

Entwicklung eines Verfahrens zur Prüfung und Bewertung des Abriebwiderstandes von Bettungs- und Fugenmaterial von Pflasterbefestigungen

AiF 13938 N

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg) / Fachhochschule Köln, Institut für Baustoffe, Geotechnik, Verkehr und Wasser (Prof. Dr.-Ing. C. Koch)

Bearbeiter: Ritter, J.

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

Abschluss: Januar 2007

1 Aufgabenstellung

Durch dynamische und statische Verkehrslasten verursachte Reibungskräfte können in einer Pflasterdecke zur Verfeinerung des Fugen- und Bettungsmaterials führen. Bei der Verwendung von Gesteinskörnungen mit geringem Abriebwiderstand kann die entsprechend starke Feinkornanreicherung zu einer Entleerung der Fuge und Herabsetzung der Wasserdurchlässigkeit führen, sodass die Entwicklung von Schäden zu erwarten ist. Das Regelwerk empfiehlt daher, Körnungen 0/5 mm oder 0/8 mm mit einem ausreichenden Abriebwiderstand zu verwenden. Nähere Angaben, wie der Abriebwiderstand bestimmt und bewertet werden kann, sind jedoch nicht im Regelwerk enthalten. Anforderungswerte existieren lediglich für die Prüfung der groben Körnungen > 8 mm nach DIN EN 1097-2 (DIN, 1998) mit dem Los Angeles-Verfahren oder zurzeit noch mit dem Schlagversuch, obwohl kein gesicherter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Prüfung verschiedener Körnungen eines Materials besteht. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Prüfung des Abriebwiderstands von Gesteinskörnungsgemischen mit einem Größtkorn von 2 bis 5 mm.

Geeignet für diese Problemstellung schien das Prüfverfahren zur Bestimmung des Abriebs mit der Kugelmühle nach TP Min-StB Teil 5.4.2 (FGSV, 1982) und ein zu modifizierendes Prüfverfahren zur Bestimmung des Verschleißes mit dem Micro-Deval-Gerät in Anlehnung an die DIN EN 1097-1 (DIN, 2003). Erfahrungs- oder Anforderungswerte gibt es jedoch für beide Verfahren nicht.

Für das gewählte Prüfverfahren soll anschließend ein Bewertungshintergrund für repräsentative Gesteine erarbeitet werden. Dieser Bewertungshintergrund soll mit baupraktischen Erfahrungen verglichen werden, um eine Grundlage zur Definition von Anforderungswerten an Gesteinskörnungen für Bettungs- und Fugenmaterialien zu schaffen.

Weiterhin soll die Eingangsthese überprüft werden, ob zwischen den Ergebnissen an feinen Gesteinskörnungen 0/2 mm bzw. 0/5 mm bei der Prüfung des Abriebwiderstands in der Kugelmühle nach TP Min-StB sowie mit einer angepassten Variante des Micro-Deval-Verfahrens im Vergleich zum Los Angeles-Verfahren nach DIN EN 1097-2 und dem Micro-Deval-Verfahren nach DIN EN 1097-1 an groben Körnungen 10/14 mm Zusammenhänge bestehen.

Abschließend sollen geeignete Anforderungen an den Abriebwiderstand zur Aufnahme in das Regelwerk empfohlen werden.

Das vorliegende Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) über die Forschungsge-

sellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF), gefördert.

2 Untersuchungsmethodik

2.1 Laboruntersuchungen

In Laboruntersuchungen wurden 20 Korngemische 0/5 mm untersucht, die als Bettungs- und Fugenmaterialien üblicherweise eingesetzt werden. Dazu kamen RC-Baustoffe (rezyklierter Beton und Ziegel) und industrielle Nebenprodukte (Hütten sand, Schmelzkammergranulat und LD-Schlacke). Als Vergleichsmaterialien dienten drei Natursande.

Zunächst wurden die Festigkeiten der Körnungen 10/14 mm mit dem Micro-Deval-Verfahren und dem Los Angeles-Verfahren bestimmt und mit den SZ-Werten aus den Fremdüberwachungsberichten verglichen. Die Bestimmung der Abriebfestigkeit der Körnungen 0,09/2,0 mm erfolgte mit der Prallprüfung an Sand in der Kugelmühle.

Anschließend wurden in Voruntersuchungen die Prüfparameter variiert, um geeignete Randbedingungen für die Prüfung von Bettungsmaterialien mit dem Micro-Deval-Gerät zu ermitteln.

Die Korngrößenverteilung für die Zusammensetzung der Proben der Körnung 0,25/5,6 mm wurde in Anlehnung an den vom M FP 1 (FGSV, 2003) empfohlenen Bereich für Bettungsmaterial festgelegt. Zusätzlich wurden zusammengesetzte Proben mit einem Feinkornanteil < 0,09 mm untersucht. Der Vergleich der Ergebnisse mit und ohne Feinanteil zeigte, dass die Körnung 0/0,25 mm keinen maßgeblichen Einfluss auf die Abriebbeanspruchung des Materials hat.

