

Einflussfaktoren bei der Bestimmung der Korngrößenverteilung

(Factors of influence during the determination of grain size distribution)

Theo Zschernig

Einleitung

Schlammversuche zur Bestimmung der Korngrößenverteilung (KGV) feinkörniger Böden gehören zu den am häufigsten durchgeführten Versuchen in geotechnischen Laboren. Dafür werden aus den Bodenproben homogene Suspensionen hergestellt und die Sedimentationsvorgänge deren Körner analysiert. Standardmäßig kommen dabei manuelle Verfahren, die jedoch sehr arbeits- und zeitintensiv sind, zum Einsatz. Um dem entgegenzuwirken, wurden teil-automatisierte Verfahren entwickelt. Ziel der Arbeit soll es sein, diese verschiedenen Verfahren miteinander zu vergleichen, Aussagen zur Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit dieser Versuche zu treffen, sowie Einflussfaktoren auf die Versuchsergebnisse zu identifizieren. Anhand drei verschiedener Versuchsböden sollen dafür verschiedene Versuchsreihen geplant und durchgeführt werden. Die zur Verfügung stehenden Böden sind dabei der Graupziger Löss (SiL), Technisches Kaolin (CIM) und der Guttauer Ton (ClV).

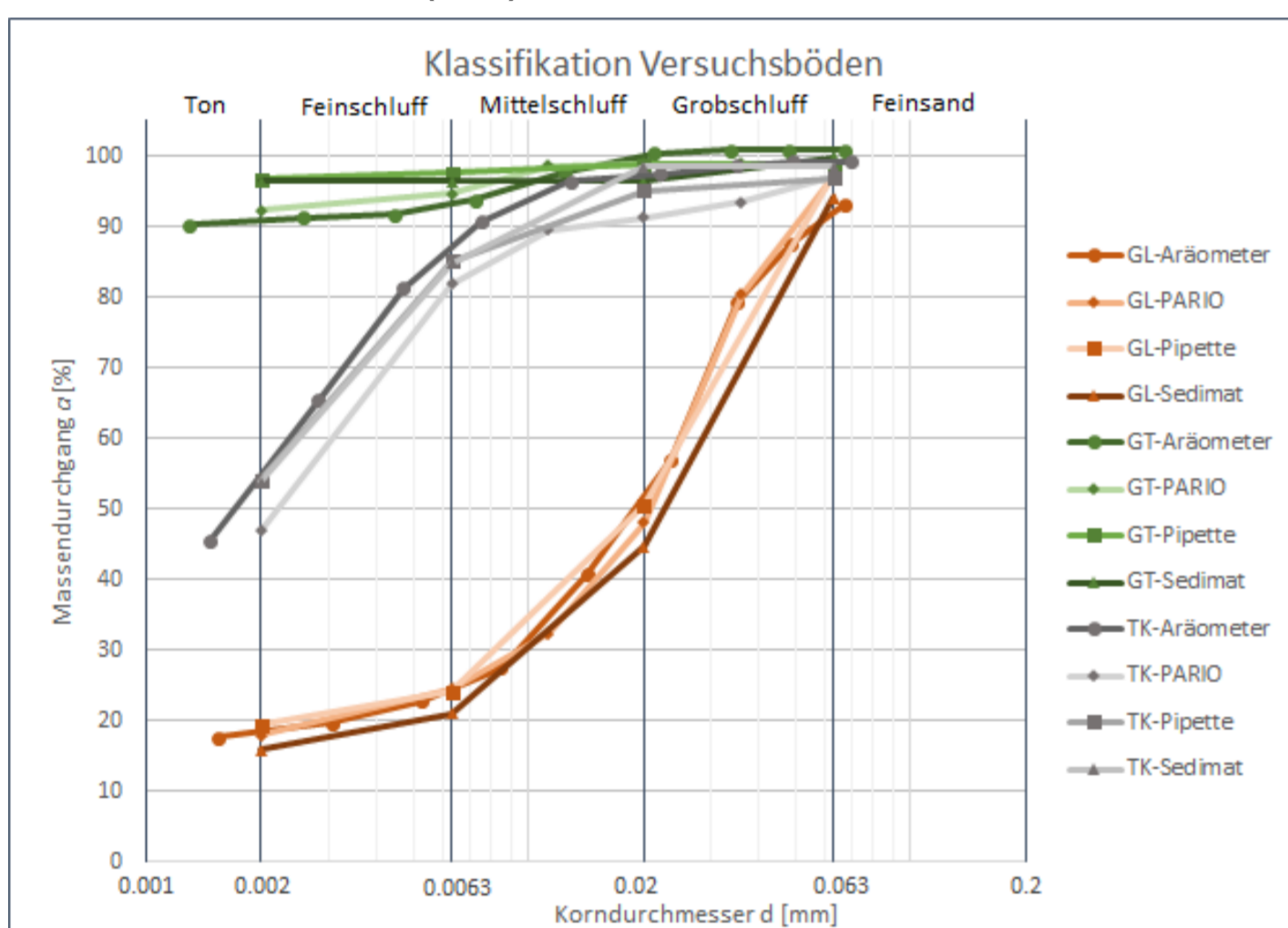


Abb. 1: Korngößenverteilungskurven der Versuchsböden, eine Kurve je Verfahren und Versuchsboden (GL = Graupziger Löss, GT = Guttauer Ton, TK = Technisches Kaolin)

Sedimentationsverfahren

Grundlage aller vier hier betrachteten Schlammverfahren ist die Erfassung des zeitlichen Verlaufs der Suspensionsdichte. Auf Grundlage des Gesetzes von Stokes können daraus die für die Darstellung der KGV-Kurve benötigten Korndurchmesser d [mm], sowie deren zugehörige Massendurchgänge α [%] ermittelt werden. Die vier Verfahren unterscheiden sich dabei hinsichtlich der Vorgehensweise zur Dichtebestimmung.

