

TELMA	Band 46	Seite 15 - 38	7 Abb., 9 Tab.	Hannover, November 2016
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

Bewertung der Ökosystemleistungen von Moorböden am Beispiel Berlins – Grundlage für den Moor- und Klimaschutz

Assessment of Peatland Ecosystem Services using the example of Berlin - a
basis for peatland and climate protection

CHRISTIAN HELLER, CHRISTIAN KLINGENFUSS, DIANA MÖLLER
und JUTTA ZEITZ

Zusammenfassung

Naturnahe Moorböden mit hohen Wasserständen erfüllen vielfältige und wichtige Ökosystemleistungen (ÖSL) auf engstem Raum und sind daher besonders empfindliche und höchst schutzwürdige Ökosysteme. Im Forschungsprojekt „Berliner Moorböden im Klimawandel“ wurde ein System zur Bewertung wichtiger ÖSL von Moorstandorten (Klimaschutzleistung, Lebensraumleistung, Stofffilterleistung, Wasserretentionsleistung, Kühlungsleistung) auf der Basis von Boden- und Vegetationsmerkmalen entwickelt, mit dem Handlungsschwerpunkte identifiziert werden können. Dazu wurden flächendeckend alle Mooregebiete in Berlin bodenkundlich untersucht und ihre ÖSL bewertet. Derzeit existieren 740 ha Moorbodenflächen, die eine sehr große Standortvielfalt an Bodentypen und Moorbodensubstraten aufweisen und nahezu die gesamte Bandbreite der in Nordostdeutschland zu findenden Moortypen (Ausnahme Regenmoore) abdecken. Damit ist eine relativ gute Übertragbarkeit und Anwendbarkeit des Bewertungssystems gewährleistet. Die ausführliche Darstellung der Methodik und die Ergebnisse für einzelne Mooregebiete sind auf der Projektwebseite (www.berliner-moorboeden.hu-berlin.de) frei verfügbar.

Abstract

Undisturbed peatlands with high water levels provide complex and important ecosystem services (ESS) on a small scale and are vulnerable ecosystems that require special protection. In the project „Berlin's Peatlands and climate Change“, a system was developed with which to assess important ecosystem services (climate protection service, habitat service, filtering function, water retention service, cooling service) on the basis of soil, site and vegetation properties and to identify priorities for action. For this purpose, all peatland soils in Berlin were investigated and their ESS were assessed. Currently, there are 740 ha of peatland soils in different sites. They show a great variety of soil types and soil substrates and represent nearly the whole variety of mire types of Northeastern Germany (except ombrotrophic bogs) which enables a good transferability and applicability of the assessment system. A detailed description of the methodology and the obtained results for every single peatland site is freely accessible on the project website (www.berliner-moorboeden.hu-berlin.de, partly in English).

1. Einleitung

Naturnahe Moorböden mit flurnahen Wasserständen erfüllen unterschiedlichste, äußerst wichtige Ökosystemfunktionen auf relativ kleinem Raum. Neben ihrer effektiven Festlegung von Kohlendioxid in Form von Bodenkohlenstoff im Torf (HOLDEN 2005, MÖLLER et al. 2014), bieten sie speziellen Lebensraum für feuchtgebietstypische Arten und stellen somit ‚hot-spots‘ der Biodiversität dar (SCHOPP-GUTH & GUTH 2003). Zusätzlich beeinflussen und regulieren sie den Landschaftswasser-, Wärme- und Stoffhaushalt (BRIDGHAM et al. 1998, EDOM 2001).

Moorböden nehmen außerdem eine Sonderstellung in der Bodensystematik ein, da mit ihrer Bildung gleichzeitig das geologische Ausgangsmaterial für eine weitere Bodenentwicklung entsteht (AD-HOC-AG BODEN 2005).

Werden Moorböden entwässert, z. B. durch land- und forstwirtschaftliche Nutzung oder durch Torfabbau, kommt es zu einer deutlichen Abnahme der o.g. Ökosystemfunktionen. Teilweise verschwinden diese sogar vollständig oder kehren sich dabei um (JOOSTEN & CLARKE 2002). Günstige bodenphysikalische Eigenschaften, z. B. für die Wasserspeicherung und die Oszillationsfähigkeit des Moorkörpers werden durch Sackung und Gefügeveränderungen deutlich reduziert (HELLER & ZEITZ 2012, ZEITZ 2014). Außerdem kommt es durch verstärkt einsetzende aerobe biochemische Prozesse zum Verlust von Kohlenstoff und Stickstoff und zur Freisetzung klimarelevanter Gase (HÖPER 2007).

Gegenwärtig nehmen Moorböden in Deutschland mit etwa 16.000 km² einen Anteil von rund 4 % an der nationalen Gesamtfläche ein und speichern etwa 1,3 Gt Kohlenstoff (ROSSKOPF et al. 2015). Allerdings sind diese Moorbodenflächen nur noch etwa zu 1% in einem naturnahen, wachsenden Zustand (JOOSTEN & COUWENBERG 2001). Dadurch sind Moore und Moorböden in Deutschland aus naturschutzfachlicher Sicht besonders empfindliche und höchst schutzwürdige Ökosysteme. Um die Schutzwürdigkeit von Ökosystemen anhand ihres Nutzens für den Menschen und das menschliche Wohlbefinden herauszustellen, wurde das Konzept der Ökosystemleistungen (ÖSL) entwickelt, welches zunehmend die Debatte zur Leistungsfähigkeit und Bewertung von Natur- und Kulturlandschaften bestimmt. Wichtige Meilensteine waren u. a. das ‚Millennium Ecosystem Assessment‘ (MA 2005) und die Studie ‚The Economics of Ecosystems and Biodiversity‘ (TEEB 2010). Neben diesem theoretischen Ansatz fehlte es an Indikatoren- und Bewertungssystemen zur Quantifizierung von ÖSL, welche in der praktischen Landschaftsplanung eingesetzt werden können.

Vor allem für besonders schutzwürdige Gebiete wie Moorlandschaften werden Bewertungssysteme benötigt. Insbesondere Bodenmerkmale scheinen als Eingangsdaten für eine Bewertung von ÖSL vielversprechend zu sein, da sie ursächlich und verantwortlich für die Bereitstellung von Ökosystemfunktionen sind und – zusammen mit weiteren Ein-

gangsdaten – einen hohen Informationsgehalt besitzen (KLINGENFUSS et al. 2015a). Bisherige Ansätze zur Bewertung der ÖSL von Moorlandschaften berücksichtigen bodenkundliche Merkmale allerdings kaum (JOOSTEN et al. 2013, TIEMEYER et al. 2015).

Im Forschungsvorhaben „Berliner Moorböden im Klimawandel“ des Fachgebiets Bodenkunde und Standortlehre der Humboldt-Universität zu Berlin wurde ein Verfahren zur Bewertung von Moorökosystemen und zur Ableitung von Umweltentlastungspotenzialen entwickelt. Die Bewertung erfolgte auf der Basis von Boden- und Vegetationsmerkmalen sowie mit Hilfe des Wasserstandes.

Alle Moore im Land Berlin wurden flächendeckend bodenkundlich beschrieben und wichtige ÖSL bewertet. Insgesamt wurden hierfür 974 Bohrungen bzw. Schurfe untersucht und nach bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (AD-HOC-BODEN AG 2005) aufgenommen.

Im Folgenden wird die Bewertungsmethode mit den dazu gehörigen Indikatoren vorgestellt, die den Schritt von den theoretischen Grundlagen bis zur Anwendbarkeit in der Landschaftsplanung ermöglichen. Außerdem sind die Projektergebnisse aus den Gelände- und Laborarbeiten für Berlin zusammengefasst dargestellt. Abschließend wird eine generelle Übertragbarkeit des für den Berliner Raum entwickelten Bewertungssystems auf andere Mooregebiete diskutiert.

Die ausführliche Darstellung der Methodik und die Ergebnisse für einzelne Mooregebiete sind in Form von „Steckbriefen“ im Projektbericht (KLINGENFUSS et al. 2015b) dargestellt und auf der Projektwebseite (www.berliner-moorboeden.hu-berlin.de) frei verfügbar. Hier sind außerdem die Bewertungsergebnisse der einzelnen ÖSL in einer interaktiven Karte in Form eines Webmapping-Projekts dargestellt.

2. Material und Methoden

Das MA (2005) klassifiziert ÖSL allgemein in Versorgungsleistungen, Regulationsleistungen, kulturelle Leistungen und Basisleistungen. PLIENINGER et al. (2010) fassten relevante ÖSL im Kontext der europäischen Kulturlandschaften zusammen (Abb. 1).

