

Bewertung des Einflusses der Wasserempfindlichkeit von feinen Gesteinskörnungen auf die Mörteleigenschaften von Asphaltdeckschichten aus Walzasphalt

FA 6.118

Forschungsstelle: Technische Universität München, Zentrum Baustoffe und Materialprüfung, Lehrstuhl für Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen (Prof. Dr.-Ing. C. Gehlen)

Bearbeiter: Westiner, E. / Wörner, T. / Neidinger, S. / Patzak, T. / Rogg, D.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: April 2021

1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Unbestritten gilt, dass die Asphalteigenschaften entscheidend von den Eigenschaften der feinen Gesteinskörnungen (Sande) mitbeeinflusst werden. So stellte bereits Feix 1979 in [1] fest, dass die Dauerhaftigkeit der Gesamtasphaltbefestigung maßgeblich durch die Wasserempfindlichkeit der feinen Gesteinskörnungen und deren Einfluss auf die Mörteleigenschaften des Asphalt geprägt wird. Obwohl dies in Fachkreisen bereits seit langer Zeit bekannt ist, muss überraschenderweise festgestellt werden, dass die Wasserempfindlichkeit lediglich für die Lieferkörnung "Füller" in den Europäischen Normen verankert ist. Auf Sande beziehungsweise deren Anteile in Gesteinskörnungsgemischen wird grundsätzlich nicht näher eingegangen. Inzwischen konnte nachgewiesen werden, dass mit dem Schüttel-Abriebverfahren nach TP Gestein-StB, Teil 6.6.3 [2] gegenüber dem Verfahren nach DIN EN 1744-1 [3] die Wasserempfindlichkeit von Sanden und Füller wesentlich zielgenauer beschrieben werden kann [4]. Dies war auch der Grund für die Aufnahme des Prüfverfahrens in die TL Gestein-StB [5]. Das in den TP Gestein-StB beschriebene Prüfverfahren basiert auf der DIN EN 12274-7 [6].

Die Datensammlung der Arbeitsgruppe 6 "Gesteinskörnungen, ungebundene Bauweisen" innerhalb der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [7] zeigt, dass der Großteil der in Deutschland eingesetzten feinen Gesteinskörnungen (Sande) die Anforderungen der DIN EN 13043 [8] in Hinblick auf den Methylenblau-Wert erfüllen. Praxiserfahrungen der Länder belegen aber, dass trotz Einhaltung dieser Anforderung Schäden in der Asphaltdeckschicht infolge Wasserempfindlichkeit der Sande auftreten können. Der bundesweit vorliegende Bewertungshintergrund reicht bislang nicht aus, um Anforderungswerte für Sande hinsichtlich der Wasserempfindlichkeit festlegen zu können.

Aktuelle Forschungsergebnisse [9] zeigen auf, dass weder der Methylenblau-Wert noch das Sandäquivalent geeignet sind, Sande hinsichtlich ihrer Wasserempfindlichkeit zielsicher zu bewerten. Der Vorteil des Schüttel-Abriebverfahrens liegt da-

rin, dass der Asphaltmörtel und somit das Zusammenspiel von Sand, Füller, Bindemittel und Hohlräumgehalt betrachtet wird. Die untersuchten Sande weisen zum Teil sehr hohe Schüttel-Abrieb-Werte auf, obwohl die Anforderungen nach DIN EN 13043 [8] eingehalten werden. Diese Untersuchungsergebnisse bestätigten die Sinnhaftigkeit der Herausnahme von Methylenblau-Versuch und Sandäquivalent aus den TL Gestein-StB [5].