Standardverfahren in der Geotechnik ist das Aräometer-Verfahren nach Casagrande. Dabei wird in bestimmten Zeitschritten mit einer gläsernen Aräometer-Birne (Abb. 2, o.li.) die Dichte der untersuchten Suspension direkt gemessen. In der Bodenkunde kommt hingegen hauptsächlich das manuelle Pipetten-Verfahren nach Köhn (Abb. 2, u.li.) zum Einsatz. Dabei werden zu bestimmten Zeitpunkten Teilproben aus der Suspension entnommen. Durch Bestimmung der Trockenmasse dieser Einzelproben können Rückschlüsse auf die Suspensionsdichte gezogen werden. Die reine Versuchszeit beträgt beim Aräometer-Verfahren, ohne Vor- und Nachbereitung 24 Stunden, beim Pipetten-Verfahren 4 Stunden.

Mit dem „Sedimat 4-12“ der Firma „UGT GmbH“ (Abb. 2, u.re.) kann das Pipetten-Verfahren automatisiert an 12 Einzelproben gleichzeitig bei einer Versuchsdauer von etwa 6 Stunden durchgeführt werden. Als weiteres automatisiertes Versuchsgerät steht das „PARIQ“ der Firma „Meter Group“ (Abb. 2, o.re.) zur Verfügung. Dieser Messaufsatz misst 8 Stunden lang den Druck in der Suspension während des Sedimentationsvorgangs und berechnet daraus automatisch eine detailliert aufgeschlüsselte Korngrößenverteilungskurve.

Vergleich zwischen den Verfahren

Um die Verfahren miteinander vergleichen zu können, wurden mit jedem Versuchsboden jeweils mindestens 3 Standard-Versuche pro Verfahren durchgeführt. Bei reiner Betrachtung der KGV-Kurven scheint keines der Verfahren signifikant abweichende Ergebnisse zu liefern (vgl. Abb.1).

Detailreicher wird die Auswertung, wenn die Einzelergebnisse der Versuche betrachtet werden. Dafür werden dezidiert für jedes Verfahren und jeden Versuchsboden Einzelversuche mit gleichen Versuchsbedingungen hinsichtlich ihrer Massenanteile pro Kornfraktion verglichen. Dabei fällt auf, dass selbst bei immer gleicher Durchführung unter gleichen Bedingungen Abweichungen von durchgehend etwa 5 % auftreten. Diese sind sehr wahrscheinlich auf Inhomogenitäten in der Zusammensetzung der Versuchsböden zurückzuführen. In Anbetracht dieser Erkenntnis lassen sich die Verfahren und deren Genauigkeit deutlich schwieriger miteinander vergleichen. Zudem lässt sich die Aussage treffen, dass für natürliche Böden augenscheinlich nicht nur eine einzelne Kurve, sondern vielmehr ein Band mit einer gewissen Streubreite eine realitätsnahe Abbildung der KGV darstellt.