Im Hinblick auf die Bewertung der Empfindlichkeit und Schutzwürdigkeit von Mooregebieten sowie der Ableitung von Umweltentlastungspotenzialen fokussierte sich das Forschungsprojekt auf die fünf wichtigsten Basis- und Regulationsleistungen, da diese besonders bedeutend und grundlegend sind. Folgende Leistungen wurden bewertet:

- Klimaschutzleistung,
- Lebensraumleistung,
- Stofffilterleistung,

- Wasserretentionsleistung und
- Kühlungsleistung.

Die Produktionsfunktion von Moorökosystemen, etwa durch landwirtschaftliche Nutzung, spielt in Berlin eine nur untergeordnete Rolle und wurde deshalb auch nicht betrachtet. Die Besonderheit der entwickelten Methodik innerhalb des Projekts „Berliner Moorböden im Klimawandel“ ist die Auswertung moorbodenkundlicher Daten, die wie bei keinem anderen Ökosystem Informationsquelle für Zustand, Funktionsfähigkeit sowie Biotopqualität sind und somit einen hohen und verlässlichen Indikatorwert besitzen. Daneben werden Vegetations- und Grundwasserdaten als Eingangsparameter genutzt (Abb. 2).

Weitere Parameter sind die Lage in der Landschaft, die Landschaftseinbindung, ein Gewässeranschluss oder der Grad des anthropogenen Einflusses. Die Bewertung der Leistungen erfolgt in einem dreistufigen System (z. B. hoch, mittel, gering). Die kartographische Darstellung der Bewertung erfolgt meist in Ampelfarben (rot, gelb oder grün).

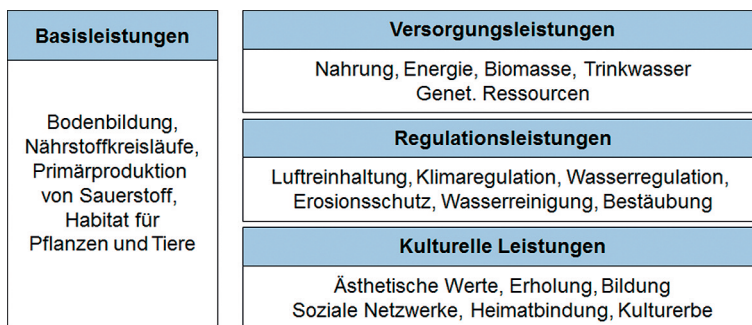


Abb. 1: Klassifizierung der im Kontext von europäischen Kulturlandschaften relevanten Ökosystemleistungen
Classification of Ecosystem Services which are relevant for cultural landscapes in Europe



Abb. 2: Die wesentlichen Eingangsparameter zur Bewertung der Ökosystemleistungen von Moorböden
Significant input parameters for the assessment of ecosystems of peatland soils

3. Ergebnisse

3.1 Kartierung der Moorbodenfläche Berlins

Zur Bewertung der ÖSL der Berliner Moorböden war es zunächst entscheidend, bodenkundliche Informationen zur aktuellen Verbreitung und zum Zustand der Berliner Moorböden zu erhalten. Die historische geologische Karte (GEOLOGISCHE KARTE VON PREUSSEN 1874-1937) weist für Berlin insgesamt ca. 2.900 ha Fläche aus, in denen Torfsubstrate anstehen. Zieht man davon die versiegelte Fläche ab und berücksichtigt andererseits Gebiete mit feuchtgebietstypischer Vegetation als mögliche Moorstandorte, so beträgt die potenzielle Moorbodenfläche in Berlin etwa 1.400 ha. Diese Fläche wurde innerhalb des Projektes durch Bohrungen und Schurfe überprüft. Als Moorböden im eigentlichen Sinne wurden dabei Böden angesprochen, die aus mindestens 30 % organischer Substanz bestehen und eine Mindestmächtigkeit von 30 cm aufweisen (AD-HOC-AG BODEN 2005). Durch die Kartierungen reduzierte sich die aktuelle Moorbodenfläche etwa um die Hälfte (Tab.1).

Tab. 1: Übersicht über die kartierten Moorflächen in Berlin
Overview of the mapped peatland areas in Berlin

Bodenabteilung	Beispiele	Fläche / ha	Anteil / %
Moore	Normniedermoor	608	82
Böden begrabener Moore	Gley über Niedermoor	109	15
subhydrische Böden	Sapropel (Muddeboden) über Erdniedermoor	24	3

Aktuell existieren somit etwa 740 ha Moorböden in Berlin, was knapp 1 % der gesamten Landesfläche entspricht. Diese Böden befinden sich meist in den weniger dicht besiedelten und bebauten Randbezirken (Abb. 3).

Im Gegensatz zu moorreichen Bundesländern wie etwa Niedersachsen, Brandenburg oder Mecklenburg-Vorpommern ist der Moorbodenanteil an der gesamten Landesfläche in Berlin vergleichsweise gering (COUWENBERG & JOOSTEN 2001). Gerade im städtischen und dicht bebauten Umfeld stellen die Berliner Moore somit besondere Kontrasträume von höchster Bedeutung dar. Eine Besonderheit der Berliner Moore ist, dass einige Flächen innerhalb der Absenktrichter der Trinkwasserförderung liegen und ihr Wasserhaushalt dadurch beeinflusst wird (KLINGENFUSS 2014, Abb. 3). Ein Großteil der 76 Berliner Moorstandorte liegt in den Niederungsbereichen eines Urstromtals. Außerdem befinden sich weitere bedeutende Moorflächen im Tegeler Fließtal sowie in der Lietzengrabenniederung/ Bogenseekette, im Grunewald (z. B. Teufelsfenn) und in Teilen Spandaus (z. B. Großer und Kleiner Rohrpfuhl).

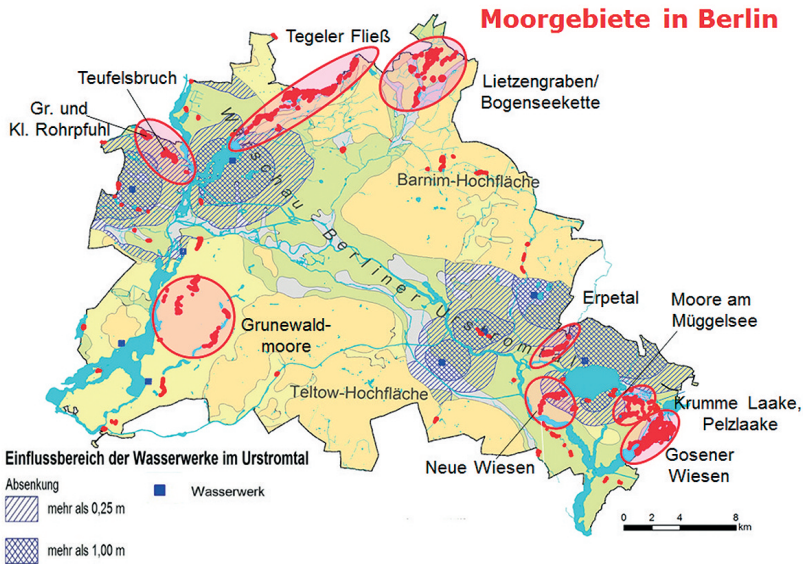


Abb. 3: Übersichtskarte der Berliner Moore (Eigene Darstellung, Kartengrundlage: SENSTADTUM 2014)
Overview Map of the patlands of Berlin (Adapted from: SENSTADTUM 2014)

Die Flächengrößen der einzelnen Standorte unterscheiden sich deutlich. Die größte zusammenhängende Moorbodenfläche in Berlin wird mit über 200 ha von den Gosener Wiesen eingenommen. Im Gegensatz dazu nehmen die Moorflächen im Gebiet „Kleines Fenn“ und „Kleines Luch“ in Schmöckwitz zusammen nur etwa 0,3 ha Fläche ein.

Auch bei den Moormächtigkeiten existieren große Unterschiede. Die geringste maximale Mächtigkeit wurde mit 0,7 m kartiert („Moor am Plumpengraben“). Die größte maximale Moormächtigkeit mit über 12 m lag im Zentrum der Kleinen Pelzlaake (Köpenick).

Moorbodenzustand

Etwa 600 ha der kartierten Moorbodenflächen gehört zur Bodenabteilung „echte Moore“ nach bodenkundlicher Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005). Der Rest wird hauptsächlich von begrabenen Moorböden eingenommen, die durch anthropogene Aufträge überdeckt werden. Dies ging häufig einher mit einsetzender Mineralbodenbildung (z. B. Gley über Niedermoor), wie beispielsweise im randlichen Erpetal. Aufgrund gestiegener Wasserstände (teilweise auch durch Moorsackung verursacht) kam es vielfach zu erneut einsetzender Torfbildung, wie z. B. auf der Meiereiwiese/Pfaueninsel. Ein kleiner Teil der kartierten Moorflächen gehört zur Klasse der überstauten, subhydrischen Böden mit aktueller organischer Muddebildung über Torf (Tab. 1).

