

Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)

FA 8.184

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamt für Bau von Landverkehrswegen (Prof. Dr.-Ing. G. Leykauf)

Bearbeiter: Leykauf, G. / Birmann, D. / Weller, O.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: August 2007

1 Aufgabenstellung

Betondecken auf Schottertragschichten sind bewährte Bauweisen, die in den RStO 01 geregelt sind. Bei der Anwendung von Schottertragschichten unter Betondecken (STSuB) werden besondere Anforderungen nach TL / ZTV SoB-StB 04 (FGSV, 2004) gestellt. Damit soll eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit und Umlagerungs- und Erosionsbeständigkeit sichergestellt werden. Nach früheren Untersuchungen am Prüfamt ist mit Kiestragschichten mit einem optimierten Anteil an gebrochener Gesteinskörnung eine gleich hohe Standfestigkeit wie bei Schottertragschichten zu erreichen. Ob damit auch die geforderte Umlagerungs- und Erosionsbeständigkeit unter Betondecken erreicht werden kann, sollte in einem Großprüfstand im Maßstab 1:1 untersucht werden. Der Versuchsaufbau besteht aus einem durch eine Fuge unterteilten Betonplattenstreifen auf 5 Varianten einer Tragschicht ohne Bindemittel (ToB), die vergleichend untersucht werden sollten.

2 Untersuchungsmethodik

Die zu untersuchenden fünf ToB 0/32 mm in jeweils 30 cm Schichtdicke wurden entsprechend dem Versuchsprogramm nach Korngrößenverteilung (Bild 1) und dem Anteil gebrochener Korngruppen ausgewählt.

- S1 Schottertragschicht STSuB aus gebrochenem Felsgestein (Kalkstein) nach TL / ZTV SoB-StB 04 (FGSV, 2004). Auf dieser Schottertragschicht sollte ein Verformungsmodul von $E_{V2} \geq 180 \text{ N/mm}^2$ erreicht werden.
- S2 Der auf der Oberfläche der Schottertragschicht (wie S1) vorgesehene E_{V2} -Wert $\geq 150 \text{ N/mm}^2$ konnte durch Anordnung eines zusätzlichen Vlieses auf der Unterlage erreicht werden. Dies entspricht der Anforderung bei Auflagerung auf einer Schicht aus frostunempfindlichem Material nach RStO.
- KTS Kiestragschicht ausschließlich aus ungebrochener Gesteinskörnung und an der oberen Grenze des Sieblinienbereichs nach TL / ZTV SoB-StB (FGSV, 2004). Die KTS wurde von einem Kieswerk am Oberrhein südlich von Karlsruhe zusammengesetzt.
- Kg Bei dieser Kiestragschicht ist die Korngruppe über 8 mm zu über 50 % gebrochen (gebrochener Kies). Sie wurde von einem weiteren Werk am Oberrhein südlich von Karlsruhe bezogen.
- Km Modifizierte Kiestragschicht, Bezeichnung "Km", aus 4 Korngruppen zusammengesetzt, wobei in Umkehrung zu "Kg" unter 8 mm eine gebrochene Gesteinskörnung vorhanden und die Korngruppe 0/2 mm gewaschener Brechsand aus gebrochenem Kies ist. Die Korngrößenverteilung liegt etwas über dem Sieblinienbereich einer STSuB bei 2 mm Öffnungsweite.

Die bodenmechanischen Kennwerte (Korngrößenverteilung (Bild 1), Proctordichte, CBR-Wert, Wasserdurchlässigkeit) wurden vom Zentrum Geotechnik der TU München bestimmt. Danach wurden die Anforderungen an die Baustoffgemische in der Regel eingehalten.

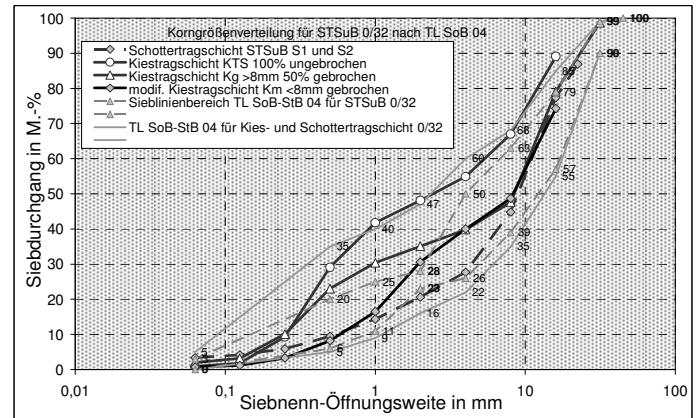


Bild 1: Korngrößenverteilung der fünf untersuchten ToB 0/32 (2 Schottertragschichten STSuB und 3 Kiestragschichten nach TL SoB-StB), Ergebnisse der Kontrollprüfung am angelieferten Baustoffgemisch vor Einbau

