

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG
Titel der Tagung: Böden verstehen, Böden nutzen, Böden fit machen, 3.-9. 9.2011, Berlin
Veranstalter: DBG, Kommission 5
Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Überprüfung von Pedotransferfunktionen (PTF) zur Ableitung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) forstlich genutzter Kippenböden in Ostdeutschland

Heinkele, T.¹⁾, Knoche, D.¹⁾ & Haubold-Rosar, M.¹⁾

Zusammenfassung

Bei der forstlichen Standortkartierung von Kippenböden des Braunkohlenbergbaus bleiben substratbedingte Wasserhaushaltsgrößen bisher ausgeblendet. Diese sind jedoch für eine kleinstandörtlich differenzierte Bestandesplanung unabdingbar, gerade auch in Anbetracht der klimabedingten Standortdrift. Eine zentrale Kenngröße des ökosystemaren bzw. Bodenwasserhaushaltes bildet hierbei die pflanzenverfügbare Wasserspeicherung. Eine Gegenüberstellung der mit neun verschiedenen Pedotransferfunktionen geschätzten und den gemessenen Wasserspeichereigenschaften von 293 typischen Kippbodenhorizonten zeigt, dass die PTF nach KA 5 Tab. 70, *ROSETTA*, Heinkele (2011) und eingeschränkt nach Rieck (1995) hinreichend treffsichere Schätzergebnisse liefern. Hingegen sind die Ansätze nach Forstlicher Standortaufnahme Tab. 48, KA 5 Tab. 75 sowie DIN 4220 ungeeignet.

Schlüsselwörter: Kippenboden, Wasserhaushalt, Pedotransferfunktion

1. Einführung

Die pflanzenverfügbare Wasserspeicherung als zentrale Größe des Bodenwasserhaushaltes forstlich genutzter Kippenstandorte ist direkt abhängig von der nutzbaren Feldkapazität (nFK).

¹⁾ Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandchaften e.V. (FIB), Brauhausweg 2, 03238 Finsterwalde, www.fib-ev.de

Zu ihrer Ableitung aus einfach zu ermittelnden Substrateigenschaften bieten sich verschiedene Pedotransferfunktionen an. Jedoch sind diese bislang nicht für die spezifischen Substrateigenschaften von Kippenböden des Braunkohlenbergbaus kalibriert. Unklar ist, ob PTF für solche technogenen Substrate überhaupt plausible Schätzergebnisse liefern.

2. Material und Methoden

In der Untersuchung wurde die Vorhersagegüte von 9 PTF anhand eines Probenkollektives aus 89 typischen, forstlich genutzten Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenreviers mit ihren insgesamt 293 Einzelproben überprüft. Hierzu lagen als horizont- bzw. schichtbezogene Eingangsdaten vor: die gemessenen Wassergehalte bei Feldkapazität (FK, pF 1,8) und permanentem Welkepunkt (PWP, pF 4,2), ferner die erforderlichen PTF-Prädikatoren wie Korngrößenverteilung, Trockenrohddichte und Gehalt an organischer Substanz. Die Beurteilung der Schätzergebnisse erfolgte anhand statistischer Beziehungen zwischen Schätz- und Messwerten sowie über das arithmetische Mittel des Vorhersagefehlers (MPE), den mittleren Quadratwurzelfehler (RMSEP) und die Standardabweichung des Vorhersagefehlers (SDPE). Ferner wurde aus der nFK der Einzelhorizonte die nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK) aller 89 Referenzprofile bezogen auf 100 cm Tiefe berechnet, diese zu Bodenfeuchtestufen aggregiert und schließlich die nach Messung und Schätzung erzielten Substratfeuchtestufen abgeglichen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Nach Tabelle 1 stimmen mittels PTF geschätzte und laborativ bestimmte nFK-Werte der Bodenartengruppen Lehmsande und Sandlehme, mit Ausnahme der Bodenart St2, gut überein. Bei den Reinsanden liefern hingegen die PTF nach KA 5, Tabelle 70 und *ROSETTA* bei den gemessenen Durchschnittswerten weitgehend übereinstimmende Schätzungen, die PTF nach Forstlicher Standortkartierung, Tabelle 48, Renger (2008) und Rieck (1995) überschätzen die nFK der Reinsande geringfügig, die PTF nach KA 5, Tabelle 75, Teepe (2003) und DIN 4220

