

03.20

Bodenschutz

25. Jahrgang
3. Quartal 2020
42234

**Erhaltung, Nutzung und Wiederherstellung
von Böden**

www.BODENSCHUTZdigital.de

Herausgegeben vom Bundesverband Boden e.V.



10 Fachbeiträge zu Bodenbewußtsein, Biodiversität, Flächenmanagement, Klima, Wasserschutz, Land- und Forstwirtschaft, Mikroplastik, Gewässerschutz, Bodenfunktionsbewertung, Naturschutz

Elke Brandes, Melanie Braun, Karl Eckert, Annette Eschenbach, Norbert Feldwisch, Uwe Ferber, Peter Fiener, Alexander Gröngroft, Henrik Helbig, Michael Henneberg, Ulrich Herweg, Sebastian Heynen, Michael Kastler, Klaus Kruse, Eva F. Leifheit, Jeannette Mathews, Henning Meesenburg, Ricarda Miller, Sarah zur Mühlen, Matthias Peter, Matthias C. Rillig, Jan Rücknagel, David J. Russell, Georg Schrenk, Bernd Siemer, Daniel Sperl, Michael Steininger, Zacharias Steinmetz, Daniela Thomas, Klaus Werk, Daniel Wurbs und Jörg Zausig

Rückblick auf 25 Jahre BVB

Regionalgruppen 1995 bis 2020,
Fachgruppen 1995 bis 2020



ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG

Leseprobe

Mehr zur Zeitschrift unter
www.BODENSCHUTZdigital.de/info

Zum 25. Jubiläum des Bundesverbandes Boden e. V.

Svenja Schulze



Liebe Leserinnen und Leser,

Böden bilden die Grundlage unserer Nahrung, sie filtern und speichern Wasser, sie bieten Lebensraum für vielfältige Arten. Böden sind komplexe Ökosysteme und spielen eine wichtige Rolle im Klima-, Umwelt- und Naturschutz. Das Verständnis für diese Rolle und für die Wichtigkeit des Bodenschutzes ist in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen.

Der Klimawandel setzt die Böden unter erheblichen Druck. Die Folgen sind vielerorts bereits sichtbar: Bilder von ausgetrockneten Böden und Überflutungen sind inzwischen regelmäßig Bestandteil der Nachrichten. Gleichzeitig sind Böden als riesige Kohlenstoffspeicher für den Schutz des Klimas unerlässlich. Sie spielen zudem eine wichtige Rolle bei der Anpassung an den Klimawandel, zum Beispiel beim Schutz vor Hochwasser und Starkregen.

Doch die Klimaveränderung ist nicht die einzige Herausforderung für unsere Böden: Kunststoffeinträge und Belastungen mit PFAS, die Intensivierung der Landwirtschaft und der hohe Flächenverbrauch setzen Böden zusätzlich unter Druck und führen zu einem weiteren Verlust an biologischer Vielfalt. Gleichzeitig kommen mit der Anpassung an den Klimawandel neue Aufgaben auf den Bodenschutz zu.

Ich bin zuversichtlich, dass die Bedeutung des Bodenschutzes national und auf globaler Ebene weiter anwachsen wird. „Leben an Land“ – die Beendigung und möglichst Umkehr von Landdegradation ist eines der globalen Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 der Vereinten Nationen. Auch die G20-Staaten haben „Land-

degradation und Habitatverlust“ in diesem Jahr zu einem Schwerpunktthema gemacht. Gemeinsam mit der von den Vereinten Nationen ausgerufenen Dekade zur Wiederherstellung von Ökosystemen müssen wirksame Veränderungen erreicht werden. Ein nachhaltiger Umgang mit der endlichen Ressource Boden ist unabdingbar.

In Deutschland engagiert sich der Bundesverband Boden e. V. schon seit 1995 für die Belange des Umweltmediums Boden. Seitdem ist mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung ein Regelwerk auf Bundesebene etabliert und durch entsprechende Vorschriften der Länder ergänzt worden. Der Bundesverband selbst hat mit der Website www.bodenwelten.de eine Plattform mitgeschaffen, die umfangreiche Informationen über Böden bereithält.

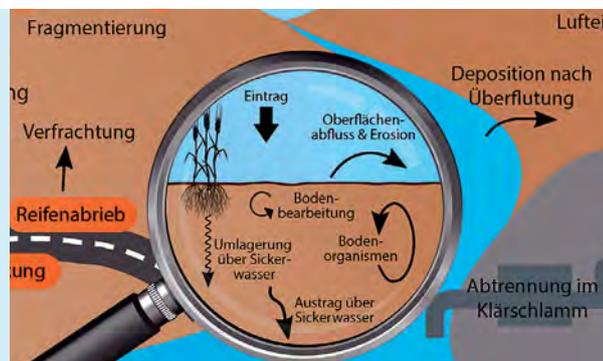
Für das Bundesumweltministerium ist der Bundesverband Boden e. V. mit seiner großen Expertise ein wichtiger Partner. Wir werden die Öffentlichkeit weiter gemeinsam über die Vielfältigkeit, die Leistungen, aber auch die Verletzlichkeit der Böden informieren. Gerade in der Klimaschutzdebatte kann der Beitrag des Bodens als größter Kohlenstoffspeicher an Land und das damit verbundene Klimaschutzpotenzial besonders gewürdigt werden.

Ich gratuliere dem Verband und allen Mitgliedern zum 25-jährigen Bestehen und freue mich auf die weitere Zusammenarbeit!

Svenja Schulze

Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Inhalt 03.20



EDITORIAL

- Zum 25. Jubiläum des Bundesverbandes Boden e. V.** 85
Svenja Schulze

GRUSSWORTE

- Erich Schmidt Verlag
Ingrid Kögel-Knabner
Reinhard F. Hüttl
Hubert Wiggerring
Gabriele Broll
Berndt-Michael Wilke 88

BODENBEWUSSTSEIN

KOMMUNIKATION

- Bodenbewusstsein – Darf es noch ein bisschen mehr sein?** 92
Klaus Kruse und Jeannette Mathews
Bodenschutz, Bodenbewusstsein, Kommunikation
soil protection, soil awareness, communication

BODENBIODIVERSITÄT

BODENORGANISMEN

- Die komplexe Biodiversität des Bodens und ihre funktionelle Bedeutung** 96
David J. Russell und Sebastian Heynen
Boden, Biodiversität, Habitatskompartimente, Größenklassen, Nahrungsnetze, trophische Ebenen, Bodenfunktionen
Soil, Biodiversity, Habitat compartments, Size classes, Food web, Trophic levels, Soil functions

PLANUNG

BODENMANAGEMENT

- Flächenmanagement zum nachhaltigen Umgang mit Boden in Stadt und Land** 100
Beispiele aus Sachsen
Bernd Siemer, Uwe Ferber und Karl Eckert

Bodenschutz, Stadt und Stadtumland, Flächenmanagement, Potenzialfläche, Ökosystemfunktion, Bodenfunktion, Bodenversiegelung

Soil Protection, Climate Adaption, Urban Area, Land Use Management, Brownfield, Eco-System Services, Soil Function

BODENSCHUTZ

KLIMASCHUTZ

- Bodenschutz und Klimawandel** 103
Annette Eschenbach und Alexander Gröngroft
Klimawandel, Bodenfunktionen, Bodenkühlleistung, Bodenwasserhaushalt, Bodennutzung, Stadtböden
Climate change, Soil functions, soil cooling potential, soil water balance, land use, urban soils

BODENSCHUTZ

GEWÄSSERSCHUTZ

- Bodenschutz zwischen Landwirtschaft und Wasserschutz** 110
Ricarda Miller und Matthias Peter
Bodenschutz, Grundwasserschutz, Trinkwasserschutz, Landwirtschaft, Nitrataustrag, Bodenerosion, Oberflächengewässerschutz
soil protection, groundwater protection, drinking water protection, agriculture, nitrogen loss, soil erosion, surface water protection



BODENSCHUTZ

LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT

Bodenschutz in Land- und Forstwirtschaft 114

Henning Meeseburg, Jan Rücknagel, Michael Steininger und Daniel Wurbs

Bodenerosion, Bodenverdichtung, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Bodenfunktionen, Flächenverbrauch

soil erosion, soil compaction, forestry, agriculture, soil functions, land consumption

