

Kennwertermittlung für Böden mit technogenen Substraten zur Bewertung als Pflanzenstandort

S. Höke, M. Rolf, H. von Dressler, F. Rück und J. Schneider

Determination of characteristic values for soils mixed with technogenic substrata as plant sites

1 Einleitung

Urbane Böden unterscheiden sich in ihren Merkmalen teilweise erheblich von Böden im unbebauten Außenbereich, übernehmen aber wichtige stadtoökologische Funktionen u.a. für den Wasserhaushalt, das Stadtklima und als Pflanzenstandort in der Stadt. Diese müssen im Rahmen einer nachhaltigen Stadtentwicklung bei Standortentscheidungen (z.B. auf Flächennutzungsplanebene) oder bei der Gestaltung von Baugebieten (z.B. auf Ebene des Bebauungsplans) berücksichtigt werden.

Gesetzliche Grundlage für die Berücksichtigung des Bodens im Rahmen einer nachhaltigen Stadtentwicklung sind in Deutschland vor allem das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und das Baugesetzbuch (BauGB). Zweck des BBodSchG ist, die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen. Negative Einwirkungen insbesondere auf seine natürlichen Funktionen sowie seine Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte

sollen so weit wie möglich vermieden werden (§ 1 BBodSchG).

Noch sind Stadtgebiete in Bodenkarten häufig weiße Flecken, da die notwendigen Informationen in ausreichender Qualität fehlen. Die Mehrzahl der Methoden zur Bewertung von Bodenfunktionen ist für naturnahe Böden im Außenbereich entwickelt worden und berücksichtigt daher nicht die spezifischen Merkmale urbaner Böden (vgl. Tabelle 1). Daher sollen Bewertungsverfahren entwickelt werden, die es ermöglichen, die wertvollen und leistungsfähigsten Böden auch im urban-industriellen Raum zu identifizieren und möglichst von Bebauung frei zu halten. Im Folgenden vorgestellt werden Erweiterungen zur Kennwertermittlung für Böden mit technogenen Substraten, die zur Beurteilung des „Bodens für Pflanzenstandort“ benötigt werden. In größeren Städten bestehen ca. 40 % der Böden aus Mischungen natürlicher und technogener Substrate und ca. 15 % nur aus technogenen Substraten (STASCH 2004). In Bergbauregionen können diese Werte auch noch höher liegen.

Summary

The aim is to develop a technique for soil evaluation, which allows identifying the valuable and highly capable soils also in urban and industrial areas, to keep them free of buildings.

Therefore, the suitability of techniques for soil function evaluation is checked to be able to characterise Technosols, too. The resume is that consideration of specific characteristics of Technosols is deficient.

To close some of these evaluation gaps, the bulk densities are complemented by low categories and the effective rooting depths by special rules. The table of valuations for the CEC derivation are supplemented by groups of technogenic substrates. Further, a consideration of coarse soil (substrate specific) and of the O horizons for the nutrient valuation is suggested. To evaluate horizons out of different substrates allegation alternates are applied.

The status of current soil evaluation techniques make clear, that also Technosols can be roughly evaluated only by mapping, but further working is necessary to reach the same quality as for nature soils.

Key words: Urban soils, Technosols, technogenic substrates, soil functional evaluation, cation exchange capacity.

Zusammenfassung

Ziel ist es, Bewertungsverfahren zu entwickeln, die es ermöglichen, hochwertige Böden auch im urban-industriellen Raum zu identifizieren und möglichst von Bebauung frei zu halten.

Dafür wurden mehrere Bodenfunktionsbewertungen auf ihre Eignung hin überprüft, auch Böden mit technogenen Substraten zu bewerten. Als Fazit lässt sich zusammenfassen, dass die speziellen Eigenschaften vieler urbaner Böden bisher unzureichend berücksichtigt werden. Um einige dieser Bewertungslücken zu schließen, sind die Raumgewichte mit geringen Bewertungsstufen und die effektiven Durchwurzelungstiefen mit Sonderregeln ergänzt worden. Ebenfalls wurden die Schätzwerttabellen zur Ableitung der Kationenaustauschkapazität um technogene Substratgruppen erweitert. Es wird eine substratspezifische Berücksichtigung des Grobbodens sowie eine Einbeziehung von organischen Auflagen zur Abschätzung der Nährstoffversorgung vorgeschlagen. Zur Bewertung von Horizonten aus unterschiedlichen Substraten werden Mischungsrechnungen eingesetzt. Der derzeitige Stand zur Funktionsbewertung zeigt, dass Böden mit technogenen Substraten durch Kartierung zwar grob bewertet werden können, jedoch noch weiterer Bedarf besteht, um eine Qualität zu erreichen, wie sie für naturnahe Böden bereits existiert.

Schlagworte: urbane Böden, Stadtböden, technogene Substrate, Bodenfunktionsbewertung, Kationenaustauschkapazität.

2 Material und Methoden

In Deutschland finden sich mehr als 14 unterschiedliche Verfahren zur Funktionsbewertung von Böden. Von den neueren Verfahren enthalten 5 Ansätze zur Bewertung urbaner Böden bzw. nehmen das für sich in Anspruch. Diese 5 Verfahren, sowie 2 Verfahren, welche die wesentlichen Grundlagen für fast alle anderen Bodenbewertungsmethoden stellen, wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die Funktionsbewertung von Böden aus oder mit technogenen Substraten analysiert (Tabelle 1).

Dazu wurde eine Tabelle mit häufigen Eigenschaften urbaner Böden erstellt und ihre Bedeutung für die Bodenfunktionsbewertung betrachtet (Tabelle 2).

