

Auswirkungen der Kornverfeinerungen bei der Verdichtung von ungebundenen Mineralstoffgemischen auf die Wasserdurchlässigkeit und Frostempfindlichkeit von Tragschichten ohne Bindemittel (ToB)

FA 6.067

Forschungsstelle: Institut für Materialprüfung Dr. Schellenberg GbR, Rottweil
 Bearbeiter: Schellenberg, K. / Schellenberg, P.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn
 Abschluss: Januar 2000

1. Aufgabenstellung

Mit diesem Forschungsvorhaben sollten die für den Straßenbau erforderlichen Qualitätseigenschaften von Recycling-Baustoffen bezüglich der Auswirkungen der Kornverfeinerung bei der Verdichtung auf die Wasserdurchlässigkeit und Frostempfindlichkeit von unter Verwendung dieser Baustoffe hergestellten Tragschichten ohne Bindemittel (ToB) erforscht werden. Die Forschungsergebnisse sollten dazu dienen, die für die herkömmlichen Baustoffe bestehenden Erfahrungen auf Recycling-Baustoffe zu erweitern und im Anschluss daran für diese im Vorschriftenwerk gegebenenfalls zusätzliche Anforderungen zu formulieren.

2. Untersuchungsmethodik

Entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit wurden zunächst die Materialien, welche sehr unterschiedlich zur Kornverfeinerung neigen, an den entsprechenden Produktionsstätten besorgt und in einer ersten Stufe (Teil: Laboruntersuchungen) grundlegend und systematisch untersucht. Es sind dies: Kalkstein, Basalt, Kies-Sand-Gemisch, im Folgenden als Kiessand bezeichnet, RC-Baustoff (ziegelreich), im Folgenden als RC-Ziegel bezeichnet, RC-Baustoff (Betonaufbruch), im Folgenden als RC-Beton bezeichnet, und Hausmüllverbrennungsasche, im Folgenden als HMV-Asche bezeichnet.

In der anschließenden zweiten Stufe (Teil: Felduntersuchungen) wurden dann drei der sechs Materialien entsprechend ihrer Neigung zur Kornverfeinerung (geringe, mittlere und starke Kornverfeinerung) ausgewählt und unter realen großtechnischen Baustellenbedingungen eingebaut. An den kontrolliert hergestellten ToB wurden dann Wasserdurchlässigkeitsversuche in situ durchgeführt und am eingebauten Material Laborproben entnommen, um den Einfluss der Verdichtungsarbeit auf die Kornverfeinerung festzustellen.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Einfluss der Kornverfeinerung auf die Frostempfindlichkeit

Die Frostempfindlichkeit von kornabgestuften Gemischen für ToB wird entscheidend vom Anteil $<0,063$ mm bestimmt. Der zulässige Sieblinienbereich der ZTVT-StB-95 für ToB sieht daher auf der Basis des Kriteriums nach Casagrande eine Begrenzung des Anteils $<0,063$ mm mit maximal 7,0 Gew.-% im eingebauten Zustand vor.

Zur Ansprache der Frostempfindlichkeit wurden im Baufeld die Materialien Kalkstein, RC-Beton und RC-Ziegel auf die Neigung zur Feinkornnachbildung gezielt untersucht. Hierzu wurden die Materialien mit einer Walze drei definierten Verdichtungsstufen (V1, V2, V3) unterzogen. Nach der 1. Verdichtungsstufe (zwei statische Walzübergänge (WÜ)) konnte bei den drei Materialien nur eine geringfügige Zunahme des Anteils $<0,063$ mm festgestellt werden. Durch die anschließend mit Vibration aufgebraute Verdichtungsarbeit wurde nach der 2. Verdichtungsstufe

