01.06 Bodenkundliche Kennwerte (Ausgabe 2018)

Problemstellung und Datengrundlage

Neben einer Übersicht über die Verteilung und Heterogenität der einzelnen Bodengesellschaften im Stadtgebiet (vgl. Karte 01.01) sind für Aussagen über Qualitäten, Empfindlichkeiten und Belastungen von Böden Angaben über deren **ökologische Eigenschaften** von großer Bedeutung. Dabei handelt es sich vor allem um Kennwerte zur Bodenchemie, zur Bodenphysik und zum Wasserhaushalt. Die Ausprägung dieser Kenngrößen wird durch die Bodengesellschaften vorbestimmt, durch die aktuelle Flächennutzung jedoch maßgeblich beeinflusst.

Die hier beschriebenen bodenkundlichen Kenngrößen wurden aus den Bodengesellschaften unter Berücksichtigung der Flächennutzung (vgl. Karte 06.01 und 06.02) abgeleitet. Es wurde davon ausgegangen, dass die Ausprägung der Bodenkennwerte für eine bestimmte Bodengesellschaft bei einer bestimmten Flächennutzung im Rahmen der angestrebten Genauigkeit der Aussagen für alle Flächen dieser Kombination identisch ist.

Für jede **Kombination aus Flächennutzung und Bodengesellschaft** wurden die Kenngrößen als repräsentative Werte aus vorhandenen Unterlagen bestimmt. Die Daten wurden vor allem dem Begleitband zur Karte der Bodengesellschaften (Dissertation von Grenzius, 1987) entnommen, in der Landschaftsschnitte und Musterprofile zu den einzelnen Bodengesellschaften dokumentiert sind, die zum überwiegenden Teil auf Messungen des Instituts für Bodenkunde der Technischen Universität Berlin (TU Berlin) beruhen. Verschiedene andere bodenkundliche Kartierungen wurden zusätzlich ausgewertet. Für die Humusgehalte und pH-Werte konnte außerdem auf umfangreiche Bodenuntersuchungen im Rahmen des Schwermetalluntersuchungsprogramms zurückgegriffen werden.

Lagen für bestimmte Kombinationen keine Messwerte vor, wurden die Werte unter Verwendung von Daten vergleichbarer Nutzungen oder vergleichbarer Bodengesellschaften gutachterlich abgeschätzt. Durch die z. T. sehr unterschiedliche Anzahl der pro Kombination vorliegenden Messwerte und die Vielzahl von Analogieschlüssen ist die **Genauigkeit der angegebenen Werte sehr variabel**.

Bei den meisten Kenngrößen wurden die Angaben getrennt auf den Oberboden (0 bis 10 cm) und den Unterboden (90 bis 100 cm) bezogen.

Bei den Legendeneinheiten der Bodenkarte handelt es sich maßstabsbedingt um Bodengesellschaften, deren beteiligte Böden z. T. sehr heterogene bodenökologische Eigenschaften aufweisen. Die **Komplexität** der ökologischen Verhältnisse ist mit den zugeordneten typischen Werten, die sich auf einen charakteristischen Bodentyp der jeweiligen Bodengesellschaft beziehen, **stark vereinfacht dargestellt**. In der bodenkundlichen Datenbank sind deshalb zusätzlich zu dem repräsentativen Wert (z. B. typischer pH-Wert) noch die Maximal- und Minimalwerte abgelegt, die für entsprechende Auswertungen zur Verfügung stehen.

Aus den genannten Gründen sind die Karten daher **nur als Übersichtskarten** für den Maßstab 1 : 50.000 gedacht und können flächenbezogene Untersuchungen im Einzelfall nicht ersetzen.

01.06.1 Bodenarten

Beschreibung

Die Bodenart eines Bodens wird durch die Korngrößenzusammensetzung ihrer mineralischen Bestandteile bestimmt. Dabei wird der **Grobboden** (Korndurchmesser > 2 mm) und der **Feinboden** (Korndurchmesser < 2 mm) unterschieden. Auf sehr nassen Standorten entstehen außerdem durch die Anhäufung unvollständig zersetzten Pflanzenmaterials **Torfe**, die die mineralischen Böden überlagern können.

Bodenart des Feinbodens
Die Bodenarten des **Feinbodens** werden aus bestimmten Mengenanteilen der Kornfraktionen Ton, Schluff und Sand gebildet. Die Hauptbodenarten werden **in Ton, Schluff, Lehm und Sand**

untergliedert, wobei Lehm ein Korngemisch ist, dass zu etwa gleichen Teilen aus Sand, Schluff und Ton besteht. Die Bodenart ist ein wichtiger Kennwert für die Ableitung ökologischer Eigenschaften, wie Nähr- und Schadstoffspeichervermögen, Wasserhaushalt und Wasserspeichervermögen sowie Filter- und Puffervermögen in Hinsicht auf Schadstoffe.

Bodenart des Grobbodens
Als Bodenart des **Grobbodens** oder das Bodenskelett werden alle mineralischen Bestandteile des Bodens bezeichnet, die im Durchmesser > 2 mm sind. Der Anteil des Grobbodens wirkt sich auf die Wasserdurchlässigkeit, den Luft- und Nährstoffhaushalt und das Bindungsvermögen für Nähr- und Schadstoffe aus. Je höher der Anteil des Grobbodens ist, um so durchlässiger ist ein Boden aufgrund der großen Poren, während Bindungsvermögen und Nährstoffsituation von der Art des Feinbodens abhängen.

Torfart
Torfe entstehen im wassergesättigten Milieu durch Ansammlung unvollständig zersetzten Pflanzenmaterials. Sie zeichnen sich durch ein hohes Wasserspeichervermögen und eine sehr hohe Kationenaustauschkapazität aus. Entsprechend der Art der Pflanzenreste und der Entstehungsbedingungen werden unterschiedliche Torfarten differenziert. Niedermoortorfe sind basen- und nährstoffreich, teilweise sogar carbonatreich. Übergangsmoortorfe weisen Pflanzenreste sowohl von nährstoffarmen als auch von nährstoffreichen Standorten auf.

