

Natürliche Kohlenstoffspeicher in Berlin

Ergebnisse des Forschungsprojektes NatKoS

Impressum

DOI: 10.18452/20027.2

<https://hu.berlin/natkos>

Bearbeitung

Dr. Christian Klingenuß

David-Paul Klein

Tina Thrum

Dr. Holger Fell

Juliane Klemm

Prof. Dr. Jutta Zeitz

Kontakt

Prof. Dr. Jutta Zeitz

Humboldt-Universität zu Berlin

Lebenswissenschaftliche Fakultät

Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar-

und Gartenbauwissenschaften

Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre

Albrecht-Thaer Weg 2

14195 Berlin-Dahlem

E-Mail: jutta.zeitz@agrار.hu-berlin.de

Tel.: 030 / 2093 46486

Layout und Grafik

eschdesigns / Philip Esch

Fotos und Abbildungen

Alle Fotos stammen vom Autorenteam, wenn nicht anders vermerkt.

Druck

Druckerei der Humboldt-Universität zu Berlin

Dorotheenstraße 26

10117 Berlin

Zitiervorschlag

Klingenuß, C.; Klein, D.-P.; Thrum, T.; Fell, H.; Klemm, J.; Zeitz, J. (2019): Natürliche Kohlenstoffspeicher in Berlin. Ergebnisse des Forschungsprojektes NatKoS. Broschüre. Humboldt-Universität zu Berlin.

DOI: 10.18452/20027.2

Förderhinweis

Das Vorhaben „Planungsinstrument für das CO₂-Management der natürlichen Kohlenstoffspeicher Berlins (NatKoS)“ (Projektlaufzeit: 07/2016 bis 06/2019) wurde im Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE) gefördert aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und des Landes Berlin (Förderkennzeichen 1095-B5-0).

Berlin, Juni 2019



HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



Natürliche Kohlenstoffspeicher in Berlin

Ergebnisse des
Forschungsprojektes NatKoS

Inhalt

Einführung	05
Worum geht es?	05
Was ist bereits bekannt?	07
Vorgehensweise	09
Definitionen	09
Untersuchung der Böden	12
Untersuchung der Vegetation	14
Datenauswertung	16
Erstellung der Karten	18
Lage der Untersuchungsstandorte	19
Forschungsergebnisse	21
Kohlenstoffspeicher nach Nutzungstypen	21
Kohlenstoffspeicher im Boden als Relikte der Vergangenheit.....	24
Kohlenstoffspeicher im Boden nach Störungstypen	25
Nutzungstyp Siedlung	28
Nutzungstyp Park	32
Nutzungstyp Kleingarten	36
Nutzungstyp Straße	40
Nutzungstyp Forst	44
Nutzungstyp Landwirtschaft.....	48
Sonderfall: Die Berliner Moore	52
Bewertung der natürlichen Kohlenstoffspeicher	54
Stadtplanungsinstrument	55
Kohlenstoffspeicher kennen und schützen	55
Vor-Ort-Kartierung und Kartierungstafeln	56
Ermittlung der natürlichen Kohlenstoffspeicher	59
Karten: Berlinweite Darstellung der natürlichen Kohlenstoffspeicher	61
Resümee und Empfehlungen	65
Summary and Recommendations	67
Quellenverzeichnis	69

Einführung

Worum geht es?

Natürliche Kohlenstoffspeicher enthalten Kohlendioxid (CO₂), das sich zuvor in der Atmosphäre befand. Daher sind sie ein hohes Schutzgut für eine Gesellschaft, die sich um Klimaschutz bemüht. Durch die Förderung des Forschungsprojektes NatKoS im Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE) leistet das Land Berlin einen Beitrag zum Klimaschutz.

Globale Bedeutung von Böden und Vegetation

Der Humus von Böden und die Biomasse der Vegetation sind als natürliche Kohlenstoffspeicher für den Klimaschutz von herausragender Bedeutung, da sie atmosphärisches Kohlendioxid aufnehmen und festlegen [1]. Weltweit sind die Böden mit bis zu 2.500 Gt Kohlenstoff (C) im ersten Meter der größte terrestrische Kohlenstoffspeicher (C-Speicher) und enthalten etwa zwei- bis dreimal so viel Kohlenstoff wie die Atmosphäre [2, 3]. In der Vegetation sind global dauerhaft zwischen 450 und 650 Gt Kohlenstoff gespeichert [2].

Klimawirksamkeit von Städten

Städte sind eine der Hauptquellen für CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger [4], die der Haupttreiber für den Klimawandel sind [1]. Der Anteil der heutigen globalen Landfläche, die von städtischen Böden bedeckt wird, liegt je nach Definition des urbanen Raums bei ungefähr 3 % [5, 6, 7]. Hier werden mindestens 70 % der globalen CO₂-Emissionen produziert [8]. Zudem führt die global fortschreitende Urbanisierung zu einer stetigen Umwandlung anderer Flächen in städtische Gebiete [9, 10]. Aus diesen Gründen gewinnt das Management der natürlichen C-Speicher in Städten für Klimaanpassungsstrategien zunehmend an Bedeutung. Die Erhaltung der C-Speicher und die dauerhafte Festlegung von atmosphärischem CO₂ sind die zentralen Ziele [3, 6, 11].

Wissensbasiertes Management: Ziele des NatKoS-Projektes

Für das Management der natürlichen C-Speicher sind detaillierte Kenntnisse über deren Eigenschaften und Verteilung in den verschiedenen urbanen Räumen notwendig. Hier setzte das Projekt NatKoS mit dem Ziel an, die vorhandenen Daten zusammenzustellen und auszuwerten, sowie durch gezielte Untersuchung der Böden und Vegetation in Berlin zu ergänzen, um eine umfangreiche, nutzbare Datenbasis zu schaffen. Diese bildet die Grundlage für ein neues Stadtplanungsinstrument und damit für das Management der natürlichen C-Speicher in Berlin.

Natürliche Kohlenstoffspeicher in der Klimaschutzpolitik Berlins

Das Land Berlin verfolgt ambitionierte Klimaschutzziele. Diese werden im Berliner Energiewendegesetz (EWG Bln) von 2016 definiert. Gegenüber dem Jahr 1990 sollen die Kohlendioxidemissionen bis 2050 um 85 % reduziert werden. Strategien und Maßnahmen zur Erreichung dieser Klimaschutzziele werden im Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm formuliert. Boden und Vegetation ordnen sich beim Ziel „Sicherung





Holzbiomasse und Humus sind effektive natürliche CO₂-Speicher

und Ausbau der Kohlendioxidsenken“ ein [12]. Letztere werden nach § 2 EWG Bln als „natürliche Reservoirs zur Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff“ definiert. Im Einzelnen sind dies „Moore“ und „Wälder“ sowie „Grün- und Freiflächen“. Daher sind z. B. der naturnahe Waldumbau, der in Berlin bereits seit drei Jahrzehnten praktiziert wird [13], und ein forstliches Umweltmonitoring Handlungsfelder innerhalb des Umsetzungskonzeptes zum „Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK)“ [12]. Die Berliner Wälder sollen für die Herausforderungen eines sich wandelnden Klimas „fit gemacht“ werden. Ebenfalls sollen mit dem Ziel des Erhaltes „von natürlichen Böden mit einer hohen Klimaschutzfunktion“ zukünftig die Belange des vorsorgenden Bodenschutzes in der räumlichen Planung auf verschiedenen Ebenen stärker berücksichtigt werden [12]. Aus den finanziellen Mitteln der Klimaschutzabgabe des Berliner Senats zur Kompensation von CO₂-Emissionen durch Dienstflüge werden Moore renaturiert, wie z. B. die Kleine Pelzlaake (2011–2012) und die Krumme Laake (2014–2016) im Forst Köpenick [14, 15].

Einsatz der Forschungsergebnisse in der Klimaschutzpolitik Berlins

Die Ergebnisse des Projektes sind innerhalb des „Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms 2030 (BEK)“ Teil des Umsetzungskonzeptes für den Zeitraum bis 2021 [12] und dort „Grundlage für den Aufbau einer digitalen Bodenpunkt-Datenbank und eines dauerhaft einzurichtenden Bodenmonitoringprogramms in Form von Bodendauerbeobachtungsflächen“.

Im Projekt NatKoS wurden zudem drei neue Karten für die großräumige Planung entwickelt, welche die berlinweite Verteilung der natürlichen C-Speicher zeigen (siehe S. 61–64). Die Karten stellen ein Update zur Analysekarte Klimaschutz“ im Stadtentwicklungsplan Klima (StEP Klima) dar [16]. Der besondere Wert der Forschungsergebnisse ergibt sich jedoch aus der Anwendung der neuen nutzungsspezifischen Daten. Mit dem NatKoS-Instrument können die C-Speichermengen von Zielflächen auf verschiedenen räumlichen Ebenen abgeschätzt und damit die Entwicklung der natürlichen Kohlenstoffspeicher prognostiziert werden.

Was ist bereits bekannt?

Kohlenstoffspeicher der Stadtböden

Die Höhe und Qualität des organischen Kohlenstoffs (Abk. „C“) im Boden kann durch den Menschen in vielerlei Hinsicht beeinflusst werden [17, 18, 19, 20, 21]. Humuskohlenstoff geht aus abgestorbener Biomasse hervor, und ist der für den Klimaschutz wertgebende, natürliche Anteil des organische Kohlenstoffs. Bautätigkeiten führen zu Humusverlusten und einem Anstieg der CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre [1, 22]. Andererseits kann in städtischen Gebieten der Auftrag von „neuem“ Bodenmaterial auf „ältere“ Böden zur Tiefenverlagerung von Humus bzw. Bodenkohlenstoff führen. Dieser wird dadurch eher stabilisiert [23, 24, 25]. Die frühere Annahme einer geringeren Kohlenstoffspeicherung in städtischen Böden im Vergleich zu Böden anderer Landnutzungen wurde durch mehrere empirische Studien widerlegt, siehe Tabelle unten.

Kohlenstoffspeicher von Stadtböden im internationalen Vergleich

Internationale Studienergebnisse zeigen eine breite Spanne bzw. Variabilität der organischen C-Speicher städtischer Böden [26]. Dies ist begründet in der großen Zahl urbaner Landnutzungsarten und verschiedener Arten von Bodenstörungen [10, 26, 27].

Beispiele organischer Kohlenstoffspeicher von Stadtböden

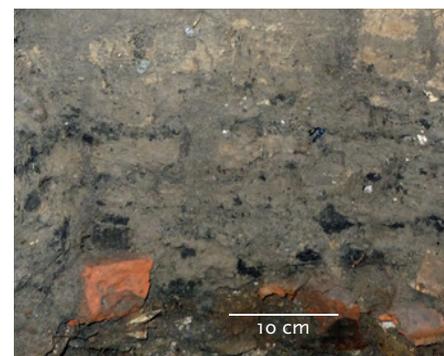
Quelle	Stadt/Land	Bodentiefe [cm]	organischer C-Speicher [kg/m ²]
Jo [28]	Chuncheon / Südkorea	0–60	2,5 ± 0,2
LORENZ & LAL [29]	Stuttgart / Deutschland	0–100	1,5 bis 28,5
ZHAO ET AL. [5]	Xinjiang / China	0–100	4,8 bis 18,5
VASENEV ET AL. [30]	Moskau Region / Russland	0–10 (Oberboden)	2,8 bis 7,1
		10–150 (Kulturschicht)	7,6 bis 81,9
CAMBOU ET AL. [31]	New York / USA	0–30	11,3 ± 11,5
	Paris / Frankreich	0–30	9,9 ± 3,9

Kohlenstoffspeicher des Stadtgrüns

Städtische Vegetation kann, neben ihrer Funktion als ästhetisches Gestaltungselement in urbanen Grünflächen, wichtige Ökosystemleistungen, wie beispielsweise Mikroklimaregulierung, Luftfilterung und Lärminderung, erbringen [32, 33]. Außerdem leisten die gepflanzten Bäume, Sträucher und Gräser einen Beitrag zum Klimaschutz, indem sie CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen und in Form von Biomasse speichern.

Künstlicher Bodenkohlenstoff

In stark durch den Mensch geprägten Böden ist ein Anteil des organischen Kohlenstoffs nicht natürlicher Herkunft. Die Bestimmung des sogenannten „technogenen“ Kohlenstoffs (C_{tech}) ist Gegenstand aktueller Forschungen und wurde in bisherigen Studien kaum berücksichtigt. Da der C_{tech} im Boden kaum oder gar nicht in den natürlichen globalen C-Kreislauf eingebunden ist, leistet er keinen Beitrag zum Klimaschutz im Sinne der Aufnahme und Speicherung von atmosphärischem CO₂. Diesen Beitrag leistet nur der Humuskohlenstoff.



Kohlebruchstücke im Unterboden einer Siedlungsfläche (Kaulsdorf) zählen zum „technogenen“ Kohlenstoff

Die städtische Vegetation kann sich aber auch in eine indirekte Treibhausgasquelle verwandeln, wenn der CO₂-Ausstoß der Grünflächenpflege bei der Grünflächenpflege, z. B. durch motorisierte Fahrzeuge, die CO₂-Festlegung in der Biomasse übersteigt [34].

Kohlenstoffspeicher des Stadtgrüns im internationalen Vergleich

Ältere Studien zum Thema der Kohlenstoffspeicherung in städtischer Vegetation konzentrieren sich auf Stadtbäume, welche mit Abstand den größten Anteil am C-Speicher der Vegetation einnehmen. Dies liegt zum einen an der großen Menge an Biomasse, die durch Bäume gebildet werden kann, und zum anderen an ihrem langen Lebenszyklus im Vergleich zu Sträuchern und Gräsern bzw. Kräutern. Ähnlich der C-Speichermengen in Böden, weisen auch die publizierten Daten der Vegetation sehr breite Spannen auf. Eine wichtige Ursache hierfür ist die starke Heterogenität der verschiedenen urbanen Nutzungsformen.

Beispiele der Kohlenstoffspeicher im Stadtgrün

Quelle	Stadt/Land	untersuchte Vegetationsstrukturen	C-Speicher [kg/m ²]
SCHREYER ET AL. [35]	Berlin/ Deutschland	oberirdische Biomasse von Bäumen	1,2 (ohne Berliner Forsten)
STROHBACH & HAASE [36]	Leipzig/ Deutschland	oberirdische Biomasse von Bäumen	1,2 ± 0,33 (0 bis 9,8)
KÄNDLER ET AL. [37]	Karlsruhe/ Deutschland	oberirdische Biomasse von Bäumen	3,2 (mit Stadtwald)
GARDI ET AL. [38]	Bern/ Schweiz	oberirdische Biomasse von Bäumen	1,5 ± 0,05 (ohne Wald und Landwirtschaft)
DAVIES ET AL. [39]	Leicester/ Großbritannien	oberirdische Biomasse von Bäumen und Sträuchern; krautige Biomasse	3,2 (0,14 bis 28,9)
NOWAK & CRANE [40]	New York/USA Syracuse/USA Sacramento/USA	ober- und unterirdische Biomasse von Bäumen	1,53 ± 0,19 2,3 ± 0,25 4,7 ± 2,3

Vorgehensweise

Definitionen

Im Projekt NatKoS wurden die C-Speicher von Böden und Vegetation innerhalb der administrativen Grenzen Berlins untersucht und bewertet. Wenn nicht anders benannt, beziehen sich Angaben über C-Speichermengen im Text und in Abbildungen ausschließlich auf Flächen mit unversiegeltem Boden. In der kartographischen Darstellung wurden jedoch flächen- und nutzungsspezifische Versiegelungsgrade bei der Berechnung der C-Speicher pro Flächeneinheit berücksichtigt. Die Untersuchungsflächen innerhalb eines jeden Nutzungstyps wurden nach fachlichen Kriterien ausgewählt und gleichmäßig über das Stadtgebiet verteilt, um die Repräsentativität für gesamt Berlin sicherzustellen (s. Karte S. 19).

NatKoS-Nutzungstypen

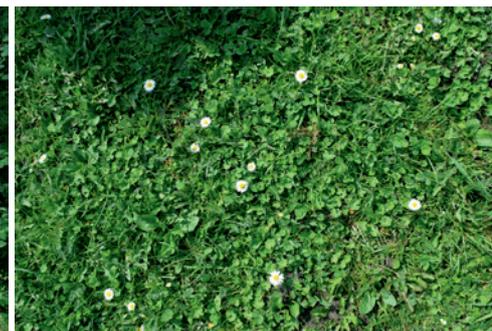
Urbane Nutzungen prägen die Böden intensiv und nachhaltig. Auch finden sich charakteristische Vegetationsstrukturen im Stadtgrün, die nutzungstypisch sind. Daher wurde die Flächenkulisse nach Nutzungstypen differenziert und die Anzahl der Untersuchungsflächen nach deren Flächenanteil geplant. Die Definition und Abgrenzung der NatKoS-Nutzungstypen ist in der Tabelle, S. 10 dargestellt. Sie basiert auf frei zugänglichen, berlinweiten Geodaten (siehe S. 18) [41, 42, 43, 44].

NatKoS-Vegetationskompartimente

Das Stadtgrün wird durch Vegetationsstrukturen geprägt, die immer wiederkehrende Elemente enthalten. Es sind dies Baumbestände bzw. Wald, Einzelbäume, Gebüsche und Hecken, Zier- und Trittrassen sowie krautig-grasartige Ruderalfluren. Das Vorkommen dieser Elemente ist mehr oder weniger charakteristisch für einen Nutzungstyp (siehe Tabelle, S. 10). Auf den Flächen der Berliner Forsten findet man fast ausschließlich Wald, während Rasen für Siedlungsgrün, Begleitgrün der Verkehrsflächen und Parks kennzeichnend ist.



Forschungsobjekt des Projektes:
Bewertung der C-Speicher in Boden
und Vegetation in Berlin.



Typische Vegetationsstrukturen in der Stadt: Bäume, Sträucher, Gräser und Kräuter.

Definition und Abgrenzung der NatKoS-Nutzungstypen

Nutzungstypen	Flächenanteil in Berlin [%] [45]	Definition des Bezugsraums (davon ausschließlich Flächen mit unversiegeltem Boden)	nicht enthalten
Siedlung	38,7	gebäudebegleitende Flächen im Siedlungsraum: alle Gärten, Grünanlagen und Baumbestände von Wohnhäusern und öffentlichen Gebäuden; auch Sondernutzungen wie Ausgleichsflächen des Naturschutzes oder Brachflächen auf ausgewiesenem Siedlungsland	Verkehrsflächen, Kleingärten nach Bundeskleingartengesetz
Park	5,9	öffentliche Parks und Gärten sowie geschützte Grünanlagen	
Kleingarten	4,5	Flächen nach Bundeskleingartengesetz und kleingartenähnliche Nutzungen (Wochenendhäuser)	alle anderen Gärten
Straße	11,0	Fahrbahnen, Plätze, Bürgersteige und Straßenbegleitgrün	Gleisanlagen, Flughäfen
Forst	17,5	bewaldete Flächen der Berliner Forsten	Nicht-Holzbodenflächen, Wälder der Parks, Grünanlagen, Gärten
Landwirtschaft	4,0	Grünland und Ackerland, Landwirtschaftsbrachen	Gärtnereien, Baumschulen
Moore	0,8	Flächen mit Moorböden nach bodenkundlicher Definition (mind. 30 cm Torf) [46]	Flächen mit mineralischen Auen- und Grundwasserböden

Flächen ohne aktuelle Nutzung (2.172 ha, 2,4 %) und Industrieflächen (5.488 ha, 6,2 %) wurden untersucht, aber aufgrund der zu geringen Stichprobe nicht statistisch ausgewertet. Gleisanlagen und Flughäfen (<2.627 ha, <2,9 %), Gärtnereien und Baumschulen (308 ha, 0,3 %) und Friedhöfe (1.131 ha, 1,3 %) wurden aufgrund geringer Flächenanteile lediglich bodenkundlich im Rahmen der Archivrecherche berücksichtigt.

Übersicht der untersuchten Vegetationskompartimente in den NatKoS-Nutzungstypen

Nutzungstyp	Vegetationsstrukturen			Totholz und Streu	
	Bäume	Sträucher	Gräser / Kräuter		
Siedlung	Bäume	Sträucher	Gräser / Kräuter	-	-
Park	Bäume	Sträucher	Gräser / Kräuter	-	Streu (inkl. Mulch)
Kleingarten	Bäume	Sträucher	Gräser / Kräuter	-	-
Straße	Bäume	-	-	-	-
Forst	Bäume	-	-	Totholz	Streu



Anzahl untersuchter Standorte nach Nutzungstypen

Nutzungstypen	Vegetation	Boden (Profile)
Siedlung	20	32
Park	28	55
Kleingarten	5	10
Straße	21	84*
Forst	34	36
Landwirtschaft	0	10
Sonstige/ohne Nutzung	4	2

* nur Oberboden untersucht (0–30 cm)



Untersuchung der Böden

Bodenuntersuchung vor Ort



Bodenuntersuchung im Straßenraum

Zur Untersuchung der Böden wurde an den ausgewählten Standorten eine Grube mit einer Tiefe von mindestens 30 cm, in der Regel jedoch bis zu 100 cm, ausgehoben. Wenn möglich wurde mit einem speziellen Handbohrer noch tiefer gebohrt. Es wurde das Bodenprofil – also die Abfolge der Bodenhorizonte – an einer der Seitenwände der Grube beschrieben. Das bedeutet, die Eigenschaften des Bodens wurden nach den Richtlinien der Bodenkundlichen Kartieranleitung [46] erfasst, Bodenhorizonte und Substrate identifiziert, und der Boden wurde in das deutsche Bodenklassifikationssystem eingeordnet.

Vor Ort wurden u. a. folgende Bodeneigenschaften erhoben, die für die Berechnung bzw. Schätzung der C-Speichermenge von Bedeutung sind:

- Bodenfarbe (MUNSELL-Farbwert),
- Durchwurzelungsintensität,
- Humusgehaltsklasse,
- Carbonatgehaltsklasse,
- Volumenanteil des Grobbodens (Kies und Steine), sowie
- Informationen über anthropogen abgelagerte Schichten und den Gehalt an künstlichen Beimengungen (z. B. Scherben, Mörtel, Ziegel, Kohle).

Entnahme von Bodenproben

An den Bodenprofilen wurden horizontweise repräsentative Misch- und Volumenproben entnommen. Je Profil waren es im Schnitt 2,5 Misch- und 4 Volumenproben. Der Fokus lag dabei auf den humosen Bodenhorizonten. Die dem Mineralboden im Wald aufliegende Humusschicht (Humusaufgabe) wurde flächenbezogen mittels Stechringen unterschiedlicher Größen an vier regelmäßig um das Bodenprofil verteilten Stellen beprobt um der kleinräumigen Heterogenität gerecht zu werden.

Bodenuntersuchung im Labor

Die Probenlagerung, -aufbereitung und Analysen folgten standardisierten Methoden (VDLUFA, DIN, ISO). Die Tabelle zeigt den Umfang der im Labor untersuchten Parameter und Horizonte:

Parameter	Anzahl untersuchter Horizonte
gesamter Kohlenstoff [%]	
gesamter Stickstoff [%]	~700
organischer Kohlenstoff [%]	
pH-Wert	
Trockenrohdichte des Feinbodens [g/cm ³]	170
Calciumcarbonat [%]	85
Korngrößenverteilung	106



Bodenuntersuchung im Labor

Foto: Bernd Prusowski © HU Berlin



Bodenuntersuchung vor Ort. (1) Für die Untersuchung der Böden konnten auch Baugruben genutzt werden, wie hier in einer Großwohnsiedlung in Lichtenberg. Die Horizontabfolge an der Profilwand (verschieden farbige Lagen) und ihre Eigenschaften wurden erhoben und Proben aus den Horizonten entnommen. (2) Der Handbohrer kam zum Einsatz, wenn die Anlage einer großen Bodengrube nicht möglich war. Mit ihm kann z. B. die Tiefenlage von Horizonten bestimmt werden. (3) Im Wald und gelegentlich im Siedlungsbereich befindet sich eine Humusschicht an der Oberfläche des Mineralbodens (Humusauflage). Diese wurde mit Stechrahmen bzw. Stechringen unterschiedlichen Flächeninhalts beprobt.

Untersuchung der Vegetation

Einteilung der Vegetation in Vegetationskompartimente

Ziel der Vegetationskartierung war es alle für einen Nutzungstyp charakteristischen C-Speicher auszuweisen. Dazu fand zunächst eine Aufteilung in Baumvegetation und Nicht-Baumvegetation statt (siehe S. 17). Unter „Baumvegetation“ werden alle Gehölze verstanden, die einen Brusthöhendurchmesser >7 cm aufweisen [36]. Der Brusthöhendurchmesser (BHD) ist definiert als der Stammdurchmesser eines Baumes oder Gehölzes in 130 cm Höhe [47]. Unter Nicht-Baumvegetation werden hingegen Sträucher, Gräser, Kräuter, Totholz sowie Streu zusammengefasst. Diese Einteilung ergab sich einerseits aus der Größe der zu erwartenden C-Speicher und andererseits aus der Art der Probenahme.



Messung des Brusthöhendurchmessers mit Hilfe einer Kluppe

Vegetationskartierung und Probenahme

Zunächst wurde vor Ort ein repräsentatives Teilareal gewählt, das alle charakteristischen Vegetationsstrukturen enthält. Dabei wurde keine starre Flächengröße genutzt, vielmehr wurden typische Strukturen innerhalb geometrischer Formen erfasst, z. B. ganze Innenhöfe oder Kleingartenparzellen (siehe Tabelle, S. 15). Im nächsten Schritt wurden alle Bäume auf der ausgewählten Flächeneinheit kartiert, d. h. die Baumart, der BHD und der Zustand (lebend/abgestorben) wurden auf einem Kartierungsbogen notiert.



Bestimmung der Biomasse von Sträuchern:
Strauchbereiche wurden kartiert, Proben entnommen, getrocknet und anschließend gewogen.

Die Erfassung der Biomasse der Strauch- und Gras-/Krautvegetation sowie von Totholz und Streu fand in einem separaten Schritt statt. Dazu wurden zufällige Stichproben der Strauchvegetation (Stichprobenumfang, $n=68$), Gräser/Kräuter ($n=24$) und Streu ($n=33$) in Parks, Klein- und Hausgärten erzeugt. Die Streu wurde innerhalb zusammenhängender Baumflächen gesammelt. Sie beinhaltet verschiedene Materialien aus dem Laubfall der Gehölze und angefallenes Mulchmaterial aus der Pflege der Grünanlagen. Die oberirdische Biomasse wurde nach den Vorschlägen von PEARSON ET AL. [47] kartiert und analysiert. Im Forst wurden zudem Stichproben für Totholz und Streu ($n=68$) erzeugt und beprobt [47]. Liegendes Totholz wurde innerhalb dieses Nutzungstyps mit Hilfe der Line-Intersect-Methode kartiert [48]. Anhand des entnommenen Probenmaterials wurde die typische Trockenmasse der verschiedenen Vegetationskompartimente ermittelt. Die Proben wurden dazu bei 70°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und danach gewogen. Für die Gras- und Krautvegetation wurden Kohlenstoffgehalte der oberirdischen Biomasse und Wurzelbiomasse an jeweils vier Proben bestimmt.



Bestimmung der Biomasse von Gräsern und Kräutern:
Proben wurden mit Hilfe eines Stechrahmens entnommen, ausgewaschen, getrocknet und anschließend gewogen.

Größe und Anzahl kartierter Flächen und Bäume nach Nutzungstyp

Nutzungstyp	Anzahl der untersuchten Flächen	Anzahl der kartierten Bäume	Spanne der kartierten Flächengrößen [m ²]
Siedlung	20	410	150–3590
Park	28	1794	490–24050
Kleingarten	5	37	230–1000
Straße	21	585	1570–6430
Forst	34	1387	225–1600
Gesamt	103	4213	-

Flächengrößen und Höhen der Vegetationsstrukturen: Anwendung der Vegetationshöhenkarte (Umweltatlas Berlin)

Mit Hilfe der frei zugänglichen Karte „Gebäude- und Vegetationshöhen 2009/2010“ lassen sich berlinweit Informationen zu Vegetationshöhen ableiten [49]. Im Rahmen der hier vorliegenden Auswertung wurden Flächen mit einer mittleren Vegetationshöhe von $\leq 0,2$ m als solche klassifiziert, auf denen Gräser und Kräuter wachsen (z. B. Gebrauchsrasen in Parks). Zur Ausweisung von mit Sträuchern bewachsenen Flächen wurde eine zweistufige Klassifizierung angewendet, indem zwischen niedrigen Sträuchern (bis zu einer Höhe von 1,8 m) und mittleren bis hohen Sträuchern (bis zu einer Höhe von 3 m) unterschieden wurde. Basierend auf der abgeleiteten Flächengröße dieser Vegetationsstrukturen konnten dann typische C-Speichermengen pro Flächeneinheit ermittelt werden. Zusammen mit den Ergebnissen der Baumkartierung, ließ sich so der gesamte C-Speicher der Vegetation für die untersuchten Standorte berechnen. Datengrundlage waren hierbei die Ergebnisse aus der Trockenmassebestimmung im Gelände.