Folgendes Versuchsprogramm wurde für jede ToB durchgeführt:

- statische Plattendruckversuche auf der ToB an zwei Lastpunkten,
- Dauerschwellversuche mit einer Lastplatte auf ToB an zwei Lastpunkten (10 000 Lastwechsel (LW)),
- Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit an drei Messorten mit einem am Prüfamt erstellten Doppelringinfiltrimeter mit kontinuierlicher Messwertaufzeichnung,
- Dauerschwingversuch an der auf ToB aufgesetzten Betonplatte mit unverdübelter Fuge in 4 Phasen mit stufenweise vergrößerter Schwingweite und mit Wasserzugabe über die Fuge (> 3 Mio. LW),
- Beurteilung der ToB-Oberfläche nach dem Dauerschwingversuch sowie
- statische Plattendruckversuche und Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach dem Dauerschwingversuch.

Beim **Dauerschwellversuch** mit Lastplatte auf der ToB wurden 6 000 Lastwechsel mit 35 kN Oberlast (Maximallast des Plattendruckversuchs) und 4 000 LW mit 50 kN Oberlast (max. Einzel-Radlast eines Lkw) aufgebracht. Damit sollte sehr starker Baustellenverkehr simuliert werden.

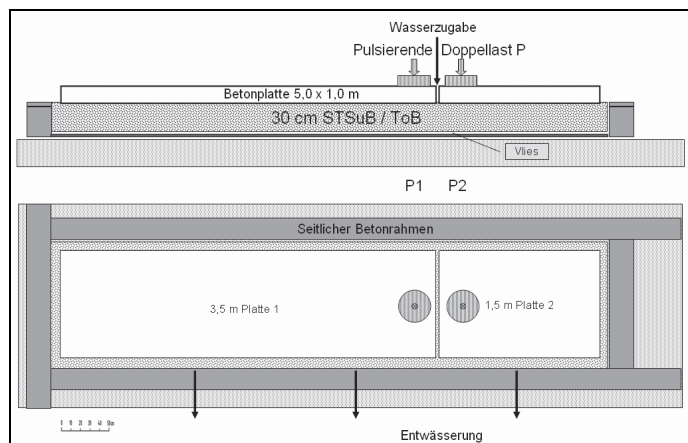


Bild 2: Großprüfstand für Versuche mit STSuB / ToB unter Betondecke (Längsschnitt und Aufsicht)

Für den Dauerschwingversuch wurde zur Simulation der dynamischen Beanspruchung der ToB unter Betondecken im Querfugenbereich wie in situ bei Überfahrt mit einem schweren Lkw eine Prüfeinrichtung konzipiert. Dazu wurde im Großprüfstand ein Betonplattenstreifen in einer Länge von 5,0 m aufgelegt, der durch eine unverdübelte Fuge getrennt ist (Bild 2). Die Betonplatten wurden im Fugenbereich gegenüberliegend mit zwei Prüfzylindern, die unabhängig und phasenverschoben gesteuert werden können, pulsierend belastet. In umfangreichen Vorversuchen wurde die Steuerung der beiden Prüfzylinder so abgestimmt, dass der zeitliche Verlauf der Belastungen und damit der Einsenkung den Verhältnissen bei Überfahrt einer Fuge mit konstanter Überfahrgeschwindigkeit und verschiedenem Wirksamkeitsindex entspricht. Weiter wurden die Prüflasten so eingestellt, dass ein größtmögliches Maß an Übereinstimmung der Einsenkung der Platten im Großprüfstand mit denen in situ unter Verkehrslast besteht. Die Belastung wurde kraftgesteuert aufgebracht, um bei gleicher Belastung mit einer bleibenden Einsenkung der Platten wirklichkeitsnahe Verhältnisse wie unter Verkehrsbelastung zu schaffen. Die Einsenkung wurde in 4 Versuchsphasen (ab 2. Phase Wasserzugabe über die Fuge) mit insgesamt > 3,1 Mio. LW bei einer Prüffrequenz von 3 Hz gesteigert:

- Die Einsenkung von 0,2 mm zu Beginn der Versuchsphase 1 bei einem simulierten Wirksamkeitsindex von 100 % entspricht einem guten Zustand der Fuge bei optimaler Querkraftübertragung.
- Mit einer Einsenkung von 0,5 mm und einem Wirksamkeitsindex von 0 % wird der Zustand ohne Dübel oder nicht mehr wirksamer Dübel erfasst.
- Die letzte Versuchsphase mit 0,7 mm Schwingweite entspricht einer extremen Beanspruchung, z. B. bei Achslasten, die über den zulässigen Bereich der StVZO hinausgehen.

3 Untersuchungsergebnisse

Beim **Plattendruckversuch** nach DIN 18134 wurde auch bei der STSuB S1 der angestrebte Verformungsmodul von $\geq 180 \text{ N/mm}^2$ übertroffen. Der bei den übrigen ToB angestrebte E_{V2} -Wert von 150 N/mm^2 wurde knapp unterschritten, jedoch steigt der E_{V2} -Wert beim Dauerschwingversuch über 150 N/mm^2 an (Bild 3).

Bei allen untersuchten ToB ist im **Dauerschwingversuch** mit Lastplatte bei 35 kN Oberlast eine degressive Zunahme der Verformungen zu verzeichnen, wie dies auch bei früheren

Untersuchungen an ToB festgestellt wurde. In der Versuchsphase mit 50 kN Oberlast zeigt sich erwartungsgemäß ein deutlicher Anstieg der Verformungen, mit zunehmenden Lastwechseln jedoch ebenfalls abklingend. Im halblogarithmischen Maßstab stellt sich das plastische Verformungsverhalten der ToB bei 35 kN Oberlast in einer linearen Zunahme dar (Bild 4). Eine Reihung der untersuchten ToB bezüglich Zunahme der Verformung und bleibender Verformung ist (Bild 5): S1 (gering) – S2 – Km – Kg – KTS (am größten).

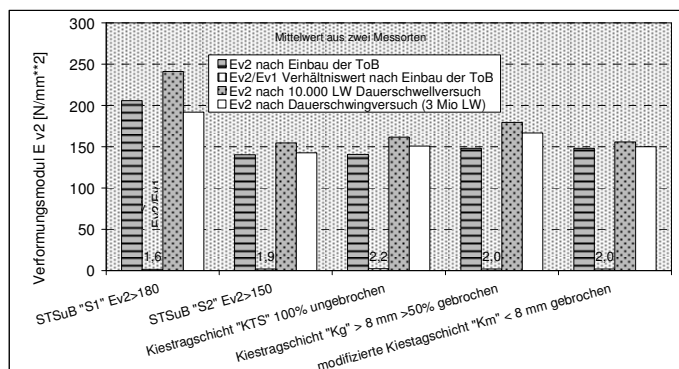


Bild 3: Verformungsmodul auf der ToB nach dem Einbau, nach dem Dauerschwingversuch mit Lastplatte auf ToB (10 000 LW) und nach dem Dauerschwingversuch mit Betonplatte auf ToB (3 Mio. LW)

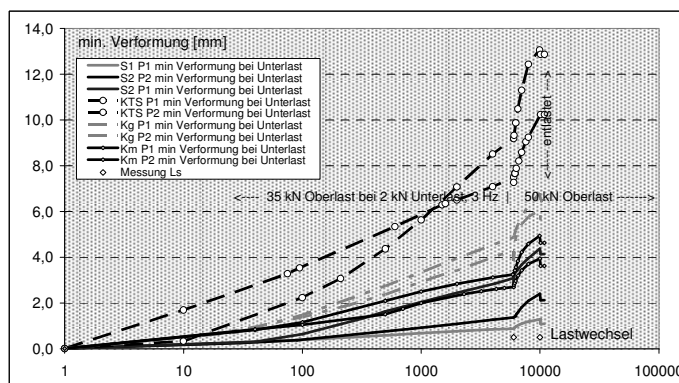


Bild 4: Minimale Verformung bei 2 kN Unterlast (und 35 bzw. 50 kN Oberlast) beim Dauerschwingversuch auf den ToB, Messort P1 und P2; logarithmische Teilung der Lastwechselzahl

