



Scopus Indexed Journal

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz – Forest Ecology, Landscape Research and Nature Conservation

www.afsv.de/index.php/waldoekologie-landschaftsforschung-und-naturschutz


Bodenlagenbasierte Ableitung der Stamm-Nährkraft aus lithochemieabhängigen Grundwerten als Ergänzung zur üblichen Bewertung von Gesamtprofilen der Standortkartierung nach nordostdeutschem Verfahren SEA95

Estimation of the potential nutrient level of forest site (PNL) derived from lithochemistry-dependent nutrient grades of soil layers in order to complement common soil class rating, as applied in North East German site survey system SEA95

Alexander Konopatzy

Abstract

Most of German site survey systems schematically assign nutrient scores to forest sites and found them on classification of complete soil profiles (e. g. on series of parent material or on combinations of soil type and texture type – the soil forms). Additional, more temporary, actual soil characters may influence the rating of site nutrient level, like humus form, C/N-ratio within top soil layers, humus contents, trend of pH or base state, than rather called trophic score (“Trophie”). The nutrient levels are normally verified by the composition of the natural forest plant community.

The East German site survey method SEA95 concentrates the rating of nutrient level on the relative inalterable potential nutrient level (PNL, basic nutrient level, “Stamm-Nährkraft”), in contrast to the actual humus, respective topsoil state.

At first the article dwells on the SEA95-approach of PNL, which is dependent on the combination of lithochemistry, soil type and soil texture type as well as additional features (summarized in fine soil forms FSF – “Feinbodenform, Fbf”). These combinations are correlated with specific portions of lithogenous main nutrient elements K, Mg, Ca and P (total contents in HF), at all. The PNL of all nonhydromorphic FSF is firmly ordinated into 5 main nutrient scores or 25 fine grades, respectively.

The article describes, how – or how far – by means of iterative approximation the approach of PNL-fine grades, primary defined for soil classes as FSF, can be modified and completed so far, that they can be assigned in principle to particular soil layers and afterwards be summarized up to standard depth of 1.6 m in connection with weighting by

depth. The resulting constructed PNL for concrete profiles becomes thereby independent from determination of soil class or FSF.

The identified basic nutrient grades for soil layers are seized in the manner that they reproduce by means of synthetic standard profiles the PNL-fine grades of the reference soil classes (FSF) as far as possible. Some additional aspects as special horizons, humus content, soil density, modified base saturation und favourable layers situated underneath the 1.6 m standard depth are managed by surcharges to or discounts for single layers.

Concerning the PNL-shares of soil layers a strong depth dependency arises on one hand, accompanied by relative high weights of more favourable deeper seated layers on the other hand. The reference-PNL is reproduced by the layer based method very exactly for the sandy soils, dominating in North East German lowland forests (normally < 1 fine degree deviation within the 25-fine grades scale). However, at profiles, dominated by loam, silt or clay, discounts for the layer effects become essential, in order to don't exceed the 25-fine grade frame or don't let increase the PNL endless, respectively. Hence, there result distinct limits for the reduction of a PNL-similar factor on single chemical concentration parameters, like for example sum of exchangeable base cations (S-Value).

All in all, the layer based method makes the interrelationships within the NE-German PNL-system clearer, than the SEA95-standard schemata for soil classes.

The appliance of the – finally also reproducing SEA95-expert estimation – approach of PNL-calculation based on soil lay-

ers is seen in cases, where the way over standard soil classes (here FSF) is less practicable, not elaborated or not desired:

- the rating of soils with closely changing and difficult to typify properties, e.g. of brown coal mining dumps,
- the review of existing rules for soil classes with additional properties,
- the modification of PNL for areas in soil layer-based disaggregated draft site maps.
- the flexible configuration of synthetic standard profiles or the profiles, described in this special journal edition with PNL, having regard to specific characteristics (within the lithochemical frame of the NE-German parent materials).

Keywords: potential nutrient level of forest site (PNL), fine nutrient grades, soil layers, soil horizons, total content, KMgCaP-Series, fine soil forms (FSF)

Zusammenfassung

In der Arbeit wird dargestellt, wie bzw. inwieweit Zuweisungen der Stamm-Nährkraft zu konkreten anhydromorphen Bodenprofilen innerhalb des SEA95-Systems auch auf Basis der Merkmale einzelner Bodenlagen (Horizonte i. w. S.) vorgenommen werden können, um einen Übergang von rein bodenklassenbasierter Zuweisung (über Feinbodenformen) zu einem weitgehend quantifizierenden Verfahren zu ermöglichen. Die benötigten Bodenlagenmerkmale sind Tiefe, Körnung, KMgCaP-Serie (Lithochemie) des Substrates, Humosität, Horizontbezeichnung und teilweise der Basenzustand. Schlüsselgröße der bodenlagenbasierten Nährkraftbestimmung sind körnungs- und lithochemieabhängige Nährkraftgrundwerte.

Die Anwendung des Verfahrens wird unter anderem bei fehlender oder schwieriger Nährkraft-Zuweisung zu Feinbodenformen (z. B. Kippböden, auch meliorierte), der Bearbeitung von Konzept-Standortskarten auf Basis flexibler Profilverläufe und als Vergleichsbasis für methodisch abweichende Bewertungen der Nährkraft von Profilen gesehen.

Stichworte: Stamm-Nährkraft, Bodenlagen, Horizonte, Gesamtgehalte, KMgCaP-Serien, Feinbodenformen

1 Einleitung, Begriffe, Zielstellung

Bodenlagen im Sinne der SEA95 (SCHULZE & KOPP, 1995) bezeichnen allgemein Abschnitte von Bodenprofilen, die sich durch äußere Merkmale wie Bodenbildung (Horizonte), Ausgangsmaterial und Bodenart (Substrate), Stoffgehalte (z. B. org. Bodensubstanz) oder ihre Genese (z. B. Umlagezonen) unterscheiden.

In den meisten Standortskartierungsverfahren basiert die Nährkrafteinstufung auf der Klassifizierung von Gesamt-Bodenkörpern (z. B. Bodenformen). Hinzu kommen Zusatzfaktoren wie z. B. geologisches Ausgangsmaterial, teilweise auch kombiniert mit sich im Humuszustand ausprägenden Bodenzuständen wie C/N-Verhältnissen, Humusgehalten und Basenstatus, die dann häufig als „Trophie“ bezeichnet werden. Die Nährkraft wird z. B. über die Ausprägung der natürlichen Waldgesellschaft verifiziert.

Im ostdeutschen Kartierverfahren ist die Nährkraftbewertung vor allem auf die Ableitung der relativ unveränderlichen Nährelementanteile als „Stamm“-Nährkraft im Unterschied zum überprägenden Humuszustand (Zustands-Nährkraft) ausgerichtet. Diese Stamm-Nährkraft ist eng mit der „nachschaffenden Kraft“ nach WITTICH (1963) verknüpft.

Zunächst sei auf den im nordostdeutschen Tiefland geltenden SEA95-Ansatz der festen Stamm-Nährkraftzuweisung zu Feinbodenformen (= Fbf, früher als Lokalbodenformen geführt) in einem klassifizierenden Ansatz eingegangen.