Vegetationsstrukturen nach Vegetationshöhen [m]

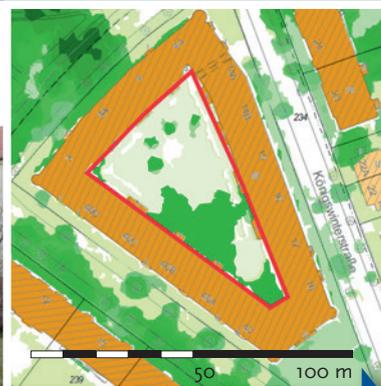
- Bäume: über 3 m
- Sträucher: 0,2 bis 3 m
- Gräser/Kräuter: unter 0,2 m
- Gebäude



Auswahl repräsentativer Flächen



Vor Ort:
Baumkartierung



Ableitung der Flächengrößen für Sträucher und Gräser / Kräuter mit Hilfe der Vegetationshöhenkarte

Beispielrechnung

16 Bäume
auf 500 m²
= 2500 kg C

100 m²
Strauchfläche
= 200 kg C

900 m²
Rasenfläche
= 300 kg C

= 3000 kg C
Gesamt

Datenauswertung

C-Speichermenge im Boden

$$C \text{ [kg/m}^2\text{]} = \sum_{i=1}^n (M_{Hi} \cdot \rho_{Hi} \cdot C_{Hi})$$

- n = Anzahl der Bodenhorizonte
- M_{Hi} = vertikale Horizontmächtigkeit für Bodenhorizont i
- ρ_{Hi} = Trockenrohddichte des Feinbodens für Bodenhorizont i
- C_{Hi} = organischer C-Gehalt für Bodenhorizont i

Berechnung der C-Speichermenge im Boden

Die C-Speicher der Böden wurden horizontweise aus der Trockenrohddichte des Feinbodens (i. F. als Dichte/Bodendichte bezeichnet), dem organischen C-Gehalt und der Horizontmächtigkeit berechnet und für jeden untersuchten Standort aufsummiert. Die Angabe erfolgt in Kilogramm Kohlenstoff pro Quadratmeter [kg C/m²]. Nicht für sämtliche Bodenhorizonte konnten die Dichte und der organische C-Gehalt im Labor bestimmt werden. Datenlücken mussten daher mit für vergleichbare Situationen statistisch abgeleiteten Kennwerten geschlossen werden (siehe Tabellen, S. 21).

Stadtböden enthalten häufig gröbere Materialien, z. B. Natursteine, Ziegelbruch, Streukies oder Müll. Diese machen zwar einen Teil des Bodenvolumens aus, speichern aber keinen natürlichen Kohlenstoff. Zudem ist eine repräsentative Entnahme von Volumenproben zur Bestimmung der Trockenrohddichte hier oft nicht möglich. Bei Bodenhorizonten mit erkennbarem Grobbodengehalt wurde daher der an der Bodenprofilwand geschätzte Volumenanteil des Grobbodens von der berechneten C-Speichermenge abgezogen.

Historische Flächennutzung

Zur Identifizierung der historischen Nutzung der untersuchten Flächen, welche nachhaltigen Einfluss auf die C-Speicher im Boden haben kann, wurden Luftbilder aus den Jahren 1928 und 1953 sowie diverse Stadtpläne und thematische Karten unterschiedlichen Alters ausgewertet [50].

Recherche von Archivdaten

Teilweise konnten die im Gelände und Labor gewonnenen Bodendaten mit Archivdaten der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (Abt. III D) und des Geographischen Instituts der Humboldt-Universität zu Berlin ergänzt werden. Es wurden mehr als 30 vollständig nutzbare Datensätze, d. h. im Sinne des Projektes ausreichend bodenkundlich beschriebene Standorte, identifiziert und in die Projektdatenbank aufgenommen.

Berechnung der C-Speichermenge in der Vegetation

Die C-Speichermenge der Vegetation je untersuchter Flächeneinheit ergibt sich aus der Summe der C-Speichermengen der einzelnen Bäume und der anderen Vegetationskompartimente:

$$C_{Veg} = \sum_{i=1}^n (C_B) + C_S + C_G + C_T + C_{St}$$

C_{Veg} = C-Speicher der Vegetation einer Fläche

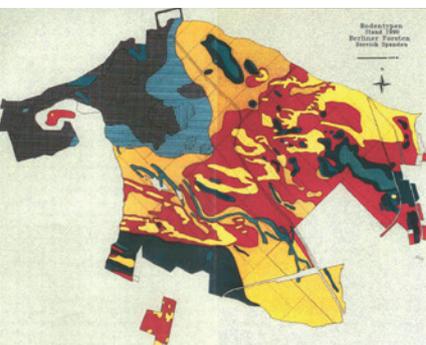
n = Anzahl der Bäume auf der Fläche C_B = C-Speicher für Baum i

C_S = C-Speicher der Sträucher

C_G = C-Speicher der Gräser und Kräuter

C_T = C-Speicher des Totholzes

C_{St} = C-Speicher der Streu



Legende zu den Böden, Bodengesellschaften Bereich Spandauer Forst

- 1 Rost- und Podsolbraunerde z.T. Podsol
- 2 Vergleyte Rostbraunerde - Gleyrostbraunerde
- 3 Rostbraunerdegley - Gley
- 4 Braunerdegley - Gley, kalkhaltiger Gley - Naßgley
- 5 Gley, kalkhaltiger Gley - Naßgley - Anmoorgley
- 6 Braunerdegley - Gley, kalkhaltiger Gley, Kalkgley
- 7 Gley, kalkhaltiger Gley, Kalkgley - Naßgley - Anmoorgley
- 8 Rostbraunerdegley - Feuchtpodsol - z.T. niedermoorartiges Übergangsmoor
- 9 Rostbraunerdegley - Gley - Naßgley - Anmoorgley - Moorgley
- 10 Gley - Naßgley - Anmoorgley
- 11 Gley - Naßgley - Anmoorgley - Moorgley
- 12 Typisches Niedermoor - Saures Niedermoor
- 13 Niedermoorartiges Übergangsmoor
- 14 Pararendzina und Regosol

Wertvolle Archivdaten:
Bodenkarte des Spandauer Forstes von 1991 [51]

Berechnung der C-Speichermenge der Baumvegetation

Die Bestimmung von C-Speichermengen in Bäumen setzt voraus, dass die Trockenmasse der kartierten Bäume bekannt ist. Dazu wurden allometrische Formeln verwendet [52, 53, 54, 55], die als Eingangsparameter den Brusthöhendurchmesser benötigen (siehe Beispiel rechts). Vor der Umrechnung der Trockenmasse in eine C-Speichermenge mussten außerdem einige Korrekturen durchgeführt werden: Die Trockenmasse stehender abgestorbener Bäume wurde jeweils um ein Drittel reduziert, um eine Überschätzung der Biomasse durch die allometrischen Formeln zu vermeiden [56]. Die meisten allometrischen Formeln stammen aus Untersuchungen natürlicher Waldbestände und bilden Einzelbäume, wie sie im Straßenland anzutreffen sind, nicht adäquat ab. Deshalb wurde dem Ansatz von McPHERSON ET AL. [57] folgend die Trockenmasse aller Straßenbäume um den Faktor 0,8 verringert. Für alle weiteren Nutzungstypen wurde angenommen, dass es sich um naturnahe Bestände handelt. Auf die Ableitung von Wurzelbiomassen wurde verzichtet, da sie mit hohen Unsicherheiten verbunden ist. Zur Berechnung der C-Speichermenge der oberirdischen Biomasse wurde die bekannte Annahme verwendet, dass ca. 50 % der Trockenmasse organischer Kohlenstoff ist [40, 56, 58].

Berechnung der C-Speichermenge der Nicht-Baumvegetation

Zur Berechnung der C-Speichermenge der Vegetationskompartimente Sträucher, Totholz und Streu wurden, wie auch bei Bäumen, die gemessenen Trockenmassen mit dem Faktor 0,5 multipliziert [58]. Für Gräser und Kräuter wurden die selbst ermittelten Umrechnungsfaktoren verwendet. Im Gegensatz zu den anderen Vegetationsstrukturen wurde bei letzteren außerdem die Wurzelbiomasse berücksichtigt, da sich hierfür zuverlässige Kennzahlen aus der eigenen Stichprobe ableiten ließen.

Statistische Auswertung

Für die statistische Analyse, Fehlerkontrolle, Validierung und Bewertung der unterschiedlichen Boden- und Vegetationsdaten wurde die Software R verwendet [59]. In der Präsentation und Anwendung der Ergebnisse wird in aller Regel der Median (50%-Wert) benutzt, da er bei der Streuung und Schiefe der vorliegenden Daten ein geeignetes Maß darstellt. Die Verwendung davon abweichender statistischer Maße, wie zum Beispiel das arithmetische Mittel, wird an gegebener Stelle erläutert.

Beispiel einer allometrischen Formel

Trockenmasse von Laubbäumen [60]

$$TM = \text{Exp}(-2,48 + 2,4835 \cdot \ln \text{BHD})$$

TM = Trockenmasse [kg]

BHD = Brusthöhendurchmesser [cm]

C-Speichermenge der Vegetation

**Baum-, Strauchvegetation,
Totholz und Streu:**

$$C \text{ [kg/m}^2\text{]} = \text{Trockenmasse} \cdot 0,5$$

**Gras-/Krautvegetation
(Spross/Wurzel):**

$$C \text{ [kg / m}^2\text{]} = \text{Trockenmasse} \cdot 0,34/0,36$$

Erstellung der Karten

Zur Parametrisierung des Stadtplanungsinstruments und mit dem Ziel einer berlinweiten Abschätzung der C-Speichermengen im Boden, wurden die untersuchten Standorte differenziert nach Nutzungstypen statistisch ausgewertet. Im Ergebnis stehen Boden-Kennwerte des C-Gehaltes, der Dichte und die C-Speichermengen für den Gesamtboden (0–100 cm) zur Verfügung.

Auch die erhobenen C-Speicher der Vegetation wurden differenziert nach ihren Vegetationskompartimenten ausgewertet und durch Fernerkundungsdaten (Vegetationshöhen) ergänzt. Hierfür wurde die Software ArcMap 10.5 verwendet. Die Vegetationshöhenkarte [49] liefert flächenscharfe Informationen zu den Vegetationsstrukturen von Bäumen, Sträuchern und Gräsern sowie deren Anteilen an den Nutzungstypen (siehe Infobox, S. 15). Basierend auf der Korrelation zwischen den vor Ort erhobenen C-Speichern und den mittleren Vegetationshöhen an diesen Standorten ließ sich ein lineares Regressionsmodell ableiten ($r^2=0,7$; $RMSE=1,9$). Für die Ermittlung dieses Zusammenhangs sind 98 Standorte in die Analyse eingegangen. Die Vegetationshöhen liefern somit eine geeignete Grundlage für die Regionalisierung der vor Ort erhobenen Kennwerte.

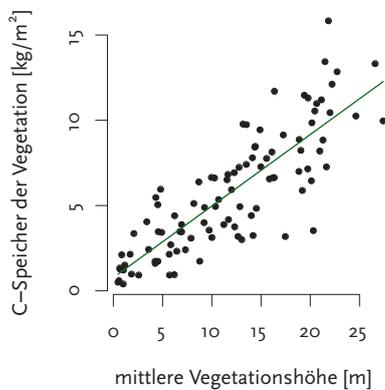
Zusammenhang zwischen C-Speicher und Vegetationshöhe

Lineares Regressionsmodell:

$$C_{\text{Fläche}} = 0,78 + 0,42 \cdot VH_{\text{Fläche}}$$

$VH_{\text{Fläche}}$ = mittlere Vegetationshöhe der Fläche [m]

(Stichprobenumfang = 98)



Regionalisierung der Informationen

Die Regionalisierung der Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation wurde auf Basis der Karte „Reale Nutzung 2015“ umgesetzt [43]. Sie liefert die notwendigen Basisinformationen zur Nutzung und zum Versiegelungsgrad von 24.437 Teilblockflächen. Flächenareale innerhalb dieser Karte, die sich keinem Nutzungstyp zuordnen ließen, wurden hierbei als sonstige Flächen klassifiziert (Anteil: 13 %). Straßenflächen sind in der Karte „Reale Nutzung 2015“ nicht explizit ausgewiesen. Sie wurden als „Negativ“ im Abgleich mit den flächendeckenden Daten zu den Berliner Ortsteilen ergänzt (314 Teilflächen).

Kohlenstoffspeicher in der Vegetation Berlins

Für die Teilblockflächen der Karte „Reale Nutzung 2015“ und das Straßenland wurden mittlere Vegetationshöhen berechnet. Anschließend konnte für jede Teilfläche mit Hilfe der bereits beschriebenen linearen Regression der mittlere C-Speicher der Vegetation abgeleitet werden.

Kohlenstoffspeicher in den Böden Berlins

Die Regionalisierung der C-Speicher im Boden erfolgt differenziert nach Nutzungstypen bis in eine Tiefe von 100 cm. Grundlage hierfür sind die abgeleiteten Kennwerte zu den C-Speichern aus den bodenkundlichen Erhebungen. Der in der Karte „Reale Nutzung 2015“ angegebene Versiegelungsgrad wurde bei der Regionalisierung berücksichtigt. Für die als „Sonstige Flächen“ klassifizierten Teilblöcke wurden keine mittleren C-Speicher ausgewiesen. Es handelt sich u. a. um Brachen, Bahn- und Industrieareale, für die entsprechende bodenkundliche Erhebungen fehlen.

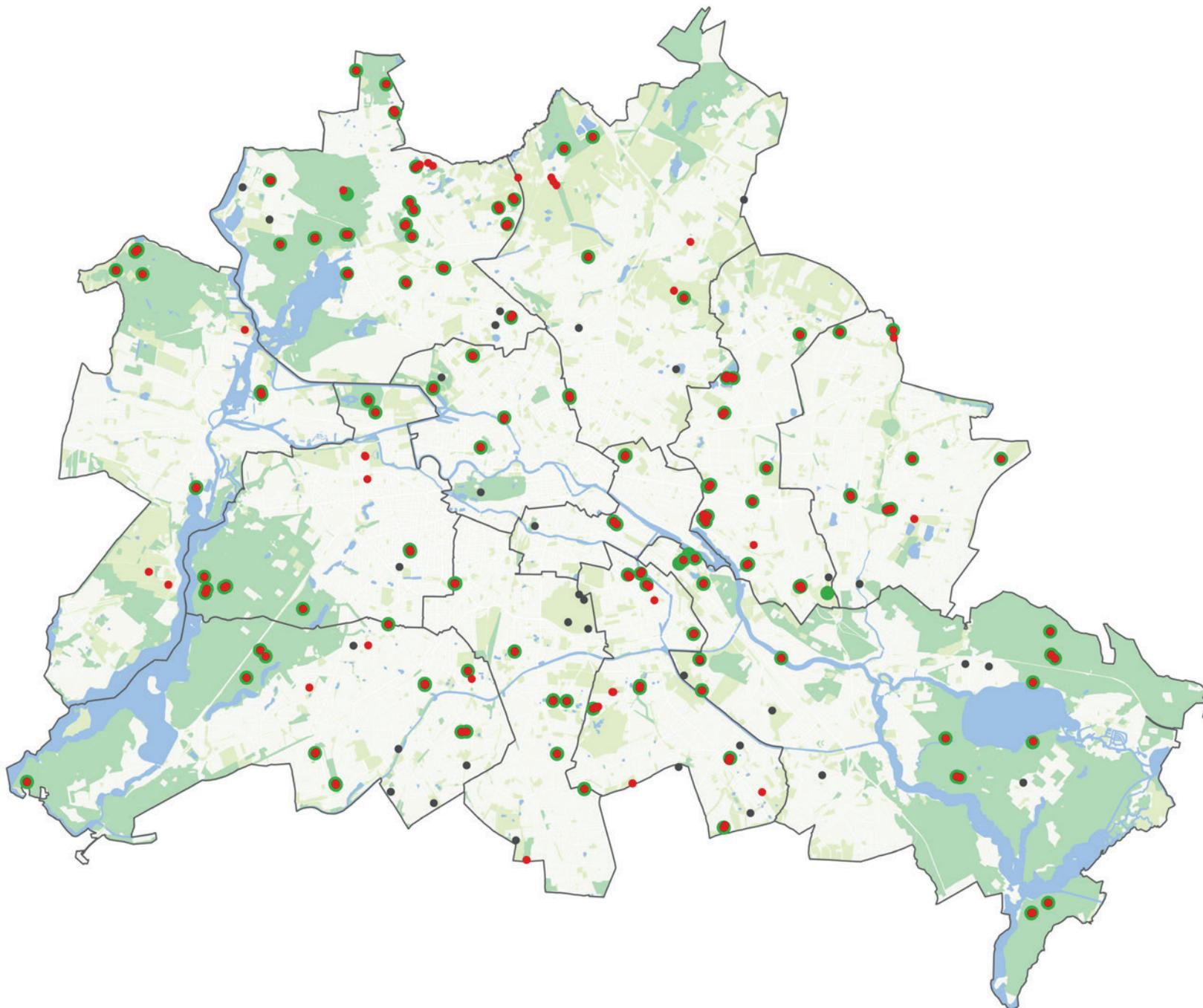
Lage der Untersuchungsstandorte

Erhebungen

- Bodenprofile NatKoS
- Bodenprofile Archiv
- Vegetation

Topographie

- Siedlung
- Gewässer
- Grün- und Freiflächen
- Wald
- Bezirksgrenzen





Forschungsergebnisse

Kohlenstoffspeicher nach Nutzungstypen

Der Klimaschutzwert der Landschaftsbestandteile Boden und Vegetation wird maßgeblich durch die Größe ihrer natürlichen C-Speicher bestimmt. In ihnen ist CO₂ gespeichert, welches der Atmosphäre dauerhaft entzogen wurde.

Kohlenstoffspeicher im Stadtgrün Berlins

Im Stadtgrün sind über alle Nutzungstypen flächengewichtet durchschnittlich 4,9 kg C/m² gespeichert, bei einer Spannweite von 0,9 bis 9,7 kg C/m². Somit ist die C-Speichermenge pro Flächeneinheit im Vergleich mit anderen Städten überdurchschnittlich hoch (siehe Tabelle, S. 8). Betrachtet man die C-Speicher hingegen ohne die für Berlin charakteristischen Forsten, so liegt der flächengewichtete Median bei nur 3,6 kg C/m². Die urbanen Nutzungstypen enthalten unterschiedliche Anteile charakteristischer Vegetationsstrukturen, die ihre C-Speichermengen determinieren. Da Bäume am meisten Kohlenstoff speichern, ist der C-Speicher der Vegetation in den Berliner Forsten mit 9,7 kg C/m² am höchsten. In Parks gibt es neben Rasenflächen meist auch waldähnliche Bereiche mit einem großen Altbaumbestand. Mit 5,0 kg C/m² stellen Parks deshalb die zweitgrößten C-Speicher im Vergleich der unterschiedlichen Nutzungstypen dar. Da auch der Straßenraum in Berlin durch Bäume geprägt ist, liegt der C-Speicher hier mit 4,4 kg C/m² auf einem ähnlichen Niveau wie im Nutzungstyp Park. Im Siedlungsraum sind die Vegetationsstrukturen sehr heterogen, im Mittel sind 3,6 kg C/m² gespeichert. Der C-Speicher hängt dort u. a. vom Alter der siedlungsbegleitenden Grünanlagen und vom Versiegelungsgrad ab. Die Vegetation der Kleingärten ist zwar sehr divers und ökologisch außerordentlich wertvoll, aber durch die geringe Anzahl an Bäumen und Gehölzen fällt der C-Speicher mit 1,5 kg C/m² eher gering aus.

Kohlenstoffspeicher der Berliner Böden

Die C-Speicher in den unversiegelten Berliner Böden liegen im Mittel über alle Nutzungstypen flächengewichtet bei 9,4 kg C/m². Mit dieser C-Speichermenge pro Flächeneinheit steht Berlin im internationalen Vergleich der untersuchten Städte im Mittelfeld, siehe Tabelle, S. 7. Deutlich am meisten Kohlenstoff wird – abgesehen von den Moorböden – in den Böden der Kleingärten gespeichert. Bei hohen mittleren C-Gehalten von 2,8 % im Oberboden sind dort sehr hohe C-Speicher von 18,1 kg C/m² zu finden. Gründe dafür sind die humusfördernde gärtnerische Nutzung und die Verbreitung grundwasserbeeinflusster Standorte in den Kleingartenanlagen. Wie bei der Vegetation, liegen die C-Speichermengen der Böden in Parks und Siedlungsraum eng beieinander (9,5 bzw. 9,4 kg C/m²), was am ähnlichen Nutzungsprofil und ähnlichen Eingriffen durch den Menschen liegt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass diese Zahlen den Versiegelungsgrad der Flächen nicht berücksichtigen und deshalb nur für unversiegelte Bereiche innerhalb des jeweiligen Nutzungstyps gelten können. Die Berliner Forsten liegen mit 7,4 kg C/m² etwas unter den zuvor genannten Nutzungstypen, jedoch kann hier als sicher gelten, dass dieser Kohlenstoff tatsächlich natürlicher Herkunft ist. In stark urban geprägten Nutzungstypen (Siedlung, Park, Straße) ist ein unbestimmter Teil des ermittelten C-Speichers künstlich, d. h. auf die vielfältigen Einflüsse des Menschen zurückzuführen. Die landwirtschaftlich genutzten Böden liegen mit 7,5 kg C/m² auf gleichem Niveau wie die Forsten.

Kohlenstoffgehalt des Bodens nach Nutzungstyp und Tiefenstufe

Nutzungstyp	0–30 cm	30–100 cm
	[Masse-%] (Median) Stichprobenumfang (n)	
Siedlung	1,45 n = 56	0,19 n = 73
Park	2,37 n = 98	0,52 n = 61
Kleingarten	2,78 n = 13	0,68 n = 18
Straße	1,75 n = 116	- -
Forst	2,18 n = 58	0,13 n = 42
Landwirtschaft	1,05 n = 16	0,18 n = 34

Bodendichte nach Nutzungstyp und Tiefenstufe

Nutzungstyp	0–30 cm	30–100 cm
	[g/cm ³] (Median) Stichprobenumfang (n)	
Siedlung	1,39 n = 33	1,59 n = 12
Park	1,27 n = 37	1,48 n = 5
Kleingarten	1,10 n = 7	1,50 n = 3
Straße	1,32 n = 6	- -
Forst	1,23 n = 41	1,44 n = 16
Landwirtschaft	1,58 n = 15	1,69 n = 5

Grobbodengehalt nach Nutzungstyp und Tiefenstufe

Nutzungstyp	0–30 cm	30–100 cm
	[Vol.-%] (Median) Stichprobenumfang (n)	
Siedlung	2 n = 44	5 n = 60
Park	2 n = 76	1 n = 70
Kleingarten	2 n = 8	2 n = 19
Straße	2 n = 179	- -
Forst	1 n = 38	1 n = 49
Landwirtschaft	4 n = 11	2 n = 34

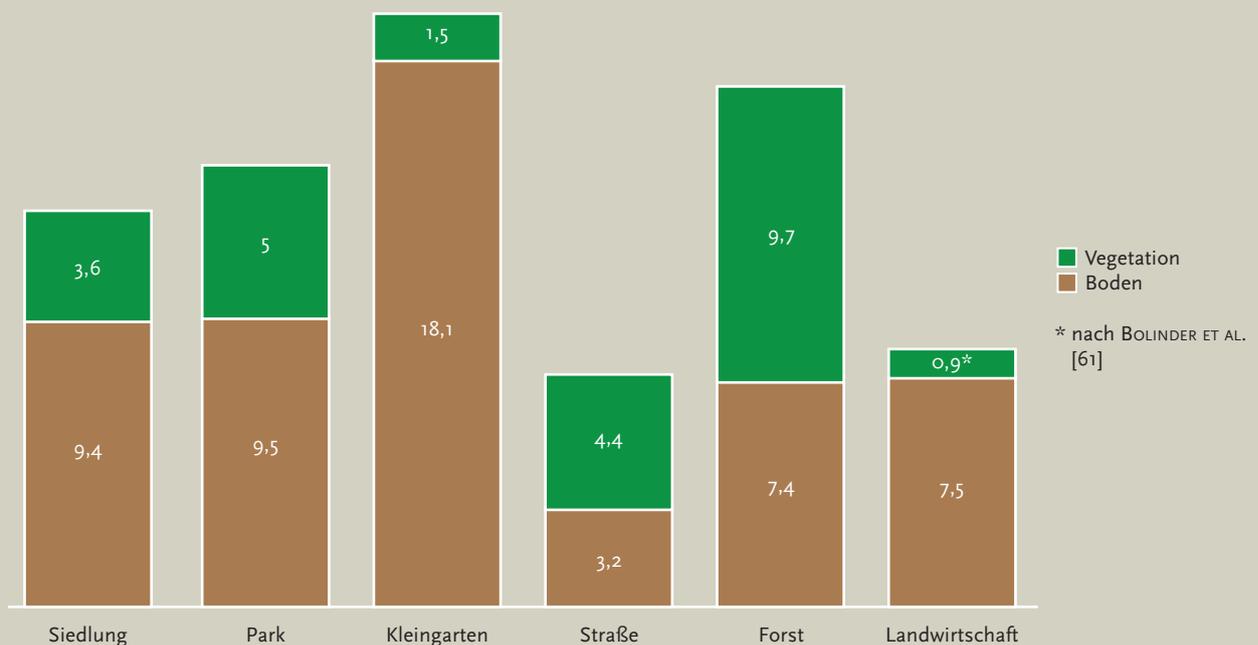
Steinige Stadtböden

Da grobe Bodenbestandteile (> 2 mm Durchmesser) im Gegensatz zum Feinboden keinen natürlichen Kohlenstoff speichern, verringern hohe Grobbodengehalte den gesamten Kohlenstoffspeicher des Bodens (siehe Berechnung des C-Speichers, S. 16). Zwar machen Steine, Kiese etc. in den untersuchten Horizonten im Mittel nur $\leq 5\%$ des Bodenvolumens aus (siehe Tabelle), allerdings ist die Streuung des Grobbodengehaltes v. a. in den stark urban geprägten Nutzungstypen Siedlung, Park und Straße sehr hoch. Das heißt, dass hier gelegentlich deutlich höhere, als die angegebenen mittleren Gehalte angetroffen wurden. Etwa 20 % der Oberbodenhorizonte und etwa 40 % der Unterbodenhorizonte im Siedlungsraum wiesen Grobbodengehalte über 5 Vol.-% auf. Das Vorkommen grober Bodenbestandteile ist im Innenstadtbereich meist auf Schutt-ablagerungen zurückzuführen. Die Fotos zeigen zwei Böden aus Trümmerschutt (Steglitz und Lichtenberg) mit bis zu 70 Vol.-% Grobboden.