Aus den Ergebnissen der Voruntersuchung wurden die folgenden Prüfbedingungen festgelegt:

- Die Probe ist mit einer Gesamtmasse von 500 g nach folgenden Vorgaben zusammenzusetzen:

- 0,25/0,5 mm	20 M.-%
- 0,5/0,71 mm	10 M.-%
- 0,71/1,0 mm	7 M.-%
- 1,0/2,0 mm	23 M.-%
- 2,0/4,0 mm	28 M.-%
- 4,0/5,0 mm	9 M.-%
- 5,0/5,6 mm	3 M.-%
- Der Versuch wird mit insgesamt 1 500 Umdrehungen bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 100 U/min durchgeführt. Es ist eine Trommel mit den Maßen D = 154 mm und L = 200 mm nach DIN EN 1097-1 zu verwenden. Die Reibladung wird aus 9 Kugeln Ø = 30 mm, 21 Kugeln Ø = 18 mm und einer Menge von Kugeln mit Ø = 10 mm, die das Gesamtgewicht der Ladung auf 2 500 g ergänzen, zusammengesetzt. Die beizugebende Wassermenge beträgt 2,5 l.
- Nach Belastung wird die Bestimmung der Korngrößenverteilung der beanspruchten Probe mithilfe der folgenden Prüfsiebe durchgeführt: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 0,71 mm, 1,0 mm, 2,0 mm, 4,0 mm, 5,0 mm und 5,6 mm. Die Prüfung nach den oben genannten Bedingungen wird als modifiziertes Micro-Deval-Verfahren, kurz MMD-Verfahren, bezeichnet. Die Prüfkörnung 0,25/5,6 mm wird im Folgenden als 0/5 bezeichnet.

Ergänzend zu der Prüfung an der Körnung 0,25/5,6 mm wurden von sieben ausgewählten Materialien die Körnungen 0,09/2,0 mm mit der Prüfapparatur des MMD-Verfahrens untersucht. Dazu wurden die Proben nach den Vorgaben für die Prallprüfung an Sand nach den TP Min-StB mit einer Gesamtmasse von 500 g zusammengesetzt und im Weiteren mit den Randbedingungen des MMD-Verfahrens an Körnungen 0/5 geprüft. Zur Beurteilung des Einflusses der Anzahl der Umdrehungen wurden die Versuche jeweils mit 500 und 1 500 Umdrehungen durchgeführt.

Weiterhin wurde die Prüfung von Körnungen 0,25/5,6 mm mit der Kugelmühle nach TP Min-StB an ausgewählten Gesteinskörnungen erprobt. Dazu wurde die Probe entsprechend der Vorgaben für das MMD-Verfahren mit einer Gesamtmasse von 100 g zusammengesetzt und mit ansonsten unveränderten Randbedingungen nach TP Min-StB, Teil 5.4.2, geprüft.

Als Ergänzung der ursprünglich vorgesehenen Untersuchungen wurde ein weiteres Verfahren mit schlagender Beanspruchung erprobt. Der Widerstand gegen Kornverfeinerung wurde an insgesamt vier Gesteinskörnungen mithilfe des Proctorgeräts bestimmt. Die Prüfkörnungen 0,25/5,6 mm wurden entsprechend des MMD-Verfahrens zusammengesetzt und einschichtig mit einer Höhe von $4 \pm 0,2$ cm in den Proctortopf mit einem Durchmesser von 100 mm eingebaut. Nach Aufsetzen der Stahlplatte erfolgte die Belastung in Form von 40 Schlägen mit dem Proctorhammer ($m = 2,5$ kg). Anschließend wurde die Korngrößenverteilung bestimmt.

2.2 Felduntersuchungen

Neben der labortechnischen Untersuchung von Gesteinskörnungen wurden zur Schaffung eines Bewertungshintergrunds insgesamt acht Verkehrsflächen in Pflasterbauweise im Raum Nordrhein-Westfalen untersucht. Dabei wurden Flächen mit einer vergleichsweise hohen Verkehrsbelastung, die etwa der Bauklasse III entspricht, ausgewählt. Nach Auskunft der Straßenbauverwaltung wurden bei den ausgesuchten Flächen Bettungsmaterialien mit abgestufter Korngrößenverteilung verwendet.

Die verschiedenen Flächen können in fünf Positiv- und drei Negativbeispiele unterteilt werden. Die Positivbeispiele waren durch das Fehlen maßgeblicher Schäden trotz langer Liegezeit und hohem Verkehrsaufkommen gekennzeichnet. Die zweite Gruppe der Negativbeispiele beinhaltete Pflasterflächen mit maßgeblichen Schäden, die eine weitere Nutzung beeinträchtigen oder die sich zum Zeitpunkt der Probenahme bereits im Zustand der Sanierung befanden.

Um die Veränderung des Bettungsmaterials durch die Verkehrsbelastung beurteilen zu können, wurden an jeder Fläche zwei Messpunkte, die in einem schwach und einem unmittelbar belasteten Bereich lagen, ausgewählt. Im Labor wurden u. a. die Abriebwiderstände des entnommenen Bettungsmaterials mit der Prüfung in der Kugelmühle nach den TP Min-StB und dem MMD-Verfahren 0/5 bestimmt.