Die Hälfte der kartierten echten Moorböden bestand bodenkundlich aus sog. „Normtypen“, die flurnahe Wasserstände besitzen und aktuell keiner dauerhaften Entwässerung ausgesetzt sind (Tab. 2).

Tab. 2: Übersicht über die kartierten Moorbodentypen in Berlin nach AD-HOC-AG Boden (2005)
Overview of the mapped peatland soil types in Berlin after Ad-Hoc-AG Boden (2005)

Boden(-sub)-typen	Fläche / ha	Anteil / %
Niedermoor (Normtypen)	270*	44,5
Erd- und Mulmniedermoor	281	46
Übergangsmoor (Normtypen)	30	5
Übergangserdmoor	27	4,5

* davon 38 ha ohne reliktsche Degradierung

Beispiele für derzeit flurnahe Wasserstände findet man z. B. im Tegeler Fließ oder auf dem Schmöckwitzer Werder. Viele dieser Moorflächen enthalten reliktsche Vererdungsercheinungen in ihren Oberbodenhorizonten. Dies deutet auf deutlich niedrigere frühere Moorwasserstände, z. B. infolge stärkerer Entwässerung hin. Demgegenüber besteht die andere Hälfte der Berliner Moorbodenflächen aus aktuell entwässerten und degradierten Mooren, die einen Vererdungshorizont an der Oberfläche von 1 dm und mehr aufweisen. Die Moore, die am stärksten degradiert und entwässert sind, liegen vor allem im Grunewald. Aufgrund Ihrer Lage im Absenktrichter der Trinkwasserförderung befinden sich die lokalen Moorwasserspiegel hier in den Randbereichen oft deutlich mehr als 1 m unter der heutigen Mooroberfläche.

Moortypen

Moore lassen sich aufgrund Ihrer Lage in der Landschaft und ihrer Wasserspeisung in hydrogenetische Moortypen einteilen (SUCCOW & JESCHKE 1990, SUCCOW & JOOSTEN 2001). Die Moore in Berlin weisen eine große Standortvielfalt auf kleinstem Raum auf (Tab.3).

Tab. 3: Flächenanteile hydrogenetischer Moortypen in Berlin nach JOOSTEN & SUCCOW (2001) mit Standortbeispielen
Surface ratio of different hydrogenetic mire types in Berlin after JOOSTEN & SUCCOW (2001) and some site examples

Hydrogenetischer Moortyp	Fläche / ha	Anteil / %	Beispiele
Kesselmoor	29	4	Teufelsseemoor, Postfenn
Quellmoor	15	2	Tegeler Fließ (Kalktuffgelände)
Überflutungsmoor	212	29	Gosener Wiesen, Bäkewiese
Verlandungsmoor	395	53	Krumme Laake, Moorlinse Buch
Versumpfungsmoor	86	12	Lietzengraben, Pelzlaake

Nahezu alle hydrogenetischen Moortypen, die in Brandenburg vorkommen, waren auch in Berlin zu finden (außer große Durchströmungsmoorkomplexe in Flussniederungen). Neben der großen Vielfalt an hydrogenetischen Moortypen wurden in Berlin auch fast alle Trophiestufen (außer natürliche Basen-/Kalkzwischenmoore) der in Brandenburg vorkommenden ökologischen Moortypen gefunden (Tab. 4).

Tab. 4: Trophiestufen verschiedener ökologischer Moortypen in Berlin nach SUCCOW (2001) mit Standortbeispielen
Trophic levels of ecological mire types in Berlin after SUCCOW (2001) and some site examples

Trophiestufen verschiedener ökologischer Moortypen	Beispiele
eutroph-subneutral	Krumme Laake Grünau
eutroph-kalkreich	Tegeler Fließ (Kalktuffgelände)
eutroph-sauer	Kleines Fenn (Schmöckwitz)
mesotroph-sauer	Kleiner Rohrpfuhl
oligotroph-sauer	Teufelsseemoor

Die Vielfalt der Moorbildungen wirkte sich auch auf die Moorbodensubstrate in Berlin aus, die aus zahlreichen Torfen und Mudden bestehen und durch unterschiedlichste Bodenbildungen gekennzeichnet sind (vgl. KLINGENFUSS et al. 2015b).

3.2 Indikatoren- und Bewertungssystem

Als Grundlage für das dreistufige System zur Bewertung der ÖSL wurden zunächst aussagefähige Indikatoren entwickelt. Das Leitbild der Bewertungsgrundlage ist ein naturnahes Moorökosystem mit Torfbildung oder mindestens Torferhaltung und flurnahen mittleren Wasserständen. Dieser Zustand bietet eine große Bandbreite an hohen ÖSL, während das entwässerte und/oder anthropogen deutlich beeinflusste Moor diese nicht oder nur begrenzt zur Verfügung stellen kann (Abb. 4).

3.2.1 Ermittlung des mittleren Wasserstandes

Der mittlere Wasserstand stellt einen Kernparameter bei der ÖSL-Bewertung dar und kann am besten durch langjährige Messungen der Grundwasserflurabstände belegt werden. Allerdings lagen diese Daten nur punktuell vor.

Da aber zum einen die Vegetation (PETERSEN 1952, ELLENBERG et al. 1992, KOSKA 2001) als auch diagnostische Moorbodenmerkmale (ZEITZ & VELTY 2002, ZEITZ 2014) ebenfalls zur Charakterisierung der langjährigen mittleren Wasserstände geeignet sind, wurden diese beiden Zeigerfunktionen von Boden und Vegetation kombiniert. Die mittleren

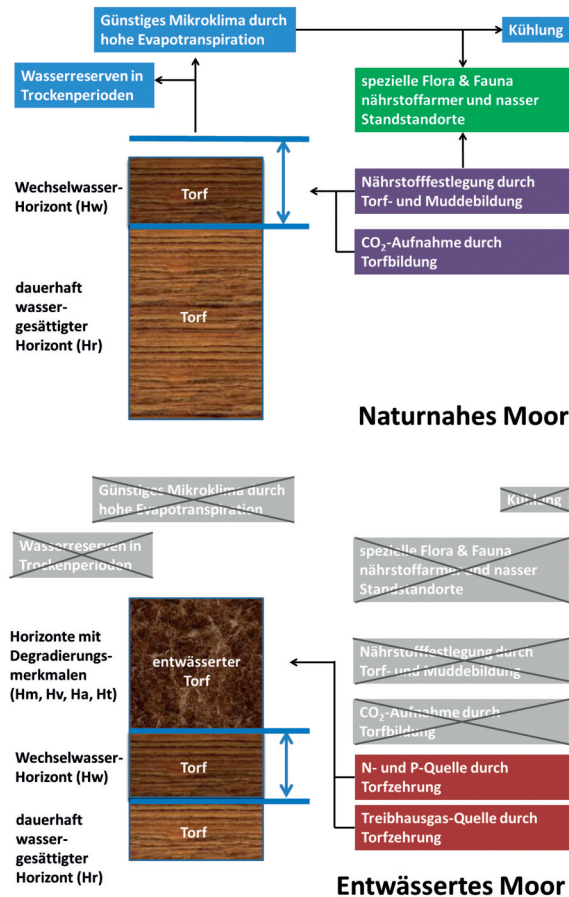


Abb. 4: Gegenüberstellung von Ökosystemleistungen naturnaher (links) und entwässerter Moore (rechts)
Comparison of Ecosystem Services of relatively undisturbed (left) and drained peatlands (right)

Wasserstände wurden dabei in einem Entscheidungssystem ermittelt und in Form von Wasserstufen in Anlehnung an PETERSEN (1952), KOSKA (2001) und JOOSTEN et al. (2013) angegeben. Die Ableitung des Wasserstands aus der Vegetation wurde aus der Biotop-typenliste von Berlin übernommen, indem einzelnen Biotoptypen oder Biotoptypen-Gruppen den Wasserstufen zugeordnet wurden. Diagnostische Bodenmerkmale wurden weitgehend durch eigene Sondierungen und Geländeansprachen erhoben. Diese Vorgehensweise lieferte für die Berliner Moore zuverlässige Informationen über den langjährigen mittleren Wasserstand. Die Gefahr von Fehlinterpretationen von Sukzessionsstadien der Vegetation oder reliktschen Degradierungsmerkmalen im Boden, konnte auf diese Weise minimiert werden (detaillierte Informationen, s. KLINGENFUSS et al. 2015a und b).

