

Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze: Durchführung von Ringversuchen zur Ermittlung der Präzision unter Vergleichbedingungen

FGSV 3/07

Forschungsstelle: ASPHALTA Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH, Berlin

Bearbeiter: Dudenhöfer, B. / Lindner, J. / Li, A.

Auftraggeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Abschluss: Juni 2009

1 Aufgabenstellung

Für das Prüfverfahren nach Wehner/Schulze zur Durchführung von Polierprüfungen und Griffigkeitsprognosen im Labor liegen bislang keine Daten zur Präzision unter Vergleichbedingungen vor.

Ursache hierfür ist, dass nach dem Prototyp der Prüfanlage des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der TU Berlin zunächst nur drei Nachbauten erfolgten: Arsenal Wien, BAST, Delft NL.

Diese Geräte wurden überwiegend für Forschungszwecke verwendet.

Im Zuge der seit 2001 in den ZTV für Asphalt- sowie für Betonstraßen vorgegebenen Griffigkeitsanforderungen für Fahrbahnoberflächen (FGSV, 2007; FGSV, 2007a) stieg der Bedarf an

derartigen Prüfmöglichkeiten, sodass in den letzten Jahren modernisierte Nachbauten der Wehner/Schulze-Prüfeinrichtungen erfolgten und inzwischen national und international etwa 18 (Stand 27.03.2009) neue Geräte im Einsatz sind. Somit ist es jetzt möglich, hinreichend statistisch zu sichernde Ringversuche zur Ermittlung der Präzision unter Vergleichbedingungen durchzuführen.

Ziel der Ringversuche ist es, in einem ersten Schritt die in den TP Gestein-StB, Teil 5.4.2 – "Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze" (FGSV, 2008) fehlende und für die Bewertung von Prüfergebnissen wichtige Präzision des Verfahrens zu ermitteln. Die Ermittlung der Vergleichpräzision hat insofern Priorität, da für die Wiederholpräzision aus der Literatur Untersuchungsergebnisse vorliegen. Die Ringversuche sollen sich hier auf die Prüfkörnung 8/11,2 mm beschränken.

Die Ringversuche wurden durchgeführt:

- A) An Probekörpern nach dem Mastix-Einbettverfahren: Dieses Verfahren hat gegenüber dem Mosaik-Auslegeverfahren Vorteile bei der Probekörperherstellung und ist weniger laborantenabhängig. Überdies wird dieses Verfahren bei allen groben Gesteinskörnungen < 8 mm angewendet.

- B) An Probekörpern nach dem Mosaik-Auslegeverfahren: Dieses ist notwendig zur Anbindung der Prüfergebnisse an den bestehenden PWS-Bewertungshintergrund und im Hinblick auf einen möglichst nahen Bezug zur Probekörperherstellung beim Polierverfahren nach DIN EN 1097-8 (DIN, 2000).

Das Polierverfahren nach Wehner/Schulze hat im Vergleich zum Polierverfahren nach DIN EN 1097-8 eine deutlich größere Spreizung der Polierergebnisse von den üblichen im Fahrbahndeckenbau verwendeten Gesteinen sowie geringere Prüffehler.

Für das Prüfverfahren nach DIN EN 1097-8 ist es trotz aller nationalen und internationalen Bemühungen nicht gelungen, den im Vergleich zur PSV-Spannweite relativ großen Prüffehler zu verringern. Hierdurch ergeben sich besonders in Grenzbereichen Probleme bei der Gesteinsbewertung und -einstufung hinsichtlich Polierbarkeit.

Das Polierverfahren nach Wehner/Schulze steht somit als Alternative zum derzeitigen Standard zur Diskussion und ist als aussichtsreicher Kandidat für die 2. Generation der Europäischen Normen zu bewerten.