2.3 Umfrage

Die Befragung von Sachverständigen und Tiefbauämtern wurde vorrangig veranlasst, um den auf den Felduntersuchungen aufbauenden Bewertungshintergrund durch Erfahrungen und Kenntnisse aus dem praktischen Umgang mit Schäden an Pflasterflächen zu vervollständigen. Dazu wurde ein Fragebogen erstellt, der an 55 Tiefbauämtern in Nordrhein-Westfalen, mehrheitlich nach vorheriger Absprache, sowie etwa 35 Sachverständige versandt wurde. Der inhaltliche Schwerpunkt der Umfrage bestand in der Sammlung von Erfahrungen mit Schadensfällen aufgrund mangelnden Abriebwiderstands. Dazu

zählten u. a. die Frage nach dem Schadensbild, der Bitte um Nennung von Beispielen für schadhafte Verkehrsflächen sowie der persönlichen Einschätzung der Befragten nach Ursachen und quantitativer Bedeutung des Abriebwiderstands in Anbetracht der Gesamtheit der Schadensfälle.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Prüfung des Widerstands gegen mechanische Beanspruchung

Die aus den Fremdüberwachungsberichten entnommenen SZ-Werte decken einen großen Bereich zwischen 10 und 23 M.-% ab. Bei den Los Angeles-Koeffizienten ergab sich erwartungsgemäß eine noch größere Bandbreite zwischen 9,7 und 36 M.-%. Die Micro-Deval-Koeffizienten liegen in einem Bereich zwischen 5,5 bis 27,8 M.-%. Bei der Prallprüfung in der Kugelmühle wurden Abriebwerte zwischen 5,0 bis 22,6 M.-% festgestellt.

3.2 Modifizierte Abriebprüfungen

MMD-Verfahren 0/5

Das MMD-Verfahren wurde in der Regel an sechs Teilproben durchgeführt. Aus den sechs Einzelwerten wurde zur Beurteilung der Streuungen die Standardabweichung für jedes verwendete Prüfsieb berechnet. Die über alle Gesteinskörnungen gemittelte Standardabweichung liegt in Abhängigkeit vom betrachteten Prüfsieb etwa in einem Bereich zwischen 0,3 und 0,5 M.-%.

Beispielhaft sind die Korngrößenverteilungen vor und nach Beanspruchung von Gesteinskörnungen mit verschieden hohem Abriebwiderstand in Bild 1 dargestellt.

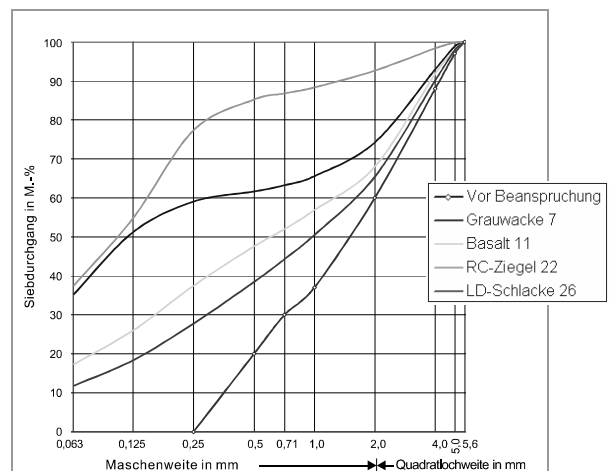


Bild 1: Korngrößenverteilung vor und nach Beanspruchung (MMD-Verfahren 0/5)

Neben der Betrachtung der gesamten Korngrößenverteilung vor und nach Beanspruchung der Probe wurden verschiedene Methoden zur Vereinfachung der Auswertung des MMD-Verfahrens erprobt. Die Auswertung sollte dabei in der Berechnung eines Werts münden, der mit möglichst hoher Differenzierung eine Auskunft über die Abriebfestigkeit des untersuchten Materials gibt.

Dazu wurden zwei unterschiedliche Prinzipien verfolgt:

- Auswertung in Anlehnung an DIN EN 1097-1/2 und NF P 18-576 (Association Française de Normalisation, 1990); der Abriebwert ergibt sich aus dem Siebdurchgang durch ein festgelegtes Prüfsieb.

- b) Auswertung durch Berechnung der Differenz ausgewählter Siebdurchgänge vor und nach Abriebbeanspruchung, dividiert durch die Anzahl der Siebe.

Bild 2 zeigt die Ergebnisse des MMD-Verfahrens bei Auswertung nach der unter a) aufgeführten Methode. Der MMD-Koeffizient wurde aus dem Siebdurchgang durch das 0,063-mm-Prüfsieb mit folgender Gleichung berechnet:

$$\text{MMD-Koeffizient} = \frac{D_{0,063\text{mm}}}{500} \cdot 100 \text{ [M.-%]}$$

