13) aller organischen Böden in Deutschland aus und werden in allen Bundesländern ausgewiesen (Tabelle 3-6, Abbildung 3-11, Abbildung 3-12). 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 3-5). 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 3-6). Aufgrund des teilweisen hohen Alters der Länderdatensätze (Tabelle

3-1) 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) (LBGR 2020) umfasste als Moorfolgeböden deklarierte Legendeneinheiten (z.B. „reliktischer Anmoorgley über Niedermoor [Moorfolgeboden]“). Diese Bezeichnungen der reliktschen 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 3.3.4.2). 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 3.1.1.2). 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 3-6). 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: WOHJAN 1960), jedoch werden sie in den entsprechenden Bodenkartern nicht eigens ausgewiesen.

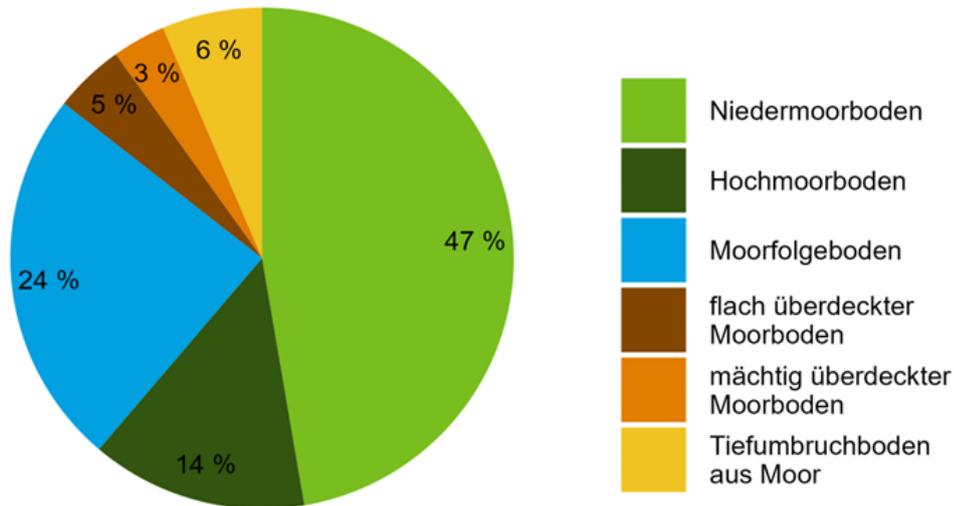


Abbildung 3-13: Flächenanteile der Moorbodenkategorien in der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland. Quelle: Thünen-Institut

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 3.3.3). 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 3-6: Fläche organischer (org.) Böden je Bundesland und Moorbodenkategorie (in ha). GF: Gesamtfläche, DE: Deutschland, NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK\_FL\_NH: flach überdeckter Niedermoorboden, DK\_FL\_HH: flach überdeckter Hochmoorboden, DK\_MA\_NH: mächtig überdeckter Niedermoorboden<sup>1</sup>, TR\_NH: Tiefumbruchboden aus Niedermoortorf, TR\_HH: Tiefumbruchboden aus Hochmoortorf.

Bundesland	Gesamt- fläche (GF)	Anteil an GF org. Böden DE	NH	HH	MF	DK_FL_ NH	DK_FL_ HH	DK_MA_ NH <sup>1</sup>	TR_NH	TR_HH
Baden-Württemberg	<b>62.075</b>	3,2 %	33.917	3.736	20.139	350	-	3.934	-	-
Bayern	<b>291.570</b>	15,1 %	122.787	23.626	136.015	8.330	-	812	-	-
Berlin	<b>740</b>	0,0 %	619	-	18	61	-	41	-	-
Brandenburg	<b>243.300</b>	12,6 %	145.520	-	88.293	6.224	-	3.264	-	-
Bremen	<b>5.707</b>	0,3 %	1.131	194	875	2.741	16	749	-	-
Hamburg	<b>3.190</b>	0,2 %	2.057	-	395	16	-	721	-	-
Hessen	<b>9.468</b>	0,5 %	5.111	223	3.290	-	-	844	-	-
Mecklenburg- Vorpommern	<b>285.267</b>	14,7 %	267.484	3.807	10.234	30	-	3.712	-	-
Niedersachsen	<b>656.584</b>	33,9 %	165.874	207.680	100.352	35.345	14.165	9.039	56.136	67.993
Nordrhein-Westfalen	<b>46.529</b>	2,4 %	18.530	2.728	21.000	1.063	264	2.483 <sup>1</sup>	-	460
Rheinland-Pfalz	<b>8.475</b>	0,4 %	3.537	-	3.273	1.113	-	552	-	-
Saarland	<b>805</b>	0,0 %	536	-	269	-	-	-	-	-
Sachsen	<b>34.019</b>	1,8 %	13.812	981	18.966	142	-	117	-	-
Sachsen-Anhalt	<b>84.032</b>	4,3 %	50.682	430	30.017	-	-	2.903	-	-
Schleswig-Holstein	<b>192.525</b>	10 %	83.466	25.172	28.995	15.669	2.100	37.123 <sup>1</sup>	-	-
Thüringen	<b>10.095</b>	0,5 %	65	366	9.664	-	-	-	-	-
<b>Gesamt</b>	<b>1.934.380</b>	<b>100 %</b>	<b>915.128</b>	<b>268.942</b>	<b>471.795</b>	<b>71.086</b>	<b>16.545</b>	<b>66.295<sup>1</sup></b>	<b>56.136</b>	<b>68.453</b>
Flächenanteile	-	-	<b>47,3 %</b>	<b>13,9 %</b>	<b>24,4 %</b>	<b>3,7 %</b>	<b>0,9 %</b>	<b>3,4 %</b>	<b>2,9 %</b>	<b>3,5 %</b>

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

### 3.3.3 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<sup>®</sup> 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<sup>®</sup> 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 3-7). 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 3-7).

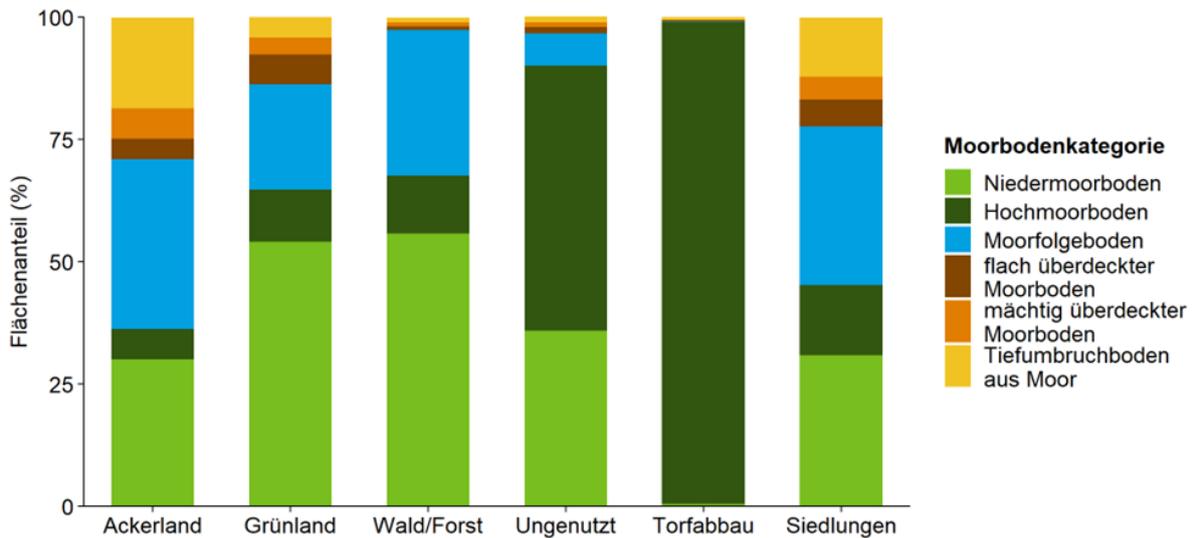


Abbildung 3-14: Prozentuale Verteilung der Moorbodenkategorien innerhalb der Landnutzungskategorien. Quelle: Thünen-Institut

Mit Ausnahme von Torfabbau sind alle Nutzungstypen auf allen Moorbodenkategorien zu finden (Tabelle 3-7). Grünland ist die dominierende Nutzung aller Moorbodenkategorien. Eine Ausnahme bilden die Tiefumbruchböden, die vorrangig ackerbaulich 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 3-14). 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 3-7: 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 <sup>1</sup>	NH	HH	MF	DK_FL_*	DK_MA_*	TR_*
Ackerland	<b>361.048</b>	18,7 %	2,8 %	108.486	22.210	125.448	15.253	22.770	66.880
Grünland	<b>1.067.360</b>	55,2 %	15,5 %	577.786	113.184	230.218	64.646	36.730	44.797
Wald/Forst	<b>286.421</b>	14,8 %	2,6 %	159.735	33.791	85.441	2.040	2.422	2.992
Ungenutzt	<b>133.888</b>	6,9 %	4,3 %	48.059	72.527	8.717	1.850	1.156	1.579
Torfabbau	<b>17.800</b>	0,9 %	99,7 % <sup>2</sup>	89	17.515	14	79	-	103
Siedlungen	<b>67.862</b>	3,5 %	1,6 %	20.972	9.715	21.957	3.763	3.217	8.238

<sup>1</sup> Anteil an der in Deutschland vorhandenen Gesamtfläche der jeweiligen Landnutzungskategorie

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

### 3.3.4 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 3-8, Kapitel 3.2.2.8). 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 3-8). Mit 28 Merkmalskombinationen sind bereits 80 % abgedeckt, während knapp 500 Kombinationen jeweils zu weniger als 0,1 % zur Gesamtfläche beitragen (Abbildung 3-15). Die häufigsten Kombinationen beschreiben die Moorbodenkategorien extrem mächtiger ( $\geq 200$  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 3-8). Ungefähr 40 Merkmalskombinationen reichen aus, um 99 % zu beschreiben (Abbildung 3-15). 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 3-8: 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_AB0_TR0_MD0_LGx	Niedermoorboden	8,9 %	NH_DK0_TM3_AB0_TR0	Niedermoorboden	15,1 %
2	NH_DK0_TM0_ABs_TR0_MD0_LGs	Moorfolgeboden	6,1 %	NH_DK0_TM5_AB0_TR0	Niedermoorboden	13,7 %
3	HH_DK0_TM5_AB0_TR0_MD0_LGx	Hochmoorboden	6,0 %	NH_DK0_TM2_AB0_TR0	Niedermoorboden	9,8 %
4	NH_DK0_TM2_AB0_TR0_MD0_LGs	Niedermoorboden	5,3 %	NH_DK0_TM0_ABs_TR0	Moorfolgeboden	8,3 %
5	NH_DK0_TM3_AB0_TR0_MD0_LGs	Niedermoorboden	5,3 %	NH_DK0_TM4_AB0_TR0	Niedermoorboden	6,9 %
6	NH_DK0_TM3_AB0_TR0_MDx_LGx	Niedermoorboden	5,1 %	NH_DK0_TM1_AB0_TR0	Moorfolgeboden	6,4 %
7	NH_DK0_TM1_ AB0_ TR0_MD0_LGs	Moorfolgeboden	4,6 %	HH_DK0_TM5_AB0_TR0	Hochmoorboden	6,0 %
8	NH_DK0_TM5_ AB0_ TR0_MDx_LGx	Niedermoorboden	4,6 %	NH_DK0_TM0_ABb_TR0	Moorfolgeboden	5,3 %
9	NH_DK0_TM4_ AB0_ TR0_MD0_LGx	Niedermoorboden	4,6 %	HH_DK0_TM3_AB0_TR0	Hochmoorboden	3,8 %
10	HH_DK0_TM3_ AB0_ TR0_MD0_LGs	Hochmoorboden	3,1 %	HH_DK2s_TM0_AB0_TR1	Tiefumbruchboden aus Hochmoortorf	3,3 %
<b>Summe</b>			<b>53,6 %</b>			<b>78,5 %</b>

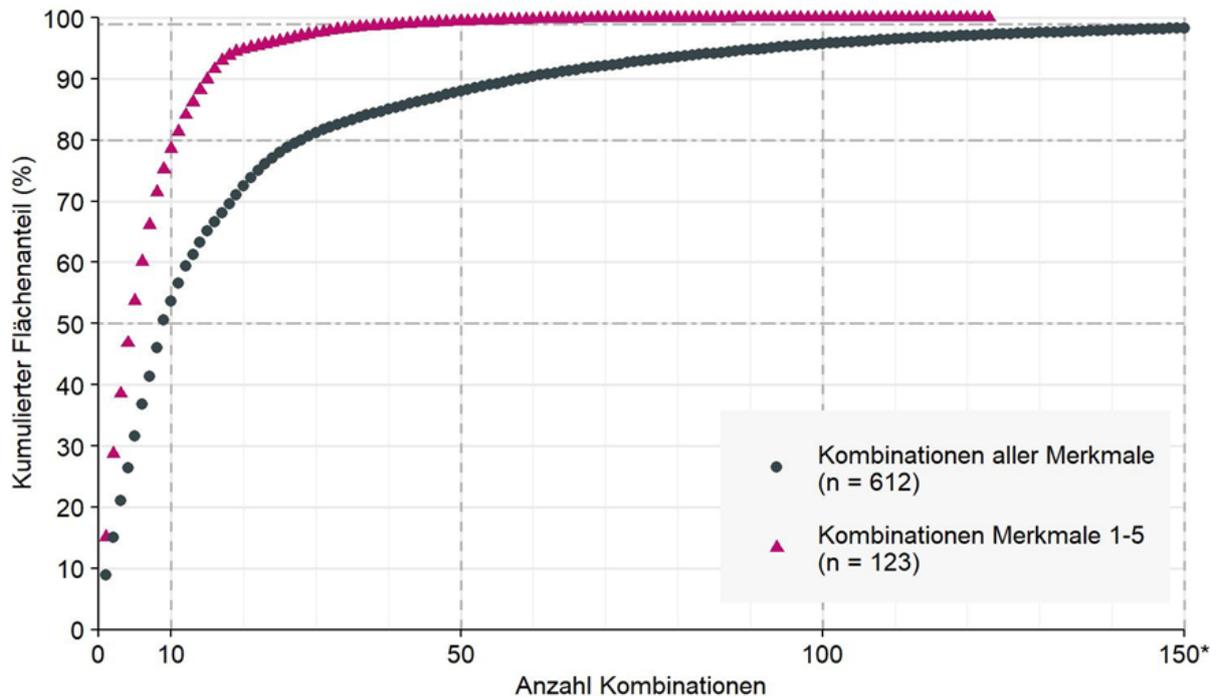


Abbildung 3-15: Kumulierter Flächenanteil organischer Böden, der sich durch die nach ihrem jeweiligen Flächenanteil geordneten Anzahl von Kombinationen aller Merkmalsausprägungen sowie der Merkmale 1-5 (Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, Abmoorigkeit und Tiefumbruch) beschreiben lässt. \*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

### 3.3.4.1 Genese

Die Flächen der aktualisierten Kulisse organischer Böden weisen erwartungsgemäß hauptsächlich eine Niedermoorgenese aus (76 %, Abbildung 3-16a), 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 3-16b). Moorböden ohne Information zur Torfart wurden wie in Kapitel 3.2.2.8 erwähnt den Niedermoorböden zugeordnet.

Moorfolgeböden weisen größtenteils eine Niedermoorgenese auf. Nur für 0,25 % der Moorfolgeböden konnte klar eine Hochmoorgenese 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.* 2014) 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 % Niedermoorgenese, zu 19 % Hochmoorgenese und zu 6 % eine unbekannte Torfart (Abbildung 3-16b). 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 3-11). Tiefumgebrochene Böden sind nahezu gleich auf ursprüngliche Nieder- bzw. Hochmoortorfe verteilt (siehe auch Tabelle 3-5, Kapitel 3.3.4.5).

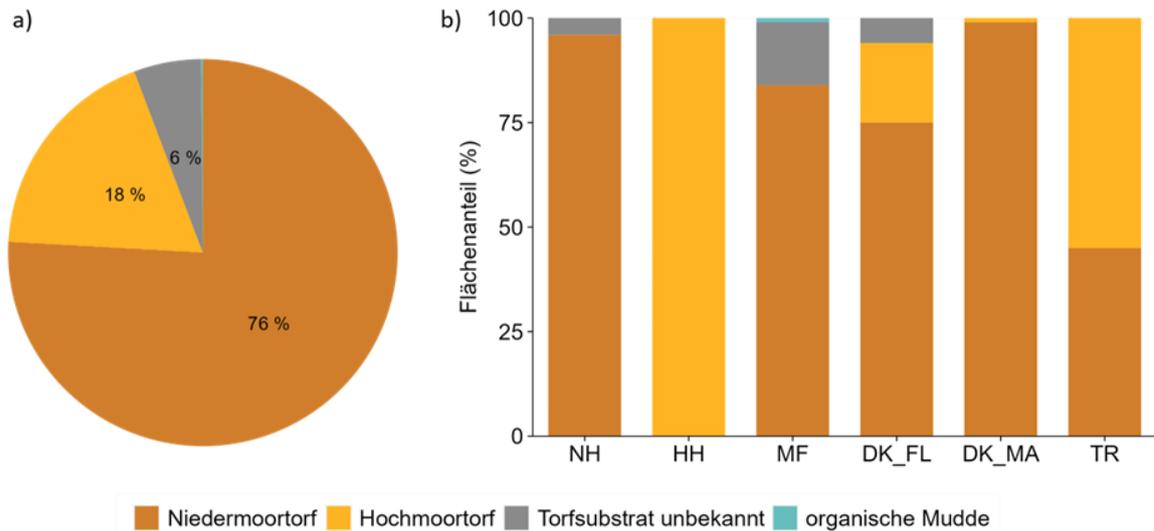


Abbildung 3-16: a) Anteile der Ausprägungen des Merkmals „Genese“ aller Flächen sowie b) je Moorbodenkategorie. NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK\_FL: flach überdeckter Moorboden, DK\_MA: mächtig überdeckter Moorboden, TR: Tiefumbruchboden aus Moor. Quelle: Thünen-Institut

### 3.3.4.2 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 3-9). Dies zeigt deutlich, dass eine Analyse von Oberböden allein (terrestrisch oder per Fernerkundung) den Umfang, die Kohlenstoffvorräte und die CO<sub>2</sub>-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 3.1.1.2).

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 3-6). Tiefumbruchböden tragen mit knapp 125.000 ha zu über 40 % der

überdeckten Böden bzw. 6,4 % der Gesamtkulisse bei (Kapitel 3.3.4.5), während überdeckte Moorfolgeböden auf über 19.000 ha zu finden sind (4 % aller Moorfolgeböden) (Tabelle 3-9).

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 3-17). Tiefumbruchböden sind in Abbildung 3-17 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 %.

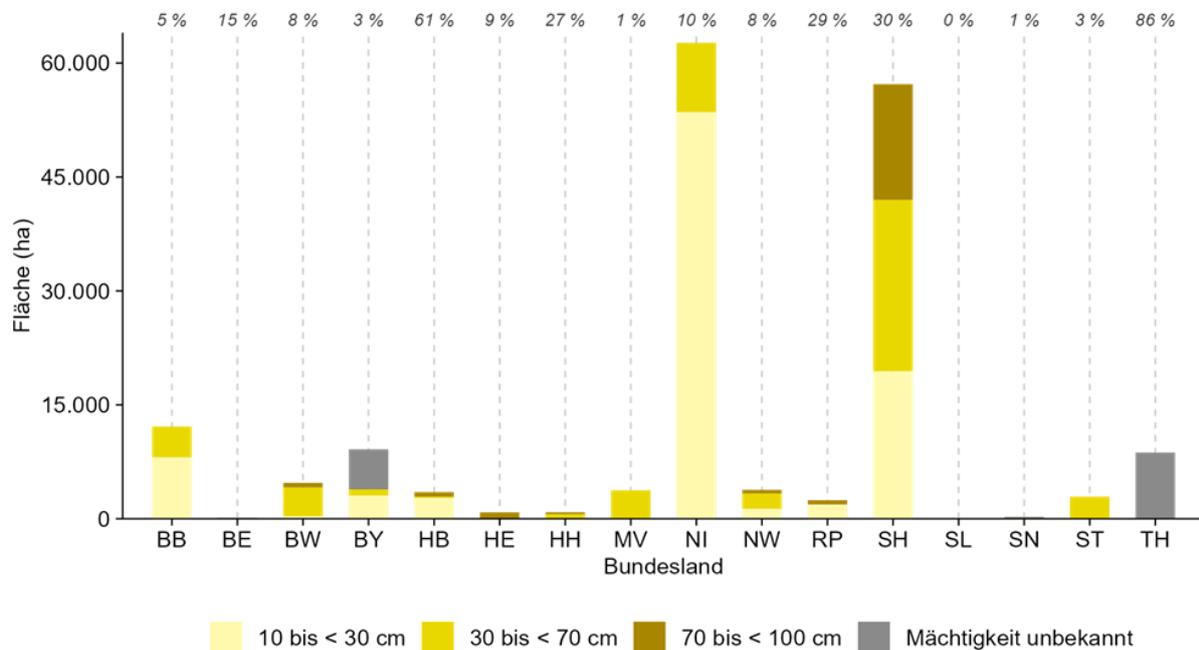


Abbildung 3-17: Flächen der Mächtigkeitsstufen mineralischer Überdeckungen von Moor- und Moorfolgeböden (ohne Tiefumbruchböden) je Bundesland. Prozentzahlen geben den Anteil überdeckter Moor- und Moorfolgeböden an der Gesamtfläche organischer Böden je Bundesland an. Quelle: Thünen-Institut

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 3-9).

Tabelle 3-9: 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
Gesamtfläche Tiefumbruchböden:			124.589 ha
Gesamtfläche weiterer überdeckter organischer Böden:			143.735 ha
<b>Gesamtfläche aller überdeckter organischer Böden</b>			<b>297.660 ha</b>

Niedermoorböden zeigen Überdeckungen aller Mächtigtkeitsstufen, jedoch mit überwiegend (> 80 %) bindigen Substraten (Tabelle 3-9). 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 MASSENBACH 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 3.3.2) 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 3-9). Diese Flächen liegen vor allen in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. In Nordrhein-Westfalen werden sandige und bindige Deckkulturböden getrennt ausgewiesen (siehe Appendix B). In der BK50 von Niedersachsen wird nach natürlichen und anthropogenen Prozessen unterschieden, indem „flach überlagerte Torfe“ getrennt von „Sandmischkulturen“ ausgewiesen werden (siehe Appendix B). 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 Appendix B).

Insgesamt (ohne Berücksichtigung der Tiefumbruchböden) dominieren in allen drei Mächtigkeitsstufen 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.

### 3.3.4.3 Torfmächtigkeit

Die Torfmächtigkeit (TM1 bis TM5) konnte für 74 % aller Flächen eindeutig beschrieben werden (Tabelle 3-10). 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 3.3.4.5) handelt.

Niedermoorböden (einschließlich Flächen mit abmoorigen Oberböden über Torfen) weisen eine recht gleichmäßige Mächtigkeitsverteilung auf (Abbildung 3-18). Am häufigsten treten die Klassen TM3 (70 bis < 120 cm) und TM5 ( $\geq$  200 cm) auf, die auch in der gesamten Kulisse jeweils ca. 20 % der Flächen ausmachen (Tabelle 3-10). 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 ( $\geq$  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 %.

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 geringerer 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.

Tabelle 3-10: 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 %

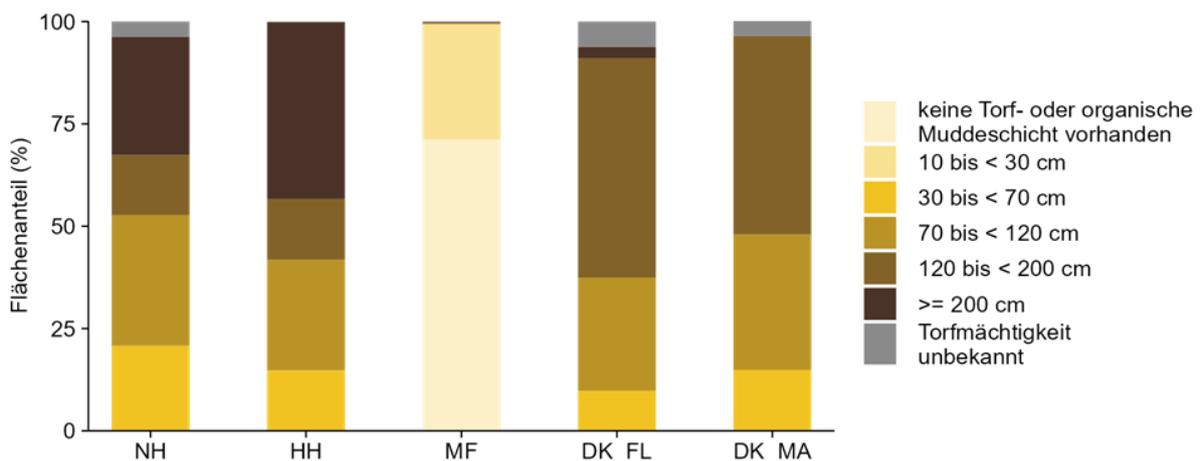


Abbildung 3-18: Flächenanteile der verschiedenen Ausprägungen der Torfmächtigkeit je Moorbodenkategorie. Nicht gezeigt: Tiefumbruchboden aus Moor. NH: Niedermoorboden, HH: Hochmoorboden, MF: Moorfolgeboden, DK\_FL: flach überdeckter Moorboden, DK\_MA: mächtig überdeckter Moorboden. Quelle: Thünen-Institut

Bei einer bundeslandweisen Betrachtung lassen sich einige regionale Besonderheiten ableiten (Abbildung 3-19). 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 (TM0) 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 %.

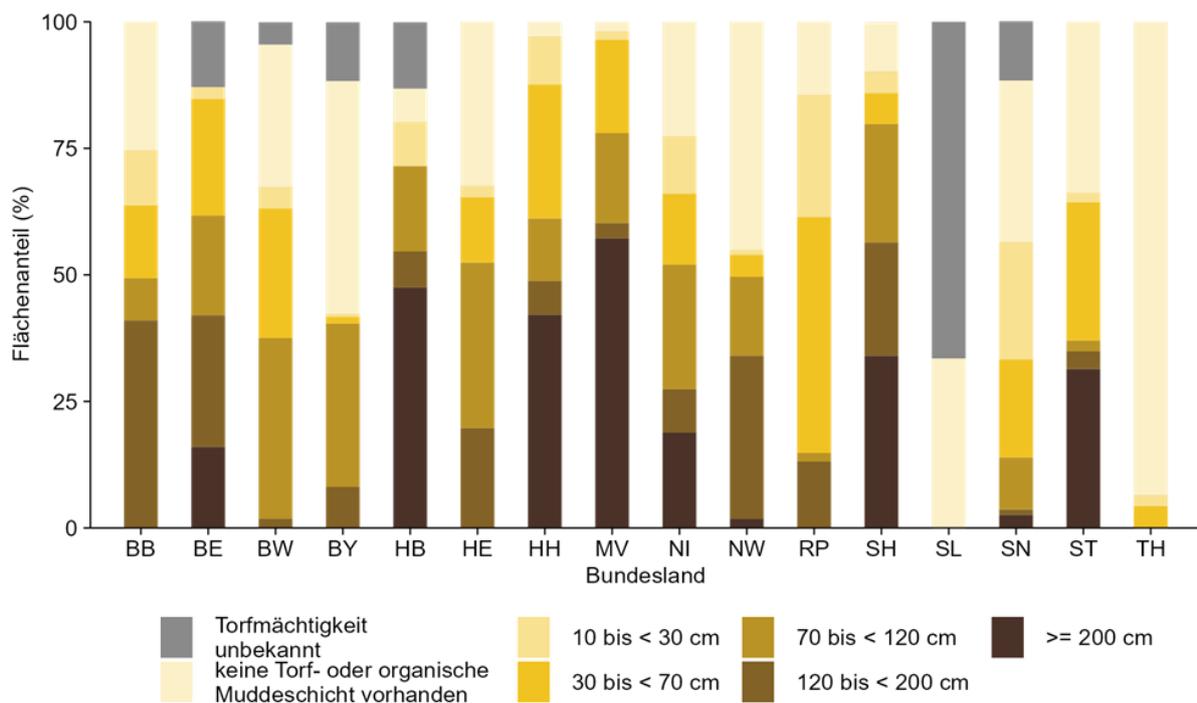


Abbildung 3-19: Flächenanteile der verschiedenen Ausprägungen der Torfmächtigkeit je Bundesland. Quelle: Thünen-Institut

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 3-2) 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  $\geq 200$  cm auf. Wenn man zusätzlich in Betracht zieht, dass an ungenutzten Standorten größtenteils die mächtigeren Moorbodenkategorien und kaum Moorfolgeböden auftreten (Abbildung 3-14), 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 3-1). Aufgrund der fortschreitenden entwässerungsbedingten Verluste 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).

#### **3.3.4.4 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 Niedermoor torfen, 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 3.3.4.1). 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 3-20). 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.

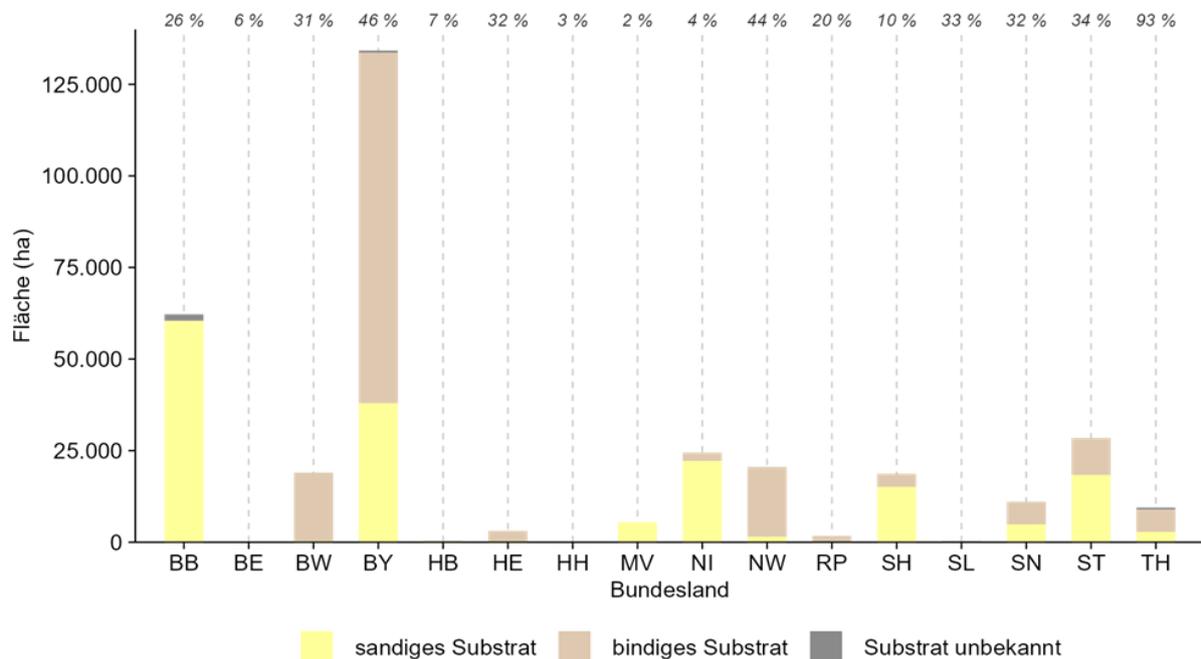


Abbildung 3-20: Flächen der Substrate abmooriger Horizonte organischer Böden je Bundesland. Prozentzahlen geben den Anteil der Flächen mit Abmoorigkeit an der Gesamtfläche organischer Böden je Bundesland an. Quelle: Thünen-Institut

#### 3.3.4.5 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 3.3.2 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 3-6). 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 3-1), sondern auch die Verdichtung der Torfbalken bekannt sein müssten. Aufgrund dieser Schwierigkeiten wurden alle Flächen mit „TM0“ 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 (ALCÁNTARA *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 (GÖTTLICH 1990).

#### 3.3.4.6 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 3.2.2.1 und 3.3.4.1).

Tabelle 3-11: 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 3-11). 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 3-3). 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 (ROSKOPF *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 3-3, nähere Erläuterung in Appendix B).

Eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Muddearten war lediglich für 16 % der Flächen mit unterlagernder Mudde möglich (Abbildung 3-21). Ausgewiesen wurden zu fast gleichen Teilen organische oder mineralische Mudden, sowie in geringerem Umfang Kalkmudden.

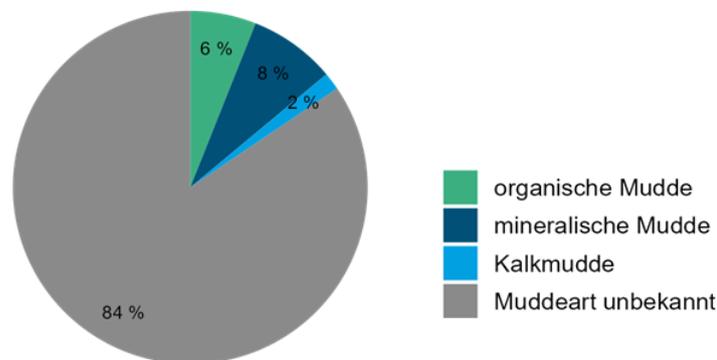


Abbildung 3-21: Verteilung der Muddearten ausgewiesener unterlagernder Mudden. Quelle: Thünen-Institut

### 3.3.4.7 Unterlagerndes mineralisches Substrat

Das unterlagernde mineralische Substrat konnte für 58 % aller organischen Böden ermittelt werden (Tabelle 3-12). 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 3-22). 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 3-12: 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 3-2; Kapitel 3.2.2), 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 3.2.1 Tabelle 3-3) 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).

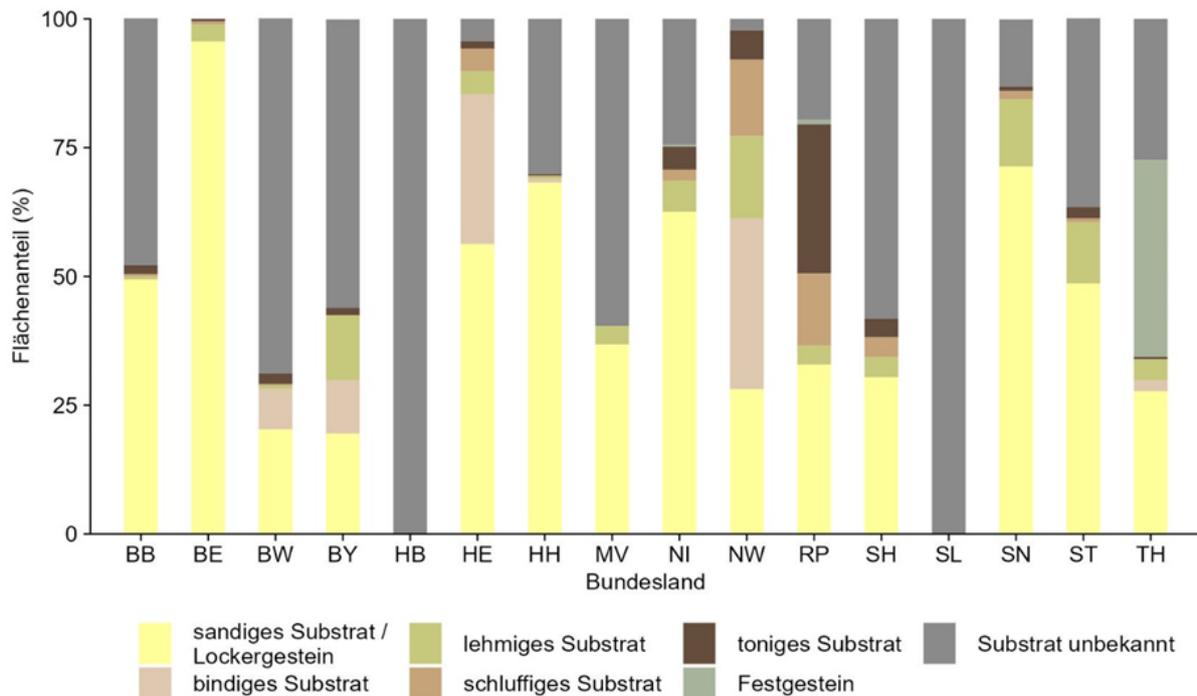


Abbildung 3-22: Flächenanteile der unterschiedlichen Ausprägungen unterlagernder mineralischer Substrate je Bundesland. Quelle: Thünen-Institut

### 3.3.5 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 Moorwasserständen 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 Moorwasserstände 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.* 2023b) 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 3.2.3). 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 3-1). 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 3-1). 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 3-1). 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 3.2.1), 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. 125.000 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 (WITTNEBEL *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).

### **3.3.6 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 3.3.5 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!

## 4 Synthese

### 4.1 Klassifikation von Moor- und weiteren organischen Böden

#### 4.1.1 Entwickelte Harmonisierungskonzepte

Anhand der Daten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) habe ich im Rahmen dieser Dissertation ein Klassifikationsschema für die stark gestörten Moor- und weiteren organischen Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung entwickelt. Dabei liegt der Fokus nicht auf „typischen“ Bodentypen nach deutscher Bodenklassifikation, sondern auf sechs vereinfachten Moorklassen:

- Hochmoorböden
- Niedermoorböden
- Moorfolgeböden
- Flach überdeckte organische Böden
- Mächtig überdeckte organische Böden
- Tiefgepflügte organische Böden

Der Vorteil dieses Schemas gegenüber der Ansprache nach KA5 besteht in eben dieser Vereinfachung, da für die untersuchten Eigenschaften (z.B.  $C_{\text{org}}$ -Vorräte) die spezifische pedogenetische Entwicklung wenig ausschlaggebend ist. Stattdessen stehen allgemein beschreibende und standardisiert messbare Kriterien im Vordergrund (Mächtigkeiten, OBS-Gehalte, mineralische Decken bzw. Tiefumbruch). Damit werden die Limitierungen der Ansprache nach KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005) überwunden und das Schema kann auch ohne vertiefte Kenntnisse der Bodensystematik angewendet werden. Dies gilt nicht nur für den heterogenen Datensatz der BZE-LW, sondern auch für mögliche weitere Problemstellungen beim Umgang mit heterogenen Datensätzen organischer Böden.

Das Klassifikationsschema ist auf die in der BZE-LW vorgefundenen Böden beschränkt und unterliegt Entscheidungen, die generell für die BZE-LW getroffen wurden (z.B. die definitorische Grenze zwischen mineralischen und organischen Böden). Diverse Verfeinerungen in der Klassifikation wurden zwar zunächst erwogen, aber nicht umgesetzt, um eine gewisse Mindestanzahl je Moorklasse für robustere Auswertungen zu gewährleisten. Dies betrifft bspw. die Differenzierung aller „weiteren organischen Böden“ nach Hoch- und Niedermoor torfen, die Unterscheidung der Texturen mineralischer Überdeckungen oder Horizonteigenschaften hinsichtlich der Relevanz für hydrologische Eigenschaften.

Im weiteren Verlauf meiner Arbeiten im Rahmen des Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz (MoMoK) diente das Klassifikationsschema als Grundlage für das Harmonisierungskonzept der Bodenflächendaten für die aktualisierte Kulisse organischer Böden. Im Gegensatz zur BZE-LW handelte es sich bei den Datensätzen der Bundesländer

nicht um Bodenprofilaufnahmen, sondern um Flächendaten mit bereits harmonisierten und generalisierten Bodentypen, die in manchen Fällen mit idealisierten Leitprofilen hinterlegt sind. Die Herausforderung lag daher nicht in der Schwierigkeit der inhaltlichen Harmonisierung, die komplexen Bodenprofile mit der KA5 in Einklang zu bringen, sondern in der Vielzahl und der Unterschiedlichkeit der verwendeten Klassifikationssysteme und Detailgrade der Flächendaten. Dennoch haben sich die vereinfachten Moorklassen auch für diese Anwendung als hilfreiche und sinnvolle Grundlage erwiesen.

Das Harmonisierungskonzept für die Bodenflächendaten ist durch die Verwendung weiterer Merkmale und deren Ausprägungen detaillierter als das Schema der BZE-LW und greift bereits einige der oben genannten Verfeinerungen auf. Darüber hinaus wurden die zum Zeitpunkt der Konzeption bereits diskutierten Neuerungen für Moorböden in der bodenkundlichen Kartieranleitung KA6 berücksichtigt. Insgesamt wurden sieben Merkmale beschrieben und in manchen Eigenschaften erweitert:

- die organischen Ausgangssubstrate (Merkmal „Genese“) wurden um organische Mudden ergänzt und für möglichst alle Flächen aufgenommen,
- die mineralischen Überdeckungen wurden nach Substraten und Mächtigkeiten genauer differenziert,
- die Torfmächtigkeit wurde in mehrere Stufen unterteilt,
- stark degradierte Torfschichten mit < 30 % OBS wurden explizit beschrieben und nach Möglichkeit die Art des mineralischen Substrates angegeben (Merkmal „Abmoorigkeit“),
- das Vorhandensein eines Tiefumbruchs bzw. anderen tiefgreifenden Profilveränderungen wurde als Merkmal beibehalten,
- unterlagernde Mudden und mineralische Schichten wurden ausgewiesen und nach Substraten differenziert.

Es ist zu beachten, dass das Merkmal der mineralischen Überdeckung leicht verändert wurde. Lag die Differenzierung von flachen und mächtigen Überdeckungen zunächst bei 40 cm (laut KA5 die Mächtigkeit, ab der der überdeckende Mineralboden auf Moor der dominierende Bodentyp ist), wurde diese Grenze für die Flächendaten auf 30 cm gesetzt. Diese ist, ebenso wie die zweite Mächtigkeitsstufe von 70 cm, nach KA5 eine übliche Grenze zur Kennzeichnung von Substratwechseln in der vertikalen Substratabfolge aller Böden und wird daher in den meisten amtlichen Bodenkarten der Länder verwendet.

Die Harmonisierung der Kulisse erfolgt auf Basis der aus den Merkmalen abgeleiteten Moorbodenkategorien (zuvor als Moorklassen bezeichnet). Außerdem liegt für alle Flächen anhand der Merkmalsausprägungen ein vereinfachter Profilaufbau zugrunde (siehe Kapitel 3.2.2.8). Dieser wiederum ermöglicht eine erweiterte und detailliertere Darstellung der Bodenprofileigenschaften, die einen wesentlichen Einfluss auf die  $C_{org}$ -Vorräte, die

Wasserstände und damit auch die THG-Emissionen haben. Solche Informationen sind ohne die Harmonisierung nur erschwert aus den einzelnen Länderdatensätzen herauszulesen. Mein Harmonisierungskonzept bietet hierfür eine große Unterstützung und Innovation, da es auf alle Flächendatensätze anwendbar und in dieser Form einzigartig ist. Durch die vereinfachte Darstellung der Merkmale ist es auch für Nutzer\*innen anderer Fachbereiche verständlicher als die bodenkundliche Nomenklatur.

#### 4.1.2 Definitorische Untergrenze der $C_{org}$ -Gehalte

Sowohl im Rahmen der BZE-LW und MoMoK als auch international (z.B. GILET *et al.* 2024; LIANG *et al.* 2024) wurde und wird die Frage diskutiert, welche Böden hinsichtlich ihrer  $C_{org}$ -Gehalte noch als organisch zu bezeichnen sind und letztlich für die THG-Emissionsberichterstattung berücksichtigt werden sollten. Grundsätzlich gilt es, die Definitionen nach IPCC (2006; 2014) bestmöglich zu erfüllen, aber auch den realen Gegebenheiten der organischen Böden gerecht zu werden. Je nach Umrechnungsfaktor von  $C_{org}$  in OBS liegt die Untergrenze von Böden mit organischen Horizonten nach deutscher Klassifikation bei ca. 7,5 bis 8,7 %  $C_{org}$ . Die Relevanz solcher Böden hinsichtlich ihrer THG-Emissionen wurde bereits in Feld- und Laborstudien gezeigt (TIEMEYER *et al.* 2016, SÄURICH *et al.* 2019b, LÅNG & HETMANENKO 2023).

Die Bedeutung dieser stark  $C_{org}$ -verarmten Moorböden bzw. abmoorigen Böden („Moorfolgeböden“) zeigte sich in der Auswertung der BZE-LW zudem in Form sehr hoher  $C_{org}$ -Vorräte, die in den oberen 30 cm nur geringfügig unter denen der Hochmoorböden lagen. Trotz ihrer definitionsgemäß geringen Gesamtmächtigkeit sind die Gesamtvorräte im oberen Meter mindestens doppelt so hoch wie in den Mineralböden der BZE-LW. Dass die Vorräte trotz der – ebenfalls nach Definition – relativ geringen  $C_{org}$ -Gehalte so hoch sind, liegt an der hohen Trockenrohdichte (TRD). Dadurch ergeben sich hohe  $C_{org}$ -Dichten, die genauso groß sein können wie in gut erhaltenen Torfen mit hohen  $C_{org}$ -Gehalten, aber niedriger TRD. BARTHELMES (2018) stellte bereits mit Daten von RUEHLMANN & KÖRSCHENS (2009) fest, dass hinsichtlich der Vorräte und ihrer THG-Relevanz eine Grenze von 5 %  $C_{org}$  zur Abgrenzung organischer Böden verwendet werden sollte. Diese Grenze wurde im Bericht zu Kartierung und Monitoring von Mooren von der FAO (2020) aufgenommen und auch von LOURENCO *et al.* (2023) nach einer umfangreichen Zusammenstellung verschiedener Torfdefinitionen empfohlen. Die Auswertungen der  $C_{org}$ -Dichten der organischen Böden der BZE-LW zeigen trotz einer Untergrenze von 8,7 %  $C_{org}$  und einer großen Streuung ein ähnliches Muster (Abbildung 2-8b). Dementsprechend kann auch anhand dieses Parameters die Relevanz der abmoorigen Böden für die potenziellen THG-Emissionen bestätigt werden. Für das dänische THG-Inventar haben LIANG *et al.* (2024) festgestellt, dass die Höhe der THG-Emissionen sogar um bis zu 40 % unterschätzt wird, wenn organische Böden mit 6-10 %  $C_{org}$  im Oberboden nicht berücksichtigt werden.

### 4.1.3 Umrechnungsfaktor zwischen $C_{org}$ - und OBS-Gehalten

Die Frage des Umrechnungsfaktors ist zwischen  $C_{org}$ - und OBS-Gehalten stellte sich häufig im Zuge dieser Arbeit. Für die Proben der BZE-LW wurde einheitlich für alle Böden ein Faktor von 1,72 angenommen, der national und international üblich ist (AD-HOC-AG BODEN 2005; PRIBYL 2010). Da es für Torfe jedoch auch eine Empfehlung für den Faktor 2 (AD-HOC-AG BODEN 2005) bzw. unterschiedliche Werte für verschiedene Substrate (KLINGENFUß *et al.* 2014) gibt, besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

Zu diesem Zweck habe ich im Rahmen meiner Beschäftigung ein Versuchskonzept zur Bestimmung des Umrechnungsfaktors zwischen  $C_{org}$ - und OBS-Gehalten für verschiedene Torfsubstrate und -horizonte entwickelt. Im Unterschied zur Studie von KLINGENFUß *et al.* (2014) wurde nicht nach Torfarten unterschieden, sondern zunächst nach Ober- und Unterbodenhorizonten und grob nach Nieder- und Hochmoortorf (Abbildung 4-1). Die Oberböden bestehen aus sehr stark zersetztem, amorphem Torf und wurden anhand eines  $C_{org}$ -Gradienten betrachtet. Die Differenzierung der Unterböden erfolgte dagegen nach Horizontansprache und Zersetzungsgrad. Insgesamt wurden 126 Torfproben (ohne anorganischen Kohlenstoff) aus verschiedenen Projekten des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz zusammengetragen. Ihre  $C_{org}$ -Gehalte wurden nach Trocknung bei 60 °C durch Elementaranalyse gemessen und anhand der Restwassergehalte zu 105 °C korrigiert (HFA 2005). Die OBS-Gehalte wurden mittels der Messung des Glühverlusts bei 550 °C für 4 Stunden nach vorheriger Trocknung bei 105 °C bestimmt. Beide Werte wurden durch Doppelbestimmung berechnet.

Zum momentanen Zeitpunkt liegen nur vorläufige Ergebnisse vor. Für die Oberböden zeichnen sich etwas geringere Werte für Proben mit C/N-Verhältnissen  $\geq 20$  ab, jedoch kaum Unterschiede zwischen Nieder- und Hochmoortorf. Der mögliche Einfluss der  $C_{org}$ -Gehalte muss noch geprüft werden. In den Unterböden der Niedermoortorfe ist der Faktor in den degradierten Torfschrumpfungshorizonten (Ha/Ht) mit 1,77 etwas höher als in den tieferliegenden, zeitweise oder dauerhaft wassergesättigten Horizonten (Hw bzw. Hr; Abbildung 4-2a). Für Hochmoortorfe ist dieser Unterschied nicht erkennbar, der Umrechnungsfaktor ist aber gleich hoch wie bei den Ha/Ht-Horizonten der Niedermoortorfe. Schwach zersetzte (*fibric*) Hochmoortorfe haben mit 1,89 einen deutlich höheren Wert als mittel (*hemic*) und stark (*sapric*) zersetzte Torfe, wobei dort die Unterschiede zwischen den beiden Torfarten gering erscheinen (Abbildung 4-2b). Überraschenderweise liegen die ermittelten Umrechnungsfaktoren im Mittel bei 1,77 und nur selten bei 2,0 und darüber, was im Gegensatz zu den Ergebnissen von PRIBYL (2010) und KLINGENFUß *et al.* (2014) steht. Für gesicherte Aussagen sollte diese Studie jedoch noch weiter ausgewertet werden.

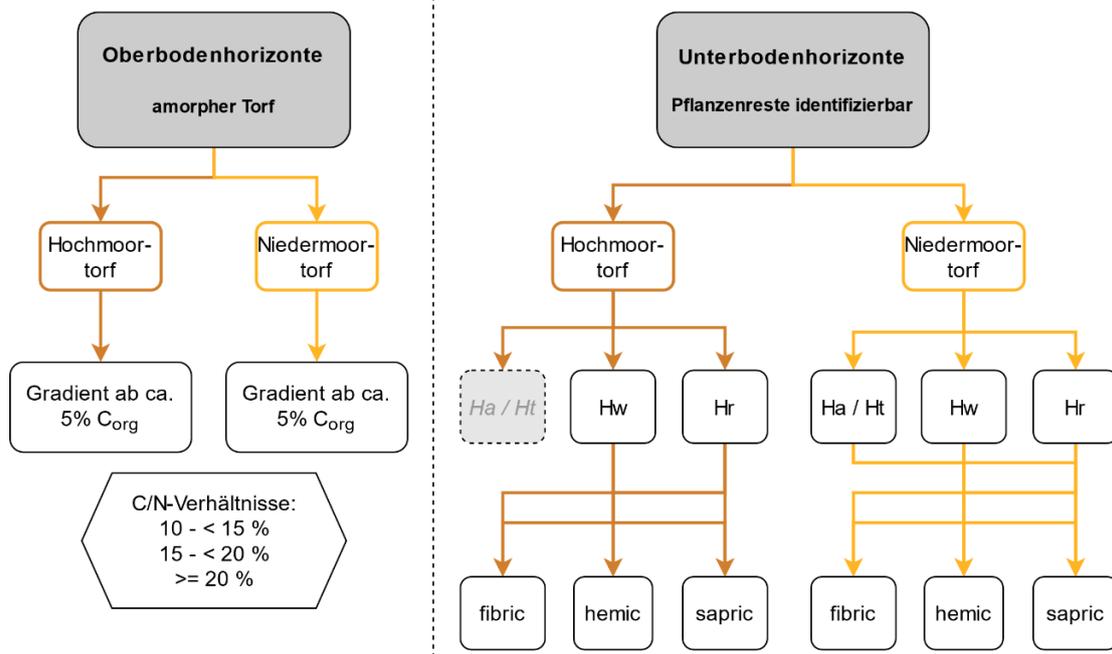


Abbildung 4-1: Versuchskonzept zur Bestimmung des Umrechnungsfaktors zwischen Gehalten organischer Bodensubstanz (OBS) und organischem Bodenkohlenstoff ( $C_{org}$ ) für verschiedene Torfsubstrate und -horizonte und Verhältnisse zwischen Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N). Horizontkürzel nach KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005, siehe Tabelle A1); Zersetzungsgrade nach WRB (IUSS WORKING GROUP WRB 2022), fibrice: schwach zersetzt, hemice: mittel stark zersetzt, sapric: stark zersetzt.

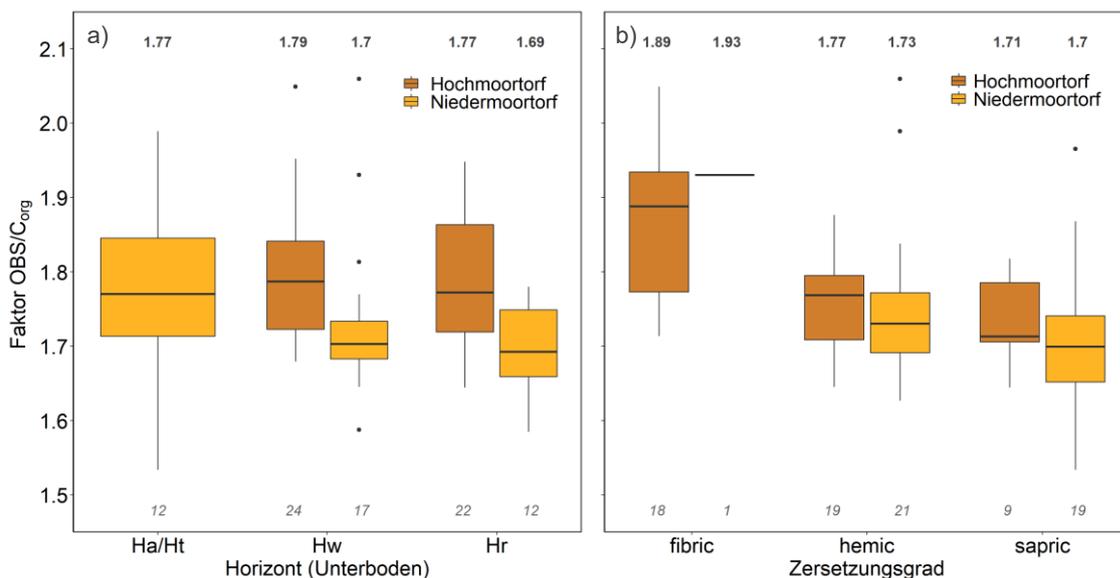


Abbildung 4-2: Umrechnungsfaktor zwischen Gehalten organischer Bodensubstanz (OBS) und organischem Bodenkohlenstoff ( $C_{org}$ ) für verschiedene Torfsubstrate aus Unterböden. a) Unterschiede nach Horizonten, b) Unterschiede nach Zersetzungsgraden. Horizontkürzel nach KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005, siehe Tabelle A1); Zersetzungsgrade nach WRB (IUSS WORKING GROUP WRB 2022): fibrice: schwach zersetzt, hemice: mittel stark zersetzt, sapric: stark zersetzt.

## 4.2 Verbreitung von Moor- und weiteren organischen Böden

### 4.2.1 Verteilung in den untersuchten Punkt- und Flächendatensätzen

Die Standorte der BZE-LW auf Moor- und weiteren organischen Böden liegen erwartungsgemäß in den moorreichen Regionen Nord- und Süddeutschlands zu finden. Diese Regionen spiegeln sich genauso in der aktualisierten Kulisse wider: gut 86 % machen die Bundesländer Niedersachsen, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Schleswig-Holstein aus. Die Relevanz dieser Länder zeigt sich auch für alle Moorbodenkategorien (Abbildung 4-3). Während auch 86 % aller Niedermoorböden dort liegen, sind es sogar 97 % aller Hochmoorböden – dominiert von Niedersachsen mit einem alleinigen Anteil von 77 %. Dort sind auch mit Ausnahme weniger Flächen in Nordrhein-Westfalen alle Tiefumbruchböden aus Moor zu finden. Auch überdeckte Moorböden werden mit Flächendaten dieser 5 Länder überwiegend erfasst, wobei über 50 % mit flachen Überdeckungen in Niedersachsen liegen, mit mächtigen Decken dafür mit gleichem Anteil in Schleswig-Holstein.

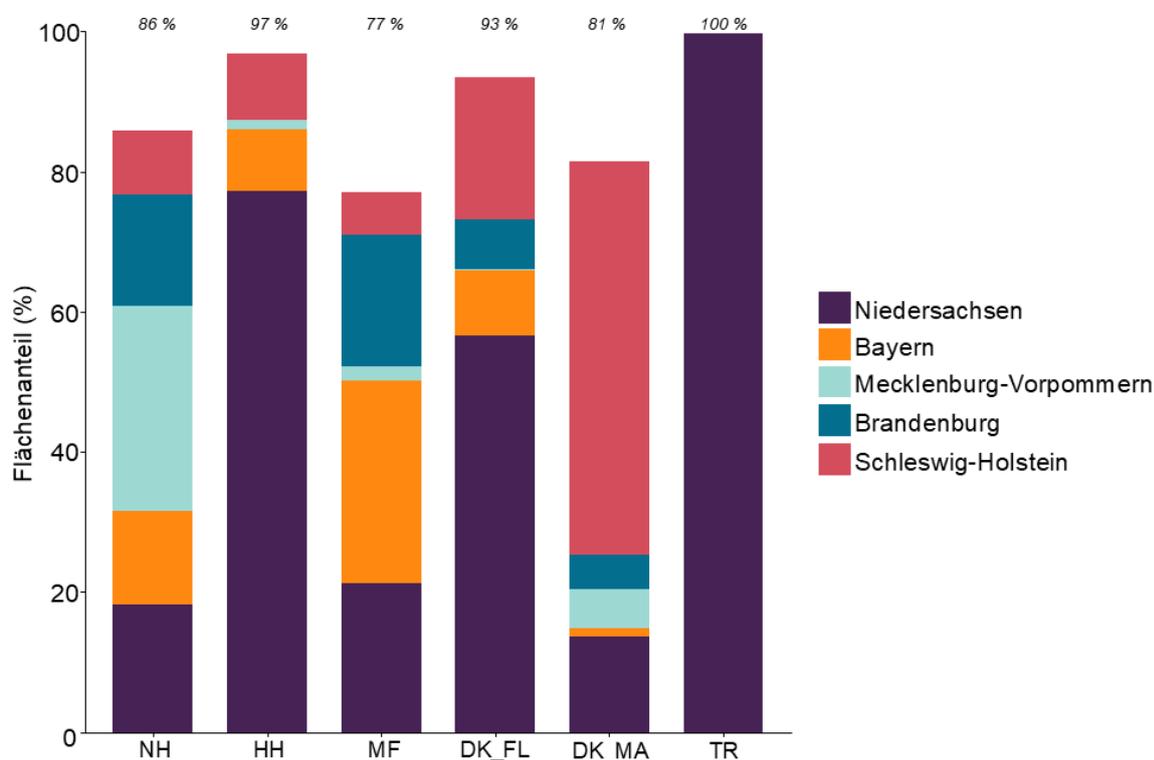


Abbildung 4-3: Prozentuale Flächenanteile der fünf moorreichsten Bundesländer an den Moorbodenkategorien der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland. Prozentzahlen über den Balken geben den Anteil an der Gesamtfläche an. NH: Niedermoorböden, HH: Hochmoorböden, MF: Moorfolgeböden, DK\_FL: flach überdeckter Moorböden, DK\_MA: mächtig überdeckter Moorböden, TR: Tiefumbruchböden aus Moor.

Basierend auf einer Verschneidung der Gesamtfläche organischer Böden nach FELL *et al.* (2012) und der landwirtschaftlichen Fläche nach ATKIS® Basis-DLM (BKG 2016) sollten insgesamt 6 % der Standorte der BZE-LW auf organischen Böden liegen. Dieser Anteil wurde jedoch sowohl im Teildatensatz von JACOBS *et al.* (2018) als auch im Gesamtdatensatz (POEPLAU *et al.* 2020) deutlich unterschritten (Tabelle 4-1). Zudem waren die Unterschiede zwischen den angenommenen und tatsächlich vorgefundenen Punkten regional unterschiedlich verteilt.

**Tabelle 4-1: Beprobungspunkte (BP) in der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft gesamt und auf Moor- und weiteren organischen (org.) Böden.**

	Anzahl BP gesamt	Anzahl BP auf org. Böden	Anteil BP auf org. Böden	Erwartete Anzahl BP auf org. Böden (Anteil von 6 %)
<b>Teildatensatz</b> (JACOBS <i>et al.</i> 2018)	2631	142	5,4 %	158
<b>Gesamtdatensatz</b> (POEPLAU <i>et al.</i> 2020)	3104	146	4,7 %	186

Für beide Datensätze wurde zusätzlich überprüft, welche Beprobungspunkte innerhalb des Flächendatensatzes der organischen Böden von FELL *et al.* (2012) lagen. Dabei zeigte sich, dass nur 69 % der Punkte auf organischen Böden mit den Flächen übereinstimmten und wiederum ein geringer Anteil von 2 % der Mineralböden fälschlicherweise Flächen organischer Böden traf. Anhand einer Abstandsanalyse der Punkte innerhalb der Flächen zu deren Rand wurde sichtbar, dass die Mineralbodenstandorte näher am Moorrand lagen (JACOBS *et al.* 2018). Dies kann darauf hindeuten, dass die Randbereiche von Mooren degradierter sind, als in den Kartengrundlagen aufgrund ihres teils hohen Alters ausgewiesen werden und sich dort bereits reine Mineralböden entwickelt haben. Allerdings sind auch räumliche Unschärfen wegen unterschiedlicher Maßstäbe (lagegenaue Kartierung vs. mittelmaßstäbige Bodenkarten) zu berücksichtigen. Die Repräsentativität und Lageprüfung konnten jedoch nur vage abgeschätzt werden, da die Datengrundlagen der zum Vergleich herangezogenen Flächendaten teilweise veraltet und hinsichtlich der Auswahl der Legendeneinheiten organischer Böden unvollständig sind. Vor allem im Bereich der „weiteren organischen Böden“ fehlen Einheiten. Dadurch wäre die eigentlich erwartete Anzahl von Beprobungspunkten organischer Böden sogar noch höher.

Als neuer Flächendatensatz steht nun die aktualisierte Kulisse organischer Böden zur Verfügung. Sie umfasst eine Gesamtfläche von 1,93 mio. ha und ist damit umfangreicher als die grundsätzlich vergleichbaren Karten im deutschlandweiten Maßstab. Erklärbar ist diese Vergrößerung vor allem aufgrund der Verwendung der aktuellen und umfassenden Daten zu Moor- und weiteren organischen Böden aller Bundesländer in einer meist mittelmaßstäbigen

Auflösung, sowie der breiten Auswahl von Legendeneinheiten der überdeckten und tiefumgebrochenen organischen Böden. Wesentliche Verbesserungen gegenüber den verwendeten Grundlagen von ROßKOPF *et al.* (2015) wurden für fast alle Bundesländer erreicht. Räumlich und inhaltlich gibt es für Bremen, Hamburg und Hessen den größten Sprung von der Geologischen Übersichtskarte 1:200.000 zu mittelmaßstäbigen amtlichen Bodenkarten bzw. für Hamburg zu einer detaillierten Moorkartierung. Auch für Berlin ersetzt eine solche Kartierung eine alte geologische Karte. Anstelle einer Kombination mehrerer sehr unterschiedlicher Datensätze konnte für Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt jeweils eine aktuelle mittelmaßstäbige Bodenkarte gewählt werden, im Fall von Brandenburg eine spezifische Moorbodenkarte. Für Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern liegen nun aktuelle und überarbeitete Versionen der bereits zuvor genutzten mittelmaßstäbigen Bodenkarten vor. Eine solche wurde auch für Sachsen dem Moorinformationssystem ergänzt. Zusätzlich ist für Sachsen und Bayern die Bodenschätzung berücksichtigt wurden, anhand derer diese beiden Länder bereits ihre GLÖZ2-Kulissen konzipiert hatten. Lediglich in Thüringen und im Saarland lagen noch die gleichen Bodendaten vor, jedoch wurde die Auswahl der Einheiten aus der aktuellen forstlichen Standortkartierung in Thüringen erneut abgestimmt.

