

**Tagungsbeitrag zu:**  
 Jahrestagung der DBG, Kommission V  
**Titel der Tagung:**  
 Grenzen überwinden, Skalen überschreiten  
**Veranstalter:** DBG  
**Termin und Ort der Tagung:**  
 05. - 08. September 2022, Trier  
**Berichte der DBG** (nicht begutachtete online Publikation) <http://www.dbges.de>

## Nutzung regionalisierter Bodendaten in Bodenprozessmodellen – Definition und Bewertung der Ähnlichkeit zwischen Bodenprofilen

Karin Schmelmer<sup>1</sup>, Einar Eberhardt<sup>1</sup>

**Schlüsselwörter:** Ähnlichkeitsanalysen, Bodendaten, Bodenfunktionen, Bodenprozessmodell, BÜK 200, Modellierung, Regionalisierung, Simulationsergebnisse

### Problemstellung und Ziele

Bodenprozessmodelle dienen u. a. der Vorhersage und Quantifizierung des Einflusses von Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen auf wichtige Bodenfunktionen. Als Standortmodelle benötigen sie numerische Eingangsdaten. Wir wollen bundesweite Bodenfunktionskarten auf der Basis der BÜK 200 generieren, deren Flächendatenbank jedoch nur klassierte Bodendaten enthält. Ziel ist es, Messwerte für die erforderlichen Bodenparameter zu nutzen (SCHMELMER & EBERHARDT, 2019). Zu diesem Zweck wiesen wir den Karteneinheiten der BÜK 200 (BGR & SGD DER LÄNDER 1997-2021) ähnliche reale Bodenprofile zu. Die Ähnlichkeit zwischen Bodenprofilen wurde nach definierten Regeln bestimmt und quantifiziert. Anhand von Ähnlichkeitsindikatoren lassen sich die Ergebnisse sowohl räumlich bewerten – hier auf die Bodenregionen Deutschlands bezogen – als auch hinsichtlich bestimmter Bodenparameter auswerten. Schließlich wird zu prüfen sein, ob die gewählte Methode für jeweils ganze Bodenprofile (bis 2 m Tiefe) geeignet ist oder ob die Betrachtung einer

geringeren Bodentiefe größeren Nutzen verspricht.

### Datenbasis

Die Datenbank der BÜK 200, Version V07, enthält 1.052 Ackerleitprofile. Für die Ähnlichkeitsanalysen nutzten wir die 2.234 Ackerprofile der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW, JACOBS et al., 2018) sowie 1.270 Ackerprofile der Labor- u. Profildatenbank der BGR (BGR, 2019).

### Definition der Ähnlichkeit

Neben dem Landnutzungstyp muss ein reales Bodenprofil (Realprofil) gleiche bodengenetische Merkmale aufweisen, um einem BÜK 200-Profil als ähnlich zugeordnet werden zu können. Dabei kann es sich auch um Übergangssubtypen handeln. Ist ein BÜK 200-Profil z.B. eine Pseudogley-Braunerde (SS-BB), so wird ein Braunerde-Pseudogley-Realprofil (BB-SS) auch als „ähnlich“ akzeptiert. Die Übereinstimmung der Bodenregion wurde zwar berücksichtigt, aufgrund der maßstabsbedingten Ungenauigkeit vorhandener Geodaten aber nicht unbedingt gefordert. Wichtiger war die Ähnlichkeit der Horizontparameter. Die numerischen Werte der Realprofile mussten im Wertebereich der klassierten Werte eines BÜK 200-Profils liegen, wobei allerdings parameterspezifische Toleranzbereiche eingeräumt wurden, um die in der Realität zu erwartende Variabilität im Bereich einer BÜK 200-Flächenbodenform konzeptionell zu berücksichtigen (Tabelle 1).

