

Korrelationen zwischen Korngrößenverteilung und Proctordichte

Zusammenfassung

Die Degebo erhielt vom Deutschen Institut für Bautechnik den Auftrag, anhand von Ergebnissen von Proctor-Versuchen, die in einer Datenbank gesammelt wurden, Korrelationen zwischen der Proctordichte und Parametern der Korngrößenverteilung zu untersuchen.

Ziel der Forschungsarbeit war die Ermittlung einer allgemeingültigen Beziehung zwischen einfach aus der Korngrößenverteilung zu ermittelnder Kenngrößen (Kornanteil, Ungleichförmigkeit, Krümmungszahl) und der Proctordichte für sandige und kiesige Böden und ggf. auch für gemischt-körnige Böden. Damit wird eine zusätzliche Möglichkeit der Qualitätssicherung bzw. der Überprüfung von Verdichtungsprüfungen geschaffen.

Eine Literaturlauswertung ergab, daß mehrfach versucht worden ist, die Proctordichte oder die maximale Dichte $\max \rho_d$ (Einrüttelversuch) auf Parameter der Korngrößenverteilung zu beziehen.

Die Korngrößenverteilung wurde dabei durch eine oder zwei Kenngrößen (z.B. $U = d_{60}/d_{10}$, $U_{90} = d_{90}/d_{10}$ oder als Mittelwert und Standardabweichung der als Lognormalverteilung angenommenen Sieblinie) wiedergegeben. In allen Untersuchungen wurde deutlich, daß sowohl die Proctordichte ρ_{pr} als auch die maximale Dichte $\max \rho_d$ mit wachsender Ungleichförmigkeit größer wird. Eine Zunahme der Proctordichte erfolgt auch mit zunehmender Abrundung des Kornes sowie mit Zunahme des Medianwertes d_{50} der Kornverteilung (Verschiebung der Kurve in grobkörnigere Bereiche).

Untersuchungen mit statistischen Auswertungen einer großen Zahl von Versuchen wurden in der Literatur nicht gefunden.

Aus ca. 5000 bei der Degebo in ca. 40 Jahren durchgeführten Proctorversuchen wurden folgende Versuchsdaten in einer Datenbank zusammengefaßt:

- Korngrößenverteilung (Siebdurchgänge bei 9 Korndurchmessern)
- Proctordichte ρ_{pr}
- Wassergehalt w_{pr}

Bei den untersuchten Bodenproben handelt es sich zum Teil um natürlichen Böden (Sande, Kiese), zum Teil um Recyclingmaterial ("Siebboden" aus mineralischen Böden und zum Teil gebrochenem, gesiebttem Abbruchmaterial mit teilweise geringen organischen Anteilen) aus dem Berliner Raum. Die Anteile von natürlichen und gemischten Böden ließen sich nicht mehr feststellen, da entsprechende Aufzeichnungen nicht durchgängig vorhanden sind.

Zur Sichtung der Versuchsergebnisse und der Bestimmung der Relevanz der Parameter wurden die Häufigkeitsverteilungen der Parameter der Korngrößenverteilung $U = d_{60}/d_{10}$ und $U_{90} = d_{90}/d_{10}$ für die in Klassen aufgeteilten Kenngrößen w_{pr} und ρ_{pr} (Klassenbreite für w_{pr} 0,2 % bis 0,5 %, für $\rho_{pr} = 0,01 \text{ g/cm}^3$) ermittelt und aufgetragen. Für jede Größe wurden die Mittelwerte mit den zugehörigen Vertrauensbereichen ($\alpha = 5 \%$) klassenweise berechnet.

Zusätzlich wurden Mittelwerte und Vertrauensbereiche für die Beziehungen zwischen w_{pr} bzw. ρ_{pr} und den Korndurchmessern d_{10} , d_{30} , d_{60} und d_{90} sowie den abgeleiteten Parametern C_c und d_{90}/d_{60} ebenfalls klassenweise ermittelt.

Die Mittelwerte der o.g. Parameter der Korngrößenverteilung wurden dann über w_{pr} bzw. ρ_{pr} aufgetragen, um festzustellen, welche Abhängigkeit die Beziehung zwischen Proctordichte und Korngrößenverteilung am besten beschreibt.

Die Verläufe von ρ_{pr} , bezogen auf die Krümmung C_c und den Parameter d_{90}/d_{60} weisen Maxima und Minima auf, die Streuungen sind unregelmäßig. Für eine eindeutige Zuordnung der Korngrößenverteilung zur Proctordichte sind diese Parameter nicht geeignet.

