

Festigkeitsprüfung an Baustoffgemischen für Tragschichten ohne Bindemittel

AiF-Nr.: 15676 N

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)

Bearbeiter: Gottaut, C.

Auftraggeber: Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF), Köln

Abschluss: August 2010

1. Zusammenfassung und Ausblick

1.1 Kornverfeinerung von ungebundenen Gesteinskörnungsgemischen

Das Forschungsprojekt hatte das Ziel, den Einfluss der Einzelkornfestigkeit und der Kornabstufung auf die Festigkeit eines Korngemischs abzugrenzen und zu quantifizieren. Eine wesentliche Bewertungsgröße hierfür ist die Kornverfeinerung.

Anhand der Untersuchungen lassen sich einige grundlegende Verfeinerungsmechanismen ableiten:

- Grobe Sieblinien verfeinerten sich wesentlich stärker als feine Sieblinien, dies unterstützt die eingangs aufgestellte Theorie des positiven Einflusses der Stützwirkung des Gesamtaufwerks. Häufig ging die Verfeinerung einher mit einer Verstetigung der Korngrößenverteilung.
- Ein deutlicher Zusammenhang zwischen klassischen Festigkeitswerten (SZ, LA) und den auftretenden Kornverfeinerungen konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Die Zusammenhänge wurden mit zunehmend feineren Korngrößenverteilungen schwächer.
- Die resultierenden Korngrößenverteilungen liegen größtenteils innerhalb des Bereichs den die ZTV SoB-StB vorgibt. Abweichungen hiervon sind vor allem im Feinkornbereich auszumachen. Dieser Kornbereich beeinflusst allerdings stark die Gebrauchseigenschaften der Gesteinskörnungen.
- Ein eindeutiger Zusammenhang konnte zwischen den Laborprüfungen und den in situ-Untersuchungen nicht gefunden werden. Tendenziell zeigte aber der modifizierte Proctorversuch sowohl bei der Kornverfeinerung als auch den erreichten Trockendichten die besten Übereinstimmungen.
- Für eine ausreichend abgesicherte Aussage standen aber zu wenige Baustellen mit einer sicherlich nicht repräsentativen Auswahl von Verdichtungsvorgängen zur Verfügung. Zudem erschweren die stark inhomogenen Bedingungen, die häufig in situ angetroffen werden, eine wohl nur punktuelle, aber doch repräsentative Beprobung.

Insgesamt kann somit der modifizierte Proctorprüfung sowohl eine Vergleichbarkeit mit den in situ-Einbausituationen als auch mit klassischen Festigkeitsuntersuchungen unterstellt werden. Zudem erlaubt sie auch eine ausreichend gute Differenzierung bei den erzielten Kornverfeinerungen und hebt sich klar von der relativ hohen Prüfstreuung ab.

Trotzdem besteht gerade in dem Vergleich der Kornverfeinerungen von in situ zur Laborprüfung weiterer Forschungsbedarf. Das Anlegen von großmaßstäblichen Versuchsfeldern könnte empfehlenswert sein, da hier die Einflüsse auf die Kornverfeinerung gut isoliert werden können.

1.2 Gebrauchseigenschaften von ungebundenen Gesteinskörnungsgemischen

Die Eignung der Gesteinskörnungsgemische zur Verwendung in Tragschichten ohne Bindemittel wurde zudem durch Prüfung ihrer Gebrauchseigenschaft untersucht. Schwierig ist dabei die Einordnung der Untersuchungsergebnisse, da eindeutige Festlegungen von Grenzwerten zumeist fehlen. Häufig wurde daher auf Empfehlungen aus der Literatur oder auf Regelungen aus dem benachbarten europäischen Ausland zurück gegriffen.

Zur Beurteilung der Tragfähigkeit der Gesteinskörnungen wurden CBR-Prüfungen durchgeführt, mit denen langjährige Erfahrungen bestehen. Die Tragfähigkeit (CBR) konnte in allen Fällen als unkritisch eingestuft werden. Ein Abgleich mit den Tragfähigkeiten in situ (z. B. statische Plattendruckversuche) war in dem Untersuchungsprogramm nicht vorgesehen. Das sich eine erhöhte Verdichtung auf die Gebrauchstauglichkeit (z. B. Wasserdurchlässigkeit oder Tragfähigkeit) auswirkt und in direktem Zusammenhang mit der Kornverfeinerung steht, konnte nachgewiesen werden.