Methode

Die Bodenarten des Feinbodens, des Grobbodens und der Torfarten jeweils differenziert nach Ober- (0 - 10 cm Tiefe) und Unterboden (90 - 100 cm Tiefe) wurden für jede Bodengesellschaft bestimmt. Die Angaben wurden im wesentlichen den Profilschnitten von Grenzius (1987) entnommen. Einige Werte sind gutachterlich ergänzt worden.

Die kartierten Bodenarten des **Feinbodens** sind in Tab. 1 zusammengefasst. Da die Bodenarten im Ober- und Unterboden aufgrund des Ausgangsmaterials der Bodenbildung, der Bodenentwicklung und der Nutzung z. T. unterschiedlich sind, werden diese differenziert betrachtet. Außerdem werden innerhalb einer Bodengesellschaft häufig auftretende Bodenarten als Hauptbodenart und selten vorkommende Bodenarten als Nebenbodenart unterschieden.

Bodenart	Bezeichnung	in Berlin kartiert	Bodenart	Bezeichnung	in Berlin kartiert
fS	Feinsand	x	Su2	schwach schluffiger Sand	x
gS	Grobsand		Su3	mittel schluffiger Sand	x
Ls2	schwach sandiger Lehm		Su4	stark schluffiger Sand	
Ls3	mittel sandiger Lehm	x	Tl	lehmiger Ton	
Ls4	stark sandiger Lehm	x	Ts2	schwach sandiger Ton	
Lt2	schwach toniger Lehm		Ts3	mittel sandiger Ton	
Lt3	mittel toniger Lehm		Ts4	stark sandiger Ton	
Lts	sandig-toniger Lehm		Tt	Reinton	
Lu	schluffiger Lehm	x	Tu2	schwach schluffiger Ton	
mS	Mittelsand	x	Tu3	mittel schluffiger Ton	
Sl2	schwach lehmiger Sand	x	Tu4	stark schluffiger Ton	
Sl3	mittel lehmiger Sand	x	Uls	sandig-lehmiger Schluff	
Sl4	stark lehmiger Sand	x	Us	sandiger Schluff	x
Slu	schluffig-lehmiger Sand		Ut2	schwach toniger Schluff	
Ss	Reinsand		Ut3	mittel toniger Schluff	x
St2	schwach toniger Sand		Ut4	stark toniger Schluff	
St3	mittel toniger Sand		Uu	Reinschluff	

Tab. 1: Bodenarten und ihr Vorkommen in Berlin (z. T. Bodenkundliche Kartieranleitung 2005)

Die Bodengesellschaften, die in den Bodenarten des Feinbodens für den Oberboden als auch für den Unterboden weitgehend übereinstimmen, wurden zu einer **Bodenartengruppe** zusammengefasst. Die Zuordnung von Bodenartengruppen erfolgte lediglich deshalb, um eine lesbare Karte mit einer überschaubaren Anzahl von Legendeneinheiten zu erzeugen. Für genauere Angaben oder weitere Berechnungen liegen differenziertere Daten vor. Es treten Bodengesellschaften auf, die sowohl im Oberboden als auch im Unterboden aus den gleichen Bodenarten bestehen. Die Mehrzahl der Bodengesellschaften unterscheidet sich jedoch hinsichtlich der Bodenarten im Ober- und Unterboden.

Durch Kombination der Bodenarten des Oberbodens mit den Bodenarten des Unterbodens wurden 14 Bodenartengruppen des Feinbodens (< 2 mm) gebildet, welche die Legendeneinheiten der Karte darstellen.

Die Bodengesellschaften einer Bodenartengruppe können sich jedoch innerhalb dieser Gruppe hinsichtlich Torf- bzw. Steingehalt (Bodenskelett, Grobboden > 2 mm) des Ober- und Unterbodens unterscheiden, weshalb diese durch zusätzliche Signaturen dargestellt wurden.

Die in den Böden Berlins vorkommenden **Grobbodenarten** sind in Tab. 2 zusammengestellt. Zwischen dem Vorkommen im Ober- bzw. Unterboden wird unterschieden.

Grobbodenart	Bezeichnung
o2	schwacher Anteil runder Steine
x2	schwacher Anteil kantiger Steine
x3	mittlerer Anteil kantiger Steine
fG1	sehr schwacher Anteil Feinkies

Tab. 2: Bezeichnung der in Berliner Böden vorkommenden Grobbodenarten (Bodenkundliche Kartieranleitung 2005)

Die in Berlin vorkommenden **Torfarten** sind in Tab. 3 zusammengestellt. Zur Darstellung der ökologischen Eigenschaften und Ermittlung der Kennwerte wird unterschieden, ob Torf im Ober- und/oder im Unterboden vorkommt. Bei dem Vorhandensein von mehreren Torfarten in einem Boden oder einer Bodengesellschaft, wird nur die charakteristische Torfart (Torfart prägend) berücksichtigt.

Torfart	Bezeichnung
Hn	Niedermoortorfe
fHn	fossile Niedermoortorfe
Hu	Übergangsmoortorfe

Tab. 3: Bezeichnung der in Berliner Böden vorkommenden Torfarten (Bodenkundliche Kartieranleitung 2005)

01.06.2 Nutzbare Feldkapazität für Flachwurzler

Beschreibung

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) ist die Wassermenge in l/m² bzw. mm, die der Boden festzuhalten vermag und der für Pflanzen nutzbar ist. Dieser Teil des Wassers wird in den Porenräumen des Bodens gegen die Schwerkraft festgehalten und steht den Pflanzen zur Verfügung. Die nFK ist von der Bodenart, dem Humusgehalt, der Lagerungsdichte und dem Steingehalt abhängig. Feinkörnige Böden können über längere Zeiträume wesentlich mehr Wasser speichern als grobkörnige, sodass bei letzteren das Niederschlagswasser rascher versickert und nicht für die Wasserversorgung der Pflanzen zur Verfügung steht. Hohe Humusgehalte und Torfanteile begünstigen die Wasserspeicherung.

