

## Referenz-Trockendichten in grobkörnigen Böden

### Reference dry densities in coarse grained soils

Stephan Čejka

#### Einleitung

Für Bauprojekte (z.B. im Straßenbau oder Bahnbau) sind Verdichtungsnachweise notwendig. Dafür werden auf der Baustelle in Feldversuchen ermittelte Trockendichten mit im Labor bestimmten Referenzdichten verglichen. Als Referenzdichten dienen üblicherweise die maximale Lagerungsdichte, bestimmt mit der Schlaggabel oder dem Rütteltisch, oder die Proctordichte. Diese Referenzdichten sowie, die Verdichtbarkeit von Böden, hängen von verschiedenen Eigenschaften des Bodens ab. Diese Abhängigkeiten der Referenz-dichten zu anderen Korneigenschaften (Größe und Form) werden in dieser Arbeit untersucht. Dafür werden die Referenzdichten und Korneigenschaften von sechs grobkörnigen Materialien untersucht und die Versuchsergebnisse, die Ergebnisse des Institutes für Geotechnik (IGT) sowie Literaturwerte zusammengetragen. Die gesammelten Werte werden dann auf Zusammenhänge und Abhängigkeiten überprüft.

#### Kornformanalyse

Die Kornformanalyse erfolgt mit Hilfe eines Partikelmessgerätes (Fritsch ANALYSETTE 28 Imagesizer), welches in Abb. 1 dargestellt ist. Das Gerät fotografiert die in das Gerät rieselnden Partikel ab und wertet die dabei entstehenden Bilder automatisch aus. Damit können Kornformigenschaften bestimmt sowie eine Korngrößenverteilung aufgestellt werden.



Abb. 1: Korngrößenverteilung: Vergleich Siebung und Analysette.  
Quelle: Fritsch: Betriebsanleitung PARTIKELMESSGERÄT ANALYSETTE 28 IMAGESIZER

#### Versuchsböden

Die in dieser Arbeit untersuchten Materialien sind im Folgenden beschrieben:

- 2021\_26\_QS Quarzsand 0,1/0,3 *fsa'MSa*
- 2021\_26\_DDS Dresdener Sand *fsa'csa\*MSa*
- 2021\_26\_FS Filtersand 1,0/1,6 *CSa*
- 2021\_26\_RKG Rohkaolin grob *grSa*
- 2021\_26\_BS Brechsand 0/15 *si'sa\*Gr*
- 2021\_26\_SpF Splitt 5/8 *fgr\*MGr*

In Abb. 2 sind die Korngrößenverteilungen der Versuchsböden dargestellt. Dabei sind zum Vergleich die Ergebnisse der Siebanalyse und des Partikelanalysegerätes gegenübergestellt. Die Korngrößenverteilungen liegen sehr nah beieinander, lediglich beim Rohkaolin (gelb dargestellt) ist eine Abweichung erkennbar.