3.2.2 Bewertung der Klimaschutzleistung

Durch die gespeicherten und fixierten Mengen an organischem Kohlenstoff (C) leisten Moorböden einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz. Diese ‚historische Klimaschutzleistung‘ hat wesentlich zur Kühlung des globalen Klimas beigetragen (FROLKING et al. 2001, AKUMU & McLAUGHLIN 2013). Um die Umweltentlastungspotentiale im Hinblick auf die Klimaschutzleistung der Berliner Moorböden zu identifizieren, war es wichtig, neben der gesamten gespeicherten C-Menge (‚historische Klimaschutzleistung‘) auch die jeweilige aktuelle Gefährdungssituation abbilden zu können. Dazu wurde der gefährdete Anteil am gesamten C-Speicher betrachtet. Dieser entwässerte und belüftete Bereich oberhalb des mittleren Grundwasserspiegels ist durch aerobe Prozesse der Torfzehrung und C-Freisetzung bedroht (KLINGENFUSS et al. 2015a).

Innerhalb des gefährdeten C-Speichers sollte außerdem der labile Anteil bestimmt werden, da dieser potenziell, z. B. in Form von CO₂, in die Atmosphäre entweichen kann (KHANNA et al. 2001, KALISZ et al. 2010). Dieser labile Anteil wurde durch die heißwasserextrahierbare Fraktion nach der Methode von HELLER & WEISS (2015) ermittelt.

Um die gespeicherten C-Vorräte und ihre darin enthaltenen gefährdeten Anteile zu quantifizieren, wurden die in den Moorböden enthaltenen C-Konzentrationen mit den jeweiligen Trockenrohdichten verrechnet (MÖLLER et al. 2014). Insgesamt wurden hierfür 500 Torf- und Muddehorizonte beprobt und analysiert und mit Altdaten ergänzt. Daraus entstand ein ‚Baukastensystem‘, das die gemessenen C-Speicher (Angaben je dm Horizontmächtigkeit) der 33 am häufigsten vorkommenden Bodenhorizonte enthält. Diese Werte sind auf Moorflächen mit gleichen bodenkundlichen Eigenschaften (Substrate, Bodenbildung) übertragbar und ermöglichen eine Vorratsberechnung für alle Moorböden (vgl. KLINGENFUSS et al. 2015b). Die Bewertung der Klimaschutzleistung und ihrer Gefährdung erfolgte durch nachfolgende Klassengrenzen, welche durch Häufigkeitsanalysen ermittelt wurden (Tab. 5).

Tab. 5: Klassengrenzen zur Bewertung der Klimaschutzleistung und ihrer Gefährdung
Boundaries between grades to assess the climate protection service and its vulnerability

ÖSL	Indikator	Klassengrenzen	Bewertung
Klimaschutzleistung	C-Speicher gesamt	< 500 t/ha	hohe Speicherleistung
		≥ 500 t/ha < 1.000 t/ha	sehr hohe Speicherleistung
		> 1.000 t/ha	extrem hohe Speicherleistung
Gefährdung der Klimaschutzleistung	gefährdeter C-Speicher	< 50 t/ha	geringe Gefährdung
		≥ 50 t/ha < 100 t/ha	mittlere Gefährdung
		> 100 t/ha	hohe Gefährdung
	labiler gefährdeter C-Speicher	< 5 t/ha	geringe Gefährdung
		≥ 5 t/ha < 10 t/ha	mittlere Gefährdung
		> 10 t/ha	hohe Gefährdung

Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die gesamte gespeicherte C-Menge der Berliner Moorböden über 1 Mio. Tonnen beträgt (Tab. 6).

Tab. 6: Die Klimaschutzleistung und ihre aktuelle Gefährdung (gesamter C-Speicher, gefährdeter C-Speicher und labiler gefährdeter C-Speicher) berechnet für alle Berliner Moorböden (in t C und CO₂, absolut und je ha).

Climate protection service and its actual vulnerability (total C storage, vulnerable C storage as well as labile and vulnerable C storage), calculated for all peatland soils of Berlin (in t C and CO₂ in total and per hectare)

C-Speicher	• gesamt	> 1.092.656 t	△	> 1.475 t ha⁻¹
	• gefährdet	97.872 t	△	158 t ha ⁻¹
	• labil u. gefährdet	10.373 t	△	16 t ha ⁻¹
CO₂- Speicher [CO₂-Äquivalente]	• gesamt	> 4.010.046 t	△	> 5.840 t ha ⁻¹
	• gefährdet	359.189 t	△	581 t ha ⁻¹
	• labil u. gefährdet	38.071 t	△	58 t ha ⁻¹

Damit haben die Berliner Moorböden der Atmosphäre rechnerisch mehr als 4 Mio. Tonnen CO₂ entzogen. Die höchste absolute C-Menge von über 150.000 t (△559.000 t CO₂) ist in den Böden der größten Moorfläche Berlins, den Gosener Wiesen, gespeichert. Durch vergleichsweise geringe Moormächtigkeiten in diesem Auenüberflutungs- und Versumpfungsmoorkomplex lagen die bewerteten C-Speicherleistungen mit etwa 800 t/ha jedoch im unteren Bereich. Die flächeneffektivste C-Speicherung fand sich in den Moorböden der Kleinen Pelzlaake, die eine maximale C-Speicherleistung von mehr als 6.000 t/ha im mächtigen Moorzentrum aufwiesen.

Der gefährdete Anteil am gesamten C-Speicher beträgt für alle Berliner Moore etwa 97.000 t, was einer rechnerisch freisetzbaren CO₂-Menge von etwa 360.000 t entspricht. Innerhalb des gefährdeten C-Speichers nimmt der labile und damit potenziell leicht freisetzbare, besonders gefährdete Anteil etwa 10 % ein und wurde für alle Berliner Moore mit über 10.000 t berechnet. Detailinformationen zur Klimaschutzleistung einzelner Moorgebiete sind unter KLINGENFUSS et al. (2015b) zu finden.

3.2.3 Bewertung der Lebensraumleistung

Naturnahe Moore bieten Lebensraum für eine typische und standortangepasste Flora und Fauna. Durch diese biologische Vielfalt leisten sie letztendlich auch einen wichtigen Beitrag zum menschlichen Wohlbefinden. Um den ökologischen Ist-Zustand eines Moores als typischen Lebensraum sicher zu beurteilen, werden drei wesentliche Parameter (ELLENBERG 1996, SUCCOW & JOOSTEN 2001) abgefragt und mit einem definierten Ziel- oder Referenzzustand verglichen:

- Naturnähe des Wasserstandes (Wasserstufe),
- Naturnähe der Standorttrophie und
- Naturnähe der Biotopstruktur.

Da die natürliche Ausprägung von Mooren bezüglich der genannten Parameter stark unterschiedlich ist, muss ein Entwicklungszieltyp definiert werden, der den Ziel- oder Referenzzustand des jeweiligen Moores darstellt (Tab. 7).

Tab. 7: Entwicklungszieltypen der Moore und ihre Standorteigenschaften als Referenz für die Beurteilung der Lebensraumleistung. Die Einteilung ist angelehnt an die ökologischen Moortypen nach SUCCOW (1988)
Nature target types of Peatlands and their Site Characteristics as Reference for the Assessment of their Habitat Services. The categorization is based on ecological peatland types according to SUCCOW (1988)

Kriterium	Naturnähe des Wasserstandes	Naturnähe der Standorttrophie	Naturnähe der Biotopstruktur
Parameter	Wasserstufen (mittlerer jährlicher Wasserstand)	Trophiestufen	Merkmale der Biotopstruktur
Torfmoosmoor (Sauer-Armmoor)	5+ und 4+ (10 cm über Flur bis 20 cm unter Flur)	oligotroph oder mesotroph	unbewaldet bzw. gehölzarm bis 30 % Deckung; nach Biototypkartierung kein „Degenerationsstadium“
Torfmoosmoor, bewaldet (Moorwald)		oligotroph oder mesotroph	bewaldet bzw. Gehölzdeckung > 30 %
Braunmoosmoor (basenreiche Kalk- Zwischenmoore)		mesotroph	unbewaldet bzw. gehölzarm bis 30 % Deckung; nach Biototypenkartierung kein „Degenerationsstadium“
Reichmoor		eutroph	unbewaldet bzw. gehölzarm bis 30 % Deckung
Reichmoor, bewaldet			bewaldet bzw. Gehölzdeckung > 30 %

Weicht der Ist-Zustand vom naturnahen Ziel-Zustand des Entwicklungszieltyps ab, wird eine Teilabwertung in die mittlere Bewertungsklasse vorgenommen („bedingt naturnah“). Zwei negative Teilbewertungen führen in die unterste Klasse der Lebensraumleistung („mäßig naturnah“, hohes Umweltentlastungspotenzial, s. auch KLINGENFUSS 2015a und b). Aufgrund ihrer günstigen hydrologischen Verhältnisse (Wasserstufe $\geq 4+$) und keiner weiteren Abwertungen fallen 60 % der Berliner Moorfläche (etwa 450 ha) in die Klasse „naturnah“. Eine mittlere Lebensraumleistung (Wasserstufe 3+) stellen etwa 19 % der Berli-

ner Moorflächen zur Verfügung (3 % mit Abwertungen). Die Moorböden mit einer schlechten Lebensraumleistung aufgrund zu trockener Verhältnisse (Wasserstufe $\leq 2+$) nehmen mit nur 5 % an der gesamten Moorbodenfläche einen relativ geringen Anteil ein.

