

**Tagungsbeitrag zu: DBG Jahrestagung.  
Kommission V, Thema 20**  
**Tagung: Jahrestagung der DBG,  
3. bis 9. September 2011, Berlin.**  
**Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation)**  
<http://www.dbges.de>

### **Methodischer Vergleich zur Bestimmung von Volumina unregelmäßig geformter Aggregate/Bodenkörper**

*Uteau Puschmann D.<sup>1</sup>, Pagenkemper S. K.,  
Peth S., Horn R.*

#### **Zusammenfassung**

Das Bezugsvolumen bodenphysikalischer und chemischer Kenngrößen von strukturierten Bodenproben basiert häufig auf Stechzylinderentnahme (geometrischer Körper). Auf der Aggregatebene dagegen ist eine Volumenbestimmung durch die unregelmäßige Form deutlich schwerer und mit größerer Ungenauigkeit behaftet. Daher wurden in einem Methodenvergleich die Grenzen der Bestimmungsgenauigkeit von vier Verfahren zur Messung von Aggregatvolumina ermittelt: paraffinhüllte Tauchwägung, automatisiertes Dry-Flo Pyknometer, 3D-Laser-Scanner und Mikro-Computer Tomographie.

Alle Methoden liefern verlässliche Ergebnisse über das Aggregatvolumen, wobei Pyknometer und 3D-Laser-Scanner die Aggregatvolumina leicht überschätzen. Wesentliche Vorteile des 3D-Laser-Scanners und der Mikro-Computer Tomographie sind der Gewinn zusätzlicher Parameter wie z.B. Oberflächenrauigkeit und Achsenverhältnisse, die für weitere Fragestellungen von Interesse sein können (z. B. Sorptionsoberflächen oder Aggregatstabilität bei crushing tests). Vor- und Nachteile der Methoden und potentielle Anwendungsmöglichkeiten werden diskutiert.

**Key Words:** Aggregat-Volumen, Nicht invasive Volumenmessung, Laser-Scanner, Mikro-Computer Tomographie

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118, Kiel.

#### **Einleitung**

Die Untersuchung von Aggregaten oder Bodenkörpern ist für viele Fragestellungen wichtig, um z. B. die Zugänglichkeit oder das in Aggregaten gespeicherte Wasser, Nährstoffe oder auch organische Substanz zu quantifizieren. Da dafür die Kenntnis der Aggregatlagerungsdichte erforderlich ist, muss die möglichst zerstörungsfreie Volumenbestimmung schnell, einfach und dabei auch noch reproduzierbar erfolgen. In der Regel werden Tauchwägungen eingesetzt, die lediglich die Bestimmung des Volumens aber keiner weiteren Parameter (z. B. Oberflächen-Beschaffenheit, Morphologie) erlauben. Da die Technik weit fortgeschritten und verfügbar ist, sollte getestet werden welche Methoden sich am besten für die Gewinnung von Aggregatsparametern eignen.

#### **Methoden**

Aggregate aus dem Oberboden eines Calcic Chernozem in der Inneren Mongolei (China) wurden entnommen und in Größenklassen von 5–10, 10–20 sowie 20–30 mm Durchmesser unterteilt. Die Aggregate wurden mittels vier Methoden untersucht und die Ergebnisse verglichen: 1) paraffinhüllte Tauchwägung, 2) automatisiertes Dry-Flo Pyknometer (Micromeritics® INC), 3) 3D-Laser-Scanner (NextEngine®) und 4)  $\mu$ -Computer Tomographie (XMCT, GE®). Als Referenz wurde die Messungen mit XMCT angenommen.

Für die Tauchwägung werden die Aggregate mit flüssigem Paraffin umhüllt. Nach dem Trocknen werden sie in Wasser eingetaucht und die Volumenänderung des Wassers gravimetrisch bestimmt.

Beim Dry-Flo Pyknometer, umhüllt ein Pulver aus Mikrogasperlen die Aggregate in einer Glaskammer. Ein Stempel drückt das Pulver vibrierend an die Aggregatoberfläche. Da das Volumen der Kammer bekannt ist kann eine Volumenänderung gemessen werden, sobald der Stempel nicht weiter hineingedrückt werden kann.

Der 3D-Laser-Scanner ist eine optische Methode, bei der ein Laserstrahl die Oberfläche des Objektes aus verschiedenen

Winkeln trifft. Jeder Punkt kann über einen Lasersensor in einem 3D-Koordinatensystem dargestellt werden. Nach einer Rotation wird eine 3D-Rekonstruktion erstellt, aus der über einen Algorithmus Volumen und Oberfläche berechnet werden können.

Im XMCT Verfahren wird eine dichteabhängige Röntgenstrahlabsorption erfasst, woraus eine 3D-Rekonstruktion der Probe erstellt werden kann. Nach der Freistellung der Rekonstruktion lassen sich Aggregatoberfläche und Volumen berechnen.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass sich alle vier Methoden für eine Bestimmung des Aggregatvolumens eignen, was durch gleich hohe Bestimmtheitsmaße ausgedrückt ist (Abb. 1).

