

# Vergleichsuntersuchung zur Bestimmung der Dichte im Feld mit unterschiedlichen Prüfmethoden

Christian Eichholz

## Einleitung

Die Dichte des Baugrundes oder eines erdbautechnischen Bauwerkes spielt eine entscheidende Rolle bei der Bewertung der Standsicherheit. Durch eine dichtere Lagerung des Bodens erhöht sich die Scherfestigkeit und damit die Tragfähigkeit. Zudem verringern sich die Zusammendrückbarkeit und damit die Oberflächensetzungen. Die genaue Bestimmung der Dichte im Feld ist daher für die Qualitätssicherung und Bemessung von großer Bedeutung.

In dieser Arbeit wurden Vergleichsuntersuchungen verschiedener Dichtebestimmungen im Feld unter Betrachtung ihrer Anwendbarkeit, Genauigkeit und möglicher Fehlerquellen untersucht. Für fast alle Verfahren (außer Radiometrische Dichtebestimmung) ist das Vorgehen gleich. Es wird eine Grube ausgehoben und die Masse über eine Wägung bestimmt. Das ebenfalls noch zu bestimmende Volumen erfolgt dabei mit unterschiedlichen Geräten bzw. Methoden.



Abb. 1: Dichtebestimmung im Feld mit dem Ersatzverfahren (Ballongerät); Baustellenfoto: C.Eichholz

## Untersuchte Prüfmethoden

- **Radiometrische Dichtebestimmung:** Messung mit einer Troxler-sonde infolge Durchlaufs radioaktiver Isotope im Boden
- **Ballonverfahren (B):** Anlegen einer Gummibläse in der Prüfgrube und Ausfüllen des Volumens mit Wasser; Volumenbestimmung durch Höhenunterschied des Wassers in einem Kunststoffzylinder mit bekannter Querschnittsfläche, siehe Abb. 1;
- **Ausstechzylinderverfahren (Z):** Entnahme einer Bodenprobe mit einem dünnwandigen Stahlzylinder und Schneide mit bekanntem Volumen
- **Gipsersatzverfahren (G):** Ausgießen der Prüfgrube mit Gipsbrei und anschließende Volumenbestimmung am Gipskörper durch Tauchwägung (T) oder Überlaufverfahren (Ü); Überlaufverfahren wurde mit 3 Gefäßen unterschiedlicher Querschnittsfläche durchgeführt
- **Sandersatzverfahren (S):** Ermittlung des Grubenvolumens durch Befüllen mit einem Prüfsand bekannter Schüttdichte
- **Photogrammetrie:** 3D - Rekonstruktion der Prüfgrube durch Bildaufnahmen und Vermessung mittels der Software PIX4D



Abb. 2: Eingebauter Boden im Prüfgefäß

## Dichtebestimmung an Böden

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Dichtebestimmungen an den folgenden 3 verschiedenen Böden durchgeführt, um den Einfluss der Bodenart zu untersuchen:

- Dresdner Sand [DDS] (Bodengruppe DIN 18196: SE),
- Rohkaolin [RK]; (UM) und
- Kiessand [KS]; (GI).

Die Böden wurden jeweils in ein ausreichend großes Prüfgefäß eingebaut (siehe Abb. 2), um eine globale Nenn-dichte zu bestimmen. Anschließend erfolgten Dichteproofungen am eingebauten Boden mithilfe verschiedener Verfahren. Die Ergebnisse dieser Messungen wurden mit dem zuvor ermittelten Gesamtvolumen in Beziehung gesetzt.

Für jeden Boden wurden zwei Testreihen durchgeführt. In jeder Testreihe kamen die Troxler-sonde, das Ballonverfahren sowie – sofern technisch möglich – die Zylinderentnahme zur Anwendung (Letztere war beim grobkörnigen Kiessand nicht durchführbar). Zur zusätzlichen Ermittlung des Probenvolumens wurde in einer der beiden Reihen das Gipsersatzverfahren, in der anderen das Sandersatzverfahren angewendet. Da beide Verfahren die Messgrube dauerhaft verändern und eine Wiederverwendung ausschließen, musste je Testreihe auf ein der beiden Verfahren verzichtet werden.