Tab. 1: Horizontparameter der BÜK 200-Datenbank mit definierten Toleranzbereichen für die Ähnlichkeitsbestimmung

Feinboden und Steinanteil	Toleranzbereich von jeweils 10 % der Minima und Maxima einer Klasse, Beispiel Feinboden: Schluff- u. Tongehalt
Humus	
Karbonate	Toleranzbereich umfasst die beiden Nachbarklassen
pH-Wert	
Lagerungsdichte	inkl. maximale Werte einer Klasse: z.B. Ld2: 1,2 - < 1,4 g·cm <sup>-3</sup> : 1,4 ist enthalten
Horizontsymbol	Ap = Ah, Übergangshorizonte: z.B. Al-Bv = Bv-Al, alle C-Horizonte

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover

Kriterien für diese Toleranzbereiche sind die Anzahl und die Wertespanne der Klassen nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 5. Aufl. (KA5; Ad-hoc-AG Boden, 2005).

### Quantifizierung der Ähnlichkeit

Um Ähnlichkeit messbar zu machen, bedarf es quantitativer Angaben. So erfolgte der Vergleich der BÜK 200-Profile mit den Realprofilen zentimeterweise entlang des Bodenprofils und bezüglich jedes Bodenparameters (Abbildung 1). Bei passendem Parameterwert wurde eine „1“ vergeben, bei nicht passendem eine „0“. Die Ähnlichkeit errechnet sich aus der Summe der Zentimeter mit „ähnlichem“ Parameterwert. Bezogen auf die Profiltiefe ergibt sich die prozentuale Ähnlichkeit.

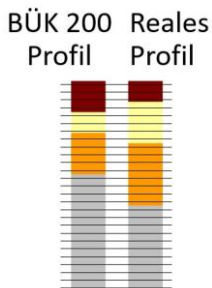


Abb. 1: Schematische Darstellung des sektionsweisen Vergleichs zweier Bodenprofile

### Ähnlichkeitsindikatoren

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, Ähnlichkeitsindikatoren zu definieren. Die Angabe der prozentualen Ähnlichkeit für jeden Bodenparameter würde entsprechend viele Maßzahlen erfordern und synoptische Vergleiche erschweren. Für Detailauswertungen allerdings sind sie von großem Wert. Eine mittlere Ähnlichkeit, gemittelt über alle betrachteten Parameter, ist dagegen wenig aussagekräftig. Letztlich wird für eine konkrete wissenschaftliche Fragestellung die Definition spezifischer Indikatoren zu empfehlen sein, da bestimmte Bodenparameter dann von besonders großer Bedeutung sein können.

Wir definierten verschiedene so genannte Grenzwert-Indikatoren, für deren Erfüllung mehrere Bodenparameter eine jeweils festgelegte, auf die Tiefe des Profils bezogene prozentuale Mindest-Ähnlichkeit aufweisen müssen (Tabelle 2). Als Beispiele sind die Indikatoren I\_1, I\_2 und I\_3 aufgeführt. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Ähnlichkeit der Feinbodenart. Alle drei erfordern die Übereinstimmung der Bodenarten-Hauptgruppe auf 80 % der Profiltiefe. Bei

I\_2 muss auch die Bodenarten-Gruppe zu 80 % passend sein. Der strengste Indikator ist I\_3, bei dem die Bodenart selbst in 80 % des Bodenprofils übereinstimmen muss. Der Steinanteil muss ebenfalls zu 80 % ähnlich sein. Diese hohe Übereinstimmung wird aufgrund der großen Bedeutung der Bodenart (Fein- und Grobboden) als inhärenter Eigenschaft für alle physikalischen und chemischen Bodenprozesse gefordert. Demgegenüber handelt es sich bei den anderen Parametern um zeitvariable Größen. Eine Ausnahme ist hier der Karbonatgehalt tieferer Bodenschichten, der geogen bedingt ist. Für ihn sind trotzdem nur 50 % Ähnlichkeit gefordert, weil er nur als Hinweis auf das Bodenausgangsgestein dient, das in vielen Datensätzen nicht angegeben ist. Alternativ zum Karbonatgehalt kann der pH-Wert herangezogen werden.