Die Analyse der Aggregate mit dem 3D-Laser-Scanner zeigt insgesamt über alle Größenklassen allerdings eine Überschätzung des Volumens. Dies lässt sich dadurch begründen, dass bei dieser optischen Messmethode die Rauigkeit der Oberfläche nur bis zu einem gewissen Grad berücksichtigt wird. Auch das Dry-Flo Pyknometer neigt zu einer Überschätzung des Volumens, während die Anwendung der Tauchwägung in Abhängigkeit der Größenklassen das Volumen über bzw. unterschätzt (Abb. 2). Dies lässt sich dadurch erklären, dass die größeren Aggregate von außen zugängliche Hohlräume haben, die sich beim Eintauchen mit Wasser füllen, was für die kleineren Klassen nicht zutreffend ist, da hier das Paraffin die kleineren Hohlräume auskleidet.

Die Klasse 5–10 mm lässt sich mit der Tauchwägung ( $\sigma = 5,2$ ) im Vergleich zu Dry-Flo Pyknometer ( $\sigma = 10,8$ ) und 3D-Laser-Scanner ( $\sigma = 10,9$ ) besser erfassen. Für Aggregate > 10 mm Durchmesser liefert der 3D-Laser-Scanner Werte mit der geringsten Abweichung im Vergleich zum XMCT Bezugsvolumen. Ebenso zeigt die Tauchwägung eine bessere Übereinstimmung mit den XMCT-Daten als das Dry-Flo Pyknometer (Abb. 2).

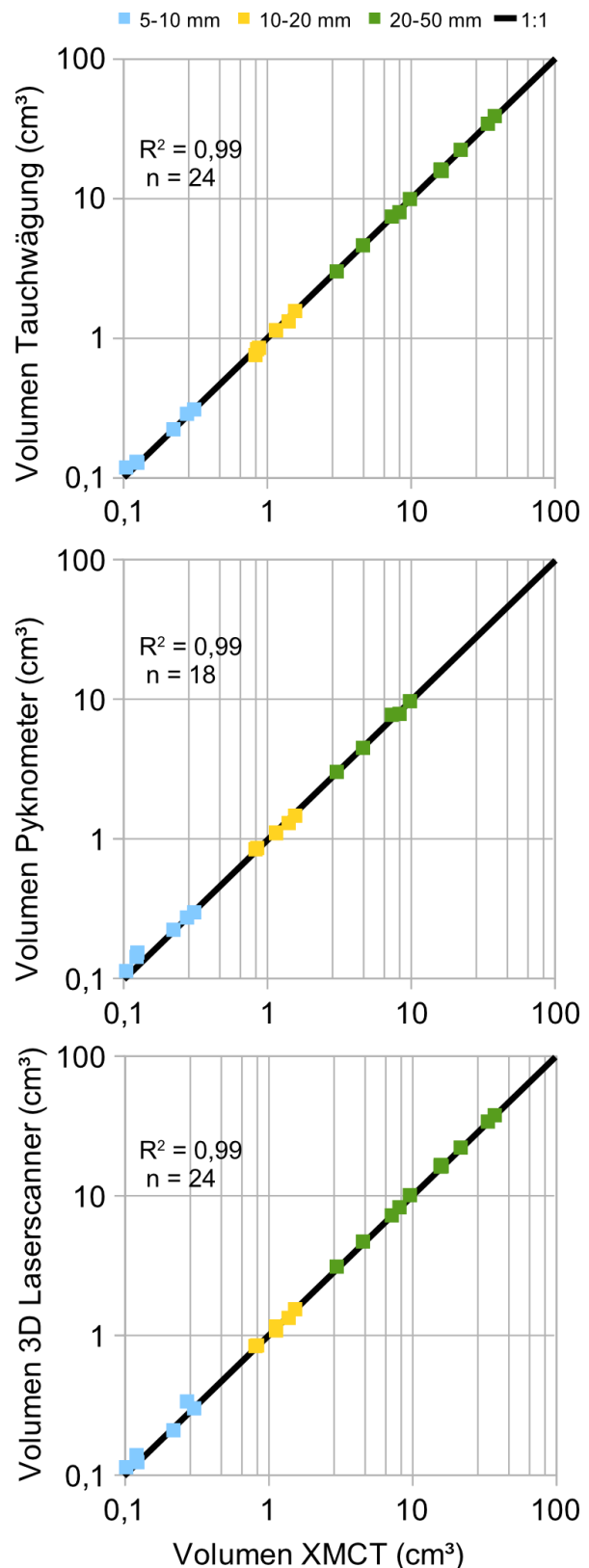


Abb. 1. Volumenvergleich von Tauchwägung, Pyknometer und 3D-Laser-Scanner gegenüber XMCT