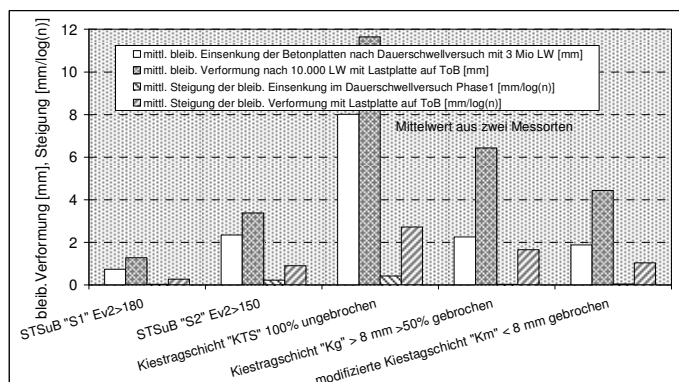


Bild 5: Bleibende Verformung nach dem Dauerschwingversuch mit Lastplatte und bleibende Einsenkung nach dem Dauerschwingversuch mit Betonplatten auf ToB

Dauerschwingversuch mit aufgesetzter Betonplatte: In Bild 6 ist während der kraftgesteuerten Versuchsphasen 1 bis 4 die Einsenkung der beiden Fugenränder (Fugenrand 1 zuerst befahren, Fugenrand 2 danach befahren) bei Unterlast für alle fünf untersuchten Tragschichten dargestellt. Die **Zunahme der bleibenden Einsenkung** der Fugenränder [mm/log(n)] bei Versuchsphase 1 mit 0,2 mm Schwingweite ist etwa proportional zur Zunahme beim Dauerschwellversuch mit Lastplatte auf ToB (Bild 5). Wie in früheren Versuchen (Leykauf u. a., 2004) zeigt die Kiestragschicht KTS das ungünstigste Verformungsverhalten. Bei den früheren Dauerschwellversuchen auf ToB bewirkte ein gebrochener Anteil von mind. 15% (Gesteinskörnung > 5 mm) eine Reduzierung der bleibenden Verformung gegenüber einer KTS aus ungebrochener Gesteinskörnung. Deshalb ist eine weitere Verbesserung von Km durch einen gebrochenen Anteil auch > 8 mm zu erwarten. Die modifizierte Kiestragschicht Km mit gebrochenen Korngruppen unter 8 mm schneidet günstiger ab gegenüber einem gebrochenem Kornanteil über 8 mm (Kg). Dies bedeutet, dass eine gebrochene feine Gesteinskörnung das elastisch-plastische Verhalten einer ToB günstig beeinflusst.

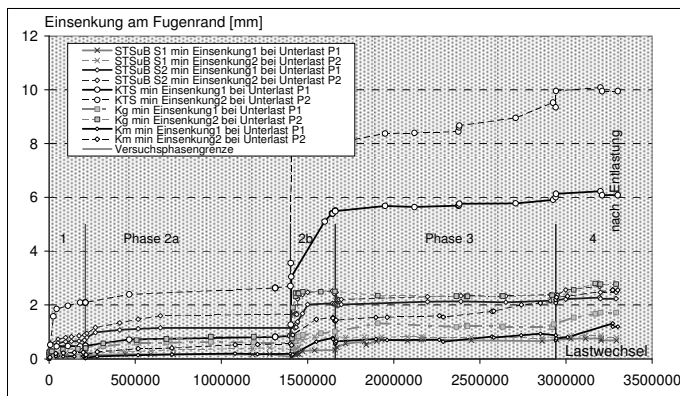


Bild 6: Emsenkung am Fugenrand 1 mit Last P1 und am Fugenrand 2 mit Last P2, jeweils bei Unterlast im Dauerschwingversuch mit > 3 Mio. LW, 4 Versuchsphasen

Im Verlauf der Emsenkung beim Dauerschwingversuch fällt bei allen ToB der starke Anstieg bei Versuchsphase 2b auf (Bild 6), in der mit der **Wasserzugabe** über die Fuge begonnen wurde (Faktor 1 bis 2,5). Die größere Emsenkung und bleibende Emsenkung am "zuletzt befahrenen" Fugenrand steht in Übereinstimmung mit den Beobachtungen der Stufenbildung in situ (in Fahrtrichtung abwärts) und unterstreicht die Wirksamkeit der gewählten Belastung und Versuchsordnung.