deutlich. Auffällig ist weiterhin, dass für schwach tonige Sande (St2) die unterschiedlichen Pedotransferfunktionen mit ca. 15 Vol-% zwar ähnliche Werte ange-

ben, ausgenommen *ROSETTA*. Allerdings liegen die laborativ ermittelten nFK-Werte im Durchschnitt bei lediglich 6 Vol-%.

Tabelle. 1: Vergleich geschätzter und gemessener nFK (Vol-%) typischer Kippsubstrate unterschiedlicher Bodenarten; Schätzung der nFK jeweils für mittlere TRD und humus- bzw. kohlefreie Bodenhorizonte

Bodenart	Pedotransferfunktion								Gemittelte Messwerte
	KA 5 Tab. 70	KA 5 Tab. 75	Forstl Standort-aufn., Tab. 48	Teepe	ROSETTA	DIN 4220	Ren-ger ¹⁾	Rieck ²⁾	
mS	6	14	8	14,8	6	15	10	8	7
mSfs	6	14	12,5	14,8	6	15	15	8	7
fS	9	17	20	14,8	6	18	15	13	8
Su2	18	19	16,5	14,8	14	18	17	15	18
Sl2	18	18	17,5	14,8	20	18	16	15	15
Sl3	18	18	18,5	16,6-19,4	18	18	16	14	16
Sl4	18	17	17,5	16,6-26,3	19	18	16	12	15
Ls4	16	15	15,5	23	18	16	15	10	14
Lts	14	14	12	13,5-16,6	18	14	14	9	11
St2	16	15	16,5	14,8	11	16	14	15	6

¹⁾ Schätzung nach Tabelle 3 aus Renger et al. (2008), d.h. für den pF-Bereich 1,8 - 4,2

²⁾ Wassergehalte zwischen FÄ (Feuchteäquivalent) und pF 4,2; Substratgruppe: Geschiebesande, Geschiebedecksande, glazialer Lehmsand, bzw. Geschiebelehm, -mergel, jeweils für Unterbodenhorizonte

Tabelle 2: Statistische Maßzahlen und Rangfolgen (in Klammern) der Pedotransferfunktionen der Horizonte des Probenkollektivs

PTF	MPE (Vol-%)	RMSEP (Vol-%)	SDPE (Vol-%)	a	b	r ²	Summe Rangfolgen
ROSETTA	3.1 (2)	6.5 (5)	5.8 (8)	0.956 (1)	3.440 (1)	0.579 (1)	18
Heinkele ¹⁾	1.8 (1)	5.5 (1)	5.2 (5)	0.630 (3)	5.530 (2)	0.497 (6)	18
Renger	4.4 (5)	6.5 (3)	4.7 (1)	0.529 (5)	9.219 (5)	0.555 (2)	21
KA 5, Tab 70	3.4 (4)	6.5 (4)	5.4 (6)	0.769 (2)	5.730 (3)	0.505 (5)	24
Rieck	2.7 (3)	5.7 (2)	5.0 (4)	0.580 (4)	7.154 (4)	0.484 (7)	24
fostl. Standortk.	5.2 (6)	7.1 (6)	4.9 (3)	0.487 (7)	10.460 (6)	0.507 (4)	32
DIN 4220	7.0 (9)	8.4 (8)	4.8 (2)	0.524 (6)	11.850 (7)	0.537 (3)	35
KA 5, Tab 75	6.0 (7)	7.9 (7)	5.7 (7)	0.237 (8)	13.403 (8)	0.424 (8)	45
Teepe	6.4 (8)	8.8 (9)	6.7 (9)	0.233 (9)	14.210 (9)	0.222(9)	53