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Eigenschaften des Asphaltmörtels hinsichtlich seiner Wasserempfindlichkeit zu überprüfen, um gezielt qualitativ geeignete Sande einsetzen zu können und die Dauerhaftigkeit der Asphaltbefestigung zu erhöhen. Die Untersuchungen erfolgen an frisch produzierten Sanden und der Bewertung von mit diesen Sanden hergestellten Asphaltstrecken. Mit Hilfe des Schüttel-Abrieb-Verfahrens als Performance-Prüfung kann eine praxisgerechte Beurteilung der Qualität der Sande einschließlich des Fülleranteils ermöglicht werden, ohne deren Mineralogie beziehungsweise Petrografie zwingend erfassen zu müssen. Um die Lücke zwischen den im Labor ermittelten Eigenschaften der Sande und dem Praxisverhalten schließen zu können, bietet das Forschungsvorhaben die Möglichkeit, einen Bewertungshintergrund zu schaffen und anschließend praxisgerechte Anforderungswerte für das Bewertungskriterium Wasserempfindlichkeit durch die Merkmale "Schüttel-Abrieb" festlegen zu können.

2 Untersuchungsprogramm

AP 1 – Probenauswahl, -beschaffung und Untersuchungen an den feinen Gesteinskörnungen

Zur Umsetzung des Untersuchungsprogramms wurden 33 feine Gesteinskörnungen in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Gesteinsarten sowie Sande mit Schüttel-Abrieb-Werten, die den gesamten Wertebereich abdecken, einbezogen werden. An diesen Proben wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

- Konventionelle Prüfungen (Korngrößenverteilung, Rohdichte, Kornform, versteifende Eigenschaften),
- Petrografische und mineralogische Betrachtungen der feinen Gesteinskörnungen,
- Bestimmung der Füllereigenschaften,
- Bestimmung des Methylenblau-Wertes und Sandäquivalent am Füller und Sand und
- Schüttel-Abriebverfahren am Sandasphaltprobekörper.

Gesteinskörnungen, Ungebundene Bauweisen

AP 2 – Streckenbesichtigung und Untersuchungen an Ausbauproben

Neben den Untersuchungen an den feinen Gesteinskörnungen, wurden gleichzeitig 36 Strecken besichtigt, in denen die ausgewählten Sande aus AP 1 verbaut sind. Die Beurteilung der Strecken erfolgte auf die Merkmale "Ausmagerung, Kornausbrüche und Risserscheinungen". Bei hinsichtlich der Wasserempfindlichkeit auffälligen Strecken erfolgte die Entnahme von Ausbauproben, welche weitergehend untersucht wurden. Das Untersuchungsprogramm an den Ausbauproben umfasste hierbei folgende Prüfungen:

- Bestimmung des Hohlraumgehaltes,
- Bestimmung des Bindemittelgehaltes und der Korngrößenverteilung.

An den rückgewonnenen feinen Gesteinskörnungen wurden petrografische und mineralogische Untersuchungen sowie Schüttel-Abrieb-Prüfungen der Serie E und F vorgenommen.

AP 3 - Herstellung von Asphalten für Laborversuche und zum Einsetzen in ein Versuchsfeld

Aus den 33 untersuchten feinen Gesteinskörnungen aus AP 1 wurden abschließend 15 Sande auf der Grundlage der Schüttel-Abrieb-Ergebnisse für weitergehende Asphaltversuche ausgewählt. Diese decken den mittleren Wertebereich mit zehn Varianten, den unteren Bereich mit zwei und den oberen Wertebereich mit drei Varianten ab. Für die Untersuchungen am Asphalt werden Grundrezepturen für einen Asphaltbeton AC 8 D S 25/55-55 A und einen SMA 5 S 25/55-55 A erstellt. Für die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Varianten kommen als grobe Gesteinskörnung Diabas und als Fremdfüller Kalksteinmehl zum Einsatz. Mit Hilfe der Grundrezepturen wurden 25 Asphaltprobenvarianten im Labor gemischt und Asphalt-Probeplatten hergestellt. Diese wurden abschließend zur Beobachtung auf der B 17 zwischen Landsberg am Lech und Augsburg im Seitenstreifen eingebaut.