Tab. 2: Ähnlichkeitsindikatoren (Beispiele)

Indikator		I_1	I_2	I_3
Horizontsymbol		50	50	50
Humusgehalt		50	50	50
Karbonatgehalt / pH-Wert		50	50	50
Steinanteil		80	80	80
Bodenarten-	Hauptgruppe	80	80	80
	Gruppe	-	80	80
Bodenart		-	-	80

Die hier beschriebenen drei Ähnlichkeitsindikatoren betrachten wir als diejenigen, die von einem Realprofil mindestens erfüllt werden müssen, um es für die Anwendung in Bodenprozessmodellen anstelle eines ähnlichen BÜK 200-Profiles zu nutzen. Dabei könnten die Indikatoren I\_1 und I\_2 z.B. für bodenbiologische oder bodenfau-nistische Fragestellungen ausreichen, für Prognosen zum Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffhaushalt ist die Bodenart (I\_3) jedoch ein unverzichtbarer Modell-Eingangparameter.

Es wurden weitere Indikatoren definiert, die zusätzlich die Mindest-Ähnlichkeit der Lagerungsdichte (50 % der Profiltiefe) und den Humusgehalt des Oberbodens berücksichtigen. Mit diesem zweiten Humusindikator ist eine Gewichtung möglich, welche der besonderen Bedeutung des Humusgehaltes im Oberboden für die landwirtschaft-

liche Ertragsbildung Rechnung trägt. Hier wurde eine Mindest-Ähnlichkeit von 66 % bestimmt, weil in einigen Fällen der Ap-Horizont eines Vergleichsprofils (z.B. des BÜK 200-Profiles) 30 cm mächtig ist, derjenige des anderen (z.B. Realprofil) jedoch nur 20 cm oder 25 cm (entsprechend 66 % bzw. 83 % von 30 cm).

## Ergebnisse und Diskussion

Die besten Ergebnisse für die Indikatoren I\_1, I\_2 und I\_3 wurden in den Bodenregionen (BR) 3 und 4 (Jung- und Altmoränenlandschaften) erzielt, weil die gute Datenlage für diese Gebiete die Bildung besonders vieler Vergleichspaare ermöglichte (z.B. BR 3: 1.683 Paare, s. Abbildung 2). Die geringsten Ähnlichkeitswerte ergaben sich für die Berg- und Hügelländer (BR 7-11) sowie für die Flusslandschaften (BR 2), für die vergleichsweise wenig Realprofile zur Verfügung standen.

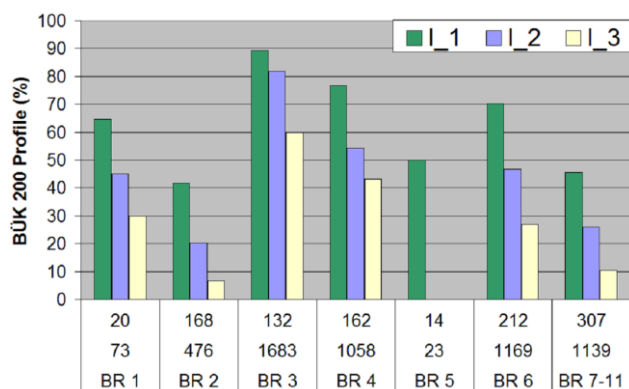


Abb. 2: Anteil der BÜK 200-Ackerleitprofile pro Bodenregion bzw. Bodenregionsgruppe, der mit Realprofilen belegt ist, welche die Ähnlichkeitsindikatoren erfüllen. (Angaben unter den Säulen: Zeile 1: Anzahl der Ackerleitprofile, Zeile 2: Anzahl der Bewertungspaare, Zeile 3: Bodenregion (BR))

Obwohl teilweise besonders I\_1 von den Realprofilen erfüllt wird, kann nach dem vorliegenden Ergebnis keine bundesweit flächendeckende Belegung mit Messwerten realer Bodenprofile erfolgen. Da selbst in BR 3 mit den meisten Daten nur 60 % der BÜK 200-Profile mit Realprofilen belegt werden konnten, die den Indikator I\_3 erfüllen, entschieden wir uns für einen so genannten „hybriden Ansatz“ der Datennutzung. In Bodenprozessmodellen werden

danach weiterhin mittlere numerische Parameterwerte entsprechend der klassierten Daten der BÜK 200-Datenbank verwendet werden. Die Werte zusätzlich benötigter Parameter jedoch sind den Daten ähnlicher Realprofile zu entnehmen. Ein Beispiel dafür ist die Bodenfarbe, die das Modell BODIUM zur Berechnung der Albedo benötigt (VOGEL et al., 2018).

