

TELMA	Band 45	Seite 75 - 104	15 Abb., 5 Tab.	Hannover, November 2015
-------	---------	----------------	-----------------	-------------------------

Erstellung einer aktualisierten Moorkarte für das Land Brandenburg

Deduction of an updated map of peatland soils for the federal state
of Brandenburg, Germany

HOLGER FELL, NIKO ROSSKOPF, ALBRECHT BAURIEGEL,
BERNHARD HASCH, MARTINA SCHIMMELMANN
und JUTTA ZEITZ

Zusammenfassung

Aktuelle Informationen zur Verbreitung und zum Zustand der Moorböden sind vor dem Hintergrund der geplanten Einführung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen in der Landwirtschaft von besonderer Bedeutung. Das Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MIL) hat hierzu das Projekt „Schaffung einer Datengrundlage für die Ableitung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen auf Moorstandorten in Brandenburg“ initiiert. Mit dem Ziel der Bereitstellung einer auf das Jahr 2013 bezogenen Moorkarte wurden umfangreiche, bis dato nicht genutzte Datenbestände zur Verbreitung von Moorböden in Brandenburg zu einer überschneidungsfreien Karte und umfassenden Datenbank moorbodenkundlicher Bodenprofile verarbeitet. Um den aktuellen Zustand der Moorböden zu erfassen, wurden flächenrepräsentativ und zufällig an 7.725 Standorten mit ausreichender Datenbasis erneut bodenkundliche Erhebungen durchgeführt und statistisch ausgewertet. Im Ergebnis konnten Mächtigkeitsverlusten für landwirtschaftlich genutzte Moorstandorte in Brandenburg abgeleitet werden. Für flachgründige Niedermoorstandorte unter Grünland liegen sie bei 0,50 cm/a, vergleichbare ackerbaulich genutzte Standorte liegen mit 0,57 cm/a darüber. Dies deckt sich gut mit publizierten Werten an vergleichbaren Standorten in Zentraleuropa.

Die Fläche der Moorböden in Brandenburg hat sich von Anfang des 20. Jahrhunderts von 270.000 ha, ausgewiesen auf Basis der Preußisch geologisch-agronomische Karte (PGK), auf heute noch 163.000 ha reduziert.

Abstract

Current information on the potential distribution and condition of peatland soils are of great importance. This applies notably for actions with respect to climate and environmental protection. The Ministry of infrastructure and agriculture in the federal state of Brandenburg (MIL) therefore initiated a project to provide a complete and updated map of peatland soils for the federal state of Brandenburg, Germany, for the

year 2013. Extensive legacy data on both, areal extent of peatland soils as well as soil profile information were made digitally available in a homogeneous map and a consistent database. Approximately 7.725 sites were randomly selected from legacy soil data and currently reinvestigated to draw inference on the current condition of peatland soils. Statistically derived peatland subsidence rates at grassland sites of 0.50 cm/yr and 0.57 cm/yr at arable sites fit well with published values in comparable regions of central Europe.

Our results prove the great dynamics of soil development on agriculturally used peatlands. Concerning Brandenburg, the area of peatland soils decreased from 270.000 ha in the early (Prussian geological map) to actually 163.000 ha.

1. Einleitung

Das Land Brandenburg gehört zu den moorreichsten Bundesländern Deutschlands. Die Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung der Moore hat zu Veränderungen der Bodeneigenschaften bis hin zum vollständigen Verlust der Moorböden geführt. Die Frage: „Über wieviel Moorfläche verfügt das Land Brandenburg?“ ist daher schwer zu beantworten.

Das Wissen über die aktuelle Verbreitung der Moore ist jedoch von sehr großer Bedeutung, sowohl für Moorschutzprojekte als auch für landwirtschaftliche Fragestellungen, wie die gezielte Förderung umweltgerechter landwirtschaftlicher Produktionsverfahren auf Moorstandorten im Rahmen von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen der 2. Säule (Entwicklung des Ländlichen Raumes) der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) in der EU. Aktuelle Informationen zur Verbreitung und zum Zustand der Moorböden sind ebenso notwendig, um eine Bewertung der Klimafunktion der Moore vornehmen zu können.

Vor diesem Hintergrund hat das Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MIL), mit Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) das Projekt „Schaffung einer Datengrundlage für die Ableitung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen auf Moorstandorten in Brandenburg“ initiiert. Dessen Hauptziel bestand in der Bestimmung der aktualisierten Moorfläche Brandenburgs.

Von Beginn an war unstrittig, dass hierfür einzig ein Verfahren unter Verwendung vorhandener Informationsquellen in Frage kam. Eine klassische Neukartierung im Gelände war sowohl finanziell als auch zeitlich nicht leistbar. Der aktuelle Zustand von Moorböden kann unter bestimmten Voraussetzungen auch auf Basis statistisch ermittelter Höhen- bzw. Mächtigkeitenverlusten der organischen Schichten aus Altdaten abgeschätzt werden. Dies ist dann möglich, wenn der Bodenaufbau eines Standortes für einen bekannten Zeitpunkt in der Vergangenheit hinreichend genau beschrieben ist. Neben räumlich hochaufgelösten Flächendaten und Informationen zum Bodenaufbau bis zum mineralischen Untergrund werden aktuelle bodenkundliche Referenzerhebungen benötigt, die mit Daten

aus Alterhebungen bezüglich der eingetretenen Veränderungen verglichen werden können. Eine ausreichend große Stichprobe, Flächenrepräsentativität sowie die Berücksichtigung wichtiger Steuergrößen wie der Landnutzung bzw. der Landnutzungshistorie sind weitere wichtige Voraussetzungen.

Der vorliegende Beitrag informiert über die angewandte Methodik und die Ergebnisse, die in Form der seit Juli 2014 auch über das Internet frei verfügbaren Moorkarte Brandenburgs vorliegen.

2. Material und Methoden

2.1 Datenquellen

Im Land Brandenburg liegen umfangreiche Daten zu den Moorböden vor. Sie besitzen überwiegend ein hohes Datenalter und basieren auf einer Vielfalt unterschiedlicher Erhebungsnomenklaturen und Erhebungszielstellungen (Abb. 1).

Im Folgenden werden die wichtigsten Datenquellen kurz erläutert (Tab. 1). Für detailliertere Informationen siehe BAURIEGEL (2014).

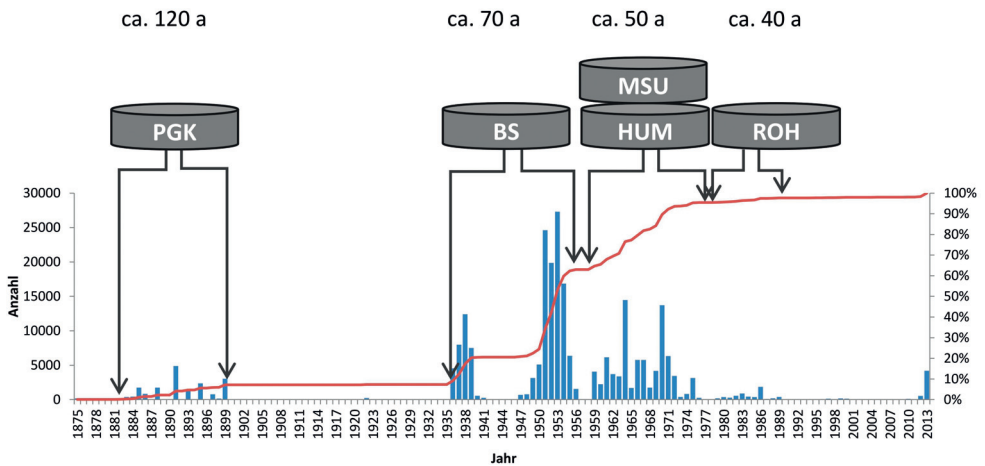


Abb. 1: Datengrundlagen der Moorböden in ihrem zeitlichen Kontext (PGK: Preuss. geol.-agronom. Kartierung; BS: Bodenschätzung; MSU: Meliorationsspezialuntersuchungen; HUM: Moorarchiv der Humboldt-Universität zu Berlin; ROH: Daten der Rohstofferkundung, rote Linie: kumulative Anzahl der Profildaten)

Temporal context of peatland data sources (PGK: Prussian geological map; BS: agricultural soil evaluation; HUM: Humboldt-University peatland archive; MSU: data from GDR melioration projects; ROH: GDR peat exploration data; red line: cumulative amount of peatland soil profiles)

2.1.1 Preußisch geologisch-agronomische Karte

Erste systematische, mittelmaßstäbige Erhebungen in Brandenburgs Mooren fanden im Rahmen der Preußisch geologisch-agronomischen Kartierung (PGK) von 1873 bis 1939 (LIPPSTREU 2000) statt. Flächendaten liegen für 83% der Landesfläche vor, der südliche Teil Brandenburgs ist nicht oder nur lückig kartiert. Teilweise existieren Bohrpunktkarten mit Schichtenbeschrieben (BAURIEGEL 2014). Die Erkundungstiefe der PGK lag bei zwei Metern. Es wurden Hoch- von Niedermoortorfen unterschieden. Eine differenzierte Ansprache der Torfsubstrate auf dem Niveau von Torfarten fand nicht statt.

Flachgründige Standorte mit weniger als 30 cm Torf und Anmoore wurden unter dem Begriff „Moorerden“ subsummiert. Angaben zum Zersetzungsgrad sind nicht Bestandteil der Daten.

Die Erhebung fokussierte stark auf eine korrekte räumliche Abgrenzung. Der Kartierer bewegte sich hierzu im „ZickZack“ zur vermuteten Grenze von Kartiereinheiten im Gelände. Bohrungen wurden daher oft „randlich“ ausgeführt. Im Ergebnis führte dies zu einer geringeren Flächenrepräsentativität der vorhandenen Schichtprofile. An Profildaten gekoppelte Analyseergebnisse z. B. zu Humusgehalten liegen für die PGK nicht vor.

2.1.2 (Reichs-) Bodenschätzung

Die Ersterhebungen zur (Reichs-)Bodenschätzung (BS) (RÖSCH & KURANDT 1950) erfolgten in Brandenburg im Zeitraum von 1936 bis 1954. Bis heute finden auch auf Moorstandorten laufend Nach- und Neuschätzungen statt. Es liegen sowohl Flächendaten (Klassenflächen) als auch Punktdaten vor. Sie beschreiben ca. 87 % der Moore Brandenburgs. Im Rahmen der BS wurde zu jeder Klassenfläche eine konkret diese Fläche beschreibende Bohrung, das beschreibende Grabloch, basierend auf Erhebungen im 50 m Raster festgelegt. Die Flächendaten der BS besitzen demnach einen belastbaren Bezug von Punktdaten zu Flächendaten. Nachteilig wirkt sich die vergleichsweise geringe Erkundungstiefe von nur einem Meter aus. Das liegende mineralische Substrat wurde oft nicht erbohrt, Abschätzungen zum Mächtigkeitsverlust sind dann nicht möglich. Torfarten wurden nicht differenziert. Teilweise ist es möglich, vererdete oder auch gering zersetzte Torfe zu unterscheiden. Die Angaben zur Wasserstufe in Anlehnung an Petersen und der Kulturart erlauben eine Einschätzung der Nutzungsintensität für den Erhebungszeitpunkt. Analyseergebnisse liegen nicht vor.