Bild 1: Einbau der Asphalt-Probeplatten in Versuchsfeld auf der B 17 Richtung Landsberg am Lech auf Höhe der AS Klosterlechfeld

3 Untersuchungsergebnisse der feinen Gesteinskörnungen

Sowohl an der Fraktion 0,125/2,0 mm (Sand) als auch an der Fraktion < 0,125 mm wurde der Mineralbestand (Röntgenbeugung / Diffraktometrie-XRD-Analyse) der Proben, an denen auch Untersuchungen am Asphalt stattfanden, halbquantitativ abgeschätzt. Aus diesem Grund wurden die Proben 2, 3, 5, 6, 9, 11, 12, 14, 17, 18, 20, 24 näher untersucht. Des Weiteren wurde der Mineralbestand an den extrahierten Sanden der Bohrkerne ebenfalls mittels XRD-Analyse bestimmt.

Die untersuchten feinen Gesteinskörnungen weisen hinsichtlich ihrer Mineralogie vor allem Minerale auf, die den Gruppen "Chlorit und Muskovit", "Smektit (Montmorillonit, Quarz- und Calcit)" sowie "Dolomit und Biotit" zuzuordnen sind (Bild 2 und 3).

Nach Extraktion der Sande aus den Bohrkernen zeigt sich bei allen Proben ein erhöhter Carbonatgehalt im Bereich unter 0,125 mm, da bei allen Strecken dem Asphalt Kalksteinmehl als Fremdfüller zugegeben wurde. Eine eindeutige Bewertung der rückgewonnenen Sande im Vergleich zu den eingesetzten Sanden kann hinsichtlich des Mineralbestandes nicht vorgenommen werden.

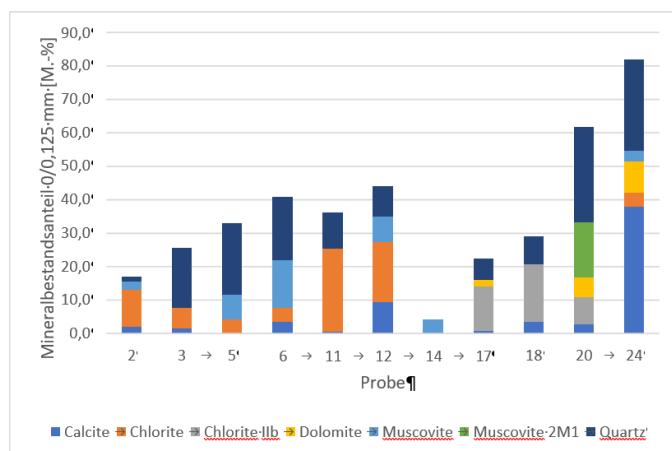


Bild 2: Auswertungen der XRD-Analyse-Ergebnisse der frischen Sande an der Fraktion 0/0,125 mm

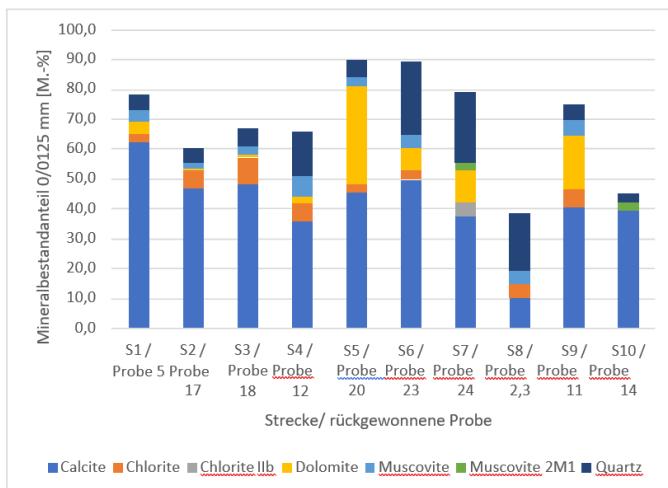


Bild 3: Auswertung der XRD-Analyse der aus den Strecken rückgewonnenen Sande an der Fraktion 0/0,125 mm

Die untersuchten Sande enthalten über alle Korngruppen betrachtet hauptsächlich stengelige bis splittrige beziehungsweise gedrungene und scharfkantige Körner. Lediglich in der Korngruppe unter 0,125 mm überwiegen die gedrungenen Körner mit abgerundeten Kanten. Diese Kornform überwiegt auch bei den rückgewonnenen Sanden, was darauf hindeutet, dass hier ein Oberflächenabrieb stattgefunden hat. Die bei der Kornformermittlung bestimmten Ergebnisse passen auch gut zu den hohen Fließzeiten (von 35,4 bis 46,6 s) bei der Bestimmung des Fließkoeffizienten. Die ermittelten Plättigkeitskennzahlen liegen zwischen 4,9 M.-% und 33,3 M.-%.