3.2.4 Bewertung der Stofffilterleistung

Im naturnahen Zustand sind Moorböden wirksame Stoffsenken. Durch Torfwachstum werden gelöste Stoffe, im wesentlichen Stickstoff- und Phosphorverbindungen, aufgenommen und im Torf festgelegt. Die Fähigkeit zur „Autoligotrophierung“ (SUCCOW 2001) durch die Aufnahme und Rezyklierung dieser Verbindungen beim Torfwachstum ist bedeutend für die Filterwirkung (DIERSSEN & DIERSSEN 2001). Die Berliner Moorböden enthalten je nach Mächtigkeit durchschnittlich etwa 100 - 300 kg Gesamt-Stickstoff (N_t) pro Hektar. Gering zersetzte Niedermoor torfe enthalten i. d. R. 2 bis 3 % N_t , während gering zersetzte Übergangsmoor torfe immer deutlich unter 2 % N_t liegen (KLINGENFUSS et al. 2015b). Partikuläre Einträge werden in Poren fixiert, im Torfkörper festgehalten oder abgebaut. So weisen z. B. die Böden im Langen Luch (Grunewald) aufgrund der ehemaligen Wasserspeisung durch belastetes Havelwasser unter dem aktuellen Torfbildungshorizont ein Mischsubstrat aus Torf und Mudde auf, das gegenüber den anderen Horizonten je nach Element fünf- bis zehnmals höhere Schwermetallgehalte aufweist (KLINGENFUSS et al. 2015b). Analog sind entwässerte Moore durch Stofffreisetzung gekennzeichnet. Bei der Mineralisierung von belüfteten Torfen kommt es zur dauerhaften Stofffreisetzung (BALLA & QUAST 2001) und zum Austrag gasförmiger, gelöster und/oder partikulär gebundener Stoffe.

Bei der Entwicklung des Indikators zur Bewertung der Stofffilterleistung wurde bewusst auf Zahlenwerte für Stoffausträge verzichtet, da diese für alle Berliner Moore eine genaue Kenntnis von Ein- und Austragspfaden und Stoffgehalten der Substrate sowie eine genaue Prozesskenntnis voraussetzen würden. Die dreistufige Bewertung basiert auf den moortypischen Eigenschaften, Stoffe durch Torfwachstum aufzunehmen bzw. bei Torfzehrung abzugeben und bietet sich somit zur Anwendung in der praktischen Landschaftsplanung an (s. KLINGENFUSS et al. 2015b).

Eine gute Stofffilterleistung ist bei Mooren zunächst einmal an hohe Wasserstände gebunden. Daher sind die mittleren jährlichen Wasserstände (Wasserstufen) die Grundlage für die Bewertung des Stofffilterstatus. Anschließend werden Stoffaustragspotenziale in Grund- und Oberflächenwasser geprüft, wobei mögliche Austragspfade abgefragt und bewertet werden (Tab. 8).

Moorböden, die Torfbildung aufweisen, sind Stoffsenken und werden als „gut“ bewertet. Die Bewertungsstufe „mittel“ betrifft Standorte, deren Status nicht eindeutig als Stoffsenke oder -quelle identifiziert werden kann. Hier werden wie bei den tiefer entwässerten Moorböden (Bewertungsstufe „schlecht“) mögliche Austragspfade geprüft und differenziert nach Grundwasser und Oberflächengewässer kartographisch dargestellt (s. KLINGENFUSS et al. 2015b).

Tab. 8: Bewertung der Stofffilterleistung unter Beachtung von Stoffaustragspfaden
 Assessment of the filtering function with regard to discharge paths

mittlerer jährlicher Wasserstand als Indikator für den Stofffilterstatus			Stoffaustragspfade	
Wasserstufe	In-situ-Status	Bewertung	Stoffausträge ins Grundwasser	Stoffausträge in Oberflächengewässer
5+	Stoffsenke durch Torfbildung	gut	keine	keine
4+ und 5+/4+	Stoffhaushalt im Gleichgewicht oder leichte Stoffquelle	mittel	Stoffaustragspfad vorhanden, wenn Moor im Absenktrichter einer Brunnengalerie der Trinkwasserförderung	Stoffaustragspfad vorhanden, wenn intakte Gräben oder Rohrleitungen mit Gewässer verbunden und dorthin entwässern oder das Moor in direkter Verbindung zu einem See, Teich, Fließ oder Fluss steht
≤ 3+	mäßige bis starke Stoffquelle	schlecht		

Die Stofffilterleistung der Berliner Moorböden stellt sich derzeit allgemein positiv dar. Etwa 11% aller Berliner Moorböden weisen aktuelle Torfbildungserscheinungen auf (Wasserstufe 5+ mit frisch gebildetem Torf oder Wurzelfilz > 5 cm Mächtigkeit sowie torfbildender Vegetation) und stellen damit Netto-Stoffsenken dar (z. B. Teile des Tegeler Fließ). Der größte Teil, etwa 65 % der Moorbodenflächen, weist derzeit torferhaltende Bedingungen auf (Wasserstufen 4+, 4+/5+). Allerdings liegen diese Flächen fast alle im Bereich von Absenktrichtern der Trinkwasserförderung (z. B. Teile des Teufelsfenn) und/oder sind hydraulisch mit Oberflächengewässern verbunden (z. B. Meiereiwiese auf der Pfaueninsel). Bei einer Absenkung der Wasserstufen könnten sich diese Moorböden in Stoffquellen umwandeln. Der Rest der Berliner Moorböden (24 %) weist bereits torfzehrende Bedingungen auf (Wasserstufe ≤ 3+). Diese Flächen liegen ebenfalls fast ausschließlich im Bereich von Absenktrichtern und/oder es liegt eine Verbindung zu Oberflächengewässern (Vorflut) vor, so dass hier möglicherweise die Gefahr einer Gewässer-eutrophierung bzw. eine negative Wirkung auf die Trinkwasserqualität gegeben ist.

3.2.5 Bewertung der Wasserretentionsleistung

Die Wasserretentionsleistung wird in zwei Teilleistungen untergliedert.

Retentionsraum für Hochwasser

Eine wichtige Ökosystemleistung von Moorflächen entlang von Fließgewässern besteht darin, Hochwasserspitzen abzuf puffern. Durch die Wirkung der Flächen als Retentionsräume werden Abflussspitzen gemindert (BULLOCK & ACREMAN 2003). In Berlin spielen Hochwässer eine vergleichsweise geringe Rolle, allerdings existieren einige offiziell aus-

gewiesene Überschwemmungsgebiete (SENSTADTUM 2013). Gerade im stark bebauten Berliner Stadtgebiet sind diese Freiflächen sehr wertvoll, wie das Beispiel des Tegeler Fließ zeigt (Abb. 5).