Entsprechend zeigt auch der Verschnitt mit den Beprobungspunkten der BZE-LW eine größere Lagegenauigkeit. Die Punkte auf organischen Böden liegen nun zu 82 % ( $n = 119$ ) in den Flächen der aktualisierten Kulisse, während nur sechs Punkte auf mineralischen Böden innerhalb der Kulisse dazukommen und die Fehlerquote damit weiter bei 2 % liegt.

#### **4.2.2 Limitierungen und Verbesserungen der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland**

Auch für diese Kulisse gilt, wie für alle Flächendaten, dass sie nur so gut ist, wie ihre Datengrundlagen. Somit stehen jegliche Aussagen zur Flächenverteilung, der Moorbodenkategorien und der Ausprägung der Bodenprofilmerkmale im Kontext der tatsächlichen Datenlage im jeweiligen Bundesland. Aufgrund der fortschreitenden Torfmineralisation ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Verbreitung geringer und der Anteil an Moorfolgeböden höher ist (FELL *et al.* 2015; WEINZIERL & WALDMANN 2015; GEPP *et al.* 2023). Dies ist dadurch bedingt, dass die teils aktuelleren und hoch aufgelösten Datensätze der meisten Bundesländer nicht unbedingt auf neueren Flächenerhebungen beruhen. Folglich sind die Grunddaten zu alt, um die tatsächlich aktuelle Verbreitung zu zeigen. Gleichzeitig zeigt der Verschnitt mit den Beprobungspunkten der BZE-LW, dass organische Böden auch außerhalb der entsprechenden Legendeneinheiten der Flächenkulissen vorkommen und einige Gebiete daher unterschätzt werden.

Zudem bringt es eine Harmonisierung mit sich, dass möglicherweise Daten mit höheren Detailgraden vereinfacht werden müssen. So kam es teilweise zu einem Informationsverlust, während in anderen Datensätzen gewisse Informationen entweder ungenau oder gar nicht vorhanden waren. Außerdem wurden Böden mit an- bzw. abmoorigen Horizonten („Abmoore“) und solche aus organischen Mudden (aufgrund der vollständigen Mineralisierung der ursprünglich darüber liegenden Torfschichten) noch kaum in den Länderdaten ausgewiesen und sind entsprechend auch in der deutschlandweiten Kulisse ggf. unterrepräsentiert. Dies liegt zum einen daran, dass die Entstehung dieser Böden erst seit den letzten Jahrzehnten durch stetige Torfmineralisation infolge von langjähriger Trockenlegung und Nutzung vermehrt passiert. Zum anderen fehlten in der bodenkundlichen Kartieranleitung bisher die Möglichkeiten zur adäquaten Ansprache. Mit den Neuerungen in der KA6 sowie den laufenden Verbesserungen der Grundlagen durch die Landesbehörden ist in Zukunft damit zu rechnen, auch Abmoore, weitere kultivierte organische Böden und sogar Böden mit potenzieller Torfneubildung unter Nutzung von Paludikultur und Wiedervernässungsmaßnahmen vermehrt in den Flächendaten abgebildet zu sehen.

Eine Möglichkeit zur Erweiterung ist die Ergänzung der Einheiten um hydrogenetische Moortypen nach SUCCOW (1988) und SUCCOW & JOOSTEN (2001), da sie Auswirkungen auf bspw. die Mächtigkeiten, Torfarten und Zersetzungsgrade, und damit auf die Horizontierung haben. Bereits ROßKOPF *et al.* (2015) haben dieses Konzept in abgewandelter Form zur Bestimmung idealisierter Bodenprofile erfolgreich verwendet. Ein weiterer Schritt ist die Regionalisierung von  $C_{org}$ -Vorräten. Dafür werden viele Messdaten benötigt, die aus vorhandenen Projekten am Thünen-Institut kommen können. Ergänzend sollten sie, wie auch die Flächendaten, von den Bundesländern angefragt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht immer direkt gemessene  $C_{org}$ -Gehalte vorliegen, sondern häufig der Gesamtgehalt an OBS mittels Glühverlust bestimmt wurde. Hierfür wird ein passender Umrechnungsfaktor benötigt (siehe Kapitel 4.1.3). Bisher konnte aufgrund fehlender Informationen in den Grunddaten keine Horizontdifferenzierung vorgenommen werden. Für eine Parametrisierung bodenphysikalischer und -chemischer Eigenschaften ist dies jedoch notwendig (ROßKOPF *et al.* 2015, DETTMANN *et al.* *in prep.*).

Perspektivisch stellt das Ersetzen und Ergänzen alter Länderdaten durch neuere und/oder höher aufgelöste Flächendaten in der aktualisierten Kulisse eine wichtige Verbesserung für diesen Datensatz dar. Er ist bewusst so aufgebaut und prozessiert, dass einzelne Datensätze zunächst in das Harmonisierungskonzept überführt und dann in den Gesamtdatensatz eingebaut werden können, um eine neue Version der Kulisse zu generieren. Im Hinblick auf die Verwendung in der THG-Emissionsberichterstattung sollten bei Bedarf optimalerweise mehrere Länderdatensätze zugleich aktualisiert werden, da die Kulisse organischer Böden nur mit größerem Aufwand in der Gesamtmethodik ersetzt werden kann.

Eine weitere notwendige Verbesserung stellt das Füllen von kleinen Löchern und Lücken in und zwischen Flächen dar. Diese haben verschiedene Ursachen: einerseits kommt es zu Verschiebungen an Flächengrenzen zwischen Bundesländern oder zwischen Datensätzen innerhalb eines Bundeslandes (bei der Verwendung mehrerer Datensätze), die auf unterschiedliche Originalprojektionen, Maßstabsungenauigkeiten oder Kartierverfahren zurückzuführen sind. Andererseits sind in manchen Flächendaten Infrastruktur- oder Gewässerelemente wie Straßen, Kanäle, Seen und Stadtkerne ausgespart. Diese Fehlstellen sorgen für eine unvollständige Flächenabdeckung organischer Böden, was insbesondere bei der Parametrisierung von Modellen zu Problemen führt, da sie fälschlicherweise einen Rand des Moorkörpers darstellen und damit Berechnungen diesbezüglich beeinflussen. Zu diesem Zweck wurde bereits nach Fertigstellung der Kulisse im Jahr 2023 ein Konzept entwickelt, um diese Fehlstellen automatisiert zu detektieren und inhaltlich basierend auf einem Entscheidungsschema zu füllen und zu parametrisieren. Insgesamt sorgte dies für einen Flächenzuwachs von ca. 10.000 ha (entspricht ca. 0,5 % der Gesamtfläche, Piayda, pers. Kommunikation).

#### **4.2.3 Gebietskulissen organischer Böden in Deutschland nach GAPKondV**

Die Relevanz und Notwendigkeit von Gebietskulissen von Mooren bzw. organischen Böden wurde in den vergangenen Jahren durch die neue Konditionalitätenverordnung im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAPKondV) für die Anwendung des Standards GLÖZ2 („Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand“) hervorgehoben. In dem Kontext dienen Kulissen dem Vollzug der anzuwendenden Regeln, in diesem Fall dem Schutz von Feuchtgebieten und Mooren. Aufgrund der Anwendung der Regelungen auf Maßstabsebene von landwirtschaftlichen Schlägen, werden meist Flächendaten mit hoher räumlicher Auflösung verwendet (z.B. Bodenschätzung). Die genaue Ausweisung der Kulissen liegt in Händen der Bundesländer. In Niedersachsen bspw. fand in den vergangenen Jahren eine Neukartierung von Moor- und weiteren organischen Böden statt, um eine aktuelle Verbreitung und die Verlustraten basierend auf alten Kartenwerken zu ermitteln und eine Kulisse nach Definition §11 der GAPKondV zu erstellen (SLA 2024).

Aufgrund der Gleichzeitigkeit der Erstellung meiner Kulisse am Thünen-Institut und den GLÖZ2-Kulissen der Länder war es nicht möglich, alle Länder-Kulissen zu berücksichtigen. Zudem waren und sind die Anforderungen unterschiedliche. Während die aktualisierte Kulisse organischer Böden den Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich der Landnutzungen, sowie der umfänglichen Berücksichtigung von Moor- und weiteren organischen Böden hatte, sind bei den GLÖZ2-Kulissen nur landwirtschaftliche Flächen relevant und die Definition organischer Böden schließt mächtig überdeckte und teils auch anthropogen stark veränderte organische Böden (z.B. Baggerkühlungen, organische Böden mit einem Tiefumbruch durchgeführt vor 2020) aus. Auch wurde ein Verschnitt mit Schlaggeometrien durchgeführt und Kleinstflächen

entfernt, um den administrativen Aufwand zu begrenzen. Grundsätzlich hat es sich bewährt, über die Maßnahmen-Gebietskulissen der Länder informiert zu sein, um inhaltliche und/oder räumliche Unterschiede zu den Grundlagendaten für die deutschlandweite Kulisse zu erkennen und diskutieren zu können, sowie ggf. in Abstimmung die großmaßstäbigen Flächen zu ergänzen (durchgeführt für die Länder Bayern und Sachsen, siehe Appendix B).

#### 4.2.4 Flächendaten organischer Böden in anderen Ländern

Auch auf internationaler Ebene sind Verbesserungen hinsichtlich der Flächendaten zu organischen Böden erforderlich und in manchen Ländern bereits auf gutem Weg. BARTHELMES (2018) stellte für einige EU-Länder Diskrepanzen zwischen dem berichteten Flächenumfang im jeweiligen NIR und den damaligen Daten der *Global Peatland Database* fest, was oft zu einer Unterschätzung der berichteten THG-Emissionen führt. Die vollständige Erfassung und Darstellung von Moor- und weiteren organischen Böden ist für verschiedene Zwecke zwar empfohlen und sollte angestrebt werden, lässt sich jedoch nicht unbedingt einfach umsetzen, da vor allem die flächengenauen Kartierungen zeit- und kostenintensiv sind. Der Bericht der FAO (2020) fokussiert sich daher stark auf Fernerkundungsmethoden, ebenso wie der Übersichtsartikel von MINASNY *et al.* (2019). Es wird viel Potential und Forschungsbedarf gesehen, jedoch auch auf Limitierungen hingewiesen. So gibt es vor allem Schwierigkeiten in der Erkennung von Moor- bzw. organischen Böden, die nicht mehr ihre natürliche Vegetation aufweisen. Auch die Torfmächtigkeit als relevante Größe zur Bestimmung der gesamten  $C_{org}$ -Vorräte lässt sich nicht allein fernerkundlich bestimmen.

MINASNY *et al.* (2024) geben eine aktuelle Übersicht über den Wissensstand zur Kartierung und zum Monitoring von Mooren und ihren Eigenschaften und zeigen Beispiele der aktuellen Flächendaten aus mehreren Staaten. Für Kanada wurde festgestellt, dass es eine bessere Koordinierung und Abstimmung zwischen den jeweiligen Provinzen braucht. Dies lässt sich auch mit der Situation in Deutschland vergleichen, wo der geschilderte Ansatz für die aktualisierte Kulisse organischer Böden durch intensiven Austausch, Abstimmungen und Iterationen sehr erfolgreich verlaufen ist. Ein ähnliches Vorgehen der Kombination mehrerer bodenkundlicher und geologischer Karten, ergänzt durch weitere Untersuchungen, wurde für die Karten in Schottland, England, Wales und Nordirland durchgeführt, die zur einheitlichen Karte des Vereinigten Königreichs zusammengefügt wurden (EVANS *et al.* 2017). Hier stellten MINASNY *et al.* (2024) heraus, dass erneut Überarbeitungsbedarf der genauen Flächenkartierung besteht, da Anreize dafür durch das Programm „*The Peatland Code*“ gegeben sind. Darin werden Restaurierungsmaßnahmen durch den Verkauf von Kohlenstoff-Zertifikaten im Rahmen des freiwilligen Marktes finanziert (<https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/peatland-code-0>). Genaue Karten spielen dabei eine große Rolle.

Andere Länder nutzen bereits komplexere digitale Bodenkartierungsmethoden („*digital soil mapping*“, DSM). So gibt es in Finnland eine umfangreiche Datenbank der Moore mit unterschiedlichsten Informationen und eine generierte Karte in einer Auflösung von 10 m ([www.geo.fi](http://www.geo.fi)). Für die Republik Irland wurde von GILET *et al.* (2024) eine neue Moorkarte veröffentlicht, die die bisherige Karte von CONNOLLY & HOLDEN (2009) aufgreift und verbessert. Der Vorteil besteht darin, dass bereits die Karte aus 2009 mit einem Entscheidungsbaum-Ansatz für verschiedene Datenquellen so aufgebaut war, dass sie stetig weiterentwickelt werden kann. Eine wichtige Neuerung ist zudem die Erweiterung der Definition um organische Böden mit mindestens 8,6 % OBS-Gehalten und mindestens 10 cm Mächtigkeit. Damit folgen sie den Erkenntnissen von LOURENCO *et al.* (2023), die die Relevanz dieser sogenannten „*low-percentage and high-density carbon soils*“ hervorhoben, wobei es teils noch große Unterschiede zwischen den nationalen Klassifikationen für Torf und organische Böden gibt. Als ein letztes Beispiel soll auf Dänemark verwiesen werden, wo viele Projekte und Studien stattfinden, um die Berechnung und Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Mooren zu verbessern. BEUCHER *et al.* haben im Jahr 2023 die bisherige Karte der organischen Böden Dänemarks aktualisiert, indem sie ebenfalls neue Daten und DSM-Methoden verwendeten. Im Unterschied zu den anderen erwähnten Daten ist definitorisch nur der C<sub>org</sub>-Gehalt in den oberen 30 cm relevant und auch nur dieser wird in der Karte gezeigt. Ähnlich zur irischen Karte werden Böden ab 6 % C<sub>org</sub>-Gehalten miteinbezogen, was zur Studie von LIANG *et al.* (2024) passt, in der die große Relevanz dieser Böden bzgl. ihrer THG-Emissionen in Dänemark bestätigt wird. Diese Beispiele zeigen, dass die Einbeziehung von Moorfolgeböden und geringmächtigen Torfen in die aktualisierte Kulisse organischer Böden dem aktuellen internationalen wissenschaftlichen Diskussionsstand entspricht.

Ein Vorteil von Karten, die anhand von DSM-Methoden harmonisiert werden, ist die Möglichkeit der Unsicherheitsquantifizierung und Berechnung von Wahrscheinlichkeiten des Vorhandenseins für die Ausweisung der jeweiligen Flächen oder Einheiten. Dies ist mit einer reinen Kombination verschiedener Datensätze, wie in der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland, nicht möglich.

### 4.3 Eigenschaften von Moor- und weiteren organischen Böden

An 146 Standorten der BZE-LW wurden aus Feldansprachen und Labormessungen wertvolle Informationen zum bodenkundlichen Profilaufbau und zu elementaren Kenngrößen Moor- und weiterer organischer Böden gewonnen. Die starke Prägung durch die landwirtschaftliche Nutzung zeigte sich in Form von tiefgreifender Entwässerung, stark degradierten Torfhorizonten und anthropogenen Veränderungen, wie mineralischen Überdeckungen und Tiefumbrüchen.

Insgesamt speichern Moor- und weitere organische Böden im oberen Meter im Mittel etwa 5-mal so viel  $C_{org}$  wie mineralische Böden, was ihre Relevanz insbesondere angesichts ihres geringen Flächenanteils von nur ca. 6 % an der Acker- und Grünlandfläche (5,4 % an der Gesamtfläche, Kapitel 3.3.3) in Deutschland hervorhebt. Die Wichtigkeit der abmoorigen, überdeckten und tiefumgebrochenen organischen Böden wird zusätzlich dadurch unterstrichen, dass auch in diesen Böden die  $C_{org}$ -Vorräte deutlich über denen der Mineralböden liegen. Folglich sind auch diese hohen und schätzenswerten Vorräte durch fortschreitende Entwässerung gefährdet, da es potenziell zu hohen  $CO_2$ -Emissionen kommt. Erstmals wurden in diesem Maßstab auch die N-Gehalte gemessen und daraus die Vorräte bestimmt. Diese sind mit im Mittel knapp  $30 \text{ t ha}^{-1}$  im oberen Meter vergleichbar hoch wie die der Mineralböden. Damit zeigt sich erneut die Bedeutung entwässerter und gedüngter organischer Böden hinsichtlich potenzieller Verluste als  $N_2O$ -Emissionen (LEPPELT *et al.* 2014; OFFERMANN *et al.* 2023) oder Nitratausträge in Oberflächengewässer (TIEMEYER & KAHLE 2014).

Anhand dieses deutschlandweiten Datensatzes konnten Pedotransferfunktionen (PTF) für die TRD und die  $C_{org}$ -Dichte in Abhängigkeit vom  $C_{org}$ -Gehalt abgeleitet werden. Das ist für Studien notwendig, bei denen die TRD z.B. aufgrund des hohen Probenahme- und Bestimmungsaufwandes nicht direkt ermittelt werden kann oder konnte. Während der Zusammenhang zwischen  $C_{org}$  und TRD bereits gut erforscht ist (z.B. RUEHLMANN & KÖRSCHENS (2009); SONNEVELD & VAN DEN AKKER 2011, TIEMEYER *et al.* 2017, DETTMANN *et al. in prep.*), ist die  $C_{org}$ -Dichte bislang weniger beachtet worden (BARTHELMES 2018). Generell spielen PTF eine Schlüsselrolle bei der Berechnung von Stoffvorräten und sollten für organische Böden mit zusätzlichen Parametern verfeinert werden (DETTMANN *et al. in prep.*).

Die aktualisierte Kulisse zeigt die Eigenschaften Moor- und weiterer organischer Böden auf Basis der Flächendaten der Bundesländer. Das entwickelte Harmonisierungskonzept ermöglicht vielseitige Auswertungen der sieben definierten Merkmale (Kapitel 3.2.2). Sie können einzeln (z.B. Torfmächtigkeit) oder auch in Kombination (z.B. Mächtigkeit und mineralisches Substrat von Überdeckungen) betrachtet werden. Aufgrund der Eingangsdaten lassen sich Betrachtungen für kleine bis mittlere Maßstäbe gut realisieren (z.B. KOPPENSTEINER *et al.* 2023). Für großmaßstäbige Fragestellungen und Auswertungen bis hin zur einzelnen

Fläche ist die Kulisse ungeeignet. Hierfür sind stets standortgenaue, aktuelle bodenkundliche Profilaufnahmen und Laboranalysen durchzuführen, sowie großmaßstäbige Kartenwerke wie bspw. die Bodenschätzung oder forstliche Standortskartierung heranzuziehen. Diese sind nur für wenige Bundesländer flächenscharf in die aktualisierte Kulisse eingegangen (Tabelle 3-1).

Ich konnte feststellen, dass bereits wenige Merkmalskombinationen den Großteil der Fläche beschreiben (hauptsächlich Niedermoorböden mit verschiedenen Torfmächtigkeiten; Tabelle 3-8), sodass zukünftige Schritte in Richtung der Parametrisierung der Einheiten fokussierend auf diesen häufigsten Kombinationen aufbauen können. Gerade für die weiteren Anwendungsfelder der THG-Emissionsberichterstattung wird eine solche Ergänzung um weitere Bodeneigenschaften angestrebt (siehe Kapitel 4.2.2).

#### 4.4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse meiner Dissertation tragen wesentlich zum besseren Verständnis der Klassifikation, der Verbreitung und den Eigenschaften von Moor- und weiteren organischen Böden in Deutschland bei.

Im Rahmen der ersten BZE-LW wurde anhand dieser einmaligen Datengrundlage das eigens konzipierte Klassifikationsschema für die stark gestörten, landwirtschaftlich genutzten Moor- und weiteren organischen Böden angewendet. Damit konnten die Schwierigkeiten der Klassifikation mit der offiziellen Bodensystematik nach KA5 umgangen und die erhobenen Bodenparameter anhand von sechs Moorklassen (später: Moorbodenkategorien) ausgewertet werden. Das Schema wurde für die Harmonisierung der Bodenflächendaten der Bundesländer weiterentwickelt.

Die aktualisierte Kulisse bildet die insgesamt 1,93 Mio. ha Moor- und weiteren organischen Böden in Deutschland anhand vereinfachter Moorbodenkategorien ab. Diese sind aus mehreren Merkmalsausprägungen und Bodenprofileigenschaften abgeleitet, die für die Ermittlung von  $C_{org}$ -Vorräten und Steuergrößen der THG-Emissionen von größerer Bedeutung sind als bspw. die Differenzierung von Bodentypen nach bodenkundlicher Kartieranleitung. Wesentliche Neuerungen dieser Kulisse sind die überwiegend mittelmaßstäbigen und aktuellen Eingangsdaten, die inhaltliche Harmonisierung und die umfangreiche Dokumentation. Damit stellt sie einen einzigartigen Datensatz für die Arbeit mit Moor- und weiteren organischen Böden in Deutschland dar. Sie dient bereits seit Herbst 2024 als neue Flächenkulisse in der THG-Emissionsberichterstattung und bildet zudem die neue Grundlage für die Berechnung von Wasserständen in diesen Böden, wodurch die Ermittlung von THG-Emissionen deutlich verbessert wird. Ein weiterer Vorteil ist die freie Verfügbarkeit des Datensatzes inklusive aller Inhalte mit Beschreibung der Vorgehensweise und der verwendeten Eingangsdaten der Länder (WITTNEBEL et al. 2023b). Von großer Bedeutung ist in diesem Kontext die stets offene und transparente Kommunikation und Abstimmung mit allen

Vertreterinnen und Vertretern der datengebenden Institutionen. Ein regelmäßiger Austausch ist für das Gelingen solcher Projekte unabdingbar und sollte daher, bspw. für die fortlaufende Aktualisierung einzelner Länderdaten in der Kulisse, weitergeführt und priorisiert werden.

Nach den Daten der BZE-LW stellen die Moor- und weiteren organischen Böden mit knapp  $530 \text{ t C}_{\text{org}} \text{ ha}^{-1}$  im oberen Meter den größten  $\text{C}_{\text{org}}$ -Speicher der landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland dar. Im Rahmen von MoMoK wurden das Beprobungsdesign (FRANK et al. 2022) und die Probenahmetechnik (DETTMANN et al. 2022) speziell auf diese Böden angepasst. Daher sind in Zukunft genauere Daten für alle untersuchten Moorbodenkategorien zu erwarten. Die Bestimmung des  $\text{C}_{\text{org}}$ -Vorrats bleibt dennoch aufwendig, insbesondere im Hinblick auf die Messung der TRD. Bei Fehlen dieses Parameters helfen die aus  $\text{C}_{\text{org}}$ -Gehalten ermittelten PTF bei der Bestimmung von TRD,  $\text{C}_{\text{org}}$ -Dichten und -Vorräten für andere Datensätze. Sie sollten kontinuierlich durch weitere Daten ergänzt und verbessert werden. Dies gilt vor allem hinsichtlich der zukünftig angestrebten Parametrisierung von Profilen der Moor- und weiteren organischen Böden in der aktualisierten Kulisse. Es ist zu erwarten, dass die vorhandenen und zu beschaffenden Daten nicht alle Messwerte aufweisen werden, sodass PFT und weitere Untersuchungen, z.B. zum Umrechnungsfaktor von OBS und  $\text{C}_{\text{org}}$ , eine zentrale Rolle spielen werden.

## Literaturverzeichnis

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Hannover, 438 pp.
- AD-HOC-AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Hannover, 392 pp.
- AG BODEN (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung KA6 in zwei Bänden. 6. komplett überarbeitete und erweiterte Auflage. In Kommission bei der E. Schweizerbart'schen Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 552 pp.
- ALBRECHT, C., JAHN, R. & HUWE, B. (2005): Bodensystematik und Bodenklassifikation Teil II: Zur Situation in der deutschen Bodenkunde. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **168**: 157–168. <https://doi.org/10.1002/jpln.200421475>
- 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>
- AMELUNG, W., BLUME, H.-P., FLEIGE, H., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.-M. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 17., überarbeitete und ergänzte Auflage., – Springer Spektrum, Berlin [Heidelberg], 749 pp.
- BAMBALOV, N. (1999): Dynamics of organic matter in peat soil under the conditions of sand-mixing culture during 15 years (a short communication). *International Agrophysics* **13**: 269–272.
- BARTHELMES, A. (ed.). (2018): Reporting greenhouse gas emissions from organic soils in the European Union: challenges and opportunities. Policy brief. Proceedings of the Greifswald Mire Centre 02/2018 (self-published, ISSN xy)
- BATJES, N. H. (1996): Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* **47**(2): 151–163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x>
- BECHTOLD, M., TIEMEYER, B., LAGGNER, A., LEPELT, 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**(9): 3319–3339. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3319-2014>
- BELLAMY, P. H., LOVELAND, P. J., BRADLEY, R. I., LARK, R. M. & KIRK, G. J. D. (2005): Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* **437**: 245–248. <https://doi.org/10.1038/nature04038>
- BEUCHER, A., WEBER, P. L., HERMANSEN, C., PESCH, C., KOGANTI, T., MØLLER, A. B., GOMES, L., GREVE, M. & GREVE, M. H. (2023): Updating the Danish peatland map with a combination of new data and modeling approaches. Advisory report from DCA – Danish Centre for Food and Agriculture Aarhus University, 66 p.
- BEYER, C. (2014): Greenhouse gas exchange of organic soils in Northwest Germany: effects of organic soil cultivation, agricultural land use and restoration. Dissertation, Universität Bremen.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2013): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000
- 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)

- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (2016): Digitales Basis-Landschaftsmodell für Deutschland 2016
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (2020): Digitales Basis-Landschaftsmodell für Deutschland 2020
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (2019): Verwaltungsgebiete 1:250.000
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2024): Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn.  
<https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/vierte-bundeswaldinventur.html> (letzter Zugriff am 10.01.2025)
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) (2023): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz - Kabinettsbeschluss vom 29. März 2023. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Berlin.
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) (2022): Nationale Moorschutzstrategie. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Berlin.
- 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.  
<https://www.hamburg.de/contentblob/9096684/1ee16e391e76c8521530f40bd07ca975/data/dmoorbericht.pdf> (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- BUND UND LÄNDER (2021): Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz.  
[https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Landwirtschaft/Klimaschutz/moorbodenschutz-blzv.pdf](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Klimaschutz/moorbodenschutz-blzv.pdf) (letzter Zugriff am 10.01.2025)
- CAPELLE, A. & BURGHARDT, H. (2007): Zur bodentypologischen Profilsprache anthropogen veränderter Moor- und Mineralböden. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* **110**: 63-64.
- CHAPMAN, S. J., BELL, J. S., CAMPBELL, C. D., HUDSON, G., LILLY, A., NOLAN, A. J., ROBERTSON, A. H. J., POTTS, J. M. & TOWERS, W. (2013): Comparison of soil carbon stocks in Scottish soils between 1978 and 2009. *European Journal of Soil Science* **64**(4): 455–465. <https://doi.org/10.1111/ejss.12041>
- CHAPMAN, S. J., FARMER, J., MAIN, A. & SMITH, J. (2017): Refining pedotransfer functions for estimating peat bulk density. *Mires and Peat* **19**(23): 1–11. <https://doi.org/10.19189/MaP.2017.OMB.281>
- CHMIELESKI, J. & ZEITZ, J. (2006): Bodenbildung in entwässerten Mudden. *TELMA* **36**: 39–52.  
<https://doi.org/10.23689/FIDGEO-3039>
- CLYMO, R. S. (1984): The Limits to Peat Bog Growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* **303**(1117): 605–654.
- CONNOLLY, J. & HOLDEN, N. M. (2009): Mapping peat soils in Ireland: updating the derived Irish peat map. *Irish Geography* **42**(3): 343–352. <https://doi.org/10.1080/00750770903407989>
- CONSTANTIN, G. L., GEHRT, E. & ZEITZ, J. (2022): Das WIKIMooS-Feldbuch zur Horizontansprache in Moorböden (1. Auflage). Humboldt-Universität zu Berlin (Hrsg.), Berlin, 174 S. DOI: 10.18452/27142.

