

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG - Kommission I

Titel der Tagung: Böden - Lebensgrund-  
lage und Verantwortung

Veranstalter: DBG, 07.-12.09.2013,  
Rostock

Berichte der DBG (nicht begutachtete  
Online-Publikation)

<http://www.dbges.de>

## **Einfluss des Grobbodengehaltes in Böden auf das Verdichtungsverhalten und die mechanische Vorbelastung**

J. Rücknagel<sup>1</sup>, P. Götze<sup>1</sup>, B. Hofmann<sup>1</sup>,  
O. Christen<sup>1</sup>, K. Marschall<sup>2</sup>

### **Zusammenfassung**

Vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zu der Frage leisten, inwieweit zunehmende Grobbodengehalte das Verdichtungsverhalten und die mechanische Vorbelastung beeinflussen. Dazu wurden drei unterschiedliche Feinböden (Tu2, Ut3, SI3) mit gestaffelten Anteilen (0, 10, 20, 30, 40 Vol.-%) eines Quarzkieses versetzt und mit standortüblicher Dichte des Feinbodens in Stechzylinder gefüllt. Ergänzt wurden die Versuche durch Proben eines natürlichen Standortes (Grobbodengehalte 0,1-23,5 Vol.-%). Alle Proben wurden auf einen Wassergehalt bei einer Wasserspannung von 6 kPa eingestellt und im Ödometer stufenweise belastet (5-550 kPa). An den resultierenden Druck-Dichtefunktionen wurde die Vorbelastung bestimmt. Die gestaffelten Grobbodenanteile führten sowohl bei den künstlichen wie bei den natürlichen Proben bei konstanter Feinbodendichte zur Zunahme der Trockenrohdichte des Gesamtbodens und damit zur Verschiebung der gesamten Druck-Dichtefunktionen. Die Druck-Dichtefunktionen des Feinbodens zeigen bei den künstlichen Proben jedoch eine

mit zunehmendem Grobbodenanteil abnehmende Gesamtverdichtung des Feinbodens. Bei geringen Grobbodenanteilen von maximal 10-20 Vol.-% ist die Zunahme der Vorbelastung (log) bei den gestörten Proben insgesamt sehr gering. Mit steigendem Grobbodenanteil nimmt die Vorbelastung (log) bei diesen Proben jedoch exponentiell zu. Abweichend davon ist bei den natürlichen Proben eine kontinuierlich lineare Zunahme der Vorbelastung (log) zu verzeichnen.

**Schlüsselworte:** Grobbodenanteil, Vorbelastung, Trockenrohdichte

### **Einleitung**

Viele Böden weisen horizontspezifisch unterschiedliche Anteile an Grobboden auf. Bisher gibt es nur sehr vereinzelt Ergebnisse zur Auswirkung des Grobbodenanteils auf mechanische Bodeneigenschaften. In der vorliegenden Arbeit soll deshalb der Frage nachgegangen werden, wie sich ein zunehmender Grobbodenanteil auf die Vorbelastung und das Verdichtungsverhalten verschieden texturierter Böden auswirkt.

### **Material und Methoden**

Grundlage der Untersuchungen bilden künstlich hergestellte Stechzylinderproben (220 cm<sup>3</sup>, d=100 mm, h=28 mm) mit drei unterschiedlich texturierten Feinböden (Tu2, Ut3, SI3). Für jede Bodenart wurden Varianten mit 0, 10, 20, 30 und 40 Vol.-% Grobbodenanteil (GB) hergestellt (jeweils n=8). Es wurde ein sehr feinkörniger und rundlicher Quarzkies mit einem mittleren gewogenen Durchmesser ( $d_{mg}$ ) von 6 mm verwendet. Die Feinböden wurden mit dem trockenen Quarzkies gleichmäßig vermischt und in die Stechzylinder eingebaut. Die Dichte der Feinböden beträgt in Anlehnung an die natürlichen Standorte für den Tu2 1,15 g/cm<sup>3</sup>, für den Ut3 1,30 g/cm<sup>3</sup> sowie für den SI3 1,40 g/cm<sup>3</sup> und ist in allen Grobbodenvarianten gleich.