(zusätzlich zu V1 vier dynamische und zwei statische WÜ) und 3. Verdichtungsstufe (zusätzlich zu V2 vier dynamische und zwei statische WÜ) eine signifikante Zunahme des Feinkornanteils festgestellt. Bei den drei Materialien lag die Zunahme des Anteils $<0,063$ mm gegenüber dem des Ausgangsmaterials bei rd. 2,0 Gew.-%. Da der Anteil $<0,063$ mm des RC-Ziegel mit 6,8 Gew.-% bereits auf einem relativ hohen Niveau angesiedelt war, lag der Feinkornanteil nach der Verdichtungsarbeit insgesamt bei rd. 9,0 Gew.-% und deutlich über der Forderung der ZTVT-StB 95 mit $<7,0$ Gew.-%. Durch die 3. Verdichtungsstufe konnte im Vergleich zur 2. Verdichtungsstufe kein höherer Verdichtungsgrad und größerer Anteil $<0,063$ mm mehr erreicht werden. Anhand der Untersuchungsergebnisse am Baufeld kann vermutet werden, dass sich der Anteil $<0,063$ mm unabhängig von einer weiteren Verdichtungsarbeit auf einem Niveau einstellt, welches rd. 2,0 Gew.-% über dem des Ausgangsmaterials liegt.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass durch die Verdichtungsarbeit im Proctorversuch bei den geprüften Materialien im Vergleich zum Baufeld nur eine relativ geringe Feinkornnachbildung erzeugt werden konnte. Auch mit der erhöhten Verdichtungsarbeit (2 x 32 Schläge) konnte keine eindeutige Zunahme des Feinkornanteils mehr festgestellt werden, obwohl damit Verdichtungsgrade von 102 bis 106 % erreicht werden konnten. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist eine Abschätzung der Neigung eines Materials zur Feinkornnachbildung im Laborversuch durch „stampfende“ Proctorverdichtung nicht hinreichend aussagekräftig. Ein möglicherweise geeignetes Laborverfahren müsste analog zum Baufeld rüttelnd mit Vibrationsverdichtung durchgeführt werden.

Zur Beurteilung der Frostempfindlichkeit eines Materials sind neben dem Hauptkriterium Anteil $<0,063$ mm auch andere Einflussgrößen zu beachten. Bei den untersuchten Materialien wurden im Rahmen der Laboruntersuchungen teilweise sehr unterschiedliche Prüfergebnisse ermittelt, die auf die Herkunft der Materialien und somit auf deren chemisch-mineralogische Zusammensetzungen zurückzuführen sind. Beispielsweise ist bei der HMV-Asche und dem RC-Beton auf die festgestellten hydraulischen Eigenschaften hinzuweisen. Oder beim Kiessand auf den sehr hohen Methylenblauwert, der auf spezielle Tonminerale bzw. Schichtsilikate schließen lässt.

Bei einer umfassenden Betrachtung aller Prüfergebnisse kann festgestellt werden, dass die Materialien eine geringe Frostempfindlichkeit aufweisen, deren Einzelkörner ein dichtes Gefüge besitzen. Poröse Materialien neigen zur stärkeren Wasseraufnahme, deren Wasser sie bei trockener Umgebung nur bedingt wieder abgeben. Eine hohe dauerhaft vorhandene adhäsiv gebundene Wassermenge im Material einer ToB ist als ungünstig zu bezeichnen und weist dieses Material als frostempfindlich aus.

Bereits anhand des Proctorversuchs können mit der erreichten Proctordichte und des entsprechenden Proctorwassergehaltes Rückschlüsse auf die Frostempfindlichkeit eines Materials gezogen werden, d. h., je geringer die Proctordichte und je höher der Proctorwassergehalt ist, umso frostempfindlicher ist das Material. Diese Aussage trifft zumindest auf die hier untersuchten Materialien HMV-Asche, RC-Beton und RC-Ziegel zu. Dies bedeutet auch, dass diese Materialien, dabei insbesondere die HMV-Asche und der RC-Ziegel, durch mechanische Beanspruchung während der Herstellung bzw. Aufbereitung bereits einen relativ hohen Anteil $<0,063$ mm am Ausgangsmaterial aufweisen, der sich durch den Einbau nochmals, wie im Baufeld für Kalkstein, RC-Beton und RC-Ziegel festgestellt, um rd. 2,0 Gew.-% erhöhen kann. Das heißt, dass Materialien, die zur starken Kornverfeinerung während des Einbaues neigen, bereits schon am Ausgangsmaterial einen relativ hohen Anteil

<0,063 mm besitzen, wenn dieser, wie bei RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten üblich, nicht durch gezielte Dosierung von Lieferkörnungen bzw. Abtrennung der Feinkornanteile vorab reduziert wird.