Die letzte Spalte in der Tabelle 2 erläutert, inwieweit die speziellen Merkmale in der Bodenbewertung bisher berücksichtigt werden. Als Fazit lässt sich zusammenfassen, dass die speziellen Eigenschaften der urbanen Böden bisher nur sehr unzureichend berücksichtigt werden.

Um hier Bewertungslücken zu schließen, wurde gemeinsam mit dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsens eine Stadtbodendatenbank mit gut untersuchten Bodenprofilen aufgebaut (vgl. DAVID und SCHNEIDER, 2008). Die Stadtbodendatenbank dient zur Ableitung von Kennwerten für technogene Substrat(unter)gruppen (wie z.B. Bauschutt) und damit zur Ergänzung der für natürliche Böden bereits vorhandenen Tabellen für die Bodenschätzung. Weiter wird die Stadtbodendatenbank

Tabelle 1: Analysierte bestehende Bodenbewertungsverfahren

Table 1: Analysed existing soil evaluation methods

Verfahren	Autoren
TUSEC-IP /	LEHMANN et al. (2008)
Stadt Osnabrück	MEUSER & GREITEN (2006)
Hamburger Verfahren	HOCHFELD et al. (2003)
Bodenschutzkonzept Stuttgart	BOKS (2006) & STASCH (2004)
Digitaler Umweltatlas Berlin (2006)	GRENZIUS (1987), LAHMEYER (2000) u.a.
Heft 31 – Baden Württemberg	LEHLE et al (1995)
MeMaS	MÜLLER (2004)

Tabelle 2: Merkmale urbaner Böden, ihre Bedeutung und bisherige Berücksichtigung in der Bodenfunktionsbewertung

Table 2: Characteristics of urban soils, their relevance and consideration in soil functions evaluation up to now

Merkmal	Bedeutung für Bodenfunktionen	Berücksichtigung in der Bodenbewertung bisher
Technogene Substrate	spez. Eigenschaften <ul style="list-style-type: none"> • im Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt, • als Schadstoffquelle / -senke • z.T. hohe Reaktivität = schnelle Änderungen 	ja, <ul style="list-style-type: none"> • aber Böden werden schlecht bewertet, unabhängig von tatsächlicher Leistung • als Schadstoffquelle
Mischung und Schichtung	Einfluss auf <ul style="list-style-type: none"> • den Wasser- & Lufthaushalt • Durchwurzelbarkeit • Bewertbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Schichtung nur bei der eff. Durchwurzelungstiefe (WE) berücksichtigt • Mischung nicht berücksichtigt
sehr geringe/sehr hohe Trockenrohdichten (TRD)	<ul style="list-style-type: none"> • TRD geht ein in kf, nFK, KAK, LK, We • hohe TRD = Stauwasser & Zwischenabfluss, • geringe TRD = setzungsgefährdet & geringe Nährstoffpotentiale pro Raumeinheit 	ja <ul style="list-style-type: none"> • aber TRD < 1,2 g cm⁻³ wird nicht differenziert,
Grobbodenanteile/ Skelettgehalte	Abnahme der: <ul style="list-style-type: none"> • Wasserspeicher- und Sorptionskapazität für Schad- & Nährstoffe Zunahme von: <ul style="list-style-type: none"> • Tiefenversickerung • Lösungsdurchbrüchen 	z.T. Skelettanteil wird in besseren Schlüsseln herausgerechnet und positiv bei Versickerungsleistung beurteilt
pH-Werte häufig erhöht	<ul style="list-style-type: none"> • gehen ein in KAK, die Filter-, Puffer-, Transformatorfunktionen... • beeinflusst, ob Boden Stoffquelle o. -senke 	ja, (gewichtete pH-Mittelwerte werden häufig falsch berechnet!)
hohe Gehalte organischer Substanzen	Humus <ul style="list-style-type: none"> • geht ein in KAK, nFK, LK, We, Filter-, Puffer-, Transformatorfunktionen • positiv im Oberboden = Wasser- /Nährstoffspeicher, Nährstofflieferant, Schadstofffilter • negativ im Unterboden = Wasserstauer, reduziert durch Sauerstoffzehrung bei Abbau & geringem Luftaustausch 	<ul style="list-style-type: none"> • Humus im OB wird berücksichtigt, organische Auflagen bisher nicht • Richtige Berücksichtigung von Humus im Unterboden unklar
veränderter Wasserhaushalt	Einfluss auf die Berechnung von z.B. nFK, BKF, Bei Versiegelung oder Beregnung versickern (benachbarte) Böden mehr /weniger Wasser = neue Stoffgleichgewichte	nein, es fehlt <ul style="list-style-type: none"> • i.d.R. Forderung der Feststellung aktueller Grundwasserstände, • die Einbeziehung lateraler Zu- und Abflüsse
junge, im Ungleichgewicht stehende Bodenentwicklung	Bewertungsänderung (Humusgehalte, Karbonatisierung) Erebt Bodeneigenschaften können Bewertung beeinflussen. Beurteilung ob Merkmale rezent, z.T. schwierig	nein
teil-, voll- oder unterflurversiegelt	veränderter Wasser-, Luft- und Stoffhaushalt der betroffenen und der benachbarten Böden	nein Böden werden gar nicht bewertet

auch zur Validierung der bodenkundlichen Kennwerte genutzt.

Die Analysen erbrachten auch das Ergebnis, dass Anpassungen der Bewertungsziele an die Probleme und Entwicklungsvorstellungen urbaner Räume erfolgen sollten, doch die Verfahren bewerten in der Regel bisher die Böden nur im Kontext des ruralen Raumes. Zur Beurteilung des Bodens wurden daher auch auf der Bodenfunktionsbewertungsebene der Kriterien neue Bewertungsmodule, das „Naturnähe-/Hemerobie-Ökogramm“ und die „Dauerhaftigkeit der Bodeneigenschaften“ entwickelt und mit dem im folgenden vorgestellten Feuchte-/Nährstoff-Ökogramm verschnitten (vgl. HÖKE et al., 2008).