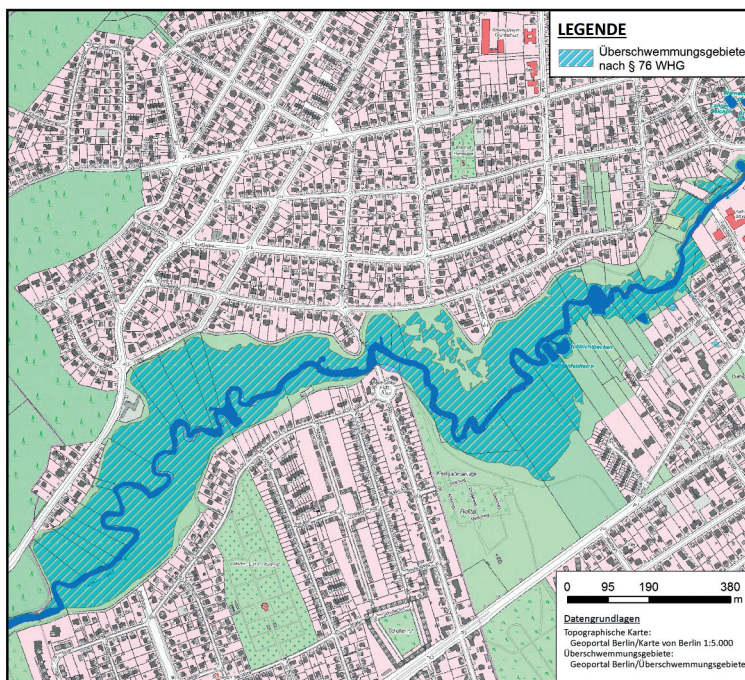


Abb. 5: Das Tegeler Fließtal (Süd) liegt vollständig im ausgewiesenen Überschwemmungsgebiet (HQ 100; Datengrundlage: SenStadtUm 2013)
The Tegeler Fließtal (South) is completely situated in a designated flooding zone (HQ 100; Adapted from SenStadtUm 2013)

Für die Bewertung des Retentionsraumes für Hochwasser einer Moorfläche wurde die jeweilige Lage in einem ausgewiesenen Überschwemmungsgebiet (hundertjähriges Hochwasser, HQ 100) betrachtet. Dazu wurde die – im Projekt entstandene – Moorbodenkarte mit den Karten der Überschwemmungsgebiete überlagert. Mehr als 40 % der Berliner Moorbodenflächen liegen demnach nicht im Überflutungsbereich (HQ 100) und stellen damit auch keinen Retentionsraum für Hochwasser zur Verfügung. Etwa 11 % der gesamten Moorbodenfläche von Berlin liegt teilweise im Überflutungsbereich (mit bis zu 50 % der gesamten Moorgebietsfläche). Fast die Hälfte der Moorbodenflächen in Berlin liegt mit mehr als 50 % ihrer Gesamtfläche im Überflutungsbereich und kann somit einen wirkungsvollen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten.

Retentionspotenzial für den Landschaftswasserhaushalt

Naturnahe Moore leisten einen positiven Beitrag für den Landschaftswasserhaushalt (Abb. 6). Durch ihre Funktion als natürliche Wasserspeicher sichern sie auch in sommerlichen Trockenperioden die Wasserversorgung und wirken sich somit positiv auf die biologische Vielfalt und damit – indirekt – auch auf das Wohlbefinden der Menschen aus, das durch diese ‚Oasen‘ in der Stadt gefördert wird (SENSTADTUM 2012).

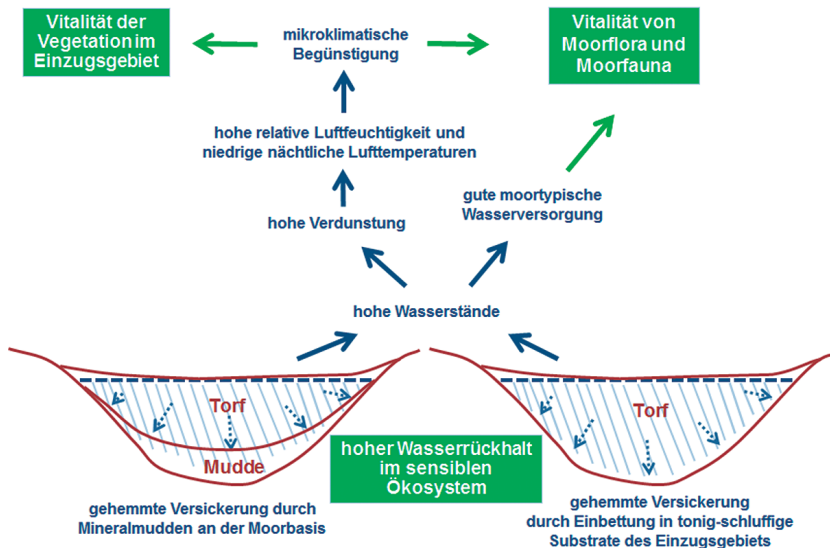


Abb. 6: Eine gehemmte Wasserversickerung leistet einen positiven Beitrag für die biologische Vielfalt in Mooren und ihrer Umgebung
Reduced infiltration of water makes a positive contribution towards biodiversity in peatlands and their surroundings

Gute Bedingungen für eine Wasserretention liegen vor, wenn hohe (flurnahe) mittlere Wasserstände vorherrschen. Je höher der Wasserstand, desto größer ist das wassererfüllte Porenvolumen eines Moores, und desto größer ist das verfügbare Wasservolumen in Trockenperioden. Generell besitzen Moorböden ein im Vergleich zu Mineralböden größeres Porenvolumen (SCHLICHTING et al. 1995) und damit höchste Wasserspeicherungspotenziale. Somit sind die Voraussetzungen für eine höhere Luftfeuchtigkeit durch Verdunstung und Kühlung gegeben. Ist das unterlagernde mineralische Material durch schluffig-tonige Substrate geprägt (Grundmoräne, Beckentone u. a.), sind Sickerungsverluste aus dem Moor vergleichsweise gering. Dagegen fördern sandig-kiesige Substrate Sickerungsverluste aus dem Moor in den mineralischen Untergrund (ROWINSKY 1995), da die Wasserdurchlässigkeit (kf-Werte) von Sand und Kies ($> 100 \text{ cm/d}$) deutlich höher ist

als jene von Schluff und Ton (i.d.R. < 100 m/s). Zusätzlich wird eine schnelle Versickerung durch wasserstauende organo-mineralische Mudden der Moorbasis gehemmt, da diese wesentlich geringere Kf-Werte als Sande und Kiese aufweisen (WANIEK 2014).

Fast zwei Drittel (63 %) der Berliner Moorböden besitzen ein hohes Retentionspotenzial für den Landschaftswasserhaushalt aufgrund flurnaher Wasserstände und ihrer Unterlagerung durch undurchlässige Substrate. Ein kleiner Teil (etwa 3 %) der Berliner Moorböden hat nur ein geringes Retentionspotential aufgrund ungünstiger Wasserstufen und der fehlenden Unterlagerung mit wasserstauenden Schichten (s. KLINGENFUSS et al. 2015b).

3.2.6 Bewertung der Kühlungsleistung

Moorböden weisen im Vergleich zu Mineralböden eine etwa 10 % bis 15 % größere Verdunstungsleistung auf (EGGELSMANN 1990). Bei diesem Prozess wird der Umgebung Wärmeenergie entzogen und die bodennahe Luftschicht kühlt sich ab (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996). Dieser Kühlungseffekt wirkt ausgleichend auf das Lokalklima (LUTHARDT 2014). Die tatsächliche Verdunstungskühlung eines Moorstandortes ist ein komplexer Prozess, der insbesondere von Strahlungsintensität, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, dem Vegetationsbestand, der Vegetationsart und der Höhe des Grundwasserstandes abhängt und nur über aufwendige Berechnungen bzw. Modellierungen quantifizierbar ist (z. B. GLUGLA et al. 1999, MÜNCH 2004). Im Rahmen des Projektes wurde geprüft, ob sich dichter Waldbestand auf die Kühlungsleistung von Moorstandorten auswirkt und diese überprägen kann. Die eigenen Ergebnisse wurden zusammen mit bestehenden Daten aus Verdunstungsmodellierungen (GOEDECKE & GERSTENBERG 2008) analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass die Moore in Berlin durchaus eine höhere Verdunstungsleistung als umgebende Waldbestände aufweisen (Abb. 7).

Vermutlich liegt dies an den vergleichsweise höheren Grundwasserständen der Moorstandorte, die selbst in dichten Waldbeständen die Verdunstungsleistung wesentlich mitbestimmen. Im Sinne eines praxisorientierten Indikatorensystems konnte die Kühlleistung der Berliner Moorböden somit über den Grundwasserflurabstand als Hauptindikator abgebildet werden. Der Eingangsparameter „Grundwasserflurabstand“ wurde aus Boden-, Vegetations- und – falls vorhanden – aus langjährigen Moorpegeldaten (SCHEFFLER et al. 2013) abgeleitet. In Anlehnung an das Wasserstufenkonzept (KOSKA 2001) ergeben sich drei Bewertungsklassen (Tab. 9).

Um eine „spürbare“ Kühlungsleistung zu beurteilen, wurden die Parameter „Lage im Kaltluft-Austauschgebiet“ (SENSTADTUM 2012) und „Siedlungsnähe“ beachtet. Liegen dem entsprechend Siedlungsflächen mit einem Abstand von weniger als 200 m zur Moorfläche, wurde dies als spürbarer Kühlungseffekt bewertet (s. KLINGENFUSS et al. 2015b).

