

Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel

FA 6.099

Forschungsstellen: Bietergemeinschaft FEhS-Institut / IKM Institut für Kalk- und Mörtelforschung e. V.

Bearbeiter: Bialucha, R. / Merkel, T. / Schmidt, S.-O. / Motz, H. / Demond, D. / Ritter, H.-J. / Haas, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: August 2014

1 Forschungsziel

Ziel des Forschungsprojekts war es, anhand der durchgeführten Untersuchungen eine vergleichende Bewertung von europäisch genormten Prüfverfahren (Proctor-, Vibrationshammer- und Vibrationstischversuch) zur Verdichtung von Baustoffgemischen für den Straßenoberbau vorzunehmen. In Abhängigkeit von den Untersuchungsergebnissen sollte geprüft werden, inwieweit der in Deutschland bisher geltende Bezug des Verdichtungsgrads auf das Ergebnis des Proctorversuchs zur Beurteilung der Verdichtung von Schichten ohne Bindemittel für den Straßenoberbau durch ein anderes Laborverdichtungsverfahren geändert werden könnte. Das Forschungsprojekt sollte zudem zu einer Grundlage zur Anpassung des Regelwerks für Tragschichten ohne Bindemittel im Straßenoberbau führen.

2 Aufgabenstellung

Die Verdichtung ungebundener Baustoffgemische entsprechend DIN EN 13286-2 [2] dient dazu, den Hohlraumanteil der Gemische zu verringern. Messtechnisch ergibt sich eine höhere auf das Volumen bezogene Trockendichte. Die in der Praxis erreichbare Trockendichte hängt unter anderem vom Wassergehalt eines Baustoffgemisches, aber auch von der eingebrachten wirksamen Verdichtungsarbeit ab. Bild 1 zeigt das Grundprinzip der Beziehung zwischen erzielbarer Trockendichte und verwendetem Wassergehalt.

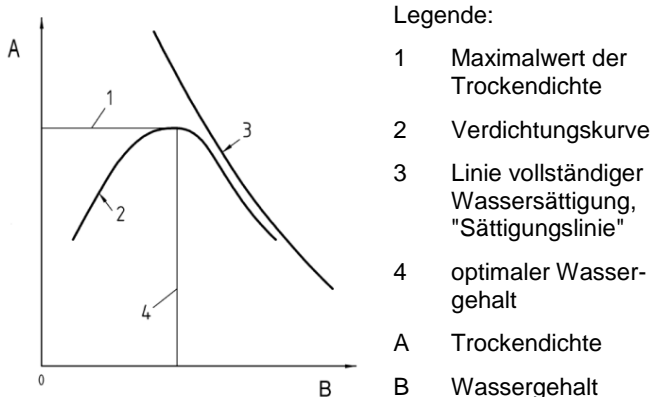


Bild 1: Beziehung zwischen Trockendichte und Wassergehalt nach DIN EN 13286-1 [1]

Verdichtungskurven entsprechend Bild 1 sind oft nur bei Baustoffgemischen eindeutig ermittelbar, aus denen das zugeführte Probenwasser nicht frei abfließen kann. Frostschutz-, Kies- und Schottertragschichten dagegen werden durch die Vorgabe

entsprechender Sieblinienbereiche gezielt hinsichtlich einer kapillarbrechenden Wirkung zusammengesetzt. Aufgrund der Entwässerung der Baustoffgemische während der Laborverdichtung ergeben sich Schwierigkeiten sowohl bei der Ermittlung der erreichbaren Trockendichte, als auch bei der des optimalen Wassergehalts, da häufig statt konvexer konkave Kurven, lineare Anstiege oder andere Kurvenverläufe gemessen werden.

Ein Lösungsansatz zur Entwässerungsproblematik während des Proctorversuchs könnte ein in situ-konform arbeitendes Laborverdichtungsverfahren sein. Hierzu zählen der Vibrationshammer nach DIN EN 13286-4 [3] und der Vibrationstisch nach DIN EN 13286-5 [4]. Durch eine verfahrenstechnisch gleichwertige Verdichtung im Laborversuch oder einer optimierten Versuchsdurchführung lässt sich möglicherweise eine Lösung zur Problematik mit dränierenden Baustoffgemischen finden.

