



Vergleich von Verfahren zur Dichtebestimmung in Böden

Hannah Lena Mattheis

Dichtebestimmung im Feld – Ein Überblick

Für alle erstellten Erdbauwerke sind Dichtekontrollen erforderlich. Dabei werden vor allem auch direkte Dichtebestimmungen im Feld durchgeführt. Zur Erfolgskontrolle werden diese dann mit der Proctordichte oder der min. / max. Lagerungsdichten verglichen. Zur direkten Dichtebestimmung sind die nachfolgend aufgezählten Verfahren genormt (DIN 18125-2).

- Ausstechzylinderverfahren
- Ersatzverfahren (mittels Sand, Gips, Flüssigkeiten oder Densitometer)
- Schürftubenverfahren

In dieser Arbeit sollen die unterstrichenen Verfahren näher bezüglich ihrer Anwendbarkeit in unterschiedlichen Böden untersucht werden. Zudem sollen die Unsicherheiten der Verfahren herausgearbeitet und bewertet werden.

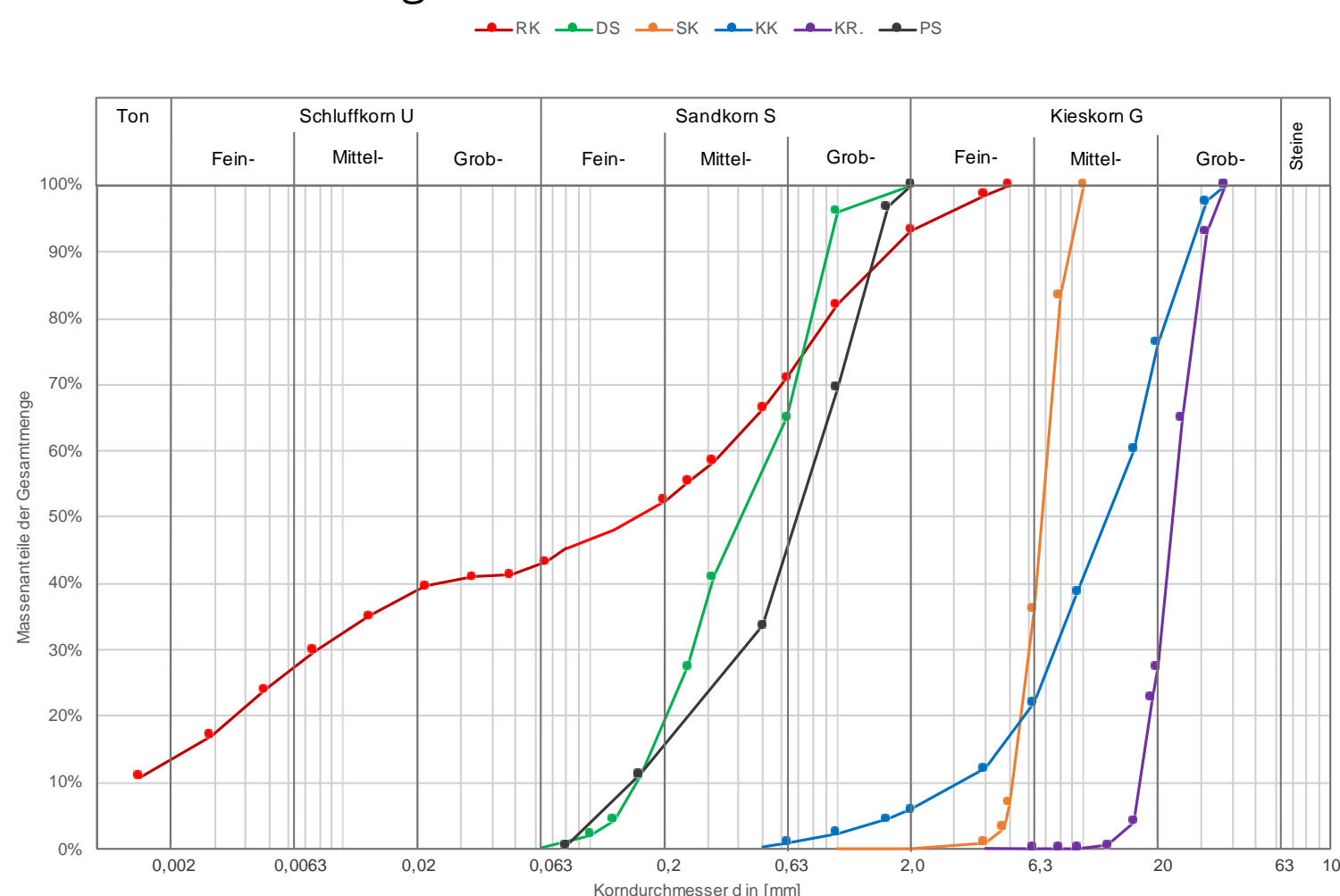


Abb. 1: Korngrößenverteilung der fünf Versuchsböden

Aufbau

Vorabgehend sind die fünf Versuchsböden zu klassifizieren. Es wurde ein gerundeter Kies (Abkürzung: KR; Bodengruppe: GE; Korngrößenbereich: 16-32 mm), ein kantiger Kies (KK; GE; 2-32 mm), ein kantiger Splitt (SK; GE; 5-8 mm), der Dresdner Sand (DS; SE; 0,16-1 mm), sowie ein feinkörniges Rohkaolin (RK; UM; 0,001-2 mm) untersucht. Zusätzlich werden zwei unterschiedliche Referenzformen hergestellt, um eine Auswertung der Versuchsergebnisse unter gleichbleibenden Wiederholbedingungen zu ermöglichen. Es wird je eine Ausgangssituation (ebene Oberfläche), sowie eine Prüfgrube