Methode

Die nFK-Werte der Bodengesellschaften und Bodentypen wurden aus den in den Schnittzeichnungen von Grenzius (1987) dargestellten Musterprofilen entnommen. Dabei wird in eine Flachwurzelzone

(0 - 3 dm) und eine Tiefwurzelzone (0-15 dm) unterschieden. Der Minimal- und Maximalwert der nFK für die Flachwurzel- und Tiefwurzelzone stammt von dem Bodentyp der Bodengesellschaft, der die höchste bzw. niedrigste nFK aufweist. Zusätzlich wird der typische nFK-Wert für die jeweilige Wurzelzone bestimmt. Als Karte dargestellt ist hier der typische nFK-Wert der Flachwurzelzone.

Bei ergänzenden Untersuchungen der Bodengesellschaften des Ostteils Berlins wurden von Aey (1993) Analogieschlüsse anhand der Geologie durchgeführt. 2005 wurden anhand der Angaben bei Grenzius (1987) geringe nFK-Werte feiner differenziert und weitere korrigiert.

Die Ergebnisse werden in sechs Stufen nach Grenzius (1987) zusammengefasst (Tab.1), da in der 4. Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) keine Stufung aufgeführt ist.

nFK [mm]		**nFKStufe**	
Flachwurzelzone (0 - 3 dm)	**Tiefwurzelzone (0 - 15 dm)**		
< 20	< 60	1	sehr gering
20 - < 40	60 - < 120	2	gering
40 - < 60	120 - < 180	3	mittelmäßig
60 - < 80	180 - < 240	4	erhöht
80 - < 110	240 - < 320	5	hoch
>= 110	>= 320	6	sehr hoch

Tab. 1: Nutzbare Feldkapazität für Flach- und Tiefwurzelzone (in mm) und deren Bewertung (nach Grenzius, 1987)

01.06.4 Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes

Beschreibung

Eine differenzierte Betrachtung des pflanzenverfügbaren Wassers für den jeweiligen Standort ergibt die Beurteilung des Wasserhaushaltes über die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFK_{We}). Dabei werden entsprechend der Bodenart und der Nutzung die unterschiedlichen Durchwurzelungstiefen und Wurzelräume berücksichtigt. So haben Wald- und Baumstandorte einen wesentlich größeren Wurzelraum als zum Beispiel Gartennutzungen. In Sandböden ist der effektive Wurzelraum geringer als in Lehmböden. In den Lehmböden kann das Niederschlagswasser länger als in den Sandböden gespeichert werden, so dass es für die Pflanzenwurzeln hinsichtlich des Wasser- und Nährstoffhaushaltes lohnend ist, sich einen etwas größeren Wurzelraum zu erschließen als in sandigen Substraten. Bei den moorigen Böden reicht der effektive Wurzelraum nur bis zu den grundwasserbeeinflussten Horizonten, so dass meist nur die obersten 20 - 30 cm als Wurzelraum dienen. Ursache für den geringen Wurzelraum ist der Luftmangel in den ständig wassergesättigten Horizonten. Die Pflanzenwurzeln, mit Ausnahme einiger Spezialisten, beschränken sich daher auf die oberen Horizonte, die sowohl ausreichend Luft als auch Wasser führen.

Die zusätzliche Wasserversorgung der Pflanzen in der Vegetationszeit aus dem kapillaren Aufstieg des Grundwassers, die die nFK_{We} bei geringen Flurabständen entscheidend beeinflusst, wurde hier bei der Ermittlung nicht berücksichtigt.

Methode

Die Ermittlung der nFK_{We} für die Bodengesellschaften in Abhängigkeit von der realen Flächennutzung erfolgte durch das Fachgebiet Bodenkunde der TU Berlin im Rahmen eines Gutachtens (Plath-Dreetz/Wessolek/Renger 1989).

Dabei wurde zunächst der effektive Wurzelraum für Berliner Standorte entsprechend unterschiedlichen Nutzungen aus Tab. 1 entnommen. Ausgehend von der Tiefe des effektiven Wurzelraumes wurden für die bei Grenzius (1987) dokumentierten Musterprofile die horizontweise ermittelten nutzbaren Feldkapazitäten zur nFK_{We} addiert. Für die organische Substanz wurden entsprechende Zuschläge berücksichtigt. Da innerhalb einer Bodengesellschaft unterschiedliche

Bodentypen auftreten, ergibt sich eine Spanne, die mit dem Minimal- und Maximalwert der nFK_{We} je Bodengesellschaft beschrieben werden kann. Zusätzlich wurde der typische nFK_{We}-Wert nutzungsabhängig für die jeweilige Bodengesellschaft bestimmt, der in der Karte dargestellt ist.

	Acker Garten Friedhof	Grün-land	Forst	Park	Kleingarten
Sande	6	5-6	10	7	6
Lehme	7	6-7	12	8	7
moorige Böden (grundwasserbeeinflusst)	-	2-3	4	4	4

Tab. 1: Tiefen des effektiven Wurzelraumes (in dm) in Abhängigkeit von Bodenart und Nutzung (Plath-Dreetz et al. 1988)

Die Ergebnisse werden in fünf Stufen zusammengefasst (Tab. 2)

nFKWe [mm]	Stufe	Bezeichnung
< 60	1	sehr gering
60 - < 140	2	gering
140 - < 220	3	mittel
220 - < 300	4	hoch
>= 300	5	sehr hoch

Tab. 2: Stufung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (Bodenkundliche Kartieranleitung 1994).

01.06.5 Humusmenge

Beschreibung

Humus bezeichnet die Gesamtheit der organischen Substanz von abgestorbenen Pflanzen und Tieren im Boden und setzt sich unter anderem zusammen aus Streu und Huminstoffen. Das hohe Sorptionsvermögen der Huminstoffe, der hohe Anteil pflanzenverfügbarer Nährstoffe und die günstigen Eigenschaften für den Wasserhaushalt wirken prägend für viele Bodenfunktionen. Die Humusgehalte mineralischer Böden sind bestimmt durch die Bodengenese, den Wassergehalt und die Nutzung. Durch Nutzungen wie Gartenbau mit Einarbeitung von Kompost oder intensiver Grünlandwirtschaft wird die Humusanreicherung begünstigt, während bei anderen Nutzungen ein deutlich geringerer Gehalt an organischer Substanz zu erwarten ist (vgl. Tab. 1).