2.1.3 Meliorationsmaßnahmen und Rohstofferkundungen in der DDR

Im Rahmen der Melioration sowie der Rohstofferkundung in der DDR wurden in den 1950er bis 1980er Jahren Moorböden intensiv erkundet. Daten aus diesen Projekten liegen für ca. 30 % der Moorfläche Brandenburgs vor. Es handelt sich zumeist um die flächenbe-

deutsameren, großen Moorkomplexe. Diese wurden systematisch im Raster von 100 m bis zum mineralischen Untergrund untersucht. Anfänglich noch in Anlehnung an die Bodenschätzung, kamen später Vorläuferversionen bzw. verschiedene Fassungen der TGL als Erhebungsnomenklaturen zum Einsatz. Dies brachte einen erheblichen Informationsgewinn, insbesondere durch detailliertere Ansprache der Torfarten und des Humositätsgrades nach VON POST (1922). Datenquellen sind das Moorarchiv der Humboldt-Universität zu Berlin (MOORARCHIV 1953-1972), die Meliorationsspezialuntersuchungen und die Rohstoffkartierungen. Umfangreiche Analysen zu Humusgehalten (über Glührückstand) und Trockenrohdichten sind Teil dieser Datenbestände, da durchschnittlich alle 25 ha ein repräsentatives Bodenprofil beprobt wurde.

2.1.4 Forstliche Standortskartierung

Die Forstliche Standortskartierung liegt für Brandenburg flächendeckend im Maßstab 1:10.000, teilweise auch 1:5.000 vor. Ihr Erhebungszeitraum erstreckt sich von 1957 bis heute. Im Unterschied zu den zuvor beschriebenen Verfahren für die gilt, dass Moore durch eine Mindestmächtigkeit von 30 cm mit mehr als 30 % organischer Bodensubstanz gekennzeichnet sind, werden gemäß Standorterkunderweisung (SEA) Standorte als Moore ausgewiesen, wenn deren Torfmächtigkeit mehr als 4 dm beträgt. Geringer mächtige Standorte werden als Moorgleye bezeichnet. Etwa 22.000 ha der Forstlichen Standortskartierung sind den Mooren und Anmooren zuzuordnen. Informationen zum Bodenaufbau stehen lediglich über den Titeldatensatz der Flächenbeschreibung zur Verfügung.

2.1.5 Biotoptypenkartierung

Als ergänzende Flächendatenquelle kommt der Biotoptypenkartierung (BTLN 2009) eine wichtige Rolle zu, da sie auch solche Moore erfasst, die bei den nutzungsspezifischen Erhebungen der Bodenschätzung oder der Forstlichen Standortskartierung keine Rolle spielen. Oft handelt es sich um „sensible Moore“ (BAURIEGEL 2014), die im besonderen Fokus des Moor- und Naturschutzes liegen. Schichtenverzeichnisse oder Analytik sind nicht Teil des Datenbestandes.

2.1.6 Sonstige Datenquellen

In geringerem Maße konnten weitere Datenquellen in das Verfahren einbezogen werden, die zum Teil aber detaillierte Aufnahmen mit umfangreicher Analytik beinhalten. Zu nennen sind die „Standortkundliche Ergänzung zur Bodenschätzung“ wie auch die aktuellen landesweiten Erhebungen des LBGR.

Im Ergebnis der Datenrecherche liegen derzeit ca. 250.000 Profildatensätze mit Bezug zu Moorböden vor.

Tab. 1: Datenquellen (grün: Flächendaten teilweise mit Punktdaten unterlegt; blau: Punktdaten; Punkt: Teil der Flächenkulisse; aus BAURIEGEL 2014)

Data sources (green: areal data frequently associated with soil profile data; blue: soil profile data; point symbol: data is part of the synthesized map; from BAURIEGEL 2014)

Datenquelle	Geometrische Auflösung	Deckung	Erhebungsjahr	Anzahl Profile	Inhaltliche Auflösung	Analytik
Bodenschätzung (BS)	sehr hoch	hoch	< 1954	137.000	mittel	nein
Preuß. Geol. Karte	hoch	sehr hoch	< 1935	18.500	mittel	nein
Forstliche Standortskartierung	sehr hoch	hoch	weite Spanne	-/-	hoch (Bodenform)	ja
Biotoptypenkarte	sehr hoch	gering	aktuell	-/-	-/-	nein
HU-Moorarchiv	sehr hoch	mittel	1954-1990	94.000	sehr hoch (Bodenform)	ja
Meliorations-Standortuntersuchung	sehr hoch	-/-	1950-1990	8.700	hoch (Bodenform)	ja
Standortkundliche Ergänzung der BS	hoch	-/-	1970-1980	640	hoch (Bodenform)	ja
Rohstofferkundung	sehr hoch	-/-	1947-1990	670	hoch (Bodenform)	ja
Projektdaten LBGR	-/-	-/-	aktuell	280	sehr hoch (KA4/5)	ja

2.2 Aufbereitung/Synthese [Profildaten]

Die verschiedenen Bodendaten mussten sowohl strukturell als auch inhaltlich in einen vergleichbaren Standard überführt werden. Hierzu wurde eine gemeinsame Datenbankstruktur auf Basis des relationalen Datenbankmanagementsystems PostgreSQL umgesetzt (Abb. 2). Mit diesem Ansatz war es möglich, die Eingangsdaten unabhängig von ihrer Erhebungsnomenklatur zu verwalten. Alle weiteren Bearbeitungs- und Transformations-schritte konnten nach einheitlichem Schema mit spezifisch dafür entwickelter Software durchgeführt werden.

Mit Ausnahme weniger Basis-Kenngrößen wie z.B. der Original-ID, dem Hoch- und Rechtswert oder der Datenquelle, wurden alle weiteren Erhebungsparameter zunächst in einer Stammdatentabelle (*vardef*) definiert und deren Werte bzw. Merkmalsausprägungen zeilenweise in Detailtabellen abgelegt (z.B. in *profil_detail*). Dies ermöglichte eine Attributierung auf dem Niveau der „atomaren“ Einzelwerte. Der lesende Zugriff erfolgt mit Kreuztabellen in einfach lesbarer Matrix-Darstellung.

Zum Zwecke der Dokumentation und Nachvollziehbarkeit sollte zu jedem Datensatz immer auch der Originaldatensatz zur Verfügung stehen. Es wurden daher parallel drei vollständige Ausfertigungen der Datenbank angelegt (Abb. 3). In die Level1-Datenbank wurden die Daten prinzipiell unverändert als Text übernommen. Dies sicherte eine vollständige Übernahme einschließlich evtl. fehlerhafter Terme und Datentypen.

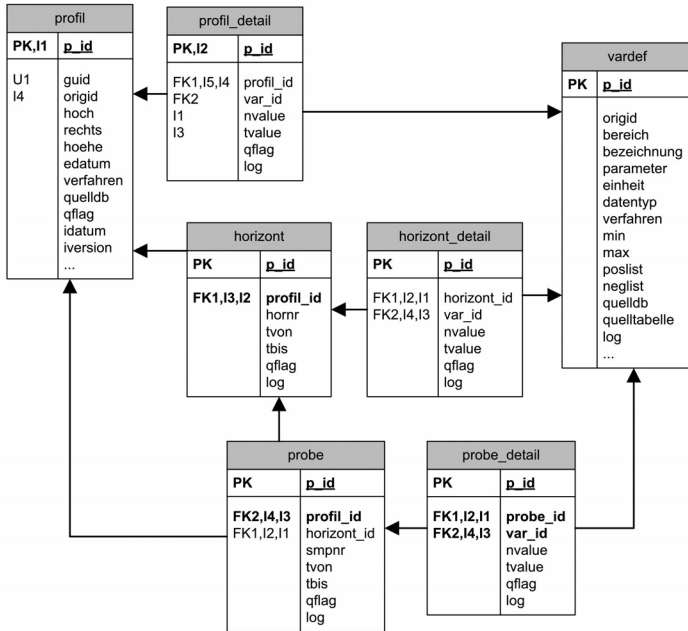


Abb. 2: Auszug der Datenbankstruktur für Punktdaten
Excerpt of the database scheme for soil profile data only

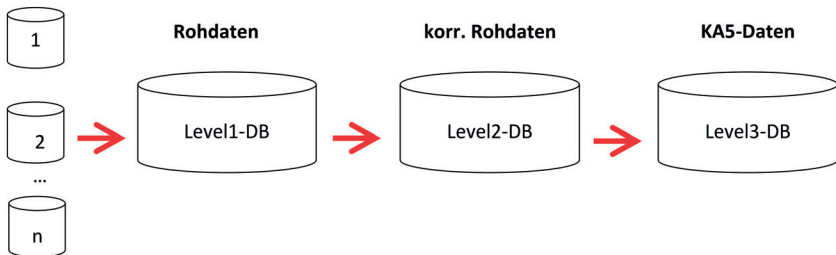


Abb. 3: Generelles Schema der Datenhaltung
General data management approach

Die strukturell identische Level2-Datenbank enthält die innerhalb ihrer jeweiligen Erhebungsnomenklatur bereinigten Daten. Hierzu wurden die Level1-Daten syntaktisch geprüft und korrigiert, unnötig komplexe Terme vereinfacht bzw. auf die korrekten Zielfelder aufgeteilt und Quantifikatoren vereinheitlicht. Es kamen in großem Umfang Schlüssel Listen zum Einsatz. Diese sind ebenso Teil der Datenbank und können mit einem hierfür entwickelten Software-Werkzeug gepflegt werden.