Beim Ballonverfahren wurden zudem zwei unterschiedliche Geräte eingesetzt: eines der TPA Bad Hersfeld und eines der TU Dresden. Für die Auswertung wurden dabei jeweils zwei Varianten der Querschnittsfläche berücksichtigt – zum einen der vom Hersteller angegebene Standardwert (in Abb. 3 mit „Ang.“ bezeichnet), zum anderen ein individuell kalibrierter Wert („Kal.“).

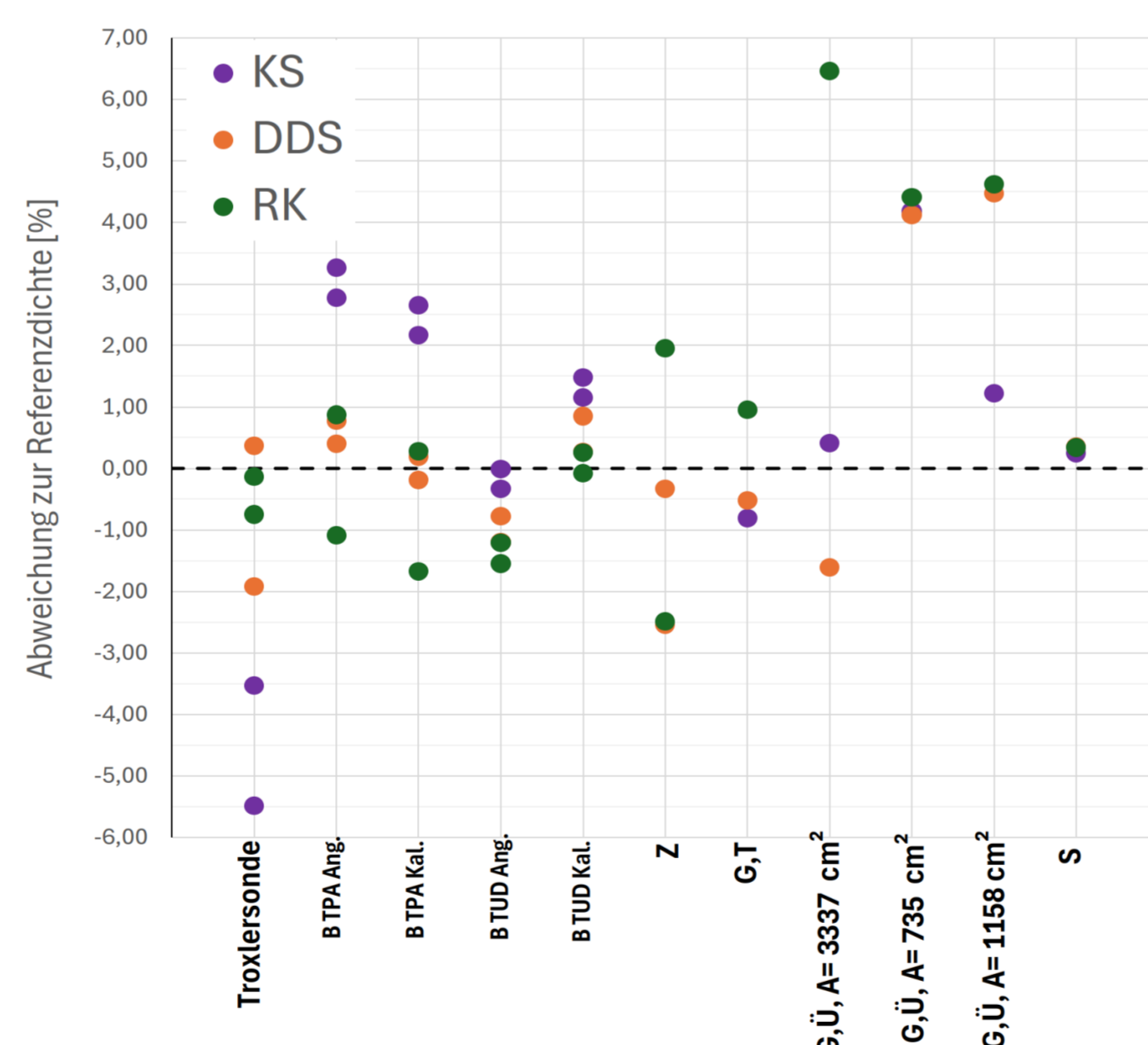


Abb. 3: Abweichungen der Dichtebestimmungen zur Referenzdichte (globale Dichte) je Boden; Bezeichnungen der Abszisse und Legende siehe Abschnitte Untersuchte Prüfmethoden und Dichtebestimmung an Böden

## Weitere Fehlereinflüsse

In der Arbeit wurden gezielte Fehlereinflüsse untersucht. Insbesondere ist die Beeinflussung der Dichte durch Fremdkörper im Boden bei der radiometrischen Messung mit der Troxler-sonde beleuchtet wurden. Da während der Bearbeitung zudem große Abweichungen der Ergebnisse infolge der Volumenmessung eines Gipskörpers mit dem Überlaufverfahren festgestellt wurden, ist dieses Verfahren genauer betrachtet wurden. Weiterhin wurde das Expansionsverhalten von Gips durch Laser- vermessung untersucht. Abschließend wurde der notwendige Kraftaufwand und das Verformungsverhalten der beiden Ballongeräte verglichen, was den Aspekt der Gerätewartung in den Vordergrund stellte.

## Zusammenfassung

Beim Sandersatzverfahren werden die genauesten Ergebnisse erzielt. Die Abweichungen zur Nenn-dichte betragen bei jedem Boden < 0,5 %. Jedoch ist das Verfahren anfällig gegen Erschütterungen und Witterung. Weiterhin ist die Herstellung des