In einer jüngsten Studie des TRL – Transport Research Laboratory, UK, Berkshire – zum Polierverfahren nach Wehner/Schulze heißt es im Schlussbericht u. a.: "The WS procedure is currently being considered as a candidate for a CEN standard test and therefore it will be important to assess its applicability to the UK, possibly as an alternative to or, in the longer term, a replacement for, the PSV test".

2 Untersuchungsmethodik

Die Ringversuche wurden gemäß Aufgabenstellung an Gesteinen mit 3 unterschiedlichen Polier-Niveaus durchgeführt, die jeweils den unteren, mittleren und oberen Bereich der üblichen Straßenbaugesteine repräsentieren. Mit den ausgewählten und zentral an die teilnehmenden Labore zugestellten Prüfgesteinen wurden für die vorgesehenen Doppelbestimmungen je 2 Probelplatten mit der Prüfkörnung 8/11,2 mm nach dem Mastix-Einbettverfahren und dem Mosaik-Auslegeverfahren hergestellt und entsprechend TP Gestein-StB, Teil 5.4.2 geprüft. Die Untersuchungsergebnisse wurden zentral gesammelt und auf die gewünschten Zielgrößen hin statistisch ausgewertet. Allgemein wurde sowohl hinsichtlich der Untersuchungen als auch der Auswertung der Ergebnisse das FGSV-Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, insbesondere der Teil "Planung und Durchführung von Ringversuchen" (FGSV, 2006), beachtet.

Für die Ringversuche wurde eine Beteiligung möglichst aller mit der Polierprüfung nach Wehner/Schulze befasster Labore angestrebt. Hierzu zählten neben den deutschen Prüfstellen auch die Prüfstellen im europäischen Ausland.

3 Ringversuch

3.1 Durchführung des Ringversuchs

Als Prüfgesteine wurden verwendet:

- Kalkstein, PSV 43
- Basalt, PSV 52
- Quarzit, PSV 61

Wegen des teilweise unterschiedlichen Erfahrungsstandes mit der Polierprüfung nach Wehner/Schulze, – auch aufgrund erst jüngerer Beschaffungen der Prüfeinrichtung –, wurde auf Empfehlung des AK 6.1.1 "Polierresistenz und Polier-

prüfung" eine Laborantenschulung im Hause des Forschungsinstituts vor der Durchführung des Ringversuchs am 12.01.2008 organisiert und durchgeführt. Von den 14 Laboren nahmen 11 an der Laborantenschulung teil.

Zur Durchführung des Ringversuchs wurde in Ergänzung zur TP Gestein-StB, Teil 5.4.2 zusätzlich eine vom Forschungsinstitut erstellte "Arbeitsanweisung Ringversuch Wehner/Schulze" verwendet.

3.2 Ergebnisse des Ringversuchs

Die von den 14 mitwirkenden Laboren eingereichten Messwerte haben ausreißerbereinigt zu den in den Bildern 1 und 2 dargestellten PWS-Ergebnissen geführt. Die statistische Auswertung der Messwerte im Hinblick auf die relevanten Zielgrößen der Ringuntersuchung hat die in den Tabellen 1 bis 3 angegebenen Ergebnisse erbracht.