Zur Verifizierung der Untersuchungen an den gestörten Bodenproben, wurden aus einem grobbodenhaltigen Oberboden mit natürlicher Lagerung an einem Ackerstandort in Rastenberg (Thüringen) ins-

<sup>1</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Professur Allgemeiner Pflanzenbau/ÖL

Betty-Heimann-Str. 5  
06120 Halle/Saale  
[jan.ruecknagel@landw.uni-halle.de](mailto:jan.ruecknagel@landw.uni-halle.de)

<sup>2</sup> Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft  
Naumburger Str. 98  
07743 Jena

gesamt 20 Stechzylinderproben entnommen. Die mittleren Ton- bzw. Sandgehalte der Proben betragen 22 M.-% (15-28 M.-%) bzw. 18 M.-% (7-35 M.-%). Der Grobbodenanteil ( $d_{mg}=10$  mm) variiert in Form von Kalksteinsplitt kleinräumig bei ähnlicher Feinbodentextur zwischen 0,1 und 23,5 Vol.-%. Alle künstlichen und natürlichen Proben wurden in einer Sandsaugbox auf einen Wassergehalt bei einer Wasserspannung von 6 kPa eingestellt. Anschließend wurden auf die Stechzylinderproben im Ödometer nacheinander die Druckstufen 5, 10, 25, 50, 100, 200, 350 und 550 kPa aufgebracht (je 180 min). Nach jeder Stufe wurde eine Entlastungsphase geschaltet (je 15 min). Alle Versuche fanden unter drainierten Bedingungen statt. Nach den Ödometerversuchen wurden die Proben bei 105 °C bis zur Massekonstanz getrocknet und die Trockenrohdichte berechnet. Um die Verformungen des Feinbodens auch ohne den inkompressiblen Grobbodenanteil betrachten zu können, wurden die Feinbodendichten ermittelt. Die Bestimmung der mechanischen Vorbelastung erfolgte anhand der Druck-Dichtefunktionen des Gesamtbodens im semilogarithmischen Diagramm nach dem graphischen Verfahren von Casagrande (1936) durch zwei unabhängige Versuchspersonen.

## Ergebnisse

### Künstliche Bodenproben

Das Druck-Dichteverhalten der künstlichen Proben wird am Beispiel des Tu2-Bodens näher erläutert. Grundsätzlich zeigen die beiden weiteren genutzten Feinböden analoge Effekte. Die Beimischung von Quarzkies mit 10, 20, 30 bzw. 40 Vol.-% führt unter Beibehaltung der standortüblichen Trockenrohdichte des Feinbodens von  $1,15 \text{ g cm}^{-3}$  zunächst zur Zunahme der Trockenrohdichte des Gesamtbodens und damit zur Verschiebung der gesamten Druck-Dichtefunktionen (Abb. 1A). Alle Druck-Dichtefunktionen des Gesamtbodens gliedern sich typisch in einen Wieder- und Erstverdichtungsabschnitt und lassen eine Bestimmung der mechanischen Vorbelastung zu. Auch die Druck-Dichtefunktionen des Feinbodens

weisen den erwarteten Verlauf überkonsolidierter Böden auf (Abb. 1B).

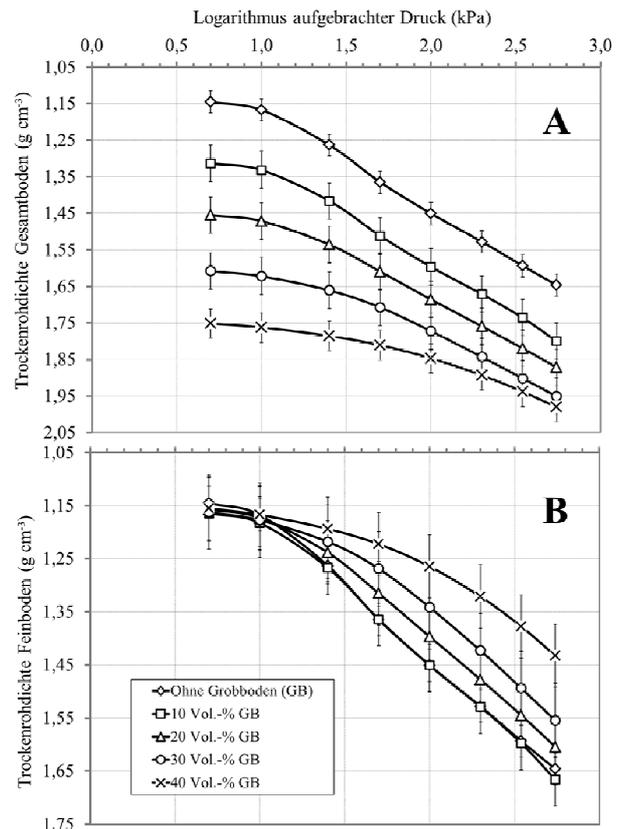


Abb. 1: Druck-Trockenrohdichtefunktion des Gesamtbodens (A) und des Feinbodens (B) bei unterschiedlichen Grobbodenanteilen (Feinbodenart Tu2)