BODENBELASTUNG

PLASTIK

(Mikro-)Plastik im Boden 121

Eintragspfade, Risiken und Handlungsoptionen

Elke Brandes, Melanie Braun, Matthias C. Rillig, Eva F. Leifheit, Zacharias Steinmetz, Peter Fiener und Daniela Thomas

Synthetische Polymere, Mikroplastik, Kunststoffe, Fremdstoffe, Ökosystemfunktion, Eintragspfade, Quantifizierung

Synthetic polymers, plastics, microplastics, xenobiotics, ecosystem function, entry pathways, quantification

BODENSCHUTZ

WASSERBAU

Bodenschutz bei Gewässerunterhaltung und wasserbaulichen Maßnahmen 126

Jörg Zausig, Michael Henneberg und Georg Schrenk

Gewässerunterhaltung, wasserbauliche Maßnahmen, Bodenschutz, Bodenfunktionen

river maintenance, hydraulic engineering, soil protection, soil functions

BODENFUNKTIONSBEWERTUNG

VERFAHREN

Eckpunkte-Papier zur länderübergreifenden Bodenfunktionsbewertung 130

Ricarda Miller, Geogr. Ulrich Herweg, Henrik Helbig, Michael Kastler, Sarah zur Mühlen und Daniel Sperl

Bodenfunktionsbewertung, bundesweites Verfahren, Umweltprüfung, Eingriffs-/Ausgleichsbilanzierung, Kompensationsmaßnahmen, vorsorgender Bodenschutz

soil function rating, strategic environmental assessment, compensation and replacement measures, compensation, soil protection

NATURSCHUTZ

BODENSCHUTZ

Naturschutz und Bodenschutz 135

Vernetztes Denken und gemeinsames Handeln!

Klaus Werk, Norbert Feldwisch und Jörg Zausig

Naturschutz, Bodenschutz, Eingriffsbewertung, Konsenspflicht

nature protection, soil protection, impact regulation, mutual understanding, duty of consensus

RUBRIKEN

BVB-Nachrichten 140

Rückblick Regionalgruppen 1995 bis 2020

Rückblick Fachgruppen 1995 bis 2020

Aus dem Vorstand

Veranstaltungshinweise

Titelbild: Abbildung 1 aus dem Beitrag „Naturschutz und Bodenschutz“, Foto: Ingenieurbüro Feldwisch

Bodenschutz und Klimawandel

Annette Eschenbach und Alexander Gröngröft



Prof. Dr. Annette Eschenbach

Institut für Bodenkunde, Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Universität Hamburg, seit 2007 Professorin für Bodenschutz und Bodentechnologie



Dr. Alexander Gröngröft

Institut für Bodenkunde, Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Universität Hamburg; bis 2019 Dozent, Projekt- und Laborleiter

Zusammenfassung

Böden und Bodenfunktionen werden durch den Klimawandel beeinträchtigt. Insbesondere die ausgeprägten Sommer-trockenheiten der letzten Jahre führen uns die Auswirkungen des Klimawandels schon heute vor Augen. Gleichzeitig übernehmen Böden wichtige Klimaregulationsfunktionen. Im Erdsystem steuern sie u. a. den Kohlenstoff- und Wasser-austausch und können damit den Klimawandel und die Auswirkungen von Hitzewellen und Starkregenereignissen mindern. Allerdings können sie diese Funktionen nur in ausreichendem Maße wahrnehmen, wenn sie aktiv am Wasserhaushalt teilnehmen können und in der Lage sind Niederschlagswasser zu infiltrieren, im Bodenkörper zu speichern sowie den Pflanzen und der Verdunstung zur Verfügung zu stellen. Voraussetzung sind nichtversiegelte Böden mit einer intakten Interaktion zwischen Boden und Vegetation. Im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes urbaner Räume sollte die Bodenabkühlungsfunktion verstärkt in das Boden- und Flächennutzungsmanagement integriert werden sowie alle natürlich gewachsenen Böden vorrangigem Schutz unterliegen. Eine drastische Reduktion der Flächen-inanspruchnahme ist im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel erforderlich.

Schlüsselwörter: Klimawandel, Bodenfunktionen, Bodenkühlleistung, Bodenwasserhaushalt, Bodennutzung, Stadtböden

Summary

Climate change has impact on soils and soil functions. The dry summers of the last years has obviously demonstrated the effects of the changing climate. However, soils have key roles in regulating the local and global cycles of carbon and water. Thus, on a local scale soils are able to reduce summer heat waves as well as stormwater damages. However, to perform these functions sufficiently, soils need to be an active part of the water cycle, where rainwater is able to infiltrate, where water is stored in the soil's pore space and where soilwater is transferred to plants and thus returns to the atmosphere via evapotranspiration. For this function, soils need to be unsealed and to interact with the vegetation properly. In terms of a precautionary protection of urban soils the cooling potential of soils should be integrated in urban planning processes and soils with natural pedogenesis need to be protected preferentially. Additionally, to combat climate change a strong reduction of land consumption is required.

Keywords: Climate change, Soil functions, soil cooling potential, soil water balance, land use, urban soils

1. Einleitung

Böden spielen eine zentrale Rolle im Erd- und Klimageschehen. Sie bilden an der Erdoberfläche den zentralen Naturkörper, an dem sich die unterschiedlichen Sphären (Atmosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre, Lithosphäre) überlappen und durch komplexe Interaktionen und Prozesse das Ökosystem – auch das durch den Menschen stark überprägte Ökosystem – beeinflussen und regulieren. Zu den Regelungsfunktionen gehören u. a. der Ab- und Umbau der organischen Substanzen sowie die Regulierung des Wasser- und Lufthaushalts. Der Boden trägt über die land- und forstwirtschaftliche Nutzungsfunktion zur Sicherung der Ernährung und Bereitstellung von nachwachsenden Ressourcen bei. Bodenorganismen spielen eine zentrale Rolle bei der Aufrechterhaltung und Kontrolle dieser Funktionen und der zugrundeliegenden Prozesse.

Böden werden durch Klima und Witterung maßgeblich beeinflusst und können das Klima modifizieren. Böden mit ihrer Multifunktionalität spielen zur Erreichung der von der UN festgelegten globalen Nachhaltigkeitszielen (Sustainable Development Goals – SDG, UN 2015) eine zentrale Rolle [1, 2, 3].

2. Erwartete Klimaänderungen in Deutschland

Eine Vielzahl von Beobachtungen zeichnet den anthropogenen Klimawandel global und regional nach. Nach Recherchen von Kaspar & Mächel [4] stiegen die mittleren Temperaturen im Jahresdurchschnitt in Deutschland von 1881 bis 2014 um +1,3 °C. Für die Zukunft lassen die Klimaprojektionen insbesondere bei unveränderter Treibhausgasemission eine deutliche Verschärfung der Situation erwarten [5]. Nach diesen Simulationen sind in Deutschland bis zum Ende des 21. Jahrhundert Zunahmen der Sommertemperatur um bis zu 5 °C möglich [6]. Auch die Anzahl von Hitzewellen wird zunehmen – in Norddeutschland mit bis zu fünf Ereignissen, in Süddeutschland bis zu 30 Ereignissen pro Jahr. Nach Projektionen der jährlichen Niederschlagssumme sind sowohl Zunahmen als auch Abnahmen möglich. Bei einer Zunahme von Starkregenereignissen weisen die meisten Projektionen für den Sommer auf Abnahmen der Niederschläge hin, diese werden von 10 % bis zu über 45 % für möglich gehalten [6]. Auf dieser Basis wird davon ausgegangen, dass es auch in Deutschland zukünftig zu vermehrten sommerlichen Trocken- bzw. Dürreperioden bei einer gleichzeitigen Zunahme von Starkregenereignissen kommen wird. Zukünftig muss also mit einer Zunahme beider hydrologischen Extrema gerechnet werden.

3. Bodennutzung und Stadtklima

In Städten sind die Auswirkungen des Klimawandels aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte und dem hohen Flächennutzungsgrad als besonders problematisch anzusehen. Das lokal ausgeprägte Stadtklima ist für das Wohlbefinden der in den Städten lebenden Bevölkerung – global leben derzeit über 55 % der Menschheit in Städten in Deutschland beträgt der Anteil über 77 % [7] – von besonderer Relevanz.

Aktuell beträgt die Überwärmung in den Städten (UHI – Urban heat island) in Deutschland im Durchschnitt etwa 2 °C, in Sommernächten bis zu über 15 °C [8]. Wichtigste Einflussfaktoren sind die höhere Wärmespeicherkapazität von Baumaterialien, die Verminderung der Abkühlung durch Verdunstung aufgrund von Versiegelung und starker Bebauung sowie das veränderte Windfeld [8]. Es wird davon ausgegangen, dass städtische Räume zukünftig häufiger, stärker und länger von Überwärmung betroffen sein werden [9].