Nach Abschluss des Dauerschwingversuchs wurde die **Oberfläche der ToB** durch Abheben der Betonplatten freigelegt (Bild 7). Gegenüber dem Zustand vor den Dauerschwingversuchen zeigte sich durch Einfluss der Wasserzugabe an der Fuge und durch das Pumpen infolge der phasenverschobenen Belastung der Fugenränder ein Freilegen der groben Gesteinskörnung im Fugenbereich. Dies war – wie in situ – am Fugenrand 2 stärker ausgeprägt. Die Veränderung trat bei den ToB in unterschiedlichem Ausmaß auf, besonders bei der Kiestragschicht Kg wurden feine Gesteinskörnungen parallel zur Fuge an den Plattenrand gepumpt und dort abgelagert (Kornumlagerung).

Eine eindeutige **Feinkornumlagerung** an die Unterseite der ToB konnte aus den Kornverteilungen von Proben von der Ober- und Unterseite der ToB nach Abschluss der Dauerschwingversuche nicht festgestellt werden. Die geringen Unter-

schiede der untersuchten Proben dürften im Streubereich der ToB liegen. Auch bei einer augenscheinlichen Überprüfung beim Ausbau wurde keine Strukturveränderung mit zunehmender Tiefe festgestellt. Die offensichtlichen Veränderungen beziehen sich nur auf die Oberfläche der ToB unter der Betonplatte.

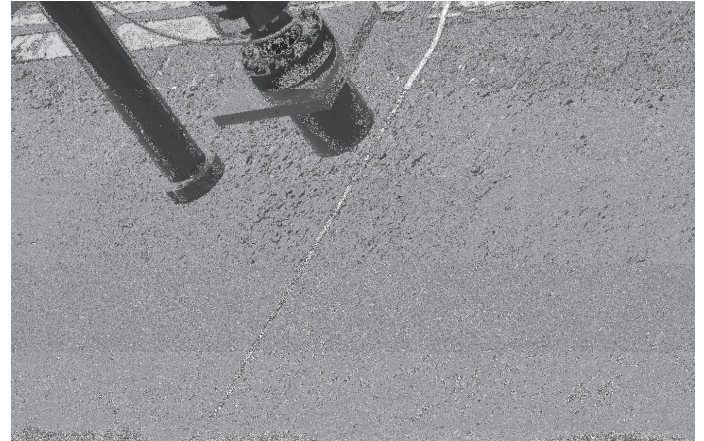


Bild 7: Bild 7 Freigelegte Oberfläche der modifizierten Kiestragschicht Km nach dem Dauerschwingversuch mit Wasserzugabe; simulierte Fahrtrichtung von rechts (Platte 1) nach links; das weiße Maßband markiert den Verlauf der – zunächst als verdübelt, dann in der Schlussphase als unverdübelt simulierten – Fuge

Der **Wasserdurchlässigkeitsbeiwert**, der im Laborversuch am Baustoffgemisch nach DIN 18130-1 ermittelt wurde, entspricht für S1 und Km bei vergleichbarer Wasserdruckhöhe dem Durchlässigkeitsbereich "stark durchlässig" und hatte damit eine sehr gute Übereinstimmung zum Durchlässigkeitsbeiwert, gemessen mit dem Doppelringinfiltrimeter auf der im Prüfstand eingebauten ToB (Bild 8). Dagegen ist bei KTS und Kg mit nicht gebrochener Gesteinskörnung < 8 mm die im Labor gemessene Wasserdurchlässigkeit mit ca. $1 \cdot 10^{-5}$ m/sec und der Bewertung "durchlässig" geringer als auf der eingebauten ToB gemessen ($72 \cdot 10^{-5}$ bzw. $24 \cdot 10^{-5}$ m/sec) und kleiner als der im "Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen" (FGSV, 1998) geforderte Mindestwert $\geq 5,4 \times 10^{-5}$ m/sec.