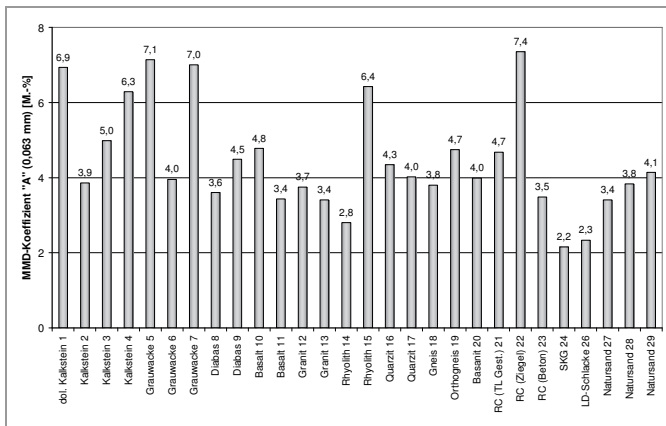


Bild 2: Auswertung des MMD-Verfahrens 0/5 mit dem 0,063-mm-Prüfsieb

Die unter a) erläuterte Methode mit dem 0,063-mm-Prüfsieb erlaubt eine gute Differenzierung der Gesteinskörnungen. Dabei steht ein hoher MMD-Koeffizient für eine geringe Abriebbeständigkeit des Materials.

Der Vergleich der Ergebnisse bei der Auswertung nach a) ergab eine geringfügige Abnahme der Differenzierung der einzelnen Materialien bei Verwendung der Prüfsiebe mit größeren Nennöffnungsweiten.

Der Vergleich von insgesamt 12 unterschiedlichen Methoden zur Auswertung des MMD-Verfahrens in Anlehnung an die unter a) und b) beschriebenen Prinzipien ergab, dass sowohl bei Betrachtung einzelner Prüfsiebe nach a) oder mehreren Sieben b) eine gute Differenzierung erreicht werden kann.

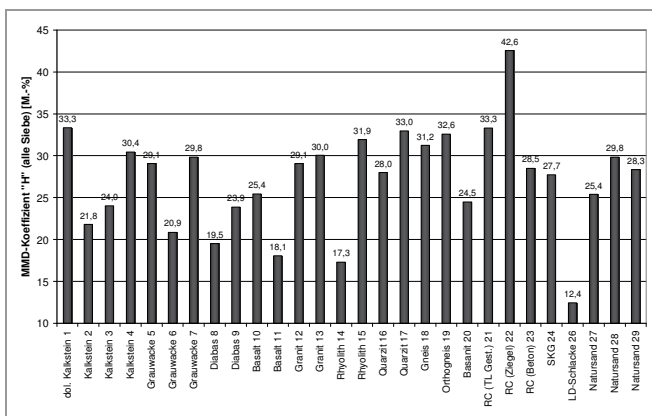


Bild 3: Auswertung des MMD-Verfahrens 0/5 mit mehreren Sieben

Beispielhaft für die Auswertung nach dem Prinzip b) mit mehreren Prüfsieben sind in Bild 3 die MMD-Koeffizienten bei Verwendung von insgesamt neun Prüfsieben dargestellt. Die Abbildung lässt auf eine gute Differenzierung zwischen den verschiedenen Gesteinskörnungen schließen.

Die Beurteilung bestimmter Gesteinskörnungen als hoch oder gering abriebbeständig hing unmittelbar von der Wahl der Art der Auswertung ab. Andere Materialien wie die LD-Schlacke, der Rhyolith 14 oder Basalt 11 wurden unabhängig von dem jeweiligen Vorgehen bei der Auswertung als abriebbeständig eingestuft, während der rezyklierte Ziegel oder der Kalkstein 1 durchgängig einen geringen Abriebwiderstand aufwiesen.

MMD-Verfahren 0/2

Entsprechend der Auswertung der Prallprüfung mit der Kugelmühle wurde neben der Bestimmung der Korngrößenverteilung der Abriebwert $A_{KM(MMD)}$ nach den TP Min-StB berechnet. Eine gute Übereinstimmung der Prüfergebnisse des MMD-Verfahrens 0/2 mit den Werten der Kugelmühle wurde bei 500 Umdrehungen festgestellt (siehe Bild 4).

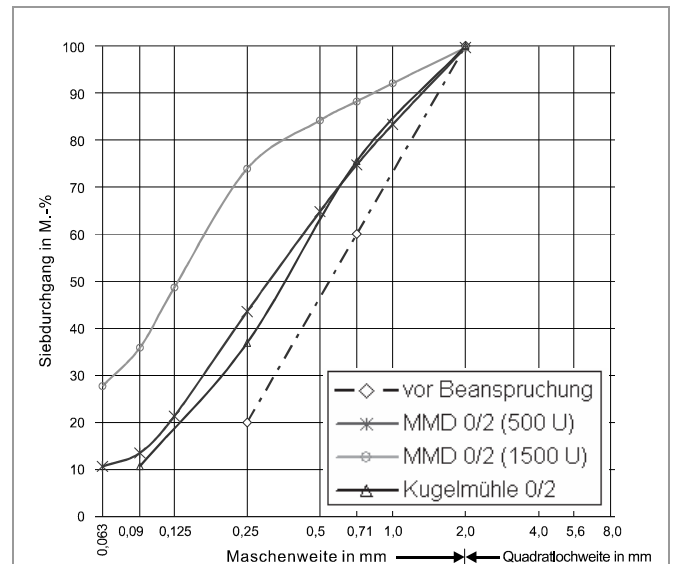


Bild 4: KGV vor und nach Beanspruchung für MMD 0/2 nach 500 U und nach 1 500 U, Kugelmühle 0/2 nach Beanspruchung für Kalkstein 3