## Separate Ähnlichkeitsbestimmung für den Oberboden / Anwendungsbeispiel „organischer Kohlenstoff“

### Methode

Die Ähnlichkeitsbestimmung für Oberböden der Ackerstandorte verspricht wesentlich bessere Ergebnisse, da nur die oberen 30 cm betrachtet werden. Zur Berechnung des  $C_{org}$ -Speicherpotenzials und der  $C_{org}$ -Vorräte sind Bodenart (Feinanteil < 20  $\mu\text{m}$ ), Steingehalt,  $C_{org}$ -Gehalt und Trockenroh-dichte erforderlich (SIX et al., 2002).

$$C_p = (4,38 + 0,26 T) \rho_b d (1 - V_s)$$

$$C_s = SOC \rho_b d (1 - V_s)$$

$C_p$  =  $C_{org}$ -Speicherpotenzial des Oberbodens ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ),  $C_s$  =  $C_{org}$ -Vorrat ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ),  $T$  = mineralische Partikel < 20  $\mu\text{m}$  (M-%),  $\rho_b$  = Trockenroh-dichte ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ),  $d$  = Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht (dm),  $V_s$  = Steingehalt (Vol.-%)

In diesem Anwendungsbeispiel genügen mittlere numerische Parameterwerte entsprechend der klassierten BÜK 200-Daten nicht, da sich aus diesen der Feinanteil (< 20  $\mu\text{m}$ ) nicht erschließt. Es handelt sich also ebenfalls um einen „notwendigen zusätzlichen“ Parameter im oben genannten Sinne.

### Ergebnisse

Ausreichende Ähnlichkeit hinsichtlich aller vier o. g. Parameter wurde für 96 % der 1.035 mineralischen BÜK 200-Ackerleitprofil-Oberböden erreicht (Stufe 4, Abbildung 3). In ca. 3 % der Fälle waren dies nur drei, in 0,5 % zwei (Erz- u. Fichtelgebirge, Bayerischer Wald) und in 0,1 % sogar nur ein Parameter (Oberpfälzer Wald). Während in Stufe 3 unterschiedliche Parameter betroffen sind, handelt es sich in den Stufen 1 und 2 meist um flachgründige Böden mit hohen Stein- und oft auch hohen Humus-



gehalten im Ap-Horizont, für die keine Entsprechung in der genutzten Datenbasis gab. Für Stufe 3 treffen diese Eigenschaften insbesondere für das Erzgebirge sowie die Pararendzinen aus Mergelstein im Bereich des Thüringer Beckens zu.