Für humusarme Mineralbodenproben wurden durch KOPP (1969) per HF-Aufschluss Gesamtgehalte der geogenen Hauptnährelemente Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Phosphor (P) ermittelt. Über Regressionen wurden die Gehalte der Kornfraktionen gS, mS u. fS1, fS2, U, T zueinander in Beziehung gesetzt und in Nährstoffserien (KMgCaP-Serien) eingeordnet. Diese Serien machen das Körnungsspektrum bei gemeinsamer geostratigraphisch-lithochemischer Herkunft untereinander vergleichbar. Üblicherweise sind sie auf die Gesamtgehalte der Mittel- und Feinsand1-Fraktion zurückzuführen (Tab. 1, [Anhang Tab. A2a](#)). Geomorphologisch-faziell bedingte Ausprägungen des Mineralbestandes können mittels der Methode über ihre körnungsspezifische KMgCaP-Serienausstattung parallelisiert werden. Die Böden mit bestimmten KMgCaP-Serienzugehörigkeiten finden sich dadurch in der Regel über zusammenhängende Gebiete (Wuchsbezirke oder Naturraummosaik), was die Verwendung in der Bodenkartierung wesentlich erleichtert.

Anschließend wurden durch KOPP (1969) die Gesamtgehalte der Körnungsarten zu 5 gemeinsamen Stufen gruppiert. Damit stützten sie die Parallelisierung mit der Stamm-Nährkraft für anhydromorphe Bodenformen, die sich außerdem am naturnahen Gleichgewichts oberbodenzustand, nach Standortswieserartenzusammensetzung, Basensättigung und C/N-Verhältnissen orientiert (Vegetationsformenprinzip zur Parallelisierung von Standort und Vegetation – s. KOPP et al 1982).

Die Stamm-Nährkraftbewertung ist letztlich eine auf Expertenwissen basierende Zuweisung für Gesamtprofile bzw. Feinbodenformen (Fbf) ohne Synthese aus Einzelhorizonten. Die Fbf-bezogenen Stamm-Nährkraftstufen werden – für größtenteils anhydromorphe Böden – in Fünftelstufen unterteilt, um z. B. feinere Unterschiede in der Nährkraftbewertung zu kennzeichnen (Tab. 2; die Index- bzw. Apostroph-Schreibweise der SEA95 wurde in kontinuierliche Ziffern von 1 bis 25 konvertiert: Nährkraftziffern bzw. NkZ).

Die anhydromorphen Fbf sind nach SEA95-Teil C und D fest in ein NkZ-System der Stamm-Nährkraft einsortiert (Tab. 3). Gliedernde Aspekte sind der Substrat- bzw. Horizontfolgetyp, die KMgCaP-Serie sowie die Körnung im Oberboden. Sande in Serie 1 werden beispielsweise sehr unterschiedlich bewertet – je nach ihrer Nebenkörnungsart (im Sand-Körnungsdreieck) und Ton- /Schluffbeimengung. Schließlich differenziert noch die Kalktiefe (je 1 Stufe Aufwertung). Lagen aus Lehm werden auch bei größerer Tiefe mit relativ einheitlichen Standardzuschlägen bei verschiedenen Bodentypen bedacht.

Ziel der Arbeit ist, darzustellen, wie bzw. inwieweit die oben für Gesamtprofile definierten Nährkraftziffern sich prinzipiell auch aus Nährkraft-Grundwerten für einzelne Bodenlagen bzw. -horizonte herleiten lassen.

Tab. 1: Kennzeichen der wichtigsten Nährelementserien durch Gesamtgehalte (HF-Aufschluss, bezogen auf reinen Mittelsand und Feinsand¹) und geostratigraphisch-fazielle Merkmale nach SEA95, ergänzt nach KOPP (1969), Auszug. Details u. Anmerk. z. Mineralogie in Anh. Tab. A2.

Tab. 1: *Lithochemical and geostratigraphic characteristics of the most important nutrient element series by total contents (exposure in HF, referred to middle and fine sand), according to SEA95 and KOPP (1969), extract. Further annotations on mineralogy in annex Tab. A2.*

Serie	Elementgehalt im mS u. fS1 [mg/100 g]			Unterschiede zu anderen Serien
		Mittel	Spanne	
1	K	889	750 ... 1.150	hoher Gehalt an allen 4 Elementen, nordische Sedimente, Pommersches Stadium, Frankfurter Staffel
	Ca	168	120 ... 240	
2	K	599	450 ... 850	alle Werte kleiner als Serie 1, Anstieg der K-, Mg-Werte mit zunehmendem gS-Anteil geringer als bei Serie 1, ...; vermutlich Mischsedimente von 1 und 3; weichsel-saale-kaltzeitlich gemischt; auch Beckensedimente der Küste (Alt-Darß, Haffstau-See)
	Ca	97	30 ... 160	
3	K	593	450 ... 850	alle Werte niedriger als bei Serie 1, fehlender Anstieg von K, Mg und Ca bei gS-Zunahme, Ca-Gehalt geringer als bei Serie 2; nordisch, Vorweichsel-Kaltzeit, aber auch Sander-Sande der Frankfurter Staffel
	Ca	78	30 ... 160	
7	K	1.087	850 ... 350	Sand wie Serie 2, bei steigendem U- u. T-Anteil geringerer Anstieg bei K und Mg als in Serie 1; Sedimente des Elbestroms südlicher Herkunft, Vorweichsel-Kaltzeit; Sedimentation der Sande aber meist wohl während der Weichsel-Kaltzeit
	Ca	239	100 ... 380	
8+	K	633	450 ... 850	geringe Ca- und Mg-Werte, K-Wert wie bei Serie 2 bis 5; tertiäre Sedimente
	Ca	15	< 40	
8-	K	6	< 200	geringe Ca- und Mg-Werte, geringste K-Werte von allen Serien; tertiäre Sedimente
	Ca	13	< 40	

Tab. 2: Stamm-Nährkraftstufen der SEA95 mit Ziffernskala als NkZ und Fünftelstufen als Index.

Tab. 2: *Potential nutrient level of forest site (PNL), ordinated into 5 main nutrient scores (A - R) or 25 fine grades (NkZ), respectively; as used in SEA95 system.*

Stamm-Nährkraftstufe		Nährkraftziffer NkZ (1...25)		Index-Schreibweise
Kürzel	verbal	niedrigste	höchste	niedrigste-höchste
A	arm	1	5	A ⁵ - A ¹
Z	ziemlich arm	6	10	Z ⁵ - Z ¹
M	mittel	11	15	M ⁵ - M ¹
K	kräftig	16	20	K ⁵ - K ¹
R	reich	21	25	R ⁵ - R ¹

Damit soll auch unabhängig von der Ansprache der vorher maßgeblichen Fbf nach Bodenformenkatalog der SEA95 eine Nährkraftbestimmung von konkreten Profilen ermöglicht werden.

Die Anwendung des bodenlagenbasierten Herangehens der Stamm-Nährkraftbestimmung wird in Fällen gesehen, wo eine Berechnung unter weitgehender Umgehung des Einstufungsprozederes in Einheiten des Kartiersystems (am Bsp. der Fbf nach SEA95) gewünscht oder nötig ist:

- die Bewertung von schnell wechselnden und schwer klassifizierbaren Bodeneigenschaften auf Braunkohlenkippen,
- Überprüfungen bestimmter SEA95-Einstufungsregeln für Gesamtprofile,
- die flexible Ausstattung von Bodenprofilen mit einer Stamm-Nährkraft nach SEA95 unter Berücksichtigung aller Profilbesonderheiten,
- die Abwandlung der Stamm-Nährkraft in lagenbasiert disaggregierten Konzept-Standortskarten (s. Glossar [Anh. Tab. A1](#)),
- die Lieferung von Referenzdaten für andere Bewertungsansätze, z. B. auf Tiefenprofilen der Basensättigung beruhend (in WALENTOWSKI et al 2004).