Die anhaltende Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche, und damit das Ausmaß der Bodenversiegelung werden maßgeblich zu einer weiteren Zuspitzung der Situation beitragen. Trotz der Festlegung von Zielzahlen, die Zunahme bis zum Jahr 2020 auf 30 ha pro Tag zu beschränken, beträgt die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche auch heute noch durchschnittlich ca. 58 ha pro Tag [10]. Um die Flächennutzung einzudämmen und die Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, fordern die Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt schon seit vielen Jahren das Flächenverbrauchsziel Netto-Null [11].

Böden in der Stadt lassen sich in drei Kategorien unterteilen: 1) naturnahe Böden, 2) gestörte Böden und 3) versiegelte Böden [9]. Bei naturnahen Böden handelt es sich um Böden, die in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial eine Phase der natürlichen Pedogenese durchlaufen haben und somit ähnliche Eigenschaften aufweisen wie die diversen Böden außerhalb des urbanen Raums. Gestörte Böden enthalten durch Bodenauftrag, Bodenabtrag und Durchmischungen oft erhebliche Anteile technogener Komponenten wie Bauschutt, Trümmerschutt, Aschen, Müll oder Schlacken oder bestehen vollständig aus diesen Substraten [13]. An Straßenrändern überwiegen durch diese Eingriffe meist sandige, skelette-reiche Böden, die kleinräumig sehr heterogen sind (z. B. [14]). Bei versiegelten Standorten sind die Bodenfunktionen stark beeinträchtigt oder sie sind i. d. R. vollständig funktionslos.

4. Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf Böden

Von Klimaänderungen sind Böden mit ihren Eigenschaften und Prozessen sowohl direkt als auch durch indirekte Auswirkungen betroffen [12, 15, 16]. Zu den direkten Auswirkungen gehören eine Beeinträchtigung der effektiven Bodenwasserspeicherung und der Grundwasserneubildung, veränderte Kohlenstoffspeicherung und Humusabbau, der Einfluss auf Nährstoffkreisläufe und damit auf die Treibhausgasfreisetzung (CO_2 , CH_4 , N_2O) sowie der Einfluss auf die Diversität und Aktivität der Bodenorganismen [17, 18]. Moore sind besonders vom Klimawandel betroffen. Durch zunehmende Verdunstung und Entwässerung kann der Humusabbau in Mooren erheblich zunehmen [19, 20], so dass Moore zu Quellen von Treibhausgasen werden, während intakte Moore als Senke fungieren [19, 21]. Allerdings führen veränderte Bodennutzungen auch zu deutlichen Veränderungen der Humusgehalte, die oft in kürzeren Zeitperioden zum Tragen kommen [22]. Das Klima wirkt

direkt als einer der wichtigsten Faktoren auf die Bodenbildung und Bodenbiodiversität ein [23]. Die Intensität der Bodenerosion durch Wind und Wasser kann sowohl direkt, z. B. durch veränderte Windgeschwindigkeiten und erhöhtes Auftreten von Starkregenereignissen, als auch indirekt durch geringe Humusgehalte oder geringere Bodenfeuchte beeinflusst werden. Auch Schadstoffabbau und -verlagerung können indirekten Veränderungen unterliegen. Der Klimawandel wirkt sich somit auf Bodenfunktionen, Bodenqualität und deren Beitrag zur Erfüllung der Sustainable Development Goals (SDG) aus [17, 24].

Die Erkenntnisse zu den Folgen des Klimawandels für einzelne Bodeneigenschaften und -prozesse haben durch Forschungsaktivitäten in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Allerdings treffen die regional unterschiedlich ausgeprägten Klimaänderungen auf eine große Diversität und Empfindlichkeit der Böden [25], so dass regional differenzierte Betrachtungen zu den Auswirkungen des Klimawandels erforderlich sind. Aufgrund der Komplexität der Interaktionen im System Boden, der Feedbackreaktionen zwischen Boden, Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre, der unterschiedlichen Zeitskalen der Veränderungen im Boden von Stunden bis zu Dekaden und Jahrhunderten [26], den nach wie vor bestehenden Unsicherheiten in den Simulationsmodellen [27], der Verzahnung von Klimaänderungen mit Anpassungen an die Landnutzung – auch in den vom Menschen stark ge- und überprägten Böden in Ballungsräumen und Städten – sind bisher meist keine gesicherten Aussagen möglich und begründen den hohen Bedarf nach wissenschaftlichen Monitoringprogrammen.

Fokus Bodenwasserhaushalt: Trocken und Dürreperioden

Der Bodenwasserhaushalt eines Standortes wird direkt vor allem durch den Niederschlag und die temperaturabhängige potentielle Verdunstung beeinflusst, die über Wassernachlieferung und Verdunstung den pflanzenverfügbaren Wasservorrat im Boden steuern. Durch die erwartete Temperaturerhöhung und gleichzeitige Abnahme der Sommerniederschläge sowie die erwartete Zunahme der Trockentage kann es während der Vegetationsperiode zu einer raschen Reduzierung des Bodenwasserspeichers kommen. In Abhängigkeit von den standortspezifischen bodenhydrologischen Eigenschaften, insbesondere der durch Bodenart, Lagerungsdichte, Humusgehalt und Anteil an Grobboden gesteuerten nutzbaren Feldkapazität sowie der Wasserleitfähigkeit, kann dies zu Einschränkungen der Wasserversorgung und somit der Wuchsleistung und Vitalität des Bewuchses führen. Auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen kann dies in reduzierten Ertragsleistung resultieren [27, 28]. Ausmaß und Dauer der erwarteten Bodenaustrocknung hängen stark von den Klimasimulationen ab. Samaniego et al. [29] zeigten, dass bei einem Klimaszenario mit 3 °C-Temperaturzunahme die Trockenheitsgefährdeten Flächen 40 % größer zu erwarten sind als bei dem 1,5 °C-Szenario. Die vergangenen Sommer

mit deutlich ausgeprägten Trockenperioden auch schon zu Beginn der Vegetationsperiode führen die Auswirkungen der projizierten Klimaänderungen vor Augen [30, 31]. In einer aktuellen Studie wurde der Effekt der Hitze- und Trockenperiode des Sommers 2018 auf die Ökosystemproduktivität und Kohlenstoffflüsse mit Hilfe der Bodenfeuchteabnahme in prozessbasierten Modellen simuliert [32]. Diese zeigte deutliche regionale Unterschiede zwischen Zentral- und Osteuropa (mit reduziertem CO_2 -Aufnahme) und Skandinavien (mit einer erhöhten CO_2 -Aufnahme). Bei dem sogenannten Dürremonitor, der am UFZ entwickelt wurde, wird der aktuelle Bodenfeuchtezustand bzw. die Dürre aus einem standardisierten Bodenfeuchte Index auf der Grundlage von Simulationen mit einem mesoskaligem hydrologischen Modell räumlich explizit für Deutschland und einzelne Regionen abgeleitet [33].

Ein langjähriges Monitoring an Stadtbaumstandorten in der Stadt Hamburg – wir untersuchen seit 2016 den Bodenwasserhaushalt sowohl an Standorten kürzlich gepflanzter Bäume ($n=17$, alle in Pflanzgruben, Baumpflanzung 2011 und später) als auch an länger etablierten Bäumen ($n=6$, Baumpflanzung 1984 und früher) – zeigt, dass in den vergangenen Jahren in Abhängigkeit der meteorologischen und der Standortbedingungen unterschiedlich lange Phasen mit stark reduzierter Bodenwasserverfügbarkeit auftraten. Insbesondere die Stadtböden mit gestörtem Profilaufbau, technogenem Substrat, hohen Anteilen von sandigen Substraten und somit geringem Wasserspeichervermögen und geringer Wasserleitfähigkeit sind trockenheitsgefährdet sind. Während naturnähere Stadtböden mit feinere Bodentextur und z. B. höheren Gehalten organischer Substanz, also mit natürlicherweise höherem Wasserspeichervermögen weniger trockenheitsgefährdet, dafür aber ggf. bei toniger Ausprägung zur Stauwasserbildung und eingeschränkter Durchwurzelung neigen [34]. Wesentliche Einflussfaktoren sind weiterhin Oberboden-Verdichtung und Versiegelung, die zu deutlich verringerter Infiltration führen.