Nasse Vegetationsstandorte, z. B. Auenböden und Moore haben eine hohe Biomasseproduktion, aber einen geringen Humusabbau. Die angereicherte organische Substanz liegt in Form von **Torfen** mit unterschiedlichem Zersetzungsgrad vor. Die An- und Niedermoore besitzen in Abhängigkeit von der Nutzung und dem Zersetzungsgrad der Torfe einen Gehalt an org. Substanz von 15 – 80 %. Voraussetzung für hohe Gehalte an organischer Substanz ist eine stetige Vernässung bis in den Oberboden, die eine Mineralisierung hemmt oder unterbindet, sowie eine naturnahe Nutzung, wie zum Beispiel extensive Wiesennutzung.

Die **Humusmenge** stellt die Menge an abgestorbener organischer Substanz dar, die an einem Standort für eine definierte Bodenfläche in Abhängigkeit vom Bodentyp und der Flächennutzung vorliegt. Die Humusmenge ist vor allem ein Zeiger für den Stickstoffvorrat und den leicht mobilisierbaren Stickstoffanteil. Aber auch andere wichtige Nährstoffe wie Kalium, Calcium, Magnesium und Phosphor werden durch die Zersetzung und Humifizierung der organischen Substanz freigesetzt und für die Pflanzen verfügbar gemacht. Neben der Bereitstellung und der Speicherung von Nährstoffen ermöglicht der Humus auch eine Erhöhung der Wasser- und Schadstoffspeicherkapazität. Die Humusmenge eines Bodens ergibt sich aus dem Humusgehalt und der Mächtigkeit der humosen Horizonte und hängt vom Bodentyp und der Nutzung ab. So weisen z. B. feuchte, moorige Standorte mit einer hohen Biomasseproduktion und einer geringen Zersetzung

eine hohe Humusmenge und sandige, trockene Böden mit geringer Vegetationsdecke eine niedrige Humusmenge auf.

Methode

Die durchschnittlichen aus der Nutzung zu erwartenden Humusgehalte der Mineralböden in Abhängigkeit von Bodentyp und Nutzung wurden durch Untersuchungen von Grenzius (1987) und Bodenuntersuchungen im Rahmen des Schwermetalluntersuchungsprogramms (1986, 1987) hergeleitet. Diese Daten wurden zunächst von Fahrenhorst et al. (1990) ausgewertet und die durchschnittlichen Humusgehalte für den charakteristischen Bodentyp der verschiedenen Bodengesellschaften unter unterschiedlichen Nutzungen ermittelt. Eine Erweiterung der Datenbasis unter Verwendung verschiedener Einzelkartierungen erfolgte 1993 (Aey 1993). Eine rein nutzungsabhängige grobe Orientierung ist in Tab. 1 zusammengestellt.

Nutzung	**Humusgehalte [Masse-%]**
Wohngebiet	5
Mischgebiet	3
Kerngebiet	3
Gewerbe- und Industriegebiet	3
Sondernutzungen, Versorgungseinrichtungen	3
Wochenendhausgebiet	6
Wald	4
Grünland	12
Acker	3
Park, Grünfläche, Stadtplatz	3
Friedhof	4
Kleingärten	6
Brachfläche, wiesenartige Vegetation	3
Brachfläche, Gebüsch, Bäume	4
Camping, Sportanlage	4
Baumschule	4

Tab. 1: Durchschnittliche Humusgehalte in Abhängigkeit von der Nutzung, zusammengestellt nach Fahrenhorst et al. (1990)

Die Humusgehalte von Torfen, die sich auf nassen Standorten bilden, werden bei den Mineralböden nicht berücksichtigt, sie gehen gesondert mit ihren Gehalten und mit ihren Mächtigkeiten in die Ermittlung der Humusmenge ein.

Die Humusmenge wurde aus dem Humusgehalt der Humusschicht unter Berücksichtigung des Torfanteils [Masse-%] und der effektiven Lagerungsdichte sowie der Mächtigkeit der organischen Horizonte ermittelt.

Die ermittelten Humusmengen für die unterschiedlichen Standorte werden entsprechend Tab. 2 in sechs Stufen unterteilt.

Humusmenge [kg/m²]	**Stufe**	**Bezeichnung**
0 - < 5	1	sehr gering
5 - < 10	2	gering
10 - < 20	3	mittel

20 - < 100	4	hoch
100 - < 500	5	sehr hoch
500 - < 2000	6	extrem hoch

Tab. 2: Einstufung der Humusmengen nach typischen Gehalten von Berliner Böden (Gerstenberg 2017)

01.06.6 Organischer Kohlenstoffvorrat

Beschreibung

Die abgestorbene organische Substanz (Humus) im Boden besteht etwa zu 50 % aus organischem Kohlenstoff und ist für den Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens von elementarer Bedeutung. Durch die Anreicherung, Speicherung und Freisetzung von organischer Substanz, und damit von organischem Kohlenstoff, spielen Böden eine zentrale Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf.

Böden sind der größte terrestrische Kohlenstoffspeicher und somit neben den Ozeanen die größten Kohlenstoffspeicher der Erde (IPCC 2000). Große Auswirkungen auf die Kohlenstoffdynamik im Boden hat die Landnutzung. Böden in urbanen Gebieten unterliegen einem besonders hohen Nutzungsdruck und sind sehr stark anthropogen geprägt. Dadurch kommt es auf der einen Seite, beispielsweise durch gärtnerische Nutzung, zu höheren organischen Kohlenstoffgehalten als in natürlichen Systemen. Auf der anderen Seite wird durch die teilweise komplette Zerstörung der natürlichen Bodenfunktionen der Abbau bzw. die Mineralisierung des Humus und somit die Freisetzung von Kohlendioxid (CO_2) in die Atmosphäre verstärkt. Dies ist vor allem langfristig von besonderer klimatischer Bedeutung, da die Anreicherung von Humus und damit die klimawirksame Kohlenstoffbindung in Böden sehr lange Zeiträume in Anspruch nimmt.