Die Frostempfindlichkeit der Gesteinskörnungsgemische wurde mittels Frosthebungsversuch untersucht. Die Bewertung des Frosthebungsverhaltens ist aufgrund fehlender nationaler Anforderungen nur mit einer vergleichenden Betrachtung möglich. Dabei zeigte vor allem der rezyklierte Betonaufbruch auffällig hohe Hebungen.

Als ersten Ansatz für Grenzkriterien kann auf die österreichischen Anforderungen zurück gegriffen werden. Die dort festgelegte maximale Hebung von 15 mm unterschreiten alle Gemische. Da auch viele Baustoffgemische mit vermeintlich frostempfindlicher Korngrößenverteilung diese Anforderungen einhalten, sollte eine Verschärfung des Grenzwertes diskutiert werden.

Neben der maximalen Frosthebung ist auch die Höhe des Tragfähigkeitsverlustes ein wichtiges Kriterium. Der Verlust an Tragfähigkeit wurde wiederum mit der CBR-Prüfung ermittelt. Es erfolgte eine Überprüfung vor Einbau in die Frosthebung und nach Abschluss der Frostprüfung. Hier verzeichneten vor allem die rezyklierten Gemische auf Grundlage des RCB2 einen deutlichen Verlust an Tragfähigkeit. Einige Gemische zeigten aber auch deutlich höhere CBR-Werte, vermutlich aufgrund einer hydraulischen Nacherhärtung.

Keine eindeutige Abhängigkeit zeigt der Anteil des Feinkorns (< 0,063) in den Gemischen bei der Beurteilung des Frosthebungsverhaltens. Dies wurde in anderen Untersuchungen bestätigt und auch die verschiedenen international festgelegten Grenzwerte (Tabelle 1.1) sprechen eher gegen einen eindeutigen Zusammenhang [1], [2].

Um die Komplexität der Einflussfaktoren auf die Frostempfindlichkeit hinreichend zu berücksichtigen, sind Frosthebungsversuche am praxisgerecht verdichteten Korngemisch am stärksten zielführend.

Bautechnisch kritisch einzustufen sind die erreichten Wasserdurchlässigkeiten im Labor. Bei Einbau mittels einfacher Proctorverdichtung erreichen die meisten Gemische noch eine zufrieden stellende Durchlässigkeit. Bei praxisnäherem Einbau mittels modifizierter Proctorverdichtung hingegen, wiesen nahezu alle Gemische eine unzureichende Durchlässigkeit auf, die häufig um eine Zehnerpotenz niedriger lag. Abhilfe könnte hier eine eingeschränkte Auswahl der Korngrößenverteilung mit einem deutlich reduzierten Anteil an feinerer Gesteinskörnung schaffen. Die in diesem Vorhaben nachgewiesenen Verfeinerungsmechanismen würden dann aber gerade bei stärkerer

Tabelle 1.1: Granulometrische Kriterien für die Frostempfindlichkeit (Beispiele) [3]

	max. zulässiger Kornanteil des frostkritischen Korngrößenbereichs	
England	10 %	< 0,075 mm
Finnland	10 %	< 0,074 mm
Frankreich	3 – 10 %	< 0,02 mm
Japan	6 %	< 0,075 mm
Kanada	6 %	< 0,074 mm
Norwegen	5 %	< 0,05 mm
Schweden	10 %	< 0,074 mm
Schweiz	3 %	< 0,02 mm ... Kiessand I
	10 %	< 0,02 mm ... Kiessand II
USA	10 %	< 0,074 mm ... untere Tragschicht
	7 %	< 0,074 mm ... bei häufigem Frost-Tau-Wechsel
	regional 15–35 %	< 0,074 mm ... Unterbau
Beskow	15 %	< 0,063 mm ... ungleichkörnige Böden mit kap. Steighöhen $h_k < 1m$
	22 %	< 0,125 mm
Casagrande, A.	3 %	< 0,02 mm ... bei $U > 15 %$
	10 %	... bei $U < 5 %$
Schaible	20 %	< 0,1 mm
	10 %	< 0,2 mm
	1 %	< 0,02 mm

Verdichtung wieder auf eine Verstetigung der Korngrößenverteilung hinarbeiten. Dies sollte nicht zuletzt bei der Festlegung einer erhöhten Anforderung an das EV2-Modul beachtet werden.

Insgesamt wurde gerade in situ eine hohe Empfindlichkeit der Wasserdurchlässigkeitsprüfung festgestellt. Bereits geringe Inhomogenitäten können eine große Auswirkung auf die Wasserdurchlässigkeit haben. Dabei scheint eine starke Abhängigkeit zum Verdichtungsgrad zu bestehen.