3 Untersuchungsmethodik

Neben einem Interlaboratoriumsvergleich, der ein einheitliches Vorgehen bei der Versuchsdurchführung gewährleisten und mögliche Fehlerquellen aufdecken sollte, wurden im ersten Arbeitspaket zwei Baustoffgemische 0/32 mm ohne Überkorn entsprechend den SDV-Vorgaben durch die TL SoB-StB [6] verwendet und Verdichtungsversuche nach DIN EN 13286-4 [3] und DIN EN 13286-5 [4] im Vergleich zum Proctorverfahren nach DIN EN 13286-2 [2] durchgeführt. Ziel war hier die Auswahl eines Verdichtungsverfahrens, das innerhalb des zweiten Arbeitspakets durch eine umfassende Materialanzahl vergleichend zum Proctorverfahren untersucht wurde.

Für das zweite Arbeitspaket wurden zwölf verschiedene praxiserreichte 0/32 mm-Baustoffgemische unter Berücksichtigung sämtlicher Gesteinsgruppen des Anhangs A des Entwurfs der TL Gestein-StB [5] untersucht. An den Baustoffgemischen wurden umfassende vergleichende Verdichtungsversuche an trockenen und angefeuchteten Proben durchgeführt.

4 Vorstellung der verwendeten Verdichtungsverfahren

Innerhalb des Forschungsprojekts wurden drei europäisch genormte Verdichtungsverfahren verwendet, die in Bild 2 bis Bild 4 dargestellt sind.

Während beim Proctorversuch ein Fallgewicht, das auf die Probenoberfläche fällt, zur Herstellung einer dichteren Kornmatrix genutzt wird, erfolgt die Verdichtung mittels Vibrationshammer durch einen Schlagbohrer, der mittels einer Stampferplatte vertikal form- und kraftschlüssig auf der Probenoberfläche aufsitzt und das Probenmaterial durch frequentierte Schläge verdichtet. Die Verdichtung des Probenmaterials mit dem Vibrationstisch wird durch eine Schwingung mit festgelegter Amplitude und einem Auflastgewicht bewirkt.



Bild 2: Proctorverdichter nach DIN EN 13286-2



Bild 3: Vibrationshammer nach DIN EN 13286-4



Bild 4: Vibrationstisch nach DIN EN 13286-5

5 Untersuchungsergebnisse und Diskussion

Die Eingangscharakterisierung aller verwendeten Baustoffgemische erfolgte durch die Bestimmung von Trockenrohdichte, Wasseraufnahme, Kornform, Widerstand gegen Zertrümmerung und Sieblinie. Die erzielten Resultate entsprachen den Vorgaben durch die TL Gestein-StB und die Sieblinien der Baustoffgemische lagen innerhalb der SDV-Grenzlinien-Vorgaben für Schottertragschichten (STS) entsprechend TL SoB-StB.

Anhand der Ergebnisse des ersten Arbeitspakets konnte das Verdichtungsverfahren mittels Vibrationshammer als das Verfahren identifiziert werden, das im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts mit dem Proctorverfahren verglichen werden sollte. Aus den Messdaten der Verdichtungsversuche konnte zudem eine Arbeitshypothese, die eine Verdichtung mit einem Wassergehalt von ca. 3 M.-% vorsieht, formuliert werden. Darüber hinaus zeigte sich, dass trocken verdichtete Versuchsproben gleichwertige beziehungsweise gering höhere Trockendichten erzielen wie Versuchsproben, die mit einem optimalen Wassergehalt verdichtet wurden.