- DETTMANN *et al.* (in prep.) Properties of European peat and other organic soils: Part I - Physical and chemical characteristics, Part II – Pedotransfer functions based on properties described in the field and/or laboratory
- DETTMANN, U. (2019): SoilHyP. Soil Hydraulic Properties. R package version 0.1.3. Online unter: <https://CRAN.R-project.org/package=SoilHyP> (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- DETTMANN, U., FRANK, S., WITTNEBEL, M., PIAYDA, A. & TIEMEYER, B. (2022): How to take volume-based peat samples down to mineral soil? *Geoderma* **427**: 116132. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116132>
- DIN ISO 11277 (1998): Soil quality - Determination of particle size distribution in mineral soil material - Method by sieving and sedimentation. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Deutschland.
- DOWLE, M. & SRINIVASAN, A. (2019): data.table: Extension of 'data.frame'. R package version 1.12.8. Online at: <https://CRAN.R-project.org/package=data.table> (letzter Zugriff am 01.07.2020)
- DUAN, Q., SOROOSHIAN, S. & GUPTA, V. (1992): Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research* **28**(4): 1015–1031. <https://doi.org/10.1029/91WR02985>
- EBERHARDT, E., FLECK, W. & AG BODENSYSTEMATIK (2019): Statusbericht Bodensystematik. Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission V. 24.-29. August 2019, Bern.
- EICKENSCHIEDT, 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**(17): 5161–5184. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5161-2015>
- EU (European Union) (2021): Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')
- EU (European Union) (2023): Regulation (EU) 2023/839 of the European Parliament and of the Council of 19 April 2023 amending Regulation (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the reporting and compliance rules, and setting out the targets of the Member States for 2030, and Regulation (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review (Text with EEA relevance)
- EU (European Union) (2024): Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869 (Text with EEA relevance)
- EVANS, C., ARTZ, R., MOXLEY, J., SMYTH, M.-A.-, TAYLOR, E., ARCHER, N., BURDEN, A., WILLIAMSON, J., DONNELLY, D., THOMSON, A., BUYS, G., MALCOM, H., WILSON, D., RENOU-WILSON, F. & POTTS, J. (2017): Implementation of an emission inventory for UK peatlands. Centre for Ecology and Hydrology, Bangor.
- EVANS, C. D., CALLAGHAN, N., JAYA, A., GRINHAM, A., SJÖGERSTEN, S., PAGE, S. E., HARRISON, M. E., KUSIN, K., KHO, L. K., LEDGER, M., EVERS, S., MITCHELL, Z., WILLIAMSON, J., RADBOURNE, A. D. & JOVANI-SANCHO, A. J. (2021): A Novel Low-Cost, High-Resolution Camera System for Measuring Peat Subsidence and Water Table Dynamics. *Frontiers in Environmental Science* **9**(630752). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.630752>

- EVANS, C. D., PEACOCK, M., BAIRD, A. J., ARTZ, R. R. E., BURDEN, A., CALLAGHAN, N., CHAPMAN, P. J., COOPER, H. M., COYLE, M., CRAIG, E., CUMMING, A., DIXON, S., GAUCI, V., GRAYSON, R. P., HELFTER, C., HEPPELL, C. M., HOLDEN, J., JONES, D. L., KADUK, J., LEVY, P., MATTHEWS, R., MCNAMARA, N. P., MISSELBROOK, T., OAKLEY, S., PAGE, S. E., RAYMENT, M., RIDLEY, L. M., STANLEY, K. M., WILLIAMSON, J. L., 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>
- EWING, J. M., VEPRASKAS, M. J., BROOME, S. W. & WHITE, J. G. (2012): Changes in wetland soil morphological and chemical properties after 15, 20, and 30 years of agricultural production. *Geoderma* **179–180**: 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.02.018>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2020): Peatlands mapping and monitoring - Recommendations and technical overview. Rome. Online unter: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8200en> (letzter Zugriff am 10.01.2025)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1998): World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports **84**, Rome, 88 pp.
- FELL, H., ROßKOPF, N., BAURIEGEL, A., HASCH, B., SCHIMMELMANN, M. & ZEITZ, J. (2015): Erstellung einer aktualisierten Moorkarte für das Land Brandenburg. *TELMA* **45**: 75–104. <https://doi.org/10.23689/FIDGEO-2898>
- 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* **14**(Art. 3).
- FLEISCHMANN, R. & VOIGT, H. (1963): Die Entstehung und Entwicklung der umgespitteten Böden im Küstenmoor des Jadebusens. *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., TIEMEYER, B., GELBRECHT, J. & FREIBAUER, A. (2014): High soil solution carbon and nitrogen concentrations in a drained Atlantic bog are reduced to natural levels by 10 years of rewetting. *Biogeosciences* **11**(8): 2309–2324. <https://doi.org/10.5194/bg-11-2309-2014>
- FROLKING, S. & ROULET, N. T. (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>
- FROLKING, S., TALBOT, J., JONES, M. C., TREAT, C. C., KAUFFMAN, J. B., TUUTTILA, E.-S. & ROULET, N. (2011): Peatlands in the Earth's 21st century climate system. *Environmental Reviews* **19**: 371–396. <https://doi.org/10.1139/a11-014>
- GAUDIG, G., KREBS, M., PRAGER, A., WICHMANN, S., & AND 30 OTHERS. (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): Erläuterung zur BK50 von Niedersachsen. *GeoBerichte* **40**, Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe, Hannover.
- 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**(3): 104–113.
- GIANI, L., KÜCKS, U. & STRAATMANN, M. (1997): Genese und Klassifikation von Organomarschen der Wesermarsch. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **160**(1): 15–20. <https://doi.org/10.1002/jpln.19971600105>
- GILET, L., MORLEY, T. R., FLYNN, R. & CONNOLLY, J. (2024): An adaptive mapping framework for the management of peat soils: A new Irish peat soils map. *Geoderma* **447**: 116933. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116933>
- GORHAM, E. (1991): Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications* **1**(2): 182–195. <https://doi.org/10.2307/1941811>
- GÖTTLICH, K. (1990): Moor- und Torfkunde. 3. vollständig überarbeitete, ergänzte und erweiterte Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.
- GRÜNEBERG, E., ZICHE, D. & WELLBROCK, N. (2014): Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology* **20**(8): 2644–2662. <https://doi.org/10.1111/gcb.12558>
- HEIKKINEN, J., KETOJA, E., NUUTINEN, V. & REGINA, K. (2013): Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology* **19**(5): 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>
- HFA (2005): Handbuch Forstliche Analytik: Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. mit Ergänzungen 1 bis 5 (Oktober 2014). GUTACHTERAUSSCHUSS FORSTLICHE ANALYTIK & BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (eds). – Berlin. Online unter: [https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfv/publikationen/pdf/konig\\_2014\\_handbuch\\_forstliche\\_analytik\\_eine.pdf](https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfv/publikationen/pdf/konig_2014_handbuch_forstliche_analytik_eine.pdf) (letzter Zugriff am 08.01.2025)
- HIEDERER, R. & KÖCHY, M. (2011): Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database. JRC Scientific and Technical Reports EUR 25225 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 79 pp.
- HIRSCHLER, O. & OSTERBURG, B. (2022): Peat extraction, trade and use in Europe: a material flow analysis. *Mires and Peat* **28**(24): 1–27. <https://doi.org/10.19189/MaP.2021.SNPG.StA.2315>
- HÖPER, H. (2015): Treibhausgasemissionen aus Mooren und Möglichkeiten der Verringerung. *TELMA* **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**, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, 12S. [https://doi.org/10.48476/geofakt\\_37\\_1\\_2022r](https://doi.org/10.48476/geofakt_37_1_2022r).
- HOTHORN, T., BRETZ, F. & WESTFALL, P. (2008): Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal* **50**(3): 346–363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- ILNICKI, P. & ZEITZ, J. (2003): Irreversible loss of organic soil functions after reclamation. In: PARENT, L.E. & ILNICKI, P. (eds.): *Organic Soils and Peat Materials for Sustainable Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, Pp. 15–32.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.
- 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.
- IUSS WORKING GROUP WRB (2022): World reference base for soil resources 2022: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition,. – International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
- 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., HOPFSTOCK, R., JACONI, A., KOLATA, H., LORBEER, M., SCHRÖDER, J., LAGGNER, A., WEISER, C. & FREIBAUER, A. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Thünen Report **64**. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. <https://doi.org/10.3220/REP1542818391000>
- JOOSTEN, H., TANNEBERGER, F. & MOEN, A. (eds). (2017): Mires and Peatlands of Europe. Status, distribution and conservation. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart, 780 pp.
- KECHAVARZI, C., DAWSON, Q. & LEEDS-HARRISON, P. B. (2010): Physical properties of low-lying agricultural peat soils in England. *Geoderma* **154**(3–4): 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.018>
- KLEINEN, T., BROVKIN, V. & SCHULDT, R. J. (2012): A dynamic model of wetland extent and peat accumulation: results for the Holocene. *Biogeosciences* **9**(1): 235–248. <https://doi.org/10.5194/bg-9-235-2012>
- KLINGENFUß, C., MÖLLER, D., HELLER, C., THRUM, T., KÖBERICH, K. & ZEITZ, J. (2015): Berliner Moorböden im Klimawandel - Entwicklung einer Anpassungsstrategie zur Sicherung ihrer Ökosystemdienstleistungen. UEP II Forschungsprojekt, Abschlussbericht. Humboldt-Universität zu Berlin.
- KLINGENFUß, C., ROßKOPF, N., WALTER, J., HELLER, C. & ZEITZ, J. (2014): Soil organic matter to soil organic carbon ratios of peatland soil substrates. *Geoderma* **235–236**: 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.010>. Online unter: <http://www.berliner-moorboeden.hu-berlin.de/content/project.php> (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- KOPPENSTEINER, W., WEGMANN, J., ISCHEBECK, M., LAGGNER, A. & TIEMEYER, B. (2023): Ermittlung von Potenzialgebieten für Moorschutzmaßnahmen in Deutschland. *Natur und Landschaft* **98**(03): 94–103. <https://doi.org/10.19217/NuL2023-03-01>
- KUNTZE, H. (1982): Die Anthropogenese nordwestdeutscher Grünlandböden. *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen* **39**: 379–395.
- KUNTZE, H. (1987): Prozesse der Bodenentwicklung auf Sandmischkulturen. *TELMA* **17**: 41–49.
- KUNTZE, H. (1972): Rekultivierung gealterter Moorkulturen. *TELMA* **2**: 109–118.
- LÅNG, K. & HETMANENKO, V. (2023): Effect of soil properties on soil respiration in cultivated soils with varying organic matter content. *Mires and Peat* **29**(13): 1–7. <https://doi.org/10.19189/MaP.2022.BG.Sc.1991295>

- LBEG (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie) (2022): MoorIS Niedersachsen - Entstehung der Hochmoore; angepasst. Katharina Hauck-Bramsiepe aus Overbeck, F. (1941): Entwicklung eines Hochmoores in Niedersachsen. In: Gripp, K., F. Dervers und F. Overbeck (Hrsg.): Das Känozoikum in Niedersachsen. Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, Band 3
- LBGR (Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe) (2020): Referenzierte Moorkarte (2013) für das Land Brandenburg
- LBGR (Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe) (2022): Referenzierte Moorkarte (2021), FISBO LBGR. Online unter: <https://lbgr.brandenburg.de/lbgr/de/geologischer-dienst/bodengeologie/downloads/> (letzter Zugriff am 08.01.2025)
- LEIBER-SAUHEITL, K., FUß, Roland., VOIGT, C. & FREIBAUER, A. (2014): High CO<sub>2</sub> fluxes from grassland on histic Gleysol along soil carbon and drainage gradients. *Biogeosciences* **11**(3): 749–761. <https://doi.org/10.5194/bg-11-749-2014>
- LEIFELD, J. (2018): Distribution of nitrous oxide emissions from managed organic soils under different land uses estimated by the peat C/N ratio to improve national GHG inventories. *Science of The Total Environment* **631–632**: 23–26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.328>
- LEIFELD, J. & MENICHETTI, L. (2018): The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications* **9**(1071). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03406-6>
- LEIFELD, J., WÜST-GALLEY, C. & PAGE, S. (2019): Intact and managed peatland soils as a source and sink of GHGs from 1850 to 2100. *Nature Climate Change* **9**(12): 945–947. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0615-5>
- LEPPELT, T., DECHOW, R., GEBBERT, S., FREIBAUER, A., LOHILA, A., AUGUSTIN, J., DRÖSLER, M., FIEDLER, S., GLATZEL, S., HÖPER, H., JÄRVEOJA, J., LÆRKE, P. E., MALJANEN, M., MANDER, Ü., MÄKIRANTA, P., MINKKINEN, K., OJANEN, P., REGINA, K. & STRÖMGREN, M. (2014): Nitrous oxide emission budgets and land-use-driven hotspots for organic soils in Europe. *Biogeosciences* **11**(23): 6595–6612. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6595-2014>
- LfU (Landesamt für Umwelt) (2022): Auszug aus dem Entwurf zur BK50 des Landes Schleswig-Holstein
- LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2021): Übersichtsmoorbodenkarte im Maßstab 1:25.000 (MBK25). Online unter: [https://www.lfu.bayern.de/boden/karten\\_daten/uembk25/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/boden/karten_daten/uembk25/index.htm) (letzter Zugriff am 03.02.2025)
- LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2011): Informationssystem Moore. Schriftenreihe, Heft 14/2011. Online unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14936> (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- LGRB (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) (2022): Dokumentation GeoFachdaten BW – Bodenkunde. Readme\_bk, Stand: Mai 2022, Freiburg.
- LIANG, Z., HERMANSEN, C., WEBER, P. L., PESCH, C., GREVE, M. H., DE JONGE, L. W., MÄENPÄÄ, M., LEIFELD, J. & ELSGAARD, L. (2024): Underestimation of carbon dioxide emissions from organic-rich agricultural soils. *Communications Earth & Environment* **5**(1): 286. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01459-8>
- LIU, H., PRICE, J., REZANEZHAD, F. & LENNARTZ, B. (2020): Centennial-Scale Shifts in Hydrophysical Properties of Peat Induced by Drainage. *Water Resources Research* **56**(10): e2020WR027538. <https://doi.org/10.1029/2020WR027538>

- LIU, H., ZAK, D., REZANEZHAD, F. & LENNARTZ, B. (2019): Soil degradation determines release of nitrous oxide and dissolved organic carbon from peatlands. *Environmental Research Letters* **14**(094009): 9 pp. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3947>
- 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. Online unter: <https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/N/naturschutz/Downloads/moorbroschuere.html> (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- LOISEL, J., YU, Z., BEILMAN, D. W., CAMILL, P., ALM, J., AMESBURY, M. J., ANDERSON, D., ANDERSSON, S., BOCHICCHIO, C., BARBER, K., BELYEA, L. R., BUNBURY, J., CHAMBERS, F. M., CHARMAN, D. J., DE VLEESCHOUWER, F., FIAŁKIEWICZ-KOZIEŁ, B., FINKELSTEIN, S. A., GAŁKA, M., GARNEAU, M., HAMMARLUND, D., HINCHCLIFFE, W., HOLMQUIST, J., HUGHES, P., JONES, M. C., KLEIN, E. S., KOKFELT, U., KORHOLA, A., KUHR, P., LAMARRE, A., LAMENTOWICZ, M., LARGE, D., LAVOIE, M., MACDONALD, G., MAGNAN, G., MÄKILÄ, M., MALLON, G., MATHIJSEN, P., MAUQUOY, D., MCCARROLL, J., MOORE, T. R., NICHOLS, J., O'REILLY, B., OKSANEN, P., PACKALEN, M., PETEET, D., RICHARD, P. J., ROBINSON, S., RONKAINEN, T., RUNDGREN, M., SANNEL, A. B. K., TARNOCAI, C., THOM, T., TUUTTILA, E.-S., TURETSKY, M., VÄLIRANTA, M., VAN DER LINDEN, M., VAN GEEL, B., VAN BELLEN, S., VITT, D., ZHAO, Y. & ZHOU, W. (2014): A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation. *The Holocene* **24**(9): 1028–1042. <https://doi.org/10.1177/0959683614538073>
- LOURENCO, M., FITCHETT, J. M. & WOODBORNE, S. (2023): Peat definitions: A critical review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* **47**(4): 506–520. <https://doi.org/10.1177/03091333221118353>
- LUA (Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz des Saarlandes, vorher: LfU, Landesamt für Umweltschutz) (2001): Erläuterungen zur Bodenübersichtskarte des Saarlandes 1.100.000 (BÜK100). Saarbrücken.
- LUTHARDT, V. & ZEITZ, J. (eds). (2014): Moore in Brandenburg und Berlin. Natur+Text, Rangsdorf, 384 pp.
- MALJANEN, M., KOMULAINEN, V.-M., HYTÖNEN, J., MARTIKAINEN, P. J. & LAINE, J. (2004): Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* **36**(11): 1801–1808. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.05.003>
- MALJANEN, M., SIGURDSSON, B. D., GUÐMUNDSSON, J., ÓSKARSSON, H., HUTTUNEN, J. T. & MARTIKAINEN, P. J. (2010): Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences* **7**: 2711–2738. <https://doi.org/10.5194/bg-7-2711-2010>
- MEIER-UHLHERR, R., SCHULZ, C. & LUTHARDT, V. (2015): Steckbriefe Moorsubstrate. 2. Auflage. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (Hrsg.), 154 S. DOI: <https://doi.org/10.23689/figeo-3724>.
- MINASNY, B., ADETSU, D. V., AITKENHEAD, M., ARTZ, R. R. E., BAGGLEY, N., BARTHELMES, A., BEUCHER, A., CARON, J., CONCHEDDA, G., CONNOLLY, J., DERAGON, R., EVANS, C., FADNES, K., FIANTIS, D., GAGKAS, Z., GILET, L., GIMONA, A., GLATZEL, S., GREVE, M. H., HABIB, W., HERGOUALC'H, K., HERMANSEN, C., KIDD, D. B., KOGANTI, T., KOPANSKY, D., LARGE, D. J., LARMOLA, T., LILLY, A., LIU, H., MARCUS, M., MIDDLETON, M., MORRISON, K., PETERSEN, R. J., QUAIFFE, T., ROCHEFORT, L., RUDIYANTO, TOCA, L.,

- TUBIELLO, F. N., WEBER, P. L., WELDON, S., WIDYATMANTI, W., WILLIAMSON, J. & ZAK, D. (2024): Mapping and monitoring peatland conditions from global to field scale. *Biogeochemistry* **167**: 383–425. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01084-1>
- MINASNY, B., BERGLUND, Ö., CONNOLLY, J., HEDLEY, C., DE VRIES, F., GIMONA, A., KEMPEN, B., KIDD, D., LIJIA, H., MALONE, B., MCBRATNEY, A., ROUDIER, P., O'ROURKE, S., RUDYANTO, PADARIAN, J., POGGIO, L., TEN CATEN, A., THOMPSON, D., TUVE, C. & WIDYATMANTI, W. (2019): Digital mapping of peatlands – A critical review. *Earth-Science Reviews* **196**(102870). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.05.014>
- 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 am 09.01.2025)
- 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* **69**(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.
- MÜLLER, L., WIRTH, S., SCHULZ, E., BEHRENDT, A., HÖHN, A. & SCHINDLER, U. (2007): Implications of soil substrate and land use for properties of fen soils in North-East Germany Part I: Basic soil conditions, chemical and biological properties of topsoils. *Archives of Agronomy and Soil Science* **53**(2): 113–126. <https://doi.org/10.1080/03650340701224823>
- NÄRMANN, F., BIRR, F., KAISER, M., NERGER, M., LUTHARDT, V., ZEITZ, J. & TANNEBERGER, F. (2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten **616**, 341 S., Bonn-Bad Godesberg. <https://doi.org/10.19217/skr616>
- OFFERMANN, L., TIEMEYER, B., DETTMANN, U., RÜFFER, J., DÜVEL, D., VOGEL, I. & BRÜMMER, C. (2023): High greenhouse gas emissions after grassland renewal on bog peat soil. *Agricultural and Forest Meteorology* **331**(109309). <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109309>
- OKRUSZKO, H. (1993): Transformation of fen-peat soils under the impact of draining. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* **406**: 3–73.
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde: unter besonderer Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands als Quellen zur Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte. Karl Wachholtz Verlag, Neumünster, 719 pp.
- PAGENKEMPER, S., JANSEN-MINßEN, F., KRAUSE, A., ERNSING-BLAGA, M., HERZBERG, I., KAHNE, L., TIEMEYER, B., HELLER, S., OEHMKE, S. W., 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. Online unter: [https://www.gruenlandzentrum.org/wp-content/uploads/2022/01/SWAMPS\\_Abschlussbericht\\_2022.pdf](https://www.gruenlandzentrum.org/wp-content/uploads/2022/01/SWAMPS_Abschlussbericht_2022.pdf) (letzter Zugriff am 09.01.2025)

- PARISH, F., SIRIN, A., CHARMAN, D., JOOSTEN, H., MINAYEVA, T., SILVIUS, M. & STRINGER, L. (2008): Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- PINHEIRO, J., BATES, D., DEBROY, S., SARKAR, D. & R CORE TEAM. (2018): nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. Rpackage version 3.1-137. Online unter: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme> (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- 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**(6): 665–681. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000113>
- POEPLAU, C., VOS, C. & DON, A. (2017): Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. *SOIL* **3**(1): 61–66. <https://doi.org/10.5194/soil-3-61-2017>
- PRIBYL, D. W. (2010): A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma* **156**(3–4): 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>
- R CORE TEAM. (2019): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Online unter: <https://www.r-project.org/> (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- RAU, D., SCHRAMM, H. & WUNDERLICH, J. (2000): Die Leitbodenformen Thüringens. Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen, Beiheft **3**, 2. Auflage, Thüringer Landesanstalt für Geologie, Weimar (heute: TLUBN).
- RENOU-WILSON, F., BYRNE, K., FLYNN, R., PREMROV, A., RIONDATO, E., SAUNDERS, M., WALZ, K. & WILSON, D. (2021): Peatland properties influencing greenhouse gas emissions and removal (AUGER Project) (2015-CCRP\_mS.30). *EPA Research Report*.
- RICHARDSON, S. J., DYER, C. J. & JEWELL, S. N. (1991): Soil mixing in the East Anglian fens. *Soil Use and Management* **7**(1): 30–33. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1991.tb00842.x>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.004>
- RUEHLMANN, J. & KÖRSCHENS, M. (2009): Calculating the Effect of Soil Organic Matter Concentration on Soil Bulk Density. *Soil Science Society of America Journal* **73**(3): 876–885. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0149>
- RUPPEL, M., VÄLIRANTA, M., VIRTANEN, T. & KORHOLA, A. (2013): Postglacial spatiotemporal peatland initiation and lateral expansion dynamics in North America and northern Europe. *The Holocene* **23**(11). <https://doi.org/10.1177/0959683613499053>
- SAUERBREY, R., LEHRKAMP, H. & GÖBEL, F. (2003): Rimpau´sche Moordammkultur in Brandenburg. *TELMA* **33**: 121–132.
- SÄURICH, A., TIEMEYER, B., DETTMANN, U. & DON, A. (2019a): 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>

- SÄURICH, A., TIEMEYER, B., DON, A., FIEDLER, S., BECHTOLD, M., AMELUNG, W. & FREIBAUER, A. (2019b): Drained organic soils under agriculture — The more degraded the soil the higher the specific basal respiration. *Geoderma* **355**(113911): 12 pp. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113911>
- SCHARLEMANN, J. P., TANNER, E. V., HIEDERER, R. & KAPOS, V. (2014): Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* **5**(1): 81–91. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>
- SCHIEDUNG, M., TREGURTHA, C. S., BEARE, M. H., THOMAS, S. M. & DON, A. (2019): Deep soil flipping increases carbon stocks of New Zealand grasslands. *Global Change Biology* **25**(7): 2296–2309. <https://doi.org/10.1111/gcb.14588>
- SCHINDLER, U. & MÜLLER, L. (2001): Rehabilitation of the Soil Quality of a Degraded Peat site. Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- SCHLEIER, C. & BEHRENDT, A. (2000): Kennzeichnung von Eigenschaften der Folgeböden nordostdeutscher Niedermoore: Aus Anlaß des 65. Geburtstages von Dr. Wilhelm Schmidt. *Archives of Agronomy and Soil Science* **45**(3): 207–221. <https://doi.org/10.1080/03650340009366123>
- SCHLICHTING, A., LEINWEBER, P., MEISSNER, R. & ALTERMANN, M. (2002): Sequentially extracted phosphorus fractions in peat-derived soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **165**(3): 290–298. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200206\)165:3<290::AID-JPLN290>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200206)165:3<290::AID-JPLN290>3.0.CO;2-A)
- SCHRIER-UIJL, A. P., KROON, P. S., HENDRIKS, D. M. D., HENSEN, A., VAN HUISSTEDEN, J., BERENDSE, F. & VEENENDAAL, E. M. (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**, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover. [https://nibis.lbeg.de/doi/DOL.aspx?doi=10.48476/geober\\_33\\_2015](https://nibis.lbeg.de/doi/DOL.aspx?doi=10.48476/geober_33_2015)
- SCHWÄRZEL, K., RENGER, M., SAUERBREY, R. & WESSOLEK, G. (2002): Soil physical characteristics of peat soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **165**(4): 479–486. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200208\)165:4<479::AID-JPLN479>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200208)165:4<479::AID-JPLN479>3.0.CO;2-8)
- SCHWENK, F. & GEHRT, E. (2023): Gliederung, Beschreibung und Verbreitung von Moorkultursolen in Niedersachsen. *GeoBerichte* **47**, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover. [https://nibis.lbeg.de/doi/DOL.aspx?doi=10.48476/geober\\_47\\_2023](https://nibis.lbeg.de/doi/DOL.aspx?doi=10.48476/geober_47_2023)
- SEIDEL, R., DETTMANN, U. & TIEMEYER, B. (2023): Reviewing and analyzing shrinkage of peat and other organic soils in relation to selected soil properties. *Vadose Zone Journal* **22**(5): e20264. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20264>
- SLA (Servicezentrum für Landentwicklung und Agrarförderung Niedersachsen) (2024): Kohlenstoffreiche Böden (GLÖZ 2 - Gebietskulisse). Online unter. <https://sla.niedersachsen.de/landentwicklung/LEA/?#1547894@8.66051/52.68244r0@EPSG:25832> (letzter Zugriff am 01.02.2025)

- SONNEVELD, M. P. W. & VAN DEN AKKER, J. J. H. (2011): Quantification of C and N stocks in grassland topsoils in a Dutch region dominated by dairy farming. *The Journal of Agricultural Science* **149**(1): 63–71. <https://doi.org/10.1017/S0021859610000535>
- SUCCOW, M. (1988): Landschaftsökologische Moorkunde. 1. Auflage., – Borntraeger, Berlin, 340 pp.
- SUCCOW, M. & JESCHKE, L. (2022): Deutschlands Moore. Ihr Schicksal in unserer Kulturlandschaft. Natur+Text, Rangsdorf, 544 pp.
- SUCCOW, M. & JESCHKE, L. (1986): Moore in der Landschaft: Entstehung, Haushalt, Lebewelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore. 1. Auflage, Thun Frankfurt/Main, 268 pp.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Auflage., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart, 622 pp.
- TAGHIZADEH-TOOSI, A., OLESEN, J. E., KRISTENSEN, K., ELSGAARD, L., ØSTERGAARD, H. S., LÆGDSMAND, M., GREVE, M. H. & CHRISTENSEN, B. T. (2014): Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science* **65**(5): 730–740. <https://doi.org/10.1111/ejss.12169>
- TANNEBERGER, F., MOEN, A., BARTHELMES, A., LEWIS, E., MILES, L., SIRIN, A., TEGETMEYER, C. & JOOSTEN, H. (2021): Mires in Europe - Regional Diversity, Condition and Protection. *Diversity* **13**(8, 381): 14 pp. <https://doi.org/10.3390/d13080381>
- TEGETMEYER, C., BARTHELMES, K.-D., 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. Online unter: [https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2021-01\\_Tegetmeyer%20et%20al.pdf](https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2021-01_Tegetmeyer%20et%20al.pdf) (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- THÜRINGENFORST AöR, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha. (2022): Standortskartierung. Online unter: <https://geomis.geoportal-th.de> (letzter Zugriff am 13.01.2025)
- TIEMEYER, B., ALBIAC BORRAZ, E., AUGUSTIN, J., BECHTOLD, M., BEETZ, S., BEYER, C., DRÖSLER, M., EBELI, M., EICKENSCHIEDT, T., 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**(12): 4134–4149. <https://doi.org/10.1111/gcb.13303>
- TIEMEYER, B., BECHTOLD, M., BELTING, S., FREIBAUER, A., FÖRSTER, C., SCHUBERT, E., DETTMANN, U., FRANK, S., FUCHS, D., GELBRECHT, J., JEUTHER, B., LAGGNER, A., ROSINSKI, E., LEIBER-SAUHEITL, K., SACHTELEBEN, J., ZAK, D. & DRÖSLER, M. (2017): Moorschutz in Deutschland - Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen. Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten **432**, 319 S., Bonn-Bad Godesberg.
- 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., BORRAZ, E. A., AUGUSTIN, J., BECHTOLD, M., BEETZ, S., BEYER, C., EBELI, M., EICKENSCHIEDT, T., FIEDLER, S., FÖRSTER, C., GENSIOR, A., GIEBELS, M., GLATZEL, S., HEINICHEN, J.,

- HOFFMANN, M., HÖPER, H., JURASINSKI, G., LAGNER, 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* **109**(105838): 14 pp. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- TIEMEYER, B., HELLER, S., OEHMKE, W., GATERSLEBEN, P., BRÄUER, M. & DETTMANN, U. (2024): Effects of water management and grassland renewal on the greenhouse gas emissions from intensively used grassland on bog peat. *Agricultural and Forest Meteorology* **345**(109858). <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109858>
- TIEMEYER, B. & KAHLE, P. (2014): Nitrogen and dissolved organic carbon (DOC) losses from an artificially drained grassland on organic soils. *Biogeosciences* **11**(15): 4123–4137. <https://doi.org/10.5194/bg-11-4123-2014>
- 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>
- TÓTH, G., JONES, A. & MONTANARELLA, L. (eds). (2013): LUCAS topsoil survey: methodology, data and results. JRC Technical Report, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 141 pp. DOI: 10.2788/97922
- TUBIELLO, F., BIANCALANI, R., SALVATORE, M., ROSSI, S. & CONCHEDDA, G. (2016): A Worldwide Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Drained Organic Soils. *Sustainability* **8**(371): 13. <https://doi.org/10.3390/su8040371>
- TURETSKY, M. R., KOTOWSKA, A., BUBIER, J., DISE, N. B., CRILL, P., HORNIBROOK, E. R. C., MINKKINEN, K., MOORE, T. R., MYERS-SMITH, I. H., NYKÄNEN, H., OLEFELDT, D., RINNE, J., SAARNIO, S., SHURPALI, N., TUUTTILA, E., WADDINGTON, J. M., WHITE, J. R., WICKLAND, K. P. & WILMKING, M. (2014): A synthesis of methane emissions from 71 northern, temperate, and subtropical wetlands. *Global Change Biology* **20**(7): 2183–2197. <https://doi.org/10.1111/gcb.12580>
- UBA (Umweltbundesamt) (2019): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2017. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2023): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2021. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2024a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Übereinkommen von Paris 2024 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2022. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2024b): Klimaschutzmaßnahmen im LULUCF-Sektor: Potenziale und Sensitivitäten. Climate Change 10/2024, 75 S. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- UMWELTATLAS BERLIN (2022): Moorteilflächen und Aufnahmepunkte. Online unter: <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp> (letzter Zugriff am 03.02.2025)
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2022): Global Peatlands Assessment - The State of the World's Peatlands: Evidence for action toward the conservation, restoration, and sustainable management of peatlands. Main Report. Global Peatlands Initiative. Nairobi. Online unter: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/41222> (letzter Zugriff am 09.01.2025)

- VON MASSENBACH, G. F. (1887): Praktische Anleitung zur Rimpau'schen Moordammkultur. Paul Parey, Berlin.
- WALLOR, E., ROSSKOPF, N. & ZEITZ, J. (2018): Hydraulic properties of drained and cultivated fen soils part I - Horizon-based evaluation of van Genuchten parameters considering the state of moorsh-forming process. *Geoderma* **313**: 69–81. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.026>
- WANG, Y., PAUL, S. M., 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**(149498). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149498>
- WEIDEVELD, S. T. J., LIU, W., VAN DEN BERG, M., LAMERS, L. P. M. & FRITZ, C. (2021): Conventional subsoil irrigation techniques do not lower carbon emissions from drained peat meadows. *Biogeosciences* **18**(12): 3881–3902. <https://doi.org/10.5194/bg-18-3881-2021>
- WEINZIERL, W. & WALDMANN, F. (2015): Ermittlung langjähriger CO<sub>2</sub>-Emissionen und Beurteilung der Moore Oberschwabens auf Basis historischer und aktueller Höhennivellements. LGRB Fachbericht 2015/2, 119 S., Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau.
- WICHTMANN, W., SCHRÖDER, C. & JOOSTEN, H. (eds). (2016): Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore: Klimaschutz - Biodiversität - regionale Wertschöpfung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart, 272 pp.
- WICKHAM, H. (2016): ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York. Online unter: <https://ggplot2.tidyverse.org> (letzter Zugriff am 09.01.2025).
- WICKHAM, H., FRANÇOIS, R., HENRY, L., MÜLLER, K. & VAUGHAN, D. (2020): dplyr: A Grammar of Data Manipulation. 1.1.4. R package version 0.8.5. Online unter: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr> (letzter Zugriff am 09.01.2025)
- WITTNEBEL, M., FRANK, S. & TIEMEYER, B. (2023a): Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. Braunschweig. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 78 p, Thünen Working Paper 212. <https://doi.org/10.3220/WP1683180852000>
- WITTNEBEL, M., FRANK, S. & TIEMEYER, B. (2023b): 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**(19): 1–24. <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.
- WORD, C. S., MCLAUGHLIN, D. L., STRAHM, B. D., STEWART, R. D., VARNER, J. M., WURSTER, F. C., AMESTOY, T. J. & LINK, N. T. (2022): Peatland drainage alters soil structure and water retention properties: Implications for ecosystem function and management. *Hydrological Processes* **36**(3): e14533. <https://doi.org/10.1002/hyp.14533>
- YU, Z. C. (2012): Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences* **9**(10): 4071–4085. <https://doi.org/10.5194/bg-9-4071-2012>
- YU, Z., LOISEL, J., BROSSEAU, D. P., BEILMAN, D. W. & HUNT, S. J. (2010): Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters* **37**(13): 5 pp. <https://doi.org/10.1029/2010GL043584>

- ZAIDELMAN, F. R. & SHVAROV, A. P. (2000): Hydrothermic regime, dynamics of organic matter and nitrogen in drained peaty soils at different sanding modes. *Archives of Agronomy and Soil Science* **45**(2): 123–142. <https://doi.org/10.1080/03650340009366117>
- ZAK, D. & MCINNES, R. J. (2022): A call for refining the peatland restoration strategy in Europe. *Journal of Applied Ecology* **59**(11): 2698–2704. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14261>
- ZAK, D., WAGNER, C., PAYER, B., AUGUSTIN, J. & GELBRECHT, J. (2010): Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration. *Ecological Applications* **20**(5): 1336–1349. <https://doi.org/10.1890/08-2053.1>
- ZAUF, M., FELL, H., GLÄSER, F., ROSSKOPF, N. & ZEITZ, J. (2010): Carbon storage in the peatlands of Mecklenburg-Western Pomerania, north-east Germany. *Mires and Peat* **6**(Art. 4).
- ZEITZ, J. (2014): Ausgewählte Meliorationsverfahren. In: LUTHARDT V. & ZEITZ J. (Hrsg.): Moore in Brandenburg und Berlin. Natur+Text GmbH, Rangsdorf, S. 106-113.
- ZEITZ, J. & VELTY, S. (2002): Soil properties of drained and rewetted fen soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **165**(5): 618–626. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200210\)165:5<618::AID-JPLN618>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200210)165:5<618::AID-JPLN618>3.0.CO;2-W)

## Appendix A

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(19): 1–24. <https://doi.org/10.19189/MaP.2020.SJ.StA.2093>

**Tabelle A1: Typische Horizonte und Horizontabfolgen nach der deutschen bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005) der in dieser Studie definierten Moorklassen. SOM: soil organic matter (organische Bodensubstanz)**

**Table A1: Typical horizons and horizon sequences according to the German Manual of Soil Mapping (AD-HOC-AG BODEN 2005) of the 'peat classes' defined in this study. SOM: soil organic matter.**

Typical sequences (examples)	Description
<i>nHm/nHw/nHr</i>	<b>Fen peat soil;</b> moorshyfted topsoil, fluctuating water table below, water saturation in the subsoil; all horizons have a SOM content of $\geq 30\%$ and in total $\geq 30$ cm thickness (German: 'Mulmniedermoor')
<i>hHv/hHw/hHr</i>	<b>Bog peat soil;</b> earthified topsoil, fluctuating water table below, water saturation in the subsoil; all horizons have a SOM content of $\geq 30\%$ and in total $\geq 30$ cm thickness (German: 'Erdhochmoor')
<i>nHv/fFw/IIGro/IIGr</i>	<b>Peat-derived organic soil;</b> shallow (< 30 cm) earthified fen peat horizon (SOM content $\geq 30\%$ ) above a fossil subhydic horizon and further mineral groundwater influenced subsoil horizons (German: 'Moorgley')
<i>rnHv/rnHw/IIGo/IIGr</i>	<b>Peat-derived organic soil;</b> relict fen peat horizons (< 30 % SOM), earthified, above mineral groundwater influenced subsoil horizons ( <i>not defined as an independent soil type</i> )
<i>jAh/IIhHv/IIhHw/IIIGor</i>	<b>Shallowly covered organic soil;</b> shallow (< 40 cm) mineral topsoil horizon of anthropogenically applied natural material above earthified and temporarily waterlogged bog peat horizons ( $\geq 30$ cm) and a mineral groundwater influenced horizon ( <i>not defined as an independent soil type</i> )
<i>tbAh/tbGo/tbGro/IIfnHw/IIInHr</i>	<b>Thickly covered organic soil;</b> thick ( $\geq 40$ cm) mineral topsoil horizons of naturally sedimented material (tidal-brackish environment) with pedogenetic features (groundwater influence), above fossil fen peat horizons ( $\geq 30$ cm), as well in water table fluctuation range (German: 'mächtige Kleimarsch über Niedermoor')
<i>R-Ap/R+hH+Go/Gr</i>	<b>Deep-ploughed organic soil;</b> mixed and ploughed (homogenised) mineral topsoil horizon above a deep-ploughed layer of a bog peat horizon and mineral subsoil horizon next to each other (indicated by R and '+', as the materials were not homogenised; distinct 'sand-peat-stripes'), the mineral groundwater influenced subsoil horizon lies below (German: 'Treposol aus Hochmoor')
<b>Organic soil horizons (<math>\geq 30\%</math> SOM)</b>	

	Topsoil horizons of moderately to heavily drained sites; plant residuals not recognisable anymore
<i>Hv, Hm</i>	<i>Hv</i> : earthified; crumbly structure <i>Hm</i> : 'moorshyified'; black, highly degraded, hydrophobic peat substrate with dusty powdery structure when dry or smeary when moist
<i>Hw</i>	Soil horizon with alternate saturated and unsaturated conditions und thus, temporarily subjected to aerobic conditions, showing oxidative features; peat structure not yet altered by secondary pedogenetic processes
<i>Hr</i>	Subsoil horizon with permanently saturated and anoxic conditions, peat structure not altered by secondary pedogenetic processes
<b>Mineral soil horizons (&lt; 30 % SOM)</b>	
	Topsoil horizons with accumulation of SOM
<i>Ah, Ap</i>	<i>Ah</i> : minimum SOM content between 0.6 and 1.2 % <i>Ap</i> : ploughed
	Semiterrestrial soil horizons with groundwater influence
<i>Go, Gro, Gr</i>	<i>Go</i> : predominantly oxidizing conditions throughout the year <i>Gro</i> : approximately similar shares of oxidizing and reducing conditions <i>Gr</i> : predominantly reducing conditions throughout the year
<i>R</i>	Anthropogenically mixed horizon by melioration measures (e.g. deep ploughing)
<b>(Semi-) Subhydic horizon</b>	
<i>F</i>	Horizon at the bottom of a waterbody; may be the starting point or intermediate stage of fen development ('gyttja', German: 'Mudde')
<b>Prefixed attributes</b>	
<i>h</i> or <i>n</i> (for H-horizons only)	<i>h</i> : bog substrate (German: 'Hochmoor') <i>n</i> : fen substrate (German: 'Niedermoor')
<i>f</i>	Fossil, buried horizon; not developing further
<i>j</i>	Anthropogenically relocated natural material, e.g. mineral material brought to another site as part of a melioration technique
<i>r</i>	Relict in terms of diagnostic features
<i>tb</i>	Tidal-brackish sedimented material (in coastal regions with tidal influence)
<i>II, III</i>	Roman numeral, indicating a change of layers (difference in geological genesis, e.g. mineral sediment above peat)

**Further supplementary material**

Online under <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map27/map2719.php>

MS-Excel file containing:

Table S1: SOC and Nt stocks, significant differences, and number of sites of each peat class and depth.