Eine Sonderstellung nehmen die pedologisch/petrographischen Angaben ein. Sie bestehen oft aus komplexen, zusammengesetzten Termen. Mit dem Ziel, auch diese zu vereinheitlichen und den Komplexitätsgrad auf ein sinnvolles, softwaretechnisch auswertbares Maß zu begrenzen, wurden für die historischen Daten die folgenden Definitionen getroffen:

- Bei Übergängen oder Aufzählungen mehrerer Hauptbodenarten mit assoziierten Nebenbodenarten wurde prinzipiell nur der erste (oder dominante) Term mit seinen Nebenbodenarten überführt. Weitere Hauptbodenarten gingen dann als „starke“ Nebenbodenart mit ein, wenn sie nicht schon von den Nebenbodenarten des ersten Terms abgedeckt waren.
Nmo,s4,ki2-L => Nmo;s4,ki2,l4 (Beispiel aus Bodenschätzungsdaten)
- War eine der übrigen Hauptbodenarten eine organische Bodenart, so ging sie als weitere Hauptbodenart kommagetrennt mit ein.
T,fs2,l5,z4-Nmo,s4 => T,Nmo;fs2,l5,z4
- Organische Nebenbodenarten des nachrangigen (zweiten) Terms gingen auch mit ein, es sei denn sie waren schon Teil des ersten Terms.
Nmo,z4-L,schli3 => Nmo,z4,l4,schli3

Die Überführung der Level2-Daten auf das Niveau der Level3-Daten (KA5, AG Boden 2005) erfolgte auf Basis von Schlüssellisten, zusätzlich aber auch anhand von Regelwerken. Erlauben Schlüssellisten nur einfache 1:1 Übersetzungen, so gehen die Möglichkeiten mit Regelwerken weit darüber hinaus. Im Prinzip kann bis auf das Niveau der Einzelwerte jeder Datensatz mit den in Bezug stehenden hierarchisch über- oder untergeordneten Werten eines Profils und dessen vertikaler Abfolge bewertet werden.

Ein Regelwerk wird immer auf vollständige Profile und alle darin enthaltenen Schichtbeschriebe und Analysen angewendet. Nur die jeweils zulässigen Regeln kommen zum Einsatz. Schichten und deren Analytik werden in ihrer natürlichen Abfolge von oben nach unten bzw. entsprechend ihrer Horizont-Nummerierung abgearbeitet. Regeln werden gemäß ihrer Gewichtung priorisiert. Sie können verwendet werden, um Werte „neu anzulegen“, zu „ändern“ oder zu „ergänzen“. Ist eine Regel als Prüfregel gekennzeichnet, wird die Zielgröße nicht verändert, sondern lediglich die Kommentarfunktion genutzt. Sowohl die Schlüssellisten als auch die Regelwerke sind Teil der Datenbank und in dieser Form dokumentiert.

Über Schlüssellisten und Regelwerke hinaus wurden die folgenden Prüfschritte gesondert softwaretechnisch umgesetzt:

- Prüfung und Korrektur von Datentypen,
- Prüfung der Lage bzw. des Raumbezugs,
- Prüfung der Tiefenintervalle und
- Prüfung und Vereinheitlichung der Längensysteme.

Im Ergebnis enthält die Level3-Datenbank nun die Profildaten in nach KA5 (AG BODEN 2005) transformierter Form. Profile bzw. einzelne Parameter, die nicht oder nicht mit ausreichender Sicherheit transformiert werden konnten, sind nicht Teil der Level3-Daten.

2.3 Aufbereitung der Flächendaten

Flächendaten zu Moorböden liegen für Brandenburg auf Basis des Moorarchivs der Humboldt-Universität zu Berlin (MOORARCHIV 1953-1972), der Bodenschätzung, der Forstlichen Standortkartierung, der Biotoptypenkartierung und der Preußisch geologisch-agronomischen Karte vor. Zur Synthese einer vollständigen und überschneidungsfreien Flächenskizze der Moore Brandenburgs wurden die vorhandenen Datenquellen zunächst bezüglich ihrer inhaltlichen Detaillierung, Erkundungstiefe, Aktualität und räumlichen Schärfe bewertet. Der jeweils geeignetste Datensatz sollte den entsprechenden Standort repräsentieren und alle sonstigen für den Standort vorliegenden nachrangigen Datensätze ersetzen.

Es ergibt sich die folgende Rangfolge für die Flächendatenquellen:

- Flächendaten des Moorarchivs der Humboldt-Universität zu Berlin
- Flächendaten der Bodenschätzung
- Forstliche Standortkarte
- Biotoptypenkarte
- Preußisch geologisch-agronomische Karte

Die höchste moorbodenkundliche Differenzierung und Lagegenauigkeit weisen die Daten des Moorarchivs der Humboldt-Universität zu Berlin auf. Der zugehörige Flächendatensatz wurde in Form von Voronoi-Polygonen aus den im engen Raster vorliegenden Punktdaten im GIS neu generiert. Als Modellgrenzen für diesen Berechnungsschritt wurden die zum Erhebungszeitpunkt ausgewiesenen Moorgrenzen für Areale mit einer Torf-Mächtigkeit > 20 cm verwendet.

Auch die Klassenflächen der Bodenschätzung (Folie 42 im ALK) erlauben auf Basis der beschreibenden Grablöcher standortspezifische Aussagen zum Bodenaufbau, dies allerdings mit geringerem Informationsgehalt, geringerer Erkundungstiefe und höherem Datenalter. Sie stellen Eingangsdaten der Rangstufe 2 dar. Ein GIS-Auszug der kohlenstoffreichen Böden aus der Forstlichen Standortkarte (FSK) bildet die 3. Rangstufe. Die Daten der FSK sind vergleichsweise aktuell, eine Kopplung zu flächenbeschreibenden Bodenprofilen existiert aber nicht.

Schließlich gehen die Daten der Biotoptypenkartierung mit der Rangstufe 4 ein. Auch für die Flächen der Biotoptypenkarte liegt keine direkte Kopplung zu Bodenprofilen vor. Die Biotoptypen wurden zunächst in solche Einheiten unterteilt, die sicher auf das Vorkommen von Moorböden schließen lassen und solche die auf Moorböden typisch sind, aber

auch auf mineralischen Standorten vorkommen (z.B. Röhrichte) und deshalb für sich genommen keinen sicheren Rückschluss auf das Vorkommen von Moorböden zulassen. In die erste Kategorie fallen alle Biotoptypen der Sauer-Arm- und Zwischenmoore (Biotop-Code 043xxx), der Basen- und Kalk-Zwischenmoore (044xxx), der Moorzwälder und Moorbirkenwälder (0810xxx) sowie alle Biotope, die mit dem Zusatz „Kesselmoor“, „Verlandungsmoor“, „Versumpfungsmoor“, „Quellmoor“, „Überflutungsmoor“ oder „Durchströmungsmoor“ geführt werden. Alle anderen potenziellen Moorbiootope wurden nur dann als tatsächliche Moorbodenfläche übernommen, wenn sie im Abgleich mit der preußisch geologisch-agronomischen Karte (PGK) zu mindestens 30% auf „Moor“ liegen. Aufgrund der Lageungenauigkeit der PGK wurden dabei aber kleinere Flächen (Kleinmoore) und linear ausgebildete Moorböden (z.B. Uferbereiche) nur unzureichend erfasst. Zudem liegt die PGK nicht landesweit flächendeckend vor. Deshalb erfolgte in einem zusätzlichen Schritt eine visuelle „on-screen“-Überprüfung anhand von Luftbildern. Hierbei wurden solche Standorte der PGK und der Biotoptypenkarte ergänzend übernommen, die mit hoher Sicherheit Moorböden beschreiben aber bislang nicht Bestandteil der Flächen-Synthese waren. Dies betraf in erster Linie Sölle der Jungmoränenlandschaft und weitverbreitet auch Gewässerrandbereiche.

Die Synthese der Flächendaten erfolgte prinzipiell überschneidungsfrei, indem alle durch einen höherrangigen Datensatz repräsentierten Flächen aus den Flächendatensätzen mit niedrigerem Rang vor der räumlichen Zusammenführung der Datensätze eliminiert wurden. Ebenso wurde mit solchen Flächen verfahren, die in einem höherrangigen Datensatz bereits eindeutig als „Nicht-Moorfläche“ klassifiziert werden konnten und somit auch durch einen nachrangigen Datensatz nicht wieder als „Moorfläche“ in die Flächensynthese eingehen durften. Sofern die Originalerhebung Profildaten enthält, ist jede Einzelfläche des synthetisierten Flächendatensatzes eindeutig mit einem Profildatensatz aus der Originalerhebung verknüpft (vgl. Kap. 2.6.).

2.4 Referenzerhebungen

Ziel war ein möglichst direkter Vergleich des Bodenzustandes zwischen früher und heute. Daher wurden für die aktuellen bodenkundlichen Referenzerhebungen zufällig solche Standorte ausgewählt, für die detaillierte bodenkundliche Informationen aus Alt-Erhebungen schon vorlagen. Es handelt sich zumeist um (flächen-) beschreibende Grablöcher der Bodenschätzung bzw. Bohrungen aus den Projekten des Moorarchives der Humboldt-Universität zu Berlin oder den Meliorationsspezialuntersuchungen. Deren klassifizierte, randomisierte Auswahl erfolgte unter der Maßgabe der Flächenrepräsentativität, der Moormächtigkeit zum Erhebungszeitpunkt, der aktuellen Flächennutzung und der vermuteten Qualität der Datenbasis. Die bodenkundliche Erhebung vor Ort beinhaltete in der Regel einen Flachschorf bis 50 cm sowie die Bohrung bis zum liegenden Substrat mit Bohrstock bzw. Moorkammerbohrer. An sämtlichen Standorten wurde eine Bodenprobe zur Bestimmung der Trockenrohddichte und des Kohlenstoffgehaltes gewonnen.

2.4.1 Flächenrepräsentativität

Landesweit wurde der prozentuale Anteil der Moorböden blattschnittweise im Raster der TK25 bestimmt. Auf dieser Basis konnte dann im Hinblick auf einen geplanten max. Stichprobenumfang von ca. 8.000 Referenzerhebungen, für jede TK25-Kachel gesondert ein Richtwert für die Menge durchzuführender Erhebungen ermittelt werden (Abbildung 4). Neben dem reinen Flächenanteil ging auch die Häufigkeit des Auftretens von Standorten mit Moorböden in die Bewertung ein.