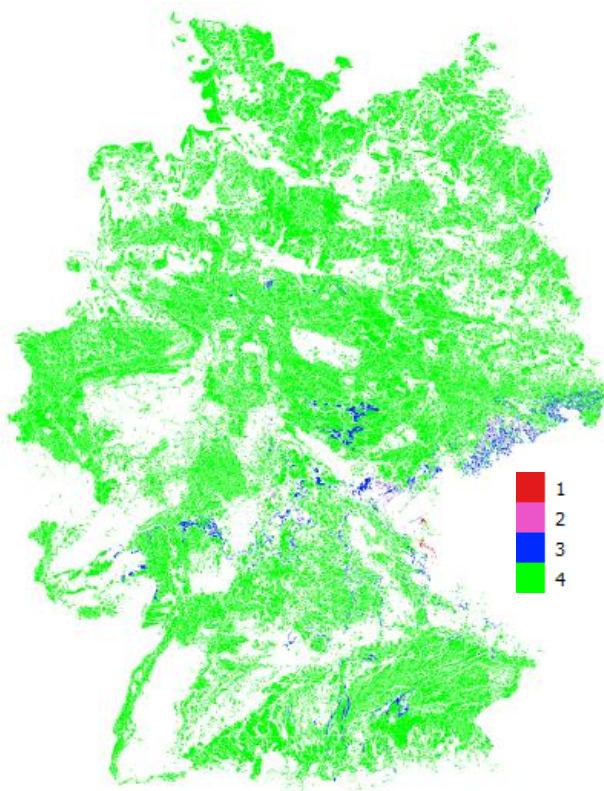


Abb. 3: Karte der höchsten erreichten Ähnlichkeitsstufe pro BÜK 200-Ackerleitprofil (4 = alle vier Parameter passend)

Diesen Profilen waren auch nur einzelne Oberböden der Messwert-Datenbasis zuzuordnen; 7 % der BÜK 200-Profile wurden mit nur 1 - 2 ähnlichen realen Oberböden belegt (Abbildung 4). Mit 62 % ist die Treffergruppe 3 - 6 besonders groß; die Gruppen 7 - 10 und 11 - 14 % erreichen zusammen 26 %, ca. 5 % erhielten mehr als 14 Zuordnungen. Besonders viele Übereinstimmungen gibt es großflächig in den Alt- und Jungmoränengebieten (BR 3, 4) sowie in den Lössgebieten.

Je mehr Bodendaten pro BÜK 200-Profil in Simulationsrechnungen eingehen, desto belastbarer ist das Ergebnis, das in Abhängigkeit von der Wertespanne der jeweiligen Klasse eines Bodenparameters stark variieren kann. Dies betrifft sowohl die großen Wertebereiche für die Schluff- und Tongehalte vieler Bodenarten nach KA5

als auch die Klassen für Stein- und Humusgehalt.

Für alle zugeordneten realen Oberböden erfolgte die Berechnung der Zielparameter  $C_p$ ,  $C_s$ ,  $I_{soc}$  (relatives  $C_{org}$ -Speicherpotenzial (0-1)) und  $\hat{I}_{soc}$  (aktueller Erfüllungsgrad des relativen  $C_{org}$ -Speicherpotenzials (0-1), VOGEL et al., 2019).

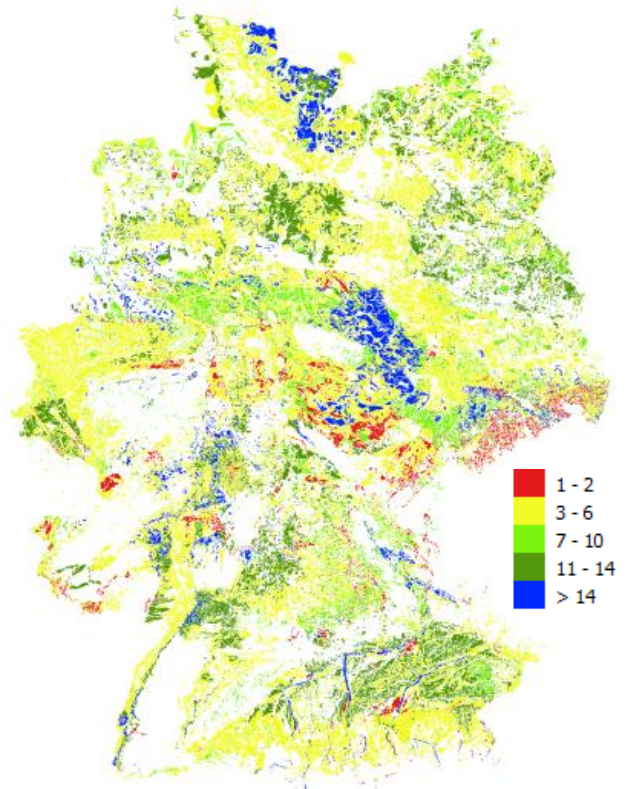


Abb. 4: Anzahl der realen Oberböden mit der jeweils besten erzielten Ähnlichkeitsstufe pro BÜK 200-Ackerleitprofil