Böden haben als sogenannte Kohlenstoffsenken eine besondere Bedeutung im globalen Kohlenstoffkreislauf. Auch in urbanen Gebieten sind solche Kohlenstoffsenken zu finden. Dabei spielen vor allem hydromorphe Böden wie Moore eine besondere Bedeutung. Moore speichern potentiell bis zu zehnmal so viel Kohlenstoff wie andere Ökosysteme (Batjes 1996). Durch den veränderten Wasserhaushalt in Folge von Meliorationsmaßnahmen, wie Grundwasserabsenkungen, landwirtschaftlich genutzter Flächen, emittieren viele Moore heute CO_2 und CH_4 (Methan). Daher ist Moorschutz für den lokalen, regionalen und globalen Klimaschutz von großer Bedeutung. Die Bedeutung der Moorböden – in Berlin nur der Niedermoorböden – wird daran deutlich, dass sie bei einem Flächenanteil von nur 7 % fast 50 % des gesamten in den Böden Berlins gespeicherten organischen Kohlenstoffs enthalten. Aber auch Kleingärten und Standorte mit einer langen Bodenentwicklung, wie Friedhöfe, alte Waldbestände und Parkanlagen, sind wertvolle Kohlenstoffsenken, da sie als langfristige Kohlenstoffspeicher dienen.

Durch die Funktion als Kohlenstoffsenke haben Böden eine wichtige Klimaschutzfunktion, die auch bei Planungs- und Genehmigungsverfahren Beachtung finden sollte (Dahlmann et al. 2012). Demnach ist es sinnvoll, kohlenstoffreiche Böden möglichst von negativ beeinflussender Nutzung, wie dem Überbauen von bisher unversiegelten Flächen, freizuhalten und die Rekultivierung von vorhanden Strukturen, gerade von Mooren, zu fördern. Daher wird das Puffervermögen im organischen Kohlenstoffhaushalt auch bei der Bewertung der Puffer- und Filterfunktion (vgl. Karte 01.12.3) berücksichtigt.

Die Berechnungen auf der Grundlage dieser Karte ergeben, dass in den Böden Berlins insgesamt 4,8 Millionen Tonnen Kohlenstoff gespeichert sind. Dies entspricht einen Äquivalent von 17,6 Millionen Tonnen CO_2.

Die Gesamt-CO_2-Emissionen in Berlin betrugen ca. 16,5 Millionen Tonnen im Jahr 2015 (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2018). Somit speichert der Boden mehr Kohlenstoff als in Berlin im gesamten Jahr 2015 durch den Primärenergieverbrauch ausgestoßen wurde.

Methode

Die Berechnung der organischen Kohlenstoffvorräte für Berlin wurde auf Grundlage der in der Berliner Bodendatenbank (Gerstenberg 2017) enthaltenen Humusmengen [kg/m²] vorgenommen (vgl. Karte 01.06.5 Humusmenge). Aufbauend auf die Ergebnisse des Forschungsvorhabens "Berliner Moorböden im Klimawandel" wurde die Berechnung der organischen Kohlenstoffvorräte aus den Humusmengen im Vergleich zu 2010 leicht abgewandelt (Gerstenberg 2017). Um die organischen

Kohlenstoffvorräte für ganz Berlin zu berechnen, wurden die Kohlenstoffmengen mit den Flächengrößen der Blöcke multipliziert.

Die ermittelten organischen Kohlenstoffvorräte der Böden sind als Schätzung zu betrachten und methodisch bedingt z. T. relativ ungenau, da die in der Blockstruktur dargestellten Humusmengen auf einer Bodengesellschaftskarte basieren, die teilweise nur Konzeptcharakter hat (vgl. Karte 01.01). Zudem sind die Humusgehalte und die Mächtigkeiten der mineralischen humushaltigen Horizonte und der Torfauflagen sowie der Lagerungsdichten zum Teil abgeschätzt. Durch die Einarbeitung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens "Berliner Moorböden im Klimawandel" im Jahr 2014 wurden Daten zur Lage, Ausdehnung, Torfmächtigkeit, Lagerungsdichte und zum Verhältnis Humusmenge / Kohlenstoffmenge von Mooren erheblich verbessert (Kingenfuß et al. 2015). Trotzdem kann die Karte 01.06.6 Organischer Kohlenstoffvorrat nur näherungsweise die Realität abbilden. Die ermittelten organischen Kohlenstoffvorräte werden entsprechend der Tab. 1 in sechs Stufen unterteilt.

Organischer Kohlenstoffvorrat [kg/m²]	Stufe
0 - < 3	1
3 - < 6	2
6 - < 12	3
12 - < 60	4
60 - < 300	5
>= 300	6

Tab. 1: Einstufung des organischen Kohlenstoffvorrates (Gerstenberg 2017)

01.06.7 pH-Werte im Oberboden

Beschreibung

Der pH-Wert (negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration) beeinflusst die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften des Bodens (Bodenreaktion). Er wirkt sich auf die Verfügbarkeit von Nähr- und Schadstoffen aus und gibt Auskunft über die Fähigkeit des Bodens, Säuren oder Basen zu neutralisieren. Er ist bedeutend für die Filter- und Pufferpotentiale der Böden. Bei niedrigen pH-Werten können daher im Boden keine Säuren neutralisiert werden, die Schwermetallverbindungen gehen zunehmend in Lösung und die verfügbaren Nährstoffe sind weitgehend ausgewaschen.

