

## **Bestimmung der Verfahrenspräzision des Modifizierten Micro-Deval-Verfahrens nach TP Gestein-StB, Teil 5.5.3**

FGSV 1/2014

Forschungsstelle: Technische Universität München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm), MPA BAU (Prof. Dr.-Ing. C. Gehlen)

Bearbeiter: Westiner, E. / Wörner, T. / Neidinger, S.

Auftraggeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln

Abschluss: Dezember 2015

### **1 Wissenschaftlich-technische Problemstellung**

Die mechanische Festigkeit von Baustoffgemischen beziehungsweise Gesteinskörnungen für Bettungs- und Fugenmaterialien nach TL Pflaster-StB unter Bezug zu den TL Gestein-StB wird über den Widerstand gegen Zertrümmerung mit dem Schlagversuch oder dem Los Angeles-Prüfverfahren beschrieben. Die hierfür zugrunde liegenden Prüfkörnungen 8/12,5 mm beziehungsweise 10/14 mm bilden aber nicht den bei Bettungs- und Fugenmaterialien wichtigen Kornbereich von 0/5,6 mm ab. Die fundierten Untersuchungen des AiF-Vorhabens Nr. 13938 N der Ruhr-Universität Bochum und der Fachhochschule Köln aus dem Jahr 2007 haben gezeigt, dass zur Beschreibung der mechanischen Festigkeit für den Kornbereich kleiner 5,6 mm der Widerstand gegen Abrieb ein wichtiges Kriterium ist. Dabei wurde das Micro-Deval-Verfahren nach DIN EN 1097-1 derart modifiziert, dass eine Prüfkörnung 0,25/5,6 und alternativ 0,09/2,0 mm geprüft werden kann. Der dabei festgestellte modifizierte Micro-Deval-Koeffizient ( $MM_{DE}$ ) beziehungsweise Abriebwert ( $A_{MMD}$ ) stellt gegenüber den Prüfverfahren zum Widerstand gegen Zertrümmerung ein wesentlich geeigneteres Maß zur Beschreibung der mechanischen Festigkeit von Bettungs- und Fugenmaterial dar. Als Konsequenz aus dieser Forschungsarbeit wurden die Prüfverfahren ( $MM_{DE}$ ;  $A_{MMD}$ ) als Teil 5.5.3 in die TP Gestein-StB aufgenommen.

Bei der Überarbeitung des "Merkblatts für Flächenbefestigungen und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung und deren Einfassungen" (M FP) wurde diskutiert, für den Einsatz in Bettungs- und Fugenmaterialien einen  $MM_{DE}$  von maximal 5 zu empfehlen. Da aufgrund der bis dahin vorliegenden, deutschlandweiten Erfahrungen keine praxisbewährte Gesteinskörnung diese Anforderung erfüllt hätte, wurde die Bestimmung des  $MM_{DE}$  zur Erfahrungssammlung in das Merkblatt aufgenommen, erst nach Schaffung eines ausreichend großen und gesicherten Bewertungshintergrunds soll ein Anforderungswert festgelegt werden. Die Festlegung eines Anforderungswerts und der damit verbundenen Toleranzen in den TL Pflaster-StB beziehungsweise TL Gestein-StB bedingt jedoch zwingend, dass die Präzisionsdaten des Prüfverfahrens bekannt sind.

### **2 Forschungsziel und Lösungsweg**

Das in den TP Gestein-StB, Teil 5.5.3, beschriebene modifizierte Micro-Deval-Verfahren soll für den Bereich der Bettungs- und Fugenmaterialien nach TL Pflaster-StB national weiterentwickelt werden. In dem vorliegenden Forschungsprojekt sind die

bislang fehlenden Angaben zur Verfahrenspräzision zu ermitteln.

Die Bestimmung der Präzision des modifizierten Micro-Deval-Verfahrens erfolgt im Rahmen eines Ringversuchs. Hieran sollen auftragsgemäß mindestens zwölf Prüfstellen teilnehmen und drei Prüfniveaus berücksichtigt werden, um sowohl die Vergleichs- als auch die Wiederholpräzision ermitteln zu können. Grundlage für die Durchführung und Auswertung des Ringversuchs ist das "Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen".