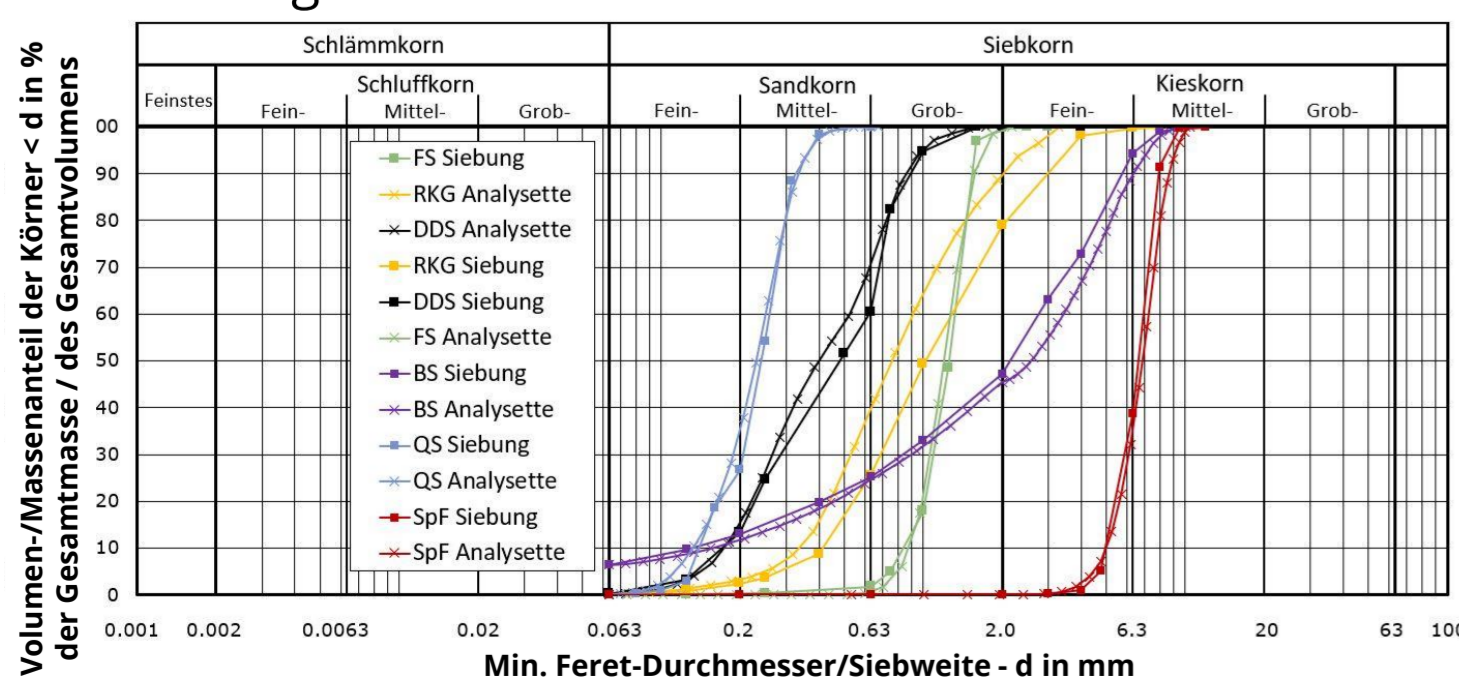


Abb. 2: Korngrößenverteilung: Vergleich Siebung und Partikelmessgerät

#### Bestimmung der Proctordichte

Die Proctordichten werden nach DIN 18127 bestimmt und die Proctorkurven sind in Abb. 3 dargestellt. Für den Brechsand (BS), welcher der einzige Versuchsboden mit Feinanteil ist, kann eine klassische Proctorkurve gebildet werden. Die anderen Kurven verlaufen nahezu waagrecht, was darauf hindeutet, dass der Wassergehalt beim Proctorversuch für rein grobkörnige Böden irrelevant ist.