Die mikroskopische Betrachtung der Kornoberflächen zeigt in der Korngruppe 1,0 / 2,0 mm keine Abwitterungsscheinungen, dafür aber eine raue Kornoberfläche auf. Mit kleiner werdender Korngruppe nehmen die Anteile mit glatter und runder Oberfläche zu, Abwitterungsscheinungen sind auch hier nicht zu erkennen. Nach der Extraktion sind farbliche Veränderungen und eine erhöhte Oberflächenrauheit in allen Korngruppen festzustellen. Zudem sind in der Korngruppe 1,0 / 2,0 mm verstärkt Abwitterungen an der Kornoberfläche zu erkennen.

Die Korngrößenverteilung der Sande erfüllt mit wenigen Ausnahmen die Anforderungen an G_F85. Die an den Fülleranteilen ermittelte verstifende Wirkung sowie die Rigden-Hohlraumgehalte weisen auf keine Besonderheiten hin, die bei der Asphaltkonzeption zu beachten wären.

Bei Betrachtung der Methylenblau-Werte zeigt sich ein Zusammenhang zu den Sanden, bei denen erhöhte Anteile an "Chlorit und Muskovit" sowie "Smektit" festgestellt wurden. Bei der Gegenüberstellung der am Sand und am Füller ermittelten Methylenblau-Werte zeigt sich eine leichte Korrelation, zwischen den Ergebnissen des Methylenblau-Werts und des Sandäquivalent ergibt sich keine Korrelation.

Die an den Eigenfüllern ermittelten Werte des Schüttel-Abriebs liegen zwischen 25 und 79 M.-%. Hierbei überschreiten 19 Proben den in Bayern geltenden Anforderungswert [10] von 45

M.-%. Die Korrelation zwischen dem Schüttel-Abrieb und dem Methylenblau-Wert am Füller ist nur sehr gering ausgeprägt, ein Zusammenhang zu der mineralogischen Zusammensetzung kann jedoch hergestellt werden.

Die an den Sanden ermittelten Werte des Schüttel-Abriebs zeigen mit Eigenfüller und mit Fremdfüller vergleichbare Ergebnisse. Die Werte liegen hierbei zwischen 8,0 M.-% und 85,2 M.-%. Vergleicht man die ermittelten Werte mit den in Bayern geltenden Anforderungswerten (25 M.-% für Asphaltdeck- und -binderschichten), so zeigt sich, dass bei der Prüfung mit Eigenfüller 24 Proben keine Verwendung in Asphaltdeck- oder -binderschichten finden dürften.

Bei der Untersuchungsserie mit Fremdfüller scheiden zehn Proben für die Verwendung in Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten aus.

Weder zwischen Methylenblau-Wert und Sandäquivalent noch zwischen Schüttel-Abrieb und Methylenblau-Wert sowie Sandäquivalent lassen sich Korrelationen herstellen.

Grundsätzlich ist eine vergleichende Betrachtung der angelieferten ungebrauchten Sande mit dem Erscheinungsbild der Asphaltstrecken nur eingeschränkt möglich. Die von den Sandproduzenten aus der werkseigenen Produktionskontrolle zu Verfügung gestellten Ergebnisse zum Schüttel-Abrieb zeigen teilweise sehr große Spiegelungen, was auf große Qualitätsunterschiede bei der Produktion hinweist. In die sich hieraus ergebenden Spannen fügen sich die für den Schüttel-Abrieb der angelieferten Sande gewonnenen Ergebnisse oftmals nicht ein, beziehungsweise liegen außerhalb dieser Spannen.