3 Ergebnisse

Zur Bewertung des „Bodens als Pflanzenstandort“ wurde an zentraler Position das bereits in mehreren Bewertungsschlüsseln als Kriterium verwendete Feuchte-/Nährstoff-Ökogramm (= Verschneidung der Bodenkundlichen Feuchtstufe mit den $KA_{K_{eff}}We$ - Klassen (Kationenaustauschkapazität im effektiven Wurzelraum und den pH-Bereichen) eingesetzt (vgl. BRAHMS et al., 1989). Im Folgenden werden die dafür notwendigen Eingangsdaten mit den entwickelten Erweiterungen zur Bewertung von Böden mit technogenen Substraten vorgestellt.

3.1 Bewertungstiefe

Um den Alterseinfluss der Pflanzen auszuklammern und die Bewertung der Böden vergleichbar zu gestalten, wird die effektive Durchwurzelungstiefe (We_{eff}) zur Abschätzung der Nährstoff- und Wasserversorgung verwendet. Die We_{eff} ist die rechnerisch bestimmte Mächtigkeit einer von Bodenart und Trockenraumdichte abhängigen Bodenzone, in der die nutzbare Feldkapazität von den Pflanzenwurzeln einjähriger landwirtschaftlicher Nutzpflanzen in niederschlagsarmen Jahren ausgeschöpft werden kann (AG BODEN 2005).

Die We_{eff} wird gemäß den Vorschriften nach MÜLLER (2004) abgeleitet. Dabei werden für die urbanen Böden folgende Modifikationen (kursiv) vorgeschlagen:

1. Grundwasserböden We endet spätestens 1 dm oberhalb des Gr- bzw. Hr-Horizontes
2. *Pseudovergleyung mit anhaltender Nässe: $We =$ Obergrenze Vernässung bzw. *Sd-Horizont (vgl. MEUSER 2006)**

3. *Yr-Horizonte: $We =$ Obergrenze der Horizonte (vgl. MEUSER 2006)*
4. Auenböden, Kolluvien, Plaggenesche oder andere *jC-Horizonte mit einer Humusstufe $\geq h3$. Wenn M-; E- oder jC- Horizont tiefer als We , dann gilt: We Untergrenze M-, E- *jC-Horizont + 1 dm.**
5. Podsole: Bs- /Bhs- /Bsh-Horizonte: $We =$ Obergrenze Horizonte + 2 dm (Orterde) /+ 1 dm (Ortstein)
6. Geschichtete Profile: - geringe We über hohe We :
geringe We
- hohe We über geringer We :
Schichtgrenze plus 1 dm
7. Cn- Horizont: $We =$ Obergrenze Horizont
8. Cv- Horizont: $We =$ Obergrenze Horizont plus 1,5 dm
9. *bei massiven technogenen Großkörpern (Beton, Fundamente): $We =$ Obergrenze des Auftretens (vgl. MEUSER 2006)*
JESCHKE (2009) überprüfte im Rahmen einer Diplomarbeit die Zusammenhänge zwischen den Bodeneigenschaften hinsichtlich der Nährstoff- und Wasserversorgung innerhalb der We_{eff} und der obersten 8 cm (fast alle Pflanzen keimen in diesem Bodenbereich) in Beziehung zur krautigen Spontanvegetation auf Siedlungs- und Industriebrachen in Osnabrück. Es finden sich nur signifikante Korrelationen zwischen den Bodeneigenschaften und den entsprechenden Zeigerwerten der Pflanzen für Standorte, deren Oberböden seit mehr als 15 Jahren ungestört sind und es zeigen sich überwiegend bessere Beziehungen innerhalb der We_{eff} als zu den oberen 8 Bodenzentimetern. Dieses Ergebnis und das Bestehen von statistisch signifikanten Beziehungen zeigen, dass der Kennwert We_{eff} geeignet ist, um das Standortpotenzial der Böden auch für natürliche krautige Pflanzenbestände zu beschreiben.

3.2 Raumgewicht

Die Trockenraumdichte (TRD = Masse der festen Bodensubstanz pro Volumeneinheit in $g\ cm^{-3}$ bei 105 °C) ist die Berechnungsgrundlage für die Bodenmasse [z.B. $kg\ m^{-3}$] und damit für die Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzen. Die TRD wird geschätzt oder gemessen und das Klassenmittel zur Berechnung der Bodenmenge angesetzt. Eine Zusammenstellung der TRD von weitgehend reinen Steinkohleaschen erbrachte einen Median von $0,9\ g\ cm^{-3}$ mit einer Spanne von $0,7-1\ g\ cm^{-3}$ ($n = 6$) und der von Braunkohleaschen von $0,7\ g\ cm^{-3}$ mit einer Spanne von $0,4-0,9\ g\ cm^{-3}$ ($n = 17$). Klärschlämme zeigen bisher einen Median von $0,4\ g\ cm^{-3}$ ($0,3-0,7\ g\ cm^{-3}$ ($n = 5$)). Zur Be-

rechnung von Horizonten mit sehr geringer TRD ist die Bewertungsklasse pt1 ($< 1,2 \text{ g cm}^{-3}$) zu breit. Auch wird zumeist nicht angegeben, mit welchem Wert für die Klasse pt1 gerechnet werden soll. Daher erfolgt eine weitere Abstufung in $0,2 \text{ g cm}^{-3}$ Schritten (Tabelle 3).