Table S2: Soil properties and stocks of all investigated sites of all depth increments.

Table S3: SOC and Nt content, BD and SOC density of all organic samples.

Table S4: Texture, SOC and Nt content and SOC density of all samples from shallow and thick covers.

## Appendix B

WITTNEBEL, M., FRANK, S. & TIEMEYER, B. (2023a): Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. Braunschweig. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 78 p, Thünen Working Paper 212. <https://doi.org/10.3220/WP1683180852000>

WITTNEBEL, M., FRANK, S. & TIEMEYER, B. (2023b): Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland [Datensatz]. <https://doi.org/10.3220/DATA20230510130443-0>

Anhang zum Thünen Working Paper 212: Bundeslandspezifische Vorgehensweise zur Erstellung der „Aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland“

### Allgemeine Informationen zum Dokument und den Länderdatensätzen

Der Anhang stellt eine inhaltliche Ergänzung zum Thünen Working Paper 212 (WITTNEBEL et al. 2023a) sowie den bereitgestellten CSV-Dateien dar. In diesem Dokument ist die Vorgehensweise der Klassifikation der Länderdatensätze so transparent wie möglich aufgeführt. Die in den Länderdatensätzen verwendeten Legendeneinheiten sowie ihre finale Einordnung sind in den beigefügten 16 CSV-Datensätzen dokumentiert. Es ist zu beachten, dass diese länderspezifischen Datenfelder im finalen Datensatz der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland nicht enthalten sind.

#### Struktur:

Zur Übersichtlichkeit folgt das Dokument einer einheitlichen Struktur und Formatierung. Jedes Kapitel zu den Länderdatensätzen folgt dem gleichen Aufbau:

- Datensatz:
  - Dieses Unterkapitel liefert Informationen zu den verwendeten Eingangsdaten sowie den für die Klassifikation verwendeten Datenfeldern.
- Klassifikation des Datensatzes:
  - Innerhalb dieses Unterkapitels wird die Klassifikation der Ausprägungen der sieben Merkmale (Genese, mineralische Überdeckung, Torfmächtigkeit, Abmoorigkeit, Tiefumbruch, unterlagernde Mudden und unterlagerndes mineralisches Substrat) beschrieben. (Erläuterung der Kürzel sind zu finden in Tabelle 4 im Thünen Working Paper 212)
  - Innerhalb jedes Länderdatensatzes werden, sofern vorhanden, die Legendeneinheiten mittels eindeutiger Nummern (IDs) mit Ihren Merkmalsausprägungen beschrieben. Sind in den Datensätzen der Bundesländer keine eindeutigen IDs vorhanden, so wurden die für die Einteilung verwendeten Angaben in den bereitgestellten Datenfeldern aufgeführt.
- Folgende Formatierungen wurden innerhalb der Kapitel verwendet:
  - Datenfelder des Länderdatensatzes sind in doppelte Anführungszeichen geschrieben („Datenfeld“)

- Angaben in Datenfeldern sind kursiv in doppelte Anführungszeichen geschrieben („Inhalt“), für die Auswahl der Merkmalsausprägung verwendete Inhalte sind, falls nicht der gesamte Inhalt verwendet wurde, zusätzlich unterstrichen („Inhalt A“)
- Merkmalsausprägungen der aktualisierten Kulisse organischer Böden sind in einfachen Anführungszeichen geschrieben („Merkmalsausprägung“)
- In einigen Bundesländern (z.B. Mecklenburg-Vorpommern, Hessen) standen weiteren Informationen (z.B. Leitprofile) zu den Legendeneinheiten zur Verfügung und wurden für die Klassifikation verwendet. Diese Informationen können nicht zur Verfügung gestellt werden. Im Falle weiterer Auskünfte durch die Kolleg\*innen der Landesämter wird in der Beschreibung darauf hingewiesen.
- Beschreibungen der bodenkundlichen Inhalte basieren häufig auf der Bodenkundlichen Kartieranleitung, deren verschiedene Ausgabe entsprechend genannt werden (KA4, AD-HOC-AG BODEN 1994; KA5, AD-HOC-AG BODEN 2005)

### **Aufbau der Länderdatensätze (CSV-Dateien):**

Jeder bereitgestellte Länderdatensatz folgt einem einheitlichen Aufbau. Es werden folgende Informationen bereitgestellt:

- Allgemeine Informationen
  - „Bundesland“ (Name des Bundeslands)
  - „Datensatz“ (Kürzel des verwendeten Datensatzes)
  - „Massstab“ (Zielmaßstab des Datensatzes)
  - „Betrachtungstiefe [cm]“ (maximale Betrachtungstiefe der inhaltlichen Beschreibung der Legendeneinheiten in Zentimetern)
- Länderspezifische Informationen/Datenfelder des Datensatzes (Auswahl, nicht für alle Länderdatensätze einheitlich) zur Beschreibung der Legendeneinheiten
  - z.B. Nummer der Legendeneinheit
  - z.B. Bodentypen (verbal oder als Abkürzung)
  - z.B. Substrattypen (verbal oder als Abkürzung)
  - z.B. Torfmächtigkeit in cm
- Merkmale der aktualisierten Kulisse organischer Böden (Beschreibung und mögliche Ausprägungen der Merkmale siehe WITTNEBEL et al. 2023a)
  - „Genese“
  - „Decke“ (kurz für Merkmal „Mineralische Überdeckung“)
  - „Torfmaechtigkeit“
  - „Abmoorigkeit“
  - „Tiefumbruch“
  - „Mudde“ (kurz für Merkmal „Unterlagernde Mudden“)
  - „Unterlagerndes“ (kurz für Merkmal „Unterlagerndes mineralisches Substrat“)

- „Kategorie (kurz)“ (Abkürzung der aus den Merkmalskombinationen abgeleiteten Moorbodenkategorie)
- „Kategorie (verbal)“ (Name der aus den Merkmalskombinationen abgeleiteten Moorbodenkategorie)
- „Flaeche [ha]“ (Fläche der Legendeneinheit für die aktualisierte Kulisse organischer Böden in Hektar)

### **Textliche Anpassungen:**

Für eine homogene Darstellung der Mächtigkeiten (Einheiten variierten zwischen den Datensätzen der Bundesländer) wurden vorhandene Mächtigkeitsangaben auf Zentimeter (cm) umgerechnet. Dies betrifft sowohl in den Texten zu Legendeneinheiten genannte Angabe (z.B. „*flacher Anmoorgley (2-3 dm) über (...)*“) sowie separate Mächtigkeitsangaben in eigenen Datenfeldern.

Für eine Verbesserung der Handhabbarkeit der Datensätze in verschiedenen GIS-Programmen wurden Umlaute (ä, ö, ü) sowie das Schriftzeichen ß umgewandelt in ae, oe, ue bzw. ss. Auch Sonderzeichen wie Semikolons oder in einigen Fällen Kommata wurden aus Attributen in Textform entfernt oder durch andere Zeichen (z.B. Punkt oder Querstrich) ersetzt. Dadurch können die Inhalte der Datenfelder einiger Datensätze geringfügig von den original erhaltenen abweichen.

### **Flächendifferenzen:**

Die angegebene Flächengrößen in den bereitgestellten CSV-Dateien beziehen sich auf die erhaltenen Eingangsdaten wie sie für das Zusammenführen zur aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland aufbereitet wurden (z.B. einheitlich umprojiziert, Verschnitt mit den Verwaltungsgrenzen der Bundesländer, u.a.; s. Kapitel 2.3 im Thünen Working Paper 212, WITTNEBEL *et al.* 2023a) Aufgrund weiterer kartographischer Arbeitsschritte in einzelnen Länderdaten (z.B. räumliches Aggregieren von Flächen gleicher Merkmalskombinationen oder Bereinigung von Topologiefehlern durch Überlappungen), sowie Rundungen bei der Angabe der Flächengröße, können die in den CSV-Dateien angegebenen Flächengrößen von denen in der Shape-Datei der Gesamtkulisse partiell in sehr kleinem Umfang abweichen.

## **Bundeslandspezifische Vorgehensweise**

### **Baden-Württemberg**

#### **Datensatz**

Für das Land Baden-Württemberg liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland der Datensatz der Bodenkarte von Baden-Württemberg (BK50) zugrunde (erhalten am 28.10.2022). Von Kolleg\*innen des Landesamtes wurde eine Auswahl von

Einheiten erstellt, welche die organischen Böden umfassen und für die Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland verwendet wurden. Die Attributtabelle der BK50 enthält mehrere Felder, in denen Hinweise zum Vorkommen und zur Ausprägung organischer Böden zu finden sind. Dadurch müssen Informationen aus diversen Attributen für eine umfassende Betrachtung organischer Böden berücksichtigt werden.

Für die Klassifikation wurden die Beschreibung der Kartenkurzlegende (Feld: „Ke\_kuleg“) mit Angabe der vorherrschend auftretenden Böden und deren Ausgangsgesteine, die Beschreibung der Bodentypen verbal und als Kürzel (nach KA5, z.T. bundeslandspezifisch; Felder: „Bod\_t“ und „Bod\_c“), die Bodenformengruppe (Kurzzeichen für die in der bodenkundlichen Einheit auftretenden Böden mit einem Flächenanteil über 75 %; Feld: „Bofogrup“) sowie Bodenarten verbal für das gesamt Profil bzw. für bis zu drei Bodenschichten (Felder: „Material“, „Boda\_1“, „Boda\_2“, „Boda\_3“) und Untergrenzen der Schichten (Felder: „Boda\_ug1“, „Boda\_ug2“) herangezogen und anhand dieser der Datensatz interpretiert und verschlüsselt (LGRB 2022). Von den vorausgewählten Legendeneinheiten (Feld: „Ke“) wurden zwei nicht weiter berücksichtigt, da in einer („i100“) der Torf im Mittel einen Meter überdeckt ist und in der anderen („p155“) der Bodentyp Auengley vorherrscht und Torf nur ggf. auftritt.

## Klassifikation des Datensatzes

### Genese

Die Genese wurde anhand der Beschreibungen der Bodentypen („Bod\_c“, z.B. „HHT“, „HNc“), des Materials („Material“, z.B. „Niedermoortorf“, „Hochmoortorf“) sowie der Bodenart („Boda\_1“, z.B. „Hn“, „Hh“, „H“) ermittelt. Basierend auf diesen Feldern konnte zwischen Hochmoorgenese (HH') und Niedermoorgenese (NH') unterschieden werden. In Fällen ohne entsprechende Angaben (div. Anmoorgley-Einheiten) wurde die Genese als unbekannt (,XH') ausgewiesen.

### Mineralische Überdeckung

Das Vorhandensein einer mineralischen Überdeckung konnte aus mehreren Angaben abgeleitet werden. So wurde zunächst anhand der Beschreibungen der Kartenkurzlegende, der Bodentypen und des Materials nach Legendeneinheiten mit Angaben wie „über Torf“, „auf Torf“ oder „auf Niedermoortorf“ gesucht und in „Boda\_1“ sollte kein Hinweis auf Torfe enthalten sein. Legendeneinheiten, bei denen in der Bodenart und den Bodentypen Torfe oder Anmoorgleye über weiteren Torfen beschrieben wurden, wurden nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für Einheiten, bei denen die mineralische Bodenart eingeklammert wurde und die mineralische Überdeckung daraus folgend nur ggfs. als vorhanden angenommen werden kann. In einem zweiten Schritt wurde die Mächtigkeit der Überdeckung anhand der beschriebenen Grenzen in den Feldern „Boda\_ug1“ und „Boda\_ug2“ ermittelt. Da die Felder lediglich Spannweiten für die Tiefe der Untergrenze und damit der Mächtigkeit angeben, wurden für die Einordnung die Mittelwerte verwendet. Die Substrate wurden in allen Fällen als bindige Bodenarten

beschrieben, sodass die mineralischen Überdeckungen mit den Ausprägungen ‚DK1b‘, DK2b‘ und ‚DK3b‘ beschrieben wurden. Alle übrigen Einheiten wurden mit ‚DK0‘ gekennzeichnet.

### **Torfmächtigkeit**

Für alle Bodentypen der Moorgleye („GH“), Moorquellengleye („QH“) und Moorstagnogleye („SSH“) wurde die Torfmächtigkeit auf ‚TM1‘ gesetzt. Anmoorgley-Einheiten („GM“, siehe nächster Abschnitt) ohne Torfunterlagerung wurden mit ‚TM0‘ beschrieben. Nachfolgend wurden die Angaben der Bodenart und der Untergrenze der Schichten („Boda\_1“ und „Boda\_2“) ausgewertet und die verschiedenen Kombinationen geprüft. Diese Angaben wurden gemittelt und die Legendeneinheiten darauf basierend mit den Ausprägungen von ‚TM1‘ bis ‚TM4‘ beschrieben. Legendeneinheiten mit unklarer Mächtigkeit, bspw. durch Fehlen einer Untergrenze für Torf in der untersten Schicht, wurde die Kennzeichnung ‚TMX‘ gewählt.

### **Abmoorigkeit**

Die Legendeneinheiten der BK50 umfassen u.a. Anmoorgleye (z.B. „GM“) und Anmoorquellengleye (z.B. „QA“), welche anhand der Beschreibung der Kurzlegendeneinheit, der Bodentypen und der dominierenden Bodenformengruppe selektiert werden können. Alle Legendeneinheiten wurden zudem mit den Angaben zum Material bzw. der Bodenart abgeglichen und einige dementsprechend einem anderen passenderen Bodentyp der Vergesellschaftung (bspw. „Niedermoor oder Gley über Niedermoor“) zugeordnet. Mit einer Abmoorigkeit wurden nur die Legendeneinheiten gekennzeichnet, in denen Anmoor-(quellen-)gleye als dominierend interpretiert wurden. Eine Unterlagerung von Torfen ist möglich und kommt in mehreren Fällen vor. Für eine Unterscheidung der Substrate in sandig („ABs“) und bindig („ABb“) wurde die Angabe der obersten Bodenartenschicht berücksichtigt. Alle übrigen Einheiten erhielten die Kennzeichnung ‚AB0‘.

### **Tiefumbruch**

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen aus der BK50 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TR0‘ beschrieben.

### **Unterlagernde Mudden**

Das Vorhandensein einer Mudde unter Torf wurde den Angaben der Bodenarten entnommen. Die dort angegebenen Inhalte erlaubten die Unterscheidung in ‚MDh‘ (organische Mudde, „F<sub>h</sub>“), ‚MDm‘ (minerogene Mudde, „F<sub>m</sub>“) und ‚MDx‘ (Mudde, „F“). In wenigen Legendeneinheiten wird in der obersten Bodenartenschicht („Boda\_1“) ein Muddesubstrat als weiteres Vorkommen neben ausschließlich mineralischen Bodenarten angegeben. In diesen Fällen wurden die Mudden nicht weiter berücksichtigt und die mineralischen Substrate als relevant für die beschriebenen abmoorigen Böden interpretiert. Sie erhielten damit wie alle weiteren Einheiten die Kennzeichnung ‚MD0‘.

## Unterlagerndes mineralisches Substrat

Das unterlagernde Substrat wurde anhand der Angaben der untersten Bodenart ermittelt. Je nach Anzahl der Bodenartenschichten wurde diese Angabe aus einem der drei Felder („Boda\_1“, „Boda\_2“, „Boda\_3“) herausgelesen. Basierend auf den Angaben wurden folgende Ausprägungen beschrieben: ‚LGf‘ (Festgestein, z.B. „^m“), ‚LGt‘ (tonig, z.B. „Tu2-Il“), ‚LGu‘ (schluffig, z.B. „Ut3-4“), ‚LGl‘ (lehmig, z.B. „Ls2-Lt3“), ‚LGS‘ (sandig, z.B. „S“) und ‚LGb‘ (bindig, z.B. „Tu3,Lu-Lt2-3“). Legendeneinheiten mit Torf- oder Muddesubstraten im gesamten Profil wurden mit ‚LGx‘ beschrieben.

## Bayern

### Datensatz

Für das Land Bayern liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland der Datensatz Moorbodenkarte von Bayern 1:25.000 (MBK25; erhalten am 01.02.2022 mit Stand Mai 2021) zugrunde (LfU 2021). Diese beschreibt alle hydromorphen organischen Böden Bayerns und stellt einen Auszug aus der landesweit vorliegenden Übersichtsbodenkarte von Bayern 1:25.000 (ÜBK25) dar. Die Selektion der Legendeneinheiten erfolgte vom Landesamt für Umwelt (LfU) unter Berücksichtigung der IPCC Guidelines (IPCC 2006). Zur Klassifikation der Legendeneinheiten in der MBK25 für die Harmonisierung der aktualisierten Kulisse organischer Böden wurden die Beschreibungen der Legendeneinheiten (Feld „uebk25\_k“ mit der ID der Einheit und Feld „uebk25\_l“ mit der verbalen Angabe von Bodengesellschaften oder Bodenkomplexen aus Bodentypen und Substraten) im Datensatz genutzt. Zusätzlich haben Kolleg\*innen des LfU unterstützend die zugrundeliegenden Referenzprofile (nicht im Datensatz enthalten) ausgewertet und für eine Verfeinerung der Klassifikation herangezogen. Die Auswertung erfolgte expertengestützt und sofern eindeutige Angaben oder Angaben von Spannen nicht möglich waren, wurde die am häufigsten vorkommende Ausprägung des Merkmals verwendet.

Nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen aus Bayern wurden zusätzlich zur MBK25 auf Informationen der Bodenschätzung (BS) zurückgegriffen (erhalten am 28.10.2022). Die Flächendaten wurden durch die bayerischen Kolleg\*innen vorselektiert. In diesem Schritt wurden alle Legendeneinheiten mit „Mo“ im Klassenzeichen berücksichtigt. Die Klassifikation dieses Datensatzes erfolge ausschließlich auf Basis der Bodenart des Klassenzeichen (Feld: „Bodenart“) zur Verfügung.

Die Flächen des BS ergänzen die Flächen der MBK25, so dass eine Priorisierung der Datensätze nicht notwendig war.

### Klassifikation des Datensatzes

#### Genese

Mit Ausnahme der Einheit „79“ („Fast ausschließlich Hochmoor und Erdhochmoor aus Torf“) mit der Genese ‚HH‘ wurde allen anderen ausgewählten Legendeneinheiten der ‚MBK25/ÜBK25‘ die Genese ‚NH‘ zugewiesen. Dies umfasst (überdeckte) Niedermoore und Erdniedermoore aber auch alle Legendeneinheiten mit vorherrschend Anmoor und Moorgley („61a“, „62c“, „64c“, „65c“, „66b“, „67“, „72c“, „72f“, „73c“, „73f“, „74“, „75“, „75c“, „77“, „78“, „78a“, „80a“, „80b“ und „850“), bei denen eine Niedermoor-Genese angenommen wird.

Die Legendeneinheiten des Teildatensatzes der Bodenschätzung (BS) wurden mit ‚XH‘ gekennzeichnet, da das Klassenzeichen keine Unterscheidung der Torfart ermöglicht.

### Mineralische Überdeckung

In drei Legendeneinheiten der MBK25 werden mineralische Schichten über Torfen beschrieben („74“ und „80a“: „Fast ausschließlich (flacher) Gley über Niedermoor (...)“ und „80b“: „Überwiegend (Gley-) Rendzina und kalkhaltiger Gley über Niedermoor (...“). Auf Grundlage der Referenzprofile wurden die Mächtigkeit sowie die Bodenart der mineralischen Decke ausgewertet. So wurden den Legendeneinheiten „74“ und „80b“ mit ‚DK2b‘ und die Legendeneinheit „80a“ mit ‚DK1x‘ beschrieben. Die Legendeneinheit „67“ umfasst ebenfalls „Gley über Niedermoor“, allerdings dominieren hier die Niedermoorgleye und wurden als solche klassifiziert. Daher wurde diese Legendeneinheit zusammen mit allen weiteren Legendeneinheiten der MBK25 mit ‚DK0‘ beschrieben.

Legendeneinheiten des Teildatensatzes BS, die einen Schichtwechsel von Mineralbodenarten zu Mooren aufweisen, wurden als überdeckte organische Böden interpretiert. Die Mächtigkeit der Überdeckung kann aus dem Klassenzeichen nicht abgeleitet werden, jedoch konnten die Legendeneinheiten in bindige (‚DKXb‘, ‚L+Mo‘, ‚L/Mo‘, ‚LS/Mo‘, ‚LT/Mo‘, ‚T/Mo‘,) und sandige (‚DKXs‘, ‚S/Mo‘) Ausprägungen unterteilt werden. Alle weiteren Legendeneinheiten der Bodenschätzung wurde mit ‚DK0‘ beschrieben.

### Torfmächtigkeit

Die Torfmächtigkeit ist in den Legendeneinheiten des Teildatensatzes MBK25 nicht angegeben und wurde bestmöglich mittels der Referenzprofile präzisiert. Einheiten mit dominierend „Anmoorgley“ wurde ‚TM0‘ zugewiesen („61a“, „62c“, „64c“, „65c“, „66b“, „72c“, „72f“, „73c“, „73f“, „75“ und „75c“), für Legendeneinheiten mit dominierend „Moorgley“ („67“ und „850“) entsprechend ‚TM1‘. Die Legendeneinheiten „74“ und „80a“ wurden auf Basis der Referenzprofile mit ‚TM2‘, die Legendeneinheiten „77“, „78“, „78a“ und „80b“ mit ‚TM3‘ sowie die Legendeneinheit „79“ mit ‚TM4‘ beschrieben.

Legendeneinheiten des Teildatensatzes BS die durch eine Mischbodenart (z.B. „MoL“, „TMo“, „MoS“) im Klassenzeichen beschrieben sind, wurden als abmoorige organische Böden ohne klare Torf-Mineralbodengrenze interpretiert und ihnen somit keine Torfmächtigkeit (‚TM0‘)

zugewiesen. Alle übrigen Legendeneinheiten dieses Teildatensatzes wurden mit ‚TMX‘ gekennzeichnet, da das Klassenzeichen keine Unterscheidung der Torfmächtigkeit ermöglicht.

### **Abmoorigkeit**

In einigen Legendeneinheiten des Teildatensatzes MBK25 werden Anmoorgleye als dominierende Böden beschrieben (analog zu den Legendeneinheiten mit der Torfmächtigkeit ‚TM0‘). Die Substrate der Böden gehen aus den Beschreibungen der Legendeneinheit hervor. Die Legendeneinheiten „61a“, „72c“, „72f“ sowie „75c“ wurden daraus folgend mit ‚ABs‘ und die Legendeneinheiten „62c“, „64c“, „65c“, „66b“, „73c“ sowie „73f“ mit ‚ABb‘ beschrieben. Der Legendeneinheit „75“ konnte kein Substrat der Abmoorigkeit zugewiesen werden und wurde als ‚ABx‘ klassifiziert. Alle weiteren Legendeneinheiten der MBK25 wurden mit ‚AB0‘ beschrieben.

Im Teildatensatz BS wurden Legendeneinheiten mit Mischbodenarten als Böden mit Abmoorigkeit interpretiert. Je nach Bodenart im Klassenzeichen wurden in eine bindige (‚ABb‘, z.B. „MoL“, „LMo“, „MoS“, „SMo“, „TMo“) und eine sandige (‚ABs‘, „MoS“, „SMo“) Ausprägung unterschieden. Alle übrigen Legendeneinheiten der Bodenschätzung wurden mit ‚AB0‘ gekennzeichnet.

### **Tiefumbruch**

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen aus keinem der Teildatensätze hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TR0‘ beschrieben.

### **Unterlagernde Mudden**

Die Legendeneinheiten des Teildatensatzes der MBK25 weisen keine Mudden unter den Torfen aus. Laut Aussage der Kolleg\*innen des bayerischen Landesamtes für Umwelt war die Beschreibung von Mudden unter den Torfen bei bodenkundlichen Profilaufnahmen in der Vergangenheit nicht gängige Praxis. Daher sind diese Informationen in den daraus folgend den Einheiten der Bodenkarten nicht enthalten. Neuere Betrachtungen zeigen, dass Mudden unter Torfen durchaus auftreten und insbesondere bei der Legendeneinheit „78“ (Niedermoor) ausgewiesen werden können. Gleiches gilt für die Legendeneinheit „79“, welche die Hochmoore repräsentiert. Genetisch ist in dieser Legendeneinheit davon auszugehen, dass unterhalb der Hochmoortorfe ebenfalls Niedermoortorfe vorkommen können. Eine weitere Differenzierung der Muddearten ist basierend auf den vorliegenden Daten nicht möglich. Daher wurden die Legendeneinheiten „78“ und „79“ mit ‚MDx‘ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten der MBK25 wurden mit ‚MD0‘ klassifiziert.

Aus dem Klassenzeichen des Teildatensatzes BS kann keine unterlagernde Mudde abgeleitet werden, sodass diese Einheiten mit ‚MD0‘ beschrieben wurden.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Das unterlagernde mineralische Substrat ist in einigen Legendeneinheiten des Teildatensatzes der MBK25 verbal beschrieben. Ergänzend wurde zu den verbalen Beschreibungen auf die Informationen der Referenzprofile zurückgegriffen. Daraus folgend wurden die Legendeneinheiten „61a“, „62c“, „64c“, „67“, „72c“, „72f“ und „78a“ als sandige (,LGs') Ausprägung gekennzeichnet. Den Legendeneinheiten „73f“ und „74“ wurde eine lehmige (,LGl') sowie den Legendeneinheiten „66b“, „73c“ und „79“ eine bindige (,LGb') Ausprägung zugewiesen. Bei allen weiteren Legendeneinheiten der MBK25 war die Beschreibung des unterlagernden Substrates nicht eindeutig oder keine Beschreibung vorhanden. Diesen Legendeneinheiten wurden mit einem unbekanntem Substrat (,LGx') klassifiziert.

Im Teildatensatz BS wurde das Unterlagernde mit Hilfe des Klassenzeichens konkretisiert und dadurch entweder eine sandige (,LGs', z.B. „Mo/S“, „MoS“), tonige (,LGt', z.B. „Mo/T“, „TMo“) und lehmige (,LGl', z.B. „Mo/L“, „MoL“) Ausprägung beschrieben. Legendeneinheiten ohne Angaben zum unterlagernden mineralischen Substrat (z.B. „Mo“, „S/Mo“) wurden mit ,LGx' beschrieben.

## Berlin

### Datensatz

Für das Land Berlin liegen der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Flächen der Mooregebiete und Bodentypen (Teildatensätze Moorteilflächen und Aufnahmepunkte, Download am 05.06.2020; UMWELTATLAS BERLIN 2022) aus dem Projekt „Berliner Moorböden im Klimawandel – Entwicklung einer Anpassungsstrategie zur Sicherung ihrer Ökosystemleistungen“ (BEMB) der Humboldt-Universität zu Berlin aus dem Jahr 2015 zugrunde (KLINGENFUß *et al.* 2015). Dieser Datensatz stellt die Teilflächen der Mooregebiete mit kartierten Bodentypen sowie Humus- und Kohlenstoffmengen dar. Ergänzend wurden für alle Teilgebiete Steckbriefe mit weiterführenden und beschreibenden Informationen erstellt und online verfügbar. Zusätzlich zu den Flächeninformationen der Moorteilflächen wurden die zugehörigen Aufnahmepunkte mit Informationen zu Torf- und Muddemächtigkeiten genutzt. Außerdem wurde von den Kolleg\*innen des Landesamtes freundlicherweise die Profildatenbank mit allen bodenkundlichen Aufnahmen des Projektes zur Verfügung gestellt und daraus die Information zu den Substraten ergänzend genutzt. Die Profildaten wurden mit den Flächendaten räumlich verschnitten. In einigen Fällen konnte einer Fläche mehr als ein Bodenprofil zugeordnet werden. Diese Fälle wurden geprüft und nur jenes Profil beibehalten, welches dem gleichen Bodentyp der Fläche entsprach, sowie Angaben zum Substrat und Mächtigkeit enthielt. Lagen mehrere konsistente Profile je Fläche vor, wurde eines zufällig gewählt.