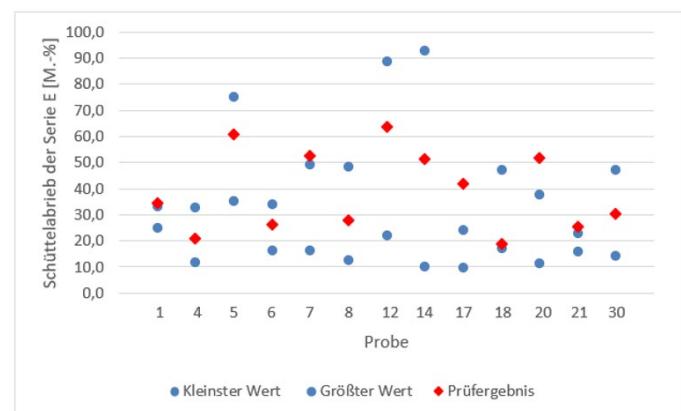


Bild 4: Gegenüberstellung der Spannweite des Schüttel-Abriebs der Serie E mit dem Prüfergebnis

4 Untersuchungen an Ausbauproben

Die an den rückgewonnenen Sanden ermittelten Werte für den Schüttel-Abrieb liegen durchweg auf einem niedrigen Niveau. Zusätzlich durchgeführte Untersuchungen lassen vermuten, dass die Hitzebeanspruchung bei der Asphaltproduktion und gegebenenfalls auch der Extraktionsprozess des Asphaltmischguts eine Reduzierung der Schüttel-Abrieb-Werte bewirkt.

Gesteinskörnungen, Ungebundene Bauweisen

ken (siehe Bild 5). Zur Bewertung der Qualität des Sand- und Fülleranteils nach Rückgewinnung aus dem Asphalt sind weiterführende Untersuchungen notwendig.

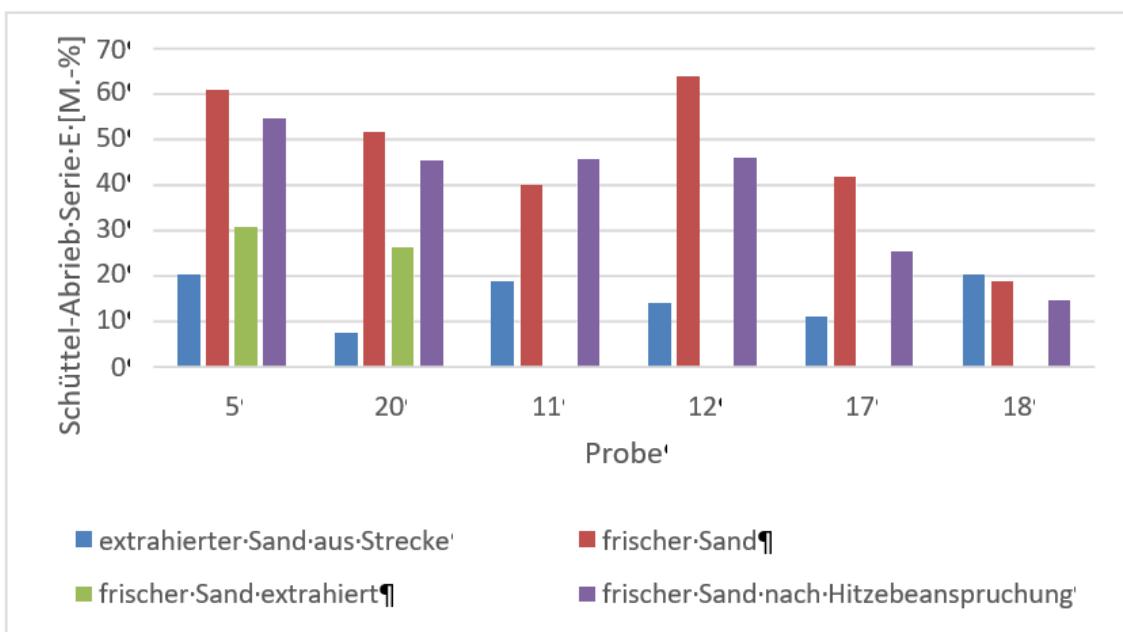


Bild 5: Ergebnisse des Schüttel-Abriebs der Serie E ausgewählter Sande nach Hitzebeanspruchung