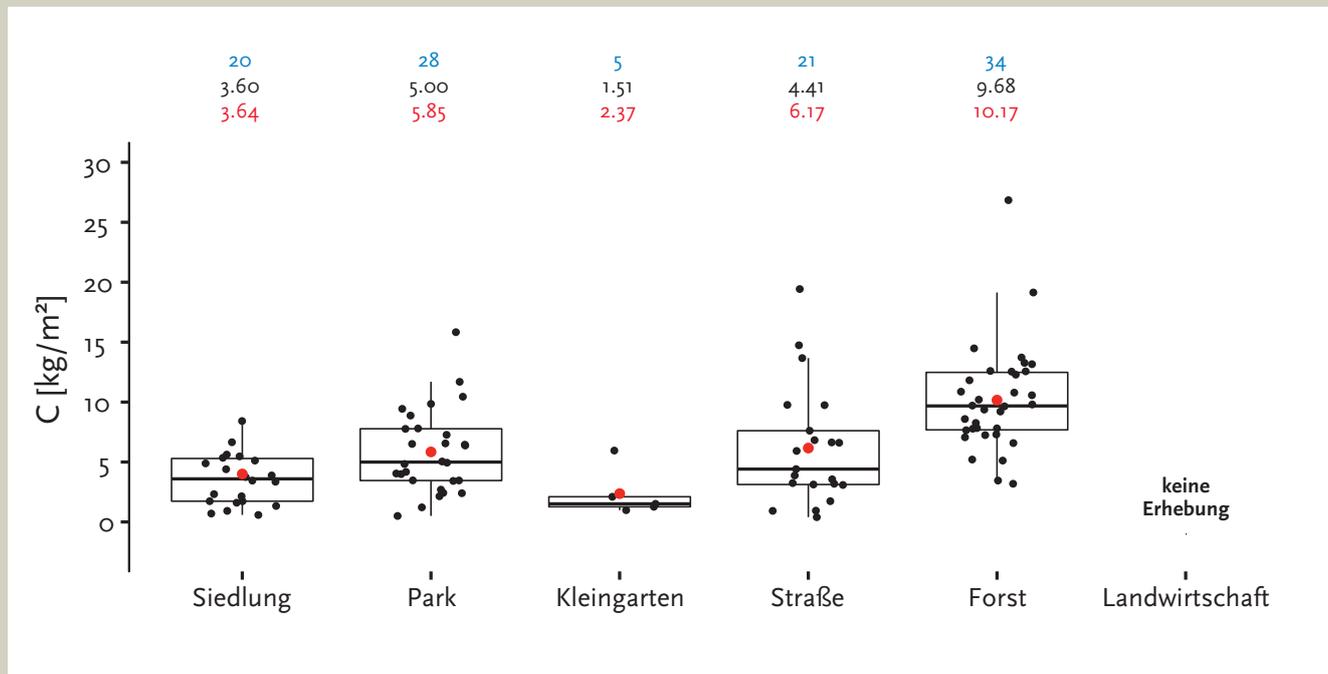
Gesamter natürlicher Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation nach Nutzungstypen [kg/m²]

nur unversiegelte Fläche, Boden: organischer Kohlenstoff, Tiefe 0–100 cm, außer Straßen: 0–30 cm



Kohlenstoffspeicher der Vegetation in Berlin nach Nutzungstypen

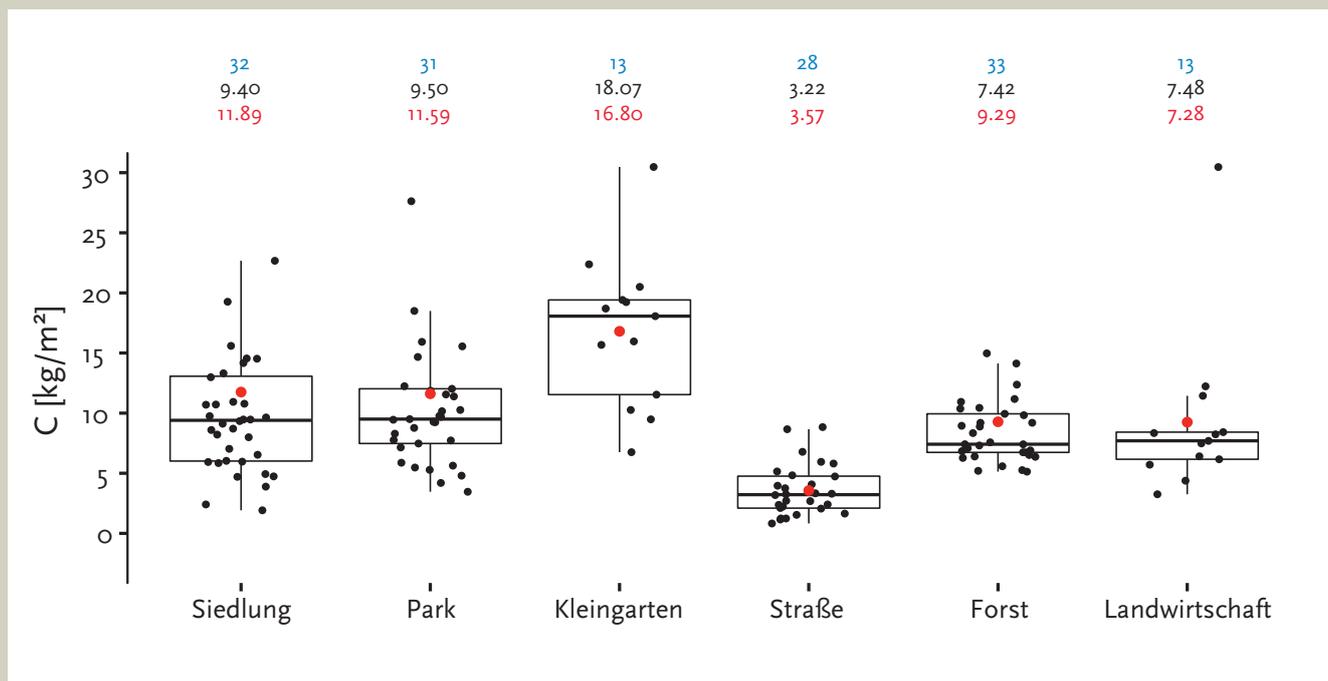
- Stichprobenumfang
- Median
- arithmetisches Mittel



Kohlenstoffspeicher der Berliner Böden nach Nutzungstypen

nur unversiegelte Fläche, organischer Kohlenstoff, Tiefe 0–100 cm, außer Straßen: 0–30 cm

- Stichprobenumfang
- Median
- arithmetisches Mittel



Kohlenstoffspeicher im Boden als Relikte der Vergangenheit

Sonderfall Rieselfelder

Unter den reliktschen C-Speichern in Berlin sind die Böden der ehemaligen Rieselfelder ein regionaler Sonderfall. Die Rieselfeldnutzung setzte eine umfassende Geländemodellierung voraus, welche mit der Zerstörung großer Flächen natürlichen Bodens verbunden war [63]. In den ausgedehnten Rieselbecken wurden die Abwässer der Großstadt geklärt. Es häuften sich mit der Zeit unter anderem organische Bestandteile an. Dies äußert sich noch heute in dezimeterdicken, stark humosen Bodenhorizonten und sehr großen C-Speichern. Diese sind zwar menschengemacht, enthalten aber viel organischen C natürlicher Herkunft und können zumindest als C-Speicher für den Klimaschutz positiv beurteilt werden. Nach Aufgabe der Rieselfelder wurden zumeist die Dämme geplant und die C-speichernden Horizonte dabei teilweise überdeckt [63].

Oft ist der C-Speicher im Boden größer als es der aktuelle Nutzungstyp vermuten lässt. Ursache können ehemalige Nutzungen oder reliktsche natürliche Standorteigenschaften, z. B. ehemals hohe Grundwasserstände, sein. Starke Bodenfeuchte hemmt den Abbau von Biomasse im Boden und führt in Grundwasserböden (Gleyen), Auen- und Moorböden zur Humusakkumulation und damit zu erheblich höheren C-Speichern als in Böden ohne Grundwassereinfluss. In Berlin wurden solche Standorte häufig mit einem Bodenauftrag aus Sand oder Bauschutt versehen, um sie trocken und tragfähig zu machen [62]. Aber auch humose Horizonte können als Relikt vergangener Flächennutzungen im Boden begraben sein und einen zusätzlichen wertvollen C-Speicher darstellen. Besonders in Böden unter ehemaligen Kleingartenanlagen, Gärtnereien, Baumschulen und Rieselfeldern ist der C-Speicher oft größer, als vermutet. Ein genauer Blick in den Boden lohnt sich! Werden dagegen die humosen Horizonte bei Baumaßnahmen vollständig entfernt, so wird der C-Speicher reduziert und die damit verbundene Nutzungsänderung ist nicht klimafreundlich.

Entwässerter und begrabener Grundwasserboden in der Grünanlage einer Großwohnsiedlung in Lichtenberg. Vor dem Siedlungsbau in den 1970er Jahren befand sich hier einst eine große Kleingartenanlage. Die im Zuge des Siedlungsbaus aufgetragenen Substrate bis in 60 cm Tiefe sind kalkhaltig und entstammen nicht der unmittelbaren Umgebung.



Kohlenstoffspeicher im Boden nach Störungstypen

Die Flächennutzung in Städten unterliegt einer großen Dynamik. Nutzungsänderungen sind immer mit der Veränderung von Böden und ihren C-Speichern verbunden, jedoch in höchst unterschiedlichem Maße [26]. Mit den üblichen bodenkundlichen Kategorien wie Bodentyp oder Substrattyp können diese Einflüsse des Menschen auf die C-Speicher nicht ausreichend systematisch beschrieben werden. Daher wurde im NatKoS-Projekt auf Basis der eigenen Bodenaufnahmen ein System entwickelt, das typische „Störungsmuster“ der Berliner Stadtböden und deren C-Speicher beschreibt.

Systematisierung der menschlichen Einflüsse auf den Boden: die Störungstypen

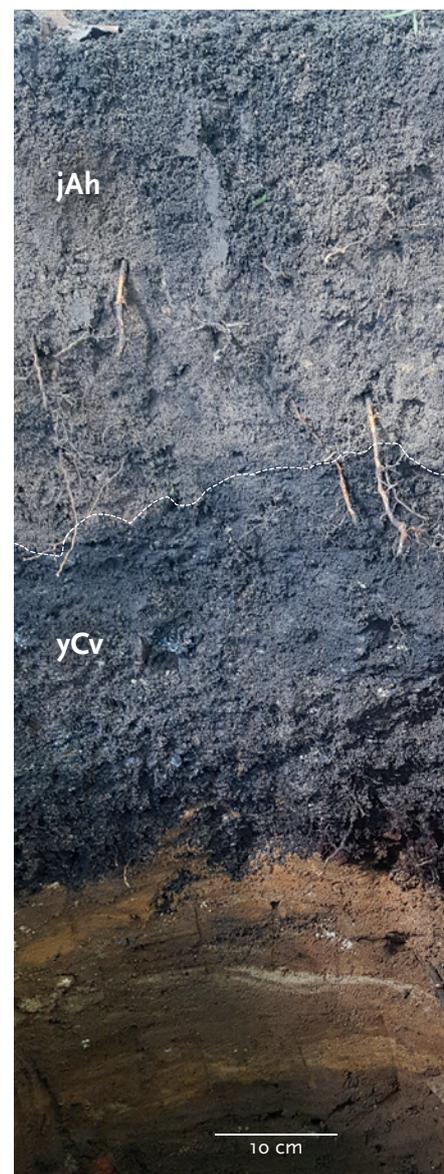
Die NatKoS-Störungstypen sind in der Tabelle S. 26 dargestellt. Die Böden werden demnach verschiedenen „Störungsmustern“ der Kategorien A bis C zugeordnet. Böden mit Störungsmuster des Typs A nehmen große Flächen im Siedlungsraum ein. Sie sind durch Bodenauftrag aus natürlichem oder künstlichem Material gekennzeichnet. Nahe der Bodenoberfläche sind immer zumindest kleine Mengen künstlicher Bestandteile enthalten und der junge Boden zeigt eine Horizontdifferenzierung, welche in der Regel nicht über die Bildung eines humosen Oberbodens hinausgeht (Ah/C-Boden). Die urbanen Auftragsböden unterscheiden sich jedoch extrem bezüglich der Größe ihrer C-Speicher.

Der **Störungstyp A1** weist mindestens einen Bodenhorizont auf, welcher wesentlich durch kohlenstoffhaltige Substrate künstlicher Herkunft geprägt ist, z.B. Kohle, Asche oder Bitumen (siehe Box, S. 7). Die C-Speicher dieser Horizonte sind künstlich erhöht, da ihre mittleren C-Gehalte mit 2,4 % mehr als doppelt so hoch liegen, wie in Horizonten ohne die genannten Bestandteile. Der künstliche Anteil des organischen Kohlenstoffs der A1-Böden besitzt keinen Klimaschutzwert.

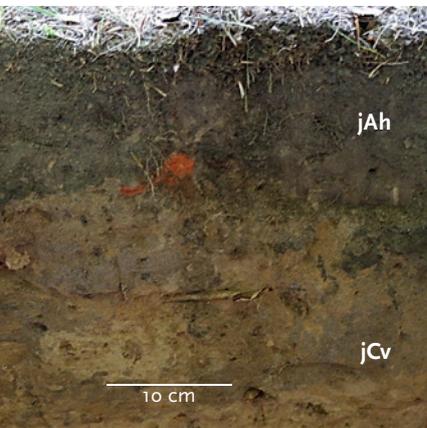
Der **Störungstyp A2** ist durch Bodenauftrag über dem natürlichen Boden gekennzeichnet. In weniger stark baulich verdichteten Siedlungsgebieten Berlins, welche einen hohen Anteil an Grün-, Freiflächen und Gärten aufweisen, kommen diese begrabenen Böden typischerweise vor. Oft ist die vollständige Horizontierung des alten Bodens unter dem jüngeren Bodenauftrag erhalten. Der begrabene humose Oberboden ist häufig als Pflughorizont (fAp) ausgeprägt, da viele neue Siedlungen auf ehemaligen Äckern vor der alten Kernstadt Berlin angelegt wurden [64]. Die Böden des Störungstyps A2 besitzen zwei oder mehr Horizonte mit natürlichen C-Speichern und sind daher im Sinne des Klimaschutzes besonders erhaltenswert.

Der **Störungstyp A3** umfasst alle Auftragsböden, die nicht den Kategorien A1 und A2 zugeordnet werden. Der Bodenauftrag dieses Störungstyps besteht entweder aus natürlichem, umlagerten Bodenmaterial oder aus künstlichem Bodenmaterial, z. B. Ziegel- und Betonbruchstücke, die kaum organischen Kohlenstoff künstlicher Herkunft beinhalten. In Berlin tritt dieser Typ sehr häufig auf und die C-Speicher sind aufgrund unterschiedlicher Humusgehalte und Horizontmächtigkeiten sehr unterschiedlich.

Die **B-Störungstypen** sind durch Bodenbearbeitung für die Kultivierung von Nutzpflanzen geprägt. Der Störungstyp B1 umfasst agrarisch genutzte Böden mit dem



Boden des Störungstyps A1
Auftragsboden in einem Hinterhof der Victoriastadt/Lichtenberg. Der schwarz gefärbte aus Kohle und Asche (yCv) besitzt einen C-Gehalt von 15,2 %, der jAh-Horizont liegt lediglich bei 1,6 %.



Sichtbare Störung des Bodens:
Die Durchmischung verschiedener Horizonte äußert sich in verschiedenfarbigen Flecken im jCv-Horizont (10–22 cm Tiefe) dieses Auftragsbodens (Steinbergpark/Reinickendorf).

typischen humosen Pflughorizont (Ap). Gartenböden bilden den Störungstyp B2. Die intensive gärtnerische Bodenbearbeitung wirkt fördernd auf den C-Speicher im Boden. Unter Zugabe von Kompost und regelmäßigem, tiefem Umgraben entstehen tiefgründig humose Böden. Daher besitzen Böden von Haus-, Schul- und Kleingärten oder gewerblichen Gärtnereien oft hohe C-Speicher. Auch die Böden von (ehemaligen) Baumschulen haben höhere C-Speicher, da durch das Tiefpflügen (Rigolen) humoser Oberboden in die Tiefe gelangte und der enthaltene Humus dort weitgehend dem Risiko der Umsetzung durch Mikroorganismen und der CO₂-Freisetzung entzogen wurde.

Der **Störungstyp C** ist durch minimale Störungen und eine naturnahe Horizontierung gekennzeichnet. In Berlin findet man diese Böden verbreitet im Wald, seltener in Parks und Gärten.

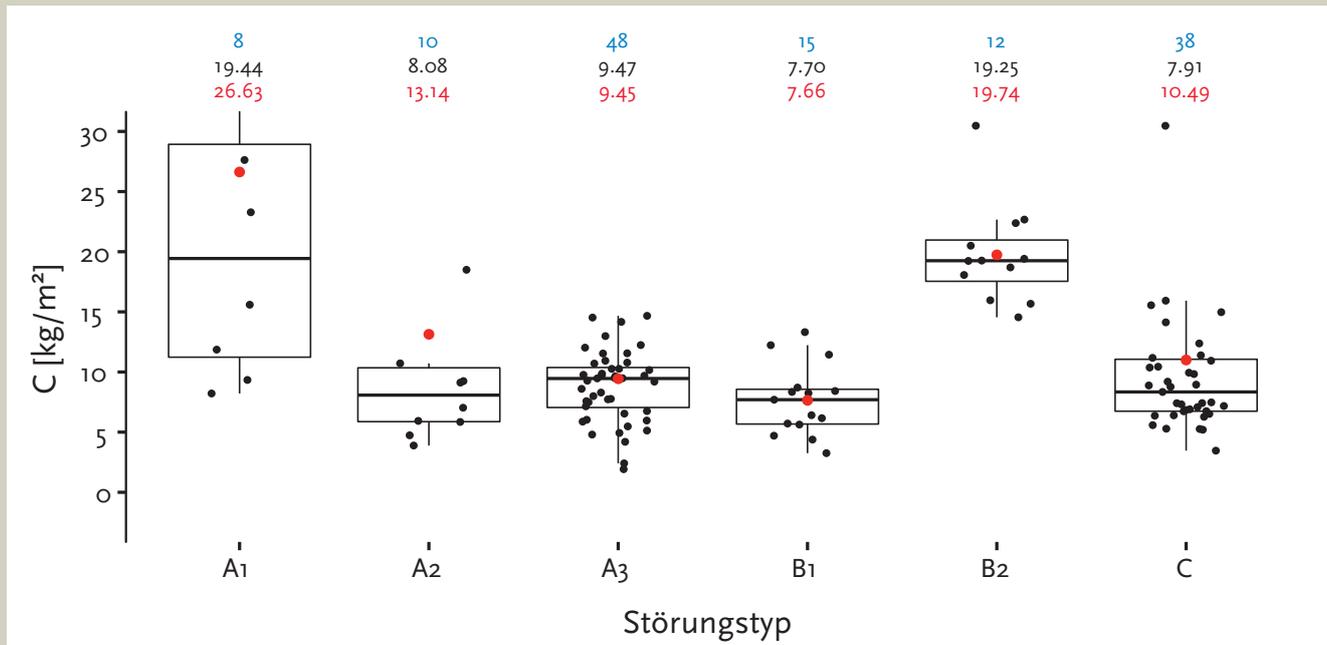
Definition der NatKoS-Störungstypen

Code	Bodenmerkmale	typische Horizontfolgen	Beispiele für Bodentypen
A1	Auftragsböden mit Horizonten, welche wesentlich durch kohlenstoffhaltige Substrate künstlicher Herkunft geprägt sind, oft mit schwarzgrauer Färbung	j(y)Ah/j(y)C j(y)Ai/j(y)C	Pararendzina, Regosol, Lockersyrosem
A2	Auftragsböden über begrabenen, natürlichen Böden	j(y)Ah/j(y)C/fAh j(y)Ah/j(y)C/fAp	Regosol über ..., Pararendzina über ...
A3	sonstige Auftragsböden außer A1 und A2; Bodenauftrag aus natürlichem, umlagerten Bodenmaterial oder aus künstlichem Bodenmaterial, welches kaum organischen Kohlenstoff künstlicher Herkunft beinhaltet	j(y)Ah/j(y)C j(y)Ai/j(y)C	Pararendzina, Regosol, Lockersyrosem
B1	agrarisch beeinflusste Böden mit Pflughorizont als Merkmal regelmäßiger Bodenbearbeitung	Ap rAp	Acker-Braunerde, Acker-Parabraunerde
B2	gartenbaulich beeinflusste Böden mit aktuellen oder reliktschen Merkmalen gärtnerischer Bodenbearbeitung (Pflügen, Rigolen, Umgraben), i. d. R. mit humusförderndem Materialeintrag	Ap/Ex R-Ap/R	Hortisol, Treposol
C	gewachsene Böden mit natürlicher Horizontierung, außerhalb des Waldes auch ohne organische Auflage; geringe Anteile von künstlichen Beimengungen oberflächennah möglich	L/O/Ah/B A(e)h/B Ah/Bv/rGo	Braunerde, Parabraunerde, Podsol

Kohlenstoffspeicher der Berliner Böden nach Störungstypen

nur unversiegelte Fläche, organischer Kohlenstoff, Tiefe 0–100 cm

■ Stichprobenumfang
 ■ Median
 ■ arithmetisches Mittel



Störungstyp A2



Störungstyp A3

Begrabener Ackerboden (links)

Etwa 50 cm mächtiger Bodenauftrag über einem natürlich gewachsenen, ehemaligen Ackerboden (fAp = begrabener Pflug-horizont) im Garten einer Reihenhaus-siedlung/Dahlem. Die weiße Linie markiert die Untergrenze des Bodenauftrags.

Tiefgründiger Bodenauftrag (rechts)

Bei dem Bau einer Großwohnsiedlung in Hohenschönhausen wurde dieser Boden „neu geschaffen“. Er besteht aus ca. 20 cm Mutterboden (jAh) über sehr mächtigem Sandauftrag. Das ehemalige, natürliche Bodenmaterial wurde beim Bau entweder entfernt oder tiefgründig begraben.

Nutzungstyp Siedlung

Spannweite der Kohlenstoff-speicher im Nutzungstyp Siedlung

Boden: 1,9 – 56,3 kg C/m²
Vegetation: 0,6 – 8,4 kg C/m²

Die Siedlungsgebiete Berlins nehmen gut ein Drittel der Stadtfläche ein. Während die Blockrandbebauung der Gründerzeit (bis ca. 1920) innerhalb des S-Bahn-Rings prägend ist, sind in der Peripherie Einfamilienhausgebiete mit offenen Siedlungsstrukturen und Großwohnsiedlungen der 1960er bis 1980er Jahre zu finden. Hinzu kommen Zeilenbebauungen aus den 1920er bis 1930er sowie 1950er Jahren und diverse Siedlungsformen der jüngeren Zeit.

Vegetationsstrukturen im Siedlungsraum

Die Grünanlagen und Gärten der Siedlungsgebiete sind durch intensive Pflege gekennzeichnet, welche der Strukturhaltung, der Ästhetik oder der reinen Nutzungsfunktion dient, z. B. als Tritt- oder Spielrasen. Manche Einzelbäume, Baumgruppen, Sträucher und Hecken sind Nutzpflanzen, wie z. B. Obstgehölze, andere sind gärtnerische Gestaltungselemente und dienen als Sichtschutz, Schatten- und Ruhespende. Bäume leisten mit durchschnittlich 93 % den größten Beitrag zum C-Speicher der Vegetation. Sträucher und Rasenflächen tragen im Mittel mit 7 % einen eher geringen Teil zur C-Speichermenge bei. Der C-Speicher der Vegetation der untersuchten Flächen lag im Mittel bei 3,6 kg C/m² und weist eine große Spanne auf (0,6 bis 8,4 kg C/m²). Diese Variabilität wird maßgeblich vom Alter und der Anzahl der gepflanzten Bäume bestimmt.

Böden im Siedlungsraum

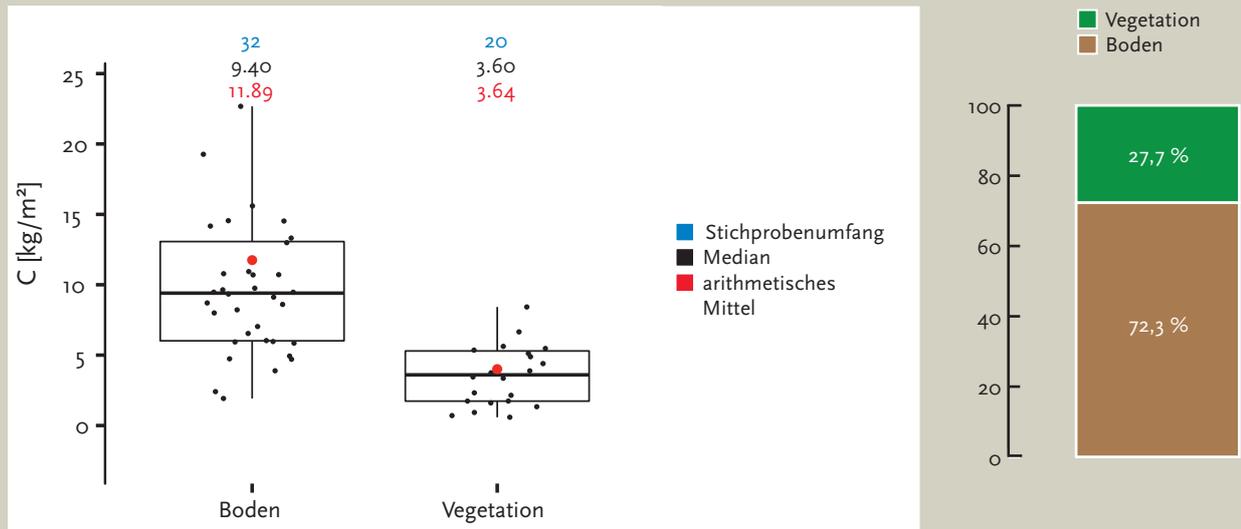
Die Böden im Siedlungsraum sind in der Regel durch Bautätigkeit überformt; die natürliche Bodenbildung ist gestört. Typischerweise finden sich dort junge Böden, die sich in umgelagerten, natürlichen Substraten, meist Sanden, entwickelt haben. Sie sind oft mit Bruchstücken aus Ziegel, Beton, Mörtel, Glas, Kunststoff, Schlacke, Asphalt u. a. vermischt. An der Oberfläche ist durch Auftrag von Mutterboden oder natürliche Humusbildung ein sehr unterschiedlich mächtiger humoser Oberbodenhorizont mit einem mittleren C-Gehalt von 1,4 % zu finden. Stark überprägte Siedlungsböden entwickeln sich in künstlichen Substraten, wie Bau und Trümmerschutt. Diese weisen vergleichsweise hohe pH-Werte von bis zu 8,0 auf, was oft durch fein verteilten, kalkhaltigen Mörtel verursacht wird. Häufig sind auch Spuren vergangener Nutzungsphasen im Boden enthalten, welche Einfluss auf den C-Speicher haben. Begrabene humose Oberböden sind typische verborgene C-Speicher, die in der Regel vom Bodenaushub der benachbarten Baugrube bedeckt wurden. In Siedlungsböden häufig vorkommende künstliche Materialien, wie Kohle, Asche, Asphalt und Kunststoffe, enthalten C-Anteile, die nicht durch Humusbildung entstanden sind. Sie sind nicht Teil des natürlichen C-Kreislaufs im Boden und daher im Sinne des Klimaschutzes keine schutzwürdigen C-Speicher. Die Böden im Siedlungsraum sind unterschiedlich stark maschinell oder durch Tritt und Befahren verdichtet, sie weisen Trockenrohdichten von bis zu 1,7 g/cm³ auf.