Tab. 3: Stamm-Nährkraftzuweisung als NkZ an Beispielen der Braunerden und verwandten Böden verschiedener Substrattypen bis 160 cm für Standardprofile. Jede Zuweisung erfolgt für eine eigene Feinbodenform (Fbf); Kalktiefe „tief“: meist unterhalb 160 cm.

Tab. 3: Assignment of potential nutrient level (PNL, as 25 fine grades - NkZ) demonstrated for fine soil forms (FSF) of braunerde family (cambisols), defined by KMgCaP-Series, depth of CaCO₃, type of texture profile within standard depth (160 cm) with differing texture in upper part of mineral soil.

KMgCaP-Serie	Kalk-Tiefe	Körnung des Hauptprofils bis 16 dm Tiefe																				
		mittel- und feinkörniger Sand			grobkörniger Sand			mittel- und feinkörn. Bänd.sand			grobkörniger Bändersand			Staub-sand		Bänder-staubsa nd (bf)		Tieflehm u. Tiefton		Deck-lehm		Lehm
		S	aIS	IS	S	aIS	IS	S	aIS	IS	S	aIS	IS	S	aIS+ S	S	aIS +IS	S	aIS+ IS	S	bs	
1	tief ohne	12	15	17	15	17	19	14	17	19	17	19	21	14	17	16	19	16	19	18	20	
	ohne	11	14	16	14	16	18	13	16	18	16	18	20	13	16	15	18	15	18	17	19	
2,4	tief	9	12	14	10	13	15	12	15	17	13	16	18	11	14	13	16	14	17	15	18	19
3,5	tief ohne	8	11	13	8	11	13	11	14	16	11	14	16	10	13	12	15			14	17	19
	ohne	8	11	13	8	11	13	11	14	16	11	14	16	10	13	12	15			14	17	16
7	ohne	11	12	13	11	12	13	12	13	14	12	13	14							14	15	15
8+	ohne	7	9	10	7	9	10	8	10	11	8	10	11	8	10	9	11	10	12	11	12	13
8-	ohne	3	5	6	3	5	6	4	6	7	4	6	7	4	6	5	7	6	8	7	8	9

2 Methoden

Für den Zweck der bodenlagenbasierten („horizontbasierten“) Nährkraftbestimmung wurde nur punktuell auf „harte Messwerte“ wie Basensättigungen, Einzelelementgehalte, Humosität oder pH-Verläufe zurückgegriffen, da diese meist schwierig zu einer ökologisch plausiblen Gesamtaussage synthetisierbar sind. Messwerte wurden nur begrenzt als Korrekturglieder eingesetzt.

Die Ermittlung der Grundwerte erfolgte stattdessen mittels iterativer Annäherung von Stamm-Nährkraftziffern (NkZ 1...25; Tab. 2) für bodenformenkatalog-konforme Bodenlagen als Bestandteile synthetischer Standardprofile. Dazu wurden zunehmend Annahmen der Fbf-Bewertung (SEA95-Referenz) auf die dafür geeigneten Einzelbodenlagen übertragen.

Die während der Tests den Haupt- und Nebenkörnungsarten zugeordneten NkZ wurden zur Erreichung der Referenzwerte der Gesamtprofile/Fbf nach Tiefen gewichtet. Teilweise wurden Zusatzwichtungen oder Zu- bzw. Abschläge beispielsweise für Humosität, Basensättigungen oder Durchwurzelbarkeit eingeführt. Anschließend wurde die auf ein Gesamtprofil von 160 cm Mächtigkeit kumulierte Summe mit dem Referenzwert verglichen. Schließlich wurden die Grundwerte und Wichtungsannahmen aus derjenigen Iteration mit der geringsten Abweichung aller Profile von den SEA95-Referenzwerten als Ergebnis pro KMgCaP-Serie verwendet (mittlere Abweichung und Abweichungssumme).

Die Einzelgewichte – „Nährkraftbeiträge“ – für Bodenlagen (NkL) wurden wie folgt berechnet. Die Dimensionen sind, wenn nicht anders angegeben, Nährkraftziffern (1...25):

(1) **NkGw1:** Zuordnung der rohen körnungs- und serienabhängigen Nährkraftziffer (1...25) zu einer Bodenlage als Nährkraft-Grundwert1 bzw. kurz Grundwert1 (Tab. 4).

(2) **NkGw2 = NkGw1 + k_{abs}**, wobei **NkGw2** der Nährkraftgrundwert2 bzw. Grundwert2 ist und

k_{abs} absolute Zu- oder Abschläge als Nährkraftziffern summiert: **k_{abs} = k_{hum} + k_{Bv} + k_{al} + k_b**; für die einzelnen Korrekturwerte für Humosität/Kohlegehalt (Tab.5), Bv-Horizonte und schwache Anlehmigkeit bei Reinsanden (beide Tab. 4 unten) sowie Basenstufen (Tab. 6 u. 7).

Erste Orientierungswerte für die Bemessung von **k_{hum}**, **k_{Bv}** und **k_{al}** ergaben sich z. B. aus den Relationen der im Oberboden unterschiedlich gekörnten Braunerden-gruppe (Tab. 3) unter Einbeziehung der Regosole, beim **k_b** hatten u.a. SEA-Bewertungen von Bt-Horizonten, Kalktiefen und Basenstufen semi- bis vollhydromorpher Böden einen Einfluss.

(3) **NkGw3 = NkGw2 * (1 + r_{rel}/100)**, wobei **NkGw3** der Nährkraftgrundwert3 bzw. Grundwert3 einer Bodenlage ist und

r_{rel} [%] = r_{vd} + r_{pd}, für die Summe aus %-basierten, also relativen, Zu- und Abschlägen steht, und zwar für Verdichtung (**k_{vd}**) oder Podsolierung **k_{pd}** - beide textlich unterh. Tab. 7). Der NkGw3 ist in der Berechnungsfolge die Nährkraftziffer vor Einbeziehung von tiefenabhängigen Wichtungen.

(4) **NkL = NkGw3 * w_{Lage}**, wobei **NkL** als Nährkraftbeitrag einer Bodenlage die final gewichtete Nährkraft innerhalb des Gesamtprofils darstellt,

w_{Lage} (auf die Gesamtgewichte aller Bodenlagen des Profils normalisiertes Einzellagengewicht) berechnet sich als **w_{Lage} = w_{ist} * mh / Σp_{1...hmax}**, mit **w_{ist}** als Tiefenstufengewicht für die vertikale Einordnung in der Lagenabfolge (dimensionslos, s. Tab.8) dient (ggf. nach Korrektur um **w_{best}** für tief gelegene beste Bodenlage, s. Tab.8 ff.),

mh [dm] die Lagen- bzw. Teilhorizontmächtigkeit in der Tiefenstufe ist, und **Σp_{1...hmax} = sum(w_{ist} * mh)_{1...hmax}** die Summe aller lagenweisen Produkte aus den **w_{ist}** * **mh** des Profils (für die Bodenlage 1 bis zur maximalen Bemessungstiefe **h_{max}**) in [dm] darstellt. Die Dimensionierung von Tiefenstufengewichten **w_{ist}** und **h_{max}** (16

dm) wurde pragmatischerweise so gehalten, dass sich die Gewichtsproduktsumme des Profils $\sum p$ zu 10 dm ergänzte.