### **3 Modifiziertes Micro-Deval-Verfahren**

Beim modifizierten Micro-Deval-Verfahren nach TP Gestein-StB, Teil 5.5.3, wird der Widerstand einer Gesteinskörnung 0/5,6 mm gegen Abrieb ermittelt. Hierzu wird das Micro-Deval-Gerät nach DIN EN 1097-1 verwendet.

Die Messprobe wird – ähnlich wie beim Schlagversuch – definiert zusammengesetzt, wodurch der Einfluss der Korngrößenverteilung eliminiert und ein direkter Vergleich der zu beschreibenden mechanischen Eigenschaft der Gesteinskörnungen möglich wird. Die definiert zusammengesetzte Messprobe (500 g) wird in einer rotierenden Trommel zusammen mit einer Ladung Stahlkugeln (2 500 g) und Wasser (2,5 l) mit einer Geschwindigkeit von 100 Umdrehungen pro Minute beansprucht. Nach Abschluss des Vorgangs (1 500 Umdrehungen) wird die Masse des Siebrückstands der beanspruchten Probe auf dem 0,063 mm-Analysensieb bestimmt.

### **4 Durchführung des Ringversuchs**

#### **4.1 Teilnehmer am Ringversuch**

Insgesamt hatten 22 Prüfstellen ihre Teilnahme am Ringversuch zur Bestimmung der Verfahrenspräzision des Modifizierten Micro-Deval-Verfahrens nach TP Gestein-StB, Teil 5.5.3, zugesagt (zwölf Prüfstellen aus Deutschland; sieben Prüfstellen aus Frankreich, jeweils eine Prüfstelle aus Österreich, der Schweiz und Luxemburg); 17 Prüfstellen haben letztlich Ergebnisse gemeldet.

#### **4.2 Bewertungshintergrund**

Für das Modifizierte Micro-Deval-Verfahren wurde ein breiter Bewertungshintergrund erstellt, der zum Zeitpunkt der Auswahl der Proben für den Ringversuch ca. 50 verschiedene Materialien umfasste. Die ermittelten Ergebnisse sind in Tabelle 1 getrennt für die unterschiedlichen Gesteine/Gesteinsgruppen dargestellt.

#### **4.3 Spreizung der Ergebnisse**

Im Rahmen der Erstellung des Bewertungshintergrunds für das Modifizierte Micro-Deval-Verfahren hat sich gezeigt, dass das Verfahren eine hohe Spreizung bei den Ergebnissen aufweist und damit eine gute Differenzierung unterschiedlicher Quali-

## Gesteinskörnungen, Ungebundene Bauweisen

tätsstufen ermöglicht. Der Bewertungshintergrund umfasst bislang Gesteinskörnungen mit einem Wertebereich von 14 bis 63.

Vergleicht man den Bewertungshintergrund, der im Rahmen dieses Forschungsprojekts erstellt wurde, mit dem bisher bestehenden Wertenniveau, so liegt das aktuelle Wertenniveau, welches auf der Prüfmethode nach den TP Gestein-StB, Teil 5.5.3, beruht, deutlich höher als das bisherige. Daraus resultierend ist auch der im Rahmen der Überarbeitung des "Merkblatts

für Flächenbefestigungen und Plattenbeläge in ungebundener Ausführung und deren Einfassungen" (M FP) für Bettungs- und Fugenmaterialien angedachten  $MM_{DE}$  von maximal 5 zu niedrig angesetzt. Keines der untersuchten Materialien würde diese Anforderung erfüllen. Der Wert ist daher neu zu diskutieren und neu zu definieren. Für eine Festlegung eines Anforderungswerts empfiehlt es sich, die bestehende Datensammlung fortzuführen.