Artefakte aus dem Untergrund:
Glas, Metall, Keramik und Tierknochen aus einem Bodenprofil im Garten eines Einfamilienhauses

Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation im Nutzungstyp Siedlung

Gesamter C-Speicher bis 100 cm Tiefe (links) und Anteile am gesamten C-Speicher (rechts)





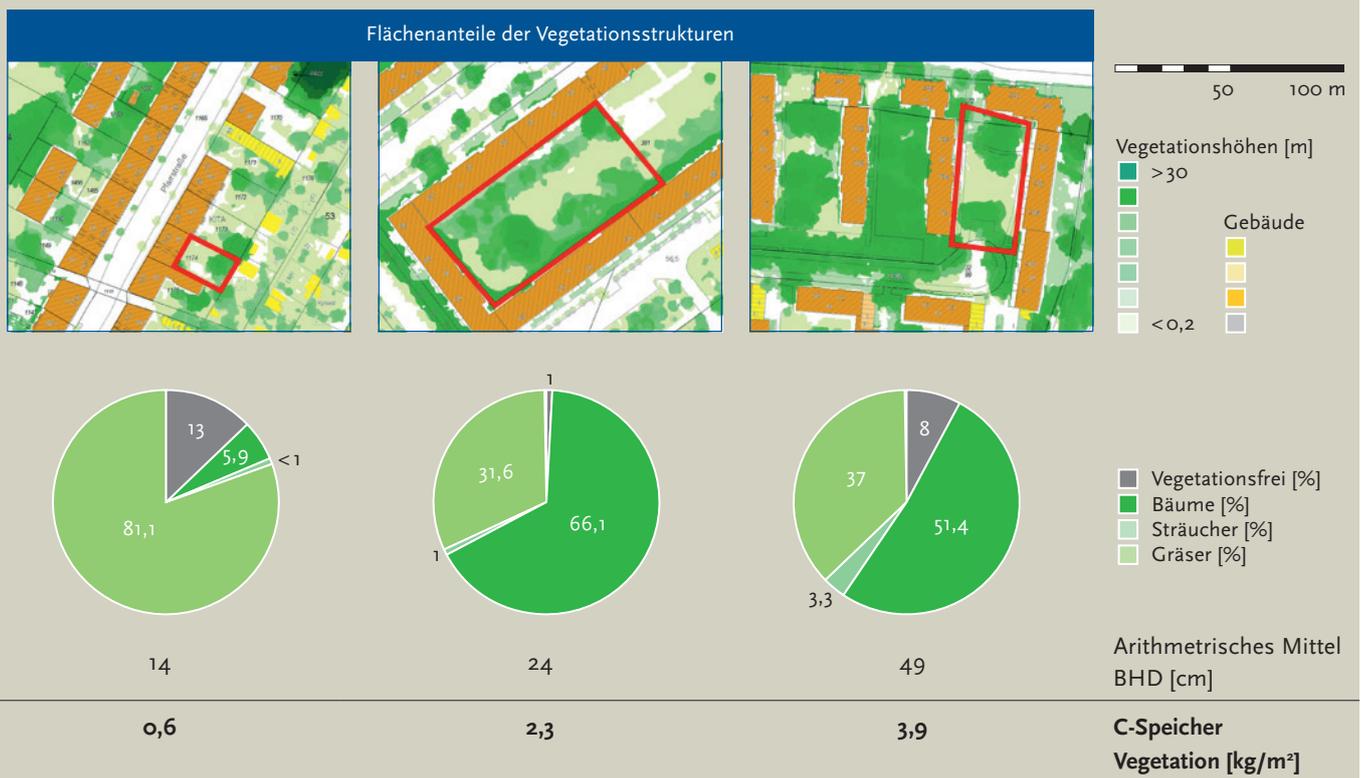
Flächenanteile der Vegetationsstrukturen in Siedlungen

Abgeleitet nach Umweltatlas Berlin / Gebäude- und Vegetationshöhen 2009/2010

Bäume stellen im Nutzungstyp Siedlung mit 50 % Flächenanteil ein wichtiges Gestaltungselement dar, welches durch Pflanzungen von Strauchvegetation ergänzt wird. Ein typisches Merkmal siedlungsbegleitender Grünflächen sind zudem große Rasenflächen, die genug Platz zur Freizeitgestaltung lassen.

Beispiel: Kohlenstoffspeicher der Vegetation von drei Siedlungsstandorten

Der Vergleich von drei unterschiedlichen Standorten im Siedlungsraum zeigt deutlich, dass der C-Speicher der Vegetation mit steigendem Anteil der Baumfläche zunimmt. Bei ähnlichem Baumflächenanteil wird der C-Speicher vom Brusthöhendurchmesser (BHD) bzw. dem Alter der Bäume bestimmt.



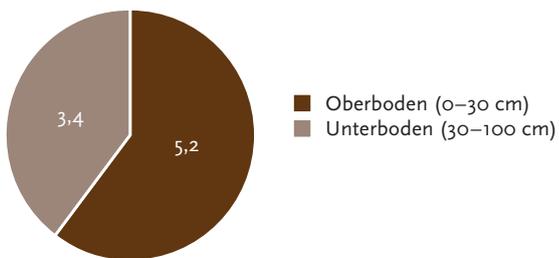


Auftragsboden über ehemaligem Ackerboden in Dahlem. Besonders gut erkennbar die klare Trennung (weiße Linie) zwischen gewachsenem Boden mit natürlicher Horizontierung im unteren Teil des Profils und den darüber liegenden Aufschüttungen mit groben Ziegelbruchstücken.

Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: 10,4 kg C/m²



Verteilung des Bodenkohlenstoffs im Nutzungstyp Siedlung [kg/m²]



Zwei Böden übereinander. Über einem vermutlich zur gärtnerischen Produktion genutzten, aufgeschütteten Boden mit deutlich humosem Oberboden (fjAp) hat sich seit 1978 im Garten eines Einfamilienhauses (Hermsdorf) ein neuer Auftragsboden entwickelt.

Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: 5,9 kg C/m²

Nutzungstyp Park

Spannweite der Kohlenstoff-speicher im Nutzungstyp Park

Boden: 3,5 – 39,7 kg C/m²
Vegetation: 0,5 – 15,8 kg C/m²

Die Parks und Grünanlagen Berlins nehmen rund 6 % der Stadtfläche ein. Sie sind in allen Größenordnungen vertreten und wirken sich durch den hohen Anteil an Flächen mit unversiegeltem Boden und Pflanzenbewuchs immer positiv auf die städtische Lebensqualität aus. Parks und Grünanlagen sind vielseitige, grüne Kontrasträume in der versiegelten und bebauten Stadt. Sie sind leiser und erholsam, die Luft ist kühler und sauberer, einige Parks wirken zudem inspirierend durch ihren historisch-kulturellen Wert.

Vegetationsstrukturen in Parks und Grünanlagen

Die Parks und geschützten Grünanlagen sind durch mehr oder weniger intensive Pflege gekennzeichnet, welche der Funktions- und Strukturhaltung dient. Größere zusammenhängende Baumpflanzungen, mit Strauchvegetation untermischt, sind typisch für die Randbereiche. Im Schatten dieser Gehölze bildet sich, durch natürlichen Laubfall oder auch pflegerische Aktivitäten, eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Streu- und Humusschicht. Ähnlich wie im Forst trägt sie zur Humusbildung im Boden bei. Für zentrale Parkareale sind schattenspendende Solitärbäume inmitten von großen Rasenflächen charakteristisch. Mit durchschnittlich 96 % leisten Bäume den größten Beitrag zum C-Speicher der Vegetation in Parks. Sträucher und Rasenflächen tragen im Mittel mit 3,5 % einen eher geringen Teil zur gesamten C-Speichermenge bei. Der gesamte C-Speicher der Vegetation der untersuchten Flächen lag im Mittel bei 5 kg C/m². Dies entspricht etwa der Hälfte der C-Speichermenge der Vegetation auf forstlich genutzten Flächen.

Böden in Parks und Grünanlagen

Alter, Geschichte und Nutzung der Parks in Berlin sind höchst unterschiedlich und damit auch die Eigenschaften ihrer Böden. Einige Parks sind weniger vom Menschen beeinflusst (z. B. Landschaftspark Glienicke, Heinrich-Laehr-Park). Andere Parks hingegen wurden vom Menschen vollständig neu angelegt, wie etwa der Freizeitpark Lübars auf einer ehemaligen Deponie oder der Volkspark Friedrichshain auf einem Trümmerschuttberg. Hier finden sich junge Böden auf künstlichen, meistens kalkhaltigen Substraten mit hohen pH-Werten um 6,5. Die Oberböden der Parks enthalten unterschiedliche Relikte früherer Siedlungstätigkeit wie Ziegel, Beton, Mörtel, Glas oder Kunststoff. Natürliche Böden ohne Einmischung dieser Materialien in den obersten 30 cm betreffen weniger als 10 % der untersuchten Standorte. Die Bodendichte ist oberflächennah in den Trittrassenbereichen oft höher als unter benachbarten Gehölzen; sie liegt in Parks zwischen 0,6 (unter Gehölzen) und 1,7 g/cm³ (unter Trittrassen). Bezüglich der C-Speichermenge heben sich ehemalige feuchte Standorte, wie der Südpark/Wilhelmstadt oder der Herbert-Krause-Park/Neukölln ab. Die Böden beider Parks stellen große C-Speicher mit deutlich über 20 kg C/m² dar. Weiterhin sind keine systematischen Einflüsse auf die Boden-C-Speicher durch Parkalter und Art der Anlage erkennbar.



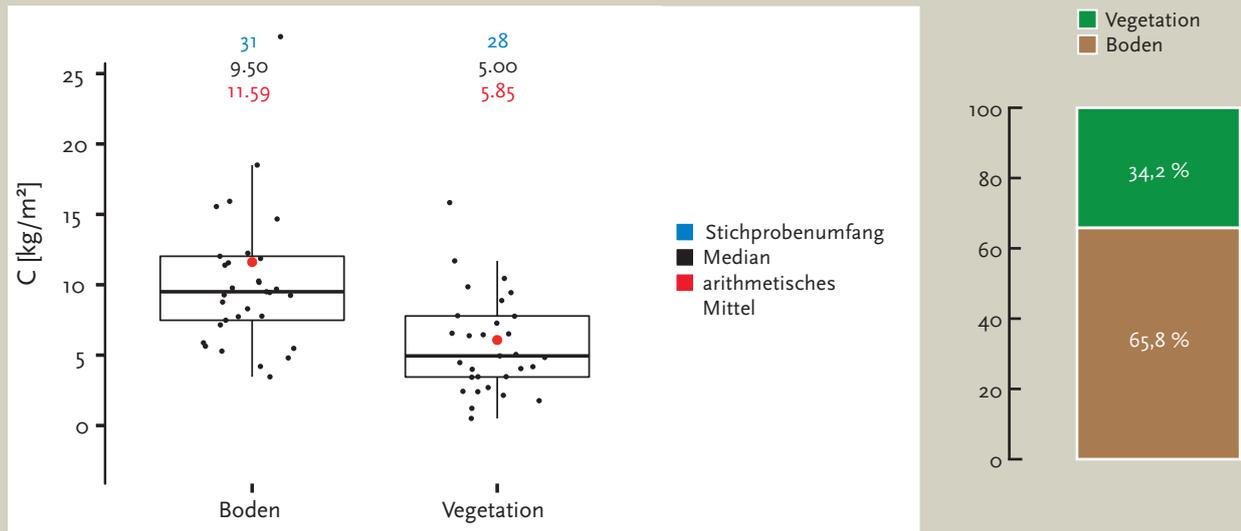
Hohe Bedeutung für die Erholung der Bevölkerung: Öffentliche Grünanlagen werden in Berlin durch das Grünanlagengesetz in ihrem Bestand geschützt.

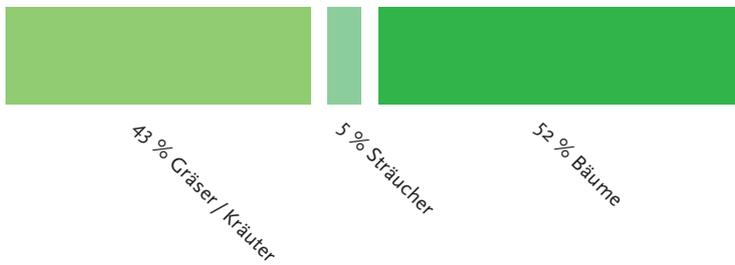


Stark humushaltiger Boden im Herbert-Krause-Park/Neukölln: Ehemaliger Grundwassereinfluss und Kleingartennutzung hinterlassen ihre Spuren in Form dunkler Humusfarben und hoher C-Gehalte von 3,3 %.

Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation im Nutzungstyp Park

Gesamter C-Speicher bis 100 cm Tiefe (links) und Anteile am gesamten C-Speicher (rechts)



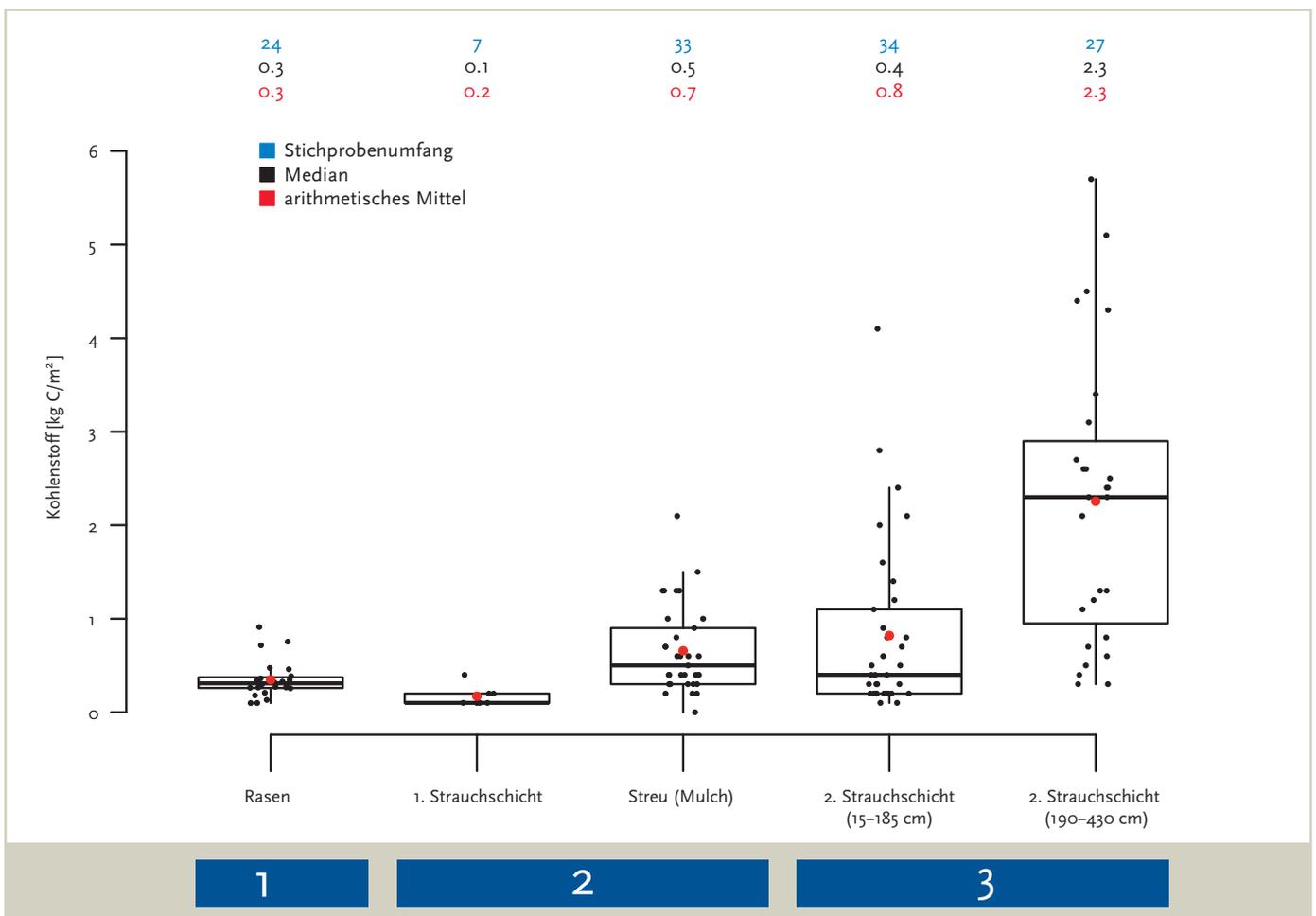


Flächenanteile der Vegetationsstrukturen in Parks

Abgeleitet nach Umweltatlas Berlin / Gebäude- und Vegetationshöhen 2009/2010

Zusammenhängende Flächen von Bäumen im Verbund mit Sträuchern in den Randbereichen sowie Solitär-bäume auf Rasenflächen sind ein typisches Merkmal von Parks und Grünanlagen. Bäume nehmen insgesamt 52 % der Fläche ein und tragen zum hohen C-Speicher dieses Nutzungstyps bei.

Kohlenstoffspeicher der unterschiedlichen Nicht-Baum-Vegetationskompartimente in Parks und Grünanlagen



- (1) Nutzrasen speichert im Mittel 0,3 kg C/m² (ober- und unterirdische Biomasse).
- (2) Ein typischer Vertreter der ersten Strauchschicht ist Efeu (*Hedera helix*). Streu und erste Strauchschicht speichern im Mittel gemeinsam 0,6 kg C/m².
- (3) Niedrige Sträucher (15–185 cm), z. B. die Schneebeere (*Symphoricarpos albus*), speichern im Mittel 0,5 kg C/m². Hohe Sträucher (190–430 cm), wie Felsenbirne (*Amelanchier spp.*) oder Hartriegel (*Cornus mas*), speichern im Mittel 2,3 kg C/m². Sie bilden meist mehrere kräftige Stämme aus und stellen hinsichtlich des C-Speichervermögens den Übergang zur Baumvegetation dar.

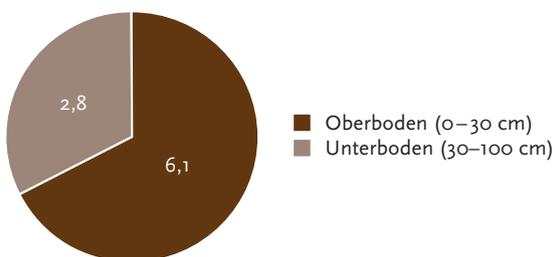


Die Böden im Freizeitpark Lübars entwickeln sich in den Substraten der Deponieabdeckung aus Sand und Bauschutt. Die carbonatarmen Regosole unter einer Gras- und Krautflur im Bereich des „Rodelhangs“ sind stark verdichtet (Foto links). In den Gebüschern sind die Böden dagegen lockerer gelagert und die Oberböden stark durchwurzelt (Foto rechts). Dadurch wird die natürliche Humusbildung gefördert.

Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: 12,2 kg C/m²

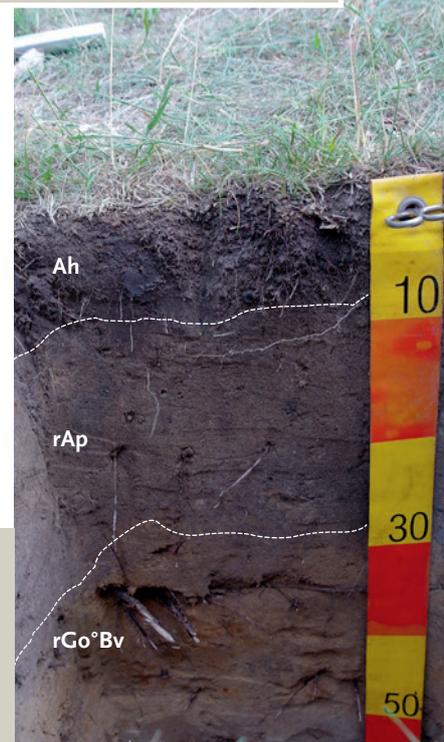
Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: > 18,6 kg C/m²

Verteilung des Kohlenstoffs im Boden der Parks und Grünanlagen [kg/m²]



Der Peter-Witte-Park in Wittenau ist durch relativ naturnahe Böden gekennzeichnet. Das Bild (rechts) zeigt einen Übergangsbodentyp zwischen Grundwasserboden und Braunerde, der einst ackerbaulich genutzt wurde (rAp = ehemals gepflügter, humoser Horizont).

Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: 5,6 kg C/m²



Nutzungstyp Kleingarten

Spannweite der Kohlenstoff-speicher im Nutzungstyp Kleingarten

Boden: 6,8 – 30,5 kg C/m²
Vegetation: 1,0 – 6,0 kg C/m²

Die Berliner Kleingärten nehmen eine Fläche von rund 2.900 ha und somit rund 4,5 % der gesamten Stadtfläche ein. Keine vergleichbare Metropole hat eine so große Fläche an Kleingärten im Einzugsbereich der Innenstadt. Diese verteilen sich auf alle Bezirke, konzentrieren sich jedoch am äußeren Rand des S-Bahn-Ringes in unmittelbarer Nähe dicht besiedelter Quartiere. Damit erfüllen sie zunächst eine wesentliche Funktion für die Erholung der dort lebenden Menschen. Daneben leisten Böden und Vegetation der Kleingärten einen wichtigen Beitrag zum Natur- und Klimaschutz in der Stadt. So besitzen 96 % der Kleingartenflächen aus stadtklimatischer Sicht (Kalt- und Frischluftzufuhr) eine hohe bis höchste Schutzwürdigkeit und 86 % verfügen über schutzwürdige Böden [65].

Vegetationsstrukturen in Kleingärten

Die Nutzung von Kleingärten unterliegt dem Bundeskleingartengesetz (BKleingG). Eine kleingärtnerische Nutzung beinhaltet die Gewinnung von Gartenbauerzeugnissen für den Eigenbedarf und die Nutzung zur Erholung, wobei mindestens ein Drittel der Fläche für den Anbau von Obst und Gemüse zu verwenden ist [66, 67]. Zwei Drittel können hingegen als Rasenfläche genutzt werden. Die Reglementierung der Nutzung und der Höhe von Bäumen in Kleingärten schränken das C-Speicherungspotenzial in der Vegetation ein. Hier stehen die gärtnerische Vielfalt und der Anbau kleinbleibender Nutzgehölze im Vordergrund. Beetkulturen, wie Gemüse und Kräuter, bedecken den Boden nicht ganzjährig, und ein Großteil des in der Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs wird mit der Ernte von der Fläche genommen. Deshalb speichert die gesamte Vegetation auf den untersuchten Parzellen im Mittel nur 1,5 kg C/m².

Böden in Kleingärten

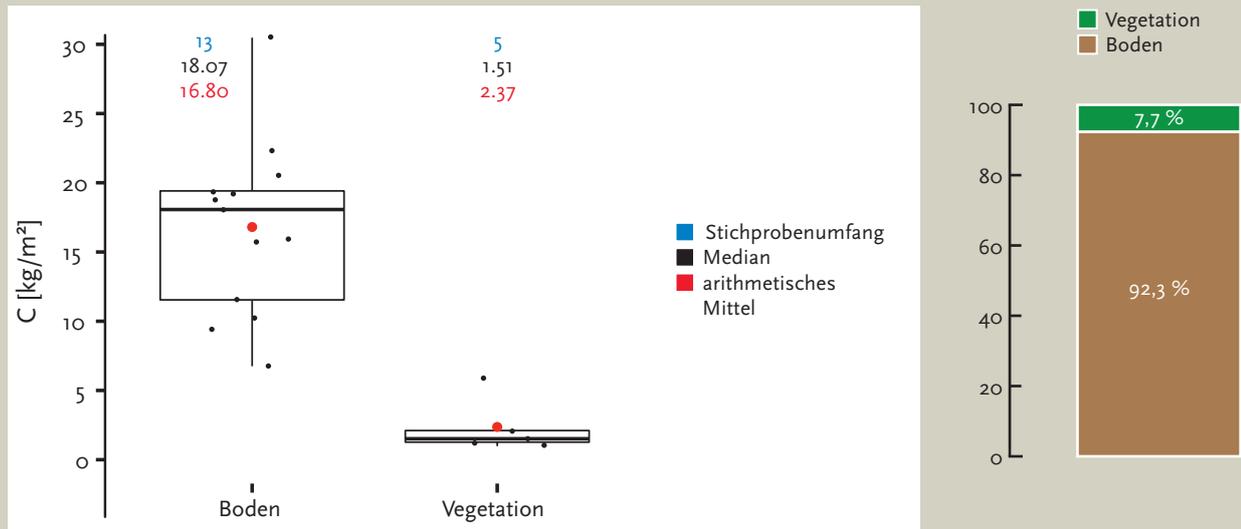
In den Kleingartenanlagen Berlins sind typischerweise tiefgründig humusreiche Böden, z. B. die sogenannten Hortisole (von lateinisch hortus = Garten, solum = Boden), sehr verbreitet. Diese haben sich durch langjährige, intensive gärtnerische Nutzung aus einem anderen Boden entwickelt, der manchmal im unteren Teil des Bodenprofils noch erkennbar ist. Die häufige Zufuhr organischer Substanz, tiefes Umgraben, gute Wasserversorgung etc. haben die biologische Aktivität angeregt und zur Ausbildung mindestens 40 cm mächtiger, humoser Horizonte (Ap, Ex) geführt. Der C-Gehalt der Oberböden der im Projekt untersuchten Kleingärten beträgt im Mittel 2,8 % und ist damit gegenüber Böden anderer Nutzung deutlich erhöht. NALBANT [68] ermittelte sogar noch höhere C-Gehalte von 3,3 %. Aufgrund der mächtigen, sehr humusreichen Horizonte speichern die Böden dieses Nutzungstyps deutlich mehr Kohlenstoff als die Vegetation. Auch die Lage vieler Kleingärten an (z. T. ehemals) grundfeuchten Standorten wirkt sich positiv auf die mittleren C-Gehalte und C-Speicher der Böden aus. Die Nässe dieser Grundwasserböden verlangsamt die Zersetzung des organischen Materials und führt(e) zur Anreicherung von Humus-C.

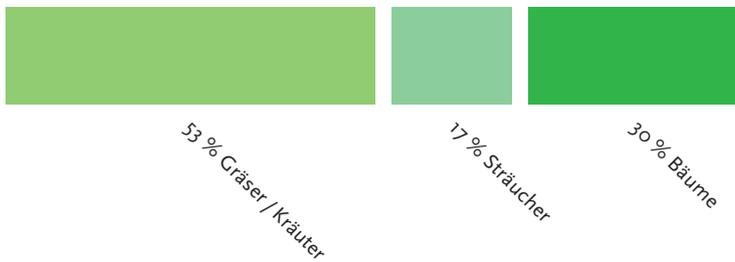


Unter langjähriger gärtnerischer Nutzung haben sich > 60 cm mächtige humose Horizonte gebildet (Bohrung in einer Kleingartenanlage in Treptow).

Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation im Nutzungstyp Kleingarten

Gesamter C-Speicher bis 100 cm Tiefe (links) und Anteile am gesamten C-Speicher (rechts)

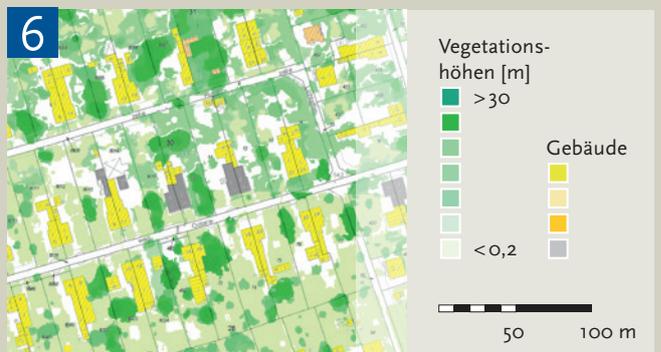




Flächenanteile der Vegetationsstrukturen in Kleingärten

Abgeleitet nach Umweltatlas Berlin / Gebäude- und Vegetationshöhen 2009/2010

Die Vegetationsstrukturen in Kleingärten folgen den Maßgaben des Bundeskleingartengesetzes. So soll mindestens ein Drittel der Fläche zum Anbau von Obst (klein bleibende Nutzgehölze) und Gemüse (Beetkulturen) genutzt werden. Zwei Drittel können hingegen als Rasenfläche genutzt werden [66, 67].

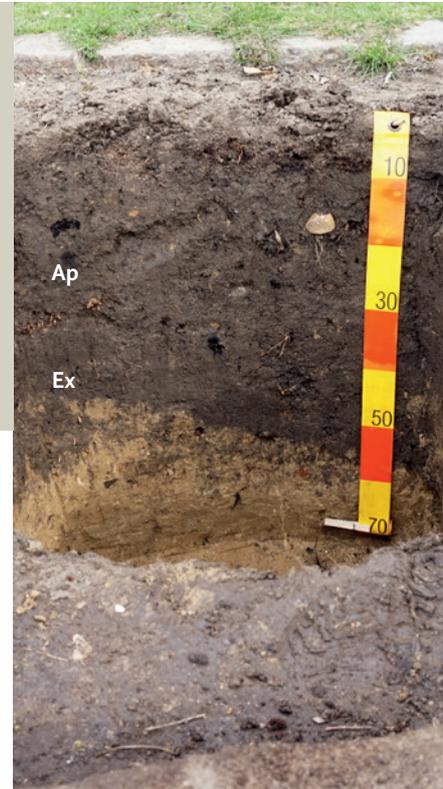


Gärtnerische Vielfalt auf kleinstem Raum: Laut BKleingG soll ein Kleingarten nicht größer als 400 m² sein (1). So verwundert es nicht, dass diese Kleinode im urbanen Raum auf vielfältigste Art genutzt werden: z. B. als Orte der Erholung (2), zur Kultivierung von Zierpflanzen (3) oder auch zur Erzeugung von Obst, Gemüse und Kräutern (4). Zur kleingärtnerischen Nutzung gehören u. a. Beetflächen und Hochbeete, Obstbäume, Beerensträucher, Frühbeete und Gewächshäuser [67] (5). Beispiel einer Vegetationshöhenverteilung in einer typisch parzellierten Kleingartenanlage in Berlin Weißensee [weiß = brachliegende Flächen vor der Aussaat], [49] (6).