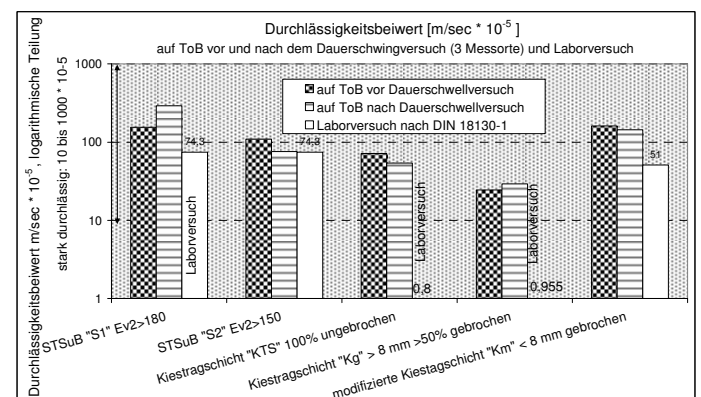


Bild 8: Durchlässigkeitsbeiwerte der ToB vor und nach dem Dauerschwingversuch mit > 3 Mio. LW als Mittelwert aus 3 Messorten und Ergebnis aus Laborversuch

Eine tendenzielle Veränderung der **Wasserdurchlässigkeit** vor und nach dem Dauerschwingversuch war bei allen ToB nicht festzustellen.

Bei der Bestimmung des **CBR-Werts** wird auf das Baustoffgemisch 0/22 der ToB eine konzentrierte Druckspannung von 6 bis 13 N/mm² bei 2,5 mm Weg eingeleitet. Bei der durchgeführten Versuchsreihe waren die CBR-Werte der modifizierten Kiestragschichten größer als die der Schottertragschicht. Der CBR-Wert ist demnach kein geeignetes Kriterium für die Beurteilung der Tragfähigkeit einer ToB unter Betondecken.

4 Folgerungen für die Praxis

Anhand einer theoretischen Untersuchung kann gezeigt werden, dass eine Reduzierung des E_{V2} -Werts auf OK einer ToB von 180 auf 150 N/mm² keine signifikante Erhöhung der Biegespannung in der Betondecke unter Verkehrslast herbeiführt, die Auswirkungen auf das Langzeitverhalten hat. Entscheidend für das Langzeitverhalten sind gleichmäßige Auflagerungsbedingungen der Betondecke.

Der E_{V2} -Wert von 180 N/mm² ist ein zusätzliches Hilfskriterium für einen vorschriftsgemäßen Einbau der 30 cm dicken Schottertragschicht auf Frostschuttschicht mit $E_{V2} \geq 120$ N/mm². Bei Einsatz modifizierter KTS mit einem optimierten Anteil an gebrochener Gesteinskörnung können die Anforderungen an den Verformungsmodul auf der Oberfläche der ToB mit $E_{V2} \geq 150$ N/mm² beibehalten werden.

Anhand der Untersuchungen sind an eine modifizierte Kiestragschicht 0/32 zur Anwendung unter Betondecken folgende Anforderungen zu stellen:

- Korngrößenverteilung: korngestuftes Baustoffgemisch aus gebrochener Gesteinskörnung < 8 mm; Korngruppe 0/2 mm aus gewaschenem Brechsand aus gebrochenem Kies; Verwendung von unebrochener Gesteinskörnung > 8 mm; Erweiterung des Sieblinienbereichs von STSuB bei 2 mm von 28 auf 31 %; Feinanteil < 0,063 mm im eingebauten Zustand < 5 M.-%,
- Wasserdurchlässigkeit: in der Laborprüfung Durchlässigkeitsbeiwert $k \geq 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/sec; der CBR-Versuch kann entfallen,
- Tragfähigkeit beim Plattendruckversuch: $E_{V2} \geq 150$ N/mm² (auch von der Bemessung her bei Auflagerung auf Frostschuttschicht).

Im Rahmen einer Betondecken-Versuchsstrecke sollte die modifizierte Kiestragschicht 0/32 "Km" unter Baustellenbedingungen erprobt werden, insbesondere hinsichtlich Transport, Einbau und Standfestigkeit.

5 Literatur

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1998): Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen, Ausgabe 1998, Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2004): Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau TL SoB-StB 04, Ausgabe 2004, Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2004): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau ZTV SoB-StB 04, Ausgabe 2004, Köln.
- Leykauf, G.; Birmann, D. (2004): Kies und Sand im Verkehrswegebau – neue Erkenntnisse und Entwicklungen, in: Kies + Sand: Gesteins-Perspektiven, 8 (2004), Heft 2, S. 28.