Prüfung in der Kugelmühle an Körnungen 0,25/5,6 mm

Der Vergleich der Korngrößenverteilungen vor und nach Belastung zeigt, dass die Kornverfeinerung im Vergleich zum MMD-Verfahren 0/5 in der Kugelmühle geringer ausfällt. Da die Prüfung in der Kugelmühle ohne Zugabe von Wasser und mit insgesamt nur 1000 Umdrehungen erfolgte, entspricht der geringere Abrieb den Erwartungen. Die Korngrößenverteilungen nach Beanspruchung verlaufen bei dem MMD-Verfahren 0/5 und der Prüfung in der Kugelmühle 0/5 weitgehend parallel.

Modifiziertes Proctorverfahren an Körnungen 0,25/5,6 mm

Die Korngrößenverteilungen der mit dem Proctorgerät belasteten Proben 0,25/5,6 mm zeigen, dass das Maß der Kornverfeinerung im Vergleich zu dem MMD-Verfahren deutlich geringer ausfällt. Dennoch entspricht die Reihung der Gesteinskörnungen nach ihrer Schlagfestigkeit den Ergebnissen des MMD-Verfahrens.

3.3 Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Verfahren

Zur Beurteilung und Quantifizierung des statistischen Zusammenhangs der Ergebnisse der verwendeten Prüfverfahren wurden die Korrelationskoeffizienten r_{XY} nach Pearson berechnet. In Bild 5 sind die Korrelationskoeffizienten für die verwendeten Verfahren als Matrix dargestellt.

Variable	Korrelationskoeffizienten r				
	SZ	AKM	LA	MD	MMD A
SZ-Wert	1,00	0,61	0,94	-0,05	0,20
Abriebwert AKM (Kugelmühle)	0,61	1,00	0,33	0,18	0,60
Los Angeles-Koeffizient	0,94	0,33	1,00	-0,01	-0,10
Micro-Deval-Koeffizient	-0,05	0,18	-0,01	1,00	0,53
MMD-Koeffizient "A" (0,063 mm)	0,20	0,60	-0,10	0,53	1,00

Bild 5: Korrelationskoeffizienten

Die Berechnungen haben gezeigt, dass erwartungsgemäß nicht ein Faktor für sich ausschlaggebend für eine starke oder schwache Korrelation ist. Erst mit zunehmender Übereinstimmung der Prüfbedingungen wiesen die Ergebnisse der jeweiligen Verfahren größere Übereinstimmungen auf, wie der

Zusammenhang zwischen dem SZ- und dem LA-Verfahren ($r=0,94$) zeigt. Dagegen wurde trotz vergleichbarer Art der Beanspruchung nur ein schwacher Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des MD-Verfahrens und des MMD-Verfahrens 0/5 ($r=0,53$) sowie der Prüfung in der Kugelmühle 0/2 ($r=0,18$) festgestellt. Umgekehrt konnte bei übereinstimmender Prüfkörnung 10/14 mm aufgrund der unterschiedlichen Beanspruchung kein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des LA- und des MD-Verfahrens ($r=-0,01$) nachgewiesen werden. Dies entspricht den Ergebnissen früherer Untersuchungen.

Zwischen der Prüfung in der Kugelmühle nach TP Min-StB und dem MMD-Verfahren 0/5 besteht ein mittlerer bis vergleichsweise starker Zusammenhang. In Abhängigkeit von der gewählten Methode der Auswertung des MMD-Verfahrens liegen die Korrelationskoeffizienten zwischen $r=0,59$ und $0,81$. Hohe Korrelationskoeffizienten können sich sowohl bei der Auswertung des MMD-Verfahrens mit einzelner Prüfsieb nach dem Prinzip a) als auch mit mehreren Sieben nach b) ergeben. So ist Bild 6 zu entnehmen, dass die Auswertung des sehr feinen 0,063-mm-Prüfsiebs (Methode "A") im Unterschied zu anderen Prüfsieben zu einer vergleichsweise schwachen Abhängigkeit von $r=0,6$ zwischen dem MMD-Verfahren und der Prüfung in der Kugelmühle führt.