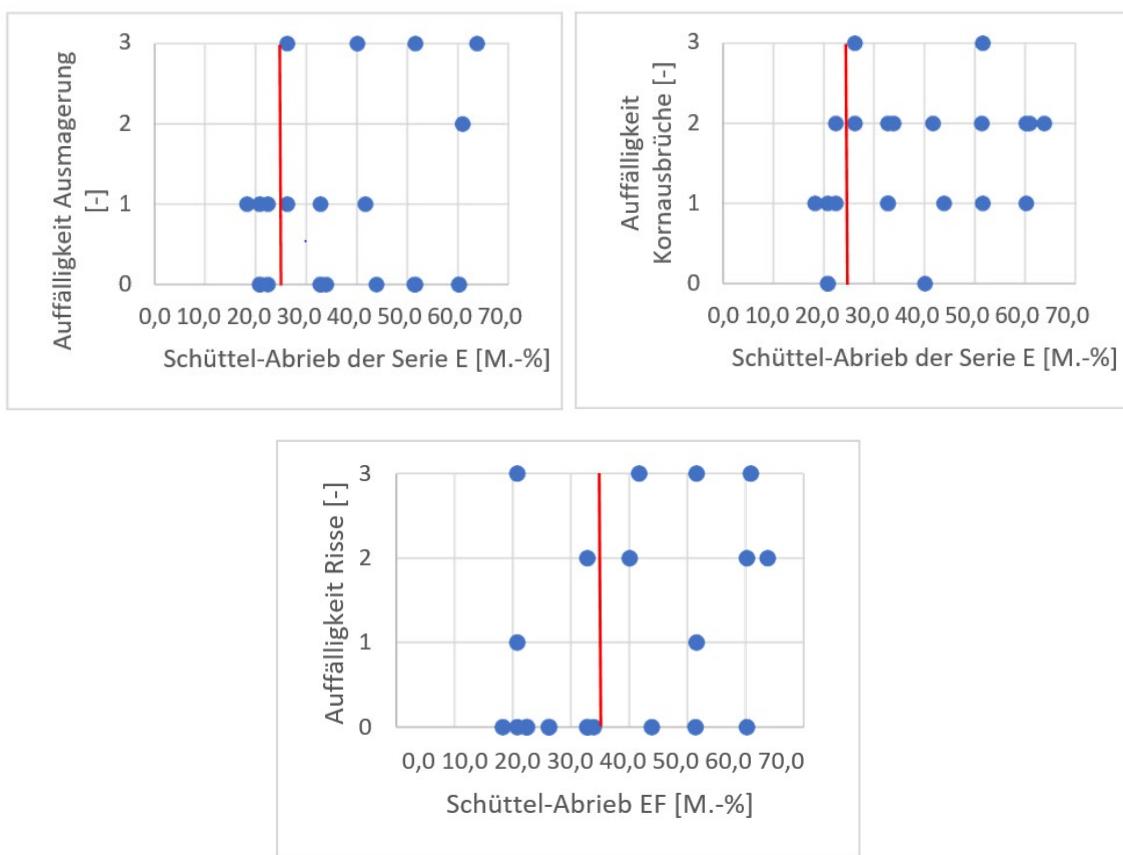


Bild 6: Ergebnisse der Streckenbesichtigungen in Abhängigkeit der Ergebnisse des Schüttel-Abriebs der Serie E