Methode

Die pH-Werte wurden für die Bodengesellschaften unter Berücksichtigung der Flächennutzung aus vorhandenen Unterlagen abgeleitet. Die Angaben wurden im Wesentlichen den Profilschnitten von Grenzius (1987) entnommen. Einige Werte sind gutachterlich ergänzt worden, meist unter Verwendung einer Vielzahl verschiedener bodenkundlicher Gutachten. Lagen keine Messwerte vor, wurden die Werte unter Verwendung von Daten vergleichbarer Nutzungen oder vergleichbarer Bodengesellschaften abgeschätzt. Zusätzlich zu den repräsentativen Werten (typische pH-Werte) für den Ober- und Unterboden wurden noch die jeweiligen Maximal- und Minimalwerte bestimmt.

In der Karte wurde nur der pH-Wert für den Oberboden dargestellt; dieser hat für die Funktionsbewertung der Böden (vgl. Karte 01.12) eine höhere Bedeutung als der pH-Wert des Unterbodens und weist auch eine größere, meist nutzungsbedingte Differenzierung auf.

Die Stufung der pH-Werte erfolgte nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) in den Stufen 1 bis 12 von äußerst alkalisch bis äußerst sauer (vgl. Tab. 1). Über die Stufung kann die Bodenreaktion entsprechend ihrer Alkalinität oder Azidität differenziert werden.

pH-Wert	pH-Stufe	Bezeichnung
>=11	1	äußerst alkalisch

10 - < 11	2	sehr stark alkalisch
9 - < 10	3	stark alkalisch
8 - < 9	4	mittel alkalisch
7,5 - < 8	5	schwach alkalisch
7 - < 7,5	6	sehr schwach alkalisch
6,5 - < 7	7	sehr schwach sauer
6 - < 6,5	8	schwach sauer
5 - < 6	9	mittel sauer
4 - < 5	10	stark sauer
3 - < 4	11	sehr stark sauer
< 3	12	äußerst sauer

Tab. 1: pH-Stufen (Bodenkundliche Kartieranleitung, 1994), verändert

01.06.8 Summe austauschbarer basischer Kationen des Oberbodens (S-Wert)

Beschreibung

Die austauschbaren Kationen eines Bodens werden üblicherweise in saure und basische Kationen unterteilt. Zu ersteren gehören neben den Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) auch solche, die beim Austritt in die Bodenlösung eine Hydrolyse hervorrufen und damit H-Ionen freisetzen, wie vor allem Aluminium (Al). Ihre Summe wird H-Wert genannt. Die basischen Kationen sind in erster Linie Calcium-Ionen (Ca^{2+}), Kalium-Ionen (K^{+}), Magnesium-Ionen (Mg^{2+}) und Natrium-Ionen (Na^{+}), in Kulturböden (nach einer Düngung) auch Ammonium-Ionen NH_4^{+} (wobei Calcium (Ca) meist mit mehr als 80 % dominiert). Ihre Summe bildet den S-Wert. Ihre Konzentration kann in $cmol_c/kg$, die Menge in mol_c/m^2 angegeben werden. Der %-Anteil des S-Wertes an den Austauschkationen insgesamt wird als Basensättigung bezeichnet.

Der S-Wert beschreibt somit die Menge des vom Boden zur Verfügung gestellten und für die Pflanzenernährung relevanten Kationen und ist somit ein wichtiges Maß der Bodenfruchtbarkeit.

Methode

Die Menge der basisch wirkenden austauschbaren Ionen (S-Wert) für den Oberboden (hier: 0 - 3 dm Tiefe) wird durch Multiplikation der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) mit der Basensättigung (BS) unter Einbeziehung der Lagerungsdichte und des Grobbodenanteils berechnet.

Die Berechnung der effektiven Kationenaustauschkapazität wird in der Karte 01.06.9 dargestellt. Die Basensättigung kann vom pH-Wert (in Calciumchlorid, $CaCl_2$ gemessen) abgeleitet werden.

Zur Ermittlung wird der für den Standort typische pH-Wert des Oberbodens (vgl. Karte 01.06.7) herangezogen und nach Tab. 1 die Basensättigung bestimmt. Zwischen den pH-Stufen dieser Tabelle wird linear interpoliert.

pH ($CaCl_2$)	BS [%]	pH ($CaCl_2$)	BS [%]	pH ($CaCl_2$)	BS [%]	pH ($CaCl_2$)	BS [%]	pH ($CaCl_2$)	BS [%]
3,0	2	4,0	18	5,0	47	6,0	77	7,0	97
3,1	3	4,1	20	5,1	50	6,1	80	7,1	98
3,2	4	4,2	23	5,2	53	6,2	82	7,2	98
3,3	5	4,3	25	5,3	56	6,3	85	7,3	98
3,4	6	4,4	28	5,4	60	6,4	87	7,4	99
3,5	7	4,5	31	5,5	63	6,5	89	7,5	99

pH ($CaCl_2$)	BS [%]	pH ($CaCl_2$)	BS [%]	pH ($CaCl_2$)	BS [%]	pH ($CaCl_2$)	BS [%]	pH ($CaCl_2$)	BS [%]
3,6	9	4,6	34	5,6	66	6,6	91	7,6	99
3,7	11	4,7	38	5,7	69	6,7	93	7,7	100
3,8	13	4,8	41	5,8	72	6,8	95	7,8	100
3,9	15	4,9	44	5,9	75	6,9	96	7,9	100

Tab. 1: Beziehung zwischen Basensättigung (BS) in % und pH ($CaCl_2$) von mineralischen Bodenhorizonten Berlins (Grenzius, 1987)

Die Stufung des S-Wertes erfolgt in den Stufen 1 - 10 (extrem gering - sehr hoch) nach Tab. 2.

S-Wert [mol_c/m^2]	Stufe	Bezeichnung
< 1	1	extrem gering
1 - < 2	2	sehr gering
2 - < 3,5	3	mäßig bis sehr gering
3,5 - < 5	4	mäßig gering
5 - < 10	5	gering
10 - < 25	6	mäßig
25 - < 50	7	mittel
50 - < 100	8	mäßig hoch
100 - < 200	9	hoch
>= 200	10	sehr hoch

Tab. 2: Stufung des S-Wertes (Schlichting et al., 1995, Gerstenberg und Faensen-Thiebes, 2005)

Die Einteilung der geringen Werte erfolgt in sehr engen Stufen, um die für die Bewertung der Funktion „Lebensraum für naturnahe und seltene Pflanzengesellschaften“ (vgl. Karte 01.12.1) notwendige feine Abstufung nährstoffarmer Böden zu erkennen.