¹⁾ PTF *Heinkele* entspricht PTF KA 5 Tab. 70 ohne Berücksichtigung der TRD-Stufen, d.h. es wurde für alle Proben TRD-Stufe 4 angesetzt

Die statistischen Kennwerte der Ausgleichsfunktionen zwischen Mess- und Schätzwerten des Probenkollektivs differieren für die einzelnen PTF (Tabelle 2). Während die Bestimmtheitsmaße (r^2), ausgenommen der Funktionen nach *Teepe* bzw. KA 5, Tab. 75, insgesamt ähnlich sind, unterscheiden sich die Geradensteigungen (a) und die y-Achsenabschnitte (b) deutlich, mit den günstigsten Werten für die PTF nach KA 5, Tab. 70 und *ROSETTA*. Ein Kennzeichen aller Pedotransferfunktionen ist die erhebliche Streuung von Schätz- und Messwerten im Bereich niedriger nFK wie sie für viele Kip-

penböden des Braunkohlenbergbaus typisch sind (hier nicht dargestellt). Dabei wird die pflanzenverfügbare Wasserspeicherung durchgängig überschätzt. Das Fehlermaß MPE ist bei allen PTF positiv, unterscheidet sich jedoch im Betrag. Für eine vergleichende Bewertung der PTF wurde für jede die Rangfolge ihrer statistischen Kennwerte ermittelt und mit Punktzahlen belegt (Werte in Klammern in Tabelle 2). Dabei wurde der jeweils günstigste Wert (Rangfolge 1 im Vergleich zu den übrigen PTF) mit 1, die stärkste Abweichung mit 9 Punkten belegt. Die ungewichtet summierten Punkte ergeben

die in Tabelle 2 dargestellte Rangfolge als Eignungsmaß zur Schätzung der nutzbaren Feldkapazität des Probenkollektivs. Abbildung 1 verdeutlicht, dass die PTF das Probenkollektiv feuchter einstufen als es den Messwerten entspricht. Eine nur geringfügige Überschätzung der Feuchteverhältnisse erzielen die PTF nach KA 5, Tab. 70, *ROSETTA*, *Heinkele* und *Rieck*. Hingegen weichen die PTF nach forstlicher Standorterkundung Tab. 48, *Teepe*, DIN 4220 und KA 5, Tab. 75 stark ab. Diese gruppieren eine viel größere Anzahl an Profilen in höhere Bodenfeuchtestufen, als es der Realität entspricht.

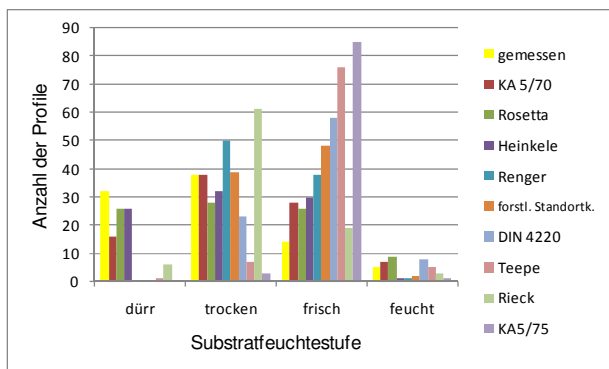


Abbildung 1: Verteilung der gemessenen und nach PTF geschätzten nutzbaren Wasserspeicherkapazitäten in Bodenfeuchtestufen