Sie zeigen jedoch eine mit zunehmendem Grobbodenanteil abnehmende Gesamtverdichtung des Feinbodens. So nehmen die Dichten des Feinbodens jeweils bei der höchsten Laststufe (550 kPa) von  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$  (0 Vol.-% GB) und  $1,67 \text{ g cm}^{-3}$  (10 Vol.-% GB) über  $1,60 \text{ g cm}^{-3}$  (20 Vol.-% GB) und  $1,55 \text{ g cm}^{-3}$  (30 Vol.-% GB) auf  $1,43 \text{ g cm}^{-3}$  (40 Vol.-% GB) ab. Eine Ausnahme stellt dabei die Variante mit 10 Vol.-% Grobboden dar, deren Druck-Dichtefunktion des Feinbodens sich nicht von der grobbodenfreien Variante unterscheidet.

Mit 15 kPa (log 1,16) beim Tu2, 29 kPa (log 1,46) beim Ut3 und 30 kPa (log 1,48) beim SI3 sind die Vorbelastungen der Proben ohne Grobbodenanteil insgesamt sehr niedrig (Abb. 2A-C). Grobbodenanteile von 10 Vol.-% führen bei allen drei Feinbodenarten jeweils nur tendenziell zur Zunahme der Vorbelastung (+log 0,03 bis 0,13).

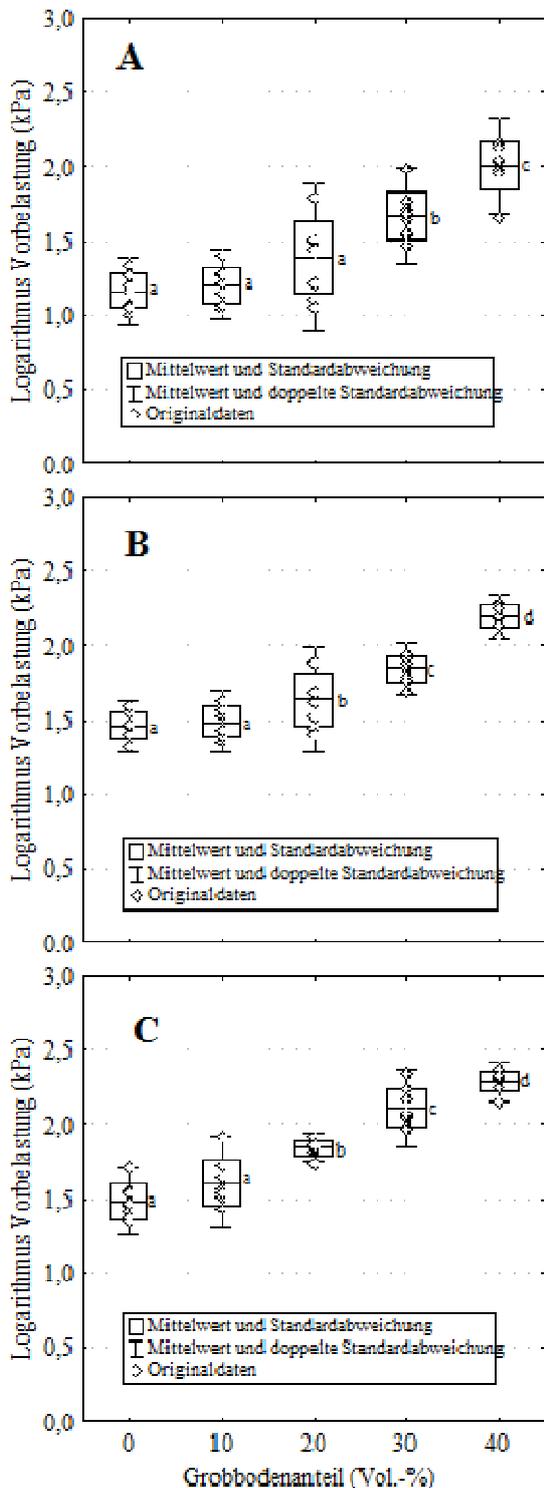


Abb. 2: Logarithmus der Vorbelastung (Wasserspann. 6 kPa) bei unterschiedlichen Grobbodenanteilen und den Feinbodenarten Tu2 (A), Ut3 (B) und SI3 (C)

Grobbodenanteile von 20 Vol.-% führen beim Tu2 wiederum nur tendenziell zur Zunahme der Vorbelastung (+log 0,23) und beim Ut3 sowie SI3 signifikant zu deren Erhöhung (+log 0,18 bzw. 0,36). Erst die Grobbodenanteile von 30 und 40 Vol.-% erhöhen die Vorbelastung bei allen drei Feinbodenarten sehr deutlich (+log 0,51 bis 0,63 bei 30 Vol.-% und

+log 0,74 bis 0,85 bei 40 Vol.-%) und meist überproportional zur Zunahme des Grobbodenanteils.