Beispiel: Hortisol – humusreicher Boden unter gärtnerischer Nutzung

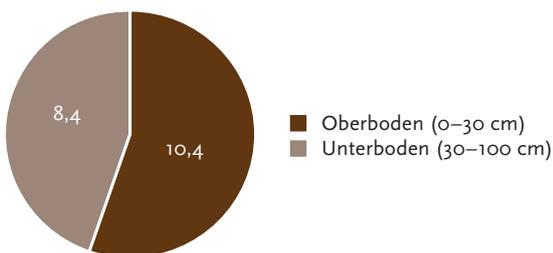
In der Beetfläche dieses Kleingartens in Schöneberg haben sich durch jahrelange Gartenkultur, wie regelmäßiges tiefes Umgraben und Zugabe von organischem Material, mächtige C-speichernde Horizonte gebildet. Der C-Gehalt im Ap-Horizont ist dadurch erhöht. Durch die gute Nährstoff- und Wasserversorgung sind wühlende Bodenlebewesen (z. B. Regenwürmer) besonders aktiv und tragen zur Tiefenverlagerung des Humus und Ausbildung des Ex-Horizontes bei. Unterhalb der humosen Horizonte ist die ehemalige natürliche Bodenbildung nicht mehr erkennbar.

Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: 19,2 kg C/m²



Wegen der kleinräumigen Vielfalt der Nutzungen in Gärten können neben Hortisolen auch andere Böden auftreten, wie z.B. Braunerden, Grundwasserböden oder sogar junge Auftragsböden. Man findet sie vornehmlich außerhalb der Beetbereiche (Wege, Trittrassen) und in „jungen“ Kleingartenanlagen. Diese gekappte Parabraunerde unter Trittrassen in einem Kleingarten in Schöneberg (links) speichert deutlich weniger Kohlenstoff als die Hortisole der benachbarten Beete.

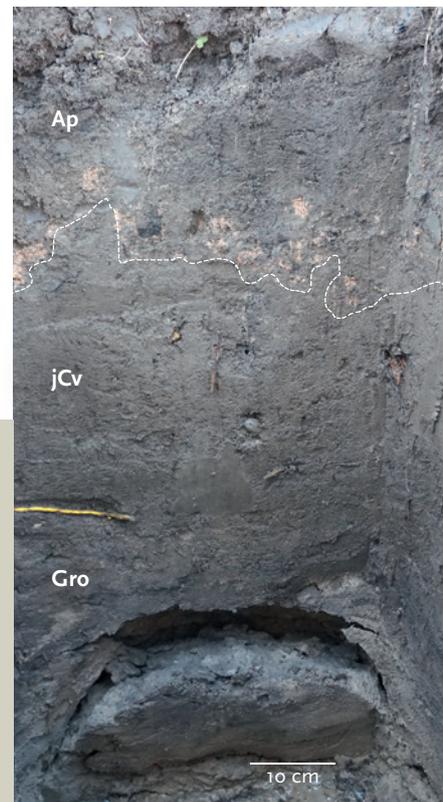
Verteilung des Kohlenstoffs im Boden der Kleingärten [kg/m²]



Beispiel: Tiefgründig humoser Rieselfeldboden

Rieselfeldböden stellen unter den Böden in Kleingärten einen regionalen Sonderfall dar. Dieser Boden in einer Kleingartenanlage in Pankow wurde bis 1930 als Rieselfeld genutzt. Durch diese Vorprägung ist der Boden bis in große Tiefe mit organischem Material angereichert. Die jCv- und Gro-Horizonte enthalten immerhin noch 0,7 bzw. 0,25 % Kohlenstoff. Der C-Gehalt des Ap-Horizontes ist demgegenüber durch die kleingärtnerische Nutzung erhöht (2,5 %).

Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: 11,5 kg C/m²



Nutzungstyp Straße

Spannweite der Kohlenstoff-speicher im Nutzungstyp Straße

Boden : 0,8 – 8,8 kg C/m²
(Tiefe 0–30 cm)

Vegetation: 0,4 – 19,4 kg C/m²

Der öffentliche Straßenraum nimmt 11 % der Gesamtfläche Berlins ein. Dazu zählen neben den Fahrbahnen auch Gehwege und das Straßenbegleitgrün. Im Projekt NatKoS wurden 21 Straßenabschnitte boden- und vegetationskundlich untersucht. Bei der Bestimmung der C-Speicher in der Vegetation lag der Fokus auf den Straßenbäumen. Bei der Bestimmung der C-Speicher im Boden wurden nur unversiegelte Standorte berücksichtigt, d. h. auf grünen Mittelinseln, Seitenstreifen und Baumscheiben. Diese unversiegelten Bereiche nahmen zwischen 2 und 75 % der Gesamtfläche der untersuchten Straßenabschnitte ein.

Vegetationsstrukturen im Straßenraum

Berlin besitzt rund 431.000 Straßenbäume, die sich auf ca. 80 Bäume je Straßenkilometer verteilen [69]. Die drei häufigsten Gattungen sind hierbei Linde mit 35 %, Ahorn mit 20 % und Eiche mit 9 % [70]. Sie prägen das Erscheinungsbild der Stadt in hohem Maße und tragen, neben der Umwelt- und Wohnumfeldverbesserung [71], erheblich zum C-Speicher Berlins bei. Vor allem alte Straßenbäume speichern viel CO₂ in ihrer Holzbiomasse. Eine Besonderheit der Standorte von Straßenbäumen ist die starke Überprägung durch den Menschen und die damit verbundenen, besonderen Standortbedingungen: der stark begrenzte Wurzelraum, Pflegemaßnahmen zur Verkehrssicherung und Eindämmung von Krankheiten, aber auch Salz- und Trockenstress bedingen ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit der gepflanzten Bäume. Sträucher und Gras- bzw. Krautvegetation sind z. B. in Form weg begleitender Blüh- und Decksträucher, begrünter Fußwege und Straßenbahntrassen zu finden. Im Mittel aller untersuchten Straßenabschnitte liegt der C-Speicher der Vegetation bei 4,4 kg C/m².



Pflegemaßnahmen an Bäumen:
Starker Rückschnitt führt zu einer veränderten Wuchsform der Straßenbäume.

Böden im Straßenraum

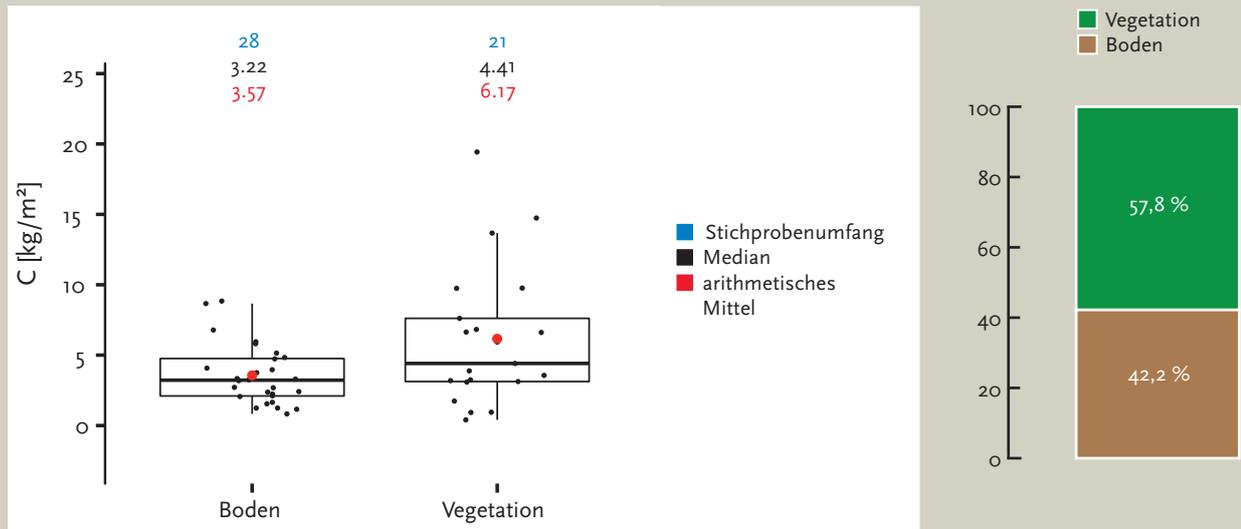
In Grünstreifen und Baumscheiben entlang von Straßen werden Auftragsböden angetroffen, in denen häufig mehrere Substratschüttungen übereinander liegen. Es kann sich dabei um relativ naturnahes sandiges oder lehmiges Bodenmaterial unterschiedlicher Humosität oder um künstliche Substrate handeln. In den zumeist jungen Böden (Ah/C, Ai/C) fand noch keine Bodenentwicklung statt, die über die Ausbildung eines humosen Horizontes an der Oberfläche hinausgeht. Je nach Mächtigkeit des humosen Oberbodens (Ah, Ai) und Kalkgehalt können diese Standorte bodenkundlich gruppiert werden (Pararendzina, Regosol, Lockersyosem). Aufgrund der intensiven und lokal unterschiedlichen Beeinflussung durch den Menschen ist die C-Speichermenge dieser Böden sehr variabel. Sie hängt wahrscheinlich stärker vom C-Gehalt der abgelagerten Substrate (z. B. humushaltiger Mutterboden, bituminöses Material, Dieselruß und Staub der Straße), als von der natürlichen Humusbildung am Standort ab.



Begrünte Straßenbahntrasse in Alt-Hohenschönhausen

Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation im Nutzungstyp Straße

Gesamter C-Speicher bis 30 cm Tiefe (links) und Anteile am gesamten C-Speicher (rechts)





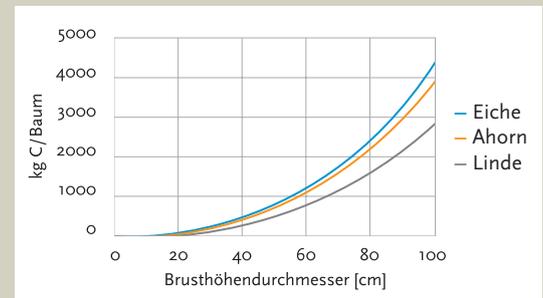
Flächenanteile der Vegetationsstrukturen an Straßen

Abgeleitet nach Umweltatlas Berlin / Gebäude- und Vegetationshöhen 2009/2010

Straßenbäume stellen mit 78 % den größten Flächenanteil der Vegetationsstrukturen im Straßenraum. Sträucher in Form von Blüh- und Decksträuchern und krautige bzw. grasartige Vegetation in Form begrünter Mittelstreifen oder Straßenbahntrassen nehmen hingegen nur 22 % der Flächen ein.

Abhängigkeit des C-Speichers von Brusthöhendurchmesser und Gattung

Allometrische Formeln benötigen als Eingangsparameter Informationen über Baumart und Brusthöhendurchmesser (BHD) und liefern als Ergebnis einen Trockenmassewert. Wird dieser mit 0,5 multipliziert, erhält man einen C-Speicher pro Individuum (siehe Abbildung). Unter den drei häufigsten Straßenbaumgattungen in Berlin ist die Eiche in der Lage bei gleichem Brusthöhendurchmesser den meisten Kohlenstoff zu speichern.



Vergleich der C-Speicher in der Vegetation: Straße und Forst

Straßen dienen primär als Transportgrundlage von Fahrzeugen und Personen und sind meist nahezu vollständig versiegelt. Der Vergleich eines kartierten Straßenabschnittes in Reinickendorf mit einem Forststandort in Hermsdorf zeigt jedoch, dass Altbaumbestände in der Lage sind einen C-Speicher in der Vegetation aufzubauen, der jenen forstlich genutzter Standorte gleicht.



Straßenabschnitt Reinickendorf



Forststandort Hermsdorf

Dominante Gattung	Eiche	Eiche
Versiegelungsgrad [%]	88	0
Kartierte Fläche [m²]	3785	625
Anzahl kartierter Bäume	28	32
Anzahl Bäume / Hektar	73	512
Arithmetisches Mittel BHD [cm]	75,5	32
C-Speicher Vegetation [kg/m²]	19,4	19,1



Bodenvielfalt neben der Straße. Böden neben Straßen und Gehwegen sind oft durch Tritt, Befahrung oder maschinell verdichtet – teils so stark, dass sich Lagen aus Wurzeln über den undurchdringlichen Schichten bilden (1). In Straßen mit weniger intensiver Nutzung und Pflege kann sich eine Humusaufgabe ausbilden und eine geschlossene Vegetation aus Gräsern und Kräutern etablieren (2). Dies begünstigt langfristig die CO₂-Festlegung im Oberboden, wie hier in der Waßmannsdorfer Chaussee (3). Typisch für Böden im Straßenraum sind jedoch junge Böden, in denen sich noch kaum Humus akkumuliert hat (4). Daneben sind Böden verbreitet, die ein kohlenstoffhaltiges Auftragsmaterial enthalten, z. B. Mutterboden (5), Bitumen (6) oder aschehaltigen Bauschutt (7).

Nutzungstyp Forst

Spannweite der Kohlenstoff-speicher im Nutzungstyp Forst

Boden: 5,1 – 39,7 kg C/m²
Vegetation: 3,2 – 26,8 kg C/m²

Die Waldgebiete der Berliner Forsten nehmen rund ein Fünftel der Stadtfläche ein; sie liegen in Tegel, Spandau, Grunewald, Köpenick und Pankow. Die Berliner Forsten dienen in erster Linie als Erholungswälder, in denen die Holzproduktion keine große Rolle spielt [72]. Daher sind, im Gegensatz zu Flächenländern wie Brandenburg, die Waldbilder sehr vielfältig und umfassen neben Kiefern- und Pappelforsten auch naturnahe Buchenwälder und alte Kiefern-Eichenwälder sowie Mischwälder mit Kiefer, Berg-Ahorn und Linde.

Vegetationsstrukturen in den Berliner Forsten

Im Forst dominieren mehr oder weniger stark vom Menschen geprägte geschlossene Baumbestände, die in Nadelwald (bzw. Kiefernforst), Mischwald und Laubwald (Eiche, Buche u. a.) unterschieden werden. Im berlinweiten Vergleich der Nutzungstypen speichert die Vegetation im Forst mit durchschnittlich 9,6 kg C/m² weitaus am meisten Kohlenstoff in der Biomasse. Dabei ist weniger die Menge an Bäumen je Flächeneinheit, als vielmehr das Alter der Bäume entscheidend für die Höhe des C-Speichers. Totholz, Laub und Zweige tragen im Mittel der kartierten Standorte 6,5 % (0,5 kg C/m²) zum gesamten C-Speicher bei, Bäume 93,5 % (8,8 kg C/m²).

Böden in den Berliner Forsten

In den Berliner Forsten findet man zum größten Teil saure Sandböden mit einem mittleren pH-Wert von 3,7 im Oberboden. Die Waldböden entwickelten sich in Talsanden des Berliner Urstromtals (z. B. Köpenicker Forst), in Schmelzwasserablagerungen des Grunewalds oder in Dünenansanden (z. B. Tegeler Forst). Geschiebelehne des Barnim sind unter Wald die Ausnahme, aber im Bereich ehemaliger Rieselfelder in Pankow verbreitet. Durch die Bodensäure ist die biologische Aktivität gering und das häufige Fehlen bodenwühlender Regenwürmer führt zur Bildung und Differenzierung von Humusauflagen (L- und O-Horizonte), welche hohe C-Gehalte zwischen 21,5 und 44,1 % aufweisen. Die Humusaufgaben enthalten im Mittel 16 % des gesamten C-Speichers der untersuchten Waldböden. Hier ist also ein beträchtlicher C-Speicher vorhanden, der systematisch in naturnahen Böden nur im Wald auftritt. Bedeutende bodenbildende Prozesse in den Berliner Waldböden sind die Verwitterung und Sauerbleichung (Podsolierung) der Mineralpartikel. Damit ist die Verlagerung von Nähr- und Humusstoffen in die Tiefe verbunden. Die aschfahle Graufärbung durch die Sauerbleichung (Ae-Horizont) ist im Oberboden häufig mit der schwarzbraunen Farbgebung der Humushorizonte (Ah-Horizont) in einem „Aeh-Horizont“ vereint. Nicht zu vernachlässigen sind auch die C-Speicher in den Unterböden, welche durch Baumwurzeln, deren sukzessive Zersetzung und nachrutschenden humosen Oberboden bedingt sind. Die Dichte der Waldböden beträgt im Mittel 1,4 (0,8 bis 1,7) g/cm³.

Aus Sicht des Klimaschutzes ist Forst bzw. Wald auf Mineralböden die optimale Landnutzung, da das C-Speicherpotenzial in Boden und Vegetation in der Summe immer sehr hoch ist, bei vergleichsweise geringer Intensität der Bewirtschaftung.



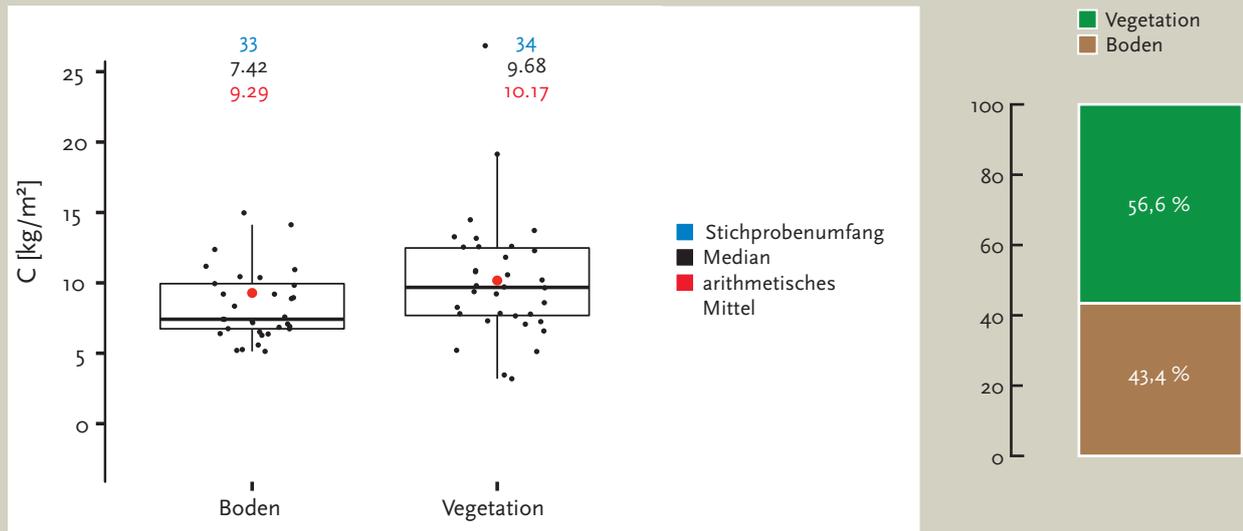
Humusaufgabe: Typischer Kohlenstoffspeicher im Wald

Oben: mächtige rotbraune Humusaufgabe aus Kiefernadeln, Moosresten und Zweigen über dem Sandboden

Unten: „Streuhorizont“ aus Buchenlaub. Die Streu ist ein dynamischer C-Speicher, der sehr empfindlich auf Veränderungen der Umweltbedingungen reagiert.

Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation im Nutzungstyp Forst

Gesamter C-Speicher bis 100 cm Tiefe (links) und Anteile am gesamten C-Speicher (rechts)





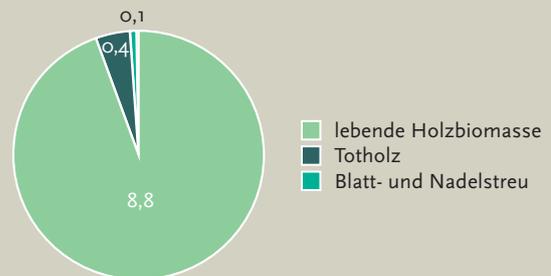
Flächenanteile der Vegetationsstrukturen im Forst

Abgeleitet nach Umweltatlas Berlin / Gebäude- und Vegetationshöhen 2009/2010

Bäume in Form von Nutzgehölzen wie Wald-Kiefern (*Pinus sylvestris*), Rot-Buchen (*Fagus sylvatica*) und Eichen (*Quercus spp.*) dominieren den Nutzungstyp Forst mit einem Flächenanteil von 94 %. Sie bilden geschlossene Bestände, darunter wachsen Gräser und Kräuter und vereinzelt auch Sträucher.

Verteilung des Kohlenstoffs in verschiedenen Kompartimenten der Vegetation [kg/m²]

Gemittelt über alle Standorte im Forst bildet die lebende Holzbiomasse (oberirdisch) mit 93,5 % den überwiegenden Teil des gesamten C-Speichers. Totholz und Streu erfüllen wichtige ökologische Funktionen. Sie sind u. a. Lebensraum für Insekten und Vögel, bedecken den Boden und liefern somit die kohlenstoffhaltige Primärschubstanz für die Humusbildung. Gemeinsam stellen sie 6,5 % des C-Speichers der Vegetation in den kartieren Standorten dar.



Beispiel: C-Speicher der Vegetation dreier forstlich genutzter Standorte

Der Vergleich dreier forstlich genutzter Standorte zeigt, dass das Alter der Bäume, und damit der durchschnittlich höhere Brusthöhendurchmesser (BHD), einen größeren Einfluss auf die C-Speichermenge hat als die Anzahl an Bäumen je Hektar.



Junger Nadelwald
Köpenicker Forst



Alter Mischwald
Tegeler Forst



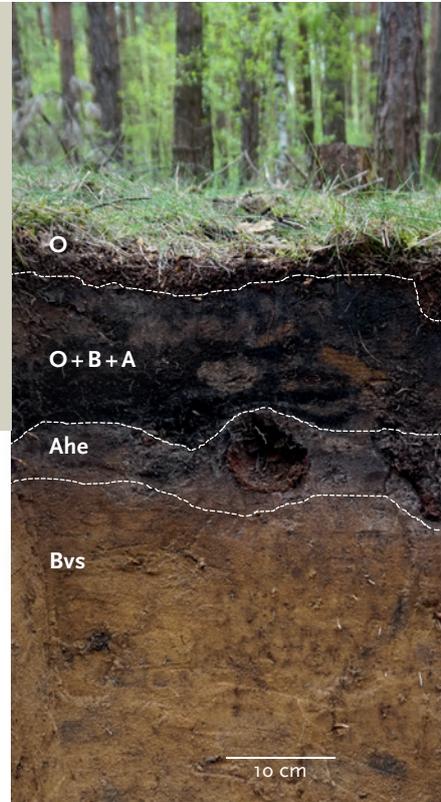
Alter Mischwald
Spandauer Forst

Altersklasse	21–40 Jahre	> 100 Jahre	> 100 Jahre
Anzahl Bäume je Hektar	1152	576	320
Arithmetisches Mittel BHD [cm]	18,0	29,1	46,4
C-Speicher Vegetation [kg/m ²]	7,6	12,8	26,4

Beispiel: Saure, grundwasserfreie Sandböden

In den sauren Talsanden unter Kiefernmonokultur hat sich dieser Braunerde-Podsol im Köpenicker Forst entwickelt. Prägend sind die Humusauflage (O), der schwarzbraune Mischhorizont aus Humus und Mineralboden (O+B+A), der darunterliegende, aschgrau gebleichte Horizont (Ahe) und der rostbraune Unterbodenhorizont (Bvs). Dieser Boden speichert allein in Humusauflage und Oberboden (im Foto etwa oberste 30 cm, dunkel gefärbt) 9 kg C/m². Aber auch der C-Speicher im Unterboden ist mit 1,5 kg C/m² nicht zu vernachlässigen (dunkel gefärbte Flecken im rostbraunen Horizont).

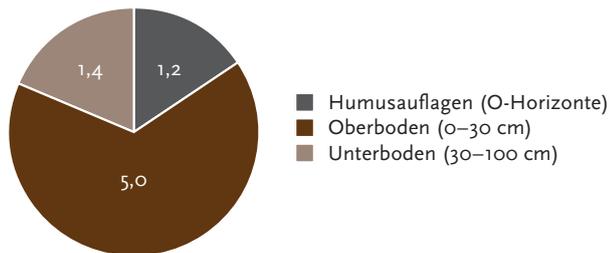
Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: 10,5 kg C/m²



Bodentypen in den Berliner Forsten

Die C-Speicher der Böden können sich nicht nur zwischen verschiedenen Nutzungen, sondern auch aufgrund unterschiedlicher Bodenentwicklung unterscheiden. Auch wenn innerhalb der Berliner Waldböden alle Übergangsformen zwischen Braunerde und Podsol vorherrschen (27 von 35 untersuchten Standorten), gibt es lokale Besonderheiten: Relikt-Gleye im Spandauer Forst, Regosole über gekappten Parabraunerden im Bereich ehemaliger Rieselfelder in Pankow sowie Moor- und Anmoorböden.

Verteilung des Kohlenstoffs in verschiedenen Kompartimenten des Waldbodens [kg/m²]



Beispiel: Basenreiche, ehemals grundwasserbeeinflusste Sandböden

An basenreichen sandigen, ehemals grundwasserbeeinflussten Standorten haben sich Relikt-Gleye gebildet, wie dieser Boden im Spandauer Forst. Der mächtige, humusreiche Oberboden (Ah) speichert 7 kg C/m². Dieser große C-Speicher ist ein Relikt der ehemaligen andauernden Nässe im Boden, die mit der Grundwasserabsenkung ihr Ende nahm. Durch die Belüftung und beschleunigte Zersetzung besteht nun die konkrete Gefahr, dass ein Teil des gespeicherten Kohlenstoffs wieder freigesetzt wird.

Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: 10,9 kg C/m²

Nutzungstyp Landwirtschaft

Spanne der Kohlenstoff-speicher im Boden

3,3 – 30,5 kg C/m²

Deutschlandweit [73]:

Oberboden (0–30 cm)

4,5 – 15 kg C/m²

Unterboden (30–100 cm)

1,5 – 50 kg C/m²

Die landwirtschaftlichen Flächen nehmen ca. 4 % der Stadtfläche ein. Größere zusammenhängende Flächen sind nur noch in der Umgebung ehemaliger Rieselfelder vorhanden, z. B. bei Blankenfelde, Wartenberg oder Gatow. Die restlichen, kleineren Flächen befinden sich inselhaft verstreut in Stadtrandlage. Landwirtschaftlich genutzte Flächen, wie die Elisabeth-Aue in Pankow oder die Buckower Felder, sind teilweise als (potenzielles) Bauland vorgesehen. Im Projekt wurden 12 Grünland- und Ackerstandorte in sechs Berliner Bezirken bodenkundlich untersucht.

Vegetationsstrukturen unter landwirtschaftlicher Nutzung

Bei landwirtschaftlicher Nutzung muss mit Blick auf die C-Speicherung der Vegetation zwischen einjährigen (Getreide, Hackfrüchte) und mehrjährigen Kulturen (Dauergrünland mit Futtergras, Futterpflanzen) unterschieden werden. Letztere leisten einen wesentlichen Beitrag zum Aufbau des Humusvorrates im Boden, denn sie bedecken den Boden ganzjährig und tragen besonders über ihr dichtes Wurzelwerk Biomasse in den Boden ein. Einjährige Kulturen, z. B. Getreide, bedecken den Boden nicht ganzjährig und ein Großteil des in der Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs wird mit der Ernte vom Feld abgefahren. Aber auch bei diesen Anbausystemen tragen sog. Ernte- und Wurzelrückstände zum Erhalt des Bodenkohlenstoffs bei, es stellt sich gegenüber dem Dauergrünland jedoch ein niedrigeres Fließgleichgewicht ein.

Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung

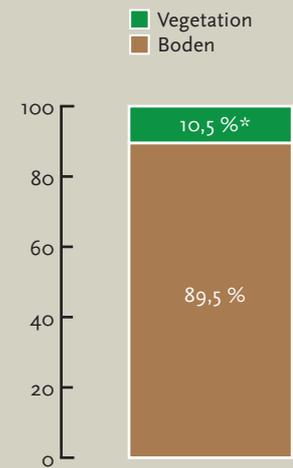
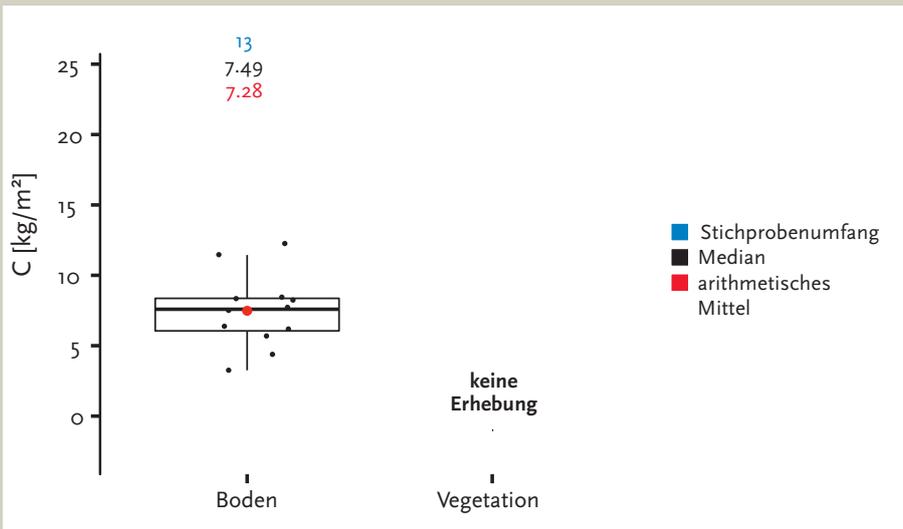
Landwirtschaftliche Böden sind im Vergleich zu forstlich genutzten Böden weniger sauer (im Mittel pH 5,8 im Oberboden). Bei der Lage im Urstromtal sind sandige Substrate vorherrschend. Im Bereich der Hochflächen des Teltows, des Barnims und bei Gatow wurden im oberen Teil des Bodens vornehmlich schluff- bzw. lehmsandige, und ab einer Tiefe von meist 50–70 cm sandlehmige bis lehmige Substrate beschrieben. Die Bodendichte ist im Vergleich zu anderen Nutzungstypen sowohl im Oberboden (1,5 g/cm³) als auch im Unterboden (1,7 g/cm³) erhöht, was sich jedoch nicht in höheren C-Speichern niederschlägt. Bedeutende bodenbildende Prozesse in den landwirtschaftlichen Böden sind die Verwitterung und – wo lehmige Substrate auftreten – die Tiefenverlagerung von Tonpartikeln mit dem Sickerwasser. Durch diesen Prozess bildet sich ein Profil aus tonverarmten Al- bzw. Ael-Horizonten über tonangereicherten Bt-Horizonten. Der größte Teil des C-Speichers in landwirtschaftlichen Böden ist jedoch im Pflughorizont (Ap, rAp) zu finden, der durch regelmäßige Bodenbearbeitung eine gleichmäßige Verteilung des Humus aufweist. Er grenzt sich scharf von dem darunter liegenden Horizont ab („Pflugsohle“) und ist etwa 25–35 cm mächtig.



In den Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung sind natürliche Stein- und Kiesgehalte um 5 Vol.-% zu erwarten.

Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation im Nutzungstyp Landwirtschaft

Gesamter C-Speicher (links) und Anteile am gesamten C-Speicher (rechts)



*nach BOLINDER ET AL. [61], siehe Beispielrechnung, S. 50





Flächenanteile der Vegetationsstrukturen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen

Abgeleitet nach Umweltatlas Berlin / Gebäude- und Vegetationshöhen 2009/2010

Mit einem Flächenanteil von 79 % dominieren krautige Kulturpflanzenarten die landwirtschaftlichen Flächen Berlins. Feldgehölze und Heckenstrukturen nehmen zusammen 21 % der Fläche ein.

Bestimmung des Kohlenstoffspeichers landwirtschaftlicher Kulturen

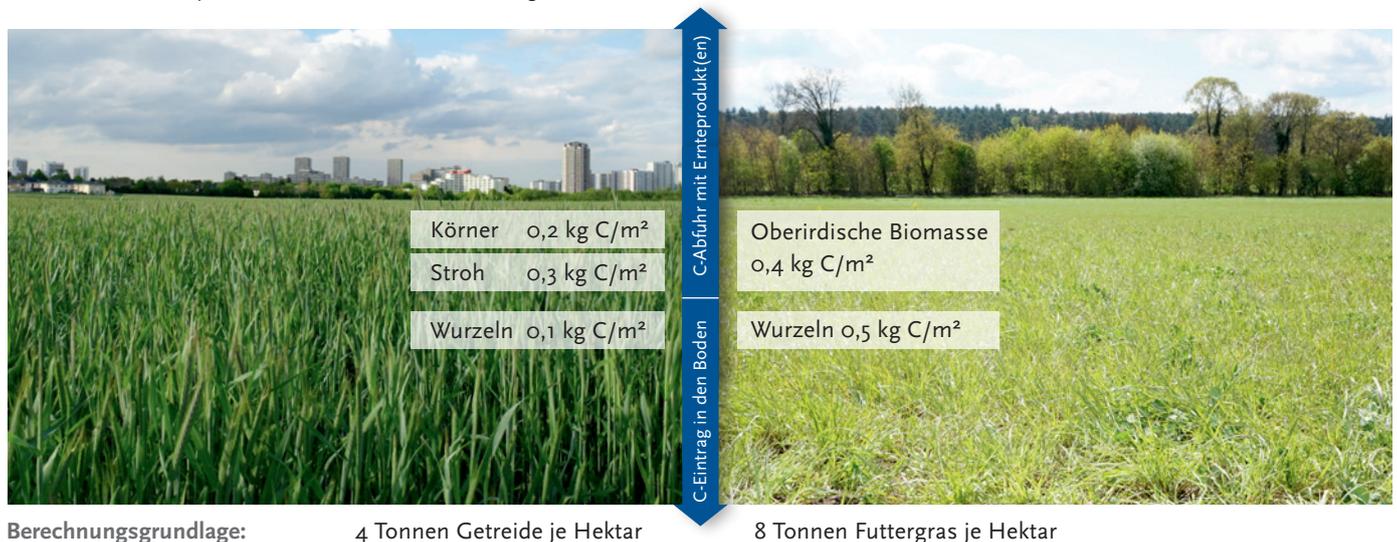
Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wird kohlenstoffhaltige Primärschubstanz in Form von ober- und unterirdischer Biomasse gebildet. Das Ernteprodukt, die Höhe der Erntemenge und das Anbausystem (einjährige oder mehrjährige Kulturen) entscheiden über die Menge an Kohlenstoff, die während der Vegetationsperiode gebildet wird und zum anderen, wieviel Ernte- und Wurzelrückstände je Flächeneinheit gespeichert werden können. Bei der Berechnung der C-Speicher ist zu berücksichtigen, welchen Anteil die verschiedenen Pflanzenorgane an der C-Speicherung haben [61].

Anteil des jeweiligen Pflanzenorgans am gesamten Kohlenstoffgehalt der Pflanze [%]

Kulturen	Ernteprodukt	Stroh	Wurzel
Einjährig, z.B. Getreide	33,5	48,2	18,4
Mehrjährig, z.B. Futtergras	44,1	kein Strohanfall	55,9

Beispiel: Kohlenstoffspeicher einer typischen Ernte in Berlin

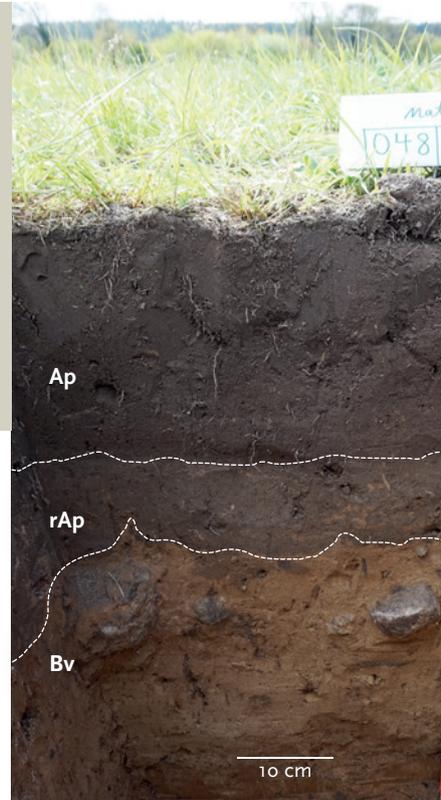
Die Beispielrechnung nach den Studien von BOLINDER ET AL. [61] zeigt, dass Dauerkulturen, wie Futtergräser, in der Lage sind höhere Mengen an Kohlenstoff in den Boden einzutragen als einjährige Kulturen. Bei einjährigen Kulturen kann der C-Eintrag in den Boden beispielsweise durch die Einarbeitung von Stroh erhöht werden.



Beispiel: Grundwasserfreie Sandböden

In Decksanden unter Grünland hat sich diese Braunerde in Gatow entwickelt. Charakteristisch sind der durch regelmäßiges Umpflügen geprägte, humose Oberbodenhorizont (Ap) sowie der verwitterte Unterbodenhorizont (Bv). Durch einmaliges, tieferes Pflügen ist ein weiterer humoser Horizont (rAp) entstanden. In den beiden Oberbodenhorizonten (Ap, rAp) speichert dieser Boden $4,9 \text{ kg C/m}^2$.

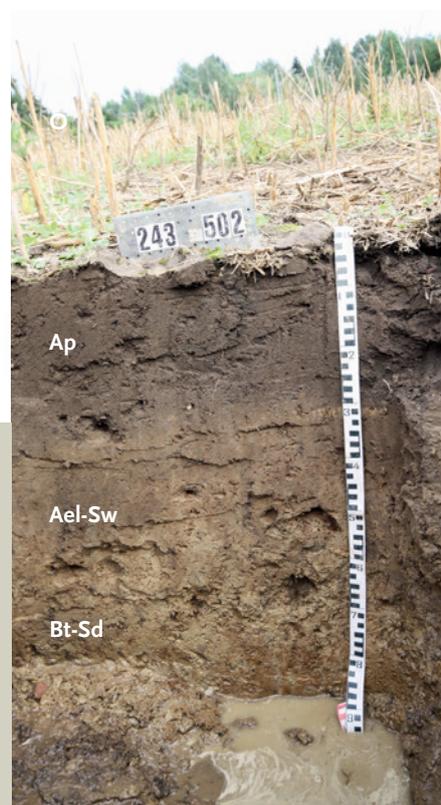
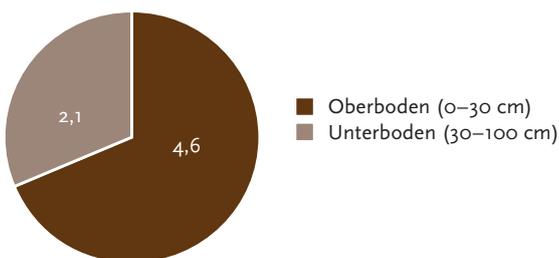
Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: $6,0 \text{ kg C/m}^2$



Bodentypen der landwirtschaftlich genutzten Flächen

Abhängig vom natürlichen Substrat (Sand oder Lehm), herrschen auf den landwirtschaftlich genutzten, grundwasserfreien Böden Übergangsformen zwischen Braunerde und Parabraunerde bzw. Fahlerde vor (7 von 12 untersuchten Standorten), häufig mit Merkmalen eines Stauwasserbodens. Je nach Lage im Relief treten lokal auch gekappte Böden (Erosion) und Kolluvien (Ablagerung) auf.

Verteilung des Kohlenstoffs im Boden landwirtschaftlicher Flächen [kg/m^2]



Beispiel: Stauwasserbeeinflusste Lehm Böden

An lehmigen Standorten haben sich aus Parabraunerden oder Fahlerden zuweilen Stauwasserböden entwickelt, wie auf diesem Acker bei Blankenburg. Durch die Tonverlagerung vom Ober- (Ael) in den Unterboden (Bt) hat sich eine wasserstauende Schicht gebildet (Sd). Die Staunässe begünstigt zwar die Stabilisierung und Anreicherung des Bodenkohlenstoffs, wirkt sich jedoch negativ auf die Bewirtschaftung aus. Der humose Pflughorizont (Ap) ist der hauptsächliche C-Speicher ($3,8 \text{ kg C/m}^2$).

Gesamter Bodenkohlenstoffspeicher: $4,7 \text{ kg C/m}^2$

Sonderfall: Die Berliner Moore

Intakte Moore sind riesige CO₂-Speicher. Sie enthalten in ihren Torfen weltweit 30 % des organischen Bodenkohlenstoffs [74], obwohl sie lediglich 3 % der Landfläche einnehmen [75].

Einst waren Moore im Berliner Raum viel mehr verbreitet als heute. Durch vielfältige Bautätigkeiten im Zuge der Stadterweiterung, Gewässerregulierung und Grundwasserförderung wurden viele Moore im Stadtgebiet trockengelegt oder vollständig zerstört [62]. Die erhaltenen Moore sind häufig als Verlandungs- oder Überflutungsmoore ausgeprägt und nehmen immerhin 741 ha bzw. 0,8 % der Stadtfläche ein [76]; fast alle liegen in Landschafts- oder Naturschutzgebieten.

Spannweite der Kohlenstoffspeicher der Berliner Moorböden

52 – 377 kg C/m²

Weltweiter durchschnittlicher C-Speicher bis 1 m Tiefe [3]:
117 kg C/m²



Bohrkern (50 cm) aus dem Tegeler Fließtal in Hermsdorf: Torf und Muddeablagerungen stellen riesige natürliche C-Speicher dar.

Vegetationsstrukturen der Moore

Ökologisch sind die Berliner Moore sehr vielfältig. In den eutrophen Niedermooren nehmen Erlenbruchwälder sowie Schilf- und Seggenriede größere Flächen ein; in den nährstoffarmen, sauren Mooren sind Wollgras-Torfmoos-Gesellschaften und Kiefern Birken-Moorgehölze weit verbreitet. Wie auch in terrestrischen Ökosystemen, speichern die Bäume innerhalb der Moorvegetation am meisten Kohlenstoff in der Biomasse.

Böden der Moore

Die Moorböden in Berlin sind hinsichtlich ihrer ökologischen Eigenschaften sehr divers [76]. Je nach Moortyp liegen die pH-Werte der Torfe im stark sauren (pH 2,6) bis neutralen Bereich (pH 7,0). Häufigste Torfart in den Niedermooren ist der Radizellentorf, der aus Wurzeln und Rhizomen krautiger und grasartiger Moorpflanzen besteht. Die sauren, armen Moore sind hauptsächlich aus Torfmoostorf aufgebaut. Die Torfe sind durch hohe C-Gehalte von 35 bis > 50 % gekennzeichnet [76]. An der Basis der verlandeten Seebecken finden sich limnische Sedimente (Mudden), die überwiegend aus Algen, Kalkausfällungen und Detritus bestehen. Ihre C-Gehalte sind sehr unterschiedlich hoch, liegen jedoch immer bei ≥ 5 %. Durch Entwässerung werden Torfe und Mudden mikrobiell zersetzt. Dabei wird CO₂ freigesetzt und die C-Gehalte der Substrate sinken. Im Sinne des Klimaschutzes ist daher ein Austrocknen der Moore unbedingt zu vermeiden und bei entwässerten Mooren die Wiedervernässung das Ziel [12]. Die Dichte der Moorböden ist mit 0,1 bis 0,3 g/cm³ sehr gering; auch bei Bodenverdichtung liegt sie kaum über 0,5 g/cm³ [76]. Dies wirkt sich wegen der sehr hohen C-Gehalte und großen Moormächtigkeiten aber nicht negativ auf die C-Speicher aus. Die C-Speicher der Berliner Moorböden sind außerordentlich groß, sie liegen im Durchschnitt bei 147,5 kg C/m² [77]. Die Berliner Moore haben somit der Atmosphäre seit der letzten Eiszeit mindestens vier Millionen Tonnen CO₂ entzogen [77].

Das wesentliche Kriterium zur Bewertung eines Moorökosystems aus Sicht des Klimaschutzes ist ein naturnaher, im Jahresmittel flurnaher Moorwasserstand, da der riesige C-Speicher im Boden nur so dauerhaft erhalten werden (und sogar anwachsen) kann.



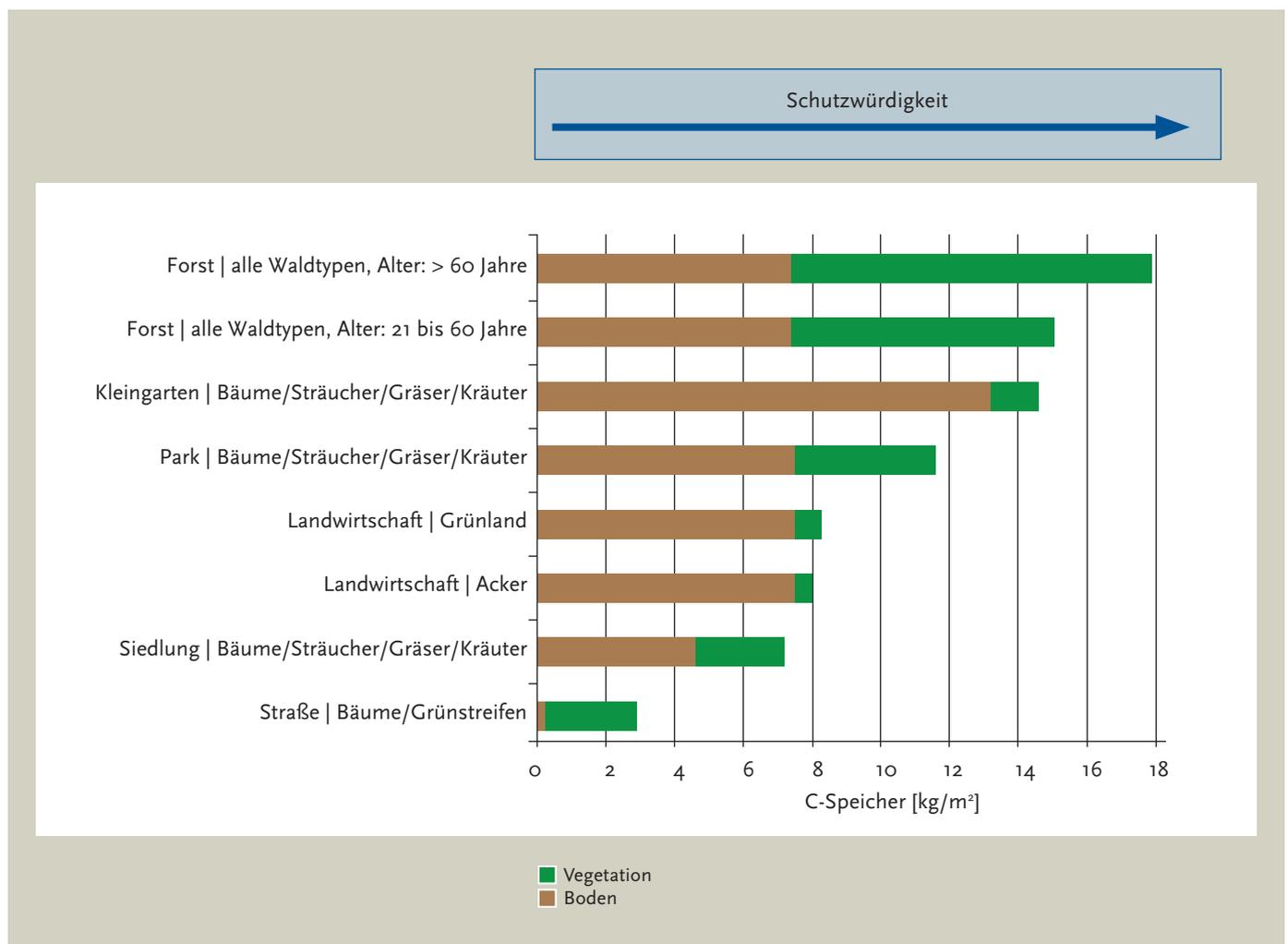
Flachgründiges Übergangsmoor über Talsanden am Rand der Krümmen Laake/Müggelheim (links). Rundblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia*) und Torfmoos (*Sphagnum spec.*) wie hier im Barssee/Grünwald sind typische Vertreter der naturnahen, sauren und nährstoffarmen Übergangsmoore (rechts oben). In den nährstoffreichen Randbereichen des Großen Rohrpfuhls im Spandauer Forst ist Erlenbruchwald verbreitet. Im Bild der Winteraspekt mit natürlichem Überstau (rechts unten).

Bewertung der natürlichen Kohlenstoffspeicher

Die Schutzwürdigkeit von Böden und Stadtgrün bezüglich der Klimaschutzfunktion ist an die Größe ihrer natürlichen C-Speicher gebunden. Die untenstehende Abbildung zeigt die Schutzwürdigkeit verschiedener Kombinationen aus Nutzungstyp und Vegetationsstruktur. Aus dem Vergleich (Differenz) der dargestellten C-Speichermengen dieser Kombinationen können CO₂-Fixierungs- und CO₂-Freisetzungspotenziale abgeleitet werden, welche durch die Veränderung der urbanen Nutzungen und ihrer Vegetationsstruktur zur Wirkung kommen. Zu beachten ist, dass in den stärker anthropogen geprägten Nutzungstypen (Kleingarten, Park, Siedlung, Straße) ein unbestimmter Teil des ermittelten C-Speichers im Boden von künstlichen Substraten gebildet sein kann, was im Einzelfall zu prüfen ist.

Bewertung der Schutzwürdigkeit der NatKoS-Nutzungstypen in Kombination mit typischen Vegetationsstrukturen

Der durchschnittliche Versiegelungsgrad der Nutzungstypen und der Bedeckungsgrad der Vegetation in Berlin sind bei der Darstellung der C-Speicher berücksichtigt.



Stadtplanungsinstrument

Kohlenstoffspeicher kennen und schützen

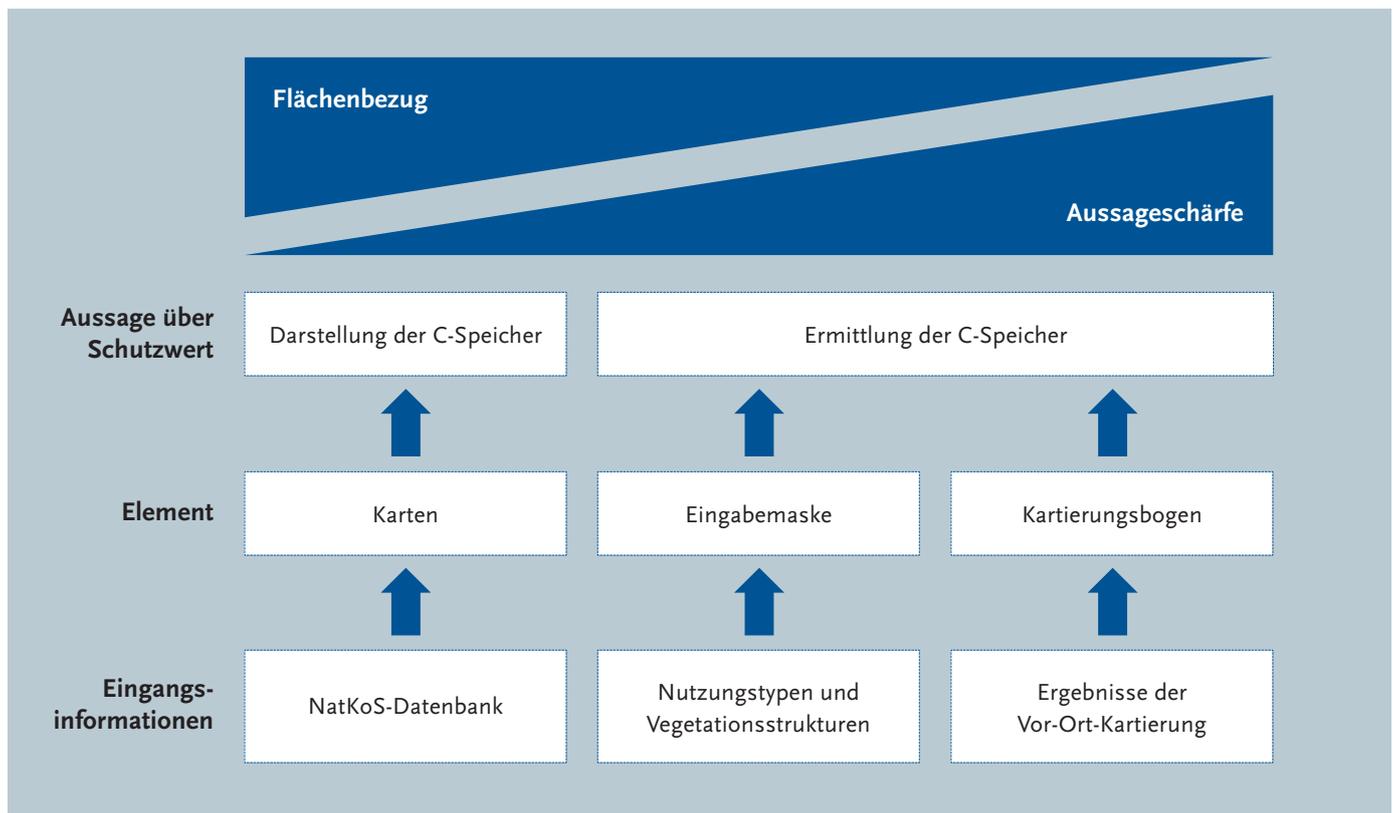
Nur was man kennt, kann man schützen. Die Ergebnisse des Forschungsprojektes NatKoS dienen als Wissensbasis für die Ermittlung und Darstellung der natürlichen C-Speicher Berlins. Diese bekommen so einen konkreten Schutzwert – als Argumente für den Klimaschutz, den Bodenschutz und auch für den Landschafts- und Naturschutz.

Das NatKoS-Stadtplanungsinstrument besteht aus drei Elementen, die für verschiedene Zwecke auf unterschiedlichen Maßstabsebenen eingesetzt werden können, z. B. zur Bewertung von Schutzgütern oder für das Umweltmonitoring. Im Einzelnen sind das:

- Kartierungsbögen und Kartierungstafel für die Vor-Ort-Kartierung der natürlichen C-Speicher in Boden und Vegetation
- Eingabemaske (Excel) für die Ermittlung der natürlichen C-Speicher
- Kartographische Darstellung der räumlichen Verteilung der natürlichen C-Speicher in Berlin: drei Karten als Update zur „Analysekarte Klimaschutz“ im StEP Klima [16]

Während mit den Karten ein Überblick zur räumlichen Verteilung des Schutzgutes „Natürliche Kohlenstoffspeicher“ angeboten wird, kann mit Hilfe der Kartierungswerkzeuge und der Eingabemaske die Größe der natürlichen C-Speicher für einen konkreten Planungsraum genauer bestimmt werden. Der erste Schritt ist immer die Ermittlung des Ist-Zustandes. Die zur Verfügung stehenden Elemente des Stadtplanungsinstrumentes sind für verschiedene räumliche Maßstabsebenen konzipiert.

Struktur des Stadtplanungsinstrumentes



Vor-Ort-Kartierung und Kartierungstafeln

Die Kartierungstafeln sind zur Anwendung aus der Innenseite des Covers herausnehmbar!

Material für die Vor-Ort-Kartierung

Allgemein

- Arbeitskarte zur Abgrenzung der Teilflächen, Luftbild zur Orientierung
- Klippboard und Stift
- Kartierungstafeln (Boden, Vegetation V1 und V2)

Boden

- Spaten, Spachtel und Zollstock
- Sprühflasche mit Wasser
- Kartierungsbogen Boden
- evtl. MUNSELL-Farbtafel 10YR

Vegetation

- Maßband zur Einmessung der Fläche (alternativ GPS-Gerät)
- Kluppe (alternativ Maßband)
- Kartierungsbogen Vegetation

Für die Bestimmung der natürlichen C-Speicher in Boden und Vegetation eines Untersuchungsgebietes muss vor der Kartierung eine Abgrenzung von Teilflächen einheitlicher Nutzung und/oder Vegetationsstrukturen vorgenommen werden. Für jede einzelne Teilfläche wird jeweils ein Wert für den C-Speicher in Boden und Vegetation ermittelt.

Bodenkartierung

Die Vor-Ort-Kartierung liefert die genaueste Datenbasis zur Bestimmung der Bodenkohlenstoffspeicher. Nur so können individuelle Eigenschaften einer Fläche identifiziert werden.

Für die Ermittlung der C-Speicher je Teilfläche wurde eine „Kartierungstafel Boden“ entwickelt, die auf der Zuordnung von Farbe und Dichte der humosen Bodenhorizonte beruht, siehe Tabelle S. 58. Die erhobenen Einzelwerte der Teilflächen werden im „Kartierungsbogen Boden“ zusammengetragen und die C-Speicher aufsummiert. Die Anwendung der beschriebenen Kartierungswerkzeuge empfiehlt sich bei konkreten Umsetzungsprojekten auf der Ebene der Bauleitplanung (Maßstab 1:500 bis 1:1.000). Ein Grundverständnis für das Kartierungsziel reicht für deren Nutzung aus.