**Tabelle 1: Bewertungshintergrund zum Modifizierten Micro-Deval-Verfahren in Abhängigkeit von der Gesteinsart**

Gestein/Gesteinsgruppe <sup>2)</sup>				Modifizierter Micro-Deval-Wert		
				FGSV-Datensammlung		
				Anzahl	Minimum	Maximum
				[-]	[-]	[-]
1	Plutonite	a	Granit	3	16,1	20,2
			Granodiorit			
		b	Syenit	0	-	-
			Anorthosit			
		c	Diorit	1	16,6	16,6
Gabbro						
2	Vulkanite	a	Rhyolith	1	19,2	19,2
			Rhyodazit			
		b	Trachyt	0	-	-
			Phonolith			
		c	Mikrodiorit	1	29,5	29,5
			Andesit			
		d	Basalt	7	17,1	30,0
e	Basaltlava	0	-	-		
f	Lavaschlacke	0	-	-		
g	Diabas	5	16,7	24,3		
3	Sedimentgesteine	a	Kalkstein	11	21,2	41,8
			Dolomitstein			
		b	Quarz. Sandsteine	1	33,3	33,3
c	Grauwacke					
4	metamorphe Gesteine	a	Gneis	0	-	-
			Granulit			
			Amphibolit			
			Serpentinit			
b	Quarzit	2	19,7	21,2		
5	Kiese	a	Kies gebrochen	19	14,5	31,5
		b	Kies rund	0	-	-
6	industriell hergestellte Gesteine	a	Metallhüttenschlacke MHS	2	14,1	14,3
		b	Hochofenstückschlacke HOS			
		c	Stahlwerksschlacke			
		d	Hausmüllverbrennungsgasche	0	-	-
7	RC-Baustoff			1	16,2	16,2

### 4.4 Auswahl der Materialien für den Ringversuch

Die Auswahl der Proben erfolgte auf der Grundlage des Bewertungshintergrunds. Es wurde hierbei darauf geachtet, mit den drei Prüfniveaus die gesamte Spanne des Prüfverfahrens, welche bislang von 14 bis 63 reicht, sowie unterschiedliche Gesteine/Gesteinsgruppen zu erfassen. Es wurden die folgenden drei Gesteine (Gesteinskörnungen) für den Ringversuch ausgewählt:

- Probe 1: carbonatischer Kies gebrochen aus der Münchener Schotterebene mit  $MM_{DE}$  von ca. 30 (Messniveau 2)
- Probe 2: Kalkstein aus dem unteren Muschelkalk Nordbayerns mit  $MM_{DE}$  von ca. 60 (Messniveau 3)
- Probe 3: Diabas aus Oberfranken mit  $MM_{DE}$  kleiner 20 (Messniveau 1)

(Reibladung) von mindestens sieben verschiedenen Herstellern zum Einsatz. Bis auf eine geringfügige Abweichung bei Prüfstelle 14 hinsichtlich der Rotationsgeschwindigkeit erfüllten alle Micro-Deval-Geräte und alle Reibladungen die Vorgaben. Hinsichtlich der Gerätenutzung fällt auf, dass das Micro-Deval-Verfahren im europäischen Ausland (insbesondere in Frankreich, Luxemburg und der Schweiz) deutlich häufiger zum Einsatz kommt (bis zu 50 Prüfungen pro Jahr) als in Deutschland (wenige Prüfungen pro Jahr). Ursächlich hierfür ist, dass das Micro-Deval-Verfahren in den französischsprachigen Ländern im Regelwerk mit Anforderungen an die groben Gesteinskörnung verankert ist, während es in Österreich nahezu ausschließlich im Bereich Gleisschotter und in Deutschland vereinzelt zur Bewertung von groben Gesteinskörnungen für Beton im Hinblick auf den Verschleißwiderstand Anwendung findet. Erfahrungen mit dem Modifizierten Micro-Deval-Verfahren können nur wenige Prüfstellen vorweisen. Dies ist bei der Beurteilung der Ergebnisse gegebenenfalls zu berücksichtigen.