Der Vergleich der Werte des Schüttel-Abriebs mit den Beobachtungen bei den Streckenbesichtigungen zeigt, dass sich Ausmagerungerscheinungen vor allem dann ergeben, wenn der Wert des Schüttel-Abriebs über 25 M.-% liegt, Risse zeigen sich verstärkt ab Werten von 35 M.-%. Dies wird durch die Anzahl der Punkte rechts der roten Linie in Bild 6 ersichtlich. Da diese Schadensbilder aber auch mit der Asphaltkonzeption und hier vor allem dem Bindemittelgehalt zusammenhängen, ist ein statistischer Zusammenhang zwischen Erscheinungsbild und Schüttel-Abrieb nur abzuschätzen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des Forschungsvorhabens war die praxisgerechte Beurteilung von feinen Gesteinskörnungen hinsichtlich ihrer Wasserempfindlichkeit, um die Lücke zwischen den im Labor gewonnenen Ergebnissen und dem Praxisverhalten zu schließen. Dafür wurden 36 Strecken besichtigt und hinsichtlich ihrer Auffälligkeiten, die in Verbindung mit der Wasserempfindlichkeit der darin enthaltenen feinen Gesteinskörnungen stehen, bewertet. Dies erfolgte durch optische Streckenbesichtigungen sowie ELAtextur-Messungen. Um einen Zusammenhang zu dem Praxisverhalten der feinen Gesteinskörnungen herstellen zu können, wurde im Labor die Qualität von 33 frischen Sanden untersucht. Die erste Auswahl der Sande erfolgte anhand eines großen Wertebereichs der Schüttel-Abrieb-Ergebnissen aus den Angaben der erweiterten Sortenverzeichnisse. An diesen Sanden sind mineralogische sowie technologische Untersuchungen mit besonderem Fokus auf die wasserempfindlichkeitsansprechenden Prüfungen durchgeführt. Des Weiteren wurden an zehn ausgewählten Strecken mit optischen Auffälligkeiten Ausbauproben entnommen, um die Wasserempfindlichkeit der rückgewonnenen feinen Gesteinskörnungen analysieren und in Relation zu ihren frischen Sanden bringen zu können. Dafür wurden an den rückgewonnenen feinen Gesteinskörnungen mineralogische Untersuchungen und Schüttel-Abrieb-Prüfungen der Serie E und F durchgeführt. Abschließende Auswertungen ergaben die folgenden Ergebnisse:

Die Analyse der Untersuchungsergebnisse der frischen feinen Gesteinskörnungen ergab, dass das Methylenblau-Verfahren sowie das Schüttel-Abrieb-Verfahren mit den Ergebnissen der mineralischen Reiphäsen (Muskowit, Smektit und Dolomit) in einem Abhängigkeitsverhältnis stehen. Die Abhängigkeit der Messwerte von der Art und dem Gehalt von quellenden Tonmineralen konnte dadurch nachgewiesen werden. Vor allem die höchsten MBF-Werte konnten auch mit den höchsten Anteilen quellfähiger Tonminerale in Verbindung gebracht werden. Eine Korrelation zwischen dem Schüttel-Abrieb des Füllers und dem Methylenblau-Wert MBF ist jedoch nur gering ausgeprägt. Eine gewisse Signifikanz zwischen den MB-Werten am Sand sowie den MBF-Werten am Füller konnte man jedoch erkennen.

Das Sandäquivalent-Verfahren weist weder zu den Schüttel-Abrieb-Prüfergebnissen noch zu den Ergebnissen des Methyl-

enblau-Werts Korrelationen auf. Auch im Hinblick auf die Ergebnisse der Mineralogie kann kein Zusammenhang hergestellt werden. Aus diesem Grund wird dieses Verfahren als nicht zielführend definiert.

Die Ergebnisse der Schüttel-Abrieb-Prüfungen des Füllers und der Prüfung des Schüttel-Abriebs der Serie E und F am Sand zeigen im Gegensatz zum Sandäquivalent eine große Wertespreizung der 33 untersuchten Sande auf. Auch zwischen dem Schüttel-Abrieb am Füller und der Serie E ist ein ausgeprägter Zusammenhang ersichtlich. Darüber hinaus zeichnet sich diese Prüfung durch ihre Praxisnähe aus, wie die ermittelten Zusammenhänge von Streckenbesichtigung und den Ergebnissen des Schüttel-Abriebs der Serie E aufzeigen. So konnte ein Zusammenhang zwischen den Schüttel-Abrieb-Ergebnissen der Serie E zu den Ergebnissen der ELAtextur-Messergebnissen und den Merkmalen "Ausbmagerung" und "Risse" hergestellt werden. Insbesondere ab einem Schüttel-Abrieb-Wert von 35 M.-% nahmen die Auffälligkeiten in ihrer Intensität zu. Da Asphaltmischgut durch mehrere Komponenten hinsichtlich seiner Einbauqualität bestimmt wird, wurden Auffälligkeiten, die auf andere Ursachen als die Wasserempfindlichkeit zurückzuführen sind, im Zuge der Analyse eliminiert.