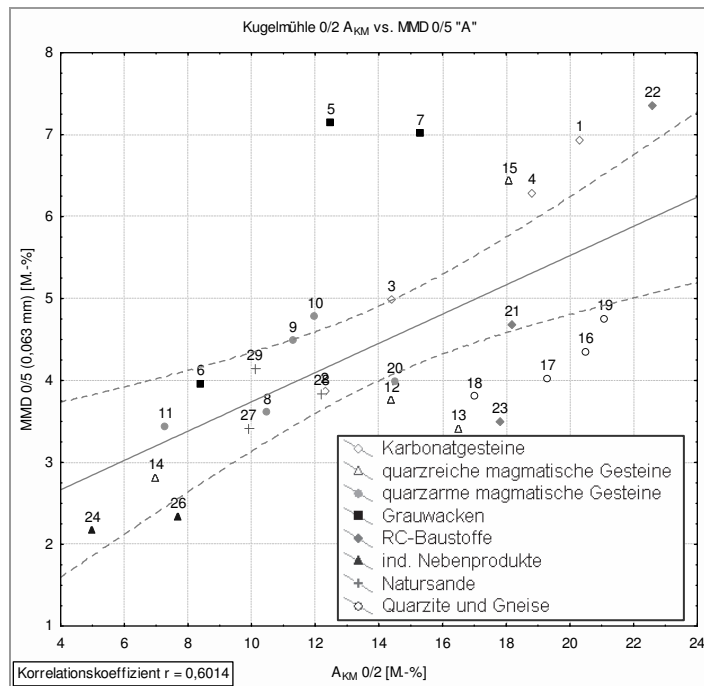


Bild 6: Gegenüberstellung der MMD-Koeffizienten (0,063 mm) und der Abriebwerte A_{KM} nach TP Min-StB

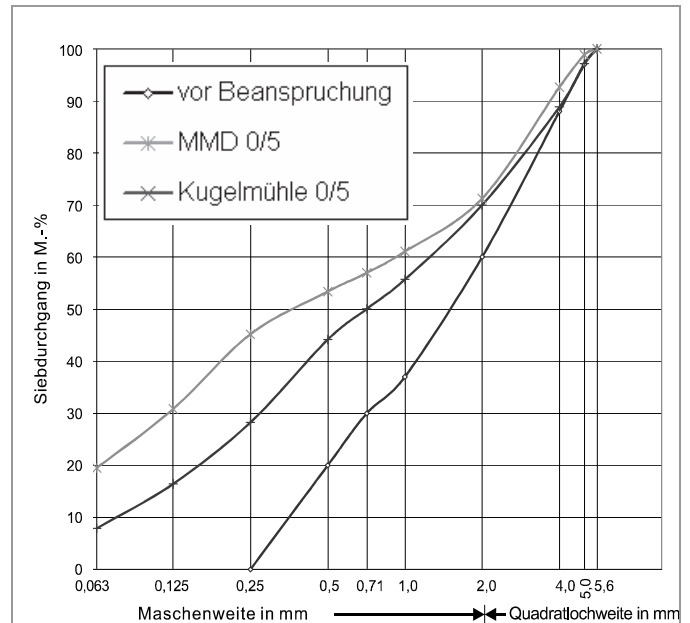


Bild 7: Vergleich MMD 0/5 und Kugelmühle 0/5 (Kalkstein 1)

Neben der Berechnung des Abriebwerts A_{KM} nach den TP Min-StB erfolgte die Auswertung der Prüfung in der Kugelmühle mit einzelnen Prüfsieben nach dem Prinzip a). Bei übereinstimmender Auswertung wurden im Vergleich zur Auswertung nach TP Min-StB Korrelationskoeffizienten bis zu $r=0,82$ festgestellt.

Eine differenziertere Aussage erlaubte die Durchführungen der Prüfung in der Kugelmühle und des MMD-Verfahrens mit jeweils gleicher Zusammensetzung der Proben. In Abhängigkeit von der Auswertung wurde bei der Zusammensetzung der Probe 0,25/5,6 mm nach den Vorgaben für das MMD-Verfahren weitgehend übereinstimmende Reihungen der sieben Gesteinskörnungen nach ihrer Abriebfestigkeit und ähnliche Verläufe der Korngrößenverteilungen nach Beanspruchung festgestellt. Daraus kann gefolgert werden, dass die von beiden Verfahren ausgeübte Abriebbeanspruchung auf eine Probe 0,25/5,6 mm zu einer vermutlich weitgehend ähnlichen Beurteilung der Abriebfestigkeit führt. Unterschiede der Verfahren zeigen sich bei der Grauwacke 7, die bei der Prüfung in der Kugelmühle als wesentlich abriebbeständiger eingestuft wird. Zudem ist die höhere Abriebleistung des MMD-Verfahrens, welche sich in der im Vergleich zu der Prüfung in der Kugelmühle stärkeren Verfeinerung der Probe äußert, zu berücksichtigen. Die in Bild 7 dargestellten Korngrößenverteilungen vor und nach Beanspruchung verdeutlichen die unterschiedliche Abriebleistung der Kugelmühle und des MMD-Verfahrens.

In einem weiteren Schritt wurden die Proben entsprechend der Prüfung in der Kugelmühle nach TP Min-StB zusammengesetzt und bei den sieben ausgewählten Gesteinskörnungen mit beiden Verfahren belastet. Die Prüfung mit gleicher Zusammensetzung der Proben 0,09/2,0 mm bewirkte eine nahezu identische Reihung der Gesteinskörnungen in Abhängigkeit von

ihrem nach den TP Min-StB berechneten Abriebwert A_{KM} . Zudem wurden weitgehend übereinstimmende Verläufe der Korngrößenverteilungen nach Beanspruchung der Proben festgestellt. Diese Erkenntnisse lassen auf eine vermutlich ähnliche Beanspruchung von feinen Proben 0,09/2,0 mm schließen.