Tabelle 3 zeigt für die einzelnen PTF, wie oft Schätz- und der Messwert eine gleiche Bodenfeuchtestufe treffen und die Abweichungen der geschätzten von den gemessenen Werten. Die PTF nach *ROSETTA*, KA 5 Tab. 70 und *Heinkele* treffen bei 46 Profilen (52 % der Fälle) die Feuchtestufe der Messung, die PTF nach KA 5 Tab. 75 hingegen in nur 16 Fällen. Wird die Anzahl der jeweiligen Fehlschätzungen mit dem Betrag ihrer Stufenabweichung multipliziert so ergeben sich in Summe aller Fehlschätzungen die in Tabelle 3 gezeigten Fehlerpunkte. Dabei schneiden die PTF nach *ROSETTA*, *Heinkele* und KA 5, Tab. 70 am besten, die PTF nach DIN 4220, *Teepe* und KA 5, Tab. 75 vergleichsweise ungünstig ab.

Die in Tabelle 3 gezeigten Fehlschätzungen der Bodenfeuchtestufen (lediglich PTF *ROSETTA*, *Heinkele* und KA 5, Tab. 70, alle übrigen PTF werden nicht weiter berücksichtigt) treten insbesondere bei Kippenböden mit ausgeprägter substanzialer Inhomogenität auf.

Tabelle 3: Abweichungen der geschätzten von den gemessenen Feuchtestufen der Referenzprofile

PTF	Abweichung (Anzahl der Fälle) der geschätzten von der gemessenen Substratfeuchtestufe, Betrag der Abweichung um				Fehlerpunkte
	0 Stufen	1 Stufe	2 Stufen	3 Stufen	
	ROSETTA	46	38	5	
Heinkele	46	38	5	0	48
KA5/70	46	36	7	0	50
Rieck	39	45	5	0	55
Renger	34	49	6	0	61
Forstliche	33	47	9	0	65
DIN	25	47	17	0	81
Teepe	19	37	33	0	103
KA 5/75	16	42	31	0	104

Gerade bindige Substratbeimengungen beeinflussen die gemessene Korngrößenverteilung. So verschieben bereits 10 Vol-% Tonklumpen in einer sandigen Matrix (Bodenart Ss) nach Homogenisierung die Bodenart zu St2. Entsprechend wird die nFK eines solchen Kippenbodens mit 16 Vol-% geschätzt (KA 5, Tab. 70).

Tabelle 4: Rechnerisch ermittelte Korngrößenverteilungen eines substrat-inhomogenen Kippenbodens (sandige Matrix, Brocken mit Bodenart Tl) und nach Bodenart geschätzte nFK (KA 5, Tabelle 70)

Anteil Brocken (Vol-%)	rechnerische Korngrößenverteilung			Bodenart nach Homogenisierung	nFK geschätzt (Vol-%)
	Sand (%)	Schluff (%)	Ton (%)		
5	91,1	4,1	4,6	mSfs	7
10	87,5	5,2	7,3	St2	16
20	80,0	7,4	12,6	St2	16
40	65,0	11,8	23,2	Ts4	14

Werden die nFK-Werte der einzelnen Komponenten hingegen separat geschätzt und entsprechend der Volumenanteile verrechnet, so ergeben sich deutlich geringere und damit realitätsnähere nFK-Werte als bei Schätzung auf Grundlage einer homogenisierten Probe (Tabelle 5).

Tabelle 5: Geschätzte nFK eines substrat-inhomogenen Kippenbodens (sandige Matrix, Brocken mit Tl) auf Grundlage der Schätzung von Einzelkomponenten

Matrix	Volumenanteil (%)	Brocken	nFK-Anteile (nFK*Volumenanteil)		nFK geschätzt aus Einzelkomponenten ¹⁾	nFK geschätzt aus Bodenart (Vol-%)
			Matrix	Brocken		
95	5	7*95	11*5	7,3	7	
90	10	7*90	11*10	7,6	16	
80	20	7*80	11*20	8,2	16	
60	40	7*60	11*40	9,4	14	

¹⁾: ((nFK-Anteil Matrix + nFK-Anteil Brocken)/100) (Vol-%)