benötigt. Die erste Referenzform (Abb. 2 links; Ref-1) wird dabei als idealer Zustand mit glatter Oberfläche realisiert, die zweite Referenzform (Abb. 2; Ref-2) wird aus Zementmörtel hergestellt und imitiert aufgrund der kiesbestückten Oberfläche (mittels KR) eine reale Bodenoberfläche. Aufgrund der festen Form lassen sich hier die Versuchsverfahren unter idealen Wiederholbedingungen anwenden, bei denen das Volumen der Prüfgrube anhand von Ersatzfüllstoffen bemessen wird.



Abb. 2: links: Prüfgrube der Referenzform 1 (Ref-1); rechts: Prüfgrube der Referenzform 2 (Ref-2)

Besonderheiten der Verfahren

Da die Dichte als Quotient von Masse und Volumen errechnet wird, ist ersteres mittels Wägung vergleichsweise einfach zu bestimmen, wohingegen die Bestimmung des Volumens sich oftmals als schwierig erweist. So sind auch bei den betrachteten Versuchsverfahren unterschiedliche Herangehensweisen zu vermerken.

Während bei den Ersatzverfahren (mittels Gips (G); Sand (S) und Membran + Wasser = Ballonverfahren (B), auch als Densitometer bezeichnet) ein Aushub einer Prüfgrube vorangeht, dessen Volumen durch Verfüllung eines Ersatzstoffes ermittelt wird, findet bei dem Ausstechzylinderverfahren (A) eine definierte Probenvolumenentnahme durch das Eintreiben eines Zylinders bekannten Volumens in den anstehenden Boden statt, dessen zugehörige Versuchsbodenmasse mittels Wägung bestimmt wird. Bedeutend ist hierbei eine möglichst ungestörte Probenentnahme, um Verfälschungen zu vermeiden.