Die klimatische Wasserbilanz, d. h. die Differenz von Niederschlag und der aus den Klimadaten berechneten potentiellen Verdunstung, war in dem Dürrejahr 2018 mit einer sommerlichen Niederschlagssumme (April–September) von insgesamt 190 mm (im Vergleich zum 30-jährigem Mittel von 402 mm) mit –459 mm extrem negativ ausgeprägt und führte entsprechend zu deutlich ausgeprägten Trockenphasen im Boden. An einzelnen Standorten wurden in diesem Sommer für über fünf Monate Bodenwasserspannungen von über pF 3,0 (1000 hPa) erfasst (Abbildung 1).

Durch die eingeschränkte Bodenwasserverfügbarkeit wird das Wachstum von Bäumen an urbanen Standorten bereits jetzt deutlich limitiert [35]. Aktuelle Untersuchungen an mehreren hundert Bäumen dreier Arten belegen, dass in gemäßigten Breiten das Wachstum von Bäumen in der Stadt im Vergleich zu naturnäheren Standorten im Umland deutlich geringer ist [36].

Zur Sicherung des Stadtbaumbestandes im Klimawandel steht daher sowohl die bessere Wasserversor-

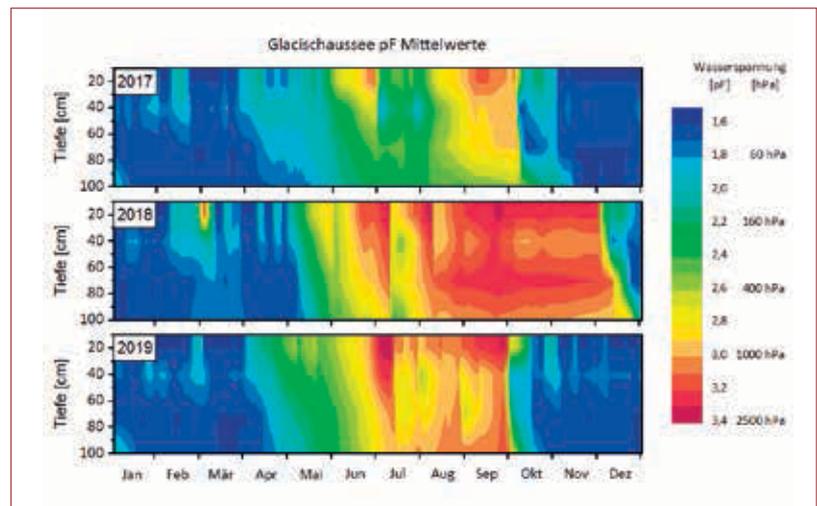


Abbildung 1
Verlauf der Bodenwasserspannung bis 1 m Tiefe am Hamburger Stadtbaumstandort „Glacischaussee“ (*Acer pseudoplatanus* L., Pflanzung 1979) während der Jahre 2017, 2018 und 2019.

gung, durch zum Beispiel Erhöhung des Wurzelraums oder durch Verbesserung der Wasserhaltekapazität der Pflanzsubstrate, als auch die Auswahl trockenheitsresistenter Baumarten und -sorten im Vordergrund. Mit der Frage nach klimaangepassten Baumarten und -sorten befassen sich verschiedene Projekte und Institutionen (siehe z. B. [35, 37, 38]) sowie das Projekt BoBaSt (www.geo.uni-hamburg.de/bodenkunde/forschung/laufende-projekte/bobast.html).

5. Klima- und Wasserregulationsfunktion von Böden

Böden spielen als Träger von Klimaregulationsfunktionen – als Quelle und Senke von Treibhausgasen und als Verdunstungskörper, der zur Abkühlung beiträgt – eine bisher viel zu wenig beachtete Rolle im Klimasystem der Erde. Böden wirken auf das globale und lokale Klima ein. Nimmt der Humusgehalt im Boden zu, fungiert der Boden als Senke für Kohlenstoff und wirkt damit langfristig der Erwärmung entgegen. Insbesondere Böden der Feuchtgebiete, etwa der Marsch- und Moorlandschaften, spielen eine große Rolle sowohl bei der Freisetzung von klimarelevanten Spurengasen als auch der Vermeidung von Emissionen [15, 20]. Weitere zentrale Klimafunktion ist die Abkühlungseigenschaft von Böden durch Verdunstungsprozesse. Außerdem leisten Böden auch als Standorte erneuerbarer Energien einen Beitrag zur Minderung des Klimawandels [15]. Im Klimawandel ist im urbanen Raum auch die Wasserregulationsfunktion zur Minderung der Auswirkungen von Starkregenereignissen bzw. Hochwässern besonders relevant.

5.1 Kühlfunktion in Stadtgebieten

Durch klimatisch ansteigende Temperaturen und die innerstädtische bauliche Verdichtung verschärft sich das Problem der Überhitzung von Stadtzentren [39] bei entsprechenden Wetterlagen. Dies betrifft sowohl die Geschäfts- und Gewerbegebiet als auch die Wohngebiete. Zahlreiche Studien haben nachgewiesen, dass nicht versiegelte Flächen wie Grünflächen und Parks über die Verdunstung entscheidend zu einer Abkühlung der bodennahen Luftschicht beitragen [40, 41, 42].

Eine optimierte Begrünung wird dabei als eine Maßnahme betrachtet, die die Aufheizung der Stadt vermindern kann. Als Wirkmechanismen werden dabei angeführt [43]:

- ▶ Die Transpiration der Pflanzen benötigt Wärme, die in Form von latenter Wärme abgegeben wird und die gefühlte Temperatur vermindert.
- ▶ Die Beschattung von Gebäuden und versiegelten Flächen durch Pflanzen vermindert deren thermische Aufheizung, sodass die Wärmeabstrahlung in den kritischen Abend- und Nachtstunden vermindert wird.
- ▶ Offene Grünflächen bilden Inseln kühlerer Luftmassen, die in angrenzende Wohngebiete einströmen kann und dort einen Kühleffekt auslöst.

Bei der kleinflächigen Begrünung liegt der Fokus dabei auf den Stadtbäumen und den für Fassaden einsetzbaren Kletterpflanzen. Die Dachbegrünungen kann nur bei einer Bodenschicht von > 20 cm und einer Bewässerung bei Trockenheit eine Rolle zur Verbesserung der Kühlfunktion in Hitzeperioden zugesprochen werden [39].

Eigene Messungen haben in Hamburg bei spezifischen meteorologischen Konstellationen Temperaturunterschiede zwischen dem Stadtinnerem und den außerstädtischen Referenzstandorten von bis zu über 7 °C aufgezeigt [44]. Die Untersuchungen konnten darüber hinaus nachweisen, dass die Bodenfeuchte und Wasser-
verfügbarkeit einen großen Einfluss auf die Bodenkühlleistung hat [44, 45].

Für die Quantifizierung der Bodenkühlleistung urbaner Gebiete wurden verschiedene Methoden angewendet. Kastler et al. [46] setzten die Verdunstungsleistung als Maß für die Kühlfunktion ein und schlugen eine Abschätzung auf Basis von meteorologischen Daten, der nach den Tabellen der KA5 geschätzten nFK des effektiven Wurzelraums und groben Klassen des vom Füllungsgrad des Bodenwasserspeichers abhängigen Trockensstress für die Vegetation vor. Um für die Großstadt Hamburg die Verteilung der Kühlfunktion der Böden an Hitzetagen in Planungsprozesse integrieren zu können, wurde eine seitens der Stadtverwaltung flächendeckende Kartendarstellung der Bodenkühlleistung erarbeitet [47]. Diese basierte a) auf gemessenen Bodenfeuchteverläufen an ausgewählten Referenzstandorten des Projektes HUSCO, b) den Ergebnissen der Wasserhaushaltssimulationen mit dem Modell ArcEGMO-PSCN für die reale wie auch eine vereinheitlichte Vegetationsbedeckung sowie c) einer groben Klassifikation der Standorte anhand des Grundwasserflurabstands, der nutzbaren Feldkapazität und ggf. auftretendem Stauwasser. Die Karte der Bodenkühlleistung der Stadt Düsseldorf wurde aus den Daten der BK5 und BK50, aus dem Versiegelungsgrad und aus Klimadaten für eine Einheitsvegetation aus kurzem Gras abgeschätzt [48]. Danach weisen 27 % der Stadtfläche nur eine sehr geringe Bodenkühlleistung auf. Für die Stadt Wuppertal wurde ein Verfahren verwendet, bei dem eine flächendeckende Einstufung der Böden anhand ihrer nutzbaren Feldkapazität und der ökologischen Feuchtestufe gewählt wurde, wobei beide Merkmale aus der BK50 abgeleitet

wurden. Die Intensität der Versiegelung wird dabei informell über die Bodenfunktion gelegt [49]. Kennzeichnend für alle diese Herangehensweisen ist, dass die Wasserspeicherfähigkeit der stark anthropogen überprägten Stadtböden abgeschätzt werden mussten, da Ergebnisse verlässlicher Kartierungen nicht vorlagen.