Prüfsandes sehr aufwändig. Durch das Ballongerät werden Ergebnisse mit tolerierbaren Abweichungen am Sand und Rohkaolin detektiert. Jedoch wird beim Kiessand die mit dem Ballongerät ermittelte Dichte erheblich überschätzt. Die Gerätewartung nimmt eine bedeutende Rolle ein, was die Untersuchung mit den verschiedenen Geräten gezeigt hat. Ein schwer gangbares Gerät benötigt bei der Bedienung einen großen Kraftaufwand, wodurch sowohl Verformungen des Kunststoffzylinders (Querschnittsfläche) als auch der Prüfgrube resultieren können. Auch die Kalibrierung der Querschnittsfläche des Gerätes ist anfällig auf Fehler. Mit dem Gipsersatzverfahren wird eine hohe Genauigkeit erzielt, wenn das Volumen des Gipskörpers mittels Tauchwägung bestimmt wird. Die Verformungsunbeständigkeit des Gipses hat einen großen Einfluss auf die Volumenbestimmung. Das Überlaufverfahren zur Volumenbestimmung ist sehr fehleranfällig. Mit der Troxler-sonde werden am Kiessand zu niedrige Dichten detektiert. Offenkundig verhindert der größere Hohlraum, insbesondere an der Bodenoberfläche (Sondenaufgabe), eine genaue Messung. Zudem haben Fremdkörper (Metalle, Kunststoffe, Holz) im Boden einen großen Einfluss auf die Messung (siehe Abb. 4). Weiterhin nimmt der Randeinfluss eine bedeutende Rolle bei der Messung ein. Die Methode mittels Photogrammetrie scheint für die vorliegenden kleinen Prüfgruben zu fehleranfällig zu sein. Allerdings besteht für das Verfahren das Potential eine Alternative für das Schürfgrubenverfahren zu sein. Die Tabelle 1 fasst alle Erkenntnisse nochmals kompakt zusammen.

