

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der
DBG - Kommission I

Titel der Tagung: Böden verstehen - Böden nutzen - Böden fit machen

Veranstalter: DBG, 03.-09.09.2011, Berlin

Berichte der DBG (nicht begutachtete
Online-Publikation)

<http://www.dbges.de>

Untersuchungen zur Veränderung des Gefüges in aggregierten Böden während des Verdichtungsprozesses bei unterschiedlicher Ausgangsstruktur

A. Rademacher, J. Rücknagel, O. Christen¹

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Untersuchung soll an Bodenbearbeitungsvarianten (Pflug und konservierend) zweier unterschiedlich texturierter Böden (Warin: Bodenart SI3; Görzig: Bodenart Ut4) geklärt werden, wie sich die Dichte im Gesamtboden und in den einzelnen Aggregaten während des Verdichtungsprozesses verändert sowie in welcher Größenordnung die Vorbelastungen von Gesamtboden und Aggregaten liegen.

Dazu wurden Stechzylinderproben (220 cm³) aus dem Ap-Horizont (Bodenschicht 15....20 cm) entnommen und auf einen Wassergehalt bei einer Wasserspannung von -6 kPa eingestellt. Auf die einzelnen Stechzylinderproben wurde im Ödometer nur jeweils eine Druckstufe aufgebracht (Druckstufen 5-550 kPa). Im Anschluss an den einzelnen Kompressionsvorgang wurden die Bodenproben zerlegt und an Aggregaten der Größe 8-10 mm die Aggregatdichte ermittelt. Aus der Aggregatdichte und der Trockenrohddichte kann das ARD/TRD-Verhältnis für jede Druckstufe berechnet werden.

Die Druck-Trockenrohddichtefunktionen des Gesamtbodens folgen an beiden Standorten und in den jeweiligen Bearbeitungsvarianten dem typischen Verlauf überkonsolidierter Böden. Die Vorbelastungswerte des Gesamtbodens sind insgesamt niedrig. Dabei besitzen die konservierend bearbeiteten Varianten eine etwas höhere Vorbelastung als die Pflugvarianten. Ein anderes Bild zeigen die Druck-Aggregatdichtefunktionen. Am Standort Warin folgen sie einem fast linearen Verlauf. Dabei nimmt die Aggregatdichte von der kleinsten zur höchsten Laststufe nur gering zu. Die mechanische Vorbelastung ist nicht bestimmbar. Am Versuchsstandort Görzig weist zumindest die Aggregatdichte der höchsten Druckstufe eine deutliche Zunahme gegenüber den Werten bei niedriger Belastung auf. Auch hier ist eine sichere Ableitung der Vorbelastung nicht möglich. Es lässt sich aber vermuten, dass die Vorbelastung einen Wert über 160 kPa annimmt und damit deutlich über der Vorbelastung des Gesamtbodens liegt. Allen untersuchten Varianten ist gemeinsam, dass sich Aggregatdichte und Trockenrohddichte in den höchsten Laststufen angleichen. Die ARD/TRD-Verhältnisse nehmen als Maß für die Dichteheterogenität bis zur Vorbelastung des Gesamtbodens nur gering ab und verengen sich darüber hinaus sehr deutlich bis sie auf den höchsten Druckstufen einen Wert von etwa 1,0 (völlig geschlossener Aggregatverband) erreichen.

Schlüsselworte: mechanische Vorbelastung, Trockenrohddichte, Aggregatdichte, Bodenbearbeitung

Einleitung

Die Ursachen der Entstehung von Schadverdichtungen sind vielfältig und komplex. Neben den spezifischen Eigenschaften der eingesetzten landtechnischen Arbeitsmittel beeinflussen vor allem bodeneigene Faktoren, wie die Ausgangsstruktur das Verdichtungsverhalten. Es hat sich dabei gezeigt, dass in aggregierten Böden die Dichteheterogenität in Form des Aggregatdichte/Trockenrohddichte-Verhältnisses (ARD/TRD-Verhältnis) besonders relevant für die mechani-

¹ Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
Professur Allgemeiner Pflanzenbau/ÖL
Betty-Heimann-Str. 5
06120 Halle/Saale
jan.ruecknagel@landw.uni-halle.de

sche Vorbelastung ist (Rücknagel et al., 2007). Die Vorbelastung des Bodens ist ein wesentliches Kriterium für dessen Stabilität gegenüber mechanischen Belastungen (Horn & Rostek, 2000). Ihre Überschreitung führt zu irreversiblen Veränderungen der Bodenfunktionen. Bisher ist jedoch ungeklärt, in welcher Größenordnung die Vorbelastungen von Gesamtboden und Aggregaten in Abhängigkeit verschiedener Textur- und Strukturbedingungen liegen. Zudem sollen untersucht werden, wie sich die Dichte im Gesamtboden und in den einzelnen Aggregaten während des Verdichtungsprozesses verändert.