Besondere Beachtung ist dem Sandersatzverfahren zu schenken, da eine Kalibrierung der verwendeten Schüttdichte am Prüfsand (PS; SE siehe Abb. 1) zur Ermittlung des Prüfgrubenvolumens unerlässlich ist. Mit Töpfen verschiedener Volumen und zugehörigen Aufsätzen wurden unterschiedliche Prüfgrubenvolumen nachgestellt. Die Abb. 3 zeigt die ermittelten Schüttdichten der Topf-Aufsatz-Kombinationen als Mittelwert und der aus 10 Wiederholungen bestimmten Mini- und Maximaldichten (Abb. 3). Es zeigt sich dabei eine deutliche Zunahme der Schüttdichte mit kleiner werdenden Prüfgrubenvolumen. Für alle nachfolgenden Versuche wurde eine Schüttdichte von 1,474 g/cm³ (in rot, unten rechts) verwendet, da der dafür verwendete Topf der DIN 18125-2 entsprach.

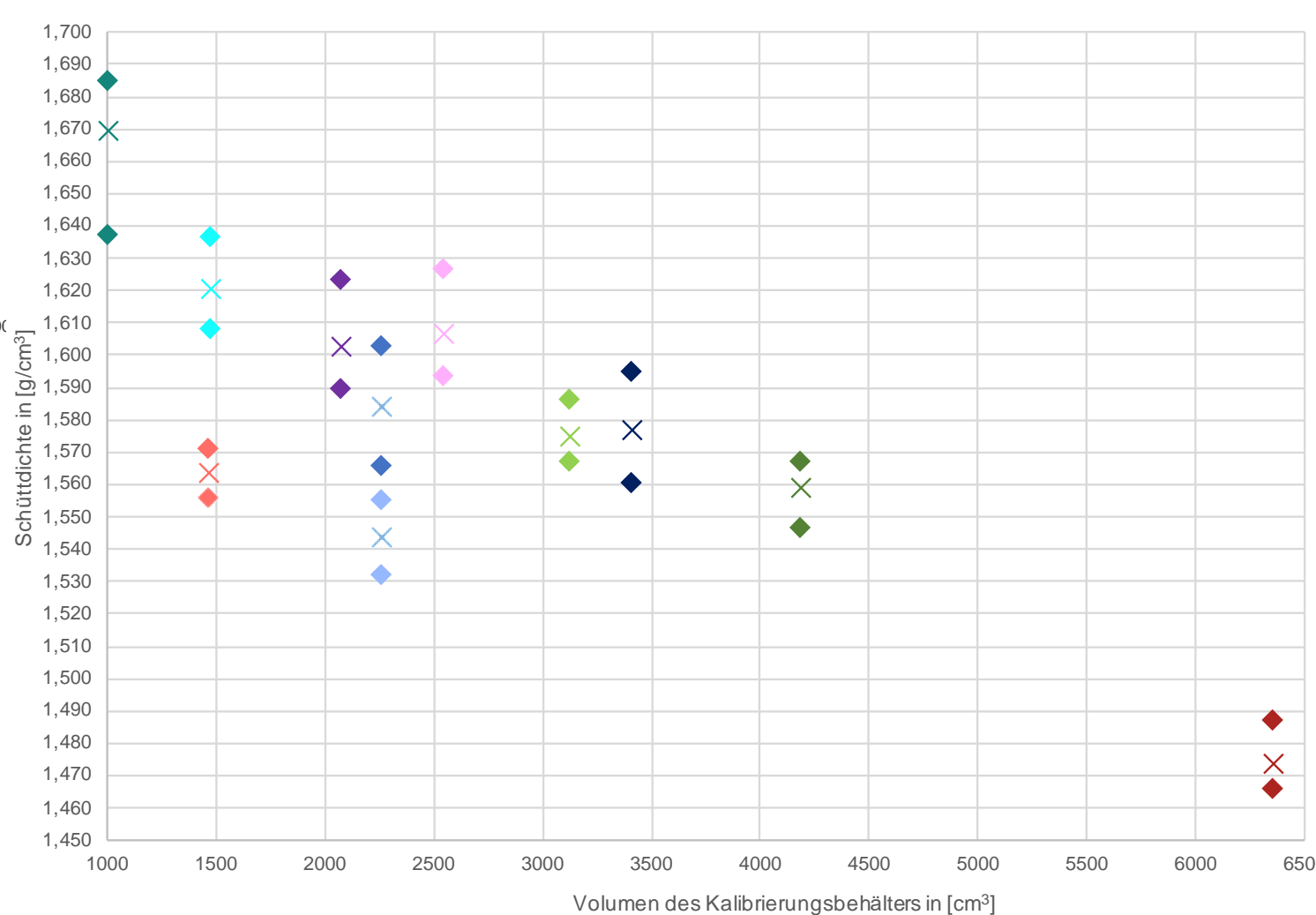


Abb. 3: Schüttdichten des Prüfsandes je nach Abmessung einer nachgestellten Prüfgrube