01.06.9 Mittlere effektive Kationenaustauschkapazität

Beschreibung

Die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) stellt die Menge der an Bodenkolloide gebundenen Kationen unter Berücksichtigung der stark vom pH-Wert abhängigen Ladung der organischen Substanz dar. Dabei sind die austauschbaren Kationen an Tonminerale und Humuskolloide gebunden. In neutralen bis schwach sauren Böden dominieren Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K) und Natrium (Na) den Sorptionskomplex, in sauren Böden, z. B. Kiefer- und Heidestandorten Aluminium (Al), Wasserstoff (H) und Eisen (Fe). Das Bindungsvermögen der organischen Substanz ist deutlich höher als das der Tonminerale. Die Stärke der Bindung an die organische Substanz ist vom pH-Wert abhängig, während die Bindung an die Tonminerale unabhängig vom pH-Wert ist. So sinkt mit abnehmendem pH-Wert das Bindungsvermögen des Humus. Ton- und humusreiche Böden mit neutraler Bodenreaktion können daher wesentlich mehr Nähr- und Schadstoffe binden und eine Auswaschung dieser Stoffe in das Grundwasser verhindern als sandige humusarme Standorte. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist daher geeignet, die Nähr- und Schadstoffbindungspotentiale von Böden zu beschreiben.

Methode

Die KAK_{eff} der Bodengesellschaften wird aus der Hauptbodenart der Oberböden und Unterböden abgeleitet (Tab. 1). Für den Oberboden wird eine Tiefe von 0 - 3 dm angenommen, für den Unterboden 3 - 15 dm. Zu der ermittelten KAK der Hauptbodenart wird die Austauschkapazität des Humus (Tab. 3), korrigiert um einen pH-Wert abhängigen Faktor (Tab. 2) addiert. Da in Abhängigkeit von Bodengenese und Nutzung sowohl die Humusgehalte als auch die Mächtigkeit der Humusschicht unterschiedlich sind und diese ebenfalls zur Berechnung der KAK herangezogen werden, werden für jede Bodengesellschaft unterschiedliche nutzungsspezifische Werte ermittelt.

Bodenart	KAK_{eff} [cmol/kg]	Bodenart	KAK_{eff} [cmol/kg]	Bodenart	KAK_{eff} [cmol/kg]
fS	2	Sl3	6	Ts4	15
G	2	Sl4	9	Tt	39
gS	2	Slu	9	Tu2	29
Ls2	13	St2	6	Tu3	21
Ls3	12	St3	11	Tu4	18
Ls4	12	Su2	2	Uls	9
Lt2	17	Su3	4	Us	5
Lt3	22	Su4	4	Ut2	9
Lts	19	Tl	29	Ut3	11
Lu	15	Ts2	28	Ut4	14
mS	2	Ts3	20	Uu	6
Sl2	4				

Tab. 1: Durchschnittliche KAK-Werte der Bodenarten (Bodenkundliche Kartieranleitung 2005)

pH-Wert ($CaCl_2$)	pH-Faktor
< 3,5	0,15
3,5 - < 4,5	0,25
4,5 - < 5,5	0,4
5,5 - < 6,5	0,6
6,5 - < 7,5	0,8
>= 7,5	1

Tab. 2: pH-Faktoren zur Ermittlung der effektiven KAK des Humusanteils (Bodenkundliche Kartieranleitung 2005)

Humusgehalt [Masse-%]	KAK_{pot} [$cmol_c$/kg]
0 - < 1	0
1 - < 2	3
2 - < 4	7
4 - < 8	15
8 - < 15	25
15 - < 30	50

Humusgehalt [Masse-%]	KAK_{pot} [$cmol_c/kg$]
30 - 100	110

Tab. 3: Beziehung zwischen dem Humusgehalt und der potentiellen KAK (Bodenkundliche Kartieranleitung 1994), erweitert um Torf Z3.

Die ermittelten Werte wurden zur Darstellung in der Karte entsprechend der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) in fünf Stufen von sehr gering bis sehr hoch unterteilt (Tab. 4).

KAK_{eff} [$cmol_c/kg$]	Stufe	Bezeichnung
0 - < 4	1	sehr gering
4 - < 8	2	gering
8 - < 12	3	mittel
12 - < 20	4	hoch
>= 20	5	sehr hoch

Tab. 4: Einstufung der effektiven Kationenaustauschkapazität (Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005), verändert

01.06.10 Gesättigte Wasserdurchlässigkeit (kf)

Beschreibung

Die gesättigte Wasserdurchlässigkeit (gesättigte Wasserleitfähigkeit, kf-Wert) kennzeichnet die Durchlässigkeit bzw. Permeabilität von vollständig wassergesättigten Böden. Sie hängt von der Bodenart und der Lagerungsdichte des Bodens ab. Lockere Böden mit hohen Sandgehalten haben daher eine wesentlich höhere Durchlässigkeit als tonreiche Böden, beispielsweise aus Geschiebemergel. Die gesättigte Wasserdurchlässigkeit ist wichtig für die Beurteilung von Staunässe, Filtereigenschaften, Erosionsanfälligkeit und Drainagewirksamkeit von Böden. Die Einheit der gesättigten Wasserdurchlässigkeit wird in cm/d oder m/s angegeben.

In der Regel liegen bei den terrestrischen Böden aber ungesättigte Wasserverhältnisse vor, wobei nur ein Teil der Poren mit Wasser gefüllt ist. Bei ungesättigten Verhältnissen ist die Wasserbewegung deutlich geringer. Ausserdem wird ein großer Teil des vorhandenen Wassers von den Pflanzen aufgenommen und steht für eine Verlagerung nicht mehr zur Verfügung. Da eine Messung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit (ku) sehr aufwendig und kompliziert ist, und deshalb keine ableitbaren Daten in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) vorliegen, wird in der wissenschaftlichen Praxis auf die abgesicherten Werte der gesättigten Wasserleitfähigkeit als grobes Maß zurückgegriffen.