Aus der Summe aller Bodenlagenbeiträge **NkL** von Bodenlage 1 bis zur maximalen Bemessungstiefe h_{max} ($1 \dots h_{max}$) ergibt sich schließlich die Gesamtnährkraftziffer **NkP** des Profils:

$$(5) \quad \mathbf{NkP} = \mathbf{sum(NkL)}_{1 \dots h_{max}}$$

Nach bisheriger Berechnungsweise führt Gründigkeit < 16 dm zur Abwertung der Nährkraft, z.B. nach Tabelle 8 bei nur 10 dm Profilmächtigkeit um 20 %.

Die Standardprofile bis 160 cm lehnten sich neben dem SEA95-Teil D (Bodenformenkatalog) an KONOPATZKY (2012) bzw. KOPP U. JOCHHEIM (2002) an.

Pro im Bodenformenkatalog mit eigenen Fbf unterlegter KMgCaP-Serie wurden 17 Braunerden und verwandte Fbf diverser Substratfolgetypen sowie Regosole zur Abdeckung

der Körnungsbreite berücksichtigt. Hinzu kamen 3 Tieflehm-fahlerden. Insgesamt war damit nach Flächenbedeutung und Merkmalsbreite eine ausreichende Grundlage für die Ermittlung geeigneter horizontbezogener Nährkraftgrundwerte gegeben.

Podsole wurden in 3 Ausprägungsformen verglichen und deren zusätzliche Korrekturfaktoren abgeleitet, ohne die körnungsabhängigen Grundwerte¹ danach nachjustieren zu müssen.

Die Iterationsreihen wurden ausgehend von der KMgCaP-Serie 3 gerechnet, die moderaten körnungsabhängigen Nährelementunterschiede im HF-Aufschluss implementiert. Zunächst wurde von den 13 weitgehend reinsandigen Profilen der Regosole und Sand-Braunerden ausgegangen. Diese gaben Referenzwerte für die SEA95-Körnungsarten mS, stbS sowie die Bewertung zunehmender Bindigkeit (Ton/Schluff: über al'S, alS und IS) des Bv-Horizontes (standardmäßig obere 40 cm) bei Braunerden vor. Dazu wurden je KCaMgP-Serie die Nährkraftgrundwerte¹ (NkGw1) und alle bis dahin

Tab. 4: Ergebnistabelle der körnungsabhängigen Grundwerte¹ (NkGw1) für die Stamm-Nährkraft als [NkZ] von Bodenlagen nach KMgCaP-Serienzugehörigkeit des Substrates sowie Grundwertzuschläge. Bei Überschreitung des Maximalwertes von 25 werden die Zuschläge gekappt. Zuordnung dominierender KA5-Bodenarten in Anlehnung an SCHREY (2009); L.., U.. und T.. = alle Lehme, Schluffe, Tone.

Tab. 4: Results for texture-dependent basic nutrient grades of PNL of soil layers (NkGw1, as fine grades – NkZ), related to lithochemical series 1..8+. Lower part of table: surcharges k.. for special sand texture al'S and Bv- horizons.

Körnung			Nährkraft-Grundwert1 (NkGW1)			
SEA Kürzel	SEA verbal	vergleichbare KA5-Bodenarten des Feinbodens (Bsp.)	Serie 1	Serie 3	Serie 8+	Serie 8-
sk gS	Skelett-Grobsand	GgSs	9,4	2,4	1,8	0,2
gS	Grobsand	gSs, Sgs	11,4	4,4	3,6	0,4
sk mS	Skelett-Mittelsand	GmSs	5,5	2,6	1,8	0,3
mS	Mittelsand	mSs, Sms, Sfs	7,5	4,6	3,6	0,6
al sk gS	anlehmiger Skelett-Grobsand	GgSu2	16,5	12	9,7	4,3
al gS	anlehmiger Grobsand	gSu2, (Su2gs)	18,5	14	10,7	5,3
al mS+ al mFS	anlehmiger Mittel- und Mittelfeinsand	Su2ms, Su2fs	16,5	14,1	10,7	5,4
stbS (+al ..)	Staubsand (auch anlehmiger)	fSu2	12,7	9	6,1	2,9
l gS	lehmiger Grobsand	gSu3, gSl2, gSl3, gSt2	21,5	19,4	13,2	8,2
l mS	lehmiger Mittelsand	Su3, Sl2, Sl3, St2	21,5	19,4	13,2	8,2
l stbS	lehmiger Staubsand	fSu3, fSl3, fSl2, (fSt2)	22,5	20,4	13,6	8,9
sL	sandiger Lehm	Sl4, (Slu)	23,2	21,5	13,6	8,9
L	Lehm	L..	24	22,5	13,8	9,2
U	Schluff	U..	25	23,5	14,8	10,2
T	Ton	T..	24	22,5	13,8	9,2
absolute Grundwert-Zuschläge serien-differenziert:						
k_{al'} für al'S statt S (schwach anlehmig: <= 2 % unter alS-Grenze)			2,5	2,5	2,2	0,3
k_{Bv} für Bv-Horizonte			3	3,2	3	2,6

als testwürdig erachteten Korrektur- und Wichtungsfaktoren gemeinsam mit den Standardprofilen in einem Excel-Arbeitsblatt dargestellt und getestet, wie sensitiv ein oder mehrere Parameter für die Gesamt-Nährkraft NkP der einzelnen Testprofile sind. Da mehrere Profile je Einzeltest (= Iteration) z. T. gegenläufige Implikationen aus z. B. Veränderung eines NkGw1 oder einer Tiefenstufenwichtung lieferten, konnten zumindest am Anfang der Arbeit recht schnell die Grundzüge der Parametrierung erarbeitet werden. Die Optimierung der Tiefenwichtung der Bodenlagen spielte eine wichtige Rolle und war Gegenstand diverser Teil-Iterationen.

Anschließend wurde unter Einbeziehung der Bänder sand-Braunerden ein weiterer sensibler Abgleich mit der Auswirkung von erst im Unterboden einsetzender Lehmbänderung vorgenommen. Später kamen die Tieflehmpprofile hinzu. Die Grundwerte für Skelettsande wurden gutachtlich anhand der Sandfraktion reduziert. Die Grundwerte für Schluffe und Tone wurden auf Basis der Körnungsgrundbeziehungen innerhalb der Serien nach KOPP (1969) sowie der geringen noch verbleibenden Spielräume im bis 25 reichenden Werterahmen zugewiesen.

Entsprechend wurden bisher die Fbf der KMgCaP-Serien 1, 8+ und 8- getestet.