Um die Fehlereinflüsse aus Bodeninhomogenität zu eliminieren, wurden Versuche zur Reproduzierbarkeit durchgeführt. Hierfür wurde dieselbe Suspension mehrmals mit dem gleichen Verfahren beprobt. Die Abweichungen der Ergebnisse lassen sich dann direkt auf Fehler aus dem Versuchsverfahren selbst zurückführen. Im Rahmen der Arbeit wurde hierbei nur das Aräometer-Verfahren untersucht, wobei geringe Abweichungen von bis zu 4 % festgestellt werden konnten.



Abb. 2: Aräometer-Birne (o.li.), „PARIQ“-Gerät (o.re.), Pipetten-Verfahren (u.li.), „Sedimat 4-12“ (u.re.)

Versuchsreihen zu Einflussgrößen

Selbst vergleichsweise einfache Laborverfahren, wie etwa die Schlammverfahren, sind abhängig von einer Vielzahl verschiedener Einflussfaktoren. Im Hauptteil dieser Arbeit wurden explizit die Einflüsse durch

- die verwendete Probenmasse
- die zugegebene Menge an Dispergierungsmittel zur Verhinderung von Koagulation
- die Aufbereitungszeit der Probe vor dem Versuch analysiert.

Dazu wurden Versuchsreihen geplant, bei denen die zu untersuchende Einflussgröße gezielt variiert, gleichzeitig aber auch darauf geachtet wurde, alle weiteren Einflussfaktoren so konstant wie möglich zu halten. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass eine Veränderung der Ergebnisse lediglich durch die untersuchte Einflussgröße verursacht wurde. Die Versuchsreihen wurden sowohl mit beiden manuellen Verfahren, als auch dem „Sedimat 4-12“ durchgeführt.

Es konnte festgestellt werden, dass die Versuchsböden unterschiedlich auf das Dispergierungsmittel reagieren. Dabei zeigte der Guttauer Ton eine stärkere Empfindlichkeit als der Graupziger Löss. Beim Technischen Kaolin hingegen konnten keine nennenswerten Auswirkungen, selbst ohne Zugabe von Dispergierungsmittel, beobachtet werden. Allerdings zeigten Versuche für den Guttauer Ton mit wenig Dispergierungsmittel von etwa 5 ml (anstelle der üblichen 25 ml) bereits deutlich verbesserte Ergebnisse.

Bei den Versuchsreihen zur Probenmasse und Aufbereitungszeit konnten keine eindeutigen Erkenntnisse gewonnen werden, nicht zuletzt unter Berücksichtigung der beim Vergleich festgestellten Streuungen.

Zusammenfassung

Die hier betrachteten Verfahren liefern allesamt ähnliche Ergebnisse. Die automatisierten Verfahren führen dabei die Versuche deutlich effizienter durch und können den benötigten Arbeitsaufwand merklich mindern.

Werden für eine Korngrößenverteilung nur die Bestandteile an Ton, Fein-, Mittel- und Grobschluff benötigt, bringt das Pipetten-Verfahren mit lediglich 4 Probenahmen und der geringeren Versuchsdauer von ca. 4 h einen Vorteil gegenüber dem Aräometer-Verfahren (9 Ablesungen bei 24 h Versuchszeit). Dies setzt zumindest den nach Norm (DIN EN ISO 17892-4) vorgegebenen Ablauf voraus. Im Gegenzug bietet das Aräometer-Verfahren eine detailliertere Korngrößenverteilung.

Die Wiederholungsversuche und die Versuche zur Reproduzierbarkeit zeigen übliche Streuungen von 5 % auf (Maximalwert aller 50 dazu betrachteten Versuche: 8,9 %). Die Korngrößenverteilungskurve sollte daher eigentlich als Band mit beispielsweise 2,5 % ober- und unterhalb der Messkurve erzeugten Bandrändern angegeben werden.

Auf die in dieser Arbeit untersuchten Einflussfaktoren reagierten alle Schlammverfahren relativ unempfindlich. Die Versuchsmethode kann daher als robust bezeichnet werden. Einzig bei groben Fehlern im Versuchsablauf, wie z. B. das Vergessen des Dispergierungsmittels, können je nach Versuchsboden deutliche Abweichungen zustande kommen.

Danksagung

Ein großes Dankeschön gebührt abschließend Frau Gisela Ciesielski vom Institut für Standortlehre und Bodenkunde aus Tharandt, welche für meine Arbeit dutzende Proben mit dem „Sedimat 4-12“ untersuchte und auswertete.

Projekt
Projektarbeit

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

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

Abgabe
01/2023