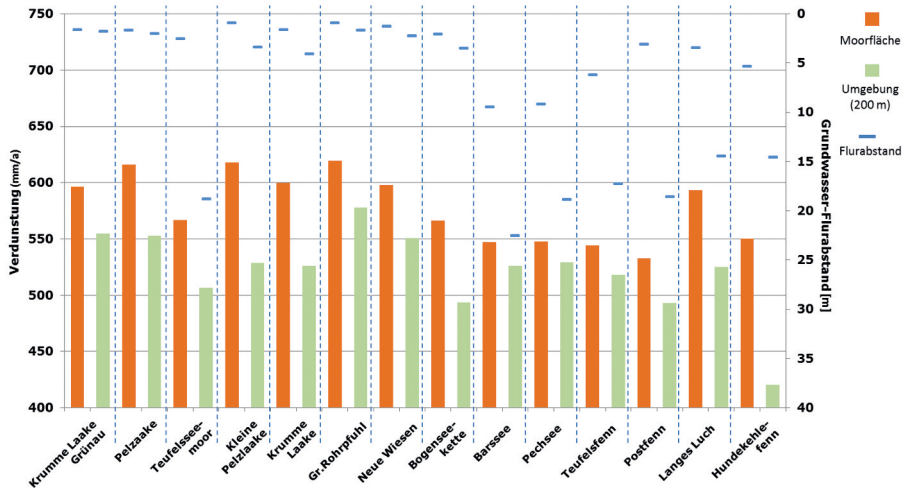


Abb. 7: Konservative Abschätzung zur Verdunstungsleistung von ausgewählten Berliner Waldmooren. Darstellung der Moorfläche im Vergleich zu ihrer Umgebung (200 m). Selektion der Verdunstungswerte aus der ABIMO-Modellierung (GOEDECKE & GERSTENBERG 2008); im Rahmen des hier vorgestellten Projektes erfolgte keine eigene Modellierung mit den Ergebnissen aus den Geländeaufnahmen

Conservative estimates of evaporation by selected forest mires of Berlin. Schematic of the peatland area in comparison to its neighbouring environment (200 m). Selection of evaporation values from ABIMO modelling (GOEDECKE & GERSTENBERG 2008); Modelling with own field-data was not part of the project

Tab. 9: Jahresmediane der Wasserstände mit Zuordnung zu den Wasserstufen (nach KOSKA 2001) und der daraus resultierenden 3-stufigen Bewertung für die potenzielle Kühlleistung
Median annual water tables with their assignment to water levels after (KOSKA 2001), resulting in a three-grade assessment of the potential cooling service

Jahresmediane der Wasserstände / cm u. Fl.	Wasserstufe nach Boden, Vegetation, Moorpegeldaten (selten vorhanden)	potenzielle Kühlleistung	Bewertung
≤ 45 (inkl. Überstau)	5+, 4+, 3+	hoch; moortypisch	gut
> 45 bis ≤ 80	2+, 1	mäßig; eingeschränkt moortypisch	mittel
≥ 80	2-	gering; nicht moortypisch	schlecht

Der überwiegende Teil der Berliner Moorböden (etwa 95 %) besitzt eine potenziell hohe Kühlungsleistung aufgrund der günstigen Wasserstände (Wasserstufen 5+ bis 3+). Allerdings haben davon nur etwa 330 ha stadtklimatische Relevanz (Lage im Kaltluft-Austauschgebiet oder umgebende Siedlungsfläche innerhalb von 200 Metern). Der Rest der Berliner Moorflächen ist mit einer mittleren (4 %) bzw. schlechten (1 %) potenziellen Kühlungsleistung ausgestattet. Das sind vor allem Moorstandorte im Grunewald mit intensiver Entwässerung.

4. Übertragbarkeit des Bewertungssystems

Das dargestellte System wurde innerhalb des Forschungsprojektes „Berliner Moorböden im Klimawandel“ entwickelt und getestet. Dafür wurden alle Berliner Moorflächen bodenkundlich untersucht, die auf einer Gesamtfläche von 740 ha eine sehr große Standortvielfalt an Bodentypen und Moorbodensubstraten auf kleinstem Raum aufweisen und nahezu die gesamte Bandbreite der in Nordostdeutschland zu findenden ökologischen und hydrogenetischen Moortypen abdecken. Damit ist eine gute Übertragbarkeit und Anwendbarkeit auf andere Moorlandschaften (Ausnahme Regenmoore) gewährleistet. Zur Bewertung weiterer Moorflächen mit vergleichbarer standortökologischer Ausprägung sind eine Biotoptypenkartierung und aktuelle Bodenaufnahmen notwendig. Falls diese Daten nicht vorliegen, können eigene Kartierungen auch ohne moorspezifische Detailkenntnisse geleistet werden. Der erforderliche Aufwand ist von der Heterogenität der Moorfläche und den jeweiligen fachlichen Zielen abhängig. Die Bestimmung der verschiedenen C-Pools kann über eine Kombination der eigenen Bodenaufnahmen mit den Tabellenwerten aus dem Baukastensystem gewonnen werden.

Für die Anwendung der Methodik im ländlichen Raum sollten die Eingangsparameter überprüft und eventuell ergänzt oder ersetzt werden. So spielt beispielsweise bei der Bewertung der Stofffilterleistung im ländlichen Raum der Parameter Landnutzung/Düngung eine große Rolle, während die Lage im Trinkwasserfördergebiet nur im Ausnahmefall relevant sein dürfte.

Außerdem dürften die in den Oberböden der Berliner Moore ermittelten Trockenrohdichten allgemein niedriger als die Trockenrohdichten der Oberböden agrarisch genutzter Moorstandorte sein, welche einer größeren mechanischen Auflast ausgesetzt sind. Dies ist bei der Bewertung der Klimaschutzleistung unter Verwendung des Baukastens zur Vorratsberechnung zu berücksichtigen. Falls hier keine eigenen Daten zur Verfügung stehen, empfiehlt sich der Baukasten aus dem Carbstor-System (MÖLLER et al. 2014).

5. Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim europäischen Fonds für Regionalentwicklung (EFRE) und beim Land Berlin für die Projektfinanzierung. Besonderer Dank gilt außerdem der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt sowie dem Ingenieurbüro Umweltvorhaben Berlin Brandenburg GmbH für die Bereitstellung von Hintergrunddaten.

6. Literaturverzeichnis

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl.; Hannover.
- AKUMU, C.E. & McLAUGHLIN, J.W. (2013): Regional variation in peatland carbon stock assessments northern Ontario, Canada. – *Geoderma* **209**: 161-167.
- BALLA, D. & QUAST, J. (2001): Wassergüte in Niedermooren. – In: KRATZ, R. & PFADENHAUER, J. (Hrsg.): Ökosystemmanagement für Niedermoore: 111-120; Stuttgart.
- BAUMGARTNER, A. & LIEBSCHER, H. J. (1996): Lehrbuch der Hydrologie, 2. Aufl. (Bd. 1); Stuttgart.
- BRIDGHAM, SD, UPDEGRAFF, K. & PASTOR, J. (1998): Carbon, nitrogen, and phosphorus mineralization in northern wetlands. – *Ecology* **79** (5): 1545-1561.
- BULLOCK, A. & ACREMAN, M. (2003): The role of wetlands in the hydrological cycle. – *Hydrol Earth. Syst. Sci.* **7**: 358-389.
- COUWENBERG J. & JOOSTEN, H. (2001): Bilanzen zum Moorverlust – Das Beispiel Deutschland. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl.: 409-411; Stuttgart.
- DIERSSEN, K. & DIERSSEN, R. (2001): Moore. Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht; Stuttgart.
- EDOM, F. (2001): Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht (chorische Betrachtung). – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl.: 185-228; Stuttgart.
- EGGELSMANN, R. (1990): Moor und Wasser. – In: GÖTTLICH, K. H. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde, 3. Aufl.: 288-320; Stuttgart.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen, 5. Aufl.; Stuttgart.
- ELLENBERG, H., WEBER, H. E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. & PAULISSEN, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, 2. Aufl.; Göttingen.
- FROLKING, S., ROULET, N. T., MOORE, T. R., RICHARD P.J.H, LAVOIE, M. & MULLER, S.D. (2001): Modeling northern peatland decomposition and peat accumulation. – *Ecosystems* **4** (5): 479-498.
- GEOLOGISCHE KARTE VON PREUSSEN (1874-1937); Maßstab 1:25.000.