Eine den städtischen Standortbedingungen angepasste und für die Kühlfunktion optimierte Begrünung setzt Böden voraus, die die städtische Vegetation optimal unterstützen [39]. Dies bedeutet, dass folgende Bodenfunktionen von besonderer Bedeutung sind:

- ▶ Speicherfähigkeit für pflanzenverfügbares Wasser (Feinbodenart, Lagerungsdichte, Skelettanteil, Humusgehalt)
- ▶ Durchwurzelbarkeit
- ▶ Infiltrationsfähigkeit
- ▶ Belüftbarkeit
- ▶ Nährstoffverfügbarkeit

Hinzu kommen Anforderungen, die sich aus weiteren flächenspezifischen Nutzungen ergeben, z. B. die mechanische Stabilität des Bodens bei Betretung oder Befahrung oder die Filterfunktion für das Grundwasser. Für die ausreichende Versorgung der Straßenbäume mit Wasser und damit deren Erfüllung der Kühlfunktion werden unterschiedliche Aufbauten des Wurzelraums vorgeschlagen [50] und in aktuellen Untersuchungsprojekten (u. a. BoBaSt, BlueGreenStreets) geprüft.

Die Standortbedingungen können durch ein angepasstes Grundwassermanagement unterstützt werden, in dem in den kritischen Sommermonaten neben der Wasserspeicherfähigkeit der Böden zusätzliche Wasservorräte durch kapillaren Aufstieg für die Verdunstung zur Verfügung gestellt werden. Wie Wiesner et al. [44] zeigen konnten, sind urbane Parkanlagen mit geringen Grundwasserflurabständen besser geeignet, bei austauscharmen Hitzeperioden für einen nächtlichen Kühleffekt zu sorgen als ähnliche Flächen mit hohen Flurabständen.

Geringe Flurabstände städtischer Ballungsräume stellen aber erhöhte Anforderungen an die Filterfunktion der Böden und sind oft mit negativen Auswirkungen auf die städtische Infrastruktur verbunden.

Ob die aus den Bodeneigenschaften abgeleitete potentielle Bodenkühlleistung in den kritischen Sommermonaten wirksam wird, hängt entscheidend von dem jeweiligen Verlauf von Niederschlag und potentieller Verdunstung ab. Für ausgewählte Standorte wie Straßenbäume und Grünanlagen im Stadtzentrum wird eine Verbesserung der effektiven Kühlleistung (und ein Erhalt des Bewuchses) durch Bewässerung als geeignete Anpassungsmaßnahme erachtet [48].

5.2 Hochwasserregulation

Die Regulation des Wasserhaushalts urbaner Ballungsräume ist eine traditionelle Aufgabe der Siedlungswasserwirtschaft. Neubaugebiete und innerstädtische Verdichtungen in Verbindung mit einem Ausbau des Straßennetzes erfordern einen ständigen Ausbau und eine Anpassung der wasserwirtschaftlichen Infrastruktur. Ein Teil der Entwässerung erfolgt über Oberflächen-

gewässer, die zur Anpassung an die Hochwasserspitzen teilweise massiv ausgebaut wurden. Dies steht den Zielen der EU-WRRL entgegen und kann zukünftig kein Weg mehr sein. Die urbanen Wässer sind trotz der verschärften Umweltgesetze in einem Maße mit Xenobiotica belastet, dass die Verschlechterung der Gewässerqualität besorgt werden muss [51]. Im Zuge des prognostizierten Klimawandels verschärfen sich die Zielkonflikte [52, 53]. Zum Beispiel sollen aus Sicht der Stadtentwässerung Siele und andere Einrichtungen bei Starkregenereignissen nicht überlastet werden. Daher wird eine verstärkte dezentrale Versickerung von Regenwasser gefordert. Aus Sicht der Immobilienbesitzer sollen Grundwasserstände aber vorgegebene Höhen nicht überschreiten, um Schäden an Gebäuden und Sachgütern zu vermeiden. Aus dieser Sicht wird gerade bei Starkregenereignissen ein ausreichender und gefahrloser Regenwasserabfluss gefordert. Aus Sicht der Stadtplanung sind weitere Wohnbauprogramme auch in den städtischen Randzonen notwendig, die eine angepasste Regenwasserabfuhr benötigen. Um Spitzenbelastungen in Oberflächengewässern zu vermeiden, werden z. B. Regenwasserrückhaltebecken und Retentionsräume in der Stadt und entlang der Flüsse vorgesehen. Trotzdem lassen sich Zunahmen der Abflusspeaks in den unterstromigen Gewässern nicht vermeiden, die entweder durch weiteren Gewässerausbau mit negativen ökologischen Folgen begegnet werden oder zu Konflikten mit den angrenzenden Nutzungen führen können. Aus Sicht der städtischen Naherholung werden ruhige, ökologisch hochwertige und erlebbare Räume benötigt, die sich häufig entlang der Gewässer erstrecken. Der Einbau technischer Strukturen zur Abflussoptimierung steht diesem Ziel entgegen. Aus Sicht der Wasserwirtschaft und des Naturschutzes wird die Schaffung von Überflutungsräumen gefordert, um Abflussspitzen zu dämpfen und ökologische Aufwertungen zu erreichen. Aufgrund der bereits abgesenkten Wasserstände sind dazu Abgrabungen im Uferbereich notwendig, die aber zu Verlusten natürlicher und teilweise schützenswerter Auenböden führen und daher von Seiten des Bodenschutzes sehr kritisch gesehen werden.

Je nach Lage werden an die urbanen Böden sehr spezifische Anforderungen an die Funktion im Sinne der Hochwasserregulation gestellt:

- ▶ Hohe Infiltrationsfähigkeit zur Verminderung von Oberflächenabfluss [54]
- ▶ Hohe Reinigungsfunktion für das Grundwasser (z. B. [51]), insbesondere bei gezielter Versickerung von Dach- und Straßenabläufen
- ▶ Wasserspeicherfähigkeit in den Überschwemmungsflächen zur Reduktion der Abflusspeaks
- ▶ Wasserspeicherfähigkeit in allen übrigen Flächen zur Verbesserung der Kühlfunktion
- ▶ Resistenz gegen Wassererosion
- ▶ Lebensraumfunktion für die Biotope mit Erholungsfunktion

Um diese Funktionalität im Sinne der Hochwasserregulation anzupassen, sind Eingriffe in den Bestand der Stadtböden für z. B. die Anlage von Regenrückhaltebecken, Rigolen, Überflutungsflächen im städtischen

Umfeld, Dämme etc. unausweichlich. Die potentielle Wasserspeicherfähigkeit im Boden der Überschwemmungsflächen ist eine Funktion der Infiltrationsfähigkeit, der luftgefüllten Porosität und damit der hochdynamischen Bodenwassergehalte und auch der Grundwasserflurabstände. Bei vorgegebenen Flurabständen werden diese Kriterien von Sandböden besser erfüllt als von bindigen Böden. Damit können diese Böden aber ggf. andere Anforderungen, wie z. B. die Resistenz gegen Wassererosion, die Kohlenstoffspeicherung oder die Lebensraumfunktion weniger gut erfüllen. Dies ist ein Beispiel dafür, dass unter Berücksichtigung des natürlichen Bodeninventars flächen- und nutzungsspezifische Optima definiert werden müssen. Ein Optimum in Bezug auf die Wasserregulation bedeutet, dass nicht alle Anforderungen an die Böden und deren Funktion ständig und maximal erfüllt werden können.