Die logarithmische Änderung der Vorbelastung ( $\Delta \log_{\sigma_P}$ ) im Vergleich zum Boden ohne Grobboden kann in Abhängigkeit vom Grobbodenanteil (GB) bis maximal 40 Vol.-% für die drei Feinbodenarten in vorliegender Arbeit nach folgenden Gleichungen geschätzt werden:

$$\text{Tu2: } \Delta \log_{\sigma_P} = 0,0434 * e^{(0,0777 * \text{GB})}$$

$$R^2 = 0,75; p < 0,001$$

$$\text{Ut3: } \Delta \log_{\sigma_P} = 0,031 * e^{(0,083 * \text{GB})}$$

$$R^2 = 0,79; p < 0,001$$

$$\text{SI3: } \Delta \log_{\sigma_P} = 0,0772 * e^{(0,0631 * \text{GB})}$$

$$R^2 = 0,88; p < 0,001$$

### Bodenproben mit natürlicher Struktur

Die Dichte des Feinbodens liegt hier über die gesamte Spannbreite des Grobbodenanteils konstant bei etwa  $1,17 \text{ g cm}^{-3}$  (Abb. 3). Dagegen nimmt die Dichte des Gesamtbodens von durchschnittlich  $1,18 \text{ g cm}^{-3}$  (ohne Grobboden) auf rund  $1,50 \text{ g cm}^{-3}$  in den Stechzylindern mit den höchsten Grobbodenanteilen zu.

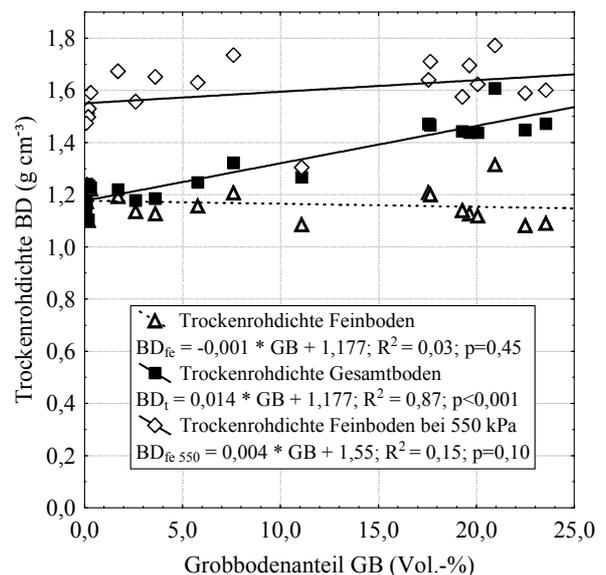


Abb. 3: Zusammenhang des Grobbodenanteils (GB) mit der Feinbodendichte ( $BD_{fe}$ ), der Trockenrohddichte des Gesamtbodens ( $BD_t$ ) und der Feinbodendichte bei 550 kPa Druck ( $BD_{fe\ 550}$ ) an den natürlichen Proben

Während bei den gestörten Bodenproben die Dichten des Feinbodens bei der höchsten Laststufe mit dem Grobbodenanteil abnehmen, ist am Standort Ras-

tenberg keine Veränderung der Feinbodendichte zu beobachten. Die Vorbelastung des Gesamtbodens nimmt am Standort Rastenberg kontinuierlich mit dem Grobbodenanteil von 8 kPa (log 0,92) auf 55 kPa (log 1,74) zu (Abb. 4).