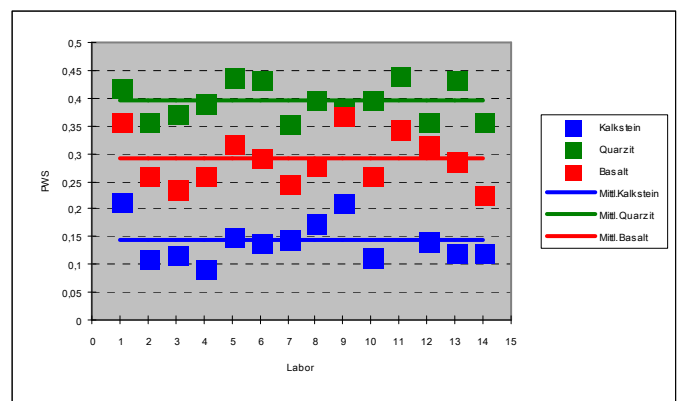


Bild 1: PWS-Ergebnisse Mosaik-Auslegeverfahren

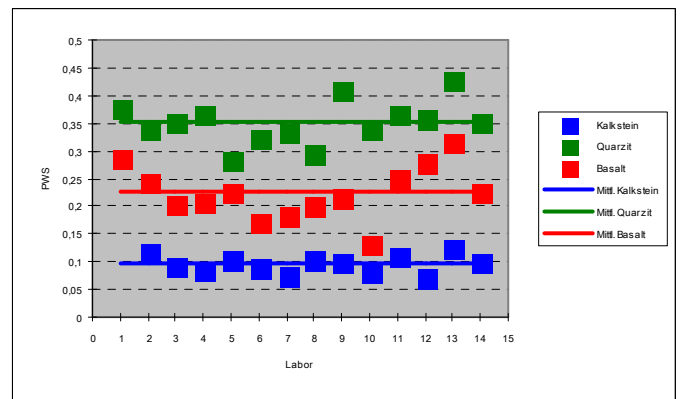


Bild 2: PWS-Ergebnisse Mastix-Einbettverfahren

Tabelle 1: Ergebnisse der Auswertung – Mosaik-Auslegeverfahren

	Kalkstein	Quarzit	Basalt	Mittelwert
Mittelwert der Prüfergebnisse	0,1437	0,3970	0,2911	
Standardabweichung unter Vergleichbedingungen	0,0209	0,0345	0,0459	0,034
Vergleichbarkeit	0,0580	0,0956	0,1271	0,094

Tabelle 2: Ergebnisse der Auswertung – Mastix-Einbettverfahren

	Kalkstein	Quarzit	Basalt	Mittelwert
Mittelwert der Prüfergebnisse	0,0968	0,3538	0,2253	
Standardabweichung unter Vergleichbedingungen	0,0182	0,0398	0,0464	0,035
Vergleichbarkeit	0,0505	0,1102	0,1285	0,096

Tabelle 3: Vergleich der Ergebnisse

	Mosaik-Auslegeverfahren	Mastix-Einbettverfahren
Standardabweichung unter Vergleichbedingungen	0,034	0,035
Vergleichbarkeit	0,094	0,096

3.3 Anmerkungen zur Bewertung der Ergebnisse

Zur Erklärung der erzielten Ergebnisse sind die besonderen Bedingungen zu berücksichtigen, die bei dieser Ringuntersuchung vorlagen und im Folgenden angesprochen werden.

Mangelnde Prüferfahrung bei der Anwendung der Prüfeinrichtung beeinflusst die Präzision des Prüfverfahrens negativ. Um dieses herauszufiltern, hat der Forschungsnehmer in der Vorbereitungsphase des Ringversuchs einen Fragebogen formuliert und an jedes teilnehmende Labor verteilt.

Die ausgefüllten Fragebögen sollten mit den Messergebnissen von allen Laboratorien an den Forschungsnehmer zur Auswertung übergeben werden. In der Tabelle 4 werden die Ergebnisse dieser Fragebögen zusammengefasst. Der Fragebogen umfasst Angaben zur Nutzungshäufigkeit der Prüfeinrichtung und zu den Erfahrungen der Labore mit der Prüfeinrichtung.

Nach einer ersten Auswertung der Messergebnisse wurde im November 2008 ein zweiter Fragebogen an alle Labore gesendet. Neben detaillierteren Fragen zur Nutzungshäufigkeit der Prüfeinrichtung beinhaltete dieser Fragebogen auch noch ergänzende Fragen zur Prüfanlage (Zeitangabe zur Inbetriebnahme der Prüfeinrichtung, Stand einer gegebenenfalls nachträglich durchgeführten Umrüstung) sowie zu Randbedingungen bei der Durchführung der Prüfungen (Art und Dauer des Sandstrahlens, Temperatur des Prüfwassers etc.). Die Beantwortung dieser Fragen war notwendig, da sich herausgestellt hatte, dass einige Labore sehr wenige oder keine Erfahrungen mit dieser Polierprüfung aufweisen konnten.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Schlussberichts haben noch 3 Labore ihre Fragebögen nicht abgegeben. Eine Auswertung der Ergebnisse der ausgefüllten Fragebögen ist in den Tabellen 5 und 6 zusammengestellt.