Zur Klassifikation der Legendeneinheiten wurden die Angaben zu Bodentypen (als Kürzel nach KA5, Feld: „Bodentyp“) und Bodenklassen (verbal nach KA5, Feld: „Bot\_kla\_g“) sowie, sofern vorhanden, die Informationen zum Substrat (als Kürzel nach KA5, Feld: „Substrat\_g“), zur

Torfmächtigkeit (Feld: „Torfmaech“) und zur Mächtigkeit der Muddeunterlagerung (Feld: „Muddeunt“) aus den jeweiligen Bodenprofilen verwendet. Grundsätzlich wurden im Falle von eventuellen Widersprüchen Angaben der Bodentypen höher priorisiert als Angaben der Substrate.

## Klassifikation des Datensatzes

### Genese

Für alle Legendeneinheiten wurde eine Niedermoorgenese (,NH') angenommen. Dies gilt ebenfalls für Legendeneinheiten der Bodenklasse „*Subhydrischer Boden/ (reliktischer) Sapropel*“. Diese, meist initialen, Muddebildungen sind laut Steckbriefen im Wesentlichen über vorhandene Niedermoortorfe abgelagert und wurden für diese Zwecke als mineralische Überdeckung interpretiert.

### Mineralische Überdeckung

Die Angabe einer mineralischen Überdeckung wurde den Informationen zum Substrat aus den Bodenprofilen entnommen. Legendeneinheiten des Bodentyps Anmoorgley (z.B. „GM/HN“) wurden zuvor ausgeklammert und mit ‚DKO‘ beschrieben, da in diesen Fällen eine Abmoorigkeit beschrieben wird.

Ein mit ‚\‘ beschriebener Substratwechsel entspricht einer flachen (,DK1'), ein mit ‚/‘ beschriebener Substratwechsel einer geringmächtigen (,DK2') und ein mit ‚//‘ beschriebener Substratwechsel einer mächtigen (,DK3') mineralischen Decke. Die Substrate wurden in bindig (organisches Muddesubstrat, „fl-Fhg“) und sandig (z.B. „o-ss“, „fl-Fms“) unterteilt. In den wenigen Fällen, für die keine Angabe zum Substrat vorlag, wurde die Beschreibung der Bodenklassen „*Begrabene Standorte, mineralischer Auftrag auf (...)*“ und „*Subhydrischer Boden / (reliktischer) Sapropel*“ berücksichtigt und diese Flächen je nach Wechsel der Bodentypen analog zu den Wechselnd er Substrate mit ‚DK1x‘ oder ‚DK2x‘ beschrieben. Wurde nur der mineralische Bodentyp angegeben wurde diese Flächen mit ‚DKXx‘ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚DKO‘ klassifiziert.

### Torfmächtigkeit

Exakte numerische Angaben zur Torfmächtigkeit lagen für einen Großteil der Legendeneinheiten durch die vorhandenen Bodenprofile vor. Diese wurden vordergründig verwendet und die Legendeneinheiten mit den entsprechenden Ausprägungen ‚TM1‘ bis ‚TM5‘ beschrieben. Für Legendeneinheiten ohne Torfmächtigkeitsinformationen wurden die Substratangaben ausgewertet und anhand der Substratwechsel eine Torfmächtigkeit abgeleitet. Bei Legendeneinheiten ohne mineralische Überdeckung über den Torfsubstraten entspricht ein mit ‚\‘ gekennzeichnete Wechsel einer flachen (,TM1', z.B. Moorgley) und ein mit ‚//‘ gekennzeichnete Wechsel einer mächtigen (,TM3') Torfmächtigkeit. Bei Legendeneinheiten in denen Torfe unterhalb mineralischer Überdeckungen lagen, wurde die Mächtigkeit (mittlere

Mächtigkeit: „\“ = 15 cm, „/“ = 50 cm und „//“ = 95 cm) der Überlagerungen berücksichtigt. Alle übrigen Legendeneinheiten wurden mit ‚TMX‘ beschrieben. Reine Anmoor- bzw. Abmoorgleye sind in dem vorhandenen Datensatz nicht ausgewiesen, daher wurden keine Legendeneinheiten mit ‚TMO‘ beschrieben.

### **Abmoorigkeit**

Aus der Substratabfolge sowie dem Bodentyp (z.B. „GM“, „GMn“ sowie „GM/HN“) hervorgehende An- bzw. Abmoorgleye werden in allen Legendeneinheiten mit mächtigeren Torfschichten im Liegenden beschrieben und wurden daraus folgend als an- bzw. abmoorige Schichten über Torf interpretiert. Die an- bzw. abmoorigen Horizonte wurden, wo verfügbar, als sandige Ausprägung beschrieben, sodass alle Legendeneinheiten mit ‚ABS‘ erfasst wurden. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚ABO‘ beschrieben.

### **Tiefumbruch**

Tiefumgebrochene Legendeneinheiten gehen aus den BEMB nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TRO‘ beschrieben.

### **Unterlagernde Mudden**

Informationen zum Muddevorkommen unterhalb der Torfe wurden den Substratangaben entnommen. Sofern eine Muddede unter Torf beschrieben wurde, wurden diese Flächen entweder mit ‚MDm‘ (z.B. „fl-Fm“, „fl-Fms“, „fl-Fmt“), mit ‚MDk‘ („fl-Fmk“) oder mit ‚MDh‘ („fl-Fhg“, „fl-Fhl“) gekennzeichnet. Ausschlaggebend war immer das Muddesubstrat direkt unter der tiefsten Torfschicht. Legendeneinheiten ohne Angaben der Muddeart bei den Substraten jedoch mit einer aufgenommenen Muddemächtigkeit (Feld: „Muddeunt“) aus den Profilbohrungen wurden mit ‚MDx‘ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚MD0‘ beschrieben.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Das Unterlagernde wurde auf Grundlage der Substratbeschreibung klassifiziert. Die Legendeneinheiten konnten daraus abgeleitet nach ‚LGT‘ (z.B. „fl-tt“), ‚LGu‘ (z.B. „fl-u“), ‚LGl‘ (z.B. „fo-ll“) und ‚LGS‘ (z.B. „ff-ss“) klassifiziert werden. Flächen ohne Angabe zum unterlagernden Substrat wurden ebenfalls einheitlich mit ‚LGS‘ beschrieben, da für einen Großteil der Moorgebiete in den Steckbriefen unterlagernde Sande angegeben werden.

## **Brandenburg**

### **Datensatz**

Für das Land Brandenburg liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Referenzierte Moorkarte (2021) für das Land Brandenburg zugrunde (MBK21, Download am 23.10.2022). Hiervon wurden die Teildatensätze „\_k10\_b2021“, welcher als

Attribut den Bodentyp je Fläche darstellt, und „\_k10\_s2021“, welcher als Attribut das Substrat je Fläche darstellt, verwendet. Diese beiden Teildatensätze wurden zunächst räumlich verschnitten und zu einem Gesamtdatensatz zusammengefasst, um die Informationen zu Bodentypen und Substraten für alle Flächen vorliegen zu haben. Alle Flächen der Legendeneinheiten „Gley“ und „Kolluvisol“ wurden nicht weiter betrachtet, da davon ausgegangen wird, dass diese keine organischen Böden umfassen. Zur Klassifikation wurden die Angaben des Bodentyps als Kürzel und verbal (Felder: „Cat\_bodentyp“ und „Bez\_bodentyp“) und des Substrattyps (Feld: „Cat\_substrat“), alle Angaben nach KA5, verwendet. Grundsätzlich wurden im Falle von eventuellen Widersprüchen Angaben der Bodentypen höher priorisiert als Angaben der Substrate, die aufgrund des zugrundeliegenden Modells (FELL et al. 2015) sehr viele verschiedene Ausprägungen zeigen.

## Klassifikation des Datensatzes

### Genese

Allen Legendeneinheiten wurde eine Niedermoorgenese („NH“) zugeordnet. Darunter auch ca. 6 ha für die Hochmoortorf („Cat\_Substrat“) angegeben wurden, welches jedoch nach Rücksprache mit Kolleg\*innen des Landesamtes nicht plausibel erscheinen.

### Mineralische Überdeckung

Das Vorhandensein einer mineralischen Überdeckung wurde aus der Bezeichnung der Bodentypen (Feld: „Bez\_bodentyp“) abgeleitet. Die Legendeneinheiten „*flacher Kolluvisol (20-30 cm) über (...)*“ wurden mit ‚DK1‘, die Legendeneinheiten „*Kolluvisol (30-40 cm) über (...)*“ mit ‚DK2‘ und alle anderen Legendeneinheiten mit ‚DK0‘ gekennzeichnet. Für das Substrat der Überdeckung wurde zusätzlich die entsprechende Angabe im Feld „Cat\_substrat“ verwendet. Berücksichtigt wurde jeweils nur die oberste Bodenart, sodass in sandige („DK1s‘, ‚DK2s‘, z.B. „ss“, „ls“, „us“), bindige („DK1b‘, ‚DK2b‘, z.B. „sl“, „lu“, „ut“) sowie in wenigen Fällen in Ausprägungen mit unbekanntem Substrat („DK1x‘, ‚DK2x‘) unterschieden wurde.

Die Legendeneinheiten „*flacher Anmoorgley (20-30 cm) über (...)*“ und „*Anmoorgley über (...)*“ wurden nicht als Legendeneinheiten mit mineralischen Überdeckungen interpretiert, sondern als organische Böden mit stark degradierten Oberböden und einer vorhandenen Abmoorigkeit.

### Torfmächtigkeit

Die Torfmächtigkeit der Moorböden ist in der Bezeichnung der Bodentypen (Feld: „Bez\_bodentyp“) verschlüsselt. So erhielten alle Legendeneinheiten mit „*(...) mooren (30-70 cm)*“ die Kennzeichnung ‚TM2‘, Einheiten mit „*(...) Mooren (70-120 cm)*“ die Kennzeichnung ‚TM3‘ und Einheiten mit „*(...) Mooren (> 120 cm)*“ die Kennzeichnung ‚TM4‘. Moorgleye sind nach KA5 mit einer Torfmächtigkeit von 10 bis < 30 cm definiert. Daraus folgend wurden die Legendeneinheiten mit „*Moorgley*“ mit ‚TM1‘ beschrieben. Legendeneinheiten ohne Torfschicht („*Anmoorgley*“) wurden entsprechend mit ‚TM0‘ klassifiziert.

## Abmoorigkeit

Das Merkmal ‚Abmoorigkeit‘ wurden allen Legendeneinheiten mit Bodentyp (Feld: ‚Bez\_bodentyp“) „ (...) *Anmoorgley* (...)“ zugewiesen. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚AB0‘ beschrieben. Für das Substrat der ‚Abmoorigkeit‘ wurde zusätzlich die Angabe im Feld ‚Cat\_substrat“ verwendet. Berücksichtigt wurde in den Legendeneinheiten „*Anmoorgley*“ und „(*flacher*) *Anmoorgley* (...)“ jeweils nur die oberste Bodenart, sodass teilweise nicht hinsichtlich der Leitfähigkeit priorisiert wurden. Es konnten sandige („ABs‘, z.B. „ss“, „ls“, „us“), bindige („ABb‘, z.B. „ll“, „su“, „lt“) sowie in wenigen Fällen Ausprägungen mit unbekanntem Substrat („ABx‘) unterschieden werden. Alle Legendeneinheiten mit überdeckten Anmoorgleyen wurden aufgrund unklarer Angabe der Substrate ebenfalls mit ‚ABx‘ gekennzeichnet.

## Tiefumbruch

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen aus der MBK21 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TR0‘ beschrieben.

## Unterlagernde Mudden

Das Vorhandensein einer Mudde („Fh“, „Fm“) unter Torf („Hn“, „Hu“, „Hh“, „Ha“) wurde den Angaben zum Substrat (Feld „Cat\_substrat“) entnommen. Sofern eine präzise Angabe zur Muddeart vorhanden war, wurden diese Legendeneinheiten entweder mit ‚MDm‘ („Fm“) oder mit ‚MDh‘ („Fh“) gekennzeichnet. Für die Klassifikation der Muddeart wurde immer das Muddesubstrat direkt unter der tiefsten Torfschicht bzw. des Substrats der Abmoorigkeit ausgewertet. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚MDO‘ beschrieben.

## Unterlagerndes mineralisches Substrat

Das unterlagernde mineralische Substrat wurde unabhängig von den Angaben des Bodentyps lediglich auf Grundlage der im Feld des Substrattyps („Cat\_substrat“) angegebenen Substrate ermittelt. Aufgrund der Komplexität der Informationen wurde auf eine Priorisierung nach hydraulischer Leitfähigkeit verzichtet und nur das unterste angegebene Substrat berücksichtigt. Somit konnte eine sandige („LGs‘, z.B. „ss“, „ls“, „us“, „s“), lehmige („LGl‘, „sl“, „ll“, „tl“), schluffige („LGu‘, „su“, „lu“, „tu“) oder tonige („LGt‘, „lt“, „ut“) Ausprägung zugewiesen werden. Legendeneinheiten ohne oder mit unklarer Angabe zum unterlagernden mineralischen Substrat wurden mit ‚LGx‘ beschrieben.

## Bremen

### Datensatz

Für das Land Bremen liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Bodenkundliche Karte von Bremen 1:25.000 (BK25, Download über METAVER am

07.12.2020) vor. Zur Klassifikation der Legendeneinheiten der BK25 wurden die Angaben der Bodentypen als Kürzel bzw. verbalisiert (Felder: „Botyp25“, „Botyp25kl“) verwendet.

## Klassifikation des Datensatzes

### Genese

Alle Legendeneinheiten mit Niedermoorböden wurden mit ‚NH‘ gekennzeichnet, alle Legendeneinheiten mit Hochmoorböden analog mit ‚HH‘. Den Legendeneinheiten „*mittlerer (bzw. tiefer) Anmoorgley*“ und „*mittlerer (bzw. tiefer) Podsol-Anmoorgley*“ wurde nach Rücksprachen mit den Kolleg\*innen aus Bremen ebenfalls die Genese ‚NH‘ zugewiesen.

### Mineralische Überdeckung

Der Datensatz beschreibt verschiedene Legendeneinheiten von v.a. Marschböden über Moorböden. Die Mächtigkeit der mineralischen Überdeckung konnte aus den Angaben zum Bodentyp abgeleitet werden. Bei Überlagerungen durch Marschböden wurden ein bindiges Substrat angenommen. Entsprechend wurden Einheiten mit der Beschreibung „(...) mit Hortisolauflage“ mit ‚DK1x‘ gekennzeichnet, solche mit „(...) mit Kleimarschauflage“ mit ‚DK1b‘. Die Einheit „Flache Knickmarsch, unterlagert von Niedermoor“ wurde mit ‚DK2b‘ beschrieben und die Einheiten „Mittlere Kleimarsch bzw. mittlere Organomarsch unterlagert von Niedermoor“ mit ‚DK3b‘. Alle anderen Einheiten erhielten die Kennzeichnung ‚DK0‘.

### Torfmächtigkeit

Die Torfmächtigkeit wurde aus der verbalen Beschreibung der Mächtigkeit (Feld: „Botyp25kl“) abgeleitet. So wurde allen Legendeneinheiten mit Moorböden und Beschreibung „*mittlerer (...)*“ bzw. „*mittleres (...)*“ die Mächtigkeit ‚TM3‘ zugewiesen, solchen mit der Beschreibung „*tiefes (...)*“ die Mächtigkeit ‚TM4‘ sowie jenen mit der Beschreibung „*sehr tiefes (...)*“ die Mächtigkeit ‚TM5‘. Die Einheiten mit der Beschreibung „(...) mit Erd-Moorauflage“ wurden mit der Mächtigkeit ‚TM1‘ beschrieben. In einigen Legendeneinheiten von mächtig oder sehr mächtig überdeckten Niedermooren ist keine Beschreibung der Mächtigkeit des Moorbodens angegeben und damit als unbekannt gekennzeichnet worden (‚TMX‘). Allen Legendeneinheiten des Typs „*Anmoorgley*“ wurde die Mächtigkeit ‚TM0‘ zugewiesen.

### Abmoorigkeit

Einige Legendeneinheiten der „BK25“ umfassen Anmoorgleye (analog zu den Einheiten mit Torfmächtigkeit ‚TM0‘). Für die Legendeneinheiten „*mittlerer bzw. tiefer Podsol-Anmoorgley*“ wurde ein sandiges Substrat angenommen und diese mit ‚ABs‘ gekennzeichnet. Bei Legendeneinheiten des Typs „*mittlerer bzw. tiefer Anmoorgley*“ ist das Substrat unbekannt. Diese Legendeneinheiten wurden mit ‚ABx‘ beschrieben. Alle anderen Einheiten erhielten die Kennzeichnung ‚AB0‘.

### Tiefumbruch

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen aus der BK25 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TR0‘ beschrieben.

### **Unterlagernde Mudden**

Unterlagernde Mudden gehen aus den Legendeneinheiten der BK25 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚MD0‘ beschrieben.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Das unterlagernde mineralische Substrat geht aus den Legendeneinheiten der BK25 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚LGx‘ beschrieben.

## **Hamburg**

### **Datensatz**

Für die Freie und Hansestadt Hamburg liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland der Datensatz der Hamburger Moorkartierung aus dem Jahr 2016 (BUKEA 2017) zugrunde (Download am 09.07.2020). Der Datensatz besteht aus vier einzelnen Teildatensätzen, die die Moore und Torfe Hamburgs in unterschiedlichen Tiefen darstellen. Für die Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland wurden die Teildatensätze „Moorböden an der Oberfläche“ (MBO) und „Oberflächennahe Torfe bis 100 cm Tiefe“ (ONT) ausgewählt. Zur Klassifikation wurden aus dem Teildatensatz MBO die Angaben zum Bodentyp (Feld: „Bodentyp“), Substrat (Feld: „Substrat“) (beide verbale Beschreibungen) und Torfmächtigkeit (Feld: „Maechtigkeit“; numerische Angabe) betrachtet. In dem Teildatensatz ONT ist lediglich die Angabe der Torfmächtigkeit bis 100 cm Tiefe (Feld: „Maechtigkeit“) vorhanden. Für diesen Teildatensatz konnte jedoch die Mächtigkeit der Überdeckung (Feld: „Maech\_deck“) aus der Differenz der maximalen Betrachtungstiefe (100 cm) und der angegebenen Torfmächtigkeit bis zu 100 cm Tiefe abgeleitet werden.

### **Klassifikation des Datensatzes**

#### **Genese**

Für alle Legendeneinheiten wurde nach Rücksprache mit den Hamburger Kolleg\*innen eine Niedermoorgenese (‚NH‘) angenommen.

#### **Mineralische Überdeckung**

Mineralische Überdeckungen gehen ausschließlich aus dem Teildatensatz ONT hervor. Da zum Substrat der Überdeckung keine Angaben gemacht werden, war eine weitere Differenzierung der Überdeckungen nicht möglich. Es konnten daher drei Mächtigkeitsstufen ohne Substratinformationen ausgewiesen werden (‚DK1x‘, ‚DK2x‘, ‚DK3x‘). Alle Legendeneinheiten des Teildatensatzes MBO wurden mit ‚DK0‘ klassifiziert.

### Torfmächtigkeit

Für die Ableitung der Torfmächtigkeit der Legendeneinheiten des Teildatensatzes MBO konnten direkt die Angaben im Feld „Mächtigkeit“ verwendet werden. Die Einteilung erfolgte in Abhängigkeit der Angaben in ‚TM1‘ bis ‚TM5‘. Bei Legendeneinheiten des Bodentyps „Anmoorgley“ wurde die Angabe der Torfmächtigkeit nicht berücksichtigt und die Torfmächtigkeit für diesen Bodentyp einheitlich mit ‚TM0‘ beschrieben. Für den Teildatensatz ONT wurde die Torfmächtigkeit bis zur Betrachtungstiefe von 100 cm in den Ausprägungen ‚TM1‘ bis ‚TM3‘ angegeben.

### Abmoorigkeit

Abmoorigkeit wurden allen Legendeneinheiten des Bodentyps „Anmoorgley“ im Teildatensatz MBO zugewiesen. Die Verwendung der beschreibenden Substratangaben des Teildatensatzes ermöglichte eine weitere Differenzierung. So erhielten Legendeneinheiten mit der Angabe „Sand“ im Substrat (z.B. „Anmoortorf über Sand“) die Kennung ‚ABs‘. Gleiches gilt für Legendeneinheiten mit der Angabe von „Schluff“, „Ton“ oder „Lehm“, welche mit ‚ABb‘ beschrieben wurden. Anmoorgley-Einheiten ohne oder mit mehrdeutigen Angaben zum Substrat (z.B. „Anmoortorf ueber Sand bis Lehm“) wurden mit ‚ABx‘ gekennzeichnet. Allen weiteren Legendeneinheiten der Teildatensätze MBO und ONT wurde der Wert ‚AB0‘ zugeordnet.

### Tiefumbruch

Tiefumgebrochene Flächen gehen aus der Moorkartierung nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Einheiten wurden daher mit ‚TR0‘ beschrieben.

### Unterlagernde Mudden

Informationen zu Mudden konnten dem Teildatensatz MBO (Feld: „Substrat“) entnommen werden. Unterschieden wurde zwischen ‚MDk‘ („Kalkmudden“), ‚MDm‘ (organo-mineralische Mudde, hier: „Schluffmudde“), ‚MDh‘ (organische Mudde, hier: „Torfmudde“), sowie ‚MD0‘ (keine Angabe zu Mudden). Hinweise auf Mudden ohne Spezifizierung (z.B. „Anmoortorf bis Torf, Mudde“, „Torf über Sand, z.T. Mudde“) wurden nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen des Landesamtes als Ausprägung ‚MDh‘ berücksichtigt und den entsprechenden Legendeneinheiten zugewiesen. Uneindeutige Angaben (z.B. „Torf- bis Schluffmudde“) wurde als ‚MDx‘ beschrieben. Allen weiteren Legendeneinheiten der Teildatensätze MBO und ONT wurde der Wert ‚MD0‘ zugeordnet.

### Unterlagerndes mineralisches Substrat

Durch die Auswertung des Feldes „Substrat“ im Teildatensatzes MBO konnten Informationen zum Unterlagernden gewonnen werden. Es wurde zwischen ‚LGb‘ (z.B. „Torf über Schlick“ oder „Torf über Klei“), ‚LGt‘ (z.B. „Torf über Ton (Klei)“), ‚LGu‘ (z.B. „Torf über Sand über Schluff“), ‚LGl‘

(z.B. „Torf über Geschiebelehm“), ‚LGs‘ (z.B. „Torf über Sand“), sowie ‚LGx‘ bei keinem oder nicht eindeutig beschriebenen unterlagernden mineralischem Substrat (z.B. „Torf über Mudde“ oder „Torf über Auensand bis Auenlehm“) unterschieden. Allen Legendeneinheiten des Teildatensatzes ONT wurde ebenfalls der Wert ‚LGx‘ zugeordnet.

## Hessen

### Datensatz

Für das Land Hessen liegen der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Bodenflächendaten 1:50.000 (BFD50, 2. Auflage, aktualisiert, Stand 06/2020) zugrunde. In Abstimmung mit den Kolleg\*innen des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie wurden aus der Bodenkarte der BFD50 die organogenen Böden (Legendeneinheiten mit Moor- oder Anmoorböden als Leitböden und Begleitböden verbal beschrieben; Felder: „GEN\_ID“ und „Bodtitel“) selektiert. Zusätzlich liegen zu einem Großteil der ausgewählten Legendeneinheiten bodenkundliche Modellprofile (nicht im Datensatz enthalten) vor, welche ebenfalls für die Klassifikation verwendet wurden.

### Klassifikation des Datensatzes

#### Genese

Unter Berücksichtigung der angegebenen Böden sowie Zuhilfenahme zugehöriger Modellprofile wurden die Legendeneinheiten mit den Inhalten „Niedermoore“ oder „Übergangsmoore“ im Feld „Bodtitel“ („GEN\_ID“: „19“, „31“, „33“, „60“, „61“, „62“, „121“, „325“, „420“), sowie die beiden Einheiten die überdeckte Niedermoore darstellen („36“, „59“) wurden ‚NH‘ verschlüsselt. Legendeneinheiten mit der Information „Hochmoore“, „Hangmoorgleye“ sowie „mit Hochmoorgleyen“ im Feld „Bodtitel“ wurde die Genese ‚HH‘ zugewiesen („326“, „442“, „454“, „457“). Allen weiteren Legendeneinheiten des Typs (Auen-)Anmoorgleye („32“, „35“, „48“, „58“, „341“), für die keine eindeutige Genese ermittelt werden konnte, wurden mit ‚XH‘ beschrieben.

#### Mineralische Überdeckung

Mineralische Überdeckungen gehen aus den Angaben zu den Legendeneinheiten der Bodenkarte nicht direkt hervor. Nach Prüfung der Modellprofile und Rücksprache mit den Kolleg\*innen des Landesamtes wurden die Legendeneinheiten „36“ und „59“ (Feld: „GEN\_ID“) als sehr mächtig überdeckte Niedermoore identifiziert und ihnen somit eine mineralische Überdeckung ‚DK3b‘ zugewiesen. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚DK0‘ beschrieben.

#### Torfmächtigkeit

Für die Ableitung der Torfmächtigkeit wurden Angaben zur Untergrenze der Torfhorizonte aus den vorhandenen Modellprofilen verwendet. Legendeneinheiten der Moorgleye („GEN\_ID“:

„420“, „442“, „457“) wurde der Wert ‚TM1‘ zugewiesen. Die Legendeneinheiten „36“, „62“, „121“, „325“ und „454“ (Feld: „GEN\_ID“) wurden mit dem Wert ‚TM2‘ beschrieben, die Legendeneinheiten „19“, „31“, „59“, „60“, „61“ und „326“ mit dem Wert ‚TM3‘ und die Legendeneinheit „33“ mit dem Wert ‚TM4‘. Alle weiteren Legendeneinheiten umfassen Anmoorgleye und wurden mit ‚TM0‘ beschrieben („GEN\_ID“: „32“, „35“, „48“, „58“ und „341“).

### **Abmoorigkeit**

Die Legendeneinheiten der (Auen-)Anmoorgleye wurden in Abhängigkeit der in den Modellprofilen ausgewiesenen Bodenarten in ‚ABs‘ für sandige („GEN\_ID“: „35“) und in ‚ABb‘ für bindige („GEN\_ID“: „32“, „48“, „58“ und „341“) Ausprägungen eingeteilt. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚AB0‘ beschrieben.

### **Tiefumbruch**

Legendeneinheiten mit Hinweis auf einen Tiefumbruch gehen aus den BFD50 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TR0‘ beschrieben.

### **Unterlagernde Mudden**

Informationen zu Mudden lassen sich aus den vorhandenen Angaben der Bodenkarte und der Modellprofile nicht direkt ableiten. Nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen des Landesamtes wurden in der Legendeneinheit „19“ (Feld: „GEN\_ID“) dennoch mineralische Mudden („MDx“) identifiziert. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚MD0‘ beschrieben.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Die Auswertung zum Unterlagernden basierte auf den Angaben zur Bodenart aus den Modellprofilen. Nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen des Landesamtes wurden die eindeutigen Ausprägungen ‚LGt‘ („GEN\_ID“: „326“), ‚LGu‘ („GEN\_ID“: „60“), ‚LGl‘ („GEN\_ID“: „31“) und ‚LGs‘ („GEN\_ID“: „19“, „33“, „35“, „36“, „48“, „121“, „325“, „442“, „457“), zugewiesen. Die Substratangaben der Profile der Legendeneinheiten („GEN\_ID“) „32“, „58“, „61“, „62“, „341“, „420“ und „454“ waren nicht eindeutig, konnten jedoch mit ‚LGb‘ beschrieben werden. Nur für eine Legendeneinheiten („GEN\_ID“: „59“) wurde keine klare Angabe zum unterlagernden mineralischen Substrat angegeben und diese wurde somit mit ‚LGx‘ verschlüsselt.

## **Mecklenburg-Vorpommern**

### **Datensatz**

Für das Land Mecklenburg-Vorpommern liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Konzeptbodenkarte 1:25.000 – kohlenstoffreiche Böden (KBK25\_KB; erhalten am 02.09.2022) zugrunde. Zur Klassifikation der KBK25\_KB wurden die Legendeneinheiten (Feld: „Einheit“) genutzt und deren Beschreibungen als verbale (Feld:

„Einheit\_text“) bzw. Kürzel der Bodenformengesellschaften (Feld „Einheit\_botyp“) ausgewertet. Dabei wurde hauptsächlich die dominierende Bodenform (Flächenanteile „überwiegend“, „vorherrschend“ bzw. „fast ausschließlich“) betrachtet. Zur Präzisierung, vor allem von Mächtigkeiten und Substraten, wurden die zur jeweiligen dominierenden Bodenform zugehörigen Idealprofile (im Datensatz nicht enthalten) verwendet sowie zusätzliche Einschätzung der Kolleg\*innen des Landesamtes genutzt.

## **Klassifikation des Datensatzes**

### **Genese**

Mit Ausnahme der Legendeneinheit „6“ („Fast ausschließlich Hochmoore und Hochmoore über Niedermoor“), die als ‚HH‘ gekennzeichnet wurden, wurde allen weiteren Legendeneinheiten der KBK25\_KB die Genese ‚NH‘ zugewiesen.

### **Mineralische Überdeckung**

In der KBK25\_KB werden in vier Legendeneinheiten überdeckte Niedermoore beschrieben. Diese wurden anhand der Beschreibung der Substrate sowie genauer durch die Idealprofile klassifiziert als ‚DK1s‘ (Einheit 5.6), ‚DK2s‘ (Einheiten 1.5 und 5.4) sowie ‚DK2b‘ (Einheit 1.4). Alle übrigen Legendeneinheiten wurden mit ‚DK0‘ beschrieben.

### **Torfmächtigkeit**

Die Torfmächtigkeit der Moorböden der KBK25\_KB ist sowohl verbal („Einheit\_text“: z.B. „flachgründig“, „tiefgründig“) als auch in den Idealprofilen über die Horizontmächtigkeiten beschrieben. Die Angaben der Idealprofile wurden am höchsten priorisiert und mit Kolleg\*innen des Landesamtes für die Klassifikation abgestimmt. Eine Klassifikation mit ‚TM1‘ erfolgte für die Legendeneinheiten „52.1“ und „54“ (Moorgleye), mit ‚TM2‘ für die Legendeneinheiten „3.1“, „3.1.2“, „3.2.1.1“, „4.1.1“, „4.1.2“, „49“, „5.1.1“ und „5.1.2“, mit ‚TM3‘ für die Legendeneinheiten „4“, „4.1“, „4.3“, „5“, „5.1“, „5.3“, mit ‚TM4‘ für die Legendeneinheiten „1.4“, „1.5“, „3“, „5.4“, „5.6“ und mit ‚TM5‘ für die Legendeneinheiten „3.2“, „4.2“, „5.2“, „6“ und „6.1“. Die Legendeneinheit „5.5“ beschreibt als einzige Einheit dominierend Anmoorgleye und wurde entsprechend mit ‚TM0‘ ausgewiesen.

### **Abmoorigkeit**

In der KBK25\_KB werden in der Legendeneinheit „5.5“ dominierend Anmoorgleye beschrieben. Unter Verwendung der Idealprofile konnte der Legendeneinheit eine sandige Ausprägung der Abmoorigkeit zugewiesen werden (‚ABs‘). Alle übrigen Legendeneinheiten wurden mit ‚AB0‘ beschrieben.

### **Tiefumbruch**

Legendeneinheiten mit Hinweis auf einen Tiefumbruch gehen aus der KBK25\_KB nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TRO‘ beschrieben.