3 Ergebnisse und Diskussion:

Die ermittelten Grundwerte1 für Bodenarten und Nebenkörnungsarten (bei Sanden) sind Tabelle 4 zu entnehmen, außerdem sind die serienabhängigen Zuschläge für geringe Ton-Schluffgehalte bei den Sanden („schwach anlehmig“: Ton \leq 2 % unter Anlehmigkeitsgrenze) sowie für Bv-Horizonte dargestellt:

Überraschend in ihrer Höhe, aber dem SEA-Bewertungsansatz immanent, sind die markanten Nährkraftzuwächse bei anlehmigen und lehmigen Sanden gegenüber reinen Sanden. Dagegen erfolgen für Lehme, Schluffe, Tone in den quartären Substraten kaum noch Steigerungen der Bewertung, da nur ein Grundwerteraum bis 25 verwendet werden soll. Allerdings wirken diese auch bei relativ tiefer Oberkante im Profil noch deutlich (vgl. unten – Höherwichtung der besten Bodenlage). Die reinen Mittelsande (mS) sind in ihren Grundwerten noch etwas niedriger eingestuft als ihre Referenz-Regosole, da auch Humosität noch mit Zuschlägen gewertet werden sollte.

Die im SEA-Bewertungssystem implementierte Aufwertung für Bv-Horizonte (über Körnungssprünge hinaus) erklärt sich vermutlich durch periglaziäre Vorverwitterung des Mineralbestandes. Im Geländebefund ist dies regelmäßig an besonders intensiver und horizontgebundener Fein-Durchwurzelung von Bv-Horizonten nachvollziehbar. Sie steht eher in schwacher Beziehung zur aktuellen Basensättigung.

Insgesamt unterstreicht dieser Befund, dass die Nährstoffkreisläufe naturnaher Waldbestände (Stamm-Vegetation) auf bindigen Substraten in den besser ausgestatteten Serien kaum noch als durch K, Mg, Ca, P limitiert bewertet werden. Vielmehr hängen sie im nordostdeutschen Tiefland eher von anderen Faktoren, vorrangig dem Wasserhaushalt bzw. den klimatischen Gegebenheiten ab.

Mit absoluten Grundwert1-Zuschlägen werden Humus- und Kohlegehalte (Tab. 5) sowie deutlich abweichende Basenstufen (b-Stufen, Tab. 6) bedacht.

Tab. 5: Zuschläge k_{hum} zum Grundwert1 für Humus- und Kohlegehalte ab 0,5 M %.

Tab. 5: *Surcharges k_{hum} for basic nutrient grades of PNL of soil layers (NkGw1, as fine grades – NkZ) in dependence to humus or coal content higher than 0.5 m %.*

Humusgehalt im Min.boden	k_{hum} [NkZ]	Kohlegehalt	k_{hum} [NkZ]
0.5–< 1 %	+ 2	0,5–< 2 %	+ 1
1–< 2 %	+ 3,3		
2–< 5 %	+ 5	2–5 %	+ 2

Höhere Humusgehalte als 5 %, wie für hydromorphe Böden typisch, wurden bisher nicht betrachtet.

Die aktuellen Basensättigungen (Basenzustand in der SEA95 als b-Stufen, vgl. Anh. Tab. A3) der meisten mineralischen Ober-, teils auch Unterböden in Wäldern Mitteleuropas befinden sich in Folge von Nutzungsgeschichte und Immissionen oft in keinem stabilen, geschweige denn etwa natürlichen, Gleichgewicht. Deshalb wurde nur ein recht konservativer Einsatz dieses Zustandsparameters avisiert, und zwar einerseits über eine Begrenzung der in Korrekturen einzubeziehenden Bodenformen und andererseits über moderate Korrekturbeträge selbst, die 5 Nährkraftziffern kaum überschreiten. Die Rahmenwerte für b-zustandsbedingte Korrekturen waren so anzusetzen, dass der (aktuelle) b-Zustand nicht alleine die Stamm-Nährkraft dominiert und Unterschiede in der Lithochemie aus der KMgCaP-Serie erkennbar bleiben.

Bei den gewachsenen Böden bleiben Korrekturen der Grundwerte1 (NkGw1) anhand von Basenstufen auf Bodenformen beschränkt, wo auch im Bodenformenkatalog (SEA95-Teil D) b-Stufen zur Fbf-Zuordnung eingesetzt werden. Dies betraf in der Testreihe nur Bt-Horizonte bei Fahlerden (SEA) bzw. Braunerde-Fahlerden (nach KA5), und zwar in Abhängigkeit von der Nährkraftschwäche der darüber liegenden Horizonte anhand von deren NkGw1.

Für die oberen 25 cm des Bt wurde eine b-zustandsbedingte Übergangszone mit niedrigerer Basensättigung veranschlagt, die bei NkGw1-Differenzbeträgen der Körnung des Bt zur Körnung des Oberbodens von 1... 5 mit einem Korrekturwert von -1 bewertet wurde, bei größerer Abweichung mit -2,5.

Für die, durchaus flächenbedeutsamen, stärker abgewandelten Böden, vor allem nach Melioration, wurde ein komplexeres Schema der b-Stufen-Korrekturen entwickelt. Es wurde zunächst bei basenmeliorierten Kippen angewandt und lehnt sich an grobe Vorgaben aus dem waldbaulich bereits bewährten SEA-konformen Bewertungsverfahren von FAGUS (2007, mit Vorläufern seit 1995) an.

In einem ersten Schritt erfolgt die Zuweisung von b-Stufen zum Nährkraftwerterahmen 1–25 und ermöglicht damit die Einbeziehung der Körnungsgrundwerte der KMgCaP-Serien (Tab. 6) in einen Vergleich mit der aktuellen b-Stufe.

Die höchste Nährkraftziffer 25 ist nun für karbonatisches Material der SEA-b-Stufe 8 reserviert, so dass die Ziffernfolge gegenüber der Stamm-Nährkraft-Zuweisung der Tabelle 2 etwas versetzt ist.

Eine Parallelisierung von b-Stufen und Nährkraft (als Stamm- und Zustands-Nährkraft) erfolgt im SEA-95-System primär

Tab. 6: Parallelisierung von b-Stufen (beruhend auf Basensättigung nach KAPPEN-ADRIAN) und Nährkraftziffern für Zwecke der Basenzustandskorrektur bei Bodenlagen.

Tab. 6: Parallelisation of base saturation scores (b3... b8; extraction method KAPPEN-ADRIAN) and nutrient grades of PNL of soil layers (Nkb, as fine grades – NkZ) for purposes of PNL-correction.

Referenz-Basenstufe der SEA für Bodenlagen		Wertespanne f... Basensättigung als V-Wert in % (Kappen-Adrian)	Rang rb der b-Stufe	basenstufengekoppelte Nährkraftziffer Nkb (1...25) für Bodenlagen	
Kürzel	verbal			niedrigste (= rb * 5)	höchste
b3	basenarm	> 6 .. 10	0	0	4
b4	ziemlich basenarm	> 10 .. 18	1	5	9
b5	mäßig basenhaltig	> 18 .. 30	2	10	14
b6	basenkäftig	> 30 .. 46	3	15	19
b7	basenreich	> 46 .. 66	4	20	24
b8	reich karbonatisch	> 66	5	25	

Tab. 7: Korrekturbeträge k_b zum serien- und körnungsabhängigen **NkGw1** nach aktuellen b-Stufen (beruhend auf Basensättigung nach KAPPEN-ADRIAN) am Bsp. mit Körnungsarten aus Serie 3.

Tab. 7: Correction values k_b for basic nutrient grades of PNL of soil layers (NkGw1, as fine grades – NkZ) in dependence to actual base saturation score (b3... b8) and soil texture class; example from lithochemical series 3.