Das Ergebnis der Befragung zeigt, dass Unterschiede zwischen den Laboren nicht nur bei den Erfahrungen, sondern auch bei der Prüfungsdurchführung bestehen, zum Beispiel Art und Dauer des Sandstrahlens. Daraus kann abgeleitet werden, dass grundlegende Voraussetzungen für die Durchführung eines Ringversuchs bei dieser Untersuchung von einzelnen Laboren nicht erfüllt wurden.

Somit kann die hier ermittelte Präzision unter Vergleichbedingungen nicht als hinreichend gesichert zur Auf-

nahme in ein Normenwerk angesehen werden und ist lediglich als ein erstes vorläufiges Ergebnis zu bewerten. Mit fortgeschrittener Prüferfahrung und zusätzlichen Präzisierungen ist sicherlich bei einem weiteren Ringversuch eine verbesserte und gesicherte Präzision zu erreichen.

Tabelle 4: Angaben zur Nutzungshäufigkeit der Prüfeinrichtung

Labor Nr.	routinemäßig	gelegentlich
1	X	
2	X	
3	X	
4	X	
5	X	
6	X	
7		X
8		X
9		X
10		X
11		X
12	X	
13	X	
14		X

Tabelle 5: Angaben zur Erfahrung mit dem Prüfverfahren

Labor Nr.	Nutzungshäufigkeit					
	Mosaik-Auslegeverfahren			Mastix-Einbettverfahren		
	routinemäßig	selten	k. Erfahrung	routinemäßig	selten	k. Erfahrung
1						
2	X			X		
3			X		X	
4		X			X	
5	X			X		
6						
7						
8		X				X
9		X			X	
10	X				X	
11			X			X
12		X				X
13	X			X		
14			X			X

Tabelle 6: Angaben zur Prüfeinrichtung

Lab Nr.	Angaben zur Prüfeinrichtung						
	Zeitpunkt der Inbetriebnahme	Quarzmehlrückführung	nachträgliche Umrüstung		Temp. des Prüfwassers	Sandstrahlen in sec	
			Gummimanschette am Polierkopf	Blattfederlagerung am Polierkopf		Automatik	Manuell
1							
2		ja	ja	ja	10 °C		
3	2003	nein	ja	nein	10 °C	120	
4	06.2004	ja		ja	17 °C	180	
5	06.2007	ja	ja		10 °C		120
6							
7							
8	06.2003	ja			10 °C		180 / 300
9	08.2005	nein			10 °C	180	
10	09.2002	ja			10 °C	160/320	
11	11.2006	nein			10 °C	110	
12	05.2006	nein			10 °C	430	
13	09.2002	ja	ja		10 °C		120
14	08.2002	ja			10,2 °C		240

4 Schlussfolgerungen

4.1 Vergleich zwischen beiden Herstellverfahren

Ein Ziel dieser Arbeit war auch festzustellen, ob das Mastix-Einbettverfahren bei der Prüfkörnung 8/11,2 gegenüber dem Mosaik-Auslegeverfahren vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich der Präzision unter Vergleichbedingungen erbringt, da die Probekörperherstellung nach dem Mastix-Einbettverfahren weniger Laboranteneinflüsse erwarten lässt und eine spürbare Verkürzung des zeitlichen Aufwands für die Probekörperherstellung bedeuten würde.

Aus der Tabelle 3 wird ersichtlich, dass das Prüfergebn aus dem Mastix-Einbettverfahren unter Vergleichbedingungen eine vergleichbare Präzision liefert, wie jenes aus dem Mosaik-Auslegeverfahren.