$$I_{soc} = (4,38 + 0,26 T) * 30,38^{-1} (1 - V_s)$$

$$\hat{I}_{soc} = 0,8 C_s * C_p^{-1}$$

$I_{soc}$  ist die C-Speicherkapazität, die allein von der Feinbodenart und dem Grobbodenanteil abhängt. Zur Ermittlung von  $\hat{I}_{soc}$  werden 80 % von  $C_s$ , die bei Ackerböden des gemäßigten Klimas etwa dem stabilen Anteil am gesamten  $C_{org}$ -Vorrat entsprechen (CHEN et al., 2019), ins Verhältnis zu  $C_p$  gesetzt (vgl. VOGEL et al., 2019). Die Medianwerte dieser Parameter bilden das Ergebnis der Berechnungen. Abbildung 5 verdeutlicht die sehr geringe relative C-Speicherkapazität von Sandböden, die in Norddeutschland besonders weit verbreitet sind. Die Lössgebiete weisen ein mittleres relatives Potenzial auf. Werte > 0,6 - 0,8

treten bei schluffig-tonigen und tonigen Böden mit geringem Skelettanteil auf. Dazu gehören Lösslehmgebiete wie der Kraichgau, Pelosole, viele Auenböden sowie Rendzinen und Pararendzinen, z.B. jene im Bereich des Thüringer Beckens. Nur ein Rigosol im Weser-Ästuar erreicht mit 0,83 einen Wert  $> 0,8$ .

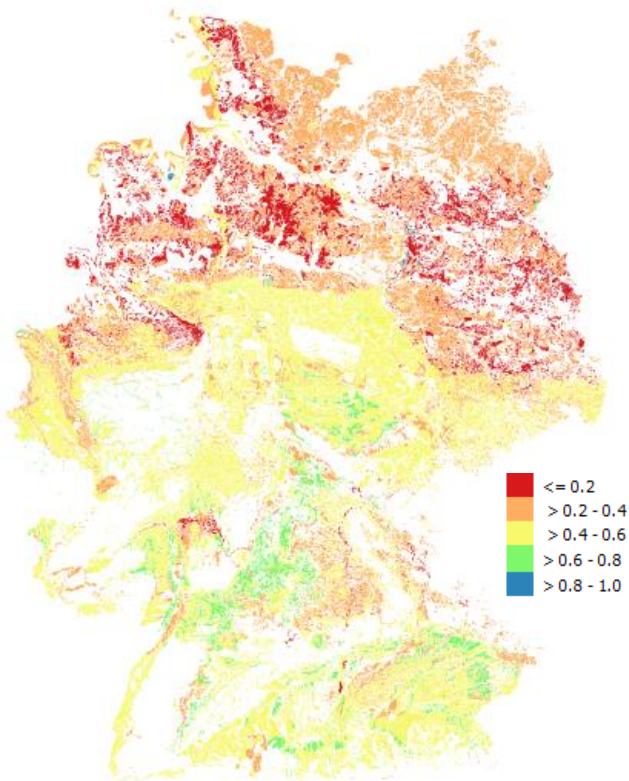


Abb. 5:  $I_{soc}$  = relatives C-Speicherpotenzial des Oberbodens von Ackerstandorten

Die mögliche Streuung der Ergebniswerte sei am Beispiel eines Tschernosems der Magdeburger Börde beschrieben; die Parameter lauten: Ut4, kein Grobboden, h3 und Ld2. Bei 15 zugeordneten realen Tschernosemen liegen arithmetisches Mittel (MW) und Median für  $I_{soc}$  bei 0,57, das Minimum bei 0,53 und das Maximum bei 0,67 (Variationskoeffizient (VK): 6,4 %). Die unterschiedlich hohen Humusgehalte innerhalb der Klasse h3 führen bei einem Median von  $68 \text{ kg C}_{org}\cdot\text{m}^{-2}$  (MW  $66 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) zu einer Streuung der  $C_s$ -Werte zwischen  $45 \text{ und } 87 \text{ kg C}_{org}\cdot\text{m}^{-2}$  (VK: 18,0 %). Daraus resultiert eine Variationsbreite der Werte für den Erfüllungsgrad des relativen C-Speichervermögens ( $\hat{I}_{soc}$ ) von 0,50 - 1,00; MW und Median betragen hier 0,76 bzw. 0,80 (VK: 21,5 %).