### 4.5 Angaben (Rahmenbedingungen, Versuchsergebnisse) der Prüfstellen

Im Rahmen des Ringversuchs kamen Micro-Deval-Geräte von mindestens acht verschiedenen Herstellern und Stahlkugeln

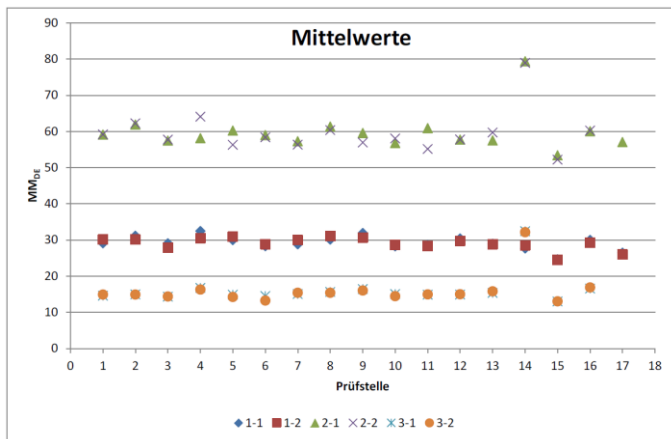
### 4.6 Mittelwerte und Spanne

Die Mittelwerte und Spannen (Minimum/Maximum) der untersuchten Proben sind in Tabelle 2 zusammengefasst und in Bild 1 grafisch dargestellt.

**Tabelle 2: Tabellarische Zusammenstellung der  $MM_{DE}$  der untersuchten Proben (Einzelwerte für jede Probe)**

Mittelwerte	Messniveau 1		Messniveau 2		Messniveau 3	
	Probe 3		Probe 1		Probe 2	
Prüfstelle	3-1	3-2	1-1	1-2	2-1	2-2
1	14,6	14,9	29,0	30,1	59,1	59,2
2	14,9	14,9	31,2	30,1	61,9	62,2
3	14,3	14,4	29,0	27,8	57,5	57,7
4	16,7	16,3	32,4	30,5	58,1	64,0
5	14,8	14,2	29,9	30,9	60,2	56,3
6	14,5	13,2	28,2	28,8	59,0	58,3
7	15,0	15,4	28,8	29,9	57,3	56,3
8	15,6	15,4	30,1	31,0	61,3	60,3
9	16,4	16,0	31,9	30,6	59,5	56,9
10	15,0	14,4	28,2	28,6	56,8	58,0
11	14,8	14,9	28,5	28,3	60,9	55,1
12	14,9	15,0	30,4	29,7	57,7	57,8
13	15,3	15,8	28,9	28,8	57,5	59,7
14	32,4	32,1	27,6	28,5	79,4	78,9
15	13,0	13,0	24,6	24,5	53,4	52,2
16	16,6	16,8	30,0	29,3	60,0	60,2
17			26,5	26,0	57,0	
<b>MINIMUM</b>	13,0	13,0	24,6	24,5	53,4	52,2
<b>MAXIMUM</b>	32,4	32,1	32,4	31,0	79,4	78,9
<b>MITTELWERT</b>	16,2	16,0	29,1	29,0	59,8	59,6

Es lassen sich deutlich drei verschiedene Niveaus unterscheiden. Die ursprünglich angestrebten Niveaus wurden dabei sehr gut eingehalten. So liegt der Mittelwert für die Probe 1 bei 29 (angestrebt: ca. 30), die Probe 2 liegt im Mittel bei 60 (angestrebt mindestens 60) und die Probe 3 weist einen Mittelwert von 16 (angestrebt kleiner 20) auf. Die Streuung der unbereinigten Ergebnisse reicht bei der Probe 1 von 25 bis 31, bei der Probe 2 von 53 bis 79 und bei der Probe 3 von 13 bis 32. Dabei liegt der Großteil der Ergebnisse augenscheinlich sehr nahe zusammen, auffällig ist, dass die Prüfstation 14 meist deutlich höhere Werte erzielt als die übrigen Prüfstationen und die Prüfstation 15 tendenziell immer etwas tiefer liegt. Mit festgestellten Werten zwischen 16 und 60 ist es für den Ringversuch gelungen, nahezu den kompletten Wertebereich abzudecken.