Da der Arbeitsaufwand beim Mosaik-Auslegeverfahren deutlich größer als beim Mastix-Einbettverfahren ist, sollte das Mastix-Einbettverfahren für die Zukunft als Standardherstellungsverfahren verwendet werden, zumal es bei Prüfkörnung < 8 mm zwingend anzuwenden ist. Die absoluten Niveaus der Ergebnisse der Polierprüfung nach beiden Methoden unterscheiden sich – wie bereits seit Langen bekannt – signifikant (Schulze u. a., 1982; Huschek u. a., 1989), sodass für das Mosaik-Auslegeverfahren und Mastix-Einbettverfahren unterschiedliche Bewertungshintergründe vorliegen.

4.2 Mögliche Einflüsse auf die Präzision

Wie bei allen Messverfahren zeigen auch die Ergebnisse des Messverfahrens Wehner/Schulze, sowohl geräte- als auch probekörperbedingte Streuungen, die auch von den Messbedingungen abhängig sein können.

Die möglichen Einflüsse auf die Präzision sind die Prüfeinrichtung selbst, die Probekörperherstellung und die Behandlung des Probekörpers (Sandstrahlen und Polieren).

4.2.1 Einfluss der Prüfeinrichtung

Alle 14 Wehner/Schulze-Prüfeinrichtungen sowie ihr Zubehör wurden von derselben Firma hergestellt und alle Labore haben die Messungen nach einer einheitlichen Arbeitsanweisung durchgeführt. Deswegen könnte theoretisch der Einfluss der Prüfeinrichtung ausgeschlossen werden. In der Arbeitsanweisung gibt es allerdings keine konkrete Regelung für den Zustand der Messgummis, die beim Polieren und bei der Griffmessung verwendet wurden. Die Ergebnisse variieren je nach Alterung und Abnutzungszustand der Messgummis. Auch Schwankungen im Schmirgelkreislauf können die Polierergebnisse beeinflussen.

4.2.2 Einfluss der Probekörper

Die Probekörper werden von jedem Labor nach einheitlicher Arbeitsanweisung nach dem Mosaik-Auslegeverfahren und dem Mastix-Einbettverfahren hergestellt. Da beide Herstellungsverfahren unterschiedlich laborantenabhängig sind (beim Mastix-Einbettverfahren durch das Sandstrahlen), spielt die Erfahrung eine große Rolle. Die Erfahrung der einzelnen Labore ist aus der Nutzungshäufigkeit ihrer Prüfmaschinen herleitbar. Über diese Nutzungshäufigkeit informiert die Tabelle 5.

In den Bildern 4 bis 9 ist ersichtlich, wie unterschiedlich die in den Laboren hergestellten Probekörper aussehen. Die Messergebnisse werden somit auch infolge der Unregelmäßigkeit der Probekörper abweichen.