3.3 Kationenaustauschkapazität (KAK)

Die KAK_{eff} wird für naturnahe Böden aus den Bodenarten, den Humusstufen und den pH-Werten mit Hilfe von Tabellen geschätzt (vgl. AG BODEN 2005). Untersuchungen urbaner Böden von BLUME et al. (1997) zeigen, dass die bestehenden Schätztabellen zumeist nicht zur Charakterisierung von Böden mit deutlichen Anteilen technogener Substrate geeignet sind.

Bezüglich der Probleme zur Schätzung des Humusgehaltes unter Beimengung von Kohle, Asche und Ruß (vgl. BLUME et al., 1997) wird zurzeit noch keine Möglichkeit gesehen, die Methode zu verbessern. Für der Ableitung der KAK_{pot} aus den Bodenarten kann die Schätzmethode aber erweitert und damit deutlich verbessert werden, indem für technogene Substrat(unter)gruppen eigene mittlere KAK_{pot} -Werte abgeleitet werden. Hierzu sind mit Hilfe der Stadtbodendatenbank anhand **von Reinsubstraten**, die

Tabelle 3: Einstufung der Trockenraumdichten nach AG BODEN (2005), ergänzt durch sehr geringe Trockenraumdichten (*kursiv*)
 Table 3: Categorisation of bulk density according to AG BODEN (2005), supplemented by very low bulk densities (*italic*)

Kurzzeichen	TRD [g cm^{-3}]	Bezeichnung	Klassenmittel [g cm^{-3}]
<i>pt1_1</i>	<i>0 bis $\leq 0,2$</i>		<i>0,1</i>
<i>pt1_2</i>	<i>0,2 bis $\leq 0,4$</i>		<i>0,3</i>
<i>pt1_3</i>	<i>0,4 bis $\leq 0,6$</i>		<i>0,5</i>
<i>pt1_4</i>	<i>0,6 bis $\leq 0,8$</i>		<i>0,7</i>
<i>pt1_5</i>	<i>0,8 bis ≤ 1</i>		<i>0,9</i>
<i>pt1_6</i>	<i>1 bis $\leq 1,2$</i>		<i>1,1</i>
pt1	$< 1,2$	sehr gering	?
pt2	$1,2 \text{ bis } \leq 1,4$	gering	1,3
pt3	$1,4 \text{ bis } \leq 1,6$	mittel	1,5
pt4	$1,6 \text{ bis } \leq 1,8$	hoch	1,7
pt5	$\geq 1,8$	sehr hoch	1,9

keinen pedogenen Humus enthielten, erste Vorschläge erarbeitet worden (vgl. Tabelle 4). Die Tabelle 5 im Anhang zeigt die Zusammenstellung gemessener KAK_{pot} -Werte technogener Substrate, aus denen die Vorschläge abgeleitet wurden.

Die Datenlage ist überwiegend noch sehr gering, da selten weitgehend substratreine und humusfreie Horizonte vorliegen und noch seltener die Kationenaustauschkapazitäten bestimmt wurden. Es ist anzunehmen, dass sich mit einer vergrößerten Datenbasis auch für technogene Substrate Beziehungen zwischen der KAK_{pot} und den Korngrößen (und vielleicht auch einer Alterungsstufe der Substrate) herstellen lassen. Zurzeit ist das noch nicht möglich.

Anmerkungen:

- In **Bauschutthorizonten** dominiert im Feinboden der Sandanteil. Die Sandpartikel bestehen aus Zement, Mörtel, Beton, Kalksandstein, Ziegelstückchen und Gips. Daher liegt die KAK von Bauschutt höher als die quarzitreicheren Sande.
- **Steinkohleberge** bestehen aus karbonischen Sand-, Ton- und Schluffschiefern mit Kohleresten. Im Partikelgrößenbereich des Sandes und Schluffes wird die KAK nach der AG BODEN (2005) häufig unterschätzt, vermutlich da hier auch tonmineralienreiche Partikel noch nahezu unverwittert in Sandkorngrößen auftreten. Die Daten lassen annehmen, dass die KAK dann beim Auftreten lehmiger Bodenarten nach der AG BODEN (2005) eher überschätzt wird. Möglicherweise stehen aufgrund des geringen Verwitterungsstadiums die inneren Oberflächen der Tonminerale nur unvollständig zur Verfügung.
- Die KAK von **Braunkohleasche**, deren Textur im Bereich der Sande und Schluffe liegt, wird nach der Schätztable der AG BODEN (2005) extrem unterschätzt. Die Arbeiten von ZIKELI et al. (2004) zeigen, dass analog der Ableitung wie für den Humus ein pH-abhängiger Korrekturfaktor für die KAK_{eff} -Ableitung einzurechnen ist.
- Die KAK von **Steinkohleasche**, deren Textur im Bereich des Sandes liegt, wird nach der Schätztable der AG BODEN (2005) unterschätzt. Ob analog zu den Braunkohleaschen ein pH-Faktor eingefügt werden muss, ist noch unklar.

KAK_{pot} -Bodenskelett

In MÜLLER (2004) wird dem Festgesteinsersatz eine KAK von $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ zugewiesen. KERN et al. (2006) zeigen,

dass die Austauschkapazität natürlicher Bodenskelette durchaus noch höher liegen kann. Für die Europäische Waldbodenzustandserhebung II wurde daher eine Methode zur Ermittlung der effektiven Austauschkapazität des Bodenskeletts entwickelt (HANDBUCH FORSTLICHE ANALYTIK, Stand 2006). Es sind bisher keine gemessenen KAK-

Werte für das Bodenskelett technogener Substrate bekannt. Unter der Annahme, dass die Partikel eine Kugelform aufweisen und in geordneter Kugelpackung auftreten, liegen Oberflächenverhältnisse von:
 $mS : fG : mG : gG$ von etwa
 $100 : 10 : 3 : 1$ vor.