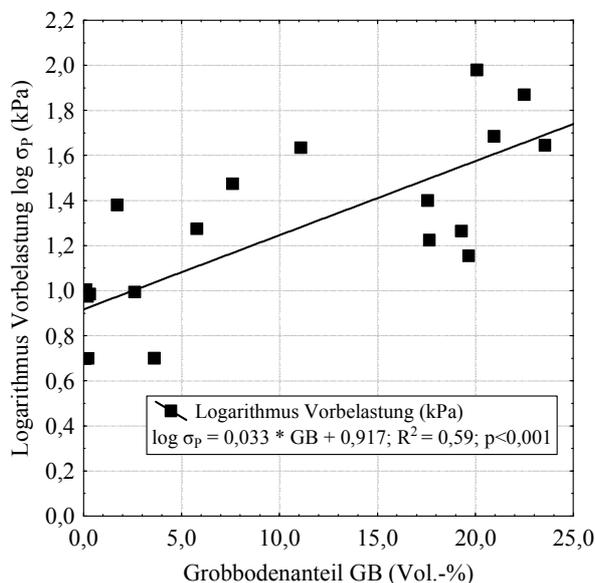


Abb. 4: Zusammenhang von Grobbodenanteil (GB) und dem Logarithmus der Vorbelastung (log  $\sigma_p$ , Wasserspannung 6 kPa) bei den natürlichen Proben

## Diskussion

Die Zunahme der Gesamtbodendichte ist bei den künstlichen wie auch bei den aus natürlicher Lagerung entnommenen Proben allein durch die im Vergleich zur Dichte des Feinbodens höhere Partikeldichte des Grobbodens zu erklären. Insgesamt werden in vorliegender Arbeit Untersuchungen von Poesen und Lavee (1994) bestätigt, in denen ebenfalls konstante Feinboden- und zunehmende Gesamtbodendichten bis etwa 30 M.-% Grobbodenanteil (entspricht etwa 20 Vol.-%) beschrieben werden. In den Versuchen mit gestörten Bodenproben nimmt die Verdichtung des Feinbodens mit steigender Druckbelastung bei zunehmendem Grobbodenanteil ab. Dazu führt vermutlich die direkte verdichtungsmindernde Wirkung des Grobbodens, weil die aufgebrachten Drücke mit zunehmendem Grobbodenanteil stärker über die Kontaktpunkte des Grobbodens übertragen werden. Der Grobbodenanteil bildet eine Art Stützgerüst für die Spannungsausbreitung im Boden. Begünstigt wird dies dadurch, dass bei sehr hohen Grob-

bodenanteilen nicht mehr genug Feinboden in den Zwischenräumen vorhanden ist, der stärker verdichtet werden kann. Über ähnliche verdichtungsreduzierende Effekte, die mit der Zunahme des Grobbodenanteils einhergehen, berichten u.a. bereits Saini und Grant (1980).

Nur in Ausnahmen beziehen bisherige Schadverdichtungskonzepte und Modellabschätzungen für die Vorbelastung den Grobbodenanteil in die Bewertung mit ein. Horn und Fleige (2003) erheben in ihrem Bewertungsansatz unabhängig von der Bodenart und der Höhe der Ausgangsvorbelastung Zuschläge von 30 kPa bei 10-25 Vol.-% GB, 60 kPa bei 25-50 Vol.-% GB, 90 kPa bei 50-75 Vol.-% GB und 120 kPa bei mehr als 75 Vol.-% GB. Messdaten, welche diesen Zuschlägen zugrunde liegen oder Hinweise auf die Herkunft der Zuschläge fehlen in der Arbeit. Die Angaben von Zuschlägen in der Einheit kPa erscheint im Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen der künstlichen Proben von Nachteil, weil die Vorbelastung in der Einheit kPa hier mit dem Grobbodenanteil nicht linear zunimmt. Allerdings hat die Vorbelastung bei den natürlichen Proben linear zugenommen. Ein einheitliches Vorgehen für verschiedene Bodenarten scheint dagegen gerechtfertigt, denn auch in vorliegenden Untersuchungen gibt es zumindest bei den gestörten Proben nur geringe Unterschiede im prinzipiellen Verhalten der Böden. Hier bestehen lediglich Differenzierungen bei signifikanten Effekten ab 20 oder 30 Vol.-%.

## Literatur

- Casagrande, A. (1936): The determination of pre-consolidation load and its practical significance. In: Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Proc. of ICSMFE. Cambridge, MA, 22-26 June 1936. vol. 3. Cambridge, MA, 93-108.
- Horn, R., Fleige, H. (2003): A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. Soil and Tillage Research 73, 89-99.
- Poesen, J., Lavee, H. (1994): Rock fragments in top soils: significance and processes. Catena 23, 1-28.
- Saini, G.R., Grant, W.J. (1980): Long-term effects of intensive cultivation on soil quality in the potato-growing areas of New Brunswick (Canada) and Maine (U.S.A.). Can. J. Soil Sci. 60, 421-428.