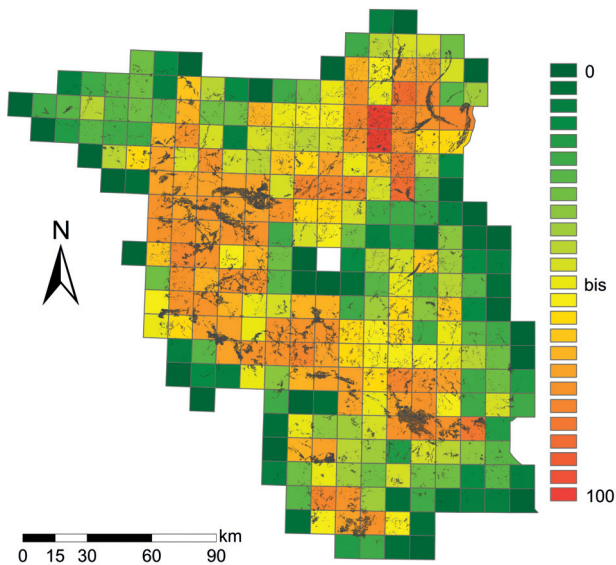


Abb. 4: Anteil von Moorböden auf Basis der Bodenschätzung und der Forstlichen Standortskartierung an Blattsnitten der TK25 (Hintergrund: Referenzpunktdichte: grün: 0-10 bis rot: > 50)
Share of peatland soils according to the states soil survey and forestal maps with respect to the topographic map (1:25.000) sheetline system (Background: density of reference sites; green: 0-10 to red: >50)

2.4.2 Moormächtigkeit zum Erhebungszeitpunkt

Für jedes TK25-Blatt wurden darüber hinaus die Anteile „anmooriger Böden“, Moorböden < 7 dm, Moorböden < 10 dm und von Moorböden \geq 10 dm bestimmt und deren relative Verhältnisse bei der Beprobung berücksichtigt.

2.4.3 Landnutzung

Die Landnutzung wurde zunächst grob als landwirtschaftlich bzw. forstwirtschaftlich oder nicht genutzt (Biotope) bestimmt. Mit Bezug auf die anteilige Landnutzung in Brandenburg wurde eine Menge von ca. 7.000 Standorten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen, 1.000 Standorten auf forstwirtschaftlichen Nutzflächen und zusätzlich noch 150 Standorten auf Flächen ohne Nutzung gewählt.

2.4.4 Lagegenauigkeit der Ersterhebung

Die Aufnahmepunkte der Bodenkartierungen wurden früher zumeist im Schrittmaß „verortet“ und nachträglich auf (Arbeits-) Karten übertragen. Hierbei traten verfahrensbedingt Ungenauigkeiten auf. Für eine möglichst direkte Vergleichbarkeit war es jedoch notwendig, dass die Standorte der Ersterhebung möglichst lagegenau wieder aufgesucht werden konnten. Deshalb sollten Standorte, bei denen mit höherer Wahrscheinlichkeit von einer plausiblen und zuverlässigen Erst-Verortung ausgegangen werden konnte, bevorzugt in die Auswahl eingehen. Bohrpunkte im näheren Umfeld von geeigneten Orientierungspunkten wie von Fließ- und Standgewässern oder auch in der Nähe von Infrastruktureinrichtungen wurden daher für die randomisierte Auswahl stärker gewichtet als zentral „auf weiter Flur“ liegende Standorte.

2.4.5 Klassifiziert, randomisierte Auswahl der Referenzstandorte

Zu Beginn des Projektes wurde eine erste, 8.150 Bohrpunkte umfassende, Stichprobe zur Referenzkartierung erzeugt und in mehreren Iterationen der veränderten Datenlage aus der parallel laufenden Datenrecherche angepasst. Die randomisierte Ziehung der Referenzpunkte erfolgte softwaregestützt mit einem hierfür entwickelten Algorithmus, klassifiziert nach Bodentypen, Landnutzungskategorien und vermuteter Lagetreue gesondert für jeden TK25-Blattschnitt. Abbildung 5 verdeutlicht die Herangehensweise schematisch.

2.5 Moormächtigkeitsverlusten

Die Mächtigkeitsverlusten hängen direkt mit der ehemaligen Moormächtigkeit, der Landnutzung und der Entwässerungsintensität zusammen. Literaturwerte zu jährlichen Moormächtigkeitsverlusten liegen in einer weiten Spanne zwischen 0,3 cm/a und 3 cm/a. Bei Grünlandnutzung sind die Verlusten tendenziell geringer als bei ackerbaulicher Nutzung (Tab. 2).

Moormächtigkeitsveränderungen in Folge abgesenkter Grund- bzw. Moorwasserspiegel gehen auf Setzung, Schrumpfung und Mineralisierung zurück. In Folge einer Grundwasserabsenkung überwiegen zunächst Setzung und Schrumpfung. Relativ starke Mächtigkeitsveränderungen in kurzer Zeit sind die Folge. Im weiteren Verlauf gewinnt die mikro-

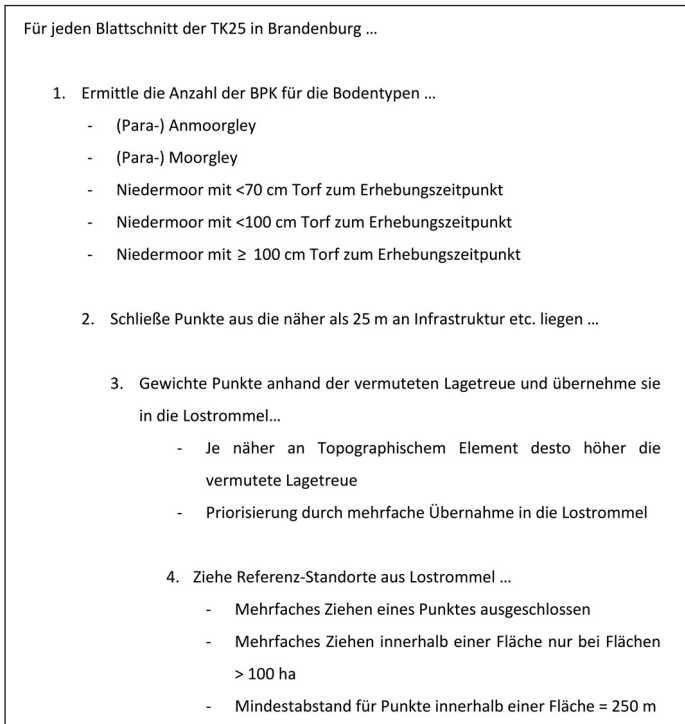


Abb. 5: Schema zur randomisierten Auswahl der Referenzstandorte
Schematic workflow for the randomized selection of reference sites

bielle Mineralisierung an Bedeutung. Sie manifestiert sich in hoch zersetzten Torfen der Oberböden. Die jährlichen Mächtigkeitenverlusten sind in dieser Phase deutlich geringer. Jede weitere Grundwasserabsenkung induziert die beschriebenen Vorgänge von neuem.

Auch wenn die Mächtigkeitenverluste also keineswegs linear verlaufen, können aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung der vorhandenen Daten (in der Regel sind nur zwei Zeitpunkte miteinander vergleichbar) die Mächtigkeiten-Differenzen nur vereinfachend linear als jährliche Verlusten abgeleitet werden. Bei Betrachtung ausreichend langer Zeiträume von mehreren Dekaden scheint diese Vereinfachung aber gerechtfertigt.

Unter Berücksichtigung der Mächtigkeit sowie der (aktuellen) Landnutzung können Klassen „einheitlicher“ Standortbedingungen gebildet werden. Für diese Klassen wurden die jährlichen Verlusten als Mediane über alle Daten-Paare berechnet:

Tab. 2: Moorschwind: Werte in der Literatur für Deutschland und Zentraleuropa
Peatland subsidence estimations for Germany and central Europe from literature

Lage	Nutzung	GW-Stand [cm u. GOK]	Typus	Moor- schwind [cm*a ⁻¹]	Quelle
Nordost- deutschland	Grünland	60 - 80		0,3	RENGER et al. 2002
Süd-Schweden	Grünland, Weide	entwässert		0,5	KASIMIR-KLEMEDTSSON et al. 1997
Süddeutschland (Oberschwaben)	Grünland		Niedermoor	0,62	WEINZIERL et al. 2014
Nordost- deutschland	Grünland	entwässert	saures Niedermoor	1,0	LORENZ et al., 1992
Süd-Schweden	Grünland, Wiese	entwässert		1,0	KASIMIR-KLEMEDTSSON et al. 1997
Polen, Biebrza	Grünland	50 - 70	saures Niedermoor, gedüngt	1,3	OKRUSZKO 1989
Polen, Biebrza	Acker	70 - 90	saures Niedermoor, gedüngt	1,7	OKRUSZKO 1989
Polen	Grünland			0,4 bis 0,7	CZAPLAK & DEMBEK 2000
Niederlande	Grünland	70 - 100	saures Niedermoor, gedüngt	0,6 bis 0,7	SCHOTHORST 1977
Nordost- deutschland	Grünland			0,5 bis 1	LEHRKAMP 1987
Süddeutschland (Donaumörs)	Acker	entwässert	sauer bis neu- trales Niedermoor, gedüngt	1 bis 1,5	SCHUCH 1977
Süddeutschland (Oberschwaben)	Acker		Niedermoor	0,52	WEINZIERL et al. 2014
Süd- Schweden	Acker	entwässert		1 bis 2	KASIMIR- KLEMEDTSSON et al. 1997
Nord- deutschland	Acker	80 - 180	Kalkniedermoor, gedüngt	1,6 bis 2,7	EGGELSMANN & BARTELS 1975
Nord- deutschland	Acker	80 - 180	Kalkniedermoor, gedüngt	2 bis 3	EGGELSMANN 1978
Süd- Schweden	Acker, Hackfrüchte	entwässert		2 bis 3	KASIMIR- KLEMEDTSSON et al. 1997
Paulinenaue Lysimeter		30	0,50m Moor- mächtigkeit	0,18	MUNDEL 1976
Paulinenaue Lysimeter		60		0,24	MUNDEL 1976
Paulinenaue Lysimeter		90		0,31	MUNDEL 1976
Paulinenaue Lysimeter		30	1,50m Moor- mächtigkeit	0,41	MUNDEL 1976
Paulinenaue Lysimeter		60		0,59	MUNDEL 1976
Paulinenaue Lysimeter		90		0,7	MUNDEL 1976

$$Ra = \frac{M0 - M1}{Y0 - Y1}$$

Formel 1: Berechnung der jährlichen Verlustraten, Ra = Verlustrate [cm*a⁻¹], M0 = Initiale Torfmächtigkeit, M1 = Mächtigkeit zum Referenzzeitpunkt, Y0 = Jahr der Ersterhebung, Y1 = Jahr der Referenzerhebung

Calculation of yearly subsidence rates, Ra = subsidence rate [cm*a⁻¹], M0 = initial peat thickness, M1 = peat thickness at reference time, Y0 = year of initial survey; Y1 = year of reference survey

2.6 Referenzierung der Moorkarte

Die Aktualisierung der Moorkarte auf das Jahr 2013 basiert auf einer parametrisierten Alterung der standortspezifischen Bodenprofile. Als wichtige Eingangsparameter gehen derzeit der Zeitpunkt der Ersterhebung, die Mächtigkeit der Torfhorizonte zum Ersterhebungszeitpunkt und die aktuelle Nutzung (INVEKOS Daten, Biotoptypenkarte aus CIR-Luftbildern/2009) in die Referenzierung (Profilalterung) ein.