**Bild 1:** Grafische Darstellung der  $MM_{DE}$  der untersuchten Proben (Einzelwerte für jede Probe)

## 5 Auswertung des Ringversuchs

### 5.1 Allgemeines

Die statistische Auswertung erfolgte nach dem "Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2: Erkennen und Behandeln von Ausreißern" und "Teil 4: Auswertung von Ringversuchen und Errechnung von Prüffehlern".

In die statistische Auswertung sind die Ergebnisse von 15 der 17 Prüfstationen eingeflossen, welche Ergebnisse gemeldet haben. Prüfstation 17 hat nur die Proben 1-1, 1-2 und 2-1 untersucht und wurde daher in der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt. Ebenso nicht enthalten sind die Ergebnisse der Prüfstation 5, da hier die Probe 2-2 nicht entsprechend den Vorgaben der TP Gestein-StB, Teil 5.5.3, zusammengesetzt wurde und das Ergebnis somit unvollständig und statistisch nicht verwertbar ist.

Nach der Ausreißerprüfung müssen 6 der insgesamt 90 Ergebnisse (15 Prüfstationen à 6 Ergebnisse aus 3 Messniveaus) als echte Ausreißer betrachtet werden. Diese werden bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

### 5.2 Ergebnisse der Ringanalyse

Die errechneten Mittelwerte, Standardabweichungen von Einzelwerten unter Wiederhol- und Vergleichsbedingungen sowie

die Wiederhol- und Vergleichspräzision sind für jedes Messniveau in Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Ringanalyse getrennt nach Messniveau

		Mess-niveau 1	Mess-niveau 2	Mess-niveau 3
ausgewertete Laboratorien	-	14	14	14
Mittelwert	$x_i$	15	29	59
Standardabweichung von Einzelwerten	$s_{ai}$	0,371	0,558	0,787
Standardabweichung unter Wiederholbedingungen	$s_{ri}$	0,338	0,661	1,746
Standardabweichung unter Vergleichsbedingungen	$s_{Ri}$	1,085	1,888	2,920
Wiederholpräzision	$r_i$	0,935	1,830	4,837
Vergleichspräzision	$R_i$	3,006	5,231	8,089

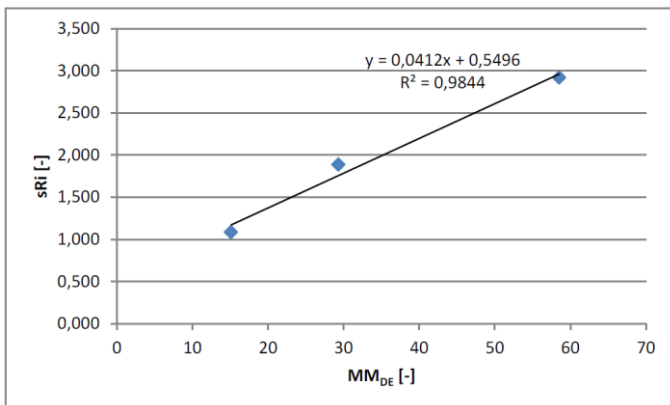
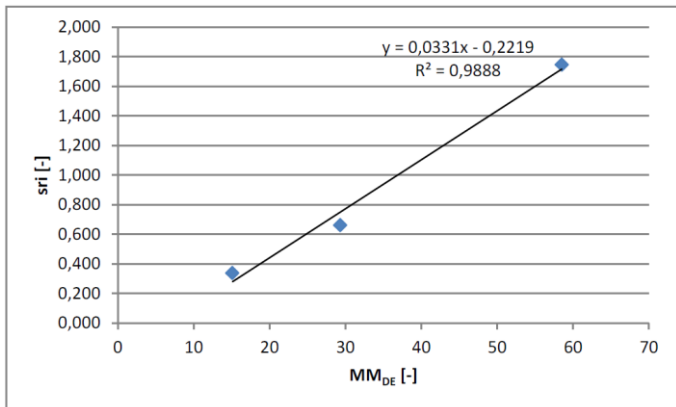
In Bild 2 sind die Standardabweichungen unter Wiederholbeziehungsweise Vergleichsbedingungen über dem jeweiligen Mittelwert der  $MM_{DE}$  der drei Messniveaus aufgetragen. Die aus den Standardabweichungen der Messniveaus bestimmten Mittelwerte der Standardabweichung sind ebenfalls in den Diagrammen dargestellt.