6. Fazit

Böden als begrenzte Ressource leisten, wie seit 1989 im Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) verankert, Lebensraum-, Produktions- und Regulationsfunktionen und dienen als Archive der Natur- und Kulturgeschichte. Der Erfüllungsgrad dieser natürlichen Funktionen wird über die Wertigkeit der Böden (Bodenfunktionsbewertung) als Instrument des Boden- und Flächenmanagements eingesetzt. Allerdings ist die für das Klimageschehen in Städten wichtige Abkühlungsfunktion von Böden im BBodSchG bisher nicht berücksichtigt. Auf Basis des zunehmenden Erkenntnisgewinns zu dieser Bodenfunktion wird seit einigen Jahren eine Nachbesserung im Bodenschutzrecht gefordert, um diese Belange künftig in Planungs- und Genehmigungsverfahren zu stärken. In der aktuellen Überarbeitung des BBodSchG wurde sie aber bisher nicht aufgenommen.

Im Zentrum des vorsorgenden Bodenschutzes sollte der Schutz der natürlich gewachsenen Böden vor Zerstörung stehen [55]. Diese sollten insbesondere im hochverdichteten und weitgehend überformten urbanen Raum vor einer Überbauung, einer Versiegelung, einer Ein- und Aufbringung von Material geschützt werden. Die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und Vermeidung der Bodenversiegelung ist ebenso wie die effektive und intelligente Nutzung des städtischen Siedlungsraumes mit einer „doppelten Innenentwicklung“ die zukünftige Aufgabe, auch um die im Klimawandel relevanten Bodenfunktionen Abkühlungsfunktion und Hochwasserregulation zu sichern. Bei dieser zentralen Aufgabe der Stadtentwicklung müssen die unterschiedlichen Sachgebiete in den Kommunen zusammenarbeiten (z. B. Stadtplanung, Grünflächenunterhaltung/-planung, Umwelt- und Klimaschutz, Straßenbau, Stadtentwässerung). Nur so kann der berechtigte Bedarf nach mehr Wohnraum in den Metropolen ohne zusätzliche Beeinträchtigung des Umwelt- und Klimaschutzes umgesetzt werden.

Im urbanen Bereich nimmt die Tendenz zu, selbst kleinen Flächen planerisch zugeordnete Funktionen zuzuweisen. Aufgrund der Nachverdichtung ergreift die Planung dabei zunehmend auch den Untergrund

(U-Bahnen, Tunnel, Versorgungsleitungen, Tiefgaragen etc.). Die verbleibenden unversiegelten Flächen erhalten dabei oft mehrere Funktionen, d. h., dass an die Böden immer höhere Anforderungen gestellt werden. Böden sind multifunktional, aber nicht alle Funktionen können gleichzeitig und am gleichen Ort erfüllt werden. Allerdings wird der Anteil der im Sinne der Funktionserfüllung künstlich hergestellten Böden bzw. Bodensubstrate weiterhin zunehmen.

Vor dieser Entwicklung ist es Aufgabe des Bodenschutzes im urbanen Raum:

- ▶ Bodenschutzgebiete auszuweisen,
- ▶ die Bodenkühlleistung in stadtplanerische und stadtklimatische Programme aufzunehmen (doppelte Innenentwicklung),
- ▶ eine umfassendere Berücksichtigung und Verbesserung der Humusgehalte anzustreben und Boden mit seiner Funktion als Kohlenstoffsänke in der Stadtplanung zu berücksichtigen,
- ▶ in Kooperation mit den Grünämtern das Stadtgrün als System Boden – Vegetation zu schützen und zu vermehren, um die Biodiversität zu verbessern und um die Stoffkreisläufe aufrecht zu erhalten,
- ▶ bei Genehmigungen auf den Erhalt einer hohen Wertigkeit der Böden zu achten (Verhinderung der Entsorgung von Recyclingmaterialien),
- ▶ die Kontrolle der bodenphysikalischen Eigenschaften zu integrieren (Verdichtung verhindern, Aufrechterhaltung der Austauschprozesse),
- ▶ die weitere Bodenversiegelung zu stoppen und die Flächeninanspruchnahme auf null Hektar zu reduzieren.

Literatur

- [1] Lal, R., Horn, R., Kosaki, T. (2018): Soil and Sustainable Development Goals. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 196 S.
- [2] Bouma, J. (2018): How can the soil science discipline contribute most effectively to achieving the UN Sustainable Development Goals, in: Lal, R., Horn, R., Kosaki, T. (Eds.), Soil and Sustainable Development Goals. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 15–37.
- [3] Grimski, D., Bartke, S. (2019): Die Zukunft der Boden- und Flächenforschung in Europa – Ergebnisse des EU-Projektes INSPIRATION zur Forschungsagenda für den Bodenschutz aus Stakeholdersicht. Bodenschutz 24, 16–27.
- [4] Kaspar, F., Mächel, H., Jacob, D., Kottmeier, C. (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland, Klimawandel in Deutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, pp. 149–172.
- [5] Schmidt, H., Eyring, V., Latif, M., Rechid, D., Sausen, R., Jacob, D., Kottmeier, C. (2017): Globale Sicht des Klimawandels, Klimawandel in Deutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, pp. 7–16.
- [6] Meinke, I., Rechid, D., Tinz, B., Maneke, M., Lefebvre, C., Isokeit, E. (2018): Klima der Region – Zustand, bisherige Entwicklung und mögliche Änderungen bis 2100, Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, pp. 15–36.
- [7] United Nations (2018): 2018 revision of world urbanization prospects. United Nations New York.
- [8] Kuttler, W. (2008): Klimatologie. UTB. 306 S.
- [9] Goldbach, A., Kuttler, W. (2013): Quantification of turbulent heat fluxes for adaptation strategies within urban planning. International Journal of Climatology 33, 143–159.
- [10] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaechen-boden-land-oekosysteme/flaechen/siedlungs-verkehrsflaechen#-das-tempo-des-flaechen-neuverbrauchs-geht-zurueck>.
- [11] KBU (2017): Urbanisierung und Bodenschutz. Warum zwei Prozent für den Boden die Welt bedeuten, in: Umweltbundesamt (Ed.). Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (KBU), Dessau, p. 11.
- [12] Schickhoff, U., Eschenbach, A. (2018): Terrestrische und semiterrestrische Ökosysteme, Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, pp. 109–145.
- [13] Morel, J.L., Burghardt, W., Kim, K.H.J. (2017): The challenges for soils in the urban environment, in: Levin, M.J., Kim, K.H.J., Morel, J.L. (Eds.), Soils within cities: Global approaches to their sustainable management – composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Catena-Schweitzerbart, Stuttgart, pp. 1–6.
- [14] Greinert, A. (2015): The heterogeneity of urban soils in the light of their properties. Journal of Soils and Sediments 15, 1725–1737
- [15] Pfeiffer, E.-M., Eschenbach, A., Munch, J.C. (2017): Boden, Klimawandel in Deutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, pp. 203–213.
- [16] Jones, A., Stolbovoy, V., Rusco, E., Gentile, A.-R., Gardi, C., Marechal, B., Montanarella, L. (2009): Climate change in Europe. 2. Impact on soil. A review. Agronomy for sustainable development 29, 423–432.
- [17] Jansson, J.K., Hofmøckel, K.S. (2019): Soil microbiomes and climate change. Nature Reviews Microbiology, 1–12.
- [18] Briones, M.J.I., Ostle, N.J., McNamara, N.P., Poskitt, J. (2009): Functional shifts of grassland soil communities in response to soil warming. Soil Biology and Biochemistry 41, 315–322.
- [19] Erwin, K.L. (2009): Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. Wetlands Ecology and management 17, 71.
- [20] Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minaeva, T.Y., Silvius, M. (2008): Assessment on peatlands, biodiversity and climate change.
- [21] Holl, D., Pfeiffer, E.-M., Kutzbach, L. (2019): Comparison of eddy covariance CO₂ and CH₄ fluxes from mined and recently rewetted sections in a NW German cutover bog. Biogeosciences Discussions, 1–39.
- [22] Lal, R. (2014): Principles and Practices of Soil Resource Conservation, eLS. John Wiley & Sons, Ltd, p. 10.
- [23] Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P. (2018): Soil quality – A critical review. Soil Biology and Biochemistry 120, 105–125.
- [24] Hamidov, A., Helming, K., Bellocchi, G., Bojar, W., Dalgaard, T., Ghaley, B.B., Hoffmann, C., Holman, I., Holzkämper, A., Krzeminska, D. (2018): Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case-studies. Land degradation & development 29, 2378–2389.
- [25] Lal, R. (2010): Managing soils for a warming earth in a food-insecure and energy-starved world. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173, 4–15.
- [26] Várallyay, G. (2010): The impact of climate change on soils and on their water management. Agronomy Research 8, 385–396.
- [27] Asseng, S., Ewert, F., Rosenzweig, C., Jones, J.W., Hatfield, J.L., Ruane, A.C., Boote, K.J., Thorburn, P.J., Rötter, R.P., Cammarano, D. (2013): Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. Nature climate change 3, 827–832.
- [28] Köhl, M., Möllmann, C., Fromm, J., Kraus, G., Mues, V. (2018): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, pp. 149–172.
- [29] Samaniego, L., Thober, S., Kumar, R., Wanders, N., Rakovec, O., Pan, M., Zink, M., Sheffield, J., Wood, E.F., Marx, A. (2018): Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. Nature Climate Change 8, 421.
- [30] Schaller, M. (2008): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Massnahmen zur Anpassung. Landbauforschung Völknerode – FAL Agricultural Research. FAL Braunschweig, 247.
- [31] Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. Nature 437, 529–533.
- [32] Bastos, A., Ciais, P., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J., Fan, L., Wigneron, J.P., Weber, U., Reichstein, M., Fu, Z., Anthoni, P., Arneth, A., Haverd, V., Jain, A.K., Joetzer, E., Knauer, J., Lienert, S., Loughran, T., McGuire, P.C., Tian, H., Viovy, N., Zaehle, S. (2020): Direct and seasonal legacy effects of the 2018 heat wave and drought on European ecosystem productivity. Science Advances 6, 13 S.
- [33] UFZ, <https://www.ufz.de/index.php?de=37937> letzter Zugriff 15.06.2020).
- [34] Schaaf-Titel, S. (2019): Water availability and soil growth conditions of roadside trees in Hamburg, Institute of Soil Science. Dissertation an der Universität Hamburg, 187 S.
- [35] Böll, S., Schönfeld, P., Körber, K., Herrmann, J.V. (2014): Stadtbäume unter Stress. LWF aktuell 98, 4–8.
- [36] Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Schütze, G., Perkins, D., Rötter, T., Caldentey, J., Koike, T., van Con, T. (2017): Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. Scientific reports 7, 1540.3.
- [37] Roloff, A. (2013): Stadt- und Straßenbäume der Zukunft – welche Arten sind geeignet. Forstwiss Beitr Tharandt Beih 14, 173–187.
- [38] GALK (2012): Straßenbaumliste. Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz e.V., Frankfurt, p. 13.
- [39] Becker, C., Hübner, S., Sieker, H., Gilli, S., Post, M. (2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte, in: BBSR (Ed.). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn, p. 119 S.