Das Densitometerverfahren ist aufgrund der Notwendigkeit einer Durchführung vor (Nullablesung) und nach dem Prüfgrubenaushub (Grubenablesung) ebenfalls genauer zu betrachten. Durch die Differenz der Null- und Grubenablesung an einer Skala, ermittelt sich anhand der bekannten Zylinderfläche das gesuchte Volumen. Das Anlegen der Membran an die Prüfoberfläche ist somit in der Versuchsdurchführung besonderer Beachtung zu schenken (vgl. Abb. 4). So kann beispielsweise ein unzureichendes Anlegen bei der Nullablesung bei gleichzeitig optimalen Anlegen an die Prüfgrube zu einem größeren Volumen im Vergleich zu dem realen Prüfgrubenvolumen bestimmt werden, eine geringere Dichte ist die Folge.

Beim Gipsersatzverfahren hat sich entgegen der in der DIN 18125-2 dargestellten Methode einer Prüfgrubenauskleidung mit in Öl getränktem Zellstoff, die Verwendung einer Haushaltsfolie als Methode mit deutlicher Reduktion der Unsicherheiten herausgestellt. Zudem sollte das genaue Gipsverhalten, insbesondere das Expansions- und Schwindverhalten bekannt sein.

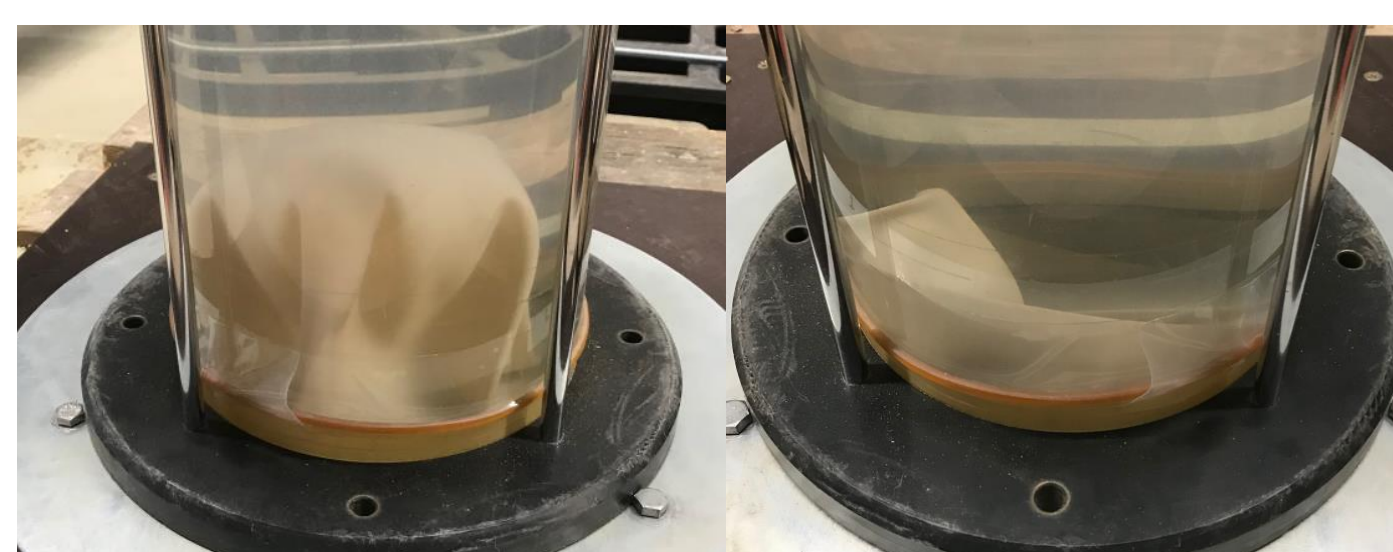


Abb. 4: Densitometerversuch bei der Nullablesung; links: unzureichend angelegte Membran; rechts: optimiertes Anlegen an die Prüfoberfläche