Material und Methoden

Versuchsstandorte

Es wurden Stechzylinderproben (220 cm³) aus dem Ap-Horizont (Bodenschicht 15....20 cm) von zwei unterschiedlich texturierten Bodenbearbeitungsversuchen entnommen. Die Bearbeitungsvarianten bieten dabei die Voraussetzung für differenzierte Ausgangsstrukturen.

1. Bodenbearbeitungsversuch Warin (MV)

Bodentyp: Braunerde
Bodenart Ap-Horizont: SI3
Versuchsvarianten: Pflug 25 cm
Scheibenegge
8 cm

2. Bodenbearbeitungsversuch Görzig (SA)

Bodentyp: Tschernosem
Bodenart Ap-Horizont: Ut4
Versuchsvarianten: Pflug 25 cm
Grubber 15 cm

Druck-Setzungsversuche

Die Stechzylinder wurden im Sandsaugtisch (DIN ISO 11274, 2001) zunächst auf einen Wassergehalt bei einer Saugspannung von -6 kPa eingestellt. Abweichend vom eindimensionalen Kompressionstest nach DIN 18135 (1999) wurde auf die einzelne Stechzylinderprobe im Ödometer nur jeweils eine Druckstufe aufgebracht. Es wurden insgesamt 5 (Görzig) bzw. 8 (Warin) Druckstufen (5, 16, 25, 160, 500 kPa bzw. 5, 10, 25, 50, 100, 200, 350, 550 kPa) mit je 3 (Görzig) bzw. 6 (Warin) Wiederholungen durchgeführt. Die Versuche erfolgten mit einer

Belastungszeit von 180 Minuten und einer 15-minütigen Entlastungsphase. Alle Versuche fanden unter drainierten Bedingungen statt. Aus der Setzung im Vergleich zur Ausgangshöhe der Probe und der Trockenrohddichte zu Beginn des Versuches wurde die resultierende Trockenrohddichte der jeweiligen Druckstufe berechnet. Die Bestimmung der mechanischen Vorbelastung erfolgte anhand der Druck-Dichtefunktionen nach dem graphischen Verfahren von Casagrande (1936) durch mehrere unabhängige Versuchspersonen (Rücknagel et al., 2010).

Bestimmung von Aggregatdichte und ARD/TRD-Verhältnis

Im Anschluss an den einzelnen Kompressionsvorgang wurden die Bodenproben zerlegt und Aggregate der Größe 8-10 mm gewonnen. An einem Teil der Probe wird durch Trocknung bei 105 °C der Wassergehalt bestimmt. Der zweite Teil der Probe wurde gewogen, in ein feinmaschiges Netz überführt und in ein pflanzliches Öl getaucht. Die so getränkten Aggregate wurden auf Filterpapier ausgebreitet, um das überschüssige Öl ablaufen zu lassen. Damit wird das Aggregat mit einem dünnen wasserabweisenden Film umhüllt. Anschließend wurden die so vorbehandelten Aggregate vollständig in Wasser getaucht. Die Aggregate verdrängen ein ihrem Volumen entsprechendes Wasservolumen (Archimedisches Prinzip). Aus der Masse der trockenen Aggregate und dem Volumen der Aggregate (korrigiert um 2,5-5,0 Vol.-% für den jeweiligen Ölanteil) lässt sich die Aggregatdichte errechnen. Jede Aggregatdichtebestimmung wurde mit 3 Wiederholungen aus einer Mischprobe jedes Stechzylinders durchgeführt. Aus der Aggregatdichte und der Trockenrohddichte wurde dann das ARD/TRD-Verhältnis berechnet.

Statistische Auswertung

Der statistische Vergleich von Aggregatdichte und Trockenrohddichte auf der jeweiligen Druckstufe erfolgt mittels einfaktorieller Varianzanalyse (F-Test) und anschließendem Mittelwertvergleich (t-Test) mit dem Programm Statistica

(StatSoft, Inc., 2009). Signifikanzen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,05$ werden mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Druck-Trockenrohdichtefunktionen des Gesamtbodens folgen an beiden Standorten und in den jeweiligen Bearbeitungsvarianten dem typischen Verlauf überkonsolidierter Böden (Abb. 1-4).