Abbildung 6 weist die Gebiete aus, deren Potenzial durch gezielte Bewirtschaftungsmaßnahmen ggf. besser genutzt werden könnte. Der Anteil der Ackerböden mit einem Erfüllungsgrad  $< 1$  beträgt 66 %. Werte von 0,50 -  $< 0,75$  finden sich insbesondere in den Lössgebieten, mit Ausnahme der Tschernoseme, die meist Werte von 0,75 -  $< 1$  aufweisen. Die Schluff- bzw. Lössböden können aufgrund ihrer Erosionsanfälligkeit und entsprechenden Bodenverlusten ihr C-Speicherpotenzial oft nicht ausschöpfen. Mit Anteilen von 35 % bzw. 29 % sind die Werteklassen 0,75 -  $< 1$  und 0,50 -  $< 0,75$  etwa gleich groß. Knapp 2 % der BÜK 200-Oberböden haben Werte  $< 50 \%$ ; es sind hauptsächlich tonige Böden, aber auch Lössböden.

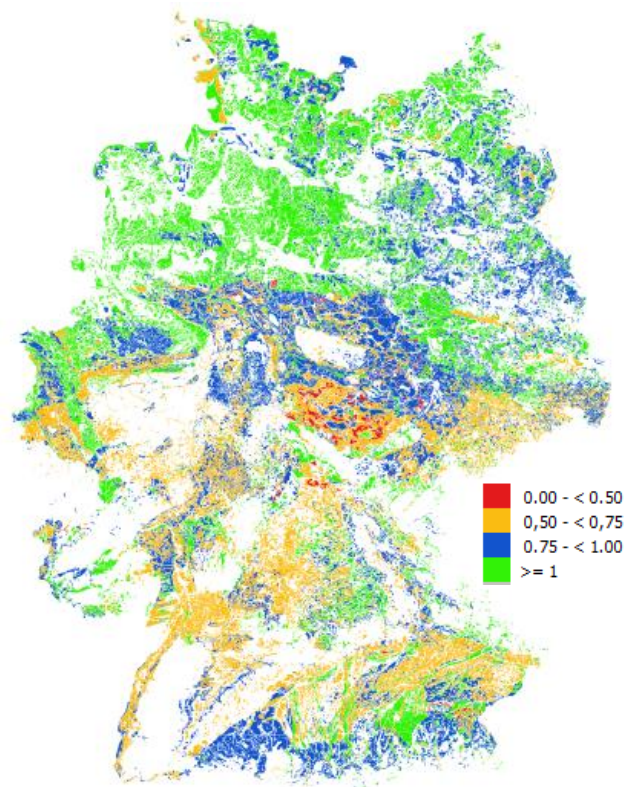


Abb. 6:  $\hat{I}_{soc}$  = aktueller Erfüllungsgrad des relativen Potenzials zur C-Sequestrierung

Für 34 % der BÜK-Oberböden wurden Werte  $\geq 1$  ermittelt. Dies sind insbesondere die Sandböden, die unter Ackernutzung, u.a. durch organische Düngung, gut mit Humus versorgt sind, so dass ihr geringes C-Speicherpotenzial teilweise weit überschritten wird. Zu dieser Gruppe gehören aber auch die so genannten schwarz-humosen Sande, die bis in jüngere Zeit unter Heide oder Moorwald lagen und deren



Humus größtenteils stabil ist aufgrund seines weiten C/N-Verhältnisses (Drexler et al., 2020). Auch für hydromorphe Böden wurden Werte  $\geq 1$  ermittelt, außerdem für einige terrestrische Böden, die in der BÜK 200-Datenbank mit hohem Steingehalt und Humuswerten von h3 - h5 gekennzeichnet sind.