Als am besten geeignet erwiesen sich die Beziehungen zwischen ρ_{pr} und $U = d_{60}/d_{10}$ und $U_{90} = d_{90}/d_{10}$. Für beide Parameter zeigen sich sehr ähnliche, stetige Kurven mit sehr geringen Streuungen. Für $U < 6$ bzw. $U_{90} < 20$ nimmt die Proctordichte überlinear mit wachsendem U bzw. U_{90} zu, für größere Werte zeigt sich ein linearer Verlauf.

Zur Vervollständigung der Untersuchungen wurden die entsprechenden Abhängigkeiten zwischen der o.g. Parametern der Korngrößenverteilung und w_{pr} ausgewertet. Der optimale Wassergehalt, bezogen auf die Proctordichte, weist den größten Wert von ca. $w_{pr} = 13,5 \%$ für $\rho_{pr} = 1,65 \text{ g/cm}^3$ auf, mit wachsendem ρ_{pr} fällt er stetig auf $w_{pr} = 9 \%$ bei $\rho_{pr} = 2,05 \text{ g/cm}^3$ ab.

Zur weiteren statistischen Auswertung der Daten wurden Regressionsanalysen der Mittelwerte der einzelnen Klassen von ρ_{pr} , bezogen auf U bzw. U_{90} als Ordinate durchgeführt, wobei entsprechend der unterlinearen Kurvenform für $\rho_{pr} < 1,9 \text{ g/cm}^3$ ein Polynom zweiter Ordnung, für größere Werte von ρ_{pr} ein linearer Ansatz die besten Korrelationen ergab. Die Bestimmungsmaße lagen bei ca.

$R^2 = 0,9$ bis $R^2 = 1,0$. Zusätzlich zu den Mittelwertkurven wurden die 5 %- Fraktile der Mittelwerte berechnet.

Die mit den gefundenen Ansätzen zu berechnenden Werte wurden mit den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen verglichen. Die in zwei Arbeiten dargestellten Beziehungen $U - \rho_{pr}$ und $U_{90} - \rho_{pr}$ zeigen gute Übereinstimmungen mit der vorliegenden Arbeit. Die Kurven weisen einem unterlinearen Anteil für enggestufte und einem linearen für weitgestufte Böden auf, die Mittelwerte der Proctordichte liegen jedoch um ca. $0,03 \text{ g/cm}^3$ bis $0,06 \text{ g/cm}^3$ über denen der vorliegenden Arbeit.

Folgende mögliche Ursachen kommen für die beobachtete Differenz in Frage:

Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf Böden aus dem Berliner Raum, wobei insbesondere der nicht mehr nachzuvollziehende Anteil von Versuchen an Recycling-Materialien einen Einfluß aufweist.

Der Anteil von gebrochenem Material sowie die wahrscheinlich etwas geringere Kornwichte dieser Böden können die geringeren Mittelwerte der Proctordichte in der vorliegenden Arbeit verursachen.

Die Auswertung des Einflusses der charakteristischen Korndurchmesser d_{10} , d_{30} , d_{60} und d_{90} zeigt, daß in der vorliegenden Arbeit die kleinen Korndurchmesser der untersuchten Böden nahezu konstant und damit der Medianwert der Kornverteilung (d_{50}) nur geringe Schwankungen aufweist. Grobkörnigere Böden anderer geologischer Herkunft weisen wahrscheinlich höhere Proctordichten auf.

Ein gewisser Nachteil der vorliegenden Untersuchung ist, daß ausschließlich Versuchsergebnisse der Degebo, von denen ein signifikanter Teil aus der Untersuchung von Recycling-Böden stammen, die Grundlage der Auswertung bilden.

Aufgrund der Vielzahl von Versuchsparametern, die darüber hinaus die Ergebnisse des Proctorversuchs innerhalb der in der DIN 18127 angegebenen Fehlergrenzen schwanken lassen, wäre es sinnvoll, die Ergebnisse von möglichst vielen unterschiedlichen Labors bzw. Bearbeitern zusammenzufassen und auszuwerten.

Die vorgestellten Rechenansätze sind demnach nur bedingt für Böden gleicher Korngrößenverteilung und geologischer Herkunft anwendbar. Unseres Erachtens sind weitere Untersuchungen an möglichst umfangreichen Datensammlungen erforderlich. Die praktische Anwendung sollte unter kritischer Berücksichtigung der eigenen Erfahrungen erfolgen.