Körnung			NkGw1	Basenstufe aktuell					
SEA Kürzel	SEA verbal	vergleichbare KA5-Bodenarten des FB (Bsp.)	Nährkraftgrundwert1 der Serie 3	b8 (karb.)	b7	b6	b5	b4	b3 (b.-arm)
				Auf- oder Abwertung k_b um ... Nk-Ziffern					
gS	Grobsand	gSs, Sgs	4,4	6	5	4	3	1	0
mS	Mittelsand	mSs, Sms, Sfs	4,6	6	5	4	3	1	0
al mS+ al mfS	anlehmiger Mittel- und Mittelfeinsand	Su2ms, Su2fs	14,1	4	2	1	0	-1	-3
stbS (+al..)	Staubsand (auch anlehmiger)	fSu2	9	5	4	3	2	0	-1
ImS	lehmiger Mittelsand	Su3, SI2, SI3, St2	19,4	2	1	0	-1	-3	-4
IstbS	lehmiger Staubsand	fSu3, fSI3, fSI2, (fSt2)	20,4	2	1	0	-1	-3	-4
sL	sandiger Lehm	SI4, (Slu)	21,5	2	1	-1	-2	-3	-4
L, T	Lehm u. Ton	L..., T..	22,5	2	0	-1	-2	-3	-5
U	Schluff	U..	23,5	1	0	-1	-2	-4	-5

bei den Oberbodenzustandsformen („Humusformen“, Tab. A3 im Anh.). Als Vertreter der anhydromorphen Böden werden Kolluvialerden ebenfalls über den Gleichgewichtshumuszustand bewertet, wobei die Zuweisungen zu Tabelle 6 passen. Für die oben bereits behandelten Bt-Horizonte ist die b-Zustands-Vorgabe nur sehr grob: KMgCaP-Serie 1–3 wird ein V-Wert > 25 % unterstellt (b-Stufe >= 5–6) und den

übrigen Serien ein V-Wert < 30 % (b-Stufe <= 5). Erst mit zunehmender Hydromorphie der Böden lösen die b-Stufen der diagnostischen Horizonte nach SEA die lithochemischen Serien als Einstufungsbasis der Stamm-Nährkraft von Feinbodenformen ab (Zuordnungen wie in Tab. 6).

Der Korrekturwert k_b für den Basenzustand, vorrangig nach Melioration, ergibt sich wie folgt:

(6) $K_b = 1 + \text{Rund}((\text{Nkb}_{\text{akt}} - \text{NkGw1}) / 4)$, wobei
 Nkb_{akt} = aktuelle Nährkraftziffer der b-Stufe nach Tabelle 6,
 NkGw1 = Nährkraftgrundwert1 nach Tabelle 4 für Körnungsart und KCaMgP-Serie.

Die Feinabstimmung von körnungs- und serienabhängiger b-Stufe (nach NkGw1) und aktueller b-Stufe wurde wie folgt vorgenommen: Die Körnungsart almfS erhält den Korrekturwert 0 bei derjenigen aktuellen Basenstufe, die der Stamm- bzw. Gleichgewichts-Humuszustandsstufe zur Stamm-Nährkraft einer Sandbraunerde (Gesamtpprofil) mit anlehmigem Bv-Horizont der entsprechenden KCaMgP-Serie entspricht. Das ist in Serie 1 mit b5 (...b6), in Serie 3 mit b5, in Serie 8+ mit b4 und in Serie 8- mit b3 gegeben.

Die Division der Differenz $\text{Nkb}_{\text{akt}} - \text{NkGw1}$ durch 4 dient der Vermeidung einer völligen Dominanz des aktuellen Basenzustandes. Die Addition von 1 stellt eine Feinabstimmung mit dem Ziel dar, dass der Korrekturwert 0 in derjenigen aktuellen b-Stufe vergeben werden soll, die der entsprechend Fbf zu erwartenden Stamm-Basenstufe der Gleichgewichtshumuszustandsform möglichst nahe kommt. Da sich lagenweise partielle Effekte im Gesamtprofil abschwächen, ist eine gewisse Überzeichnung zu den extremeren Basenstufen b8 und b3 hin möglich. In Tabelle 7 werden am Beispiel der KCaMgP-Serie 3 Korrekturbeträge der lagenweisen Nährkraftziffern dargestellt.

Mit zunehmendem Grundwert1 werden immer höhere Basenstufendifferenzen nötig, um noch eine positive Korrektur vorzunehmen.

Eine umfangreiche Anwendung dieses bzw. Weiterentwicklung eines ähnlichen Bewertungsansatzes für gewachsene Böden wurde im Rahmen dieser Arbeit noch nicht weiter verfolgt. Der Grund ist, dass die Zusammenhänge von Lithochemie und Basenzustand des humusarmen Mineralbodens,

speziell den ungepuffert in NH_4Cl -Lösung austauschbaren Ionen, z. B. nach BZE II-Methode (BZE II, GAFA 2014), noch intensiverer Untersuchung bedürfen (vgl. [Tab. A3 u. Anmerkungen unter A3b im Anhang](#), mit BS-Beziehung für humose Oberböden).

Prozentuale Abschläge zum Grundwert2 werden für SEA-Podsolhorizonte (r_{pd}) wie folgt vergeben [bzw. KA5-Bezeichner]:

- AEs und Es –75 % [Ae]; A(Es) und Aeh –50 % [Aeh]; Bi, Bh und Bs –20 % [etwa B(h)s und Bs(h), Bh, Bs] (bei Verringerung der Durchwurzelbarkeit); (Bi) 0 % [B(sh)].

Für verdichtungsbedingt eingeschränkte Durchwurzelbarkeit werden ebenfalls prozentuale Abschläge vergeben (r_{vd} , bezogen auf Festigkeit erdfrisch nach SEA, s.Tab. A4):

- f2 –10 %; f3 –33 %; f3–4 –50 %; f4 –66 %; f5 –75 %.

Bei Lehmlagen, insbesondere bei glazigenen oder periglaziär überformten Bildungen werden die ersten ca. 25 cm noch

Tab. 8: Tiefenstufenwichtung $w_{\text{tst_norm}}$ bis Bezugstiefe $h_{\text{max}} = 16$ dm.

Tab. 8: Weighting factors $w_{\text{tst_norm}}$ of depth ranges up to reference depth $h_{\text{max}} = 16$ dm.

Tiefenstufe bis cm	Normalgewicht $w_{\text{tst_norm}}$ der Tiefe	dm in der Stufe	Gesamtgewicht der Stufe
40	1	4	4
80	0.75	4	3
120	0.5	4	2
160	0.25	4	1
			Summe Σ_p : 10

Tab. 9: Berechnungsbeispiel für Dobritzer Bändersand-Braunerde (DoS: KMgCaP-Serie 3, oben al mfS; Referenz-Nährkraft 14 bzw. M^2), Begriffe s. Methodenteil o. [Tab. A1](#).

Tab. 9: Calculation example for basic nutrient grades of PNL of a standard fine soil form profile (FSF: Dobritzer Sand-Braunerde, lithochemical series 3; with reference fine grade NkZ = 14). Terms see chap. 2 or [annex Tab. A1](#) respectively.