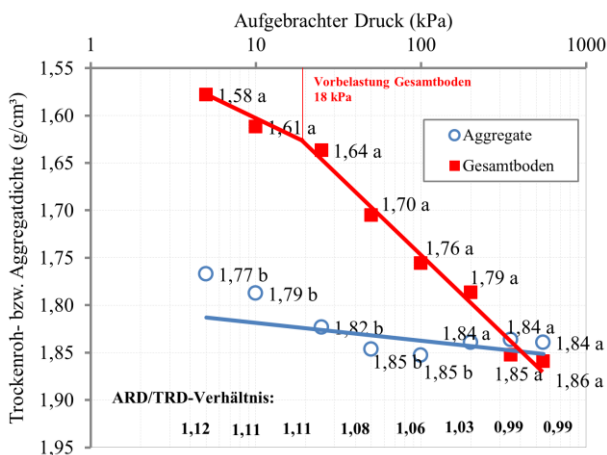


Abb. 1: Veränderung von TRD und ARD mit steigendem Druck am Standort Warin - Variante Pflug

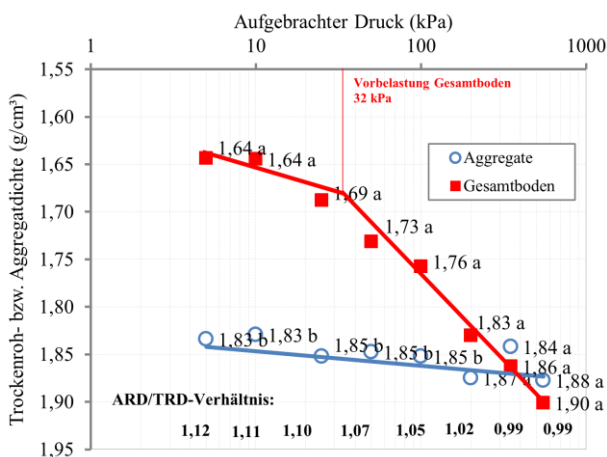


Abb. 2: Veränderung von TRD und ARD mit steigendem Druck am Standort Warin - Variante Kurzscheibenegge

Dem Wiederverdichtungsbereich mit nur geringer Zunahme der Trockenrohdichte folgt bei Überschreitung der mechanischen Vorbelastung eine stärkere plastische Verformung im Erstverdichtungsbe-
reich. Die Vorbelastungswerte des Gesamtbodens sind insgesamt niedrig (18-56 kPa). Dabei besitzen die konservie-

rend bearbeiteten Varianten eine etwas höhere Vorbelastung als die Pflugvarianten. Die höheren Vorbelastungen der konservierenden Varianten begründen sich in Görzig mit dem deutlich engeren ARD/TRD-Verhältnis und in Warin durch die höhere Trockenrohdichte bei vergleichbarem ARD/TRD-Verhältnis im Ausgangsgefüge (Rücknagel et al., 2007).

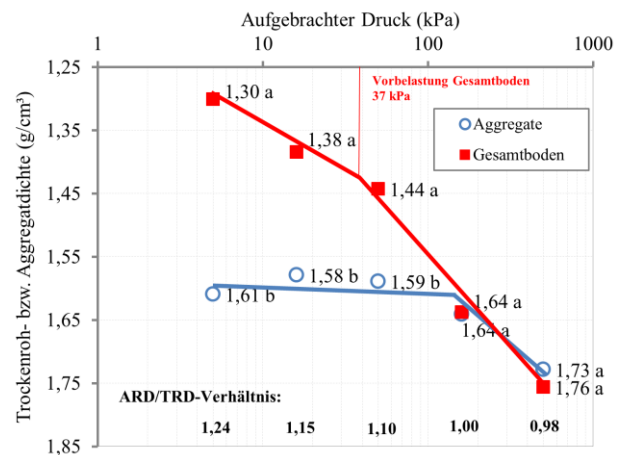


Abb. 3: Veränderung von TRD und ARD mit steigendem Druck am Standort Görzig - Variante Pflug

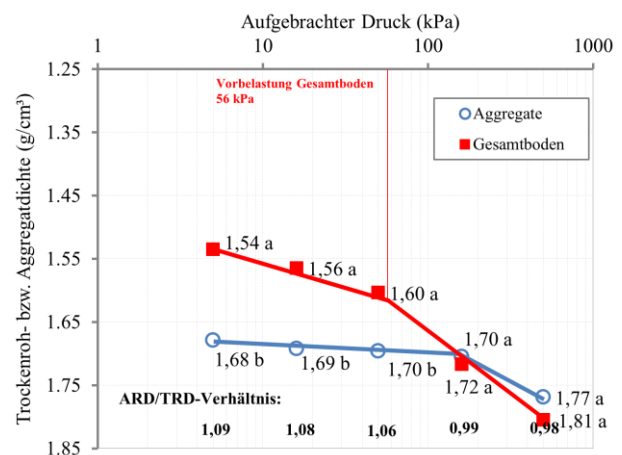


Abb. 4: Veränderung von TRD und ARD mit steigendem Druck am Standort Görzig - Variante Grubber