Es werden drei Qualitätsstufen für Flächendaten unterschieden:

1. Die höchste Qualität besitzen Flächendatensätze, die auf Erhebungen beruhen, die den pedologischen Aufbau der konkreten Zielfläche explizit abbilden. Dies sind die Flächen der Bodenschätzung und die aus bodenkundlichen Rastererhebungen abgeleiteten Flächenkulissen des HU-Moorarchivs.
2. Für einen Teil der Flächenkulisse stehen keine „eigenen“ flächenbeschreibenden Bodenprofile zur Verfügung, aber aus anderen Erhebungen sind Bodendaten verfügbar.
3. Die geringste Qualität besitzen solche Flächendatensätze gänzlich ohne beschreibendes Bodenprofil. Ein „synthetisches“ Profil muss dann allein aus dem Titeldatensatz der Flächendaten abgeleitet werden.

Die Verlustraten werden vollständig auf den „aktiven (Mineralisierungs-)Bereich“ des Bodenprofils angewandt. Dieser ist derzeit statisch auf die oberen 50 cm im Profil festgelegt. Dieses Tiefenintervall konnte aus der Häufigkeits-Verteilung anthropogen höherer Torf-Zersetzungsgrade im Oberboden abgeleitet werden (FELL et al. 2015).

Die eigentliche Referenzierung erfolgt wie in Abbildung 6 dargestellt. Zunächst wird das flächenbeschreibende Bodenprofil zum Erhebungszeitpunkt ermittelt und der anzuwendende Verlustfaktor unter Berücksichtigung von der initialen Moormächtigkeit und der Landnutzung anteilig auf die organischen Lagen im Mineralisierungsbereich der oberen 50 cm angewendet. Das Profil wird konsolidiert und der Vorgang entsprechend des Erhebungsalters in Jahren wiederholt. Zwischengeschaltete mineralische Lagen, die naturgemäß keinen Mächtigkeitsverlusten unterliegen, können sich in diesem Prozess akkumulie-

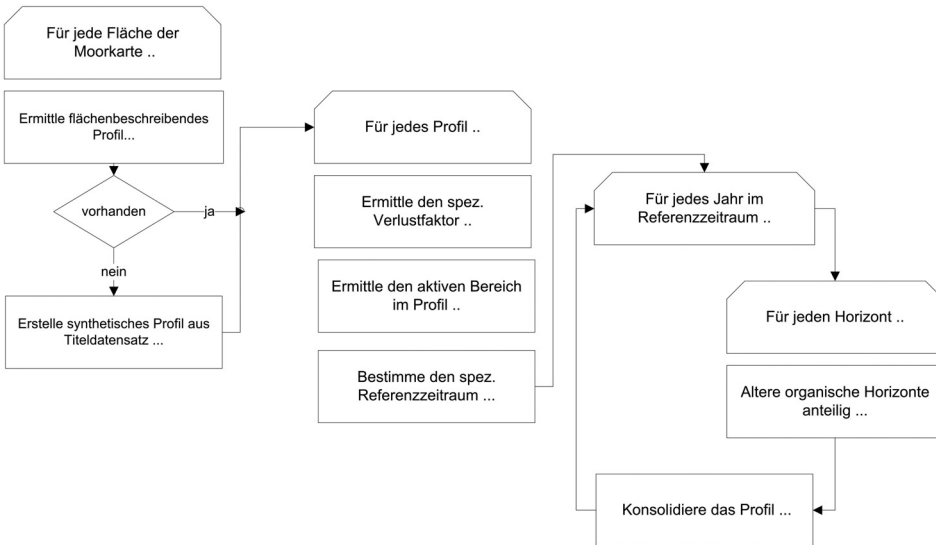


Abb. 6: Flussdiagramm zur sequentiellen, standortspezifischen Ableitung der aktuellen Torfmächtigkeit
Flow chart of the sequential deduction of the site specific actual peat thickness

ren. Der relative Anteil an Torfen im Mineralisierungsbereich nimmt dadurch ab und damit auch die jährlichen Moormächtigkeitsverluste. An Standorten die durch regressive Entwicklung und daraus entstandenen Moorfolgeböden wie z. B. Moorgleyen und Anmoorgleyen gekennzeichnet sind, wurde der Mineralisierungsbereich der verbleibenden Torfmächtigkeit gleichgesetzt.

3. Ergebnisse

3.1 Verlustraten

Für die Berechnung von Verlustraten kommen nur diejenigen Neuerhebungen in Frage, für die auch Vergleichsdaten bis zum liegenden mineralischen Untergrund aus früheren Zeitabschnitten zur Verfügung stehen. Dies ist für einen erheblichen Teil der Bodenschätzungsdaten aufgrund der nur 1 Meter tief reichenden beschreibenden Grablöcher nicht gegeben. Ebenso scheiden schon zum Erhebungszeitpunkt lediglich anmoorige Standorte für die Ableitung von Mächtigkeitsverlustraten aus. Für die Erhebungen im Forst existiert ganz überwiegend kein konkreter Bezug zu früheren Bohrungen, sondern lediglich ein Flächenbezug. Insgesamt konnten 3.729 Referenzerhebungen für die Ableitung von Verlustraten herangezogen werden.

3.1.1 Verlustraten in Abhängigkeit von der ehem. Moormächtigkeit ohne Berücksichtigung der Landnutzung

Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen ursprünglicher Moormächtigkeit und den jährlichen Mächtigkeitsverlusten. Standorte mit ursprünglich weniger als 30 cm Torfmächtigkeit weisen im Median Verlustraten von nur 0,32 cm/a auf, bei 30 bis weniger als 70 cm ursprünglicher Moormächtigkeit 0,50 cm/a, bei 70 cm bis weniger als 100 cm sind es 0.74 cm/a und bei mehr als 100 cm Moormächtigkeit 1,07 cm/a. Die Streuung nimmt in Abhängigkeit von der Moormächtigkeit zu (Abb. 7).

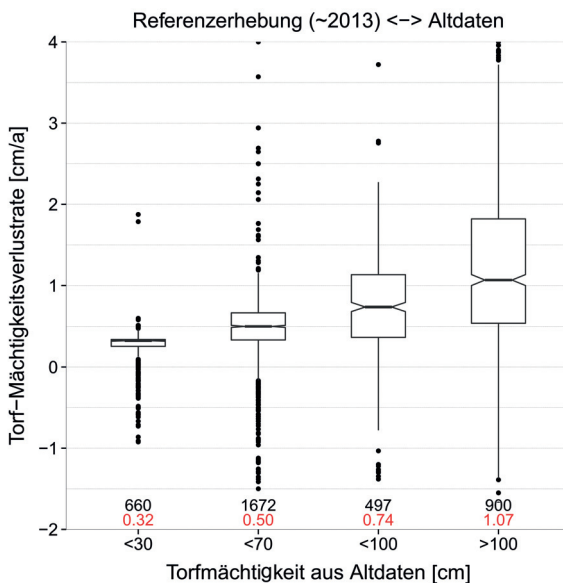


Abb. 7: Boxplots der jährlichen Verlustrate für anmoorige Böden und Niedermoorböden in Abhängigkeit der ursprünglichen Moormächtigkeit; rot: Median; schwarz: Stichprobe (modified from BAURIEGEL 2014)

Box plots of the yearly peat subsidence rates for non peat organic soils and fen soils of different initial peat thicknesses; red: median; black: sample size (BAURIEGEL 2014)

3.1.2 Verlustraten unter Berücksichtigung der ehem. Moormächtigkeit und Landnutzung

Berücksichtigt man neben der ehemaligen Moormächtigkeit auch die derzeitige Landnutzung (siehe Tab. 3), so zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Nutzungsklassen Offenland/ungenutzt, Grünland und Ackerland. Die schon ehemals flachgründigen Standorte mit Ausgangsmächtigkeiten < 30 cm zeigen sowohl für Grünland als auch für Ackerland vergleichbare Verlustraten um 0,32 cm/a. Offenlandstandorte liegen mit 0,26 cm/a darunter. Am deutlichsten sind die Unterschiede in den Tiefenbereichen 30-<70 cm und

70-<100 cm. Im Intervall von 30-<70 cm weisen die als Offenland gekennzeichneten Flächen mit einer Verlustrate von 0,21 cm/a ebenfalls die geringsten Verluste auf. Grünlandstandorte zeigen hier Werte von 0,50 cm/a und Ackerstandorte 0,57 cm/a. Standorte mit Mächtigkeiten < 100 cm zeigen für Offenland Verlustraten von 0,37 cm/a, für Grünland 0,74 cm/a und für Ackerland 1,14 cm/a. An Standorten mit mehr als 100 cm Mächtigkeit zum Erhebungszeitpunkt liegen die Verlustraten für Offenland bei 0,78 cm/a und für Grünland bei 1,07 cm/a.

Tab. 3: Jährliche Verlustraten in cm in Abhängigkeit von der ursprünglichen Moormächtigkeit und der Landnutzung; O = Offenland, G = Grünland, A = Acker; Q1: erstes Quartil, Q2: Median, Q3: drittes Quartil, MW: arith. Mittel, stdabw: Standardabweichung, n = Stichprobenumfang, GM: Anmoorgley (<10cm), GH: Moorgley (<30cm), KV1 (<70cm), KV2 (< 100cm), KV3 (>100cm); (modifiziert aus FELL et al. 2015)

Yearly subsidence rates [cm] with respect to the initial peat thickness and actual land use; O=actually unused land, G=grassland, A=arable land; Q1: first quartile; Q2: median; Q3: third quartile; MW: mean; stdabw: standard deviation; n=sample size, GM: non peat organic soil with less than 10 cm peat; GH: non peat organic soil with less than 30 cm peat, KV1 (fen soil with less than 70 cm peat), KV2 (fen soil with less than 100 cm peat), KV3 (fen soil equal/more than 100 cm peat); (modified from FELL et al. 2015)

BOSYS	NUTZ	n	Q1	Q2	Q3	MW	stdabw
GM;GH	G	412	0,25	0,32	0,34	0,24	0,29
KV1	G	1104	0,32	0,50	0,68	0,48	0,50
KV2	G	386	0,39	0,76	1,14	0,77	0,82
KV3	G	698	0,60	1,09	1,80	1,29	1,35
GM;GH	A	191	0,27	0,33	0,40	0,31	0,13
KV1	A	367	0,47	0,57	0,67	0,58	0,30
KV2	A	33	0,93	1,13	1,36	1,17	0,47
KV3	A	28	1,55	2,81	3,39	2,97	2,12
GM;GH	O	16	-0,19	0,26	0,35	0,02	0,86
KV1	O	66	-0,18	0,21	0,52	0,04	0,85
KV2	O	29	-0,16	0,37	0,88	-0,10	1,61
KV3	O	62	-0,14	0,78	2,05	1,63	2,78
GM;GH		660	0,25	0,32	0,34	0,24	0,31
KV1		1672	0,33	0,50	0,67	0,46	0,52
KV2		497	0,37	0,74	1,13	0,71	0,89
KV3		900	0,54	1,07	1,82	1,31	1,55

3.2 Flächenkulisse

Im Ergebnis der Referenzierung der Moorkulisse auf das Jahr 2013 auf Basis des Medians der jährlichen Verlustraten ergibt sich ein Flächenverlust von ca. 28 % bezogen auf die Summe der Niedermoorböden zum Erhebungszustand (Tab. 4). Für Niedermoorstandorte mit weniger als 10 dm Ausgangsmächtigkeit sind die Verluste mit ca. 38 % noch größer.