Tabelle 4: Ableitungswerte der KAK_{pot} in Abhängigkeit von Bodenart und Substrat (*kursiv* & **fett** = neu abgeleitete Werte)
 Table 4: Derivation of CEC_{pot} in dependence of soil texture and substrate (*italic* & **bold** = new values)

Bodenart	KAK_{pot} [cmol _c kg ⁻¹]						
	nach KA 5*	Bauschutt	Steinkohleberge	Braunkohlenberge	Steinkohleaschen	Braunkohleasche	Eisenhütten-schlacke
Ss, Su2	2	8	8	20	7	46	9
Su3, Su4, Sl2	4	8	8	20	7	46	9
Us	5	8	8	20	7	46	9
St2, Sl3; Uu	6	8	8	20	7	46	9
Slu, Sl4, Ut2, Uls	9	9	8	20	9	46	9
Ut3, St3	11	11	8	20	11	46	11
Ls3, Ls4	12	12	8	20	12	46	12
Ls2	13	13	8	20	13	46	13
Ut4	14	14	8	20	14	46	14
Lu, Ts4	15	15	8	20	15	46	15
Lt2	17	17	8	20	17	46	17
Tu4	18	18	8	20	18	46	18
Lts	19	19	8	20	19	46	19
Ts3	20	20	20	20	20	46	20
Tu3	21	21	21	21	21	46	21
Lt3	22	22	22	22	22	46	22
Ts2	28	28	28	28	28	46	28
Tl, Tu2	29	29	29	29	29	46	29
T	39	39	39	39	39	46	39
Statistische Kennwerte							
Datenzahl [n]		10	40	25	7	63	4
Mittelwert		8,3	7,7	20,1	7,2	???	9
$X_{min}-X_{max}$		5-12	5-11	11-53	5-16	25-89	7-11
Bodenarten		Ss - Uls	Su2 - Lts	St2 - Lts	Ss - Sl4	Su2 - Ut2	Ss - Su2

* AG BODEN (2005)

KERN et al. (2006) zeigen für die bisher untersuchten natürlichen Ausgangsgesteine eine geringere Abnahme der Austauschkapazität mit zunehmendem Durchmesser der Skelette.

In den Testprofilen, für die hierzu Angaben vorliegen, dominiert häufig die fG/fGr-Fraktion. Daher wird vorgeschlagen, 1/10 der KAK_{pot} der Bodenart Ss, Su2 des jeweiligen technogenen Substrates für die Kationenaustauschkapazität der Skelettanteile anzusetzen.

KAK – Organische Auflagen

In den betrachteten Schlüsseln zur Bodenfunktionsbewertung wird die KAK der organischen Auflagen nicht mit berücksichtigt. Argumente dafür sind nicht angegeben. Auf armen Sandböden oder O/C-Böden kommt es bei einer Nichtberücksichtigung der Auflagen zu einer deutlich Unterschätzung der Güte der Standortbedingungen. So gibt BEYER (1996) an, dass in der organischen Auflage bis zu 50 % der Nährstoffe des Oberbodens angeboten werden und die Krautvegetation in sauren Waldböden vor allem im Oh-Horizont wurzelt.

Für die laufende europaweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) wurden in Deutschland nach einer neuen Methode Austauschkapazitäten in den org. Auflagen gemessen (HANDBUCH FORSTLICHE ANALYTIK, Juli 2006). Genauere Ergebnisse dazu werden in einigen Jahren vorliegen.

Von den in NRW untersuchten Wald- und Forststandorten zeigen nach einer ersten Übersicht von MILBERT (Geologischer Dienst NRW, 2009) die L+Of-Auflagen im Mittel eine KAK_{eff} von $44,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ($n = 122$) und die Oh-Auflagen von $34,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ($n = 87$). Der Mittelwert aller untersuchter Auflageproben beträgt $41,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ($n = 232$).

Es wird vorgeschlagen, einstweilen in der Bodenfunktionsbewertung mit einer KAK von $40 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ für die organischen Auflagen zu rechnen, bis hier genauere Werte vorliegen. Es wird darauf hingewiesen, dass die KAK organischer Substanzen immer pH-Wert abhängig ist und es sich bei den hier angegebenen Werten um KAK_{eff} -Werte handelt.

Ermittlung der KAK_{eff} We mit Berücksichtigung von Substratmischungen:

In den meisten Bödenhorizonten aus oder mit technogenen Substraten liegen Mischungen technogener Substrate miteinander und/oder mit natürlichen Substraten vor. Daher wird ein modifiziertes Berechnungsverfahren für die Kenn-

wertermittlung der KAK_{eff} We für Substratgemische angewendet:

1. Ableitung des Feinbodenanteils [FB] bezogen auf 1 ha Fläche (wie MÜLLER 2004, aber unter Verwendung von Tabelle 3).

$$FB \text{ kg ha}^{-1} * t = \text{Horizontmächtigkeit [cm]} * TRG [g \text{ cm}^{-3}] * \text{Feinbodenanteil [alternativ 100-Grobbodenanteil [\%]/100]} * 10^5$$

2. Ableitung der KAK_{pot} [$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$] Feinboden
 1. Bodenart * Substrat¹⁾ * prozentualer Anteil vom 1. Horizont +
 2. Bodenart * Substrat * prozentualer Anteil vom 1. Horizont +
 3. Bodenart * Substrat * prozentualer Anteil vom 1. Horizont =

$$KAK_{pot} \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ 1 Horizont}$$

usw. bis zur Grenze We_{eff}

Beispiel: Besteht der Feinboden in Horizont 1 (0–14 cm) aus Su2 und geschätzt:

75 % Bauschutt: KAK_{pot} von $8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
und