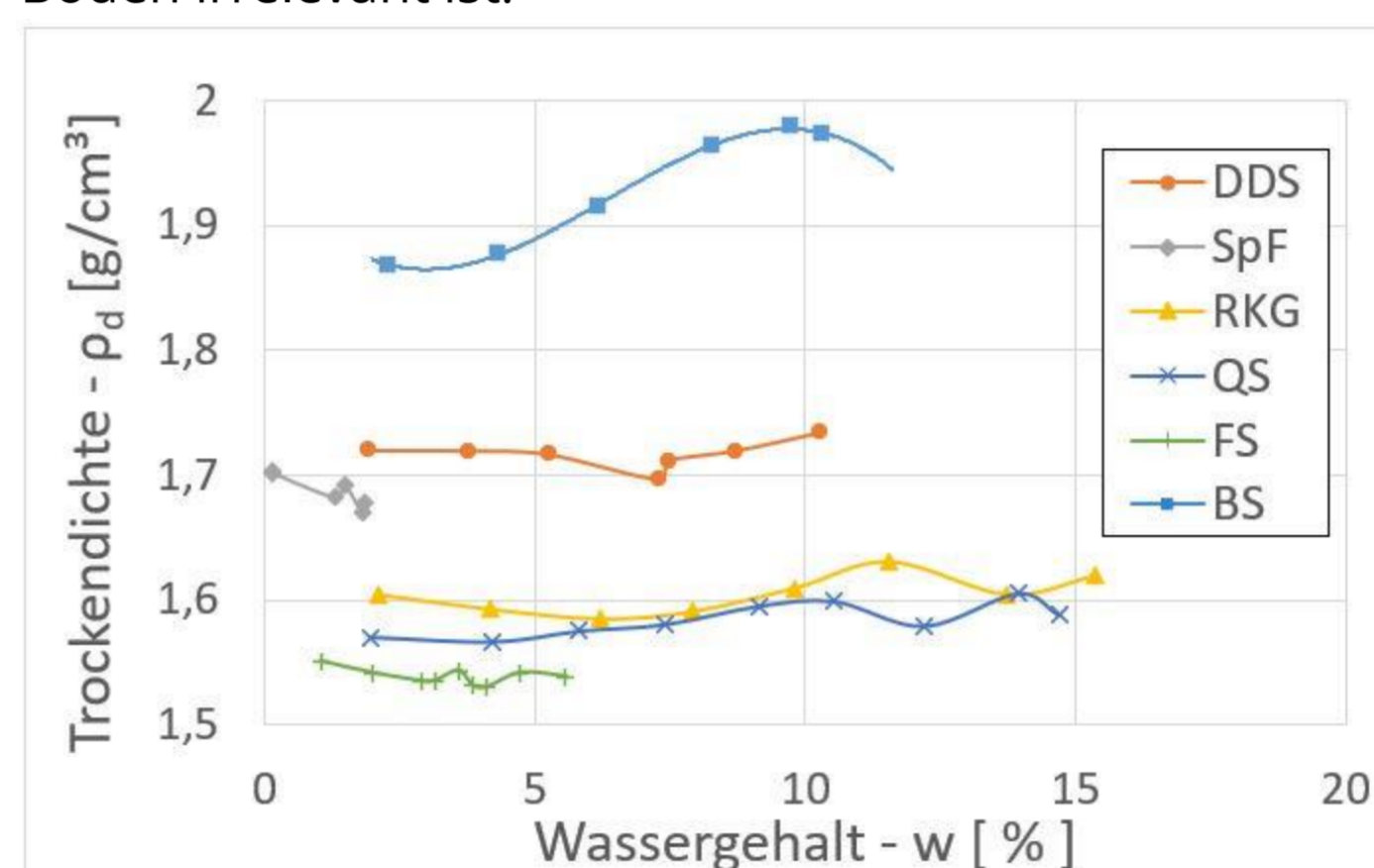


Abb. 3: Proctorkurven der Versuchsböden

#### Vergleich: Schlaggabel – Rütteltisch

Im Vergleich der Verdichtungsmethoden konnte bestätigt werden, dass der Schlaggabelversuch nur für Körnungsbereiche, welche in DIN 18126 definiert sind, zuverlässige Ergebnisse liefert.

#### Referenzdichten zur Ungleichförmigkeit

Die gesammelten Daten (Versuchsergebnisse, Daten des IGT und Literaturwerte) werden auf Zusammenhänge geprüft. So sind in Abb. 4 die Referenzdichten (Proctordichte -  $\rho_{Pr}$  und max. Lagerungsdichte -  $\rho_{d,max}$ ) über die Ungleichförmigkeit  $C_u$  abgebildet. In dem Diagramm ist die max. Lagerungsdichte blau und die Proctordichte orange dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass mit zunehmendem  $C_u$  auch die Trockendichte zunimmt. Dieser Anstieg beginnt stark und flacht bei großem  $C_u$  ab. Für die Referenzdichten sind Trendlinien abgebildet. Für diese fällt auf, dass bei niedrigerem  $C_u$  die max. Lagerungsdichte und bei hohem  $C_u$  die Proctordichte höher ausfällt. Das Abflachen des Anstiegs der Trockendichte über  $C_u$  sowie der Schnittpunkt der Trendlinien der Referenzdichten liegt in einem ähnlichen Bereich von  $C_u = 17...25$  in Abhängigkeit von der Darstellung und dem ausgewerteten Datensatz.