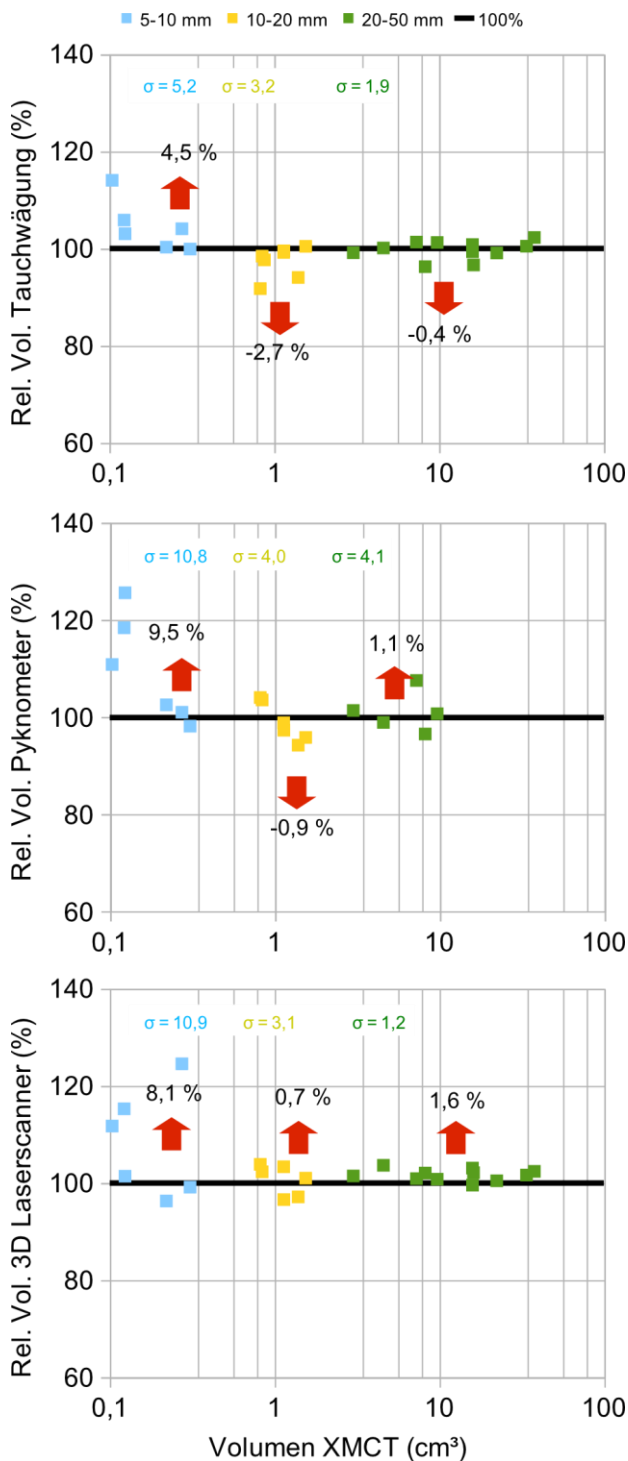


Abb. 2. Relatives Volumen gemessen von Tauchwägung, Pyknometer und 3D-Laser-Scanner gegenüber XMCT.

Obwohl die Tauchwägung gute Werte liefert, zeigen sich allerdings gegenüber 3D-Laser-Scanner und XMCT Einschränkungen bei der Bestimmung weiterer Parameter, die bei Aggregatuntersuchungen zusätzliche Interpretationen ermöglichen. Tabelle 1 fasst Einschränkungen sowie po-

tenzielle Anwendungsmöglichkeiten der Methoden zusammen.

Tabelle 1. Mögliche Anwendungen und Einschränkungen der Methoden

	Tauchwägung	Dry-Flo-Pyknometer	3D-Laser-Scanner	XMCT
Volumina	✓	bis 35 mm Ø	✓	✓
Nicht invasiv	✗	✗	✓	✓
Oberflächen	✗	✗	✓	✓
Geometrie	✗	✗	✓	✓
Geforderte Qualifikation	10 min Anweisung	20 min Anweisung	4 h Anweisung	Schulung
Zeitaufwand Messung	< 20 min	20 min	1 h	1,5 h
Kosten	sehr gering	hoch	mittel	sehr hoch

### Schlussfolgerung

Abhängig von der Fragestellung, dem Zeitaufwand sowie den anfallenden Kosten kann eine der Methoden für ein spezifisches Problem angewendet werden (Tab. 1). Wird eine Bestimmung weiterer Parameter der Objekte angestrebt (wie z. B. Oberfläche, Achsenverhältnisse usw.), sind die nicht invasiven Methoden: 3D-Laser-Scanner und XMCT zu empfehlen. Für eine Untersuchung von Aggregaten < 10 mm Durchmesser lassen sich ebenfalls XMCT und Tauchwägung hervorheben. Generell ist festzuhalten, dass nicht invasive Methoden immer von Vorteil sind, wenn die Aggregate anschließend noch weiter untersucht werden sollen.