Tab. 1: Bewertung der Untersuchungsmethoden

Verfahren	Eignung Sand	Eignung Rohkaolin	Eignung Kiessand	Beeinflussende Faktoren
Zylinder	Bedingt geeignet	Mäßig geeignet	Nicht geeignet	Bodenart; Lagerungsdichte
Ballon	Gut	Gut	Mäßig – schlecht	Kalibrierung; Gerätewartung
Sandersatz	Sehr gut	Sehr gut	Sehr gut	Erschütterungs-empfindlich; Witterung
Gips	Gut	Gut	Gut	Expansion vom Gips
Troxler	Gut	Sehr gut	Nicht geeignet	Fremdkörper; Bodenart; Chemismus

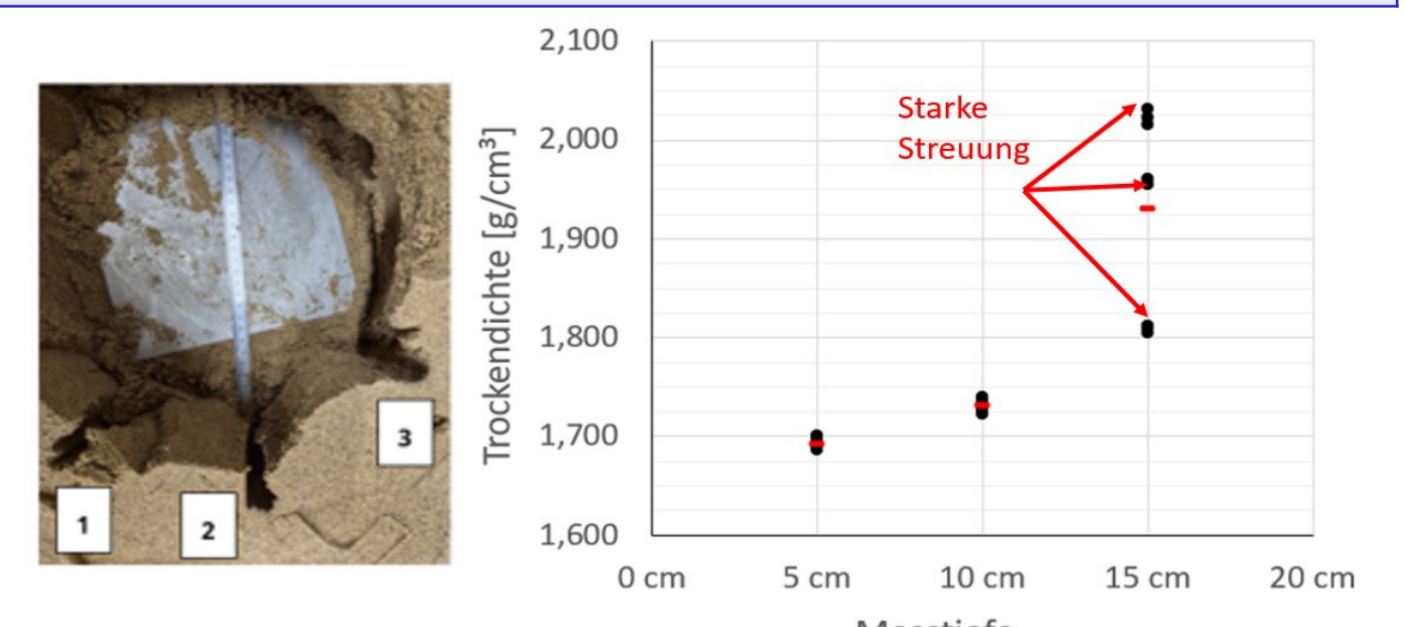


Abb. 4: Einfluss einer Stahlplatte in 12 - 14 cm Tiefe auf die Troxler-sondenmessung

## Projekt

Bachelorarbeit

## Hochschullehrer

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

## Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Markus Uhlir, TU Dresden

## Abgabe

Februar 2025