Der Einfluss des Grobbodens wurde nicht berücksichtigt.

Methode

Der kf-Wert wurde für die Hauptbodenart des Ober- (0 - 10 cm Tiefe) und Unterbodens (90 - 100 cm Tiefe) nach Tab. 1 abgelesen. Der kf-Wert für Ober- und Unterboden ist der harmonische Mittelwert aus kf-Ober- und kf-Unterboden. Den in der Tabelle in Abhängigkeit von der Bodenart aufgeführten kf-Werten ist eine effektive Lagerungsdichte von Ld3 zugrunde gelegt, was im Mittel den Berliner Böden entspricht.

Bodenart	kf-Wert [cm/d]	Bodenart	kf-Wert [cm/d]
fHn	30	Slu	11
fS	106	Ss	229
fSms	169	St2	79
gSfs	130	St3	17

Bodenart	kf-Wert [cm/d]	Bodenart	kf-Wert [cm/d]
Hn	30	Su2	88
Hu	30	Su3	32
Ls2	20	Su4	24
Ls3	7	Tl	3
Ls4	14	Tt	2
Lt2	9	Tu2	5
Lt3	10	Tu3	28
Lts	6	Tu4	28
Lu	18	Uls	14
mS	427	Us	10
mSfs	221	Ut2	7
mSgs	281	Ut3	8
Sl2	49	Ut4	9
Sl3	33	Uu	7
Sl4	21		

Tab. 1: Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (kf-Wert) in Abhängigkeit von der Bodenart bei einer mittleren effektiven Lagerungsdichte von Ld3, ergänzt durch mittel zersetzte Torfe (Z3) bei mittlerem Substanzvolumen (SV3) nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (1994).

Die Ergebnisse der gesättigten Wasserdurchlässigkeit wurden für die Darstellung in der Karte in sechs Stufen von sehr gering bis äußerst hoch (1 - 6) nach Tab. 2 zusammengefasst.

kf-Wert [cm/d]	Stufe	Bezeichnung
0 - < 1	1	sehr gering
1 - < 10	2	gering
10 - < 40	3	mittel
40 - < 100	4	hoch
100 - < 300	5	sehr hoch
>= 300	6	äußerst hoch

Tab. 2: Einstufung der Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (Bodenkundliche Kartieranleitung 1994)

Literatur

[1] Aey, W. 1993:
Zuordnung von Bodenkenngrößen zu Bodengesellschaften und Nutzungen. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz.

[2] Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2018:
Statistischer Bericht E IV 4 – j/ 15.
Download:
https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2018/SB_E04-04-00_2015j01_BE.pdf (Zugriff am 06.12.2018)

[3] Bodenkundliche Kartieranleitung 1994:
4. Auflage; Hannover 1994.

[4] Bodenkundliche Kartieranleitung 2005:
5. Auflage; Hannover 2005.

[5] Fahrenhorst, C, Haubrok, A., Sydow, M. 1990:
Übernahme der Bodengesellschaftskarte Berlin in das Umweltinformationssystem Berlin und Zuordnung von Bodeninformationen. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz.

[6] Gerstenberg, J. H. 2013:
Erstellung von Karten zur Bewertung der Bodenfunktionen, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin 2013.
(Download pdf, 1,3 MB)

[7] Gerstenberg, J. H. 2015:
Erstellung von Karten zur Bewertung der Bodenfunktionen, der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin 2015.
(Download pdf, 2,9 MB)

[8] Gerstenberg, J. H. 2017:
Erstellung von Karten zur Bewertung der Bodenfunktionen, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, Berlin 2017
(Download pdf, 2,1 MB)

[9] Gerstenberg, J. H., Faensen-Thiebes, A., 2005:
Stufung der Nährstoffversorgung für die Bodenbewertung, Berlin, unveröffentlicht.

[10] Gerstenberg, J. H., Smettan, U., 2001, 2005, 2009:
Erstellung von Karten zur Bewertung der Bodenfunktionen, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin 2001, 2005, 2009.
(Download pdf; 1,2 MB)

[11] Grenzius, R. 1987:
Die Böden Berlins (West). Diss. TU Berlin.

[12] IPCC 2000:
Landuse, Landuse Change and Forestry. IPCC Special Report – Summary for Policymakers, 2000.

[13] Klingenfuß, C., Möller, D., Heller, C., Thrum, T., Köberich, K., Zeitz, J. 2015:
Berliner Moorböden im Klimawandel - Entwicklung einer Anpassungsstrategie zur Sicherung ihrer Ökosystemleistungen. UEPII-Forschungsprojekt, Abschlussbericht. (2015): Humboldt-Universität zu Berlin.
Download:
http://www.berliner-moorboeden.hu-berlin.de/downloads/Abschlussbericht-Berliner-Moorboeden-UEPII-HU-Berlin-2015.pdf (Zugriff am 06.12.2018)
Internet:
http://www.berliner-moorboeden.hu-berlin.de/content/project.php (Zugriff am 06.12.2018)

[14] Plath-Dreetz, R., Wessolek, G., Renger, M. 1988:
Analyse von Bodengesellschaften, Versiegelung, Vegetation und Grundwasserflurabstand zur Bestimmung der Grundwasserneubildung in Berlin. Teil 2, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.

[15] Schlichting, E., Blume, H.-P., Stahr, K. 1995:
Bodenkundliches Praktikum.

[16] Schwermetalluntersuchungsprogramm 1986, 1987:
Schwermetallgehalte im Oberboden. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin, unveröffentlicht.

Karten

[17] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen) (Hrsg.) 2018:
Umweltatlas Berlin, Karte 01.01 Bodengesellschaften, 1 : 50.000, Berlin.
Internet: https://www.berlin.de/umweltatlas/boden/bodenkundliche-kennwerte/2010/karten/artikel.948047.php