

Tagungsbeitrag zur Jahrestagung der DBG
Böden – eine endliche Ressource
05.-13. September 2009 in Bonn
Berichte der DBG (nicht begutachtete online
Publikation <http://www.dbges.de>)

Erweiterungen zur Kennwertermittlung für Böden mit technogenen Substraten

Silke Höke¹, Markus Rolf¹, Hubertus von Dressler¹; Friedrich Rück¹; Jürgen Schneider²

1. Einleitung

Urbane Böden übernehmen wichtige stadtoökologische Funktionen u. a. für den Wasserhaushalt, das Stadtklima und als Pflanzenstandort. Diese müssen im Rahmen einer nachhaltigen Stadtentwicklung berücksichtigt werden.

Noch sind Stadtgebiete in Bodenkarten oft 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. 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 als Pflanzenstandort“ benötigt werden.

2. Material und Methoden

In Deutschland gibt es mehr als 14 Verfahren zur Funktionsbewertung von Böden. Von den neueren enthalten 5 Ansätze zur Bewertung urbaner Böden. Diese 5 Verfahren, sowie zwei, welche die Grundlagen für fast alle anderen Bodenbewertungsmethoden stellen, wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die Funktionsbewertung von Böden mit technogenen Substraten analysiert:

1) FH-Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Oldenburger Landstraße 24, 49009 Osnabrück; s.hoeke@fh-osnabrueck.de

2) Landesanstalt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsens, Stilleweg 2, D-30655 Hannover

1. TUSEC-IP: LEHMANN et al. (2008)
2. Stadt Osnabrück: MEUSER & GREITEN (2006)
3. Hamburger Verfahren: HOCHFELD et al. (2003)
4. Bodenschutzkonzept Stuttgart: BOKS (2006)
5. Digitaler Umweltatlas Berlin (2006)
6. Heft 31 – Baden Württemberg: LEHLE et al (1995)
7. MeMaS: MÜLLER (2004) (Hrsg.)

Dazu wurde eine Tabelle mit häufigen Eigenschaften urbaner Böden erstellt und ihre Bedeutung und bisherige Berücksichtigung in der Bodenfunktionsbewertung betrachtet (Tabelle 1). Als Fazit zeigte sich, dass die speziellen Eigenschaften der urbanen Böden bisher nur sehr unzureichend berücksichtigt werden.

Um hier Bewertungslücken zu schließen, wurde gemeinsam mit dem LBEG Niedersachsen eine Stadtbodendatenbank zur Ableitung von Kennwerten für technogene Substrat(unter)gruppen aufgebaut (DAVID & SCHNEIDER 2008).

Die Analysen erbrachten auch das Ergebnis, dass Anpassungen der Bewertungsziele an die Entwicklungsziele urbaner Räume erfolgen sollten. Dafür sind auf Ebene der Kriterien neue Bewertungsmodule, das „Naturnähe-/ Hemerobie- Ökogramm“ und die „Dauerhaftigkeit“ entwickelt und mit dem im folgenden vorgestellten Feuchte-/ Nährstoff-Ökogramm verschnitten worden (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 KAK_{eff}-WE- Klassen im effektiven Wurzelraum und den pH-Bereichen) eingesetzt (vgl. MÜLLER 2004). Es können hier nur einige der dafür entwickelten Erweiterungen auf der Kennwertebene vorgestellt werden.

Kationenaustauschkapazität (KAK): Untersuchungen von BLUME et al. (1997) zeigen, dass die bestehenden Schätztabellen zumeist nicht zu Charakterisierung von Böden mit deutlichen Anteilen technogener Substrate geeignet sind.

Für die Ableitung der KAK_{pot} aus den Bodenarten kann die Schätzmethode deutlich verbessert werden, indem für technogene

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

Merkmals	Bedeutung für Bodenfunktionen	Berücksichtigung in der Bodenbewertung bisher
Technogene Substrate	spez. Eigenschaften <ul style="list-style-type: none"> ▪ im Wasser-, Gas- und Nährstoffhaushalt, ▪ als Schadstoffquelle / -senke ▪ z.T. hohe Reaktivität = schnelle Änderungen 	ja, <ul style="list-style-type: none"> ▪ aber Böden werden nur abgewertet, unabhängig von tatsächlicher Leistung ▪ als Schadstoffquelle
Mischung und Schichtung	Einfluss auf <ul style="list-style-type: none"> ▪ den Wasser- & Lufthaushalt ▪ Durchwurzelbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schichtung außer in We nicht 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 Schlüsselns herausgerechnet und positiv bei Versickerungsleistung beurteilt
extreme pH-Werte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gehen ein in KAK, die Filter-, Puffer-, Transformatorfunktionen... ▪ beeinflusst, ob Boden Stoffquelle o. -senke 	ja,
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 ▪ oft negativ im Unterboden : Wasserstauer, reduziert durch Sauerstoffzehrung bei Abbau 	<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, Carbonatisierung) Ererbte Bodeneigenschaften können Bewertung beeinflussen.	nein
teil-, voll-, oder unterflurversiegelt	veränderter Wasser-, Luft- und Stoffhaushalt der betroffenen und der benachbarten Böden	nein Böden werden gar nicht bewertet

Substrat(unter)gruppen eigene mittlere KAK_{pot}-Werte abgeleitet werden. Hierzu sind mit Hilfe der Stadtbodendatenbank anhand **von Reinsubstraten, die keinen pedogenen Humus enthielten**, erste Vorschläge erarbeitet worden (Tabelle 3).