Profileinteilung		Gewichtsprodukt [dm]	Grundwert1 (Tab.4) [NkZ]	Besonderheiten	absolute Zuschläge [NkZ]			Grundwert2 [NkZ]	relat. Zuschl. [%]	Grundwert3 [NkZ]	beste Lagen und Tiefenabstimmung			Nährkr.-Lagenbeitrag [NkZ]	
Bodenart, ggf. Horizont	Mächtigkeit [dm]				Humus-Zuschlag	Bv oder al'S	b-Zuschlag				f. Verdichtung und Podsolierung	Zuschlag für bester Horiz. tiefer	Tiefenwichtung insges.		normalisiertes Gewichtsprodukt [dm] / Σ_p [dm]
	mh	$w_{\text{tst_norm}}$	NkGw1		k_{hum}	$k_{\text{Bv}}, k_{\text{al'S}}$	k_b	NkGw 2	$r_{\text{vd}}, r_{\text{pd}}$	NkGw 3	w_{bes}	w_{tst}	$w_{\text{Lage}} = \text{mh} * w_{\text{tst}} / \Sigma_p$		
almfS	4	1	14,1	Bv	3,3	3,2		20,6		20,6		1	0,4	8,2	
mfS	3	0,75	4,6					4,6		4,6		0,75	0,225	1,0	
lmfS	1	0,75	19,4					19,4		19,4		0,75	0,075	1,5	
al'mfS	1,5	0,5	4,6	al'		2,5		7,1		7,1		0,5	0,075	0,5	
lmfS	1,5	0,5	19,4					19,4		19,4		0,5	0,075	1,5	
al'mfS	1	0,5	4,6	al'		2,5		7,1		7,1		0,5	0,05	0,4	
al'mfS	4	0,25	4,6	al'		2,5		7,1		7,1		0,25	0,1	0,7	
h_{max} : 16		Σ_p : 10												Summe (NkP):	13,8

Tab. 10: Erreichte beste Schätzgüte als Nährkraftziffer NkZ(Differenz geschätzt – Referenz) für bodenlagenweise und gewichtet ermittelte Nährkraftprofile nach KMgCaP-Serien gegenüber den Referenz- Fbf (5.0 NkZ Abweichung = 1 ganze Stamm-Nährkraftstufe).

Tab. 10: Best obtained estimations of PNL of fine soil forms: difference (calculated – reference) in basic nutrient grades [NkZ] for soil layer-wise weighted versus the conventional catalogue value of the reference fine soil form (5.0 NkZ deviation = 1 main PNL score).

Bodenform (SEA) Gruppe/Fbf- Merkmale		Serie 1		Serie 3		Serie 8+		Serie 8-	
		Referenz d. Fbf	Differenz	Referenz	Differenz	Referenz	Differenz	Referenz	Differenz
Bändersand- u. Sand-Braunerden									
s B	bsB, oben alS	16	0,3	14	-0,2	11	-0,1	6	0,1
	sB, oben alS	14	-0,4	11	0,0	9	0,0	5	-0,1
	sB, oben al'S	11	0,0	8	0,2	7	0,0	3	0,1
	sB, oben IS	16	-0,4	13	0,1	10	0,0	6	0,0
	sB, oben alS und C-Horiz. in alS	16	0,3	14	-0,2	10	1,1	6	0,3
(Bänder-) Staubsand-Braunerden									
f B	bfB, oben alS	18	0,1	15	0,2	11	0,5	7	0,1
	fB, oben alS	16	0,0	13	0,0	10	0,1	5	0,9
	fB, oben al'S	13	0,1	10	0,0	8	0,0	4	0,0
(Bänder-) Grobsand-Braunerden									
g B	bgB, oben alS	18	0,0	14	-0,3	11	-0,1	6	0,0
	gB, oben alS	16	0,0	11	-0,1	9	0,0	5	-0,2
	gB, oben al'S	14	-0,6	8	0,1	7	0,0	3	0,0
	gB, oben IS	18	0,0	13	0,0	10	0,0	6	-0,1
	gB, oben alS und C in algS	18	0,1	14	-0,2	11	0,1	6	0,2
Bänder-, Staub-, Mittel- und Grobsand-Regosole (SEA95: Ranker)									
sRa	bsRa	13	-0,3	10	-0,2	7	0,4	3	0,3
	fRa	13	-0,1	9	0,1	8	-1,4	4	-1,0
	sRa	8	0,3	5	0,4	4	0,4	1	0,4
	gRa	13	-0,8	5	0,2	4	0,4	1	0,2
Tieflehm-Fahlerden									
s/l F	oben alS, unten sL	16,5	1,7	15,5	0,8	11	0,5	7	-0,1
	oben IS, unten L	18	2,7	17	1,8	12	1,7	8	0,9
	oben al'S, unten sL	15	2,8	14	-0,5	10	-0,2	6	-1,0
Abweich.summe (ohne Tieflehme)			3,88		2,57		4,8		4,05
mittl. Abweichung (ohne Tieflehme)			0,23		0,15		0,28		0,24

als normal durchwurzelt angesehen. Erst darunter werden lagerungsbedingte Abschläge von in der Regel 50 % für sL und 66 % für L angesetzt. Die Durchwurzelbarkeitsschätzung dichter Substrate schränkt die bodenlagenbasierte Nährkraftbewertung qualitativ bisher am stärksten ein.

Die Bodenlagen (Mineralboden) wurden nach Tabelle 8 in Tiefenstufen gewichtet. Über die einzelnen Tiefenstufen hinausragende Bodenlagen wurden geteilt und getrennt gewichtet.

Hinsichtlich der Tiefenwichtung $w_{\text{tst_norm}}$ wurden unterschiedlichste Ansätze getestet, von denen lediglich noch die Variante 1 : 0,75 : 0,5 : 0,33 in die Nähe der Zielwerte kam. Dem SEA95-Nährkraftmodell liegt also eine recht schnelle vertikale Abnahme der Nährkraftbeiträge zugrunde, wie sie auch etwa Durchwurzelungsprofilen des Tieflandes entspricht (z. B. TÖLLE 1996, KONOPATZKY U. MEYER 2007, HORN-SCHUCH 2009).

Für tiefer gelegene nährkräftigere Bodenlagen können weitere gestaffelte Aufwertungen w_{best} des Tiefengewichts um maximal 0,5 vergeben werden. Das ist der Fall, wenn sie $\geq 1,0$ x oder sogar $\geq 2,0$ x höhere Grundwerte aufweisen, als die cm-gewichteten NkGw3-Mittel der besten 40 cm höher gelegener Profileile ([Tab. A5 im Anhang](#): $w_{\text{tst}} = w_{\text{tst_norm}} + w_{\text{best}}$). Dieser Ansatz entspricht ebenso den Durchwurzelungsprofilen bei größerer Tiefenlage nährkräftigerer Horizonte.

Größere Kalktiefe unter ärmerem Substrat bleibt – in Verbindung mit Korrekturen nach Formel (6) – wie bei den Referenz-Fbf (z. B. Tab. 3) relativ gering gewichtet. Ähnlich werden im Hauptprofil arme Profile mit tiefliegendem Kalk z. B. in Bayern gewertet (Bsp. in KÖLLING et al. 2015).

Befinden sich die besten Bodenlagen erst unterhalb 16 dm, werden sie ohne Änderung der Bezugstiefe (1,6 m) berücksichtigt. Das führt zu einem absoluten Zuschlag zur Σp ([Anhang A6a](#), [Tab. A6b](#)). In der SEA ist dies bisher nur rudimentär implementiert (z. B. bei Fbf mit der Kalktiefe „tief“ nach Tab. 3).