Die gesamten Versuche des umfassenden zweiten Arbeitspakets bestätigten das Ergebnisbild des ersten Arbeitspakets. Die Verdichtung mit dem Vibrationshammer ergab auch hier gleichwertige Ergebnisse wie das Proctorverfahren. Die gilt sowohl für mit optimalem Wassergehalt als auch für trocken verdichtete Proben (s. Bild 5 und Bild 6).

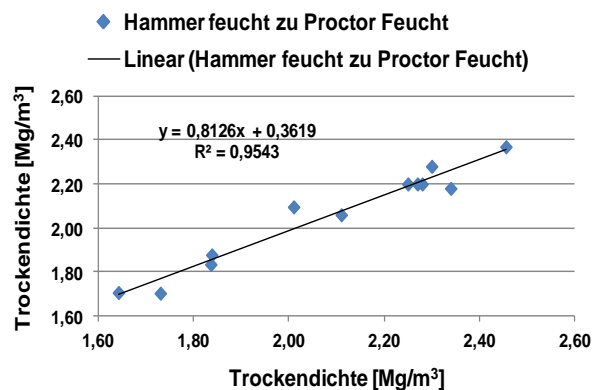


Bild 2: Erzielte Determinationskoeffizienten für Relation DIN EN 13286-4 (feucht) zu DIN EN 13286-2 (feucht)

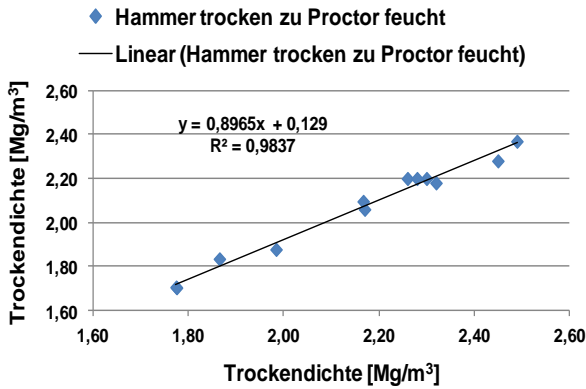


Bild 3: Erzielte Determinationskoeffizienten für Relation DIN EN 13286-4 (trocken) zu DIN EN 13286-2 (feucht)

Die erzielten Korrelationskoeffizienten von nahezu 1 für mit optimalem Wassergehalt beziehungsweise trocken verdichtete Proben heben die ergebnistechnische Gleichwertigkeit der beiden Verdichtungsverfahren hervor.

Die Übertragung des Verfahrens einer Trockenverdichtung im Labor in die Baupraxis bedingt das Problem, dass die in situ-Verdichtung aufgrund der entstehenden Staubeentwicklung keineswegs trocken durchgeführt werden kann. Zur Lösung dieser Problematik wurde daher die Arbeitshypothese des ersten Arbeitspakets weiter verfolgt. Bild 7 stellt die gemittelten Ergebnisse für alle Baustoffgemische bei einer Verdichtung mit dem Vibrationshammer mit 3 M.-% Wassergehalt den Ergebnissen mit einem optimalen Wassergehalt im Proctorverfahren gegenüber.

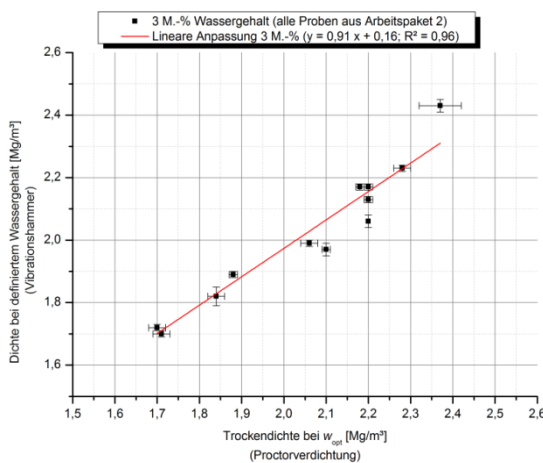


Bild 4: Erzielte Korrelation zwischen einer Proctorverdichtung mit optimalem Wassergehalt und einer Verdichtung mittels Vibrationshammer mit 3 M.-% Wassergehalt