Tab. 4: Fläche der Moorböden und assoziierter anmooriger Böden auf Grundlage von Altdaten (1935-1986) und der referenzierten „aktuellen“ Moorbodenkarte (Stand 2013) (MIL 2013, ELER Projekt „Schaffung einer Datengrundlage für die Ableitung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen auf Moorstandorten in Brandenburg“) (modifiziert aus BAURIEGEL 2014)
 Area of organic soils based on legacy data (1935-1986) and the referenced “actual” map of peatland soils (2013) (MIL 2013, ELER project „Schaffung einer Datengrundlage für die Ableitung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen auf Moorstandorten in Brandenburg“) (modified from BAURIEGEL 2014)

Bodentyp	1935-1986 Fläche [ha]	2013 Fläche [ha]	Saldo [%]
Anmoore	17.000	47.900	182
Moorgleye	29.000	49.050	69
Niedermoore <7dm	73.000	44.950	-38
Niedermoore <10dm	43.000	26.500	-38
Niedermoore >10dm	110.000	91.700	-17
Summe Moorböden	226.000	163.150	-28

Ebenso gravierend sind die Flächenveränderungen von den Moorböden hin zu den Moorfolgeböden. Unter der Annahme, dass Anfang des 20. Jahrhunderts die Fläche der Moore ohne Moorgleye und Anmoorgleye noch mehr als 270.000 ha betrug, hat sich ihr Anteil heute mit ~ 163.000 ha fast halbiert (BAURIEGEL 2014).

Der Verschnitt aktueller Landnutzungsdaten aus INVEKOS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem ...) und Biotoptypenkartierung auf Basis von CIR Luftbildern (2009) ermöglicht die Ausweisung der anteiligen Nutzungsarten (Tab. 5). Mit 110.000 ha (67 %) unterliegt der ganz überwiegende Teil der Moorböden Brandenburgs aktuell einer landwirtschaftlichen Nutzung als Grünland. Lediglich 11.000 ha werden ackerbaulich genutzt. Die Forst- bzw. Waldstandorte auf Moor ergeben in der Summe 27.000 ha, was einem prozentualen Anteil von 16 % entspricht. In diesen sind naturnahe Moorwälder enthalten. Andere aktuell keiner Nutzung unterliegende Standorte bzw. „naturnahe“ Standorte machen 5 % der Moorböden Brandenburgs aus. Sehr viel intensiver werden die Anmoore und Moorgleye landwirtschaftlich genutzt. Bei den Anmoorgleyen liegt der Anteil ackerbaulicher Nutzung bei 44 %, bei den Moorgleyen bei 21 %.

3.3 Die referenzierte Moorkarte am Beispiel des Moorgebietes „Buschgraben“

Am Beispiel des Moorstandortes „Buschgraben“ bei Baruth/Mark soll die Moorkarte vorgestellt werden. Mit höchster Priorität sind hier die Daten aus dem Moorarchiv der Humboldt-Universität zu Berlin eingegangen (blau). Sie decken den zentralen Teil des Gebiets ab, die randlichen Bereiche werden von den Klassenflächen der Bodenschätzung beschrieben. Forstlich genutzte Areale wurden mit den Daten der Forstlichen Standortkarte ergänzt (grün) (Abb. 8).

Tab. 5: Fläche der organischen Böden für verschiedene Nutzungsklassen auf Basis des Verschnitts der referenzierten Moorbodenkarte (Stand 2013) mit Nutzungsdaten aus INVEKOS und Biotoptypenkartierung (modifiziert aus BAURIEGEL 2014)

Area of organic soils with respect to land use based on an intersection of the actual map of peatland soils (2013) and recent information on land use from INVEKOS data and habitat maps (modified from BAURIEGEL 2014)

Nutzungsart Fläche [ha]	Niedermoore Fläche [ha]	Moorgleye Fläche [ha]	Anmoorgleye
Ackerland	10.500	11.750	19.000
Grünland	109.000	32.500	23.500
Forst	26.750	2.750	3.500
ungenutzte, naturnahe Moore	8.250	500	250
Sonderstandorte	5.750	1.250	1.500
gewässerbegleitenden Standorte	3.000	250	125
Summe	163.250	49.000	47.875

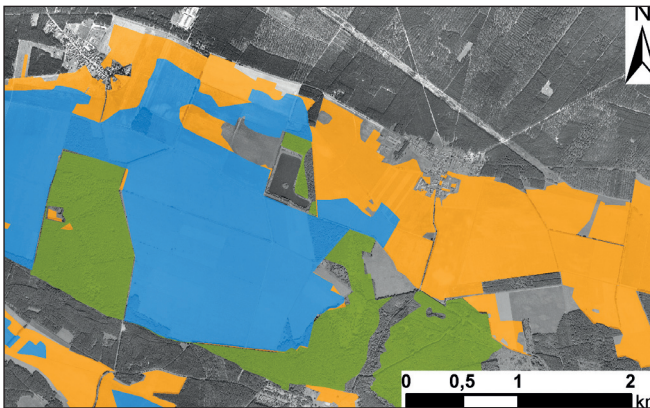


Abb. 8: Datenquellen für die Lokalität „Buschgraben“ bei Baruth/Mark (blau: HU-Moorarchiv, orange: Bodenschätzung; grün: Forstliche Standortkarte)

Legacy data sources for the locality “Buschgraben” near Baruth/Mark (blue: Humboldt-University peatland archive, orange: state soil survey, green: forestal data)

Das Areal zeigt zum Erhebungszeitpunkt eine tendenziell nach NNO abnehmende Torfmächtigkeit (Abb. 9). Gut erkennbar ist auch die vergleichsweise hohe räumliche und inhaltliche Auflösung der in den 1960er Jahren durchgeführten Rastererhebungen des HU-Moorarchivs. Die im Vergleich dazu geringere Informationsdichte der deutlich jüngeren Forstlichen Standortskarte (2001) kann gut nachvollzogen werden. Diese deutet eine mittlere Moormächtigkeit von durchweg 40-80 cm an. Die benachbarten Flächendaten des HU-Moorarchivs zeigen aber, dass zumindest die südlichen Areale mit hoher Wahrscheinlichkeit tiefgründiger sind. Im nördlichen Teil des Betrachtungsraumes überwiegen ge-

ringmächtige organische Standorte wie Moorgleye und Anmoorgleye. Sie werden hauptsächlich über Klassenflächen der Bodenschätzung beschrieben, die hier in den späten 1930er Jahren erhoben wurde.

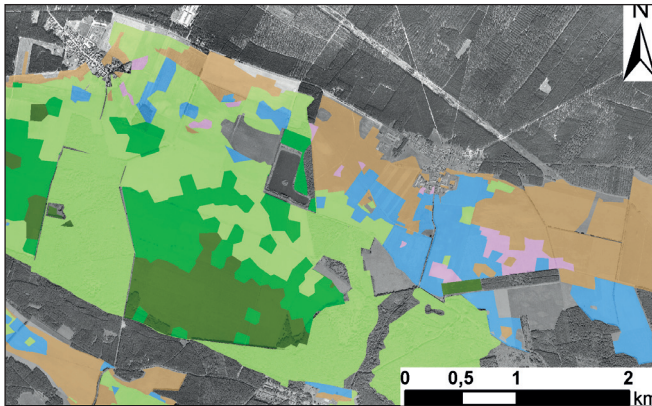


Abb. 9: Die Moorböden zum Erhebungszeitpunkt („Buschgraben“, 19xx); dunkelgrün ≥ 100 cm Torf, grün ≥ 70 cm Torf, hellgrün ≥ 30 cm Torf, blau: ≥ 10 cm Torf, rosa: < 10 cm Torf, braun: mineralisch
Peatland soils at their initial survey (“Buschgraben”, 19xx); dark green: ≥ 100 cm peat, green: ≥ 70 cm peat, light green: ≥ 30 cm peat, blue: ≥ 10 cm peat, pink: < 10 cm peat, brown: mineral soils)

Abbildung 10 stellt die auf das Jahr 2013 referenzierte Moorkulisse dar. Erkennbar ist eine Zunahme von Moorfolgeböden in Form von Moorgleyen und Anmoorgleyen im nordwestlichen Bereich. Nordöstlich ist die Entwicklung noch weiter vorangeschritten und der Anteil mineralischer Standorte nimmt zu. Gleichzeitig finden sich im zentralen Bereich deutlich weniger Standorte mit Torf-Mächtigkeiten > 1 m.

Unter Verwendung des 1.Quartils als Proxy für eine tendenziell extensivere Bewirtschaftung, also einer optimistischen Einschätzung im Hinblick auf geringe Kohlenstoffverluste, zeigt sich das in Abbildung 11 dargestellte Verteilungsmuster. Eine Zunahme der anmoorigen Standorte in den nördlichen und eine Abnahme der Moormächtigkeiten in den südlichen Bereichen ist aber auch unter diesen Bedingungen gegeben.

Das 3.Quartil der statistisch abgeleiteten jährlichen Verlustraten soll als Proxy für eine tendenziell intensivere Bewirtschaftung dienen (Abb. 12). Unter diesen Bedingungen kommt es zu einer weiteren Intensivierung der Torfverluste, einhergehend mit noch größeren Anteilen an nunmehr mineralischen Standorten im Nordosten und anmoorigen Standorten im Nordwesten.