Aus den in Tabelle 5 verdeutlichten Zusammenhängen wurde für die forstliche Standortkartierung ein Geländeschätzrahmen entwickelt, mit dem sich die nFK der

Komponenten substrat-inhomogener Kippenböden einzeln schätzen und dann unter Berücksichtigung der jeweiligen Volumina zu einer gemittelten nFK verrechnen lässt. So wird eine deutlich bessere Annäherung von Schätz- und Messwerten erzielt als anhand homogenisierter Gesamtproben; bei den Beispielen der Tabelle 6 an sieben

von acht Referenzprofilen. Eine zuverlässige Abschätzung der nFK mittels Schätzrahmens auf Grundlage des Geländebefundes erfordert allerdings eine akkurate Ansprache der Einzelkomponenten von Kippenböden und die genaue anteilige Volumenschätzung.

Tabelle 6: Vergleich von gemessenen, nach KA 5, Tab. 70 aufgrund der Korngrößenanalyse geschätzten und durch Schätzungsrahmen aufgrund des Geländebefundes ermittelten nutzbaren Wasserspeicherkapazität typischer Kippenböden (jeweils bis 100 cm Tiefe) im Bereich der ehemaligen Braunkohlentagebaue *Klettwitz* und *Friedländer* im Lausitzer Revier

Fläche	Kippsubstrattyp	Bodenart	nWSK gemessen (mm)	nWSK geschätzt aus Bodenart (mm)	nWSK geschätzt aus Geländebefund (mm)
SH1	oj-(k)ss	St2	25	82	68
SH3	oj-(x)(c)ls\ls	Sl2	115	180	173
SH5	oj-xls	Sl2	134	196	157
SH6	oj-(k)x(t)s, a	St2	143	226	171
SH7	oj-(x)(t)s	St2	67	217	80
SH9	oj-(k)(x)(t)s	St2	53	181	72
SH12	oj-xls	Sl2	85	241	157
SH14	oj-(t)s(k)ss/ss	St2	25	166	42
SH15	oj-(k)(t)s	St2	37	160	80

4. Literatur

AG BODENKUNDE, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 2003: Forstliche Standortaufnahme. 6. Aufl. IHW-Verlag Eching.

DIN 4220, 2008: Bodenkundliche Standortbeurteilung - Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten. Beuth, Berlin, 50 S.

HEINKELE, T., 2011: Kippenböden in der Forstlichen Standortklassifikation. Einordnung der Kippenböden des Braunkohlenbergbaus in das System der Forstlichen Standortklassifikation (SEA 95) und Ableitung standortgerechter Bestandeszieltypen. Teil 1: Bewertung der nutzbaren Wasserspeicherkapazität von Kippenböden und Ableitung von kartierbaren Merkmalen. Schriftenreihe des LfULG Sachsen (im Druck).

KÖNIG, T., 2010: Substratfeuchte – wichtige Auswerteeinheit der Standortserkundung. Freistaat Sachsen, Staatsbetrieb Sachsenforst. (pdf-Dokument:

http://www.smul.sachsen.de/sbs/download/Poster_Substratfeuchte.pdf).

RENGER, M., BOHNE, K., FACKLAM, M., HARRACH, T., RIECK, W., SCHÄFER, W., WESSOLEK, G., ZACHARIAS, S., 2008: Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. Berlin, 03. Oktober 2008.

RIECK, W., WESSOLEK, G. RENGER, M., VETTERLEIN, E., 1995: Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität von Substrat-Horizontgruppen - eine statistische Auswertung von Labordatenbanken. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 158, 485-491.

SCHAAP, M.G., LEIJ, F.J., VAN GENUCHTEN, M.TH., 2001: Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. J. Hydrol. 251, 163-176.

TEEPE, R., DILLING, H., BEESE, F., 2003: Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166, 111-119.

Das dieser Publikation zugrunde liegende Modellvorhaben wurde mit Mitteln des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft finanziert.