3.4 Ergebnisse der Felduntersuchungen

Grundsätzlich wurde festgestellt, dass keine direkte Abhängigkeit zwischen dem Zustand der Pflasterfläche und dem Abriebwert A_{KM} oder dem MMD-Koeffizienten des Bettungsmaterials besteht, da neben den Eigenschaften des Bettungsmaterials zahlreiche weitere Einflussfaktoren bei der Entwicklung von Schäden zum Tragen kommen. Jedoch hebt sich aus der Gruppe der Negativbeispiele ein in der Pflasterbauweise befestigter Busbahnhof mit sehr geringem Abriebwiderstand des Bettungsmaterials hervor. Bei dieser Fläche wurde eine verfestigte, feinkornreiche Bettung, sich im Aufbau stauendes Wasser sowie ein weißer Belag auf der Oberfläche der Pflastersteine festgestellt. Das Schadensbild weist die Charakteristika eines durch das Versagen des Bettungsmaterials verursachten Schadens bei Pflasterflächen auf. Hieraus wird gefolgert, dass eine zu geringe Abriebfestigkeit des Bettungsmaterials eine dominierende Rolle bei der Schadensbildung gespielt hat.

Die bei der zu etwa 50 M.-% aus Kalkstein bestehenden Bettung ermittelten Abriebwerte von $A_{KM} = 18$ M.-% und dem in Bild 8 aufgeführten MMD-Koeffizienten von etwa 6 M.-% könnten als Grundlage für die Festlegung von Anforderungswerten dienen. Weitere Untersuchungen sind zur Absicherung dieser Aussage erforderlich. Schwierig gestaltet sich die Beurteilung des geringen Abriebwiderstands einer der als schadensfrei klassierten Pflasterflächen.

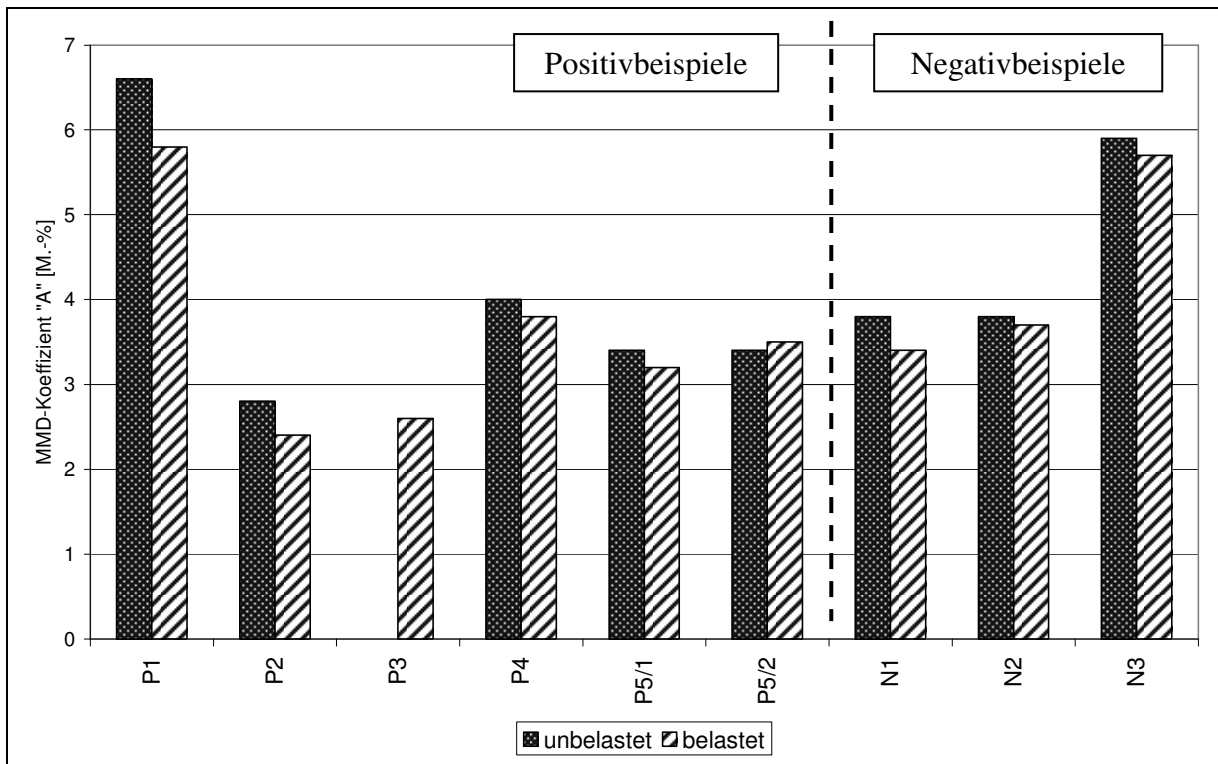


Bild 8: MMD-Koeffizienten 0/5 der bei den Felduntersuchungen entnommenen Bettungsmaterialien

3.5 Ergebnisse der Umfrage

Generell ergab die Auswertung der Umfrage, dass Schäden, die auf einem mangelnden Abriebwiderstand beruhen, in der Praxis als solche erkannt werden und durchaus verbreitet sind. 58 % der befragten Tiefbauämter und rund die Hälfte der Sachverständigen sehen in der Kornverfeinerung bzw. dem Abrieb von Bettungs- und Fugenmaterial eine Ursache für die Herabsetzung der Wasserdurchlässigkeit der Bettung und anschließender Schadensbildung. Der Anteil der Ursache "mangelnder Abriebwiderstand" an der gesamten Anzahl der untersuchten Schäden beträgt nach Angabe von 25 % der Tiefbauämter und dem überwiegenden Teil der Sachverständigen zwischen 10 bis 50 %.