Abb. 10: Lokalität „Buschgraben“: Aktuelle Torfmächtigkeit auf Basis des Medians der Verlustraten (Legende siehe Abb. 9)
 Locality “Buschgraben”: Actual peat thicknesses based on the medians of subsidence rates

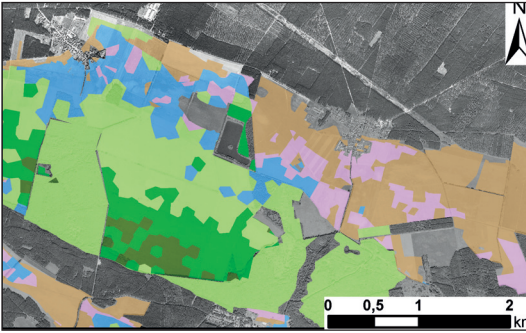


Abb. 11: Lokalität „Buschgraben“: Aktuelle Torfmächtigkeit auf Basis des 1. Quartils der Verlustraten (Legende siehe Abb. 9)
 Locality “Buschgraben”: Actual peat thicknesses based on the first quartile of subsidence rates

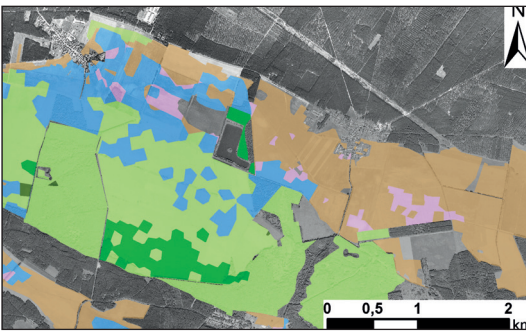


Abb. 12: Lokalität „Buschgraben“: Aktuelle Torfmächtigkeit auf Basis des 3. Quartils der Verlustraten (Legende siehe Abb. 9)
 Locality “Buschgraben”: Actual peat thicknesses based on the third quartile of subsidence rates

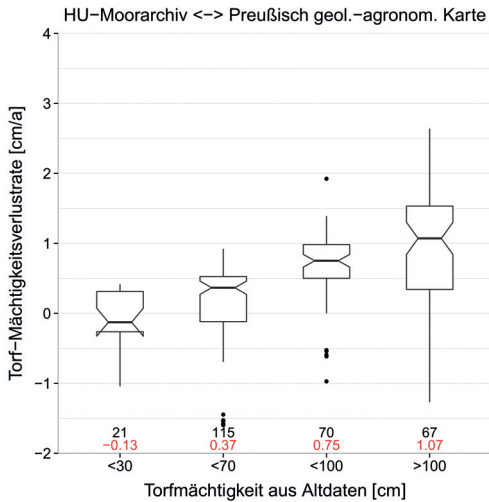


Abb. 13: Boxplots der jährlichen Verlustrate in cm in Abhängigkeit der ursprünglichen Moormächtigkeit auf Basis von Daten der PGK und des Moorarchivs der Humboldt-Universität zu Berlin; rot: Median; schwarz: Stichprobe (FELL et al. 2015)

Boxplots of the yearly peat subsidence rates for non peat organic soils and fen soils of different initial peat thicknesses based on legacy data from the Prussian geological map and the Humboldt-University peatland archive; red: median; black: sample size (FELL et al. 2015)

3.4 Validierung

Eine unabhängige Überprüfung der Verlustraten und damit auch der referenzierten Moor- karte war auf zweierlei Weise möglich:

- mit vergleichbarer Methodik aber einem unabhängigen Datensatz,
- mit einer alternativen Methodik auf Basis absoluter Höhendaten für zwei Zeitpunkte.

FELL et al. (2015) konnten mit einem vergleichbaren Ansatz auf Basis von Daten der Preu- ßisch geologischen-agronomischen Kartierung und des HU-Moorarchivs zeigen, dass die ermittelten Veränderungen in vergleichbarer Form auch in der Vergangenheit schon statt- fanden (Abb. 13). Generell liegen die Verlustraten auch für diesen historischen Zeitschnitt in ganz ähnlichen Größenordnungen. Für Standorte mit mehr als 70 cm Torf zum Erhe- bungszeitpunkt ergeben sich mit 0,75 cm/a annähernd identische Werte für die jährlichen Verlustraten. Flachgründige Standorte mit Mächtigkeiten zwischen 30 cm und 70 cm Torf zum Erhebungszeitpunkt weisen dagegen mit 0,36 cm/a gegenüber 0,50 cm/a etwas gerin- gere Verlustraten auf. Noch deutlicher fallen die Unterschiede für Standorte < 30 cm Torf zum Erhebungszeitpunkt auf. Hier ergeben sich für den historischen Zeitschnitt keine Ver- luste bzw. geringfügige „Torf-Zuwächse“. Die aktuellen Referenzerhebungen legen für solche Standorte aber Verlustraten von ca. 0,3 cm/a nahe.

Ein alternativer Ansatz zur Verfahrensverifikation basiert auf der Berechnung von multi-temporalen Höhendifferenzen. Für den betrachteten Standort „Buschgraben“ liegen Höhenvermessungen aus dem Jahr 1959 vor. Die Differenz zum aktuellen, hochaufgelösten Höhenmodell ermöglicht eine alternative Berechnung der Mächtigkeitsverlustraten (Abb. 14). Mit einer roten Umgrenzung ist ein Bereich relativ geringer anthropogener Überprägung (wenig Gräben) ausgewiesen. Der Median der Verlustraten aus dem Modell der aktuellen Moorkarte (schwarze Werte) liegt hier bei 0,45 cm/a, der Median der Verlustraten gem. des Höhendifferenzenmodells bei 0,53 cm/a (rote Werte).

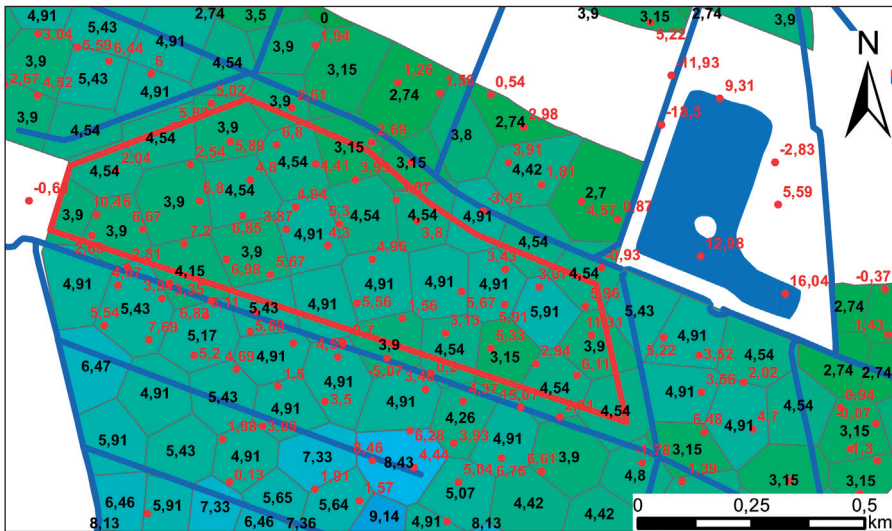


Abb. 14: Lokalität „Buschgraben“: Verlustraten [mm] auf Basis von Referenzerhebungen (schwarze Werte bzw. Hintergrund: grün nach blau = geringe bis hohe Verlustraten) versus Verlustraten [mm] auf Basis von digitalen Geländemodellen (rote Werte);
Locality “Buschgraben”: Peatland subsidence rates [mm] from reference surveys (black values and background: green to blue = low to high subsidence rates) versus subsidence rates [mm] calculated from multi temporal digital terrain models (red values)

4. Diskussion

Die auf das Jahr 2013 referenzierte Moorkarte Brandenburgs belegt den dramatischen Verlust an Moorböden und dem darin gebundenen Kohlenstoff. Werden zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch über 270.000 ha Moorböden ausgewiesen (Preußisch geolog.-agronomische Karte), so hat sich diese Fläche mit nunmehr 163.000 ha auf etwas mehr als die Hälfte reduziert. Die Ergebnisse basieren auf einer vergleichsweise großen Stichprobe, die flächenrepräsentativ für ganz Brandenburg randomisiert gewonnen wurde. Die daraus abgeleiteten, nutzungsdifferenzierten Mächtigkeitsverlustraten unterscheiden sich signifi-

kant. Zwei unabhängige Verifikationsansätze konnten die Ergebnisse bestätigen. Auch Werte in der Literatur belegen deren Plausibilität. Für Norddeutschland haben RENGGER et al. (2002) auf Grünland Verlustraten von 0,3 cm/a ermittelt, WEINZIERL et al. (2014) für Süd-Deutschland Werte von 0,62 cm/a, KASIMIR-KLEMEDTSSON et al. (1997) für Süd-Schweden Werte von 0,5-1 cm/a (Tab. 2). Vergleichbare Werte für Grünland ergeben sich auch für Brandenburg. Sie liegen hier bei 0,5 cm/a für Standorte mit 30-70 cm bzw. 0,74 cm/a (Tab. 4) für Standorte mit weniger als 100 cm Torf zum Ersterhebungszeitpunkt. Ein ähnliches Bild zeigt sich für die ackerbaulich genutzten Standorte. Tendenziell liegen die Brandenburger Werte mit 0,57 cm/a bis 1,14 cm/a (Tab. 4) aber im unteren Bereich der in der Literatur aufgezeigten Spanne von ca. 0,5-3 cm/a (u.a. EGGELSMANN & BARTELS 1975, SCHUCH 1977, EGGELSMANN 1978, KASIMIR-KLEMEDTSSON et al. 1997, WEINZIERL et al. 2014).

Forstlich genutzte Standorte konnten nicht in vergleichbarer Qualität standortspezifisch bewertet werden, da bodenkundliche Vergleichsdaten aus früherer Zeit fehlen. Die aktuellen Referenzerhebungen belegen aber weitgehend die Gültigkeit der Forstlichen Standortkartierung und zeigen für diese Standorte deutlich geringere Verlustraten auf.

Ein nicht unerhebliches Teilziel des Projektes war es, eine nutzungsunabhängige Sicht auf den Status der humusreichen Böden zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurden von Beginn an neben Moorböden auch anmoorige Bildungen und neben landwirtschaftlich genutzten auch forstwirtschaftlich genutzte Standorte und Biotope mit in die Referenzerhebungen einbezogen, auch wenn aus unterschiedlichen Gründen eine Verwendung zur standortspezifischen Ableitung des derzeitigen Status auf Basis von Mächtigerungsveränderungen nicht möglich ist. Der besondere Wert dieser Datengrundlage zeigt sich unter Umständen erst in der näheren und mittleren Zukunft.

Verfahren zur Ableitung von Mächtigerungsverlustraten, die auf dem Vergleich mit Alterhebungen beruhen, bergen Unsicherheiten, die es unbedingt zu beachten gilt (FELL et al. 2015). Dies betrifft ungenaue Verortungen der Ersterhebung und die unsichere Quellenlage zur Landnutzungshistorie. Es wurde daher besonderer Wert auf eine ausreichend große Stichprobenanzahl, die Bevorzugung tendenziell genauer verorteter Ersterhebungen und die Verwendung des Medians als robustem Schätzer gelegt, um zufällig verteilten Fehlern wirksam entgegen zu wirken.