- [40] Wessolek, G., Kluge, B., Toland, A., Nehls, T., Klingelmann, E., Rim, Y.N., Mekiffer, B., Trinks, S. (2011): Urban soils in the vadose zone, Perspectives in Urban Ecology. Springer, pp. 89–133.
- [41] Kowarik, I., Bartz, R., Brenck, M. (2016): Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2016): Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Berlin – Leipzig, p. 300.
- [42] Al-Gretawee, H. (2018): Estimating the effect of vegetation on urban temperatures. PhD thesis at Swinburne University of Technology, 259 p and appendix.
- [43] Kastler, M., Neite, H. (2017): Die Bodenkühlleistung als Baustein städtischer Klimaanpassungskonzepte. Bodenschutz 22, 40–47.
- [44] Wiesner, S., Eschenbach, A., Ament, F. (2014): Urban air temperature anomalies and their relation to soil moisture observed in the city of Hamburg. Meteorol Z 23, 143–157.
- [45] Eschenbach, A., Wiesner, S., Gröngroft, A. (2016): Bedeutung der Bodenfeuchte für die Klimafunktion von Böden in einem urbanen Raum. Bodenschutz 21, 118–126.
- [46] Kastler, M., Molt, C., Kaufmann-Boll, C., Steinrücke, M. (2015): Kühlleistung von Böden. Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW, in: LANUV (Ed.), LANUV Arbeitsblatt. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, p. 69.
- [47] Domrose, J. (2017): Quantifizierung der Verdunstungsleistung (Kühlleistung) von Böden in Hamburg. Projektbericht. Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg, 20 S.
- [48] Sperling, C., Valentin, I., Kastler, M. (2019): Die Karte der Bodenkühlleistung in der Stadt Düsseldorf. Bodenschutz 19, 57–65.
- [49] Ingenieurbüro Feldwisch (2017): Fortschreibung der Bodenbelastungskarten und Boden-funktionskarten für die Stadt Wuppertal. Bericht zur Fortschreibung BBK&BOFUKA an die Stadt Wuppertal, Bergisch-Gladbach, 26 S.
- [50] Embrén, B., Bennerscheidt, C., Stål, Ö., Schröder, K. (2008): Optimierung von Baumstandorten – Stockholmer Lösung: Wurzelräume schaffen und Regenwasser nutzen. Konfliktpotenzial zwischen Baum und Kanal entschärfen WWT, 7–8.
- [51] Bester, K., Scholes, L., Wahlberg, C., McArdell, C. (2008): Sources and mass flows of xenobiotics in urban water cycles—an overview on current knowledge and data gaps. Water, Air, & Soil Pollution: Focus 8, 407–423.
- [52] Scheibel, M., Lücke, A. (2016): Vereinbarkeit von Hochwasserrisikomanagement, Gewässerentwicklung und Siedlungswasserwirtschaft im engen urbanen Raum. Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement-Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL, 1590150168.
- [53] Ackermann, D., Hesser, F., Westphal, H., Gönner, G., Müller, O. (2020): Binnenhochwasserschutz unter Berücksichtigung von Ökologie und Ökonomie. Ergebnisse des BMBF-Forschungsprojektes Stuck: Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels., in: LSBG (Ed.), Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer, Hamburg, 58 S.
- [54] Barbosa, A.E., Fernandes, J.N., David, L.M. (2012): Key issues for sustainable urban stormwater management. Water research 46, 6787–6798.
- [55] Oechtering, L. (2020): Blick in die Zukunft des vorsorgenden Bodenschutzes? Bodenschutz 25, 49.

Anschriften der Autoren

Prof. Dr. Annette Eschenbach

Institut für Bodenkunde, Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Universität Hamburg
Allende-Platz 2, 20146 Hamburg,
annette.eschenbach@uni-hamburg.de

Dr. Alexander Gröngroft

Institut für Bodenkunde, Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Universität Hamburg
Allende-Platz 2, 20146 Hamburg,
alexander.groengroeft@uni-hamburg.de



Klimaschutzprogramm 2030
bereits berücksichtigt!

»... ein fachlich wie konzeptionell reifes Werk, das wie ein guter Tropfen über die Jahrzehnte immer noch besser geworden ist.«

Prof. Dr. Wilfried Erguth, Rostock, zur Voraufgabe in:
Deutsches Verwaltungsblatt (DVBl), 7/2016

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG

Auf Wissen vertrauen

Die Ressource für Einsteiger

Umweltrecht ist ein Standardwerk für alle, die an einer ersten und allgemein verständlichen Information über die rechtliche Seite des Schutzes und der Pflege der natürlichen Lebensgrundlagen interessiert sind. **Strukturiert und kompakt** vermittelt das Buch Grundkenntnisse des deutschen Umweltrechts. Konzentriert auf die wichtigsten Umweltgesetze des Bundes verdeutlicht es auch die enge Verflechtung mit dem europäischen Umweltunionsrecht.

Umweltrecht

Einführung

Von Prof. Dr. iur. Peter-Christoph Storm

11., völlig neu bearbeitete Auflage 2020, 428 Seiten,
mit zahlreichen Beispielen und Übersichten, € (D) 32,-
ISBN 978-3-503-19103-1

eBook: € (D) 29,40. ISBN 978-3-503-19104-8

Online informieren und bestellen:

 www.ESV.info/19103

Klimaschutz geht weiter



Grundzüge des Klimaschutzrechts

Von Prof. Dr. jur. Walter Frenz, Maître en Droit Public, Professor für Berg-, Umwelt- und Europarecht an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

2020, 298 Seiten, € (D) 29,-
ISBN 978-3-503-19454-4

eBook: € (D) 26,40, ISBN 978-3-503-19455-1

Online informieren:

 www.ESV.info/19454

Die wichtigsten Einzelfragen zum brisanten und zukunftsrelevanten Klimaschutzrecht erfasst diese Einführung. In einem umfassenden Bild, das **alle rechtlichen Ebenen** berücksichtigt und zueinander gut verständlich in Bezug setzt. Das sind die jeweiligen Schwerpunkte:

Internationale Ebene

- ▶ Wie geht es nach Paris, Kattowitz und Madrid völkerrechtlich weiter?
- ▶ Gibt es einen weltweiten Emissionshandel?
- ▶ Wer haftet für grenzüberschreitende Klimaschäden?