### Fazit und Ausblick

Die Methode der Ähnlichkeitsbestimmung zwischen Bodenprofilen der BÜK 200 und realen Profilen hat sich mit Bezug auf den Oberboden als gut anwendbar erwiesen. Mit Bezug auf das gesamte Bodenprofil kann die Methode für den Vergleich realer Profile untereinander künftig von besonderem Nutzen sein. Durch weitere Praxisbeispiele wird die Methodik erweitert und spezifiziert werden; z.B. werden die für Feinboden, Stein- und Humusgehalt gewählten Toleranzbereiche von 10 % der Minimal- und Maximalwerte einer KA5-Klasse (s. Abschnitt Definition der Ähnlichkeit) in geplanten Sensitivitätsstudien überprüft und ggf. angepasst werden. Gleiches gilt für die zur Bildung der Ähnlichkeitsindikatoren gewählte parameterspezifische prozentuale Mindest-Ähnlichkeit (s. Abschnitt Ähnlichkeitsindikatoren).

### Förderung

Das Verbundvorhaben BonaRes (Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie, <https://www.bonares.de>) wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert; BonaRes Modul B, Teilprojekt E, FKZ 031B1064E.

### Literatur

**Ad-hoc-AG Boden (2005)**; Bodenkundliche Kartieranleitung (5. verbess. u. erw. Aufl.), Hannover: Schweizerbart (in Komm.).

**BGR, SGD der Länder (Hrsg.) (1997-2021)**: Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200 000, m. Sachdatenbank Vers. 0.7.

**BGR (2019)**: Labor- und Profildatenbank „LPBoden“ im Fachinformationssystem Boden BGR (<https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/>

Bodenkundliche\_Karten\_Datenbanken/labor\_profildatenbank.html?nn=1542278)

**CHEN, S., ARROUAYS, D., ANGERS, D. A., MARTIN, M. P., AND WALTER, C. (2019)**: Soil carbon stocks under different land uses and the applicability of the soil carbon saturation concept. *Soil Tillage Res.* 188, 53–58. doi: 10.1016/j.still.2018.11.001

**DREXLER, S., BROLL, G., DON, A., FLESSA, A. (2020)**: Standorttypische Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden Deutschlands. *Thünen-Report* 75, DOI:10.3220/REP1583152694000

**JACOBS, A., FLESSA, H., DON, A., HEIDKAMP, A., PRIETZ, R., DECHOW, R., GENSIOR, A., POEPLAU, C., RIGGERS, C., SCHNEIDER, F., TIEMEYER, B., VOS, C., WITTNEBEL, M., MÜLLER, T., SÄURICH, A., FAHRION-NITSCHKE, A., GEBBERT, S., JACONI, A., KOLATA, H., LAGGNER, A., et al. (2018)**: Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. *Thünen Report* 64, DOI: 10.3220/REP154 2818391000

**SCHMELMER, K. & EBERHARDT, E. (2019)**: Regionalisierung bodenkundlicher Modellierungsergebnisse. *Berichte der DBG*, Online-Publikation, <http://eprints.dbges.de/1806/>

**SIX, J.; CONANT, R.; PAUL, E. A.; PAUS-TIAN, K. (2002)**: Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant soil* 241, 155-176, DOI: 10.1023/A:1016125726789

**VOGEL, H.J., BARTKE, S., DAEDLOW, K., HELMING, K., KÖGEL-KNABNER, I., LANG, B., RABOT, E., RUSSELL, D., STÖBEL, B., WELLER, U., WIESMEIER, M., WOLLSCHLÄGER, U. (2018)**: A systemic approach for modeling soil functions. *Soil* 4(1), 83-92. DOI: [10.5194/soil-4-83-2018](https://doi.org/10.5194/soil-4-83-2018)

**VOGEL, H.J., EBERHARDT, E., FRANKO, U., LANG, B., LIEB, M., WELLER, U., WIESMEIER, M., WOLLSCHLÄGER, U. (2019)**: Quantitative evaluation of soil functions: potential and state. *Frontiers in Environmental Science*, 7, art 164. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00164