Die einzelnen Schritte der Bodenkartierung:

1. In der Mitte jeder Teilfläche wird ein 20 x 20 cm breites und 30 cm tiefes Loch ausgehoben. In den obersten 30 cm des Bodens ist ein Großteil des Humuskohlenstoffs gespeichert. Um eine genauere Kartierung durchzuführen, müsste noch tiefer gegraben werden, allerdings steigt der Aufwand mit zunehmender Tiefe stark an. Wenn vorhanden, eignen sich eine Baugrube oder ein Böschungsanschnitt sehr gut für die Bodenuntersuchung.
2. Von allen Bodenhorizonten, die eine der Farben der Kartierungstafel aufweisen, wird die Horizontmächtigkeit gemessen.
3. Nun werden unter Nutzung der Kartierungstafel zwei Entscheidungen getroffen:
 - a) Ist der Boden eher dicht oder eher locker gelagert? Fällt die Entscheidung nicht eindeutig aus, kann die Kategorie „mittel“ gewählt werden.
 - b) Welchen Farbton haben der oder die humose(n) Horizont(e)? Die Farbtöne der Kartierungstafel sind solche, die typischerweise in den Berliner Böden vorkommen. Die Bestimmung der Bodenfarbe ist immer am gleichmäßig feuchten Boden und unter gleichen Lichtbedingungen (beschattet) durchzuführen. Der Boden sollte dazu vor der Farbbestimmung mit Wasser aus einer Sprühflasche angefeuchtet werden. Es sollte so viel Wasser zugegeben werden, bis der Boden bei weiterer Zugabe nicht mehr nachdunkelt, aber auch nicht nass glänzt.
4. Für die Kombination aus Bodendichte und Farbton ist in der Kartierungstafel ein Kennwert für den zu erwartenden C-Speicher [kg/m²] je Zentimeter Bodentiefe angegeben.

5. Der abgelesene Kennwert, die Horizontmächtigkeit und die Flächengröße werden in den Kartierungsbogen übertragen.

Mithilfe des Kartierungsbogens kann der gesamte Bodenkohlenstoffspeicher des Untersuchungsgebietes selbst berechnet werden. Zur Berechnung kann alternativ auch eine MS Excel-Vorlage („NatKoS-Kartierungsbogen Boden“) genutzt werden, welche unter <https://hu.berlin/natkos> als Download zur Verfügung steht.

Vegetationskartierung

Zur Quantifizierung der C-Speicher in der Vegetation sind folgende Arbeitsschritte nötig:

1. Zunächst wird die Größe der Kartierungsfläche bestimmt. Wenn nicht bereits ein Lageplan mit Flächengrößen vorliegt, wird die Fläche mit einem Bandmaß manuell eingemessen. Eine Alternative stellt die Einmessung mit einem geographischen Informationssystem (GIS) dar, hierfür ist ein GPS-Gerät zur Erfassung der Koordinaten erforderlich.
2. Danach werden alle Gehölze > 7 cm Brusthöhendurchmesser auf der Fläche kartiert. Dazu wird die Baumgattung bzw. -art, die Wuchsform (Wuchs als Solitärbaum/ Straßenbaum oder im Verbund mit anderen Bäumen) sowie der Zustand des Baumes (lebend/abgestorben) auf dem Kartierungsbogen Vegetation notiert. Danach wird mit Hilfe eines Bandmaßes oder einer Kluppe die Durchmesser der Bäume in 130 cm Höhe bestimmt und ebenfalls auf dem Kartierungsbogen notiert (Achtung: Bei Verwendung eines Bandmaßes ist die Umrechnung des Stammumfangs in Brusthöhendurchmesser erforderlich, siehe Box rechts). Der C-Speicher der Einzelbäume ergibt sich in Abhängigkeit der Baumgattung bzw. -art, des Zustandes, der Wuchsform und des Brusthöhendurchmessers. Er kann aus der beiliegenden Kartierungstafel (V1) direkt abgelesen werden.
3. Im nächsten Schritt werden die Flächengrößen aller Nicht-Baum-Kompartimente im Kartierungsbogen notiert und mit dem jeweiligen C-Speicher multipliziert (siehe beiliegende Kartierungstafel V2). Für Waldflächen stehen außerdem typische C-Speicher der Streu und des liegenden Totholzes zur Verfügung.
4. Der gesamte C-Speicher [kg] der Vegetation der kartierten Fläche ergibt sich aus den Summen des C-Speichers aller Einzelbäume und der Nicht-Baum-Kompartimente. Um auf die Kohlenstoffvorräte [kg C/m²] schließen zu können, wird der gesamte C-Speicher [kg] anschließend durch die Flächengröße [m²] geteilt.

Berechnung des Brusthöhendurchmessers aus Stammumfang

$$d = \frac{U}{\pi}$$

d = Durchmesser [cm]

U = Umfang [cm]

Datenbasis für die Kartierungstafel zur Ermittlung von Bodenkohlenstoffspeichern in Berlin. Als Datengrundlage dienen die im NatKoS-Projekt in Berlin kartierten Bodenfarben (MUNSELL-Farbtafeln) und gemessenen organischen Kohlenstoffgehalte und Dichten der Bodenproben (n=Stichprobenumfang). In der Kartierungstafel Boden wird die mittlere Ausprägung dieser Parameter – ergänzt um vor Ort bestimmte Horizontmächtigkeiten und Flächengrößen – zur Ableitung der C-Speicher im Boden genutzt. Der hier dargestellte Farbton des Bodens ist druckabhängig und somit eine Annäherung an den MUNSELL-Farbton; dies gilt auch für die beigefügte Kartierungstafel.

Bodenaufnahme		Labor			
Farbton des Bodens	MUNSELL Value-Wert 10YR	organische C-Gehalte [%] (n)	Bodendichte [g/cm ³]		
			1,15	1,31	1,47
			C-Speicher [kg/m ²] je [cm] Bodentiefe		
	4	0,41 (136)	0,05	0,05	0,06
	3	1,19 (228)	0,14	0,16	0,17
	3	1,19 (228)	0,14	0,16	0,17
	3	1,19 (228)	0,14	0,16	0,17
	2	2,91 (159)	0,33	0,38	0,43
	2	2,91 (159)	0,33	0,38	0,43

Ermittlung der natürlichen Kohlenstoffspeicher

Für die Ermittlung der natürlichen C-Speicher steht eine MS Excel-Vorlage zur Verfügung. In dieser können zwei verschiedene Eingabemasken verwendet werden:

- NatKoS-Eingabemaske 1:
Ermittlung von Kohlenstoffspeichern und -bilanzen nach Nutzungstypen
- NatKoS-Eingabemaske 2:
Ermittlung von Kohlenstoffspeichern unter Verwendung selbst erhobener Daten aus der Vor-Ort-Kartierung

Die „NatKoS-Eingabemaske 1“ kann für Planungen oder Konzepte genutzt werden, welche einen größeren Raum abdecken sollen und denen keine Vor-Ort-Kartierung vorausgeht. Bei der Anwendung muss den selbst definierten Teilflächen des Betrachtungsraumes lediglich jeweils ein NatKoS-Nutzungstyp zugeordnet und je Nutzungstyp die Gesamtfläche (in m²) bestimmt werden. Dazu wird die Nutzung eines geographischen Informationssystems (GIS) empfohlen.

Ein höherer Grad an Genauigkeit kann erreicht werden, wenn ein Planungsgebiet mit den NatKoS-Kartierungswerkzeugen, wie auf den Seiten 56–58 beschrieben, kartiert wird. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die untersuchbare Flächengröße durch den höheren Aufwand beschränkt ist. Die Ergebnisse der Vor-Ort-Kartierung werden aus den Kartierungsbögen in die „NatKoS-Eingabemaske 2“ übertragen, auf deren Basis die C-Speicher je Kartierungseinheit bzw. Teilfläche berechnet werden.

Prognose-Werkzeug: Schätzung der zukünftigen C-Speicher

Mit den NatKoS-Eingabemasken kann auch die Entwicklung der C-Speicher für einen Soll-Zustand (Planung) prognostiziert werden, indem die Flächenanteile der geplanten Nutzungstypen dem Ist-Zustand gegenübergestellt werden. Die C-Bilanz bzw. CO₂-Bilanz gibt über die Klimawirksamkeit eines Vorhabens (Planung) Auskunft. Da Bäume und Böden zum Aufbau ihrer Holzbiomasse und für die Humusbildung viel Zeit brauchen, ist die ermittelte C-Bilanz allerdings ein Abbild der Zukunft, das Jahrzehnte für seine Entwicklung benötigt.

Unter <https://hu.berlin/natkos> sind die Kartierungsbögen, Eingabemasken und eine ausführliche Erläuterung für den Anwenderkreis abrufbar.

Beispiel für die Nutzung der NatKoS-Eingabemaske 1. C-Speicher des Ist- und Soll-Zustandes und Ermittlung der C-Bilanz eines fiktiven Siedlungsbau-Projektes. Im Beispiel werden eine Kleingartenanlage und eine landwirtschaftliche Fläche von insgesamt 50.000 m² (5 ha) Größe in Siedlungsland umgewandelt. Bei diesem Szenario ist mit einer Freisetzung von insgesamt 1.177 Tonnen CO₂ zu rechnen.

Code	Nutzungstypen		C [kg/m ²]			IST		SOLL (Planung)		Bilanz
			Boden	Vegetation	∑	Fläche [m ²]	C-Speicher [kg]	Fläche [m ²]	C-Speicher [kg]	C-Speicher [kg]
FO1	Forst	Laub-, Misch- und Nadelwald, Alter: 21–60 Jahre	7,4	7,8	15,2		0		0	
FO2	Forst	Laub-, Misch- und Nadelwald, Alter > 60 Jahre	7,4	10,7	18,1		0		0	
LA1	Landwirtschaft	Acker	7,5	0,6	8,1		0		0	
LA2	Landwirtschaft	Grünland	7,5	0,9	8,4	20.000	168.000		0	
KG	Kleingarten	Beet/Rasen/Wiese	18,1	1,5	19,6	30.000	588.300		0	
PA1	Park	Rasen / Wiese	8,8	0,3	9,1		0		0	
PA2	Park	Wald / Gehölz	10,2	7,3	17,5		0		0	
SI1	Siedlung	Rasen / Wiese	8,2	0,3	8,5		0	25.000	212.500	
SI2	Siedlung	Gehölz	13,0	5,5	18,5		0	10.000	185.000	
VS	Straße	Bäume, Baumscheibe, Grünstreifen	3,2	4,4	7,6		0	5.000	38.050	
MO	Moore	-	148,0	k.A.	148,0		0		0	
VE	versiegelte bzw. humusfreie Fläche		0,0	0,0	0,0		0	10.000	0	
							756.300		435.550	-320.750

CO ₂ -Bilanz [kg CO ₂ -Äquivalente]*	1.177.153
------------------------------------------------------------	-----------

*positiver Wert = CO₂-Freisetzung

Karten: Berlinweite Darstellung der natürlichen Kohlenstoffspeicher

Für berlinweite Planungen und Konzepte mit Bezug zum Klima- oder Bodenschutz ist das Wissen über die räumliche Verteilung der natürlichen C-Speicher essenziell. Im StEP Klima [16] ist dazu die „Analysekarte Klimaschutz“ enthalten, welche lediglich die organischen Kohlenstoffvorräte der Grün- und Freiflächen zeigt. Die NatKoS-Karten hingegen stellen berlinweit die organischen Kohlenstoffvorräte in Böden und Vegetation differenziert nach Nutzungstypen dar.

Erläuterungen zur Karte „Kohlenstoffspeicher der Böden Berlins“

Die Karte „C-Speicher der Böden“ deckt ca. 87 % der Fläche Berlins (ohne Gewässer) ab. In den durch die Karte beschriebenen Böden sind insgesamt ca. 4,4 Mio. Tonnen Kohlenstoff (t C) gespeichert. Die höchsten C-Speicher in absoluten Zahlen finden sich mit 1,5 Mio. t C (35,4 %) im Nutzungstyp Siedlung und mit 1,2 Mio. t C (27,3 %) im Nutzungstyp Forst. Weitere 730.000 t C (16,8 %) finden sich in den Böden der Parks und Grünflächen. Obwohl sie lediglich 4,5 % der Landesfläche ausmachen, ist in den Böden der Kleingärten mit 574.000 t C (13,2 %) überproportional viel Kohlenstoff gespeichert. Weitere 270.000 t C (6,2 %) finden sich in den landwirtschaftlich genutzten Böden und 54.250 t C (1,2 %) im Straßenland. Die C-Speicher der Böden auf Brachen, entlang Bahntrassen und auf industriell genutzten Flächen konnten wegen der ungenügenden Datennlage nicht bestimmt werden (grau hinterlegte Flächen).

Erläuterungen zur Karte „Kohlenstoffspeicher der Vegetation Berlins“

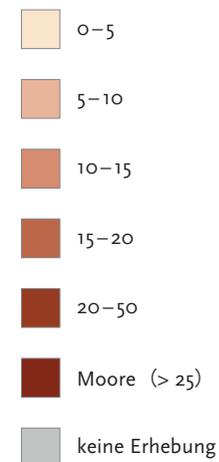
In der Vegetation Berlins sind rund 3,3 Mio. t C gespeichert. Die höchsten C-Speicher befinden sich im Nutzungstyp Forst mit 1,3 Mio. t C (40 %) auf einer Fläche von 161 km². Die zweitgrößten C-Speicher befinden sich mit 897.900 t C (27 %) im Nutzungstyp Siedlung auf einer fast doppelt so großen Fläche (298 km²). Parks speichern 362.000 t C (11 %) und ähnlich hohe Mengen sind mit 330.000 t C im Straßenland gespeichert (10 %). Die geringsten Mengen an Kohlenstoff finden sich in der Vegetation der Kleingärten mit 75.700 t C (2,3 %) und auf landwirtschaftlichen Flächen mit 41.500 t C (1,3 %). Sonstige Flächen (z. B. Brachen, Industrie) machen schließlich ca. 8,2 % des gesamten C-Speichers aus (270.000 t C). Aufgrund des Auswertungsverfahrens unterscheiden sich die berlinweiten C-Speicher pro Flächeneinheit geringfügig von jenen der Stichproben (Kohlenstoffspeicher nach Nutzungstypen, S. 21–23).

Erläuterungen zur Karte „Natürliche Kohlenstoffspeicher Berlins (Böden und Vegetation)“

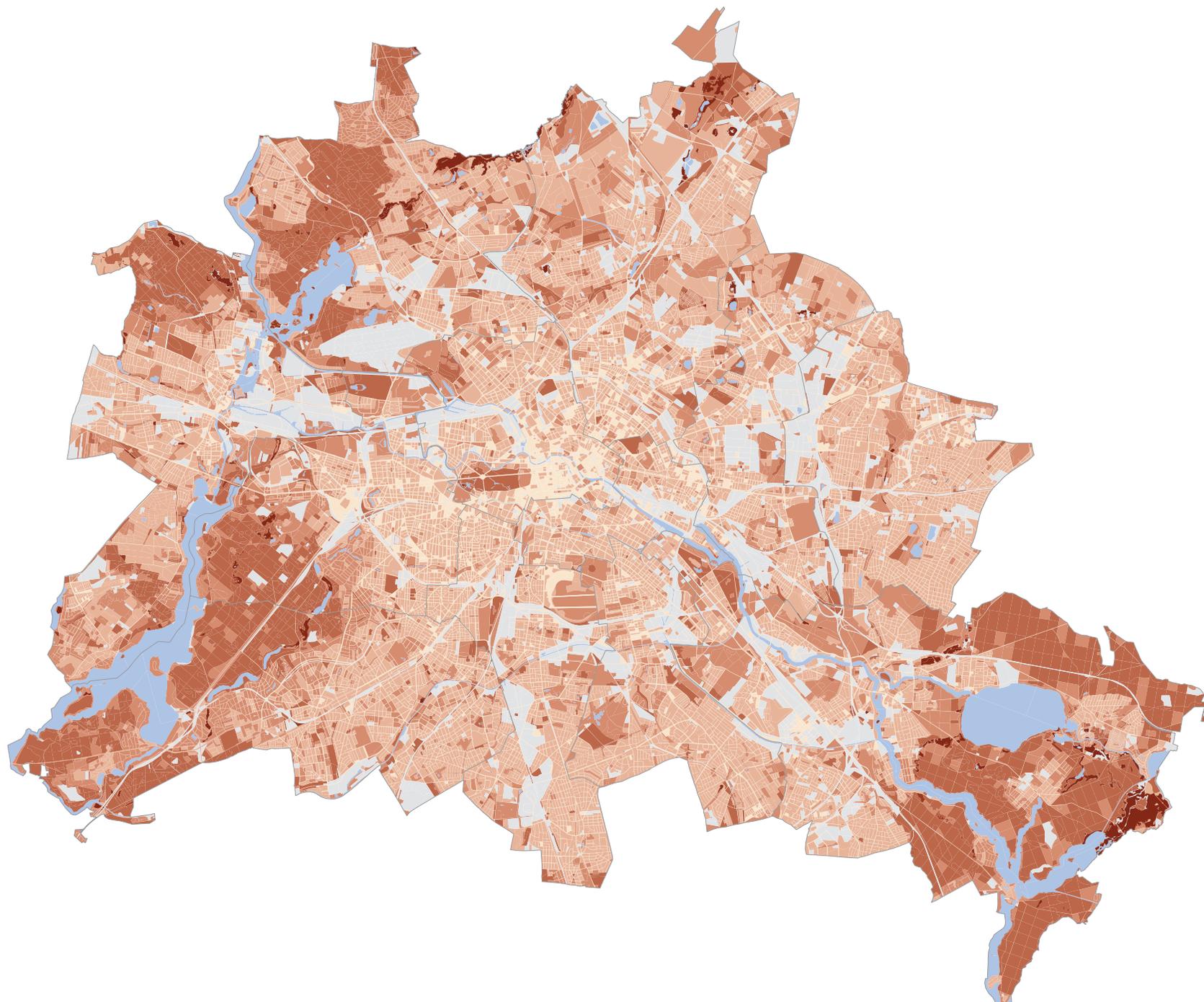
Aus der Kombination der C-Speicher in Böden und Vegetation ergibt sich für Berlin ein Gesamtspeicher an organischem Kohlenstoff in Höhe von 7,7 Mio. t C. Dies entspricht durchschnittlich 91,6 t C/ha (Tonnen Kohlenstoff je Hektar), wobei in den Kleingärten mit fast 200 t C/ha vergleichsweise am meisten Kohlenstoff gespeichert ist, gefolgt von den Nutzungstypen Forst mit 156,4 t C/ha, Park mit 135,0 t C/ha, Siedlung mit 124,1 t C/ha, Landwirtschaft mit 87,4 t C/ha und dem Straßenland mit 65,9 t C/ha.

Natürliche Kohlenstoffspeicher Berlins (Böden und Vegetation)

Kohlenstoffvorräte [kg C/m²]



Topographie



Datengrundlage

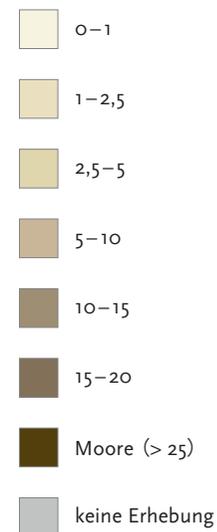
NatKoS-Datenbank Vegetation (oberirdische Biomasse) und Boden (organischer Kohlenstoff bis 100 cm Tiefe), Umweltatlas Berlin / Reale Nutzung 2015 unter Berücksichtigung des Versiegelungsgrades [%], Umweltatlas Berlin / Gebäude- und Vegetationshöhen 2009/2010, Geoportal Berlin / Ortsteile von Berlin

Impressum

Forschungsprojekt NatKoS, Humboldt-Universität zu Berlin, Karte enthalten in:
DOI 10.18452/20027.2
<https://hu.berlin/natkos>

Kohlenstoffspeicher der Böden Berlins

Organische Kohlenstoff-
vorräte bis 100 cm Tiefe
[kg C/m²]



Topographie



Datengrundlage

NatKoS-Datenbank Boden (organischer Kohlenstoff bis 100 cm Tiefe), Umweltatlas Berlin / Reale Nutzung 2015 unter Berücksichtigung des Versiegelungsgrades [%], Geoportal Berlin / Ortsteile von Berlin

Impressum

Forschungsprojekt NatKoS, Humboldt-Universität zu Berlin, Karte enthalten in: DOI 10.18452/20027.2 <https://hu.berlin/natkos>



Kohlenstoffspeicher der Vegetation Berlins

Kohlenstoffvorräte der
oberirdischen Biomasse
[kg C/m²]

0–1

1–2,5

2,5–5

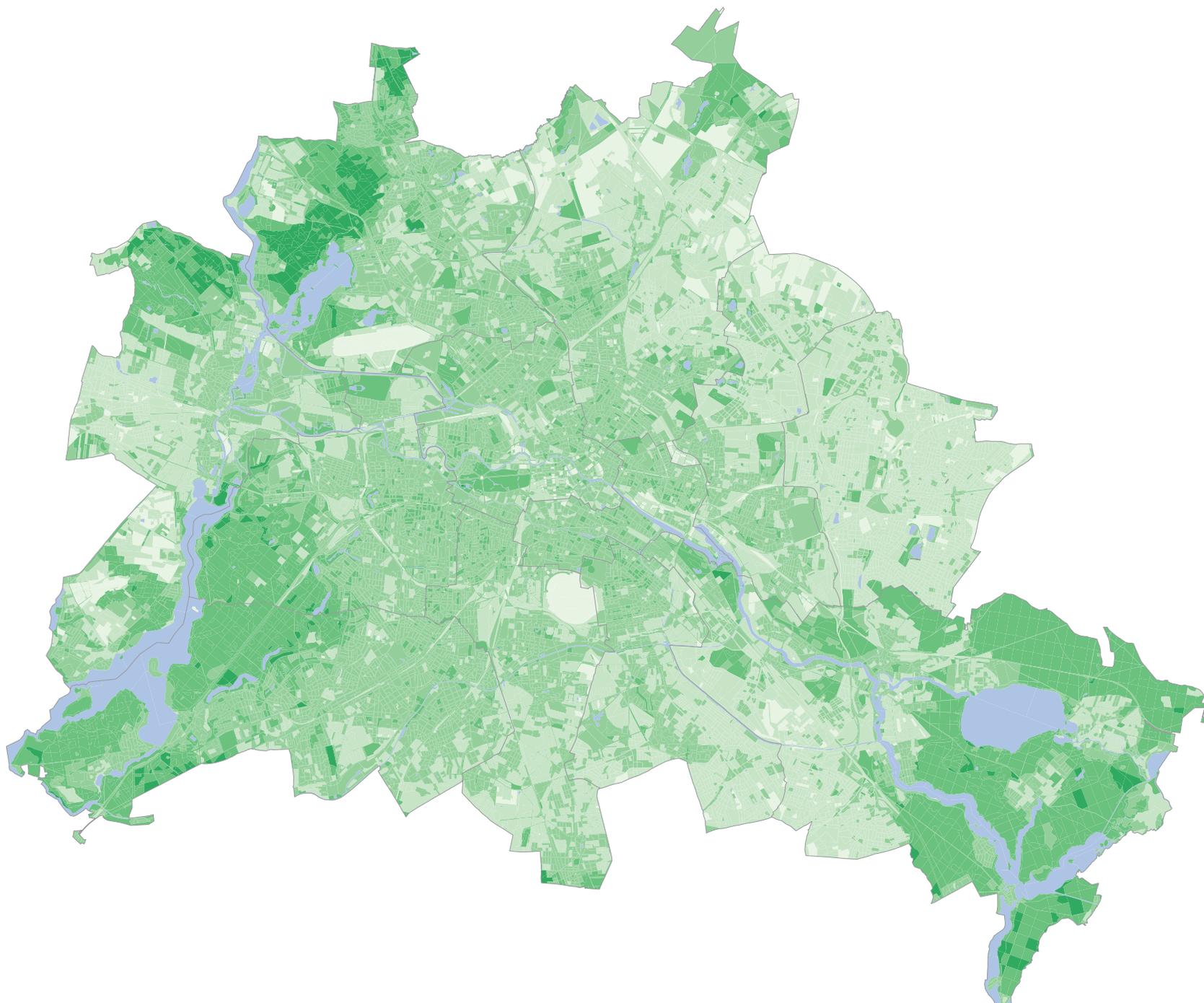
5–10

10–15

Topographie

Gewässer

Bezirksgrenzen



Datengrundlage

NatKoS-Datenbank Vegetation
(oberirdische Biomasse),
Umweltatlas Berlin / Reale Nutzung
2015, Umweltatlas Berlin / Gebäude-
und Vegetationshöhen 2009/2010,
Geoportal Berlin / Ortsteile von Berlin

Impressum

Forschungsprojekt NatKoS, Humboldt-
Universität zu Berlin, Karte enthalten in:
DOI 10.18452/20027.2
<https://hu.berlin/natkos>

Resümee und Empfehlungen

Boden und Vegetation als „natürliche Kohlenstoffspeicher“ sind ein hohes Schutzgut für eine Gesellschaft, die sich um Klimaschutz bemüht. Für ein gezieltes Management der natürlichen Kohlenstoffspeicher sind genauere Kenntnisse über deren Eigenschaften und Verteilung in der Stadt notwendig.

Mit Abschluss des Forschungsprojektes NatKoS liegen für Berlin nun erstmals solche Zahlen und Instrumente vor, die für die klimagerechte Stadtentwicklung genutzt werden können. Für die Anwendung dieser Ergebnisse gilt der Grundsatz: Je größer der C-Speicher einer Fläche, desto höher ist ihr Schutzwert. Die Größe der C-Speicher wird durch bestimmte Faktoren begünstigt:

NATÜRLICHE STANDORTFAKTOREN

- hoher Grundwasserstand bzw. grundwasserbeeinflusste Böden

VEGETATIONSAKTOREN

- hoher Anteil an Bäumen und Gehölzen
- ständige Bodenbedeckung durch Vegetation

FAKTOR MENSCH

- hoher Anteil unversiegelter Fläche
- Bodenauftrag über humosen Horizonten
- humusfördernde aktuelle Flächennutzung
- humusfördernde ehemalige Flächennutzung

Empfehlungen für die Stadtplanung und Politik

Aus den Ergebnissen des NatKoS-Projektes lassen sich Schlüsse ziehen und Empfehlungen für die klimafreundliche Stadtplanung und konkrete städtebauliche Projekte ableiten:

- Nutzung der NatKoS-Daten zu natürlichen C-Speichern in Berlin und Nutzung des NatKoS-Planungsinstrumentes zur Bezifferung des (Klima-)Schutzwertes von Stadtgrün und Böden
- Nutzung der NatKoS-Daten (C-Speichermengen bzw. CO₂-Äquivalente) für die Festlegung notwendiger Ausgleichsmaßnahmen bei Eingriffen in Natur und Landschaft (und Klima)
- Erhaltung des Kleingartenbestandes (Stichwort „Klimagärten“)
- Schutz alter Baumbestände als explizites Klimaschutzziel

Anreize schaffen

Für den Klimaschutz, der mit der Erhaltung und Förderung der natürlichen C-Speicher verbunden ist, müssen Anreize geschaffen werden. Wir empfehlen bestimmte Maßnahmen gezielt finanziell zu fördern:

- humusfördernde, gärtnerische Nutzung (ohne torfhaltige Pflanzsubstrate) bei städtebaulichen Umsetzungsprojekten, z. B. bei der Integration von Nachbarschaftsgärten in Neubausiedlungen





- hohe Flächenanteile an Bäumen und Gehölzen bei städtebaulichen Umsetzungsprojekten, z. B. „Klimawäldchen“ innerhalb von Grünanlagen, Schulhöfen oder Neubausiedlungen, auch unter Beachtung der Synergien der positiven stadtklimatischen Wirkung von Baumbeständen
- Wiedervernässung von Moorböden und mineralischen Grundwasserböden (Gleye, Auenböden)
- Planung und Umsetzung eines niedrigen Grades der Bodenversiegelung und Förderung von Entsiegelungsmaßnahmen
- ganzheitliche Konzepte für die Gestaltung und Pflege von Grünanlagen, welche nur geringen Aufwand für die Grünflächenpflege benötigen und dadurch CO₂ einsparen, z. B. durch Auswahl weniger pflegeintensiver Pflanzenarten oder durch Belassen von Laubstreu auf den Flächen

Wichtige Ergebnisse in Kürze

- Böden und Vegetation von 231 flächenrepräsentativen Standorten in Berlin wurden auf ihre C-Speichermenge und deren Einflussfaktoren hin untersucht und in einer Datenbank erfasst. Diese wurde zudem durch Archivdatensätze von 33 Standorten ergänzt. Insgesamt 1.852 Feldproben von Boden und Vegetation wurden auf verschiedene Parameter analysiert.
- Die natürlichen Kohlenstoffspeicher in Berlin lassen sich am besten über urbane Nutzungstypen und typische urbane Vegetationsstrukturen differenzieren.
- Über die Differenzierung der urbanen Böden nach Störungstypen (Entstehung, Beeinflussung und Qualität der C-Speicher) lassen sich die Aussagen zur Größe der Boden-C-Speicher ergänzen.
- Die stadtweiten Kohlenstoffspeicher der untersuchten Nutzungstypen (87 % der Stadtfläche, ohne Gewässer) liegen bei 3,3 Millionen Tonnen Kohlenstoff im Stadtgrün und 4,4 Millionen Tonnen Kohlenstoff im Boden. Dies entspricht 28,1 Millionen Tonnen CO₂, welches der Atmosphäre entzogen wurde und so nicht mehr als Treibhausgas wirksam ist.
- Die natürlichen Kohlenstoffspeicher liegen bei den untersuchten Kombinationen aus Nutzungstyp und Vegetationsstruktur zwischen 86 (Acker) und 196 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar (Kleingarten).
- Der Anteil von Boden und Vegetation am gesamten natürlichen Kohlenstoffspeicher unterscheidet sich zwischen Flächen verschiedener Nutzung z. T. sehr deutlich.
- Alle baumbestandenen Flächen speichern mindestens 152 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar in Boden und Vegetation und damit deutlich mehr als baumfreie Flächen. Ausnahme sind die Kleingärten und Moore, bei denen der sehr große Boden-C-Speicher die (fehlenden) Bäume (über)kompensiert.