Europäische Ebene

- ▶ Green Deal und Investitionsplan der EU-Kommission für ein zukunftsfähiges Europa
- ▶ Governance-VO und novellierte erneuerbare Energien-RL: Zukunft der Energiewende
- ▶ Gebäudeenergieeffizienz: EU-Vorgaben und nationale Umsetzung

Nationale Ebene

- ▶ Das Klimapakete 2030: Bundes-Klimaschutzgesetz, BEHG, Steuerförderung
- ▶ Klimaverfassungsrecht und Klimaschutzansprüche
- ▶ Kohleausstiegs- und Strukturstärkungsgesetz
- ▶ Dieselfahrverbote
- ▶ Grundrechtliche Grenzen von (weiteren) Klimaschutzmaßnahmen
- ▶ Ausgleichs- und Entschädigungspflichten

Wegen ihres konkreten Einflusses auf den Klimaschutz und ihren nachhaltigen Auswirkungen auf Gesellschaft und Recht finden zwei weitere Topthemen mit globaler Tragweite besondere Beachtung: die **Digitalisierung** und die **Corona-Krise**.

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG

Auf Wissen vertrauen

Bestellungen bitte an den Buchhandel oder: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG · Genthiner Str. 30 G · 10785 Berlin
Tel. (030) 25 00 85-265 · Fax (030) 25 00 85-275 · ESV@ESVmedien.de · www.ESV.info



Bodenschutz

Erhaltung, Nutzung und Wiederherstellung von Böden

Mit Informationen aus der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) und aus dem Bund/Länder-Ausschuss Bodenforschung (BLA-GEO)

Jahrgang: 25 (2020)

Erscheinungsweise:

Bodenschutz erscheint viermal im Jahr.
www.BODENSCHUTZdigital.de

Herausgeber:

Bundesverband Boden e.V. (BVB)

Geschäftsführung:

Maike Bosold
Unter den Gärten 2, 49152 Bad Essen,
www.bvboden.de

Mitherausgeber:

Prof. Dr. G. Bachmann, Berlin und Frankfurt;
Dr. C. G. Bannick, Umweltbundesamt; em. Prof.
Dr. Dr. h.c. Hans-Peter Blume, Kiel; Dr. T. Delschen,
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
NRW, Recklinghausen; Dr. W. Eckelmann,
Hannover; Prof. Dr. R. F. Hüttl, BTU Cottbus-Senftenberg;
Dr. W. D. Kneib, Büro für Bodenbewertung
bfB, Kiel; Prof. Dr. Wilhelm König, AAV – Verband für
Flächenrecycling und Altlastensanierung NRW,
Hattingen

Redaktion:

Reinhard Gierse, E-Mail: redaktion@bvboden.de
Maike Bosold, Unter den Gärten 2,
49152 Bad Essen, E-Mail: Bosold@bvboden.de

Verlag und Vertrieb:

Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG
Genthiner Straße 30 G, 10785 Berlin
Postfach 30 42 40, 10724 Berlin
Telefon: 030/25 00 85-228, Fax 030/25 00 85-275
Verlag E-Mail: ESV@ESVmedien.de
Internet: www.ESV.info
Vertrieb E-Mail: Abo-Vertrieb@ESVmedien.de

Konto: Deutsche Bank AG, IBAN: DE31 1007
0848 0512 2031 01, BIC (SWIFT): DEUTDE33

Bezugsbedingungen:

Bezugsgebühren: Jahresabonnement Printausgabe: 70,00 €, Kombi-Jahresabonnement Print und eJournal, Jahresabonnement eJournal: https://www.ESV.info/zbos-ejournal. Sonderpreise für Mitglieder des Bundesverbands Boden e.V. unter http://ESV.info/ZBos-Preise. Alle Preise jeweils einschließlich gesetzlicher Umsatzsteuer; Printausgabe zzgl. Versandkosten. Die Bezugsgebühr wird jährlich im Voraus erhoben. Abbestellungen sind mit einer Frist von 2 Monaten zum 1.1. eines jeden Jahres möglich.

Anzeigen:

Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG
Genthiner Straße 30 G, 10785 Berlin
Telefon: 030/25 00 85-628, Fax 030/25 00 85-630
Anzeigen E-Mail: Anzeigen@ESVmedien.de
Anzeigenleitung: Farsad Chireugin
Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 20 vom 1. Januar 2020, die unter http://mediadaten.bodenschutzdigital.de bereitsteht oder auf Wunsch zugesandt wird.

Manuskripte:

Hinweise für die Abfassung von Beiträgen stehen Ihnen auch als PDF zur Verfügung unter: www.ESV.info/zeitschriften.html. Das Manuskript erbitten wir per E-Mail bevorzugt in Word, sonst zusätzlich im RTF-Format. Zur Veröffentlichung angebotene Beiträge müssen frei sein von Rechten Dritter. Sollten sie auch an anderer Stelle zur Veröffentlichung oder gewerblichen Nutzung angeboten worden sein, muss dies angegeben werden. Mit der Annahme zur Veröffentlichung überträgt der Autor dem Verlag das ausschließliche Verlagsrecht und das Recht zur Herstellung von Sonderdrucken für die Zeit bis zum Ablauf des Urheberrechts. Eingeschlossen sind auch die Befugnis zur Einspeicherung in Datenbanken, der Verbreitung auf elektronischem Wege (online und/oder offline),

das Recht zur weiteren Vervielfältigung zu gewerblichen Zwecken im Wege eines fotomechanischen oder eines anderen Verfahrens sowie das Recht zur Lizenzvergabe. Dem Autor verbleibt das Recht, nach Ablauf eines Jahres eine einfache Abdruckgenehmigung zu erteilen; sich ggf. hieraus ergebende Honorare stehen dem Autor zu. Bei Leserbriefen sowie bei angeforderten oder auch bei unaufgefordert eingereichten Manuskripten behält sich die Redaktion das Recht der Kürzung und Modifikation der Manuskripte ohne Rücksprache mit dem Autor vor.

Rechtliche Hinweise:

Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. – Die Veröffentlichungen in dieser Zeitschrift geben ausschließlich die Meinung der Verfasser, Referenten, Rezensenten usw. wieder. – Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Markenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Nutzung von Rezensionstexten:

Es gelten die Regeln des Börsenvereins des Deutschen Buchhandels e.V. zur Verwendung von Buchrezensionen. http://agb.ESV.info/

Zitierweise:

Bodenschutz, Jahrgang, Heft, Seite
ISSN: 1432-170X

Druck:

Druckerei Austermeier, Berlin.

Redaktionsbeirat

Prof. Dr. K. Auerswald

Lehrstuhl für Grünlandlehre, Freising

Prof. Dr. G. Broll

Institut für Geographie, Universität Osnabrück

Prof. Dr. K.-H. Feger

Institut für Bodenkunde und Standortlehre,
Technische Universität Dresden (Tharandt)

Dr. N. Feldwisch

Ingenieurbüro Dr. Feldwisch,
Bergisch Gladbach

Prof. Dr. P. Grathwohl

Lehrstuhl für angewandte Geologie,
Universität Tübingen

Dr. M. Kerth

Dr. Kerth + Lampe, Geo-Infometric GmbH,
Detmold

M. Lehle

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und
Naturschutz, BW, Karlsruhe

Dr. S. Mayer

Berufsgenossenschaft, Handel und
Warendistribution, Mannheim

Dr. U. Meyer

Umweltkonzept Meyer, Berlin

Elisabeth Oechtering

Amt für Umweltschutz, Hamburg

Dr. Olaf Penndorf

Sachgebiet Bodenschutz,
Landesdirektion Sachsen

Prof. Dr. K. Stahr

Institut für Bodenkunde und Standortlehre,
Universität Hohenheim

Prof. Dr. K. Terytze

Umweltbundesamt, Berlin

Prof. Dr. T. Weyer

Fachhochschule Südwestfalen, Soest



Jetzt gratis testen

2 Ausgaben bzw. 4 Wochen
Testzugang zum eJournal

 **Gratis testen** 