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

KAK_{pot}-Bodenskelett: In MÜLLER (2004) wird Festgesteinszersatz eine KAK von

1 cmol_c kg⁻¹ zugewiesen. Die KAK natürlicher Bodenskelette kann durchaus noch höher liegen (KERN et al. 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.

KERN et al. (2006) zeigen für die untersuchten natürlichen Gesteine eine geringere Abnahme der Austauschkapazität mit zunehmender Durchmesserklasse der Skelette. In den Testprofilen dominiert als im Skelett die fG/fGr-Fraktion. Daher wird vorgeschlagen, 1/10 der KAK_{pot} der Bodenart Ss, Su2

Tabelle 3: Ableitungswerte der KAK_{pot} in Abhängigkeit von Bodenart und Substrat (*kursiv* & fett= neu abgeleitete Werte)

Bodenart	KAK_{pot} [$cmol_c kg^{-1}$]						
	nach KA 5*	Bauschutt	Steinkohleberge	Braunkohleberge	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

Anmerkungen:

- In **Bauschutt** dominiert im Feinboden eine sandige Bodenart. Die sandkorngroßen Partikel bestehen aus Zement, Mörtel, Beton, Kalksandstein, Ziegel & Gips. Daher liegt die KAK von Bauschutt höher als die quarzreicher Sande.
- **Steinkohleberge** besteht 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 eher überschätzt wird. Möglicherweise stehen aufgrund des geringen Verwitterungsstadiums die inneren Oberflächen der Tonminerale nur unvollständig zur Verfügung.
- Die KAK von **Braunkohleasche**, deren Feinbodentextur im Partikelgrößenbereich der Sande und Schluffe liegt, wird nach der Schätztabelle der AG BODEN (2005) extrem unterschätzt. ZIKELI et al. (2004) zeigen, dass analog der Ableitung wie für den Humus ein pH- abhängiger Korrekturfaktor für die KAK_{eff} Ableitung einzurechnen ist!
- **Steinkohleasche**, deren Feinbodentextur im Partikelgrößenbereich des Sandes liegt, wird nach der Schätztabelle der KA 5 unterschätzt. Ob analog zu den Braunkohleaschen ein pH-Faktor eingefügt werden muss, ist noch unklar.

des jeweiligen technogenen Substrates für die KAK der Skelettanteile anzusetzen.

KAK – Organische Auflagen: In den Bewertungsschlüsseln wird die KAK der organischen Auflage nicht berücksichtigt. Auf armen Sand- oder O/C- Böden kommt es bei Außerachtlassung der Auflagen zu einer deutlich Unterschätzung der Standortgüte. Für die Bodenzustandserhebung im Wald wurden nach einer neuen Methode Austauschkapazitäten in den org. Auflagen gemessen (Handbuch Forstliche Analytik, Juli 2006). Genauere Ergebnisse dazu werden in 1-2 Jahren vorliegen. Von den in NRW untersuchten Wald- und Forststandorten zeigen nach einer ersten Übersicht von Dr. Milbert (Geologischer Dienst NRW 2009) die L+Of-Auflagen im Mittel eine KAK_{eff} von $45 cmol_c kg^{-1}$ (n=122) und die Oh- Auflagen von

$35 cmol_c kg^{-1}$ (n=87). Der Mittelwert aller Proben beträgt $41 cmol_c kg^{-1}$ (n=232).

Es wird vorgeschlagen in der Funktionsbewertung mit einer KAK von $40 cmol_c kg^{-1}$ für die organischen Auflagen zu rechnen, bis genauere Werte vorliegen. Die KAK organischer Substanzen ist immer pH- Wert abhängig.

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

In den meisten Horizonten mit technogenen Substraten liegen Mischungen technogener Substrate miteinander und/oder mit natürlichen Substraten vor. Daher wird ein modifiziertes Berechnungsverfahren für die Kennwertermittlung der $KAK_{eff}We$ für Gemische angewendet:

1. Ableitung des Feinbodenanteils [FB] bezogen auf 1 ha Fläche (wie MÜLLER 2004, aber mit Tab. 3).
 $FB [kg\ ha^{-1} \cdot t = \text{Horizontmächtigkeit [cm]} * TRG [g\ cm^{-3}] * \text{Feinbodenanteil}$
2. Ableitung der $KAK_{pot} [cmol_c\ kg^{-1}]$ Feinboden
 1. Bodenart * Substrat * %-Anteil 1 Horizont +
 2. Bodenart * Substrat * %-Anteil 1 Horizont +
 3. Bodenart * Substrat * %-Anteil 1 Horizont $= KAK_{pot}\ cmol_c\ kg^{-1}\ 1\ \text{Horizont}$
 usw. bis zur Grenze We_{eff}
 Beispiel: Feinboden in Horizont 1 Su2 und:
 75 % Bauschutt: KAK_{pot} von $8\ cmol_c\ kg^{-1}$ und
 25 % natürl. Substrat : KAK_{pot} von $2\ cmol_c\ kg^{-1}$ =
 KAK_{pot} von $6,5\ cmol_c\ kg^{-1}$
3. Ableitung der $KAK [cmol_c\ kg^{-1}]$ vom Humus. Die KAK der Humusklasse, korrigiert durch den pH-Faktor wird zu jedem Horizont hinzugerechnet (wie AG BODEN 2005 & MÜLLER 2004).
4. dann $KAK\ cmol_c\ kg^{-1} * \text{Feinbodenanteil} / 100\ 000$ (MÜLLER 2004)
 dann Summe aller Horizonte bis We_{eff} bilden.
5. Ableitung der $KAK_{pot} [cmol_c\ kg^{-1}]$ Skelett wie beim Feinboden, nur das hier das Skelett mit dem Substrat verknüpft wird. KAK_{pot} vom Skelett = 1/10 des Wertes der Sandfraktion im Feinboden.
6. Hinzuaddieren der KAK der organischen Auflage.

4. Zusammenfassung

Ziel ist es, Bewertungsverfahren zu entwickeln, die es ermöglichen, wertvolle und leistungsfähige Böden auch im urban-industriellen Raum zu identifizieren und möglichst von Bebauung frei zu halten. Dafür wurden mehrere Bodenfunktionsbewertungen auf ihre Eignung hin überprüft, welche Bodenfunktionen von Böden mit technogenen Substraten erfüllt werden können. Als Fazit lässt sich zusammenfassen, dass die speziellen Eigenschaften vieler urbaner Böden bisher unzureichend berücksichtigt werden. Um einige dieser Bewertungslücken zu schließen, wurden die Raumgewichte um geringe Bewertungsstufen und die effektive Durchwurzelungstiefe um Sonderregeln ergänzt. Ebenfalls wurden die Schätzwerttabellen zur Ableitung der KAK 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 bestehend aus unterschiedlichen Substraten werden Mischungsrechnungen eingesetzt. Der derzeitige Stand zur Funktionsbewertung zeigt, dass Böden mit technogenen Substraten durch Kartierung grob bewertet werden können, jedoch noch weiterer Ar-

beitsbedarf besteht, bis eine Qualität erreicht wird, wie sie für naturnahe Böden bereits existiert.

Schlagwörter: Urbane Böden, Stadtböden, technogene Substrate, Bodenfunktionsbewertung, Kationenaustauschkapazität

Danksagung: Das dieser Arbeit zugrundeliegende REFINA Vorhaben ‚Funktionsbewertung urbaner Böden und planerische Umsetzung im Rahmen kommunaler Flächenschutzkonzeptionen‘ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert (Förderkennzeichen 0330728).

Literatur

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Hannover.
- BLUME, H.-P. & U. SCHLEUß [Hrsg.] (1997): Bewertung anthropogener Stadtböden. Abschlußbericht BMBF-Verbundvorhaben. Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Schriftenreihe Nr. 38, Universität Kiel.
- BOKS (2006): Bodenschutzkonzept Stuttgart. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, H.4, Stuttgart.
- DAVID, S.; J. SCHNEIDER (2008): MeMaS_urban - Eine Erweiterung des Niedersächsischen Bodeninformationssystems zur Funktionsbewertung urbaner Böden. Beiträge Diskussionsforum Bodenwissenschaften. FH-Osnabrück. Heft 9: 69-80.
- HANDBUCH FORSTLICHE ANALYTIK (2. ERGÄNZUNG 2006): Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Gutachterausschuss Forstliche Analytik (Hrsg.).
- HOCHFELD, B.; A. GRÖNGRÖFT; 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; F. RÜCK (2008): Die Bewertung urbaner Böden als Pflanzenstandort. Beiträge Diskussionsforum Bodenwissenschaften. FH- Osnabrück. Heft 9: 51-68.
- KERN, M.; B. RABER; E.E. HILDEBRAND (2006): Verfahren zur Ermittlung des Nährelementpotenzials des Gesamtbodens unter besonderer Berücksichtigung des Bodenskeletts und deren Integration in die Bodenzustandserhebung im Wald. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt 04HS024, Institut für Bodenkunde der Universität Freiburg.
- LEHLE, M.; J. BLEY; E. MAYER; R. VEIT-MEYA; 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; K. STAHR (2008): TUSEC - Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogen überformter Böden. Hohenheimer Bodenkundl. Hefte, Bd 86.
- MEUSER, H.; GREITEN, U (2006): Kartier- und Bewertungsschlüssel für die Bodenfunktionen in Osnabrück. Stadt Osnabrück (Hrsg.).
- MÜLLER, U. (HRSG.) (2004): Auswertemethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems. 7. Auflage. Arbeitshefte Boden, 2004, Heft 2.
- ZIKELI, S.; KASTLER, M. & R. JAHN (2004): Cation exchange properties of soils derived from lignite ashes. J. Plant Nutr. Soil Sci., 167, 439-448.