Summary and Recommendations

Soil and vegetation act as “natural carbon reservoirs”. In a society that strives towards protecting the climate, they are a valuable asset. Any targeted management of natural carbon stocks relies on the precise knowledge of their properties and distribution within urban areas.

The NatKoS project provides such knowledge about soils and vegetation in Berlin for the first time, so that a climate-friendly urban development can be based on numbers and instruments. When using the results, the following principle applies: The higher the carbon storage of an area, the higher its priority for protection. Certain factors favour higher amounts of carbon stored within an area:

LOCAL

- high groundwater levels or groundwater-influenced soils

VEGETATION

- high proportion of trees and shrubs
- permanently covered ground with vegetation

HUMAN

- low proportions of sealed surfaces
- burial of soil layers that are rich in humus
- humus-promoting current land use
- humus-promoting former land use

Recommendations for urban planning and politics

Based on the findings of the NatKoS project, for a climate-friendly urban planning and concrete urban development projects, the recommendations are:

- Application of the NatKoS data on natural carbon reservoirs (C stocks) and application of the NatKoS planning tool to quantify and assess the value of urban green spaces and soils for climate protection
- Application of the NatKoS data (C stocks and CO₂ equivalent) to determine necessary compensating measures associated with changes to nature and landscapes (and climate)
- Conservation of allotments (keyword “climate gardens”)
- Protection of old tree stands as an explicit target in climate protection

Creating incentives

Incentives need to be created for climate protection linked to the preservation and promotion of natural carbon reservoirs. We recommend targeted funding of specific actions:

- Implementing humus-promoting, horticultural land use (without peaty substrates) in urban development projects, for example the integration of neighbourhood gardens in new housing estates





- Assigning large portions of space to tree stands and shrub vegetation in urban development projects, for example “climate woodlands” within recreational areas, schoolyards or new housing estates; this measure also considers the woodlands’ positive synergies on the urban climate
- Re-wetting of peat soils and groundwater-influenced, mineral soils (gley and alluvial soils)
- Planning and realisation of areas with no or low degree of soil sealing; this also includes the de-sealing of surfaces
- Developing of holistic concepts to design and manage green spaces that require low maintenance efforts and consequently cause lower CO₂ emissions; this could be achieved for example through a selection of low-maintenance plants or a strategy of keeping leaf litter on sites

Key points of the NatKoS project

- The carbon stocks and the factors influencing the natural carbon reservoirs (soil and vegetation) on 231 sites in Berlin were investigated and collected in a database. Additionally, 33 sites from archives supplement this database. In total, 1852 samples of soil and vegetation were analysed in the scope of this project.
- In Berlin, the C stocks in urban areas can best be distinguished by land use type and vegetation structures.
- In urban soils, a further distinction based on disturbances (origin, influence and quality of the stored carbon) complements the estimation of C stocks.
- An estimation of the C stocks in the investigated land use types yields that 3,3 million tons of carbon (Mt C) are stored within the vegetation and 4,4 Mt C within the soils of Berlin. 87 % of the city area, excluding waterbodies, were included in this estimation. These amounts correspond to 28,1 Mt CO₂, which have been removed from the atmosphere and are no longer effective as greenhouse gases.
- Excluding peatlands, the areal sums of natural carbon stocks for different land use types combined with various vegetation structures range between 86 and 196 tons of carbon per hectare (respectively on fields and allotments).
- The shares of soil and vegetation to the total areal C stocks can differ remarkably among different land use and vegetation types.
- Sites with tree stands store at least 152 tons of carbon per hectare in soil and vegetation and have a markedly higher carbon storage capacity than sites with low-growing vegetation. Among the land use types, allotments as well as peatlands, feature the highest amounts of carbon stored in their soils.

Quellenverzeichnis

- [1] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hg.) (2014): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von O. Edenhofer, Pichs-Madruga R., Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth et al. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- [2] Ciais, P.; Sabine, C.; Bala, G.; Bopp, L.; Brovkin, V.; Canadell, J. et al. (2013): Carbon and other biogeochemical cycles. In: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hg.): Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von T. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung et al. Cambridge, New York: Cambridge University Press, S. 465–570.
- [3] Lal, R. (2004): Soil carbon sequestration to mitigate climate change. In: *Geoderma* 123 (1–2), S. 1–22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032.
- [4] Revi, A.; Satterthwaite, D.; Aragón-Durand, F.; Corfee-Morlot, J.; Kiunsi, R. B. R.; Pelling, M. et al. (2014): Urban Areas. In: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hg.): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir et al. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, S. 535–612. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-Chap8_FINAL.pdf.
- [5] Zhao, S.; Zhu, C.; Zhou, D.; Huang, D.; Werner, J. (2013): Organic Carbon Storage in China's Urban Areas.
- [6] Morel, J. L.; Burghardt, W.; Kim, K.-H. J. (2017): The challenge for soils in the urban environment. In: M. J. Levin, K.-H. J. Kim, J. L. Morel, W. Burghardt, P. Charzyński und R. K. Shaw (Hg.): Soils within cities. Global approaches to their sustainable management - composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Stuttgart: Catena Soil Sciences imprint of Schweizerbart Science Publishers (The IUSS Decade of the Soil book series, 2016), S. 1–6.
- [7] Lal, R.; Stewart, B. A. (2018): Urban Soils: CRC Press (Advances in Soil Science Series).
- [8] Seto, K. C.; Dhakal, S.; Bigio, A.; Blanco, H.; Delgado, G. C.; Dewar, D. et al. (2014): Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning. In: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hg.): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von O. Edenhofer, Pichs-Madruga R., Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth et al. Cambridge, New York: Cambridge University Press, S. 923–1000.
- [9] Seto, K. C.; Fragkias, M.; Güneralp, B.; Reilly, M. K. (2011): A meta-analysis of global urban land expansion. In: *PLoS one* 6 (8), e23777. DOI: 10.1371/journal.pone.0023777.
- [10] Burghardt, W. (2017): Main characteristics of urban soils. In: M. J. Levin, K.-H. J. Kim, J. L. Morel, W. Burghardt, P. Charzyński und R. K. Shaw (Hg.): Soils within cities. Global approaches to their sustainable management - composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Stuttgart: Catena Soil Sciences imprint of Schweizerbart Science Publishers (The IUSS Decade of the Soil book series, 2016), S. 19–26.
- [11] Scharlemann, J. P. W.; Tanner, E. V. J.; Hiederer, R.; Kapos, V. (2014): Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. In: *Carbon Management* 5 (1), S. 81–91. DOI: 10.4155/cmt.13.77.
- [12] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenV UVK) (2018a): Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030. Umsetzungskonzept für den Zeitraum bis 2021. Online verfügbar unter https://www.berlin.de/senvuk/klimaschutz/bek_berlin/download/umsetzung/umsetzungskonzept_BEK2030.pdf.
- [13] BerlinOnline Stadtportal GmbH & Co. KG (2019): Waldpflege/-produkte und Walderhaltung. Mischwaldprogramm. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenV UVK). Online verfügbar unter <https://www.berlin.de/senvuk/forsten/waldpflege/mischwaldprogramm>.
- [14] Stiftung Naturschutz Berlin (2013): Klimaschutzabgabe – Moorrenaturierung zur Kompensation von Treibhausgasemissionen. Klimaentlastende Renaturierung der Kleinen Pelzlaake (Müggelheim). Berlin.
- [15] Stiftung Naturschutz Berlin (2019): Klimaschutzabgabe Moorrenaturierung. Online verfügbar unter <https://www.stiftung-naturschutz.de/naturschutzprojekte/klimaschutzabgabe-moorrenaturierung>.
- [16] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin (SenStadtWohn) (2011): Stadtentwicklungsplan Klima – Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. Berlin.
- [17] Guo, L. B.; Gifford, R. M. (2002): Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. In: *Global change biology* 8 (4), S. 345–360.
- [18] Janzen, H. H. (2004): Carbon cycling in earth systems - a soil science perspective. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104 (3), S. 399–417.
- [19] Leifeld, J.; Kögel-Knabner, I. (2005): Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use? In: *Geoderma* 124 (1), S. 143–155.
- [20] Poeplau, C.; Don, A.; Vesterdal, L.; Leifeld, J.; Van W., B. A. S.; Schumacher, J.; Gensior, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. In: *Global change biology* 17 (7), S. 2415–2427. Online verfügbar unter <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x/full>.
- [21] Riddle, R. L.; Levin, Maxine J. (2017): Anthropogenic soil criteria, identification and classification of human-altered and human-transported materials. In: M. J. Levin, K.-H. J. Kim, J. L. Morel, W. Burghardt, P. Charzyński und R. K. Shaw (Hg.): Soils within cities. Global approaches to their sustainable management - composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Stuttgart: Catena Soil Sciences imprint of Schweizerbart Science Publishers (The IUSS Decade of the Soil book series, 2016), S. 27–34.
- [22] Blume, H.-P.; Brümmner, G. W.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Kretzschmar, R. et al. (2010): Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- [23] Rumpel, C.; Kögel-Knabner, I. (2011): Deep soil organic matter - A key but poorly understood component of terrestrial C cycle. In: *Plant and Soil* 338 (1–2), S. 143–158.
- [24] Lal, R. (2013): Soil carbon management and climate change. In: *Carbon Management* 4 (4), S. 439–462. DOI: 10.4155/cmt.13.31.
- [25] Chaopricha, N. T.; Marín-Spiotta, E. (2014): Soil burial contributes to deep soil organic carbon storage. In: *Soil Biology and Biochemistry* 69, S. 251–264. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.11.011.
- [26] Lorenz, K.; Shaw, R. K. (2017): Carbon storage in urban soils. In: M. J. Levin, K.-H. J. Kim, J. L. Morel, W. Burghardt, P. Charzyński und R. K. Shaw (Hg.): Soils within cities. Global approaches to their sustainable management - composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Stuttgart: Catena Soil Sciences imprint of Schweizerbart Science Publishers (The IUSS Decade of the Soil book series, 2016), S. 203–205.
- [27] Pouyat, R. V.; Yesilonis, I. D.; Nowak, D. J. (2006): Carbon storage by urban soils in the United States. In: *Journal of environmental quality* 35 (4), S. 1566–1575.
- [28] Jo, H.-K. (2002): Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. In: *Journal of environmental management* 64 (2), S. 115–126.
- [29] Lorenz, K.; Lal, R. (2009): Biogeochemical C and N cycles in urban soils. In: *Environment International* 35 (1), S. 1–8.
- [30] Vasenev, V. I.; Stoorvogel, J. J.; Vasenev, I. I. (2013): Urban soil organic carbon and its spatial heterogeneity in comparison with natural and agricultural areas in the Moscow region. In: *CATENA* 107, S. 96–102. DOI: 10.1016/j.catena.2013.02.009.
- [31] Cambou, A.; Shaw, R. K.; Huot, H.; Vidal-Beaudet, L.; Hunault, G.; Cannavo, P. et al. (2018): Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. In: *Science of The Total Environment* 644, S. 452–464. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.322.
- [32] Bolund, P.; Hunhammar, S. (1999): Ecosystem services in urban areas. In: *Ecological Economics* 29 (2), S. 293–301. DOI: 10.1016/S0921-8009(99)00013-0.
- [33] Yang, J.; McBride, J.; Zhou, J.; Sun, Z. (2005): The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. In: *Urban Forestry & Urban Greening* 3 (2), S. 65–78. DOI: 10.1016/j.ufug.2004.09.001.
- [34] Strohbach, M. W.; Arnold, E.; Haase, D. (2012): The carbon footprint of urban green space - A life cycle approach. In: *Landscape and Urban Planning* 104 (2), S. 220–229. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.013.
- [35] Schreyer, J.; Tigges, J.; Lakes, T.; Churkina, G. (2014): Using Airborne LiDAR and QuickBird Data for Modelling Urban Tree Carbon Storage and Its Distribution - A Case Study of Berlin. In: *Remote Sensing* 6 (11), S. 10636–10655. DOI: 10.3390/rs6110636.
- [36] Strohbach, M. W.; Haase, D. (2012): Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany. Analysis of patterns in a European city. In: *Landscape and Urban Planning* 104 (1), S. 95–104. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.001.
- [37] Kändler, G.; Adler, P.; Hellbach, A. (2011): Wie viel Kohlenstoff speichern Stadtbäume? Eine Fallstudie am Beispiel der Stadt Karlsruhe. In: *FVA-Einblick* 15 (2), S. 7–10.
- [38] Gardi, O.; Schaller, G.; Neuner, M.; Mack, S. (2016): Ermittlung der Kohlenstoffspeicherung von Bäumen im Siedlungsgebiet am Beispiel der Stadt Bern. In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 167 (2), S. 90–97. DOI: 10.3188/szf.2016.0090.
- [39] Davies, Z. G.; Edmondson, J. L.; Heinemeyer, A.; Leake, J. R.; Gaston, K. J. (2011): Mapping an urban ecosystem service. Quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. In: *Journal of Applied Ecology* 48 (5), S. 1125–1134. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.02021.x.

- [40] Nowak, D. J.; Crane, D. E. (2002): Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. In: *Environmental Pollution* 116 (3), S. 381–389. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00214-7.
- [41] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin (SenStadtWohn) (2014a): Umweltatlas Berlin / Biotop-typen. Online verfügbar unter <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>, zuletzt aktualisiert am 29.08.2014.
- [42] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin (SenStadtWohn) (2018): Umweltatlas Berlin / Flächen-nutzung, Stadtstruktur 2015 und Ver-segung 2016. Berlin. Online verfügbar unter <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>, zuletzt aktualisiert am 23.08.2018.
- [43] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin (SenStadtWohn) (2017): Umweltatlas Berlin / Reale Nutzung 2015. Online verfügbar unter <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>, zuletzt aktualisiert am 17.03.2017.
- [44] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenV UVK) (2018b): Geoportal Berlin / Grünanlagenbestand Berlin. Berlin. Online verfügbar unter <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>, zuletzt aktualisiert am 23.05.2018.
- [45] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) (2016): Flächennutzung und Stadtstruktur. Dokumentation der Kartiereinheiten und Aktualisierung des Datenbe-standes 2015. Unter Mitarbeit von J. Gerstenberg, C. Nitzsche und W. Siewert. Berlin. Online verfügbar unter http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Nutzungen_Stadtstruktur_2015.pdf.
- [46] Ad-Hoc-Ag Boden (2005): Bodenkund-liche Kartieranleitung. 5. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart.
- [47] Pearson, T.; Walker, S.; Brown S. (2005): Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. The World Bank. Online verfügbar unter <http://documents.worldbank.org/curated/en/285391468335978463/pdf/795480WPoSourcoCfProject-sooPUBLIco.pdf>.
- [48] Brown, J. K. (1974): Handbook for inventorying downed woody Material. General Technical Report INT-16. Ogden, Utah: USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Expe-riment Station.
- [49] Senatsverwaltung für Stadtentwick-lung und Wohnen Berlin (SenStadt-Wohn) (2014b): Umweltatlas Berlin / Gebäude- und Vegetationshöhen. Online verfügbar unter <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>, zuletzt aktualisiert am 01.07.2014.
- [50] Landesarchiv Berlin: HistoMap Berlin. Online verfügbar unter <http://histo-mapberlin.de/histomap/de/index.html>.
- [51] Grenzius, R.; Grabowski, C.; Machatzi, B. (1991): Standortliches Gutachten für die Berliner Forten (Westteil). Bereich Spandau. SenStadtUm/Berliner Fors-ten. Online verfügbar unter <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>.
- [52] Bunce, R. G. H. (1968): Biomass and Production of Trees in a Mixed Decidu-ous Woodland: I. Girth and Height as Parameters for the Estimation of Tree Dry Weight. In: *Journal of Ecology* 56 (3), S. 759–775.
- [53] Clark, A.; Schroeder, J. G. (1986): Weight, Volume, and Physical Proper-ties of Major Hardwood Species in the Southern Appalachian Mountains. Hg. v. United States Department of Agricul-ture. Southeastern Forest Experiment Station. Asheville, NC 28802 (Research Paper SE-253).
- [54] Muukkonen, P. (2007): Generalized all-ometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. In: *European Journal of Forest Research* 126 (2), S. 157–166. DOI: 10.1007/s10342-007-0168-4.
- [55] Ter-Mikaelian, M. T.; Korzukhin, M. D. (1997): Biomass equations for sixty-five North American tree species. In: *Forest Ecology and Management* 97 (1), S. 1–24. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00019-4.
- [56] Hutyra, L. R.; Yoon, B.; Alberti, M. (2011): Terrestrial Carbon Stocks across a Gradient of Urbanization. A Study of the Seattle, WA Region. In: *Global change biology* 17 (2), S. 783–797. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02238.x.
- [57] McPherson, G. E.; Nowak, D. J.; Rownt-ree, R. A. (1994): Chicago's urban fo-rest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. U. S. Department of Agriculture, Forest Ser-vice, Northeastern Forest Experiment Station (USDA). Radnor, Pennsylvania (General Technical Report). Online verfügbar unter https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf.
- [58] Chojnacky, D. C.; Milton, M. (2008): Measuring Carbon in Shrubs Chapter 5. In: *Springer Science + Business Media*, S. 45–72.
- [59] R Core Team (2018): R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 3.5.1. Vienna, Austria: R Founda-tion for Statistical Computing. On-line verfügbar unter <https://www.R-pro-ject.org/>.
- [60] Jenkins, J. C.; Chojnacky, D. C.; Heath, L. S.; Birdsey, R. A. (2003): Natio-nal-Scale Biomass Estimators For United States Tree Species. In: *Forest Science* 49 (1), S. 12–35.
- [61] Bolinder, M. A.; Janzen, H. H.; Grego-rich, E. G.; Angers, D. A.; VandenBygaart, A. J. (2007): An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agri-cultural crops in Canada. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118 (1–4), S. 29–42. DOI: 10.1016/j.agee.2006.05.013.
- [62] Klingenfuß, C. (2014): Moore in Berlin – die besondere Situation in einer Millionenstadt. In: V. Luthardt und J. Zeitz (Hg.): Moore in Brandenburg und Berlin. Rangsdorf: Natur und Text, S. 185–196.
- [63] Strohbach, B. (2000): Böden der Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch. Entstehung und Eigenschaften. In: *Wasser & Boden* (52/9), S. 4–8. Online verfügbar unter <http://www.berliner-rieselfelder.de/materialien/wubogooP4-8.pdf>.
- [64] Koischwitz, G. (1984): Sechs Dörfer in Sumpf und Sand. Geschichte des Bezirkes Reinickendorf von Berlin: Der Nord-Berliner.
- [65] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenV UVK) (2019a): Entwurf des Kleingartenentwicklungs-planes 2030. Referat Freiraumplanung und Stadtgrün III C. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/kleingarten/de/kleingartenentwicklungsplan/>.
- [66] Bundesgerichtshof (BGH) (17.06.2004): III ZR281/03.
- [67] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenV UVK) (2009): Verwaltungsvorschriften über Dauer-kleingärten und Kleingärten auf landes-eigenen Grundstücken. In: *ABl.* Nr. 58 vom 30.12.2009.
- [68] Nalbant, H. (2017): Inventory of the nutrient and pollutant status of garden soils in Berlin. Technische Universität Berlin. Institut für Ökologie.
- [69] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenV UVK) (2019b): Straßenbäume in Berlin. Anzahl je Kilometer Stadtstraße (Bestandsdichte) in den Berliner Bezirken. Berlin. Online verfügbar unter https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/daten_fakten/downloads/ausw_137.pdf.
- [70] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenV UVK) (2019c): Straßenbäume in Berlin. Bestand nach Hauptgattungen in den Berliner Be-zirken. Online verfügbar unter https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/daten_fakten/downloads/ausw_139.pdf.
- [71] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenV UVK) (2018c): Straßen- und Parkbäume - Bestands-entwicklung. Online verfügbar unter https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/daten_fakten/bestandsentwicklung/index.shtml.
- [72] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (SenUVK) (2009): Die wichtigste Funk-tion des Waldes in Berlin. Erholung für Berlinerinnen und Berliner. Online verfügbar unter https://www.berlin.de/senuvk/forsten/100jahre/download/ausstellung/ausstellung_forsten_tafel6.pdf.
- [73] Jacobs, A.; Flessa, H.; Don, A.; Heidkamp, A.; Prietz, R.; Dechow, R. et al. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Thünen Report 64. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Online verfügbar unter [https://literatur.thuenen.de/digbib_ex-tern/dno60497.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_external/dno60497.pdf).
- [74] Post, W. M.; Emanuel, W. R.; Zinke, P. J.; Stangenberger, A. G. (1982): Soil carbon pools and world life zones. In: *Nature* 298 (5870), S. 156–159. DOI: 10.1038/298156a0.
- [75] Parish, F.; Sirin, A.; Charman, D.; Joosten, H.; Minayeva, T.; Silvius, M.; Stringer, L. (2008): Assessment on peatlands, biodiversity, and climate change. Wageningen: Global En-vironment Centre, Kuala Lumpur & Wetlands International, Wageningen.
- [76] Klingenfuß, C.; Möller, D.; Heller, C.; Thrum, T.; Köberich, K.; Zeitz, J. (2015): Berliner Moorböden im Klimawandel. Entwicklung einer Anpassungsstrategie zur Sicherung ihrer Ökosystemleis-tungen. Steckbriefe der Mooregebiete Berlins. Humboldt-Universität zu Berlin. Berlin.
- [77] Heller, C.; Klingenfuss, C.; Möller, D.; Zeitz, J. (2016): Bewertung der Ökosystemleistungen von Moorböden am Beispiel Berlins - Grundlage für den Moor- und Klimaschutz. DOI: 10.23689/FIDGEO-2944.

Weltweit sind Städte bedeutende Quellen für CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger. Sie besitzen aber auch das Potenzial CO₂ aufzunehmen. Das Stadtgrün bindet CO₂ aus der Luft in seiner Biomasse. Ein Teil dieses gespeicherten Kohlenstoffs gelangt beim Abbau der Biomasse in den Boden und bleibt dort in Form von Humus langfristig erhalten. So stellen Böden und Vegetation in Berlin als natürliche Kohlenstoffspeicher ein Gegengewicht zu den CO₂-Emissionen dar, neben vielen anderen wertvollen ökologischen Funktionen, wie beispielsweise der Kühlungsfunktion oder der Filterfunktion für das Grundwasser. Die Mengen an CO₂, welche im Boden unter verschiedenen urbanen Nutzungen und in urbanen Vegetationsstrukturen gespeichert sind, können den Klimaschutzwert von Boden und Vegetation in der Stadt quantifizieren. In der vorliegenden Broschüre sind dazu wesentliche Ergebnisse des Forschungsprojektes NatKoS dargestellt und anwendungsorientiert aufbereitet. Sie unterstützen Argumente für den Klimaschutz und ermutigen, die CO₂-Senkenwirkung der natürlichen Kohlenstoffspeicher in der Stadtplanung fest zu integrieren.

Das Vorhaben „Planungsinstrument für das CO₂-Management der natürlichen Kohlenstoffspeicher Berlins (NatKoS)“ (Projektlaufzeit: 05/2016 bis 09/2019) wurde im Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE) gefördert aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und des Landes Berlin (Förderkennzeichen 1095-B5-O).



NatKoS-Kartierungstafel

Boden

Organischer Kohlenstoffspeicher je Zentimeter Bodentiefe

Bodenfarbe MUNSELL-Code	Grad der Boden- verdichtung	[kg/m ²]
10 YR 4/3	niedrig	0,05
	mittel	0,05
	hoch	0,06
10 YR 3/6	niedrig	0,14
	mittel	0,16
	hoch	0,17
10 YR 3/3	niedrig	0,14
	mittel	0,16
	hoch	0,17
10 YR 3/1	niedrig	0,14
	mittel	0,16
	hoch	0,17
10 YR 2/2	niedrig	0,33
	mittel	0,38
	hoch	0,43
10 YR 2/1	niedrig	0,33
	mittel	0,38
	hoch	0,43

NatKoS-Kartierungstafel

Vegetation

Kartierungstafel V2

Vegetations- kompartiment	mittlerer oberirdischer C-Speicher [kg C/m ²]
Gräser / Kräuter	0,1*
Bodendecker bis 15 cm Höhe	0,2
Mulfschicht bis 7 cm Höhe	0,6
Sträucher bis 185 cm Höhe	0,7
Sträucher bis 430 cm Höhe	2
Nadel- bzw. Blattstreu (Forst)	0,1
Totholz (Forst)	0,4

* Zuschlag für Wurzelbiomasse: 0,2

V1: NatKoS-Kartierungstafel Vegetation Laubbäume

Brusthöhen- durchmesser [cm]	Eiche, Esche	Birke, Hain-buche, Hasel, Pappel, Erle	Ahorn, Rosskastanie, Platane	Robinie	Rot-Buche	Linde	Rot-Eiche
7,5	6	6	6	5	9	5	9
10	13	12	13	10	17	10	18
12,5	22	20	22	19	29	17	30
15	35	31	35	31	47	26	47
17,5	52	45	51	48	70	39	68
20	73	62	71	69	101	54	95
22,5	98	82	96	96	140	71	126
25	128	106	124	128	186	93	162
27,5	163	134	157	166	241	117	204
30	203	165	195	211	304	145	252
32,5	249	201	238	263	375	176	306
35	300	241	286	323	455	211	367
37,5	358	284	340	390	542	250	433
40	421	332	399	466	637	293	507
42,5	491	385	463	551	739	340	587
45	567	442	534	645	848	392	674
50	741	571	694	862	1084	507	870
55	943	720	879	1120	1343	641	1095
60	1176	889	1091	1423	1619	794	1352
65	1440	1079	1331	1773	1911	966	1642
70	1737	1292	1600	2174	2215	1159	1965
75	2068	1527	1899	2628	2528	1372	2322
80	2435	1786	2230	3139	2847	1608	2715
85	2839	2069	2592	3708	3172	1866	3144
90	3282	2377	2987	4340	3499	2147	3611
95	3763	2710	3417	5036	3827	2451	4116
100	4285	3069	3881	5799	4156	2780	4661

V1: NatKoS-Kartierungstafel Vegetation Nadelbäume

Brusthöhen- durchmesser [cm]	Europäische Lärche	Douglasie	Fichte	Tanne, Eibe	Wald-Kiefer
7,5	6	7	10	6	7
10	12	15	19	12	14
12,5	20	26	31	21	22
15	30	40	46	33	34
17,5	42	59	64	48	48
20	57	81	86	67	64
22,5	74	108	111	90	84
25	94	140	140	116	106
27,5	117	177	172	147	131
30	142	219	207	183	159
32,5	170	266	247	223	190
35	201	319	290	268	225
37,5	235	377	337	318	262
40	272	442	388	373	303
42,5	312	512	442	434	347
45	355	589	501	500	394
50	451	762	630	649	499
55	559	961	775	822	618
60	681	1189	936	1021	751
65	816	1446	1114	1245	898
70	964	1733	1308	1496	1060
75	1127	2051	1520	1776	1236
80	1304	2402	1749	2084	1428
85	1495	2785	1996	2422	1636
90	1701	3203	2260	2791	1859
95	1922	3655	2541	3192	2098
100	2159	4143	2841	3625	2353