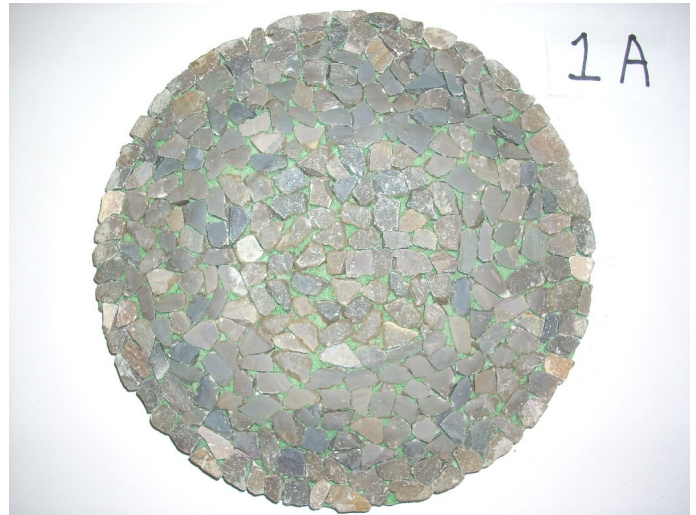


Bild 4: Kalkstein-Probekörper – Mosaik-Auslegeverfahren, Foto: Labor 9



Bild 5: Kalkstein-Probekörper – Mosaik-Auslegeverfahren, Foto: Labor 7



Bild 6: Kalkstein-Probekörper – Mosaik-Auslegeverfahren, Foto: Labor 8



Bild 7: Basalt-Probekörper – Mastix-Einbettverfahren, Foto: Labor 9



Bild 8: Basalt-Probekörper – Mastix-Einbettverfahren, Foto: Labor 8



Bild 9: Basalt-Probekörper – Mastix-Einbettverfahren, Foto: Labor 7

4.2.3 Einfluss des Sandstrahlens

Bei der Probekörperherstellung nach dem Mastix-Einbettverfahren wird die geschnittene Asphaltoberfläche durch Sandstrahlen vom Asphaltmastix befreit, sodass nach dem Sandstrahlvorgang der Mastix ca. 1 mm unterhalb der Gesteinsoberfläche liegt. Dabei müssen die durch den Sägeschnitt beeinflussten glatten Gesteinsoberflächen angeraut werden. Unterschiedliche Sandstrahlintensitäten können die Messergebnisse signifikant beeinflussen.

4.2.4 Einfluss der Polierwirkung des Schmirgels

Wie bei allen Polierverfahren können auch hier Schwankungen im Wasser/Schmirgelmischung zu Streuungen der Messergebnisse führen. Nach unseren Erfahrungen können diese bei sachgemäßer Versuchsdurchführung minimiert werden und sind dann nicht mehr von relevantem Einfluss.

4.3 Vergleich mit dem Verfahren – PSV nach DIN EN 1097-8

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war der Vergleich der Präzision des Prüfverfahrens nach Wehner/Schulze mit dem europäischen Standardverfahren nach DIN EN 1097-8 (DIN, 2000).

Die Polierwiderstände (PSV) der gewählten Prüfgesteine wurden vor dem Ringversuch ermittelt und sind in der Tabelle 7 mit aufgeführt.

Tabelle 7: Polierwiderstand der Prüfgesteine in der Prüfkörnung 8/11,2

Verfahren	Kalkstein	Basalt	Quarzit	Spreizung	
				Absolut	% vom Mittelwert
PSV	43	52	61	18	34,6
PWS Mosaik	0,1437	0,2911	0,3970	0,2533	91,4
PWS Mastix	0,0968	0,2253	0,3538	0,2570	114,1

Tabelle 8: PWS – PSV Vergleich bezogen auf Spannweite

	PWS – Mosaik	PWS – Mastix	PSV
max. Einzelwert	0,443	0,427	61
min. Einzelwert	0,092	0,072	43
Spannweite	0,351	0,355	18
Vergleichbarkeit	0,094	0,096	5,2
% - Spannweite	26,8	27	28,9

Tabelle 9: PSV Vergleichpräzision (DIN EN 1097-8 (DIN, 2000))

Tabelle E1: Wiederholpräzision und Vergleichpräzision (PSV-Einheiten)

		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Mittelwert	\bar{X}	46,3	55,4	66,7
Standardabweichung unter Wiederholbedingungen	S_{r1}	0,721	0,754	1,057
Standardabweichung unter Vergleichbedingungen	S_{R2}	1,786	1,716	2,032
Wiederholgrenze	r_1	2,0	2,1	3,0
Vergleichgrenze	R_1	5,0	4,8	5,7

Wie aus der Tabelle 7 ersichtlich, ergibt sich hinsichtlich der Polierwiderstände in beiden Prüfverfahren die gleiche Rangfolge der Gesteinsarten, jedoch bei den Polierwerten nach Wehner/Schulze eine deutlich größere prozentuale Spreizung gegenüber PSV.