Schwerer wiegen unvollständige Chronosequenzen. Sie treten auf, wenn der Zeitpunkt des vollständigen Torfverlustes nicht exakt nachvollzogen werden kann. Es betrifft in der Regel die schon früher nur sehr flachgründigen Standorte und führt hier vermutlich zu einer systematischen Unterschätzung der jährlichen Mächtigerungsverluste. Der derzeitige Status der Moorfolgeböden und somit die Frage, wie stark sich neben der Torfmächtigkeit auch der Gehalt an organischer Bodensubstanz in anmoorigen Böden verändert hat, lässt sich mit dem gewählten Ansatz über Mächtigerungsveränderungen nicht abschließend klären.

Die referenzierte Moorkarte für Brandenburg wurde im Hinblick auf eine fortlaufende Weiterentwicklung und Aktualisierung konzipiert. Dies ist aufgrund der Dynamik der betrachteten Standorte, insbesondere auch der Moorfolgeböden, von besonderer Bedeutung. Eine Erweiterung des Ansatzes um Methoden zur Abschätzung qualitativer Veränderungen in den Humusgehalten wäre vor diesem Hintergrund sinnvoll.

Auch könnten hydrologische Randbedingungen oder Proxys zu diesen in das Modell einbezogen werden. Ein einfaches Beispiel hierfür wäre die Berücksichtigung gering durchlässiger Schichten im Liegenden auf die Verlustraten. Gleiches gilt für den Einfluss anthropogen aufgebrachtener Deckschichten. Erste Ergebnisse hierzu liegen für Brandenburg mit der Arbeit von FELL et al. (2015) bereits vor.

Aufbereitet als webbasiertes Geo-Informationssystem (WebGIS) stehen viele der zusammengeführten Daten dem interessierten Fachanwender zur Verfügung (Abb. 15). Neben dem Zugriff auf die referenzierte Flächenkulisse erlaubt das WebGIS z. B. auch den Zugriff auf Auszüge sämtlicher Profildatensätze in der Erhebungsnomenklatur und nach KA5 (AG BODEN 2005). Ergänzende Geodaten wie z. B. Luftbilder oder Rasterkarten der PGK sind ebenso Teil des WebGIS.

Die Verluste an Moorböden in Brandenburg sind gravierend und zeigen einen dringenden Handlungsbedarf an. Das MIL bereitet in diesem Zusammenhang die Einführung der Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen „Hohe Stauhaltung“ und „Umwandlung von Acker- zu Grünland“ vor. Erste systematische Erhebungen zu bodenphysikalischen und bodenchemischen Parametern für die Moorböden Brandenburgs laufen. Hierzu werden derzeit an 200 repräsentativen Standorten für charakteristische Horizont-Substrat-Kombinationen statistische Kennwerte zum Wasserhaushalt, dem Ertragspotenzial und dem Nährstoffaustragspotenzial ermittelt. Die Ergebnisse sollen in Form von Potenzialkarten wichtiger Bodenfunktionen umgesetzt werden und zukünftig die Auswahl oder Priorisierung von Flächen, z.B. im Rahmen o.g. Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen, ermöglichen.

5. Danksagung

Wir danken dem Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MIL), das dieses Projekt mit Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes initiierte. Dank geht auch an das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV) und den Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFE) für deren konstruktive Mitwirkung.

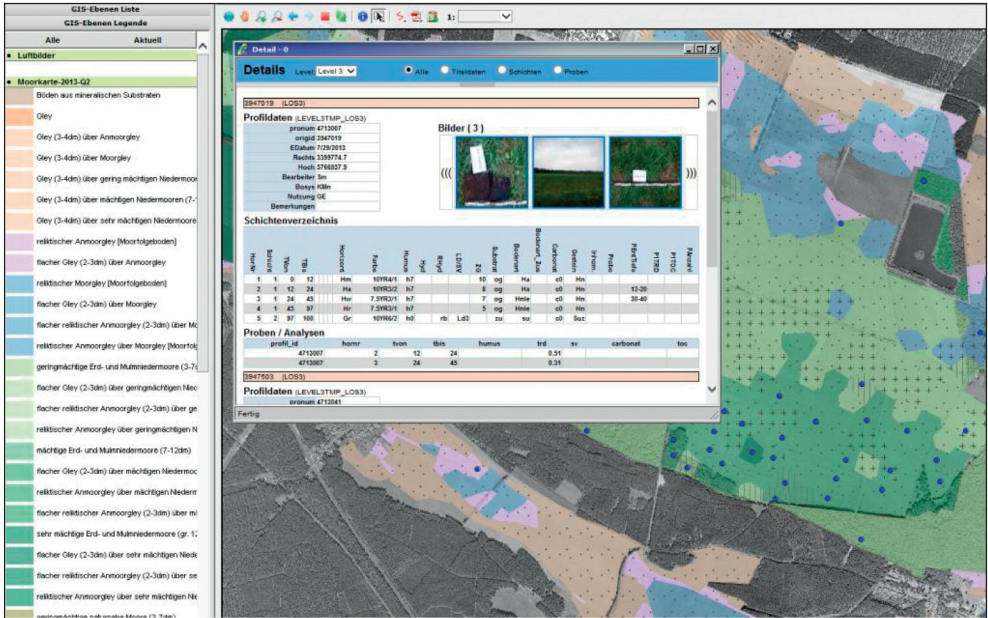


Abb. 15: Das WebGIS (MoorFIS Brandenburg) zum Projekt
Web based information system of the project

6. Literaturverzeichnis

AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage; Hannover.

BAURIEGEL, A. (2014): Verbreitung der Moorböden. – In: LUTHARDT, V. & ZEITZ, J. (Hrsg.): Moore in Brandenburg und Berlin; Rangsdorf.

BTLN (2009): „Flächendeckende Biotop- und Landnutzungskartierung im Land Brandenburg (BTLN) – CIR-Biotoptypen 2009“, Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft; Potsdam.

CZAPLAK, I., & DEMBEK, W. (2000): Torfowiska Polski jako źródło emisji dwutlenku węgla. Zeszyty Edukacyjne. Rolnictwo Polskie i Ochrona Jakości Wody, 6.

EGGELSMANN, R. (1978): Oxidativer Torfverzehr in Niedermoor in Abhängigkeit vom Klima und mögliche Schutzmaßnahmen. – *Telma* 8: 75-81.

EGGELSMANN, R. & BARTELS, R. (1975): Oxidativer Torfverzehr im Niedermoor in Abhängigkeit von Entwässerung, Nutzung und Düngung. – *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 22: 215-221.

FELL, H., ROSSKOPF, N., BAURIEGEL, A. & ZEITZ, J. (2015, in prep.): Estimating vulnerability of agriculturally used peatlands in North-East Germany to carbon loss based on multi-temporal subsidence data analysis. – *Catena*.

- KASIMIR-KLEMEDTSSON, Å., KLEMEDTSSON, L., BERGLUND, K., MARTIKAINEN, P., SILVOLA, J. & OENEMA, O. (1997): Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. – *Soil use and management* **13** (s4): 245-250.
- LEHRKAMP, H. (1987): Auswirkungen der Melioration auf die Bodenentwicklung im Randow-Welse-Bruch. – Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.
- LIPPSTREU, L. (2000): Von den Anfängen der geologischen Kartierung im ehemaligen Preußen – ein Beitrag zum Beginn der geologisch-agronomischen Kartierung im Norddeutschen Flachland vor 125 Jahren. – *Brandenburgische Geowiss. Beitr.* **7**: 5-19.
- LORENZ, W. D., SAUERBREY, R., ESCHNER, D., LEHRKAMP, H., & ZEITZ, J. (1992): Zustand der landwirtschaftlich genutzten Niedermoore in der ehemaligen DDR. – *Wasser und Boden* **44**: 58-61; *Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft*.
- MOORARCHIV (1953-1972): Wissenschaftliche Sammlungen der Humboldt-Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftliche Fakultät, Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaft; Berlin.
- MUNDEL, G. (1976): Untersuchungen zur Torfmineralisation in Niedermooren. – *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **20**: 669-679.
- OKRUSZKO, H. (1989): Wirkung der Bodennutzung auf die Niedermoorbodenentwicklung, Ergebnisse eines langjährigen Feldversuches. – *Zeitschr. f. Kulturtechnik u. Landentwicklung* **30**: 67-176.
- PGK (1894-1939): „Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten“, Reichsamt für Landesaufnahme, Königlich Preußische Geologische Landesanstalt.
- RENGER, M., WESSOLEK, G., SCHWARZEL, K., SAUERBREY, R., & SIEWERT, C. (2002): Aspects of peat conservation and water management. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **165**(4): 487.
- RÖSCH, A. & KURANDT, F. (1950): Bodenschätzung und Liegenschaftskataster. 3. Auflage, 300 S.; Berlin.
- SCHOTHORST, C. J. (1977): Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. – *Geoderma* **17**(4): 265-291.
- SCHUCH, M. (1977): Das Donaumoos und einige seiner gegenwärtigen Hauptprobleme. – *Telma* **7**: 167-173.
- VON POST, L. (1922): Sveriges Geologiska Undersöknings torvinventering och några av dess hittills vunna resultat. – *Svenska mosskulturföreningens tidskrift* **37**: 1-27.
- WEINZIERL, W., Waldmann, F. (2014): Ermittlung langjähriger CO₂-Emissionen und Beurteilung der Moore Oberschwabens auf Basis historischer und aktueller Höhennivellements. LUBW, Karlsruhe.

Anschriften der Verfasser:

H. Fell
Fell & Kernbach GmbH
Belziger Straße 44
D-14169 Berlin
E-Mail: fell@fell-kernbach.de

N. Roßkopf,
Dr. A. Bauriegel
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)
Inselstraße 26
D-03046 Cottbus
E-Mail: niko.rosskopf@lbgr.brandenburg.de
E-Mail: albrecht.bauriegel@lbgr.brandenburg.de

B. Hasch
p2m berlin GmbH
Cicerostraße 28
D-10709 Berlin

Dr. M. Schimmelmann,
Schimmelmann Consult GmbH, Bergholz-Rehbrücke
Bachstraße 12
D-14558 Nuthetal,
E-Mail: schimmelmann@schimmelmann-consult.de

Prof. Dr. J. Zeitz
Humboldt-Universität zu Berlin
Lebenswissenschaftliche Fakultät
FG Bodenkunde und Standortlehre
Albrecht-Thaer Weg 2
D-14195 Berlin
E-Mail: jutta.zeitz@agrار.hu-berlin.de

Manuskript eingegangen am 2. Juni 2015