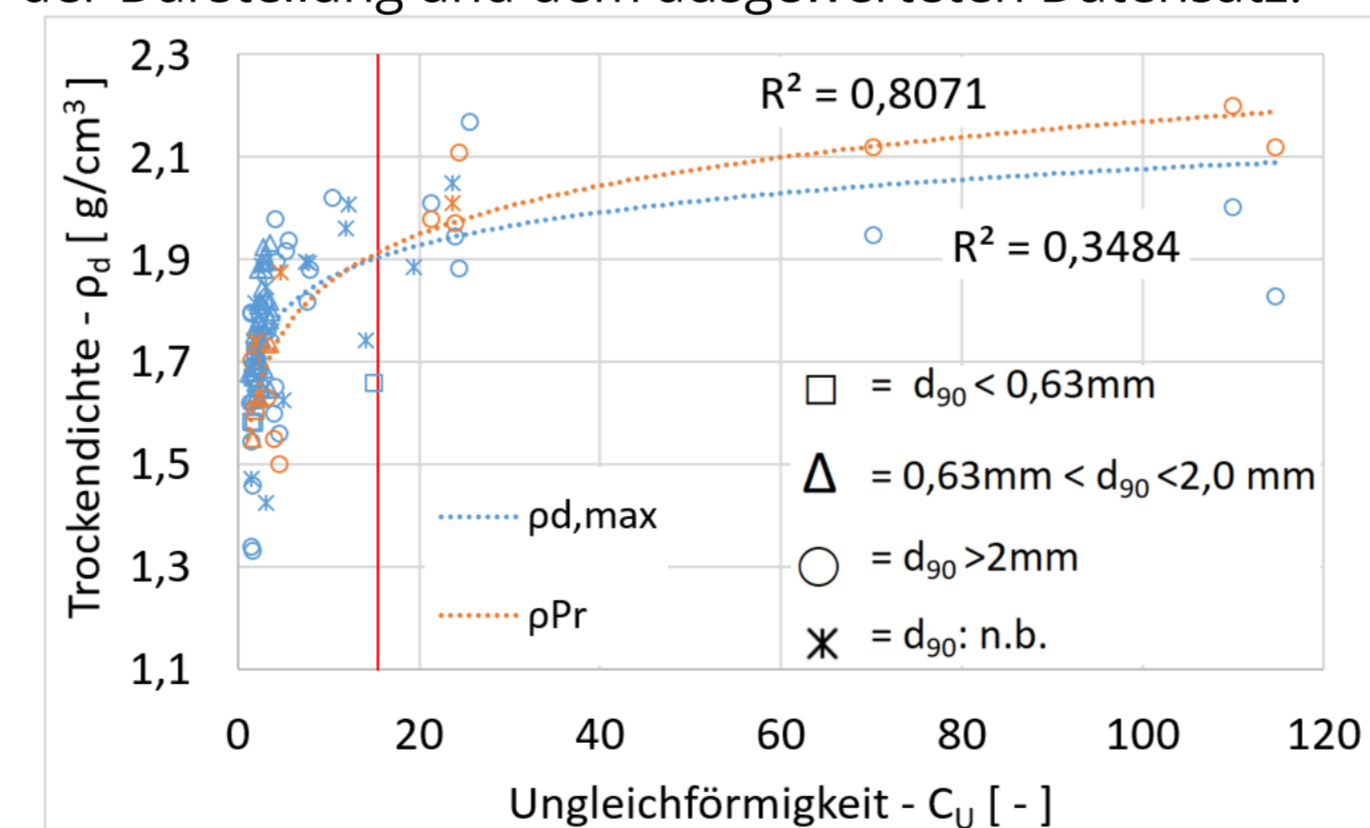


Abb. 4: Zusammenhang zwischen den Referenzdichten (Proctordichte -  $\rho_{Pr}$  und max. Lagerungsdichte -  $\rho_{d,max}$ ) und der Ungleichförmigkeit -  $C_u$