Zur Beurteilung der Frostempfindlichkeit eines Materials wird in Baden-Württemberg jedoch nicht nur der Anteil <0,063 mm, sondern auch die Wasseraufnahmefähigkeit des Sandes (0 bis 2 mm) bei Kalkstein aus einem Korngemisch geprüft. Mit diesem Verfahren wird nicht nur die Menge, sondern auch die Art der Feinanteile angesprochen. Aufgrund der hier ermittelten Ergebnisse und der vorhandenen Erfahrungen mit diesem Versuch ist es möglich, eine differenzierte Aussage über die Qualität der Feinanteile in Bezug auf die Eigenschaft Frostempfindlichkeit eines Materials treffen zu können. Da industrielle Nebenprodukte und RC-Baustoffe, wie aufgezeigt, zu einem relativ hohen Feinkornanteil neigen, kommt dem Verhalten der Feinanteile gegenüber Wasser eine noch größere Bedeutung zu.

3.2 Einfluss der Kornverfeinerung auf die Wasserdurchlässigkeit

Bei den am Kalkstein, RC-Beton und RC-Ziegel im Baufeld durchgeführten Wasserdurchlässigkeitsversuchen konnten an der Schichtoberfläche mit dem Kreisquellenversuch und in der Schicht mit dem Stabquellenversuch kf-Werte im Bereich zwischen $1,2 \times 10^{-4}$ und $35,4 \times 10^{-4}$ m/s gemessen werden. Diese kf-Werte können in Orientierung an die DIN 18 130 als wasserdurchlässig eingestuft werden. Das heißt, dass unabhängig vom Verdichtungsgrad und der Kornverfeinerung im Baufeld in allen Fällen eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit festgestellt werden konnte. Selbst die hohen Anteile <0,063 mm beim RC-Ziegel und maximal 9,3 Gew.-% wiesen das verdichtete Material als wasserdurchlässig aus.

Durch die mit Walzen aufgebrachte Verdichtungsarbeit hat sich insbesondere zwischen der 1. und 2. Verdichtungsstufe der Verdichtungsgrad der ToB erhöht und am eingebauten Material eine Kornverfeinerung eingestellt. Beim Anteil <0,063 mm konnte eine signifikante Zunahme gegenüber dem am Ausgangsmaterial festgestellt werden. Mit zunehmender Verdichtungsarbeit hat sich auch die Wasserdurchlässigkeit bei der Prüfung auf der Schicht mit dem Kreisquellenversuch und in der Schicht mit dem Stabquellenversuch (außer beim Kalkstein) erkennbar verringert. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ist es jedoch nicht möglich, die verringerte Wasserdurchlässigkeit eindeutig der festgestellten Kornverfeinerung zuzuordnen. Es ist vielmehr anzunehmen, dass die verringerte Wasserdurchlässigkeit auf die Einflussgrößen Kornverteilung bzw. Verdichtungsgrad zurückzuführen ist.

4. Folgerungen für die Praxis

Bei der Beurteilung der Frostempfindlichkeit ist neben der Menge auch die Qualität der Feinanteile von entscheidender Bedeutung. Beim Kontakt mit Wasser wiesen die untersuchten Materialien ein sehr unterschiedliches Verhalten auf. Als günstig konnten dabei die Materialien bezeichnet werden, die eine große Menge Wasser aufnehmen und dieses bei trockener Umgebung wieder schnell und vollkommen abgeben. Das heißt, dass der Wasseraufnahme- bzw. der Wasserabgabefähigkeit der Feinanteile im Hinblick auf die Beurteilung der Frostempfindlichkeit eines Materials große Bedeutung zukommt. Mit dem hier eingesetzten Prüfverfahren, welches in Baden-Württemberg bei der Güteüberwachung von Kalkstein seit vielen Jahren zur Anwen-

dung kommt, ist eine gute Abschätzung der Frostempfindlichkeit eines Materials möglich. Die Wasseraufnahme der porösen Körner ist dabei zu berücksichtigen bzw. in Abzug zu bringen.