## Unterlagernde Mudden

Das Vorhandensein einer Mude unter Torf ist in den Legendeneinheiten der KBK25\_KB sowohl verbal im Feld „Einheit\_text“ als auch in der substratsystematischen Einheit der Bodenform („Einheit\_botyp“) beschrieben und kann teilweise anhand der Idealprofile präzisiert werden. Nach Auswertung der Informationen sowie Präzisierung durch Kolleg\*innen des Landesamtes wurden die Legendeneinheiten „4.3“ und „5.3“ mit ‚MDk‘ („*Niedermoortorf über Kalkmudde*“) und die Einheit „3.2.1.1“ mit ‚MDh‘ („*Niedermoortorf über Mudde*“ mit Präzisierung zu „*fl-Fh*“ im Idealprofil) gekennzeichnet. Weiterhin erhielten die Legendeneinheiten „3.1.2“, „4“, „4.1“, „4.1.1“, „4.1.2“, „5“, „5.1.1“, „5.1.2“, „5.2“ und „5.5“ die Ausprägung ‚MDx‘, auch wenn ggf. die unterlagernde Mude nicht im Idealprofil auftritt, jedoch in der Bodenform beschrieben wird. Alle übrigen Legendeneinheiten wurden mit ‚MD0‘ beschrieben.

## Unterlagerndes mineralisches Substrat

Für die präzise Beschreibung des Unterlagernden wurden hauptsächlich die Informationen zur Bodenart aus den Idealprofilen verwendet, obwohl Informationen ebenfalls im Feld „Einheit\_text“ KBK25\_KB vorhanden sind und ggf. zusätzlich berücksichtigt wurden (im Falle extrem mächtigen Moorböden mit Angabe zum unterlagernden mineralischen Substrat in weiteren Bodenformen in der Legendeneinheit). Nach Auswertungen der vorliegenden Informationen wurden den Legendeneinheiten „3.1.2“, „4.1.2“ und „5.1.2“ die Ausprägung ‚LGl‘ und den Legendeneinheiten „3“, „3.1“, „3.2“, „3.2.1.1“, „4“, „4.1“, „4.1.1“, „49“, „5“, „5.1“, „5.1.1“, „5.5“, „52.1“ und „54“ die Ausprägung ‚LGs‘ zugewiesen. Für alle weiteren Legendeneinheiten ist das unterlagernde Substrat nicht bekannt. Diese Legendeneinheiten wurden entsprechend mit ‚LGx‘ beschrieben.

## Niedersachsen

### Datensatz

Für das Land Niedersachsen liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland ein Auszug der Bodenkarte 1:50.000 von Niedersachsen (BK50) (erhalten am 30.06.2021), die das aktuellste Werk zur Bodenklassifikation Niedersachsens darstellt (GEHRT et al. 2021), zu Grunde. Dieser umfasst einen Vektordatensatz mit vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie ausgewählten Legendeneinheiten mit Moor und Torf, die im Attribut „Kategorie“ bereits Moorböden und Böden mit (ehemaligen) Torfschichten gekennzeichnet und klassifiziert wurden. Zusätzlich wurde die zugehörige Profildatenbank der Bodenkarte 1:50.000 zur Verfügung gestellt und mit dem Flächendatensatz verknüpft. Für die Klassifikation der aktualisierten Kulisse organischer Böden in Deutschland wurden die Felder „Kategorie“, „Bodentyp“ (Kürzel des Bodentyps), „Torfmaecht“ (numerische Angabe der Mächtigkeit) sowie die Angaben zu Substraten als Kürzel in den Feldern „Boatyp“, „Boahtyp“ und „Boautyp“ vor allem für die Substratbeschreibungen genutzt. Von den bereits vorausgewählten Kategorien

wurden alle Legendeneinheiten mit Ausnahme der „*Organomarsch*“ sowie Flächen mit einer mineralischen Deckschicht von > 100 cm in der Kategorie „*mächtig überlagerter Torf*“ ausgewählt. Letztere wurden vorab anhand der Angaben zum Wechsel von Mineralboden zu Torf in den Feldern „Bodentyp“ und „Boatyp“ identifiziert und aufgrund von Schichtwechselln zwischen 80 und 130 cm (im Mittel 110 cm) oder tiefer ausgeschlossen.

## Klassifikation des Datensatzes

### Genese

Böden der Kategorie „*Niedermoor*“ wurden vorrangig mit der Genese ‚NH‘ beschrieben. Eine Ausnahme bildeten Legendeneinheiten der Kategorie „*Niedermoor*“ mit „Bodentyp“ Gley („G3“, „G4“, oder „G5“), die im „Boatyp“ durch das Vorhandensein einer organischen Mudde an der Geländeoberfläche gekennzeichnet waren. Diese Legendeneinheiten wurden in der Genese mit ‚MD‘ klassifiziert. Allen Legendeneinheiten der „Kategorie“ „*Organomarsch mit Niedermoorauflage*“, „*Moorgley*“ sowie „*ehemaliger Moorgley unter Acker*“ wurden nach Auswertung der Torfart des Feldes „Boatyp“ der Ausprägung ‚NH‘ zugeordnet. Alle Flächen der Kategorie „*Hochmoor*“ wurde die Genese ‚HH‘ zugeordnet. Für alle weiteren Kategorien wurde das Feld „Bodentyp“ ausgewertet und bei Angabe von „HN“ (Niedermoor) die Legendeneinheit mit ‚NH‘ beschrieben sowie bei Angabe von „HH“ (Hochmoor) mit ‚HH‘. Allen Legendeneinheiten konnte eine eindeutige Genese zugeordnet werden.

### Mineralische Überdeckung

In vier der ausgewiesenen „Kategorien“ der BK50 sind mineralische Schichten über Torfen beschrieben („*flach überlagerter Torf*“, „*mächtig überlagerter Torf*“, „*Sanddeckkultur*“ und „*kultivierte Moore*“). Für die Eingruppierung der Mächtigkeit wurden die Wechsel der Bodentypen (Feld: „Bodentyp“) betrachtet. Diese bilden in der niedersächsischen Nomenklatur andere Tiefen als in der KA5 ab, sodass sich Grenzen bei < 20 cm („\“), < 40 cm („/“) und < 80 cm („//“) ergeben. Ein Wechsel von mineralischer zu Torfschicht bei < 20 cm und < 40 cm wurde mit ‚DK1‘ gekennzeichnet, Wechsel bei < 80 cm wurden als ‚DK2‘ klassifiziert. Böden in der „Kategorie“ „*kultivierte Moore*“ stellen stark anthropogen veränderte Böden wie Treposole/Sandmischkulturen, Baggerkuhlungen und Spittkulturen dar. Für diese „Kategorie“ wurde eine typische Pflugtiefe von 30 cm angenommen und diesen Legendeneinheiten der Wert ‚DK2‘ zugeordnet. Zur Ausweisung des Substrats der mineralischen Decke wurden zusätzlich die Felder „Boatyp“ bzw. „Boautyp“ ausgewertet. Berücksichtigt wurde jeweils nur die Bodenart der obersten Schicht. Nach Auswertung dieser Informationen konnten sandige („DK1s“, „DK2s“) und bindige („DK1b“, „DK2b“) Decken ausgewiesen werden. Alle übrigen Legendeneinheiten wurden mit ‚DK0‘ beschrieben.

### Torfmächtigkeit

Die Torfmächtigkeit als ein eigenes Attribut im Datensatz (Feld „Torfmaecht“) wurde entsprechend der Angaben ausgewertet und den Ausprägungen ‚TM1‘ bis ‚TM5‘ zugeordnet. Vorab wurden alle Legendeneinheiten der „Kategorie“ „*ehemaliger Moorgley unter Acker*“ und „*kultivierte Moore*“ ungeachtet etwaiger Angaben zur Torfmächtigkeit mit ‚TM0‘ belegt, da diese Einheiten abmoorige bzw. tiefumgebrochene Böden umfassen, die keine Torfmächtigkeit im eigentlichen Sinne mehr aufweisen. Die Angabe der Torfmächtigkeit im Datensatz umfasst in einigen Legendeneinheiten ebenfalls die Mächtigkeit organischer Mudden. Für reine organische Muddeböden (bereits mit Genese ‚MD‘ gekennzeichnet) wurden diese Angaben übernommen, sodass hierbei die Torfmächtigkeit der Muddemächtigkeit entspricht. Für Legendeneinheiten der „Kategorie“ „*Hochmoor*“, „*Niedermoor*“ und „*Moorgley*“ welche durch eine organische Mudde im Liegenden der Torfe gekennzeichnet sind (Feld: „Boatyp“), wurde die reine Torfmächtigkeit ohne die unterlagernde organische Mudde anhand der Substrat-Schichtwechsel bestimmt. Für die Wechsel von Torf- zu organischer Muddeschicht bei < 20 cm und < 40 cm wurde ‚TM1‘ angenommen, Wechsel bei < 80 cm wurden als ‚TM2‘ klassifiziert und Wechsel bei < 130 cm als ‚TM3‘.

### **Abmoorigkeit**

Legendeneinheiten der „Kategorie“ „*ehemaliger Moorgley unter Acker*“, bei denen von einem im Oberboden geringeren organischen Kohlenstoffgehalten auszugehen ist, wurden mit einer Abmoorigkeit gekennzeichnet. Nach Auswertung der Bodenart der obersten oder einzigen mineralischen Schicht im Feld „Boatyp“ konnten die Legendeneinheiten zusätzlich in bindige ‚ABb‘ (z.B. „l“, „u“, „t“) und sandige ‚ABs‘ (z.B. „s“) Ausprägungen untergliedert werden. Allen übrigen Legendeneinheiten wurden mit ‚AB0‘ beschrieben.

### **Tiefumbruch**

Das Merkmal ‚Tiefumbruch‘ wurde für alle Legendeneinheiten der „Kategorie“ „*kultivierte Moore*“ angewandt und diese mit ‚TR1‘ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚TR0‘ klassifiziert.

### **Unterlagernde Mudden**

Das Vorhandensein von Mudden unter Torf wurde über die Substratangaben im Feld „Boatyp“ (z.B. „Hn,u//Em“ oder „Hn,s//Eh“) ermittelt. Alle Legendeneinheiten mit der Angabe „Fh“ wurden mit ‚MDh‘ beschrieben, jene mit der Angabe „Fm“ entsprechend als ‚MDm‘. Legendeneinheiten, die reine Muddeböden darstellen, wurden wie alle übrigen Legendeneinheiten mit ‚MD0‘ gekennzeichnet.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Zur Beschreibung des unterlagernden mineralischen Substrates der Böden wurden die Angaben im Feld „Boatyp“ verwendet. Zur Klassifikation wurde die Bodenart der untersten Schicht ausgewertet (z.B. „l/s/u“). Ausgewiesen wurde ‚LGf‘ (Festgestein) für die Angaben „+D“.

„+G“, „+Gb“, „^g“, „^i“, „^k“, „^q“, „^s“, „^t“, „^tsf“ oder „^u“, ,LGT' für Tone („t“), ,LGu' für Schluffe („u“), ,LGL' für Lehme („l“) sowie ,LGS' für Sand und Lockergestein („s“, „Z“). Legendeneinheiten ohne Informationen zur Bodenart des Unterlagernden (Torf- oder Muddesubstrate im gesamten Profil) wurden mit ,LGx' beschrieben.

## Nordrhein-Westfalen

### Datensatz

Für das Land Nordrhein-Westfalen liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Bodenkarte 1:50.000 von Nordrhein-Westfalen (BK50, Download am 07.11.2019) vor. Die BK50 weist Bodeneinheiten (Feld: „Einheit\_name“) anhand von generalisierten Schichtungen aus, die in Bodentypen aggregiert und somit dargestellt werden können. Für den Zweck der Aktualisierung haben sich die Informationen der Schichtungen als genauer und detaillierter erwiesen. Diese wurden vom Geologischen Dienst NRW selbst hinsichtlich der sieben Merkmalskategorien ausgewertet und zur Verfügung gestellt. Im Wesentlichen sind alle Typen organischer Böden im Sinne dieses Projektes erfasst und in der BK50 ausgewiesen (Feld „Typ\_text“; z.B. „Hochmoor“, „Erd-Niedermoor“, „Uebergangs(nieder)moor“, „Niedermoorgley“, „Anmoorgley“, „Moorstagnogley“, „Niedermoor-Deckkulturboden“, „Hochmoor-Fehnkultur“, „Hochmoor-Tiefumbruchboden“). Dazu kommen einige wenige Legendeneinheiten mit „Stagnogley“ und „Pseudogley-Gley“, die in ihren generalisierten Schichtungen an- bzw. abmoorige Schichten aufweisen.

### Klassifikation des Datensatzes

Eine eigene Auswertung des Datensatzes wurde nicht durchgeführt, sondern das Harmonisierungskonzept mit den Kolleg\*innen des Geologischen Dienstes NRW abgestimmt, sodass die Klassifikation des Datensatzes vollständig übernommen wurde. Von uns wurden nachträglich lediglich leichte Anpassungen der Merkmalsausprägungen, die sich aufgrund einer Weiterentwicklung des Klassifikationsschemas (z.B. bei Abmoorigkeit) ergeben haben, vorgenommen. Im Datensatz sind keine Datenfelder zur Klassifikation bereitgestellt, lediglich Bodentypen (verbal), die Nummern der Legendeneinheiten und die klassifizierten Merkmalsausprägungen werden aufgeführt.

## Rheinland-Pfalz

### Datensatz

Für das Land Rheinland-Pfalz liegen der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden die Bodenflächendaten 1:50.000 (BFD50, Download über WFS-Dienst am 24.11.2020) vor. Die BFD50 bildet landesweit die Bodentypen und bodenbildenden Substrate bis in eine Tiefe von zwei Metern ab. Zur Klassifikation der Legendeneinheiten wurden Informationen zur Bodenformengesellschaft (Feld: „Bodenform“) sowie den dazugehörigen Kürzeln der

Bodentypen (Feld: „Bodentyp“) und zu den Substraten (Feld: „Substratschichtung“), die aus der Legende der BFD50 (Stand: 30.06.2021) anhand der Nummer der Bodenformengesellschaft (Feld: „NRBFG“) übernommen wurden, verwendet. Die Klassifikation erfolgte in enger Abstimmung mit den Kolleg\*innen des Landesamtes, die intern vorliegende Profilinformatoren mitberücksichtigen konnten.

## Klassifikation des Datensatzes

### Genese

Legendeneinheiten, die im Feld „Substratschichtung“ mit „og-Hn“ oder „og-Hu“ beschrieben sind, wurden mit einer Niedermoorgenese (,NH') gekennzeichnet. Legendeneinheiten mit ausgewiesenen Anmoorgleyen („NRBFG“: „460“, „462“, „465“, „480“, „502“ und „1812“) wurden nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen des Landesamtes ebenfalls mit einer Niedermoorgenese (,NH') beschrieben. Lediglich der Legendeneinheit „2782“ (Anmoorstagno) wurde eine unbekannte Torfart zugewiesen (,XH').

### Mineralische Überdeckung

Die Auswertung des Vorhandenseins und der entsprechenden Mächtigkeit der mineralischen Decke erfolgten auf Basis der Bodenformengesellschaft und den zugehörigen Angaben der Substratschichtung. Dabei wurde nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen des Landesamtes den Legendeneinheiten „504“ und „3007“ eine flache (,DK1'), und den Legendeneinheiten „1776“ und „1810“ eine sehr mächtige mineralische Decke zugewiesen (,DK3'). Die ausgewiesenen Deckensubstrate entsprechen Lehmen („fo-l“, „fo-el“), Schluffen („fo-eu“) oder Tonen („fo-et“) und wurden daher als bindiges Substrat (,DK1b', ,DK3b') verschlüsselt. Alle weiteren Legendeneinheiten erhielten die Kennzeichnung ,DK0'.

### Torfmächtigkeit

Für die Klassifikation der Torfmächtigkeit wurde die Tiefenangabe eines auftretenden Substratwechsels in Kombination mit den Substraten „og-Hn“ oder „og-Hu“ ausgewertet. Bei Legendeneinheiten ohne mineralische Überdeckung über den Torfsubstraten entspricht ein mit „\“ gekennzeichnete Wechsel einer flachen (,TM1', entspricht Moorgleyen, „NRBFG“: „74“ und „1827“), ein mit „/“ gekennzeichnete Wechsel einer geringmächtigen (,TM2', „NRBFG“: „75“, „463“, „464“, „553“, „1719“, „1814“ und „3013“) und ein mit „//“ gekennzeichnete Wechsel einer mächtigen (,TM3', „NRBFG“: „483“ und „2872“) Torfmächtigkeit. Bei Legendeneinheiten in denen Torfe unterhalb mineralischer Überdeckungen liegen, wurde die Mächtigkeit der Überlagerungen (mittlere Mächtigkeit: „\“ = 15 cm, „/“ = 95 cm) berücksichtigt und in Einzelfällen mit internen Informationen der Kolleg\*innen des Landesamtes präzisiert. So erhielten die Legendeneinheiten „1776“ und „1810“ die Ausprägung ,TM2' und die Legendeneinheit „504“ die Ausprägung ,TM4'. Die Legendeneinheiten „503“, „1808“ und „3007“ beschreiben Böden mit Abmoorigkeit über Torfen und wurden alle mit ,TM2'

klassifiziert. Allen Legendeneinheiten mit Angaben zu Anmoorgleyen ohne Torfunterlagerung wurden die Ausprägung ‚TMO‘ zugewiesen („NRBFG“: „460“, „462“, „465“, „480“, „502“, „1812“).

### **Abmoorigkeit**

In den BFD50 werden Anmoorgleye mit oder ohne Torfunterlagerung in den Legendeneinheiten beschrieben. Legendeneinheiten mit Anmoorgleyen aus tonigen, mergeligen und lehmigen Substraten (z.B. „fo-l“, „fo-eu“) wurden der bindigen Ausprägung („ABb“, „NRBFG“: „460“, „502“, „503“, „1808“, „1812“, „2782“ und „3007“) und Legendeneinheiten aus sandigen Substraten (z.B. „fo-s“, „uk-(k)s(Λs)“) wurden der sandigen Ausprägung („ABs“, „NRBFG“: „462“, „465“ und „480“) zugeordnet. Alle weiteren Legendeneinheiten erhielten die Kennzeichnung ‚AB0‘.

### **Tiefumbruch**

Legendeneinheiten mit Hinweis auf einen Tiefumbruch gehen aus den BFD50 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TRO‘ beschrieben.

### **Unterlagernde Mudden**

Unterlagernde Mudden gehen aus den BFD50 nicht hervor, wurden jedoch mit internen Informationen der Kolleg\*innen des Landesamtes präzisiert. Dadurch konnte den Legendeneinheiten „3007“ und „3013“ die Ausprägung einer mineralischen Mudde („MDm“) zugewiesen werden. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚MDO‘ beschrieben.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Zur Beschreibung des Unterlagernden wurden die Angaben zu den Substraten (Feld: „Substratschichtung“) ausgewertet und in wenigen Fällen mit internen Informationen der Kolleg\*innen des Landesamtes präzisiert. Unter Berücksichtigung der Priorisierung nach hydraulischer Leitfähigkeit wurde den Legendeneinheiten die Ausprägungen für Festgestein („LGf“, „NRBFG“: „464“, „1719“ und „3013“) sowie für tonige („Lgt“, „NRBFG“: „75“), schluffige („LGu“, „NRBFG“: „502“, „503“, „1808“, „1827“ und „2872“), lehmige („Lgt“, „NRBFG“: „483“, „1814“, „2782“ und „3007“) und sandige („LGS“, „NRBFG“: „74“, „460“, „462“, „463“, „465“, „480“, „553“ und „1812“) Substrate zugewiesen. Legendeneinheiten ohne Informationen zum Unterlagernden bis wurde das Substrat als unbekannt („LGx“) gekennzeichnet („NRBFG“: „504“, „1776“, „1810“).

## **Saarland**

### **Datensatz**

Für das Saarland liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Bodenübersichtskarte 1:100.000 (BÜK100, Download über WFS-Dienst am 19.05.2020) vor.

Die BÜK100 bildet landesweit die Bodentypen in Form von Bodengesellschaften mit Leit- und Begleitböden ab, wobei die Leitböden auch als Bodenformen beschrieben werden. Zur Klassifikation der Legendeneinheiten wurden der Name der Leitbodenform (Feld: „Leitboden“) sowie die verbale Beschreibung der Bodenartenschichtung (Feld: „Bodenart\_s“) verwendet. Die BÜK100 umfasst zwei Legendeneinheiten (Feld: „Einheit“), die in relevantem Maße (als Leitböden) organische Böden beschreiben und die für die weitere Klassifikation selektiert wurden.

## **Klassifikation des Datensatzes**

### **Genese**

Für die Legendeneinheit „39“ wird als Leitboden „*Niedermoor*“ ausgewiesen und daraus folgend diese Legendeneinheit mit einer Niedermoorgenese (,NH') beschrieben. Die Legendeneinheit „38“ umfasst „*Anmoorgley, Nassgley, Moorschichtgley*“. Zusätzlich werden dieser Einheit Niedermoores als Begleitböden zugeordnet, so dass dieser Legendeneinheit ebenfalls eine Niedermoorgenese (,NH') zugewiesen wurde.

### **Mineralische Überdeckung**

Mineralische Überdeckungen gehen aus der BÜK100 für die ausgewählten Legendeneinheiten nicht eindeutig hervor und wurden nicht ausgewiesen. Beide Legendeneinheiten wurden mit ,DK0' beschrieben.

### **Torfmächtigkeit**

Die Torfmächtigkeit der „*Niedermoor*“-Böden in Legendeneinheit „39“ geht aus den Angaben der BÜK100 nicht klar hervor. Nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen aus dem Saarland kann diese Legendeneinheit „*Niedermoor*“-Böden mit der Mächtigkeitsausprägung ,TM2' oder ,TM3' enthalten, jedoch sich nicht auf eine Ausprägung festgelegt werden. Daraus folgend wurde diese Legendeneinheit mit unbekannter Torfmächtigkeit (,TMX') beschrieben. Der Legendeneinheit „38“ wurde die Ausprägung ,TM0' zugewiesen, da diese Legendeneinheit „*Anmoorgleye*“ beschreibt.

### **Abmoorigkeit**

Die Anmoorgleye umfassende Legendeneinheit „38“, die nach Angabe der Bodenartschichtung aus „*lehmigem Sand bis lehmigem Schluff*“ aufgebaut ist, wurde mit ,ABb' beschrieben. Die Legendeneinheit „39“ erhielt die Kennzeichnung ,AB0'.

### **Tiefumbruch**

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen aus der BÜK100 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Beide Legendeneinheiten wurden mit ,TR0' belegt.

### **Unterlagernde Mudden**

Legendeneinheiten mit dem Torf unterlagernden Mudden gehen aus der BÜK100 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Beide Legendeneinheiten wurden mit ‚MDO‘ beschrieben.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Die Bodenart des unterlagernden mineralischen Substrats wurde aus der Angabe zur Bodenartschichtung ermittelt. Legendeneinheit „38“ beschreibt *„(...) über geröllführendem Sand bis Lehm (...)“*, Legendeneinheit „39“ *„(...) über vorwiegend sandigen bis schluffigen Flusssedimenten (...)“*. Die Ausweisung einer eindeutigen Bodenart des Unterlagernden ist aus diesen Angaben nicht möglich, daraus folgend wurde beide Legendeneinheiten mit ‚LGx‘ beschrieben.

## **Sachsen**

### **Datensatz**

Für das Land Sachsen liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Digitale Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (BK50, Download über Geodatenfachportal am 23.07.2020) vor. Diese stellt die Böden anhand von Bodengesellschaften mit Leit- und Begleitbodenformen dar, welche mit Bodentyp und Substrattyp der Leitbodenform beschrieben werden. Zudem sind für die Leitbodenformen bodensystematische Beschreibungen und Bodenkennwerte nach Horizonten verfügbar. Zur Klassifikation der Legendeneinheiten der BK50 wurden die Angaben der Bodentypen (Kürzel nach KA5, Feld: „Botyp“), der Substrattypen (Kürzel nach KA5, Feld: „Sstrtyp“) und der daraus verbalisierten Bodenform (Feld: „Leg\_text“) verwendet.

Ergänzend wurde der Datensatz des Sächsischen Informationssystems für Moore und andere organische Nassstandorte (SIMON, LfULG 2011; erhalten am 17.07.2020) hinzugezogen. Hieraus wurden aus dem Teildatensatz der Bodenkonzeptkarte („BKkonz“) im Maßstab von 1:25.000 Legendeneinheiten mit organischen Böden (Kürzel nach KA4, z.T. als Gesellschaft mit relativen Flächenanteilen; Feld: „Tg\_idn\_b\_3“) selektiert. Für die Klassifikation dieses Datensatzes wurden zusätzlich die Informationen zum Substrat (Kürzel nach KA4; Feld: „tg\_idn\_b\_5“) sowie zur kategorisierten Torfmächtigkeit (Feld: „Gruppier\_2“) berücksichtigt. Feld „Tg\_idn\_b\_6“ liefert zusätzlich die Information, ob sich die Angaben auf forstliche („FSK“) oder landwirtschaftliche („MMK“) Eingangsdaten beziehen.

Nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen des Landesamtes wurde zusätzlich zu beiden bisher genannten Datensätzen auf Flächen der Bodenschätzung (BS) zurückgegriffen. Informationen der Bodenschätzung wurden durch die sächsischen Kolleg\*innen vorselektiert. In diesem Schritt wurden alle Legendeneinheiten mit „Mo“ im Klassenzeichen berücksichtigt. Für die Klassifikation dieses Datensatzes standen lediglich die Bodenart des Klassenzeichens als Abkürzung (Feld: „C\_bodenart“) und verbale Beschreibung (Feld: „T\_bodenart“) zur Verfügung. Der bereit gestellte Datensatz (erhalten am 11.10.2022) wurde zusätzlich in Abstimmung mit

den sächsischen Kolleg\*innen um gekippte Flächen in Bergbaufolgelandschaften sowie um Standgewässer bereinigt.

## Klassifikation des Datensatzes

### Genese

Zur Klassifikation der Legendeneinheiten des Teildatensatzes der BK50 wurden die Informationen zu den Bodentypen (Feld: „Botyp“) verwendet. Alle Legendeneinheiten mit Niedermoor- oder Übergangsmoorböden (z.B. „*HNn*“, „*KV-Km*“) wurden mit ‚NH‘ gekennzeichnet. Die Legendeneinheiten mit Hochmoorböden („*HHn*“, „*KHn/HU*“) wurden mit ‚HH‘ beschrieben. Allen weiteren Legendeneinheiten der Anmoorgleye (z.B. „*GMn*“) konnte keine Torfart zugewiesen werden, diese wurde mit unbekannter Genese („XH“) beschrieben.

Die Legendeneinheiten des Teildatensatzes BKKonz wurden ebenfalls anhand der Bodentypen (Feld: „Tg\_idn\_b\_3“) sowie zusätzlicher Informationen aus den Substraten (Feld: „tg\_idn\_b\_5“) klassifiziert. Alle Legendeneinheiten mit Niedermoorböden (z.B. „*HN*“) oder -substraten („*og-Hn*“) wurden mit ‚NH‘, die Hochmoorböden („*HH*“) mit ‚HH‘ und die Muddeböden („*JG*“, mit Substrat „*og-F*“) mit ‚MD‘ gekennzeichnet. Alle übrigen Legendeneinheiten der Anmoorgleye (z.B. „*GM*“) und Moorgleye (z.B. „*GH*“) ohne definierte Torfart (z.B. „*og-H*“) wurden mit unbekannter Torfart („XH“) beschrieben.

Die Legendeneinheiten des Teildatensatzes BS wurden mit ‚XH‘ gekennzeichnet, da das Klassenzeichen keine Unterscheidung der Torfart ermöglicht.

### Mineralische Überdeckung

Im Teildatensatz der BK50 beschreibt zwei Einheiten mit Vega-Gley über Moor. Anhand der Substrattypen wurde eine Mächtigkeit des Vega-Gleys von 30 - < 70 cm angenommen. Durch die Angabe eines bindigen Substrates wurden diese Legendeneinheiten als ‚DK2b‘ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten des Teildatensatzes der BK50 wurden mit ‚DK0‘ gekennzeichnet.

Aus dem Teildatensatz der BKKonz konnten keine überdeckten organischen Böden abgeleitet werden. Alle Legendeneinheiten wurden daraus folgend mit ‚DK0‘ beschrieben.

Legendeneinheiten des Teildatensatzes BS, die einen Schichtwechsel von Mineralböden zu Mooren aufweisen, wurden als überdeckte organische Böden interpretiert. Die Mächtigkeit der Überdeckung kann aus dem Klassenzeichen nicht abgeleitet werden, jedoch konnte die Legendeneinheiten in bindige („*DKXb*“, „*LT/Mo*“, „*L/Mo*“, „*IS/Mo*“) und sandige („*DKXs*“, „*S/Mo*“) Ausprägungen unterteilt werden. Alle weiteren Legendeneinheiten der Bodenschätzung wurde mit ‚DK0‘ beschrieben.

### Torfmächtigkeit

Im Teildatensatz der BK50 wurde die Torfmächtigkeit aus dem Wechsel der Substrattypen (Feld: „Sstrtyp“) abgeleitet. So wurde allen Legendeneinheiten mit z.B. „og-Hn\u..“ (entsprechen Moorgleyen) die Mächtigkeit ‚TM1‘ zugewiesen, solchen mit „og-Hn/..“ die Mächtigkeit ‚TM2‘, jenen mit z.B. „og-Hn/..“ die Mächtigkeit ‚TM3‘ und solchen mit ausschließlich Torf-Substrat („og-Hn“, „og-Hu“, „og-Hh“, „og-Hh/og-Hu“) die Mächtigkeit ‚TM5‘. Den Legendeneinheiten mit überdeckten organischen Böden („AB-GG/HN“, „AB-GG/KVu“, „GM/HN“) wurde eine Mächtigkeit von ‚TM4‘ zugewiesen, da trotz der Überdeckung (mittlere Mächtigkeit: „/“ = 50 cm) mit einer Torfmächtigkeit von > 120 cm bei einer Betrachtungstiefe von 200 cm ausgegangen werden kann. Es ist jedoch zu beachten, dass die BK50 bodenkundliche Informationen nicht generell bis 200 cm abdeckt, sondern zugehörige Leitbodenformen auch geringmächtiger sein können. Allen Legendeneinheiten mit Anmoorgleyen (z.B. „GMn“) wurde keine Torfmächtigkeit zugewiesen (‚TM0‘).

Im Teildatensatz BKkonz wurde die Torfmächtigkeit aus dem Bodentyp (Feld: „Tg\_idn\_b\_3“) sowie der Angabe zur Torfmächtigkeit (Feld: „Gruppier\_2“) abgeleitet. Unabhängig von der Angabe zur Torfmächtigkeit wurden allen Legendeneinheiten mit Moorgleyen oder Moorstagnogleyen („GH“, „HN-GH“ oder „SGo“) die Torfmächtigkeit ‚TM1‘ zugewiesen. Moorböden (z.B. „HHn“) mit einer angegebenen Torfmächtigkeit von „30 cm - 70 cm“ wurden mit ‚TM2‘ und solche mit Torfmächtigkeiten „> 70 cm“ mit ‚TM3‘ beschrieben. Die Legendeneinheiten mit Muddeböden („JG“) wurden unabhängig von Angaben im Feld „Gruppier\_2“ mit ‚TMX‘ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten mit Anmoor(stagno)gleyen (z.B. „GM“) und wurden unabhängig von der angegebenen Torfmächtigkeit mit ‚TM0‘ beschrieben.

Legendeneinheiten des Teildatensatzes BS die durch eine Mischbodenart (z.B. „MoL“, „LMO“, „MoS“) im Klassenzeichen beschrieben sind, wurden als abmoorige organische Böden ohne klare Torf-Mineralbodengrenze interpretiert und ihnen somit keine Torfmächtigkeit (‚TM0‘) zugewiesen. Alle übrigen Legendeneinheiten dieses Teildatensatzes wurden mit ‚TMX‘ gekennzeichnet, da das Klassenzeichen keine Unterscheidung der Torfmächtigkeit ermöglicht.

### **Abmoorigkeit**

Im Teildatensatz BK50 wurden allen Legendeneinheiten mit Anmoorgleyen oder Anmoorstagnogleyen (z.B. „GMn“) mit einer Abmoorigkeit beschrieben. Durch die Auswertung der Substratangaben (Feld: „Sstrtyp“) konnte zwischen einer sandigen („ABs“, z.B. „f-(k)̲“) und einer bindigen („ABb“, z.B. „f-̲“, „om-t“) Ausprägung unterschieden werden. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚AB0‘ beschrieben.