Uneinigkeit herrscht über die Vermeidung dieser Schäden und die Formulierung von Anforderungen.

4 Folgerungen für die Praxis

Wie der Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Verfahren zeigt, ergibt sich eine übereinstimmende Beurteilung der Abriebfestigkeit von Gesteinskörnungen nur bei Übereinstimmung der Belastungsart und ähnlichen Prüfkörnungen. Hieraus kann geschlossen werden, dass eine Aussage zu der Abriebbeständigkeit von feinen Gesteinskörnungen vermutlich nicht anhand der alleinigen Untersuchung von groben Körnungen derselben Herkunft getroffen werden kann. Angesichts der auf minderfestes Bettungs- und Fugenmaterial zurückführbaren Schäden an Pflasterbefestigungen besteht somit der Bedarf an einem Verfahren zur Beurteilung der Abriebbeständigkeit der tatsächlich eingesetzten Korngemische.

Das modifizierte Micro-Deval-(MMD-)Verfahren und die Prüfung in der Kugelmühle haben sich als praktikable Verfahren zur Prüfung von feinen Körnungen 0/2 mm und 0/5 mm erwiesen. Dabei zeigte sich die Auswertung des MMD-Verfahrens 0/5 unter Berücksichtigung des Durchgangs durch das 0,063-mm-Prüfsieb als vorteilhaft.

Für das MMD-Verfahren spricht vorrangig die Prüfung mit Wasser, die den tatsächlichen Umständen bei der Entstehung eines Schadens in der Pflasterdecke besser entspricht als die Prüfung von getrockneten Proben mit der Prüfung in der Kugelmühle. Weiterhin ist die weite Verbreitung und Verfügbarkeit des herkömmlichen Micro-Deval-Verfahrens von Vorteil. Zudem ist das Micro-Deval-Prüfgerät europäisch genormt (DIN EN 1097-1), die Kugelmühle dagegen nicht.

Vermutlich wird nach (ICPI, 2007) das Micro-Deval-Verfahren für feine Gesteinskörnungen zukünftig das vorherrschende Verfahren zur weiterführenden Untersuchung von Bettungs- und Fugenmaterial in Nordamerika sein. Aufgrund der Ähnlichkeiten zu dem MMD-Verfahren könnte sich so die Chance bieten, Erfahrungen aus dem europäischen mit dem amerikanischen Raum zu vergleichen.

Im Hinblick auf die Auswahl von Gesteinskörnungen für die Verwendung als Bettungs- und Fugenmaterial von hoch belasteten Pflasterflächen wird bei mit dem MMD-Verfahren geprüften Körnungen 0,25/5,6 mm ein Grenzwert von 5 M.-% Siebdurchgang durch das 0,063-mm-Prüfsieb empfohlen. Mit dieser Anforderung sollten zunächst Erfahrungen gesammelt werden.

Die Festlegung von Anforderungswerten für Bettungs- und Fugenmaterialien beruht auf der Untersuchung einer begrenzten Anzahl von Gesteinskörnungen aus Steinbrüchen und Bettungsmaterialien aus Pflasterdecken. Zur Absicherung und Präzisierung der vorgeschlagenen Grenzwerte ist die Untersu-

chung weiterer Schadensfälle und einwandfreier Pflasterflächen mit langer Liegezeit anzustreben. Wünschenswert ist die gezielte Einrichtung und Untersuchung von Versuchsstrecken, deren Bettungs- und Fugenmaterialien auf Grundlage der in diesem Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse ausgewählt werden könnten.

Über die Prüfung von grobem Bettungsmaterial der Körnung 0/8 mm oder 0/11 mm mit dem MMD-Verfahren und der Prüfung in der Kugelmühle liegen keine Erkenntnisse vor. Weitere Untersuchungen mit grobem Bettungsmaterial könnten zeigen, ob ein ausreichender Zusammenhang zu den Ergebnissen der Prüfung der Körnung 0/5 mm besteht.

Literatur

Association Française de Normalisation (1990): Norme Française P 18-576: Mesure du coefficient de friabilité des sables, Paris.

Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (2003): DIN EN 1097-1: Prüfverfahren für physikalische und chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß (Micro-Deval), Berlin.

Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (1998): DIN EN 1097-2: Prüfverfahren für physikalische und chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung, Berlin.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1982): Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau: Prallprüfung an Sand in der Kugelmühle, TP Min-StB, Teil 5.4.2, Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2003): Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen, Teil 1: Regelbauweise (ungebundene Ausführung), MFP 1, Köln.

Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI) (2007): ICPI Tech Spec Number 17, Washington, D.C., USA.