Datengrundlage: Eigene Versuchsergebnisse, Daten des IGT, Jänke et al (1975)

#### Einfluss von Kornformigenschaften

Zur Beurteilung des Einflusses der Kornformigenschaften wurden

- das Feret-Seitenverhältnis AR
- die Umfang-Zirkularität  $S_p$
- die Konvexität  $C_x$

als Kornformparameter gewählt. In Abb. 5 ist die

Differenz der Grenzporozahlen ( $\Delta e$ ), welche Aufschluss über die Verdichtbarkeit eines Bodens gibt, mit dem Feret-Seitenverhältnis abgebildet. Dabei fällt auf, dass mit sinkendem AR die Verdichtbarkeit zunimmt. Dies bedeutet, dass mit abnehmender Kugeligkeit die Verdichtbarkeit zunimmt. Dieser Trend ist auch im Bezug auf die anderen Kornformparameter zu erkennen, aber beim Feret-Seitenverhältnis am deutlichsten, weswegen nur dies hier abgebildet ist. Diese Tendenz ist unabhängig vom mittleren Korndurchmesser ( $d_{50}$ ) und der Ungleichförmigkeit zu erkennen.

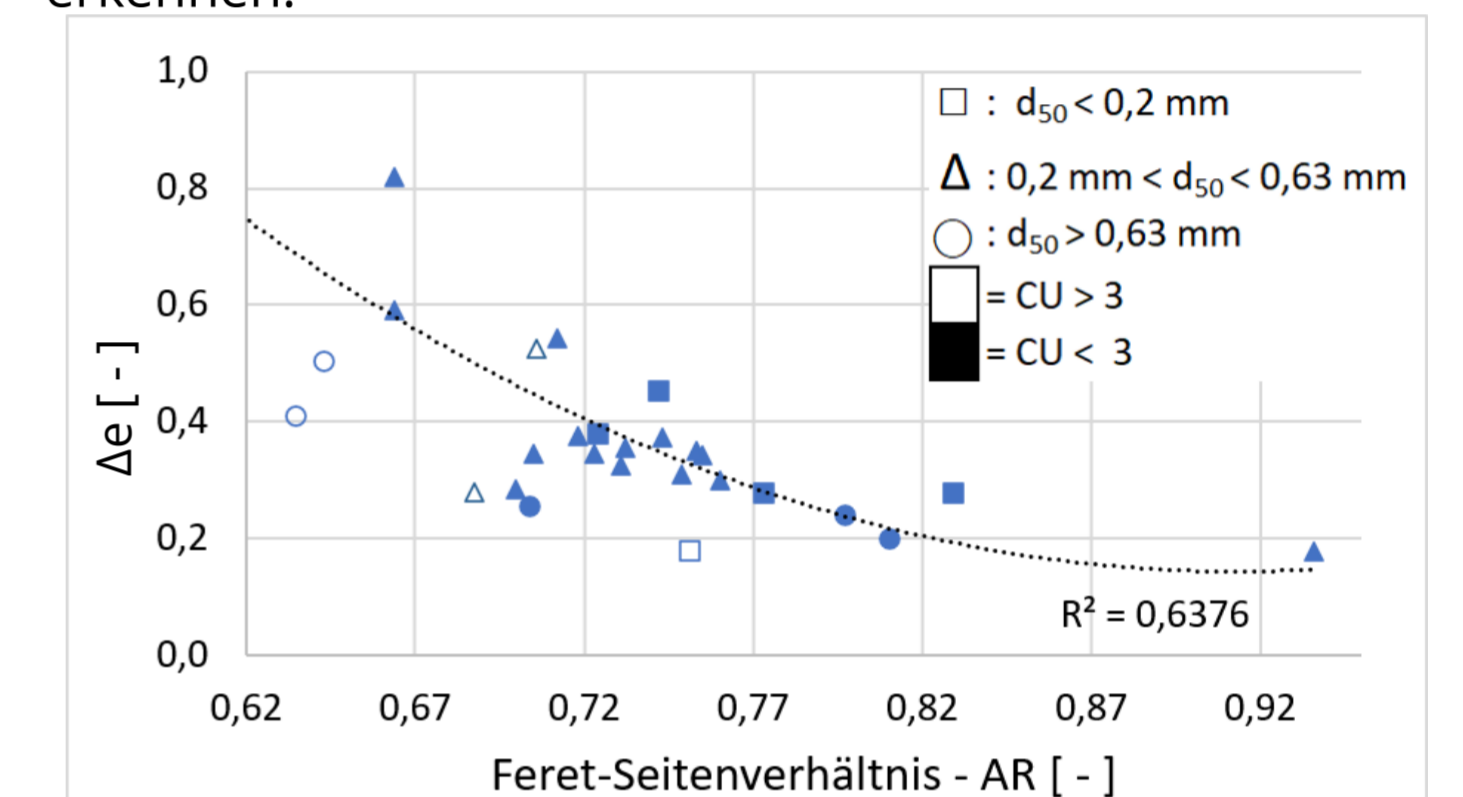


Abb. 5: Verhältnis der Differenz der Grenzporozahlen ( $\Delta e$ ) zum Feret-Seitenverhältnis (AR)

Datengrundlage: Eigene Versuchsergebnisse, Altuhaifi et. Al. (2016)

#### Zusammenfassung

Im Vergleich der Korngrößenverteilung durch Siebanalyse und Partikelmessgerät sind die Ergebnisse von fünf von sechs Proben nahezu identisch. Dies lässt das Partikelmessgerät als zuverlässiges Werkzeug zur Bestimmung der Korngrößenverteilung erscheinen.

Bei Betrachtung der Ergebnisse des Proctorversuchs fällt auf, dass Versuchsböden ohne Feinanteil keine klassische Proctorkurve mit einem ausgeprägtem Peak entwickeln.