In Tabelle 9 ist schließlich ein Beispiel des Berechnungsganges dargestellt. Mit 13,8 gegenüber der Referenz-Nährkraft von 14,0 ist die Abweichung minimal.

Weitere Rechenbeispiele finden sich im Anhang A7 (Standardprofile): Für ein konkretes Bodenprofil mit umfangreicherer Begleitanalytik (Gesamtgehalte, Basenzustandsparameter, Körnung, Humusgehalt) sind die Beispielberechnungen im [Anhang A8](#) dokumentiert.

In Tabelle 10 sind die insgesamt erreichten Schätzgüten quantifiziert.

In den Sand-Substratfolgetypen ist die mittlere Abweichung mit $< 0,3$ NkZ bei Einzelabweichungen von unter 1,0 fast immer marginal. Bei Lehmsubstraten haben die Korrekturfaktoren für Durchwurzelbarkeit und tiefer gelegene beste Horizonte des Profils die gleiche Bedeutung, wie die genauen Grundwerte selbst. Deshalb wurden die Lehmsubstrate bei der Beurteilung der Abweichungssummen nicht berücksichtigt. Kritische Abweichungen von 3 NkZ können in aller Regel vermieden werden.

Insgesamt wird die Stamm-Nährkraft für Fbf mit dem beschriebenen Verfahren sehr gut reproduziert.

4 Fazit

Hinsichtlich der Nährkraftbeiträge von Bodenlagen ergibt sich eine nach unten grundsätzlich schnell abfallende Tiefenabhängigkeit. Andererseits zeichnen bei relativ hoher Wichtung auch günstigere, tiefere Bodenlagen. Sehr gut bildet das Verfahren bei den in Nordostdeutschland flächig dominierenden Sandstandorten unterschiedlichster Ausprägungen die Referenz-Nährkraft nach. Bei durch Lehme und Tone dominierten Substratabfolgen muss hingegen recht stark mit

Abwertungen gearbeitet werden, um die Nährkraft nicht in Richtung „unendlich“ ansteigen zu lassen. Für die Reduktion einer stammnährkraft-ähnlichen Größe auf einzelne chemische Konzentrationsparameter, wie S-Werte, ergeben sich deutliche Grenzen, sobald ihr wachstumslimitierender Charakter oder ihre vegetationskundliche Relevanz bei höheren Werten nachlassen.

5 Danksagung

Der Autor dankt den beiden Gutachtern sowie den Editoren des Bandes für umfangreiche kritische Hinweise und Korrekturanmerkungen.

Literatur

- AG BODEN (DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER) (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). Bundesanst. für Geologie u. Rohstoffe (BGR: Hrsg.) Hannover. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- FAGUS (2007): Erläuterungsbericht zur Standortkartierung von Kippenflächen in den Ämtern f. Forstwirtschaft Doberlug-Kirchhain, Lübben, Peitz 2005/2006: FAGUS-Forstplanung Marpingen, i. Auftrag Landesforstanst. Eberswalde; 168 S.
- GAFÄ (2014): HFA – Handbuch der Forstlichen Analytik. Gutachterausschuss Forstliche Analytik beim Bundesministerium f. Ernährung und Landwirtschaft (BMEL - Hrsg.). Bonn (2005, 5. Ergänzung 2014): 674 S., www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Wald-Jagd/Bodenzustandserhebung/Handbuch/HandbuchForstanalytikKomplett.pdf (Stand 26.1.2016).
- HANNEMANN, M., KOPP, D. (1972): Lithochemische Untersuchungen zur stratigraphischen Gliederung pleistozäner Sedimente. Z. f. angewandte Geologie **18** (H9): 392-400.
- HORN-SCHUCH, F. (2009): Ausbreitungsstrategien der Feinwurzelsysteme von Wald-Kiefer und Rot-Buche in Rein- und Umbauständen – Modifikation durch Konkurrenz und kleinräumige Bodenheterogenität. Forstwiss. Beitr. Tharandt **30**: 305 S.
- KÖLLING, C., PRETZSCH, H., MOSHAMMER, R., WEIS, W., ZIMMERMANN, L., SCHUBERT, A. (2015): Waldböden des Oberpfälzer Juras. Waldwachstum, Biomassennutzung und Umweltmonitoring. DBG-Exk.führer B-04: DBG-Mitt. **117**: 119-126.
- KONOPATZKY, A. (2012): Substratfeuchte in der forstlichen Standortgliederung, Skalierungs- und Bewertungsansätze. Eberswalder Forstl. Schriftenreihe **49**: 73-82 + 24 S. Anh. im pdf: forst.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/efs49k.pdf
- KONOPATZKY, A., MEYER, M. (2007): Aussagefähigkeit der Ansprache der Feindurchwurzelung an Profilwänden. AFZ-Der Wald **62**(20): 1080.
- KOPP D., JÄGER K.-D., SUCCOW, M. (1982): Naturräumliche Grundlagen der Landnutzung. Akademie-Verlag, Berlin: 339 S. u. 6 Anlagen.
- KOPP D., JOCHHEIM, H. (2002): Forstliche Boden- und Standortformen des nordostdeutschen Tieflandes als Datenbasis für die Landschaftsmodellierung. Verlag Dr. Kessel, Remagen: 75 S. + 133 S. Anh.
- KOPP, D. & STANDORTSERKUNDE (1969): Die Waldstandorte des Tieflandes. Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung der DDR. Eigendruck Forstprojektion Potsdam Bd. I,1. Lieferung: 141 S.

- SCHREY, H.P. (2009): Übersetzung von Bodenarten. Online-Veröffentlichung. Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen: 25 S. http://www.gd.nrw.de/zip/bo_Bodenarten-Uebersetzung.pdf
- SCHULZE, G., KOPP, D. (1995): Standortserkundungsanweisung 1995 (SEA95) – Arbeitsanleitung für die Standortserkundung. Forstplanungsamt Mecklenburg-Vorpommern, 1. Auflage, Schwerin: ca. 800 S.
- TÖLLE, H., TÖLLE, R. (1996): Feinwurzeln mittelalter Kiefern. Wurzelatlas. Bodenökologie und Bodengenese (TU Berlin) **21**: 81 S.
- WALENTOWSKI, H., EWALD, J., FISCHER, A., KÖLLING, C., TÜRK, W. (2004): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns: Ein auf geobotanischer Grundlage entwickelter Leitfaden für die Praxis in Forstwirtschaft und Naturschutz.; Geobotanica – Freising: 441 S.
- WITTICH, W. (1963): Grundlagen der Forstlichen Standortskartierung und Grundzüge ihrer Durchführung. Schr.reihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen **30**: 61-96.

submitted: 8.10.2015
reviewed: 21.01.2016
accepted: 18.05.2016

Autorenanschrift:

Alexander Konopatzky
Landesbetrieb Forst Brandenburg
Fachbereich Forsteinrichtung, Standortskartierung, Biotopkartierung
LFE-Gebäude, Alfred-Möller-Straße 1
16225 Eberswalde
E-Mail: alexander.konopatzky@lfb.brandenburg.de

Anhang

Der Anhang wird als Supplementary Material nur in der Online-Version unter folgendem Link bereitgestellt:
http://www.afsv.de/download/literatur/waldoekologie-online/waldoekologie-online_heft-16-7.pdf