Auch der Methylenblau-Wert des Füllers konnte bei der Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der Streckenbesichtigungen in einen Zusammenhang zwischen den Merkmalen "Ausbmagerung" und "Kornausbrüche" gebracht werden.

Die Schüttel-Abrieb-Ergebnisse der rückgewonnenen Sande weisen deutlich verminderte Schüttel-Abrieb-Werte im Vergleich zu den Prüfergebnissen der frischen Sande auf. Dies wurde als Folge vor allem der Hitzebeanspruchung und gegebenenfalls der Extraktion erkannt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein Zusammenhang zwischen den in der Praxis eingebauten Asphaltdeckschichten und den Laborergebnissen zur Wasserempfindlichkeit festgestellt werden konnte. Hierbei zeigte sich, dass mit steigendem Schüttel-Abrieb – und somit ungünstiger Wasserempfindlichkeit – auch die Auffälligkeiten im Gebrauchsverhalten der Asphalt zunahmen. Auf Basis dieser Erkenntnisse lässt sich eine Empfehlung für einen Anforderungswert ableiten.

Der in Bayern seit vielen Jahren geltende Anforderungswert erscheint grundsätzlich geeignet. Hier hat die Steine- und Erden-Industrie bewiesen, dass durch Optimierung der Produktion der Anforderungswert zielgerecht eingehalten werden kann. Seit über 10 Jahren wird auf Grundlage der Festlegungen der TL Gestein-StB das Schüttel-Abriebverfahren bundesweit angewendet. Die in den Werken vorliegenden Erfahrungen sollten es unter Beachtung der Präzision des Prüfverfahrens ermöglichen, Sande mit einem Schüttel-Abriebwert der Serie E von max. 35 M.-% für die Asphaltproduktion zielsicher bereitzustellen.

6 Literatur

- [1] FEIX, R: Untersuchungen von Sanden zur Ermittlung der auf die Qualität bituminöser Mörtel wirksamen Einflussfaktoren. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft Nr. 275, Bundesministerium für Verkehr, Bonn. 1979.
- [2] Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2018 - TP Gestein-StB, Teil 6.6.3 Wasserempfindlichkeit von feinen Gesteinskörnungen – Schüttel-Abriebverfahren. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- [3] DIN EN 1744-1: Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Chemische Analyse; Deutsche Fassung EN 1744-1:2009+A1:2012.
- [4] GRAF, K; VASSILIOU, K.: Auswirkungen der Eigenschaften von Sand und Füller auf den Mörtel von Walzaspalt (Splittmastixasphalt / Asphaltbeton). Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft Nr. 964, Bundesministerium für Verkehr, Bonn. 2007.
- [5] Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen in Straßenbau, Ausgabe 2004/ Fassung 2018 - TL Gestein-StB 04/18. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- [6] DIN EN 12274-7: Dünne Asphaltsschichten in Kaltbauweise – Teil 7: Schüttel- Abriebprüfung; Deutsche Fassung EN 12274-7:2005.
- [7] FGSV-Datensammlung Sandeigenschaften, Bearbeitung im AK 6.1.2 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; unveröffentlicht.
- [8] DIN EN 13043:2015-07: Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlung für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen; Deutsche Fassung EN 13043:2015.
- [9] KUGLER, H.; WÖRNER, T.; WESTINER, E.; NEIDIGNER, S.; RÖTHLISBERGER, F.; OTTNER, F.: Praxisgerechte Beurteilung der Qualität von feinen Gesteinskörnungen für den Anwendungsbereich Asphalt (Qualifine). Ein Projekt finanziert im Rahmen der D-A-CH-Kooperation Verkehrsinfrastrukturforschung 2017 DACH 2017, Juni 2019.