Sowohl die Standardabweichungen unter Wiederholbedingungen als auch die Standardabweichungen unter Vergleichsbedingungen zeigen eine deutliche Abhängigkeit vom Zahlenwert ( $MM_{DE}$ ).

Deshalb ist es sinnvoll, die Präzisionsdaten in Abhängigkeit vom Messniveau anzugeben. Die entsprechenden Werte der Standardabweichung für Einfachbestimmungen, der Standardabweichungen unter Wiederhol- und Vergleichsbedingungen sowie die Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

**Tabelle 4:** Endergebnisse der Ringanalyse zum Modifizierten Micro-Deval-Verfahren

Standardabweichung für Einfachbestimmung	$s_a$	0,572
zulässige Spannweite	$d_a$	1,58
Standardabweichung unter Wiederholbedingungen	$s_r$	$0,033 \cdot MM_{DE} - 0,222$
Standardabweichung unter Vergleichsbedingungen	$s_R$	$0,041 \cdot MM_{DE} + 0,550$
Wiederholpräzision ( $2,77 s_r$ )	$r$	$0,091 \cdot MM_{DE} - 0,615$
Vergleichspräzision ( $2,77 s_R$ )	$R$	$0,114 \cdot MM_{DE} + 1,524$



**Bild 2: Standardabweichungen unter Wiederholbedingungen und Vergleichsbedingungen des Ringversuchs in Abhängigkeit vom Mittelwert des MM<sub>DE</sub> (je Messniveau)**

einzuordnen und weisen auf eine ausreichend präzise und verständliche Prüfvorschrift hin. Es wird empfohlen, die Präzisionsdaten in die Prüfvorschrift (TP Gestein-StB, Teil 5.5.3) aufzunehmen.

## 6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurde ein Bewertungshintergrund für das Modifizierte Micro-Deval-Verfahren nach TP Gestein-StB, Teil 5.5.3, erstellt. Dabei konnten die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Gesteinsart ausgewertet werden. Insgesamt war ein Wertebereich von 14 bis 63 festzustellen, wobei der Großteil der untersuchten Materialien MM<sub>DE</sub>-Koeffizienten zwischen 15 und 35 aufweist. MM<sub>DE</sub>-Koeffizienten über 35 wurden bisher nur bei gezielt ausgewählten Kalksteinen/Dolomiten gemessen.

Vergleicht man den Bewertungshintergrund, der im Rahmen dieses Forschungsprojekts erstellt wurde, mit dem bisher bestehenden Wertenniveau, so liegt das aktuelle Wertenniveau, welches auf der Prüfmethode nach den TP Gestein-StB, Teil 5.5.3, beruht, deutlich höher. Die Ursachenfindung für die unterschiedlichen Wertenniveaus war nicht Inhalt dieses Projekts.

Darüber hinaus wurden im Rahmen dieses Forschungsprojekts die Präzisionsdaten für das Modifizierte Micro-Deval-Verfahren durch einen Ringversuch ermittelt. Von den 22 am Ringversuch teilnehmenden Prüfstellen meldeten 17 Prüfstellen ihre Ergebnisse. Nach Ausschluss von fehlerhaften oder unvollständigen Messergebnissen und Ausreißern flossen letztlich die Ergebnisse von 14 Prüfstellen in die Ermittlung der Verfahrenspräzision ein. Dabei wurde festgestellt, dass die Präzision des Modifizierten Micro-Deval-Verfahrens vom jeweiligen Messniveau abhängt. Die ermittelten Präzisionsdaten sind als plausibel