Dies sollte nicht zuletzt bei der Festlegung einer erhöhten Anforderung an das EV2-Modul beachtet werden. Inhomogenitäten können eine große Auswirkung auf die Wasserdurchlässigkeit haben. Dabei scheint eine starke Abhängigkeit zum Verdichtungsgrad zu bestehen.

Die Tabelle 1.2 stuft die Ergebnisse der Untersuchungen an den Gemischen in ein einfaches Ampelmodell ein. Grün signalisiert dabei eine positive Einstufung, Gelb (Strich) eine noch unbedenkliche bis schwach bedenkliche, Rot (Kreuz) schlussendlich eine nach Auffassung der Verfasser ungenügende Ausprägung des Prüfmerkmals für einen dauerhaften Straßenoberbau.

Tabelle 1.2: Einstufung der untersuchten Gemische

Probenbezeichnung	CBR	Frosthebung	Frosthebungs-geschwindigkeit	Verbleibende Rest-hebung	CBR _{FHV}	CBR _{FHV} / CBR ₀	Wasserdurchlässig-keit
Diabas							x
Diabas mit 10 % Natursand			-			-	x
Basaltlava	-					-	x
Lavaschlacke	-						-
Quarzsandstein		-	-			-	x
Kalkstein	-				-		x
RC-Beton 1	-	-	-	-			x
RC-Beton 2		-	-			-	x
RC-B 2 mit 30 % Ziegel, Klinker und Steinzeug				-		-	x
RC-B 2 mit 30 % KSS, Putze und Mauerwerksmörtel	-	-	-		-	x	x
RC-B 2 mit 5 % Porenbeton					-	x	x
Praxisgemisch	-	-	-		-	x	x
Hausmüllverbrennungsasche	-	-					x

Folgende Grenzwerte liegen der Einstufung zugrunde (siehe auch die vorhergehenden Kapitel):

Gesteinskörnungen, Ungebundene Bauweisen

- CBR (nach Floss [3])
 - Grün: > 75 % (ausgezeichnete obere Tragschicht)
 - Gelb: < 75 % (gute obere Tragschicht)
 - Rot: < 14 % (mittlere untere Tragschicht)
 - Maximale Frosthebung
 - Grün: < 5,0 mm (Floss, Kriterium für Frostklasse F1)
 - Gelb: < 15,0 mm (ÖNorm B 4810, Kriterium für Frostklasse F2 [3])
 - Rot: > 15,0 mm
 - Maßgebliche Frosthebungsgeschwindigkeit
 - Grün: < 0,3 mm/d (interpoliert bei 5,0 mm)
 - Gelb: < 1,0 mm/d (ÖNorm B 4810)
 - Rot: > 1,0 mm/d
 - Verbleibende Resthebung
 - Grün: < 2 mm (Floss (53), Kriterium für Frostklasse F1)
 - Gelb: < 4,5 mm (Floss (53), Kriterium für Frostklasse F2)
 - Rot: > 4,5 mm
 - CBR_{FHV} (ursprünglich für CBR-Versuch nach Frost-Tauwechsel-Lagerung)
 - Grün: > 30 %
 - Gelb: < 30 %
 - Rot: < 8 %
 - CBR_{FHV}/CBR_0
 - Grün: > 90 % (laut Floss [3] geringe Festigkeitsabnahme, Wert angenommen)
 - Gelb: > 50 % (laut Floss [3]: mittlere Festigkeitsabnahme, Grenzwert aus SN 670321a [4] bei Einbau und Prüfung mit mod. Proctorversuch)
 - Rot: < 50 %
 - Wasserdurchlässigkeit nach Einbau mit dem modifizierten Proctor
 - Grün: > $5,4 \cdot 10^{-05}$ m/s (Bemessungsregenspende)
 - Gelb: > $1,0 \cdot 10^{-05}$ m/s (Literaturwert)
 - Rot: < $1,0 \cdot 10^{-05}$ m/s
- [1] Krass, K. ; Kollar, J. (2004): Eignung von ziegelreichen Recycling-Baustoffen für Tragschichten ohne Bindemittel, (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 884).
- [2] Blume, U. (2009): Vergleichsuntersuchungen zum Frosthebungsversuch an kalkbehandelten Böden, RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten, (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Straßenbau ; 63).
- [3] Floss, R. (2006): Handbuch ZTVE-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau: Kommentar mit Kompendium Erd- und Felsbau. 3. Auflage, Bonn.
- [4] Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleuten (VSS) (2001) (Hrsg.): SN 670321a: Versuche an Böden. Frosthebungsversuch und CBR-Versuch nach dem Auftauen (CBR_F), Ausgabe 2001, Zürich.

2. Literaturverzeichnis