Da sich die Messwerte der Prüfergebnisse beider Verfahren PSV und PWS nicht unmittelbar miteinander vergleichen lassen, wurden die jeweiligen Vergleichbarkeiten zur Spannweite der Messergebnisse für die drei Polierniveaus in Beziehung gesetzt. Die Prozent-Spannweite nach Tabelle 8 drückt das Verhältnis (in Prozent) von Vergleichbarkeit zur Spannweite (Abstand max. zu min.-Einzelwert) des jeweiligen Prüfverfahrens aus.

Die ermittelten prozentualen Spannweiten bezogen auf die Vergleichbarkeiten liegen bei allen 3 Verfahren in der gleichen Größenordnung.

5 Fazit

Die Ergebnisse dieser Ringuntersuchung zeigen auf, dass die ursprünglichen Ziele nicht voll erreicht wurden. Es besteht hier weiterer Handlungsbedarf. Da in einigen Prüflaboren keine oder keine hinreichenden Erfahrungen mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze vorlagen, waren die grundsätzlichen Voraussetzungen für eine vergleichbare Versuchsdurchführung nicht gegeben. Dieses zeigte sich u. a. auch aus dem Umstand, dass sich einige Labore die Metallzylinder-Schalung zur Herstellung der Probekörper für das Mastix-Einbettverfahren für diesen Ringversuch erst beschaffen mussten. Somit sind die hier ermittelten Verfahrenspräzisionen als nicht hinreichend gesichert zu bewerten.

6 Folgerungen für die Praxis

Es ist zu erwarten, dass durch diese Untersuchungen und im Zuge der fortschreitenden Prüfroutine der Labore recht bald die Kriterien für eine europäische Ringuntersuchung zur Ermittlung der Präzision unter Vergleichbedingungen für das Polierverfahren nach Wehner/Schulze und auch für die Griffigkeitsprognose nach Wehner/Schulze erfüllt werden können, sodass als Ausblick angeregt wird, diese Aufgabe möglichst bald in Angriff zu nehmen. Hierfür sollten in einzelnen Punkten die Prüfbedingungen noch weiter präzisiert werden. Es werden daher folgende Punkte vom Forschungsnehmer vorgeschlagen:

- 1) Die Prüfeinrichtungen von allen Laboren sollten den gleichen Ausbaurzustand aufweisen. Da sich hierbei u. a. der Poliervorgang als Quelle von Streuungen herausgestellt hat, sollten insbesondere der Polierkopf und die Quarzmehlrückführung einheitlich umgerüstet werden.
- 2) Die zwei Methoden der Probekörperherstellung (Mosaik-Auslegeverfahren und Mastix-Einbettverfahren) sollten von allen Laboranten beherrscht werden. Hierzu wäre es notwendig, eine weitere intensive Laborantenschulung zu organisieren.

- 3) Die Behandlungen (Art und Dauer der Sandstrahlen) der Probekörper müssen enger geregelt bzw. einheitlich definiert werden.

7 Literatur

- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (2000): DIN EN 1097-8: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 8: Bestimmung des Polierwertes, Berlin.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) (2008): Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau – Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze (TP Gestein-StB Teil 5.4.2), Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) (2007): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07), Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) (2007a): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Trag-schichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, (ZTV Beton-StB 07), Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) (2006): Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 3: Planung und Durchführung von Ringversuchen, Köln.
- Schulze, K.-H. †; Lindner, J. (1982): Erweiterung der Möglichkeiten für die Beurteilung von Mineralstoffen bezüglich der Polierbarkeit. Schlussbericht zum FA 4.037 G 76C, Bundesminister für Verkehr, Berlin.
- Huschek, S.; Dames, J.; Lindner, J. (1989): Ermittlung der Endpolierwerte von im Straßenbau verwendeten Gesteinen, (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 574), Bonn.