Im Teildatensatz BKkonz wurden analog zur BK50 Anmoorgleyen oder Anmoorstagnogleyen (z.B. „SGm“) mit einer Abmoorigkeit beschrieben. Die Auswertung der Substratangaben im Feld „tg\_idn\_b\_5“ erlaubte ebenfalls die Ausweisung einer sandigen („ABs“, z.B. „fg-̲“) und bindigen

(,ABb', z.B. „f-u“, „uk-l“) Ausprägung. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚AB0‘ beschrieben.

Im Teildatensatz BS wurden Legendeneinheiten mit Mischbodenarten als Böden mit Abmoorigkeit interpretiert. Je nach Bodenart im Klassenzeichen wurden in eine bindige (,ABb', z.B. „Mou“, „lMo“, „MolS“, „lSMo“, „IMo“) und eine sandige (,ABs', „Mos“, „sMo“) Ausprägung unterschieden. Alle übrigen Legendeneinheiten der Bodenschätzung wurden mit ‚AB0‘ gekennzeichnet.

### Tiefumbruch

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen aus keinem der Teildatensätze hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ‚TR0‘ beschrieben.

### Unterlagernde Mudden

Unterlagernde Mudden konnten bei zwei Legendeneinheiten des Teildatensatzes BK50 abgeleitet werden. Diese beinhalten den Substrattyp „og-Hn/f-Fm“ bzw. „og-Hn/og-Fm“ und wurden mit ‚MDm‘ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten der BK50 wurden mit ‚MD0‘ beschrieben.

Für den Teildatensatz BKkonz konnte lediglich für eine Legendeneinheit („tg\_idn\_b\_5“: „...//og-F“) eine den Torf unterlagernden Mudde ohne weitere Konkretisierung der Muddeart (‚MDx‘) beschrieben werden. Alle weiteren Legendeneinheiten der BKkonz wurden mit ‚MD0‘ beschrieben.

Aus dem Klassenzeichen des Teildatensatzes BS kann keine unterlagernde Mudde abgeleitet werden, sodass diese Einheiten mit ‚MD0‘ beschrieben wurden.

### Unterlagerndes mineralisches Substrat

Anhand der Substratangaben (Feld: „Sstrtyp“) konnten für den Teildatensatz BK50 die unterlagernden mineralischen Substrate beschrieben werden. Diese waren eindeutig und somit wurden Legendeneinheiten entweder eine sandige (,LGs', z.B. „...lf-s“), schluffige (,LGu', z.B. „...lf-u“), tonige (,LGt', z.B. „...//p-l“) oder lehmige (,LGl', z.B. „.../f-l“) Ausprägung zugewiesen. Legendeneinheiten ohne Angaben zum unterlagernden mineralischen Substrat unter dem Torf oder der Mudde (z.B. „og-Hn“, „og-Hn/og-Fm“) wurden mit ‚LGx‘ beschrieben.

Analog zum Vorgehen des Teildatensatzes BK50 wurde die Einteilung des Teildatensatzes BKkonz mit Hilfe des Feldes „tg\_idn\_b\_5“ vorgenommen und die gleichen Ausprägungen ausgewiesen. Einige Angaben in Legendeneinheiten der Herkunft „MMK“ mit mehreren Substrattypen waren uneindeutig und wurden daher mit ‚LGx‘ beschrieben.

Im Teildatensatz BS wurde das Unterlagernde mit Hilfe des Klassenzeichens konkretisiert und dadurch entweder eine sandige (,LGs', z.B. „Mo/s“, „Mos“), tonige (,LGt', z.B. „Mo/t“, „IMo“) und lehmige (,LGl', z.B. „Mo/l“, „MolS“) Ausprägung beschrieben. Legendeneinheiten ohne

Angaben zum unterlagernden mineralischen Substrat (z.B. „Mo“, „S/Mo“) wurden mit ‚LGx‘ beschrieben.

## Sachsen-Anhalt

### Datensatz

Für das Land Sachsen-Anhalt liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland die Vorläufige Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (VBK50, Download über WFS-Dienst am 20.11.2020) vor. Diese stellt die dominierenden Leitbodenformen der Legendeneinheiten dar. Zur Klassifikation der Legendeneinheiten der VBK50 wurden die Angaben der Bodentypen verbal und als Kürzel nach KA5 (Felder: „Bodtyp\_t“, „Bodtyp\_k“) sowie der Substrattypen als Kürzel sowie verbal als grobe Einordnung der Bodentypen im oberen bzw. unteren Teil des Profils (Felder: „Sub\_v“, „Gba\_oben“, „Gba\_unten“) verwendet.

### Klassifikation des Datensatzes

#### Genese

Die Legendeneinheiten mit Angaben einer Hochmoorgenese („Bodtyp\_k“: „HH“) wurden mit ‚HH‘ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten beschreiben Niedermoorböden („Bodtyp\_k“: „KV“, „GG/HN“, „HN“), Anmoorgleye („Bodtyp\_k“: „GM“) oder Moorgleye („Bodtyp\_k“: „GH“) und wurden mit einer Niedermoorgenese („NH“) beschrieben.

#### Mineralische Überdeckung

Den im Datensatz beschriebenen Legendeneinheiten „Gley über Niedermoor“ (Feld: „Bodtyp\_t“) wurde nach Auswertung der Substrattypen (Schichtwechsel: „/“) eine Mächtigkeit der Überdeckung von 30 - < 70 cm zugewiesen. Die Legendeneinheit mit dem Substrattyp „fo-s/og-Hn“ (Feld: „Sub\_v“) wurde entsprechend mit ‚DK2s‘ beschreiben. Die weiteren Legendeneinheiten werden mit lehmigen Decken („f-l/og-Hn“, „fo-el/og-Hn“, „fo-l/og-Hn“) beschrieben und entsprechend mit ‚DK2b‘ als bindig klassifiziert. Alle übrigen Legendeneinheiten erhielten die Kennzeichnung ‚DK0‘.

#### Torfmächtigkeit

Zur Ableitung der Torfmächtigkeit wurde der Substrattyp (Feld: „Sub\_v“) ausgewertet. Legendeneinheiten mit „og-Hn/..“ im Feld „Sub\_v“ wurde die Mächtigkeit ‚TM2‘, solchen mit „og-Hn/..“ die Mächtigkeit ‚TM3‘ und solchen mit „og-Hn“ oder „og-eHn“ die Mächtigkeit ‚TM5‘ zugewiesen. Legendeneinheiten des Bodentyps „Moorgleye“ wurden mit ‚TM1‘ gekennzeichnet. Die Legendeneinheiten „Gley über Niedermoor“ beschreiben im Substrattyp kein den Torf unterlagerndes mineralisches Substrat, sodass hier von Torfschichten bis mindestens in 200 cm Tiefe ausgegangen wird. Abzüglich der mineralischen Überdeckung von 30 bis 70 cm ergibt sich eine Mindestmächtigkeit von > 120 cm. Daraus folgend wurden diese

Legendeneinheiten mit ‚TM4‘ gekennzeichnet. Allen Legendeneinheiten des Bodentyps Anmoorgley („Bodtyp\_k“: „GM“) wurde die Ausprägung ‚TM0‘ zugewiesen.

### **Abmoorigkeit**

Alle die Anmoorgleye repräsentierende Legendeneinheiten („Bodtyp\_k“: „GM“) wurden mit einer Abmoorigkeit beschrieben. Legendeneinheiten mit „Lehmsand“ bzw. „Reinsand“ im Oberboden (Feld: „Gba\_oben“) wurden als ‚ABs‘ beschrieben, Legendeneinheiten mit „Normallehm“, „Schluff“, „Ton“ oder „Mudde“ (Kalkmudde, „fl-Fmk“) hingegen als ‚ABb‘. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚AB0‘ beschrieben.

### **Tiefumbruch**

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen aus der VBK50 nicht hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden mit ‚TRO‘ beschrieben.

### **Unterlagernde Mudden**

Legendeneinheiten des Bodentyps „Niedermoor“ mit einer vorhandenen Mudde im Liegenden der Torfe wurden in Abhängigkeit der Muddeart mit ‚MDm‘ („Sub\_v“: „og-Hn/fl-Fmt“) oder ‚MDk‘ („Sub\_v“: „og-Hn/fl-eF“) beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden mit ‚MD0‘ beschrieben.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Das unterlagernde mineralische Substrat wurde mit Hilfe der Substrattypen (Feld: „Gba\_unten“) klassifiziert. Alle Legendeneinheiten mit der Angabe „Reinsand“ wurden mit ‚LGs‘, solche mit „Normallehm“ bzw. „Sandlehm“ mit ‚LGl‘, solche mit „Schluff“ mit ‚LGu‘ und solche mit „Ton“ entsprechend mit ‚LGt‘ beschrieben. Legendeneinheiten mit der Beschreibung „Skelett/Gestein“ wurden mit ‚LGf‘ gekennzeichnet. Bei allen übrigen Legendeneinheiten („Gba\_unten“: „Moor/Mudde“) konnten keine Aussagen zum Unterlagernden getroffen werden. Diese wurden mit ‚LGx‘ beschrieben.

## **Schleswig-Holstein**

### **Datensatz**

Für das Land Schleswig-Holstein liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland ein Auszug aus dem Entwurf zur Bodenkarte 1:50.000 von Schleswig-Holstein (BK50) zu Grunde (erhalten am 22.12.2022). Die Legendeneinheiten wurden von den Kolleg\*innen aus dem Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein nach der Definition organischer Böden im Sinne dieses Projektes vorausgewählt. Für die Klassifikation wurden die Legendeneinheiten der Bodentypen (Feld „Bt\_bk50“), Bodenarten (Feld „Ba\_bk50“) und Geogenese (Feld „Geo\_bk50“) verwendet. Die enthaltenen Angaben sind Kürzel nach KA5, wobei die Kürzel der Bodentypen zum Teil länderspezifisch ergänzt sind.

## Klassifikation des Datensatzes

### Genese

Legendeneinheiten mit Hochmoor („(...) *HH* (...)“) als Bodentyp (Feld „Bt\_bk50“) sowie Moorgleye („*GH*“) und Marschböden (z.B. „Marsch-GM“) über tieferen Hochmoortorfen (z.B. „*ut//Hh*“) mit dem Hinweis einer Hochmoorgenese im Feld „Ba\_bk50“ (z.B. „*Hh\ss*“) wurde die Genese ‚HH‘ zugewiesen. Legendeneinheiten mit Hinweis auf einer Muddegenese (organische Mudde) wurden identifiziert als Bodentyp „*HF*“ oder mit Bodenart „(...) *Fh* (...)“ im Feld „Ba\_bk50“ und mit ‚MD‘ klassifiziert. Alle weiteren Legendeneinheiten wurden auf Grund des Bodentyps („*HN*“, „*GG/HN*“) der Torfart (z.B. „*ls/Hn/ss*“, „*Hn\ss*“) sowie der Geogenese (z.B. „*Hn\Sd*“) mit ‚NH‘ beschrieben. Anmoorgleye („*GM*“) ohne Hinweise in der Bodenart (z.B. „*ls/ss*“) auf Niedermoortorfe in Bodenart und Geogenese wurden nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen aus Schleswig-Holstein ebenfalls mit einer Niedermoorgenese ‚NH‘ klassifiziert. Daraus folgend konnten allen Legendeneinheiten eine Genese zugeordnet werden.

### Mineralische Überdeckung

Das Auftreten mineralischer Überdeckungen über organischen Böden wurde entweder aus dem Bodentyp (Feld: „Bt\_bk50“) oder falls nicht eindeutig möglich aus dem Substratwechsel der Bodenart (Feld: „Ba\_bk50“) abgeleitet. Dabei war zu beachten, Anmoore über Moorböden (z.B. „*GM/HN*“) auszunehmen, da diese nicht als mineralische Überdeckungen bewertet werden. Zur Ausweisung der Mächtigkeit wurden die Tiefe des Substrat- bzw. Bodentypenwechsels betrachtet. Legendeneinheiten mit einem Wechsel kleiner 30 cm (z.B. „*AB-GG\HN*“, „*ls\Hn/ss*“) wurden mit ‚DK1‘, Legendeneinheiten mit einem Wechsel zwischen 30 und 70 cm (z.B. „*AB-GG/HN*“, „*ls/Hn*“) mit ‚DK2‘ und Legendeneinheiten mit einem Wechsel größer 70 cm („*ss//Hn*“) wurden mit ‚DK3‘ klassifiziert. Bodentypen mit dem Zusatz „*schlicküberlagert*“ bzw. „*sandüberlagert*“ wurden mit ‚DK1‘ beschrieben. Die Zuweisung des Substrates erfolgte durch die Auswertung der obersten mineralischen Schicht der Bodenarten (Feld: „Ba\_bk50“), so dass zwischen bindigen (‚DK1b‘, ‚DK2b‘, ‚DK3b‘, z.B. „*lu\Hn*“, „*lu/Hn/ss*“, „*tu//Hn//ls*“) und sandigen (‚DK1s‘, ‚DK2s‘, ‚DK3s‘, z.B. „*ls\Hn/ss*“, „*ss/Hn*“, „*ss//Hn*“) Ausprägungen unterschieden werden konnte. In wenigen Fällen von sandigen über bindigen Substraten wurde aufgrund der Komplexität der Abfragen nicht das bindigere Substrat priorisiert, sondern ebenfalls nur das zuoberst liegende Substrat klassifiziert. Alle übrigen Legendeneinheiten wurden mit ‚DK0‘ beschrieben.

### Torfmächtigkeit

Die Klassifikation der Torfmächtigkeit erfolgte entweder aus dem Bodentyp oder aus dem Auftreten des Substratwechsels in Kombination mit den Substraten „(...) *Hn* (...)“ oder „(...) *Hh* (...)“. Allen Legendeneinheiten mit Anmoorgleyen z.B. („*GM*“) wurde die Torfmächtigkeit ‚TM0‘ zugewiesen, allen Moorgleyen (z.B. „*GH*“) ‚TM1‘. Legendeneinheiten die lediglich aus Torfen oder organischen Mudden aufgebaut sind (anhand der Bodenart), wurden mit ‚TM5‘

klassifiziert. Bei Legendeneinheiten ohne mineralische Überdeckung über den Torf- bzw. organischen Muddesubstraten entspricht ein mit „\“ gekennzeichnete Wechsel zum unterlagernden mineralischen Substrat (Feld: „Ba\_bk50“) einer flachen (,TM1‘), ein mit „/“ gekennzeichnete Wechsel einer geringmächtigen (,TM2‘), ein mit „//“ gekennzeichnete Wechsel einer mächtigen (,TM3‘) und ein mit „///“ gekennzeichnete Wechsel einer sehr mächtigen (,TM4‘) Torfmächtigkeit. Bei Legendeneinheiten in denen Torfe oder organische Mudden unterhalb mineralischer Überdeckungen liegen, wurde die Mächtigkeit (mittlere Mächtigkeit: „\“ = 15 cm, „/“ = 50 cm, „//“ = 95 cm) der Überlagerungen berücksichtigt und von der Torfmächtigkeit abgezogen.

### Abmoorigkeit

Den Legendeneinheiten mit Anmoorgleyen („Bt\_bk50“, z.B. „GM“, „GG\GM“) wurde in Abhängigkeit der Bodenart der obersten oder einzigen mineralischen Schicht eine bindige ,ABb‘ (z.B. „tu/ut“, „ut“) oder sandige ,ABs‘ (z.B. „ls///ll“, „ls“) Ausprägung der Abmoorigkeit zugewiesen. Bei überdeckten Anmoorgleyen wurde das Substrat der mineralischen Überdeckung berücksichtigt und ggf. bei einem Wechsel das darunterliegende Substrat das als des Anmoorgleys gewertet. Allen übrigen Legendeneinheiten wurden mit ,AB0‘ beschrieben.

### Tiefumbruch

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen nicht aus der BK50 hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ,TR0‘ beschrieben.

### Unterlagernde Mudden

Das Vorhandensein von unterlagernden Mudden wurde über die Geogeneseangabe im Feld „Geo\_bk50“ (z.B. „Hn/Fms“) abgeleitet. Somit konnten die Mudden in Kalkmudden ,MDk‘ (z.B. „Soj\Hn/Fkk“), organische Mudden ,MDh‘ (z.B. „Hn\Fh“) und mineralische Mudden ,MDm‘ (z.B. „Hn\Fms“, „Hn\Fmu“, „Hn\Fmt“) unterschieden werden. Legendeneinheiten, die reine Muddeböden darstellen, wurden wie alle übrigen Legendeneinheiten mit ,MD0‘ gekennzeichnet.

### Unterlagerndes mineralisches Substrat

Zur Beschreibung des mineralischen Substrates im Liegenden der Böden wurden die Angaben im Feld „Ba\_bk50“ verwendet und ggf. durch Informationen im Feld „Geo\_bk50“ ergänzt. Dies war notwendig im Falle von auftretenden unterlagernden mineralischen Mudden, die in der Bodenart durch ein mineralisches Substrat beschrieben werden und nur durch die Angabe der Geogenese als Mude erkennbar sind. Zur Klassifikation wurde die Bodenart der untersten Schicht gereiht nach hydrologischer Leitfähigkeit ausgewertet (z.B. „lu/Hn/ss“, „Hn\tu“). Ausgewiesen wurde ,LGt‘ für tonige („tu“), ,LGu‘ für schluffige („tu“), ,LGl‘ für lehmige („ll“, „sl“) sowie ,LGs‘ für sandige („ss“) Bodenarten. Legendeneinheiten ohne Informationen zur Bodenart

des Unterlagernden (Torf- oder organische Muddesubstrate im gesamten Profil) wurden mit ‚LGx‘ beschrieben.

## Thüringen

### Datensatz

Für das Land Thüringen liegt der Aktualisierung der Kulisse organischer Böden in Deutschland zum einen die Bodengeologische Konzeptkarte von Thüringen 1:100.000 (BGKK100; Download am 05.06.2020) vor. Die Legendeneinheiten der BGKK100 sind als Bodenformengesellschaften dargestellt (RAU et al. 2000). Von diesen wurden sechs ausgewählt, die vornehmlich organische Böden beschreiben (Feld: „Typ\_bgkk100“: „h4“, „h4s“, „h4t“, „hm1“, „hm2“, „hm3“). Legendeneinheiten, in denen organische Böden als Begleitböden aufgeführt sind, wurden nicht ausgewählt. Für die Klassifikation wurden die in RAU et al. (2000) beschriebenen Eigenschaften nach KA4 hinsichtlich Leitbodenform bestehend aus den Bodentypen und den Substrattypen, sowie weiterführende Angaben zur Petrographie des Substrates, zum Bodenprofil und zu den Bodenformen berücksichtigt. Da diese recht grob aggregiert sind, wurde die Expertise der Kolleg\*innen des Landesamtes hinzugezogen und die Merkmalsausprägungen basierend auf ihren Einschätzungen zugewiesen.

Zusätzlich wurden Flächen aus der Forstlichen Standortkartierung (FSK) berücksichtigt. Hierzu wurden durch die Kolleg\*innen der Landesanstalt ThüringenForst die Flächen, die organischen Böden repräsentieren bereitgestellt (erhalten am 27.09.2022). Dieser Datensatz enthielt abgeleitete Angaben zum Bodentyp (Feld: „Typ\_fsk“, grob unterteilt nach „Moor“ und „Anmoor“) und zur Mächtigkeit der organischen Horizontes in cm (Feld: „Orghor“). Durch räumliche Verknüpfung mit dem Originaldatensatz der FSK wurden die Informationen zur Standortseinheit nach FSK (Feld: „Std\_einh“) ergänzt.

Um die Informationen aus beiden Datensätzen für ggf. überlappende Flächen („BGKK100 / FSK“ im Feld „Datensatz“) berücksichtigen zu können, wurden sie in ArcGIS räumlich vereint. Für die Klassifikation wurden die Inhalte der FSK aufgrund höherer räumlicher Genauigkeit priorisiert ausgewertet und ggf. durch Angaben der BGKK100 ergänzt. Somit konnten Flächen beider Datensätzen durch Informationen des jeweils andere Datensatzes eindeutig klassifiziert werden, auch wenn eigentlich eine Angabe nicht vorhanden war.

### Klassifikation des Datensatzes

#### Genese

Den Legendeneinheiten der FSK wurde anhand der Standortseinheiten (Feld: „Std\_einh“) eine Genese zugeordnet. So wurden Legendeneinheiten der ärmeren Moore („ORO“) durch eine Hochmoorgenese („HH“) und reichere Moore („ORO“) sowie auenartige und Standorte der Niederungen („AR“) durch eine Niedermoorgenese („NH“) beschrieben.

Legendeneinheiten der BGKK100 wurden durch die Zusatzinformationen zum Substrat und zum Bodentyp klassifiziert. Für die Legendeneinheiten „hm1“ und „hm2“ wurde aus den Angaben zur Torfart und zum Bodentyp eine Niedermoorgenese („NH“) und für „hm3“ eine Hochmoorgenese („HH“) abgeleitet. Für die Legendeneinheiten „h4“, „h4s“ und „h4t“ der BGKK100 konnte keine Genese abgeleitet werden, ebenso für alle weiteren Legendeneinheiten der FSK („XH“).

### Mineralische Überdeckung

Die FSK beschreibt keine überdeckten organischen Böden. Aus der BGKK100 gehen solche Flächen lediglich als unscharfe Formulierung der Legendenbeschreibung hervor. Nach Abstimmung mit Kolleg\*innen des Landesamtes wurde den Flächen der BGKK100 mit Legendeneinheiten „h4“, „h4s“, „h4t“, „hm1“, „hm2“ (Feld: „Typ\_bgkk100“) ohne Überschneidung mit Flächen der FSK eine mineralische Überdeckung ohne Angaben zur Mächtigkeit oder zum Substrat zugeordnet („DKXx“). Alle weiteren Legendeneinheiten erhielten die Kennzeichnung „DK0“.

### Torfmächtigkeit

Legendeneinheiten der FSK beinhalten Informationen zum Typ („Typ\_fsk“: „Moor“, „Anmoor“) sowie zur Mächtigkeit des organischen Horizontes (Feld: „Orghor“). Alle Legendeneinheiten des Typs „Moor“ mit einer Mächtigkeit < 30 cm wurden mit „TM1“, solche mit Mächtigkeiten < 70 cm mit „TM2“ beschrieben. Die maximale Angabe liegt bei 64 cm. Alle Legendeneinheiten der FSK des Typs „Anmoor“ wurden mit „TM0“ klassifiziert.

Aufgrund der Legendenbeschreibung der BGKK100 wurde lediglich die Legendeneinheit „hm3“ als Moorboden interpretiert. Die Torfmächtigkeit ist jedoch als Spannweite angegeben und wurde basierend auf der Mindestmächtigkeit mit „TM2“ beschrieben. Alle weiteren Legendeneinheiten der BGKK100 wurden mit „TM0“ beschrieben.

### Abmoorigkeit

Eine vorhandene Abmoorigkeit wurde für alle Legendeneinheiten der FSK des Typs (Feld: „Typ\_fsk“) „Anmoor“ angenommen und das Substrat anhand der Standortseinheit (Feld: „Std\_einh“) klassifiziert. Diese gibt die Substratgruppe als Buchstabe in dem Kürzel an. Entsprechend wurden Legendeneinheiten mit „S“ (z.B. „NMS1“, Sand und Sandstein) mit „ABs“, Legendeneinheiten mit „LL“ (z.B. „NRLL1“, Schlufflehme), „L“ (z.B. „NRL1“, Lehm) oder „T“ (z.B. „NRT1“, Ton) mit „ABb“ gekennzeichnet. Alle weiteren Legendeneinheiten der FSK des Typs „Anmoor“ beschreiben kein eindeutiges mineralisches Substrat und wurden mit „ABx“ klassifiziert. Legendeneinheiten des Typs „Moor“ wurden mit „AB0“ gekennzeichnet.

Für die BGKK100 wurden aufgrund der Beschreibungen bis auf Legendeneinheit „h3“ alle Legendeneinheiten als Böden mit Abmoorigkeit interpretiert. Die Legendeneinheiten „h4“, „h4t“ und „hm1“ wurden basierend der Petrographie der Substrate als bindige Ausprägung

(,ABb') und Legendeneinheit „h4s“ als sandige Ausprägung (,ABs') beschrieben. Der Legendeneinheit „hm2“ konnte kein eindeutiges Substrat zugeordnet werden und wurde daher mit unbekanntem Substrat (,ABx') beschrieben. Die Legendeneinheit „hm3“ wurde mit ,ABO' gekennzeichnet.

### **Tiefumbruch**

Legendeneinheiten mit Tiefumbruch gehen weder aus der FSK noch der BGKK100 hervor und wurden nicht ausgewiesen. Alle Legendeneinheiten wurden daher mit ,TRO' beschrieben.

### **Unterlagernde Mudde**

Bei den Legendeneinheiten „hm1“ und „hm3“ der BGKK100 konnte eine Muddeunterlagerung basierend auf den vorhandenen Legendenbeschreibungen angenommen werden und sie wurden daher mit ,MDx' verschlüsselt. Alle weiteren Legendeneinheiten der BGKK100 und der FSK wurden mit ,MDO' beschrieben.

### **Unterlagerndes mineralisches Substrat**

Analog dem Vorgehen zur Abmoorigkeit wurden die Legendeneinheiten der FSK mit Hilfe der Standortseinheiten (Feld: „Std\_einh“) klassifiziert. Entsprechend wurden Legendeneinheiten mit Silikatgestein (z.B. „BMG1“) als Festgestein (,LGf'), mit Sand und Sandsteinen (z.B. „NZS1“) als sandige Ausprägung (,LGs'), mit Ton (z.B. „NMI1“) als tonige Ausprägung (,LGt') sowie mit Lehm (z.B. „ARL1“) und Schlufflehm (z.B. „NRL1“) als lehmige Ausprägung verschlüsselt.

Für die Legendeneinheiten der BGKK100 erfolgte die Einteilung anhand der Petrographie der Substrate aus der Beschreibung der Legendeneinheiten. Nach Rücksprache mit den Kolleg\*innen des Landesamtes wurde für die Legendeneinheiten „hm1“ und „h4t“ als Unterlagerndes Festgestein angenommen (,LGf'), für die Legendeneinheit „hm3“ bindiges Substrat (,LGb'), für die Legendeneinheit „hm4s“ sandiges Substrat (,LGs') und die übrigen zwei Legendeneinheiten („h4“, „hm2“) unbekanntes mineralisches Substrat (,LGx'). Ebenso wurde Flächen der FSK mit Standorteinheiten der Moore (z.B. „OMO“, „ORO“), sofern sie nicht durch Überschneidung mit Inhalten der BGKK100 präzisiert werden, mit ,LGx' beschrieben.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mich während meiner Promotion und dem Entdecken dieser „*Fantastischen Moorböden und wo sie zu finden sind*“ auf vielfältige Weise begleitet haben.

In Gedenken an Prof. Dr. Luise Giani, die mich in unserer kurzen gemeinsamen Zeit zwar nur sporadisch und digital, aber trotzdem immer herzlich und konstruktiv unterstützt hat.

Vielen Dank an PD Dr. Holger Freund, dass Sie mich so kurzfristig und unkompliziert noch als Doktorandin übernommen haben.

Bärbel, ein riesiges Dankeschön an dich für deine umfassende Betreuung, hilfreiches Feedback und deine unendliche wissenschaftliche Neugier, die einfach jedes Projekt und jede Auswertung immer noch mal besser macht. Obwohl du wahrlich keine Langeweile hast, nimmst du dir Zeit für Fragen und hast immer eine konstruktive Idee parat. Ich habe unglaublich viel von dir gelernt – in meinem Vorstellungsgespräch konnte ich mit Torf kaum etwas anfangen und nun habe ich eine Dissertation über Moorböden verfasst, wer hätte das gedacht?

Ein ebenso riesiger Dank geht an Stefan für genau die richtige Mischung aus bodenkundlichem Abnerden, Kreativität, Pragmatismus und Humor. Mit dir macht MoMoK echt Freude und ich bin sehr dankbar für deine Unterstützung und Hilfsbereitschaft auf dem ganzen Weg. Deutz Fahr!

Danke an das gesamte Moorteam von Thünen-AK für eine freundschaftliche Arbeitsatmosphäre, konstruktiven fachlichen Austausch, bereichernde Gespräche bei Kaffeepausen, Kuchenrunden und Stammtischen und für das Bezahlen eurer Kaffeeschulden (Andi, Caro, Claas, Dirk, Dominik, Holger, Jan, Johnny, Laura, Lukas, Maiket, Malik, Melanie, Merten, Philipp, Ronny, Saskia, Sharon, Silvana, Sylvia, Sonia, Stephan, Stefan, Thomas, Tobi, Willi)!

Hervorheben möchte ich Ulli und Arndt – danke für eure Ratschläge, Hilfestellungen, Ermutigungen und Verständnis bei diversen Schwierigkeiten auf dem Weg (ich wollte ja nie R lernen, aber nun war es doch ganz nützlich). Außerdem Annelie, Carla, Liv, Tina und Wiltrut meine PhD-Begleiterinnen durch Höhen und Tiefen – danke für eure Freundschaft und Unterstützung bei und neben der Arbeit! Und lieben Dank an Jannes für Homeoffice-Asyl und Kaffee.

Ein großer Dank gebührt dem gesamten BZE-Team in Feld, Labor und Auswertung für eure Arbeit an diesem Großprojekt! Besonders zu nennen ist Arne, der als Laborleiter für all die Messdaten gesorgt hat, mit denen ich mich beschäftigen konnte – danke für deine Geduld bei wiederkehrenden Nachfragen und Sonderwünschen! Zudem möchte ich mich bei der ganzen Mannschaft von AK für eine gute Zeit und angenehmen Austausch bedanken.

Die vergangenen 2 Jahre waren gesundheitlich eine Herausforderung und Achterbahnfahrt. Deswegen möchte ich meinen Ärztinnen und Therapeutinnen sowie den wunderbaren Teams in Tages- und Rehaklinik von Herzen danken. Um Hilfe zu bitten, fällt mir manchmal schwer, und trotzdem es hat sich auf allen Ebenen gelohnt – Danke für Ihre wertvolle Arbeit!

Grüße gehen raus an die wunderbaren Schlemmers für die angenehmsten Lockdown-Phasen und beste WG-Zeit, die man sich nur vorstellen kann. Danke für herausragendes Essen, Doko, tolle Urlaube sowie wahnsinnig viel Verständnis und aufbauende Worte in schwierigen Phasen. Wo ist eigentlich der Bobbel?

Ich habe das große Glück, einen wunderbaren Freundeskreis um mich zu wissen. Ihr seid für mich da, egal wie es mir geht und unterstützt mich wie ihr könnt, auch wenn es bei euch selbst gerade drunter und drüber geht. Das ist nicht selbstverständlich und ich bin unendlich dankbar für eure wundervolle Freundschaft! Außerdem danke an meine beiden Patenkinder für ganz neue Blickwinkel aufs Leben.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken. Ich weiß auch nicht so genau, wie ich hier gelandet bin – das promovierte Arbeiterkind, Wahnsinn! Egal welchen Weg ich einschlage, ihr seid für mich da und gebt mir Rückhalt, auch wenn ich selbst noch nicht so richtig weiß, wohin die Reise geht. Danke für alles, ich liebe euch, Bussi!

## Wissenschaftlicher Werdegang

Mareille Wittnebel

geboren am 28.02.1991 in Hildesheim

- 06/2017 – 12/2023**      Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz in Braunschweig
- 09/2016 – 05/2017**      Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Hannover
- 10/2013 – 06/2016**      Studium der Landschaftswissenschaften an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Master of Science  
Masterarbeit am Institut für Bodenkunde  
Thema: *“Influence of subsurface drip fertigation on water and nitrogen balance of a Luvisol cultivated with red cabbage”*
- 10/2010 – 10/2013**      Studium der Geowissenschaften an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Bachelor of Science  
Bachelorarbeit am Institut für Bodenkunde  
Thema: *“Small-scale variability of dissolved organic matter fractions in a temperate forest ecosystem”*
- 07/2010**                      Abitur am Gymnasium Groß Ilsede

## **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und alle verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe. Ich habe diese Dissertation weder in ihrer Gesamtheit noch in Teilen einer anderen Hochschule zur Begutachtung in einem Promotionsverfahren vorgelegt. Außerdem versichere ich, dass ich die Regelungen zu guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg befolgt habe.

Braunschweig/Oldenburg, den

Mareille Wittnebel