25 % natürliches Substrat: KAK_{pot} von $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
= KAK_{pot} von $6,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

(Der entsprechende Laborwert für den Horizont beträgt $6,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)

3. Ableitung der KAK [$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$] vom Humus. Die KAK der Humusklasse, korrigiert durch den pH-Faktor wird zu jedem Horizont hinzugerechnet (wie AG BODEN 2005 & MÜLLER 2004).
4. dann $KAK \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} * \text{Feinbodenanteil}/100 \text{ 000}$ (MÜLLER 2004)
dann Summe aller Horizonte bis We_{eff} bilden.
5. Ableitung der KAK_{pot} [$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$] Skelett wie beim Feinboden, nur dass hier das Skelett mit dem Substrat verknüpft wird. Annahme KAK_{pot} [$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$] vom Skelett = 1/10 des Wertes der Sandfraktion (mS) im Feinboden.
6. Addieren der KAK der organischen Auflage.

3.4 pH-Wert

Im urbanen Raum sind die pH-Werte nicht schätzbar. In abgelagerten Substraten können sie sprunghaft wechseln. Die Messung muss zumindest horizontweise erfolgen. Die beste Annäherung für die Bedingungen der Pflanzenwurzeln gibt der gewichtete pH-Mittelwert im effektiven Durchwurzelungsraum.

Kennwertermittlung: pH-Wert im effektiven Durchwurzelungsraum (pH W_{eff}):

1. Entlogarithmierung der pH-Werte z.B.
 $\text{pH } 2 = 10^{-2} = 0,01 \text{ mol l}^{-1} \text{ H}_3\text{O}^+$
 $\text{pH } 7 = 10^{-7} = 0,0000001 \text{ mol l}^{-1} \text{ H}_3\text{O}^+$
2. Konz. H_3O^+ vom 1. Horizont * Mächtigkeit [cm] vom 1. Horizont + Konz. H_3O^+ vom 2. Horizont * Mächtigkeit [cm] vom 2. Horizont bis Untergrenze W_{eff}
3. Summe von Rechenschritt 2 geteilt durch die Tiefe der W_{eff} in cm
4. Negativer dekadischer Logarithmus der Summe von Rechenschritt 3

3.5 Bodenkundliche Feuchtstufen (BKF)

Die BKF wird aus Bodentyp, Bodenart, mittlerem Grundwasserstand, W_{eff} , nutzbarer Feldkapazität und der mittleren klimatischen Wasserbilanz für die Vegetationsperiode gemäß den Verknüpfungsregeln in MÜLLER (2004), aber unter Berücksichtigung der vorgestellten Kennwertmodifikationen abgeleitet.

Die Gruppierung der Böden in die BKF ist stark von den vorliegenden Beprobungstiefen abhängig. Sie erfordert zur richtigen Einstufung der Böden Informationen zum Grundwasserstand bis in 2 m Tiefe.

Hinsichtlich der Stauwasserböden konnten in den Tabellen zur Ableitung der BKF die Skelettanteile noch nicht berücksichtigt werden.

Eine Gegenüberstellung von BKF mit den gewichteten Feuchtezahlen der Vegetation auf Brachflächen in einem

Testgebiet erbrachte als Ergebnis, dass sich keine vernünftigen Beziehungen zwischen den BKF und den Feuchtezahlen der Pflanzen herstellen lassen. Hierfür kommen mehrere Gründe in Betracht. Es handelt sich bei den untersuchten Standorten durchgängig um anthropogen stark gestörte aufgeschüttete Böden. Die Standortbetrachtungen lassen vermuten, dass die Schichtung und die noch undurchgängigen Porensysteme dieser Böden den kapillaren Aufstieg des Grundwassers behindern. Auch wird deutlich, dass ein Steilrelief in der BKF Berücksichtigung finden sollte.

Um weitere und sicherere Aussagen über notwendige Anpassungen der BKF für Böden mit technogenen Substraten und den Zusammenhang der BKF urbaner Böden und der Vegetation treffen zu können, muss aber noch eine höhere Anzahl von Standorten und zum Vergleich zumindest eine adäquate Anzahl feuchterer Standorte untersucht werden. Letzteres war im Rahmen des Projekts mangels feuchterer Böden nicht möglich.

Es bleibt festzuhalten, dass in Bezug auf die Methode zur Ermittlung der BKF noch Bearbeitungsbedarf besteht.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorgestellten Erweiterungen zur Kennwertermittlung zeigen, dass auch Böden mit technogenen Substraten durch Kartierung grob bewertet werden können. Es besteht jedoch noch weiterer Anpassungsbedarf der Methoden zur Bodenfunktionsbewertung (vgl. Tabelle 2), bis eine Qualität erreicht wird, wie sie für naturnahe Böden bereits existiert.

Tabelle 5: KAK_{pot} (Messwerte in $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) für technogene Substrate
 Table 5: CEC_{pot} (measured values in $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) for technogenic substrates

Substrat	n	\bar{x}	$X_{\text{min}}-X_{\text{max}}$	Bodenart	GV [%]	Quelle
Bauschutt allgemein						
Siedlungsbauschutt	2	12	11–12	mS	k.A.	BLUME & SCHLEUSS (1997)
Trümmer- und Bauschutt	1	10,1		Uls	1,4	HILLER (1996)
Bauschutt	1	5,1		Slu	k.A.	HILLER (1996)
Bauschutt	1	7,4		Su3	2,9	HILLER (1996)
Bauschutt	2	5,4		Ss	1,8–2,6	HILLER (1996)
Bauschutt	3	7,3	6,3–8,1	Sl2	k.A.	HELMES (2004)
Ziegelbauschutt	4	15,4	10,1–20,6	k.A.		BURGHARDT (2007)