Was die Menge der Feinanteile betrifft, ist festzustellen, dass Materialien, die zur starken Feinkornnachbildung neigen, bereits im nicht eingebauten Zustand einen relativ hohen Feinkornanteil aufweisen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass während der Herstellung bzw. Aufbereitung durch Brechen, Siebung, Schüttung und Transport das Material bereits einer starken mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist. Eine Begrenzung des Feinkornanteils gemäß den ZTVT-StB 95 mit 7,0 Gew.-% im eingebauten Zustand hat sich nicht zuletzt aufgrund der Ergebnisse aus den Baufeldern als zweckmäßig bestätigt. Gute Erfahrungen wurden in Baden-Württemberg mit der zusätzlichen Begrenzung des Feinkornanteils am Material im nicht eingebauten Zustand mit 5,0 Gew.-% gemacht. Mit einem Vorhaltemaß im nicht eingebauten Zustand ist es möglich, im Rahmen der Güteüberwachung Materialien bereits an ihrer Produktionsstätte auf einen zu erwartenden Anteil <0,063 mm im eingebauten Zustand hin anzusprechen. Bei den praxisnahen Untersuchungen im Baufeld war bei den drei geprüften Materialien Kalkstein, RC-Beton und RC-Ziegel ein Vorhaltemaß von 2 Gew.-% ausreichend, da nach dynamischer Walzenverdichtung im Baufeld eine Zunahme des Anteils <0,063 mm beim Kalkstein mit 1,9 Gew.-%, beim RC-Beton mit 1,5 Gew.-% und beim RC-Ziegel mit 1,9 Gew.-% festgestellt wurde. Es wird daher empfohlen, diese Regelung in die ZTVT-StB zu übernehmen.

Eine angedachte Klassifikation von Tragschichtmaterialien mit einer geringen, mittleren und starken Neigung zur Kornverfeinerung mit möglicherweise unterschiedlichen Anforderungen wird nicht für sinnvoll erachtet. Den Materialien, die zur starken Kornverfeinerung neigen, können im Zuge des Herstellungsprozesses die Feinkornanteile gezielt abgetrennt und das Vorhaltemaß entsprechend erhöht werden. Der aus bautechnischer Sicht maximal zulässige Feinkornanteil am Ausgangsmaterial sollte im Rahmen einer Eignungsprüfung in einem praxisnahen Baufeld (Verdichtungsgrad >103 %) mit der Forderung nach einem Anteil <0,063 mm mit höchstens 7,0 Gew.-% im eingebauten Zustand festgelegt werden.

Ein konkreter Einfluss der im Baufeld festgestellten Kornverfeinerungen auf die Wasserdurchlässigkeit konnte nicht festgestellt werden. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Erkenntnissen von Moritz. Er kam bei seinen umfangreichen Recherchen zu dem Ergebnis, dass der Einfluss der beim Verdichtungsprozess erfolgten Kornzertrümmerung auf die Verteilungsfunktion eines Tragschichtmaterials und somit auf seine Durchlässigkeit weniger relevant ist. Die Wasserdurchlässigkeit wird besonders durch die Einflussgrößen Kornverteilung und Verdichtungsgrad bestimmt. Der Kornverfeinerung kommt keine Bedeutung zu, wenn man davon absieht, dass bei den Wasserdurchlässigkeitsversuchen mit der Kreisquelle an der Schichtoberfläche vergleichsweise hohe Feinanteile und Verkrustungen vorliegen können.

In der Praxis ist zur Erzielung einer ausreichenden Wasserdurchlässigkeit immer darauf zu achten, dass es durch mögliche Kornverfeinerungen und Verschmutzungen im Baubetrieb zu keinen Verkrustungen an der Oberfläche kommt, die die Wasserdurchlässigkeit nachhaltig behindern. In kritischen Fällen muss die Oberfläche der ToB nochmals aufgelockert werden, um bereits von der obersten Zone der ToB her die Wasserdurchlässigkeit der gesamten Schicht zu sichern. □