- GLUGLA, G., GOEDECKE, M., WESSOLEK, G. & FÜRTIG, G. (1999): Langjährige Abflussbildung und Wasserhaushalt im urbanen Gebiet Berlin. – *Wasserwirt.*, **89** (1): 34-42.
- GOEDECKE, M. & GERSTENBERG, J. H. (2008): Datengrundlagen aus dem Informationssystem Stadt und Umwelt für das Niederschlags-Abflussmodell ABIMO der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Dokumentation im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin.
- HELLER, C. & WEISS, K. (2015): Approaching a Standardized Method for the Hot-Water Extraction of Peat Material to Determine Labile SOM in Organic Soils, *Commun. – Soil. Sci. Plan.* **46** (8): 1044-1060. DOI: 10.1080/00103624.2015.1019082.
- HELLER, C. & ZEITZ, J. (2012): Stability of soil organic matter in two northeast German fens: The influence of site and soil development. – *J. Soil. Sed.* **12** (8): 1231-1240. DOI: 10.1007/s11368-012-0500-6.
- HOLDEN, J. (2005): Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. – *Philos. T. Roy. Soc. A.* **363** (1837): 2891-2913.
- HÖPER, H. (2007): Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. – *Telma* **37**: 85-116; Hannover.
- JOOSTEN, H. & COUWENBERG, J. (2001): Das Beispiel Europa. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2. Aufl. 406-408; Stuttgart.
- JOOSTEN H. & CLARKE, D. (2002): Wise use of mires and peatlands. International Mire Conservation Group and International Peat Society; Totnes.
- JOOSTEN H. & SUCCOW, M. (2001): Hydrogenetische Moortypen. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2. Aufl.: 234-240; Stuttgart.
- JOOSTEN, H., BRUST, K., COUWENBERG, J., GERNER, A., HOLSTEN, B., PERMIEN, T., SCHÄFER, A., TANNEBERGER, F., TREPPEL, M. & WAHREN, A. (2013): Moorfutures – Integration von weiteren Ökosystemdienstleistungen einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate – Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in andere Regionen. – *BfN-Skripte* 350.
- KALISZ, B., LACHACZ, A. & GLAZIEWSKI, R. (2010): Transformation of some organic matter components in organic soils exposed to drainage. – *Turk. J. Agric. For.* **34**: 245-256.
- KHANNA, P.K., LUDWIG, B., BAUHAUS, J. & O'HARA, C. (2001): Assessment and significance of labile organic C pools in forest soils. – In: LAL, R., KIMBLE, J.M., FOLLET, R.F. & STEWART, B.A. (Hrsg.): *Assessment methods for soil carbon*: 167-182; Boca Raton.
- KLINGENFUSS, C. (2014): Moore in Berlin – die besondere Situation in einer Millionenstadt. – In: LUTHARDT, V. & ZEITZ, J. (Hrsg.): *Moore in Brandenburg und Berlin*: 185-196; Rangsdorf.
- KLINGENFUSS, C., HELLER, C., MÖLLER, D. & ZEITZ, J. (2015a): Boden- und Vegetationsmerkmale als Indikatoren zur Bewertung der Lebensraum- und Klimaschutzleistung von Mooren. – *Nat. Landsch.* **90** (12): 556-563.
- KLINGENFUSS, C., MÖLLER, D., HELLER, C., THURM, T., KÖBERICH, K. & ZEITZ, J. (2015b): Berliner Moorböden im Klimawandel – Entwicklung einer Anpassungsstrategie zur Sicherung ihrer Ökosystemleistungen. UEPII-Forschungsprojekt, Abschlussbericht. Humboldt-Universität zu Berlin (unveröff.).

- KOSKA, I. (2001): Ökohydrologische Kennzeichnung. Standortkundliche Kennzeichnung und Bioindikation. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2. Aufl.: 92-111 u. 128-144; Stuttgart.
- LUTHARDT, V. (2014): Moore im Funktionsgefüge der Landschaft. – In: LUTHARDT, V. & ZEITZ, J. (Hrsg.): *Moore in Berlin und Brandenburg*: 14-17; Rangsdorf.
- MA (2005): *Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and Human Well-Being: Current State & Trends*. Island Press; Washington D.C.
- MÖLLER, D., HELLER, C. & ZEITZ, J. (2014): CARBSTOR – Ein Online-Tool für den Moorschutz – Berechnung der Kohlenstoff-Speichermenge und des -freisetzungspotentials von Moorböden. – *Nat.schutz Landsch.plan.* **46** (7): 201- 210.
- MÜNCH, A. (2004): AKWA-M® – Teilflächenbasiertes Wasserhaushalts- und Hochwassermodell, Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH; Bannewitz.
- PETERSEN, A. (1952): *Die Neue Rostocker Grünlandschätzung*. – *Abhandlungen der deutschen Akademie der Wissenschaften*. Nr. 1/52; Berlin.
- PLIENINGER, T., BIELING, C., GERDES, H., OHNESORGE, B., SCHAICH, H., SCHLEYER, C., TROMMLER, K. & WOLFF, F. (2010): Ökosystemleistungen in Kulturlandschaften. Konzept und Anwendung am Beispiel der Biosphärenreservate Oberlausitz und Schwäbische Alb. – *Nat. Landsch.* **85** (5): 187-192.
- ROSSKOPF, N., FELL, H., & ZEITZ, J. (2015): Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. – *Catena* **133**: 157-170.
- ROWINSKY, V. (1995): Hydrologische und stratigraphische Studien zur Entwicklungsgeschichte von Brandenburger Kesselmooren. – *Berliner Geogr. Abh.* **60**: 1-154.
- SCHOPP-GUTH, A. & GUTH, C. (2003): Moorrenaturierung – Grundlagen und Anforderungen. – In: *Bayrische Akademie für Landschaftspflege* (Hrsg.). – *Laufener Seminarbeiträge* **1/03**: 7-22.
- SCHEFFLER, E., HAVERMEIER, L., PAPROTH, F., BAYER, C. & MÖLLER, K. (2013): *Entwicklung des Wasserstandes in Berliner Mooren – Moormonitoring. Dokumentation und Kurzbericht für die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt* (unveröff.).
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. & STARK, K. (1995): *Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler*, 2. Aufl.; Berlin/Heidelberg.
- SENSTADTUM (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT/Hrsg.) (2012): *Stadtentwicklungsplan Klima (StEP Klima). Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern*, 2. Aufl.; Berlin.
- SENSTADTUM (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT/Hrsg.) (2013): *Vorläufige Sicherung der im Land Berlin gelegenen Überschwemmungsgebiete*; Berlin. (<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/hochwasser/de/download.shtml>, letzter Zugriff am 3.8. 2016).
- SENSTADTUM (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT/ Hrsg.) (2014): *Geologische Skizze von Berlin mit Szenario der Grundwasserabsenkung bis 2040*; Berlin.
- SUCCOW, M. (1988): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 1. Aufl.; Jena.

- SUCCOW, M. (2001): Ökologisch(-phytozoenologische) Moortypen. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., 229-234; Stuttgart.
- SUCCOW, M. & JESCHKE, L. (1990): Moore in der Landschaft, 2. Aufl., Leipzig.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.) (2001): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., Stuttgart.
- TEEB (2010): The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations; London / Washington.
- TIEMEYER, B., BECHTOLD, M., BELTING, S., FREIBAUER, A., FÖRSTER, C., DETTMANN, U., FUCHS, D., FRANK, S., GELBRECHT, J., JEUTHER, B., LAGNER, A., ROSINSKI, E., LEIBER-SAUHEITL, K., SACHTELEBEN, J., ZAK, D. & DRÖSLER, M. (2015): Instrumente und Indikatoren zur Bewertung von Biodiversität und Ökosystemleistungen von Mooren; Braunschweig. (URL: <http://www.moorschutz-deutschland.de/index.php?id=11>; zuletzt aufgerufen am 28.7.2016).
- WANIEK, M. (2014): Bodenphysikalische Eigenschaften von Torfen ausgewählter Berliner Moore als Grundlage für die Bewertung der Wasserretentionsleistung. – Masterarbeit; Humboldt-Universität zu Berlin.
- ZEITZ, J. (2014): Substrate der Moore. – In: LUTHARDT, V., ZEITZ, J. (Hrsg.): Moore in Brandenburg und Berlin: 17-27; Rangsdorf
- ZEITZ, J. (2014): Prozesse und Auswirkungen einer entwässerungsbasierten Moornutzung. – In: LUTHARDT, V. & ZEITZ, J. (Hrsg.): Moore in Brandenburg und Berlin: 113-122; Rangsdorf.
- ZEITZ, J. & VELTY, S. (2002): Soil properties of drained and rewetted fen soils. – J. Plant Nutr. Soil Sci. **165** (5): 618-626.

Anschrift der Verfasser:

Dr. agr. Chr. Heller
 Chr. Klingenuß
 D. Möller
 Prof. Dr. Jutta Zeitz
 Humboldt-Universität zu Berlin
 Albrecht-Daniel-Thaer-Institut
 für Agrar- und Gartenbauwissenschaften
 Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre
 Albrecht-Thaer-Weg 2
 D-14195 Berlin
 E-Mail: christian.heller@agrar.hu-berlin.de

Manuskript eingegangen am 9. August 2016