Tabelle 5: (Fortsetzung): KAK_{pot} (Messwerte in $cmol_c kg^{-1}$) für technologische Substrate
 Table 5: (continued): CEC_{pot} (measured values in $cmol_c kg^{-1}$) for technogenic substrates

Substrat	n	\bar{X}	$X_{min}-X_{max}$	Bodenart	GV [%]	Quelle
Steinkohlenberge						
Halde Waltrop	8	6,3	4,8–7	Sl2-4, Su2-3	k.A.	HILLER (1996)
Zeche Zollverein/Essen	7	9	4,8–10,8	Ut3	16–34	BURGHARDT (2007)
Zeche Zollverein/Essen	5	5,2	4,9–6,8	Sl2-4	18–28	BURGHARDT (2007)
Zeche Alma/Gelsenkirchen	7	7,8	7,1–8,1	Ut2; Lts	k.A.	BURGHARDT (2007)
Essen/Karnap	5	9,4	8,8–10,6	Ls3; Ls4	21–22	HILLER (1996)
Oberhausen & Essen	3	10	8,2–10,8	Sl3	14–43	HILLER (1996)
Waschberge/Saarbrücken	1	8,6		n.b.	k.A.	HELMES (2004)
Braunkohlenberge						
Halle/Saale Bruckdorf	3	18	14–23	Sl4; Ls3	k.A.	BLUME & SCHLEUSS (1997)
Halle/Geiseltal**	2	42	31–53	Ls4	9,8	JAHN (2007)
Halle/Geiseltal**	1	28,7		Lts	12,4	JAHN (2007)
Halle/Geiseltal**	1	11,1		St2	2,9	JAHN (2007)
Braunkohle, Geiseltal	2	86	82–90		52,6	JAHN (2007)
Eisenhüttenschlacke						
Eisenhüttenschlacke	2	9,3	8,8–9,6	Su2	2,2; 1,7	HILLER (1996)
Eisenhüttenschlacke	1	10,6		n.b.	k.A.	HELMES (2004)
Eisenhüttenschlacke	1	6,7		Su2	k.A.	HÖKE et al. (2008)
Stahlwerksschlacke (LD-Verfahr.)	1	30,3		Ss	14,5	HILLER (1996)
Steinkohleaschen						
Kraftwerksasche	1	10,5		Sl4	13,7	HILLER (1996)
Rostasche	2	15,7	12–19	Su3 & Su2	20, 20,8	HILLER (1996)
Rostasche (rot)	1	6,6		Su2	7,4	HILLER (1996)
Schwarze Asche	1	5		Ss	k.A.	BLUME & SCHLEUSS (1997)
Rote Asche	1	6,2		Sl3	k.A.	HÖKE et al. (2008))
Schwarze Asche	1	6,4		Sl3	k.A.	HÖKE et al. (2008)
Braunkohleasche						
Rostasche	2	46	39–52	Us, Ut2	k.A.	BLUME & SCHLEUSS (1997)
<i>Flug- & Rostasche, Spülfeld Trotha</i>	2	16	13–18	Ut2, Uu	k.A.	BLUME & SCHLEUSS (1997)
Kippdeponie, 21 a	12	89		Sl; Su	k.A.	ZIKELI et al. (2004)
Kippdeponie, 32 a	11	48		Sl; Su	k.A.	ZIKELI et al. (2004)
Spülfeld, 17 a	12	52		Us	k.A.	ZIKELI et al. (2004)
Spülfeld, 17 a	13	25		Sl; Su	k.A.	ZIKELI et al. (2004)
Spülfeld, 5 a	11	34		Su4	k.A.	ZIKELI et al. (2004)
Kippdeponie	4	38	31–44	Su2-3, Sl2	k.A.	JAHN (2007)
Spülfeld 17a	3	21	19–23	Su2-Su3	k.A.	JAHN (2007)

Danksagung

Das diesem Artikel zugrundeliegende REFINA Vorhaben „Funktionsbewertung urbaner Böden und planerische Umsetzung im Rahmen kommunaler Flächenschutzkonzeptionen“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung der Bundesrepublik Deutschland gefördert (Förderkennzeichen 0330728).

Anmerkungen

¹⁾ Häufig sind Horizonte, in denen technogene mit natürlichen Substraten gemischt sind. Je nach Färbung des Substrats und des Skelettanteils wird der jeweilige Anteil im Feinsubstrat und Skelett geschätzt. Bauschutt bewirkt im Feinsubstrat z.B. eine graue oder rötliche Färbung.