Das Verhältnis von maximaler Lagerungsdichte zur Proctordichte scheint von der Ungleichförmigkeit abhängig zu sein. Bei großen Ungleichförmigkeiten kann mittels des Proctorversuchs eine bessere Verdichtung erzielt werden und bei geringen Ungleichförmigkeiten mittels des Versuchs zur Bestimmung der max. Lagerungsdichte. Dabei liegt der Schwellwert ab welchen die maximale Lagerungstrockendichte oder die Proctordichte höher ist, für  $C_u$  zwischen 17 und 25.

Außerdem ist ein Zusammenhang zwischen der Verdichtbarkeit und Kornformigenschaften zu erkennen, so nimmt die Verdichtbarkeit mit zunehmender Kugeligkeit ab.

#### Ausblick

Aufbauend auf dieser Arbeit könnte untersucht werden, ab welchem Feinanteil bei einem Proctorversuch eine klassische Proctorkurve entsteht. Zusätzlich könnte untersucht werden, ob der Feinanteil bei gemischtkörnigen Böden entscheidend für das Verhältnis von Proctordichte zu max. Lagerungsdichte ist, indem aus dem gleichen Material künstliche unterschiedliche Korngemische erstellt und untersucht werden. Außerdem sollten noch mehr Proben mit  $C_u$  größer 20 untersucht werden, um die Tendenz zu überprüfen, dass in diesem Bereich die Proctordichte höher ausfällt, als die max. Lagerungsdichte.

**Projekt**  
Projektarbeit

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

**Wissenschaftliche Betreuung**  
Dr.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

**Abgabe**  
Februar 2022