Übersicht der Versuchsergebnisse

Um eine differenzierte Verfahrensauswahl je nach anstehendem Boden treffen zu können, dient die im Anschluss an die Durchführung der Verfahren an den fünf Versuchsböden erstellte Tabelle (Tab. 1). Hier wird die Anwendbarkeit der Verfahren je nach Boden bewertet. Ein grünes Rechteck erhalten Verfahren mit einer guten Anwendbarkeit, gelb Verfahren mit einer guten Anwendbarkeit, aber einer großen Ergebnisgenauigkeit und rot zeigt eine ungenügende Anwendbarkeit des jeweiligen Verfahrens im Boden auf. Besonders zu beachten ist, dass diese Versuchsergebnisse lediglich auf den betrachteten Einbauzustand (lockere Lagerung der Versuchsböden im lufttrockenen Zustand; mit Ausnahme des feuchten Zustandes des Feinkorns (15% Wassergehalt) zurückzuführen sind (Abb. 5).

Tab. 1: Vergleich der Verfahren je nach anstehendem Boden

Boden	Kies mittel-grob	Kies mittel-fein	Sand	Feinkorn
A	rot	rot	gelb	grün
B	grün	grün	rot	grün
S	rot	gelb	grün	grün
G	gelb	grün	rot	grün

Die nachfolgende Tabelle stellt eine Übersicht der Verfahren hinsichtlich ihrer Standardabweichung (SDW) unter Wiederholbedingungen anhand der Referenzformen und nach der Norm, sowie ihrer aufgewendeten Arbeitszeit zur Durchführung in situ dar.

Tab. 2: Vergleich der Verfahren hinsichtlich der SDW und des Zeitaufwandes

Verfahren	Arbeitszeit in [min]	SDW nach DIN 18125-2 in [g/cm ³]	SDW Ref.1 in [g/cm ³]	SDW Ref.2 in [g/cm ³]
A	30 - 40	0,015	-	-
B	30 - 45	0,015	0,018	0,018
S	20 - 35 +Kalibrierung*	0,02	0,007	0,006
G	50 - 60	-	0,029	-

*einmalige Bestimmung der Schüttdichte und Masse unterhalb des Trichters insgesamt 20 min

Zusammenfassung

Tendenziell sind Unsicherheiten der ermittelten Dichten der unterschiedlichen Verfahren anhand der Versuchsböden im Zehntelbereich zu verzeichnen ($\pm 0,12 \text{ g/cm}^3$). Jedoch sind bei einigen Böden und Verfahren auch wesentlich größere Abweichungen beobachtet worden. Aufgrund dieser grundsätzlich eher unzureichenden Möglichkeiten und Unsicherheiten bei der Bestimmung der Dichte in Böden, ist eine genauere Betrachtung neuer Verfahren, z.B. mittels Laserscannings unabdingbar. Mit den bisher genormten Verfahren sollte das Verfahren an die anstehenden Bedingungen, sowie gesetzten Ziele der Dichtebestimmung angepasst sein. Die hier durchgeführte Arbeit zeigt die Anwendbarkeit einzelner Verfahren in unterschiedlichen Versuchsböden auf. Zudem wurden die Unsicherheiten der Verfahren untersucht.



Abb. 5: locker eingebauter Versuchsboden KR in Vorbereitung auf den Prüfgrubenaushub

Projekt

Projektarbeit 2019_23

Hochschullehrer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden

Wissenschaftliche Betreuung

Dipl. Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

Abgabe

März / 2020