Literatur

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.
- BBODSCHG (1998): Bundes-Bodenschutzgesetz vom 27. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dez. 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert.
- BEYER, L. (1996): Humusformen und -typen. Handbuch der Bodenkunde. 1. Erg. Lfg. 12/96; 1–20.
- BLUME, H.-P. und U. SCHLEUSS (Hrsg.) (1997): Bewertung anthropogener Stadtböden. Abschlußbericht des BMBF-Verbundvorhabens der Universitäten Berlin, Halle-Wittenberg, Hohenheim, Kiel und Rostock sowie des „Büro für Bodenbewertung“, Kiel.- Schriftenreihe Nr. 38, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel.
- BLUME, H.-P., U. SCHLEUSS und Q. WU (1997): Kationen. In: BLUME, H.-P. und U. SCHLEUSS (Hrsg.) (1997): Bewertung anthropogener Stadtböden. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Kiel; 101–110.
- BOKS (2006): Bodenschutzkonzept Stuttgart. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, H.4, Stuttgart.
- BRAHMS, M., C. V. HAAREN und U. JANSSEN (1989): Ansatz zur Ermittlung der Schutzwürdigkeit der Böden in Hinblick auf das Biotopotential. In: Landschaft und Stadt 1989, 21, (3); Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart; 110–114.
- BURGHARDT, W., U. MARX und D.A. HILLER (2009): Exkursionsführer Stadt- und Bergbauböden im Ruhrgebiet. DBG, Bd. 112, 120–135.
- BURGHARDT, W. und G. MILBERT (2007): Rhine-Ruhr Area. In: WRB Technosols-Stagnosols-Tour 2007 in Germany. Excursion Guide (Lehmann, A. Editor).
- BZE II (2006–2008): Bodenzustandserhebung im Wald II, http://bfh-web.fh-eberswalde.de/bze/front_content.php.
- DAVID, S. und J. SCHNEIDER (2008): MeMaS_urban – Eine Erweiterung des Niedersächsischen Bodeninformationssystems zur Funktionsbewertung urbaner Böden. Beiträge Diskussionsforum Bodenwissenschaften. Funktionsbewertung urbaner Böden im kommunalen Flächenmanagement. FH-Osnabrück. Heft 9: 69–80.
- GRENIUS, R. (1987): Die Böden Berlins (West), Dissertation, Technische Universität Berlin.
- HANDBUCH FORSTLICHE ANALYTIK (2. Ergänzung 2006): Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Gutachterausschuss Forstliche Analytik (Hrsg.).
- HELMES, T. (2004): Urbane Böden – Genese, Eigenschaften und räumliche Verteilungsmuster – Eine Untersuchung im Stadtgebiet Saarbrücken. Dissertation, Universität des Saarlandes.
- HOCHFELD, B., A. GRÖNGRÖFT und G. MIEHLICH (2003): Großmaßstäbige Bodenfunktionsbewertung für Hamburger Böden. Verfahrensbeschreibung und Begründung. Im Auftrag und Hrsg. von der Behörde für Umwelt und Gesundheit Hamburg, Bodenschutz/Altlasten. November 2003.
- HÖKE, S., M. ROLF, H. VON DRESSLER und F. RÜCK (2008): Die Bewertung urbaner Böden als Pflanzenstandort. Beiträge Diskussionsforum Bodenwissenschaften. Funktionsbewertung urbaner Böden im kommunalen Flächenmanagement. Fachhochschule Osnabrück. Heft 9: 51–68.
- HÖKE, S., K. THIERER, D. JESCHKE, M. ROLF und F. RÜCK (2008): Exkursionsführer Stadtböden – Bodenfunktionen – Planungsprozesse. Beiträge Diskussionsforum Bodenwissenschaften. Funktionsbewertung urbaner Böden im kommunalen Flächenmanagement. FH-Osnabrück. Heft 9: 87–133.
- HILLER, D.A. (1996): Merkmale und chemische Eigenschaften urban-industriell beeinflusster Böden des Ruhrgebietes. Habilitationsschrift. Universität Essen.
- JAHN, R. (2007): Conurbation of Halle/Saale. In: WRB Technosols-Stagnosols-Tour 2007 in Germany. Excursion Guide (Lehmann, A. Editor).

- JESCHKE, D. (2009): Charakterisierung der Spontanvegetation zur Bewertung des ökologischen Standortpotentials urbaner Böden. Diplomarbeit, unveröffentlicht. Fachhochschule Osnabrück.
- KERN, M., B. RABER und E.E. HILDEBRAND (2006): Verfahren zur Ermittlung des Nährelementpotenzials des Gesamtbodens unter besonderer Berücksichtigung des Bodenskeletts und deren Integration in die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Abschlussbericht zum Forschungsprojekt 04HS024, Institut für Bodenkunde der Universität Freiburg.
- LAHMEYER INTERNATIONAL GMBH (2000): Bodenschutzkonzeption für das Land Berlin, Bericht zur Phase II, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin; unveröffentlicht.
- LEHLE, M., J. BLEY, E. MAYER, R. VEIT-MEYA und W. VOGL (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.), Luft, Boden, Abfall, H. 31.
- LEHMANN, A., S. DAVID und K. STAHR (2008): TUSEC (Technique of Urban Soil Evaluation in City Regions) – Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogen überformter Böden. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Bd 86.
- MEUSER, H. und U. GREITEN, (2006): Kartier- und Bewertungsschlüssel für die Bodenfunktionen in Osnabrück. Stadt Osnabrück (Hrsg.).
- MILBERT, G. (2009): Mündl. Auskunft. Erste Übersicht über die Werte der in NRW untersuchten Wald und Forststandorte der BZE im Wald II, Geologischer Dienst NRW.
- MÜLLER, U. (Hrsg.) (2004): Auswertemethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems. 7., erweiterte und ergänzte Auflage. Arbeitshefte Boden, 2004, Heft 2.
- STASCH, D. (2004): Bodenbewertung in Stadtregionen der Alpenraumländer. Literaturstudie. Im Auftrag der Stadt München, Referat für Gesundheit und Umwelt.
- ZIKELI, S., M. KASTLER UND R. JAHN (2004): Cation exchange properties of soils derived from lignite ashes. J. Plant Nutr. Soil Sci., 167, 439–448.

Anschrift der Autoren

Dr. Silke Höke, ahu AG Aachen, Kirchberichshofer Weg, 52066 Aachen

Dipl. Ing. (FH) Markus Rolf, Prof. Hubertus von Dressler, Prof. Dr. Friedrich Rück, Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Oldenburger Landstr. 24, 49009 Osnabrück

Dr. Jürgen Schneider, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Stilleweg 2, 30655 Hannover

Korrespondierende Autorin

Dr. Silke Höke

E-Mail: s.hoeke@ahu.de

Eingelangt am 30. September 2009

Angenommen am 27. September 2010