Ein anderes Bild zeigen die Druck-Aggregatdichtefunktionen. Am Standort Warin folgen sie einem fast linearen Verlauf. Dabei nimmt die Aggregatdichte von der kleinsten zur höchsten Laststufe nur gering zu. Die mechanische Vorbelastung ist nicht bestimmbar. Am Versuchsstandort Görzig weist zumindest die Aggregatdichte der höchsten Druckstufe

eine deutliche Zunahme gegenüber den Werten bei niedriger Belastung auf. Auch hier ist eine sichere Ableitung der Vorbelastung nicht möglich. Es lässt sich aber vermuten, dass diese einen Wert zwischen den letzten beiden Druckstufen annimmt (160-500 kPa). Sie liegt somit deutlich über den Vorbelastungen des Gesamtbodens. Allen untersuchten Varianten ist gemeinsam, dass sich Aggregatdichte und Trockenrohdichte in den höchsten Laststufen angleichen. Die ARD/TRD-Verhältnisse nehmen als Maß für die Dichteheterogenität bis zur Vorbelastung des Gesamtbodens nur gering ab und verengen sich darüber hinaus sehr deutlich bis sie auf den höchsten Druckstufen einen Wert von etwa 1,0 (völlig geschlossener Aggregatverband) erreichen.

Ursache der unterschiedlichen Verdichtungsverläufe von Gesamtboden und Aggregaten ist die zweigipflige Häufigkeitsverteilung der Kornkontaktpunkte in aggregierten Böden (Hartge & Sommer, 1982). Die mittlere Kornkontaktpunktzahl zwischen den Aggregaten ist geringer als die Kontaktzahl innerhalb der Aggregate. Beim Aufbringen niedriger Laststufen wird bis zum Erreichen der Vorbelastung des Gesamtbodens die Kornkontaktpunktzahl kaum erhöht. Bei Überschreiten der Vorbelastung des Gesamtbodens erhöht sich zunächst die Kontaktzahl zwischen den Aggregaten und diese werden aneinander geschoben. Wird die Aggregatstabilität überschritten, kann es in dieser Phase zum Bruch der Aggregate kommen, ohne dass sich ihre Dichte dabei nennenswert ändert. Erst bei hohem Druck kann sich auch die Kontaktzahl in den Aggregaten erhöhen, verbunden mit einer Zunahme der Aggregatdichte. Aus der Häufigkeitsverteilung der Kornkontaktpunkte ist auch zu erklären, dass sich die mechanischen Vorbelastungen des Gesamtbodens und der Aggregate in Abhängigkeit der vorliegenden Dichteheterogenität differenzieren.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass bei mechanischen Belastungen über dem Wert der Vorbelastung des Gesamtbodens und unter dem der Aggregate

grundsätzlich eine potenzielle Regeneration durch Bearbeitungsmaßnahmen möglich erscheint, weil die Aggregate noch nicht oder nur sehr gering beeinträchtigt sind. Aus ökonomischer Sicht ist dieser Aufwand meist jedoch sehr hoch und die Nachhaltigkeit dieser Maßnahmen nicht immer gewährleistet. Die Verdichtung bei Überschreitung der Vorbelastung der Aggregate ist durch Bodenbearbeitungs- und pflanzenbauliche Maßnahmen nicht zu regenerieren.

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.

DIN 18135 (1999): Eindimensionaler Kompressionsversuch - Baugrund, Untersuchung von Bodenproben.

DIN ISO 11274 (2001): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens.

Hartge, K.-H. & C. Sommer (1982): Einfluss der Bodenentwicklung auf den Zusammenhang zwischen Lagerungszustand und vertikaler Spannung im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 145, 25-35.

Horn, R. & J. Rostek (2000): Subsoil compaction processes - state of knowledge. Advances in GeoEcology 32, 44-54.

Rücknagel, J., Hofmann, B., Paul, R., Christen, O. & K.-J. Hülsbergen (2007): Estimating precompression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density. Soil & Tillage Research 92. 213-220.

Rücknagel, J., Brandhuber, R., Hofmann, B., Lebert, M., Marschall, K., Paul, R., Stock, O. & O. Christen (2010): Variance of mechanical precompression stress in graphic estimations using the Casagrande method and derived mathematical models. Soil & Tillage Research 106, 165-170.

STATSOFT, INC. (2009): Statistica für Windows (Software-System für Datenanalyse), Version 9.0. www.statsoft.com.