Aus Bild 7 ist deutlich zu erkennen, dass der Vibrationshammer auch bei Verwendung eines Wassergehalts von 3 M.-% für alle verwendeten Baustoffgemische Trockendichten erzielt, die einer optimalen Verdichtung mit dem Proctorverdichter entsprechen. Der über diese Relationsdarstellung erzielte Korrelationskoeffizient liegt bei $R^2 = 0,96$.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der umfassenden Laborstudie an vierzehn Baustoffgemischen konnte gezeigt werden, dass das Vibrationshammerverfahren ein adäquates Laborverdichtungsverfahren für die Bestimmung der Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel im Vergleich zum bisher in Deutschland angewendeten Proctorverfahren ist.

Mit diesem Verfahren werden annähernd gleiche Ergebnisse wie mit dem Proctorverfahren erzielt. Die Vorteile des Vibrationshammerverfahrens liegen in der besseren Handhabung, der einfacheren und schnelleren Durchführung der Prüfung und den geringeren Investitionskosten für das Prüfgerät. Zudem ist die Vibrationsverdichtung des Vibrationshammers analog zu den auf den Baustellen eingesetzten Verdichtungsverfahren.

Aufgrund der Ergebnisse und der Motivation des Forschungsprojekts beziehungsweise der Problematik des Proctorversuchs für Baustoffgemische aus dem Bereich der Tragschichten ohne Bindemittel, bieten sich die folgenden Lösungsoptionen zur Bestimmung der Trockendichte mit dem Vibrationshammerverfahren an:

- Verdichtung eines Baustoffgemisches im trockenen Zustand
- Verdichtung eines Baustoffgemisches mit einem festgelegten Wassergehalt für alle Baustoffgemische

Bei Anwendung der Trockenverdichtung im Labor muss ein für die in situ-Verdichtung geeigneter Wassergehalt festgelegt werden. Als geeignetste Lösungsoption wird daher von den Forschungsnehmern die Laborverdichtung mit einem festgelegten Wassergehalt betrachtet. Der bei diesem Vorgehen gewählte Wassergehalt lässt sich auf die Baustelle übertragen, da in der Regel angefeuchtete Baustoffgemische angeliefert werden. Der Kurvenverlauf der Trockendichte von Baustoffgemischen für Schichten ohne Bindemittel im Straßenoberbau zeigt in den Verdichtungsversuchen eine geringe Empfindlichkeit bezogen auf Änderungen des Wassergehalts auf. Auf dieser Grundlage schlagen die Forschungsnehmer die Verwendung eines einheitlichen Wassergehalts vor. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens lassen einen Wert von 3 M.-% als geeignet erscheinen.

Aufgrund der Praxisnähe des Vibrationshammerverfahrens ist zudem zu erwarten, dass Laborprüfkörper, die mit einem Vibrationshammer hergestellt wurden, eine praxisnähere Wasserdurchlässigkeit des ungebundenen Baustoffgemisches ergeben.

Die Verifizierung des vorgeschlagenen einheitlichen Wassergehalts und dessen Einfluss auf die Wasserdurchlässigkeit müssen Inhalt weiterer Untersuchungen sein. Daraus können sich Auswirkungen auf das bestehende Regelwerk und auf die Baupraxis ergeben.

7 Literatur

- DIN EN 13286-1:2003-07: Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische – Teil 1: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt; Einführung, allgemeine Anforderungen und Probenahme
- DIN EN 13286-2:2010-12: Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische – Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Referenz-Trockendichte und des Wassergehaltes; Proctorversuch
- DIN EN 13286-4:2003-07: Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische – Teil 4: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt; Vibrationshammer
- DIN EN 13286-5:2003-07: Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische – Teil 5: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt; Vibrationstisch
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:
Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB), Entwurf 2013-02
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:
Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (TL SoB-StB 04), Ausgabe 2004/Fassung 2007