

Bewertungshintergrund für den Widerstand gegen Polieren von Gesteinskörnungen nach dem PWS-Verfahren

FA 6.098

Forschungsstelle: ASPHALTA Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH, Berlin

Bearbeiter: Dudenhöfer, B. / Rückert, P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Oktober 2014

- Phase 1: Untersuchung unterschiedlicher Gesteine in den Kornklassen 8/11, 5/8, 2/5 und 0,2/0,4 mm und Ermittlung eines Erwartungsbereichs der Polierwerte
- Phase 2: Regression zwischen dem Bewertungshintergrund der 1. und 2. Gerätegeneration auf der Basis von vorhandenen Rückstellproben der TU Berlin.

1 Aufgabenstellung

Bereits aus wissenschaftlichen Untersuchungen der 1960er- und 1970er-Jahre ist bekannt, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Polierwiderstand von Gesteinskörnungen und der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen besteht. Derzeit wird das Merkmal "Griffigkeit" bei der Konzeption von Baustoffgemischen für Fahrbahndeckschichten aus Asphalt und Beton über den PSV der Gesteinskörnung 8/10 prognostiziert. Diese Vorgehensweise ist nachgewiesenermaßen nicht schlüssig und führt zu Fehlbeurteilungen. Eine folgerichtige Ableitung ist nur möglich, wenn das Gesteinskörnungsgemisch in seiner realen Korngrößenverteilung untersucht wird. Diese Erkenntnisse basieren auf Untersuchungen mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze an der TU Berlin.

Das Prüfverfahren ist in den TP Gestein-StB, Teil 5.4.2 beschrieben. Der existierende Bewertungshintergrund basiert auf einer über 30-jährigen Sammlung von Untersuchungsdaten aus Forschungsvorhaben und Routineprüfungen für die Gesteinsindustrie. Aus dem Bewertungshintergrund wurden Anforderungswerte abgeleitet, die in Länderregelungen beziehungsweise dem M OB der FGSV umgesetzt wurden.

Ende der 1990er-Jahre waren die noch existierenden Prüfeinrichtungen nach dem Berliner Vorbild in der BAST, in Delft und Wien nicht mehr gebrauchstauglich. Dies bewog 1999 dazu, einen modernisierten Nachbau durchzuführen, der die wesentlichen Maschinenparameter beibehielt. Bei internen und unveröffentlichten Vergleichsuntersuchungen stellte sich heraus, dass mit den Prüfeinrichtungen der 2. Generation ein abweichendes Messwertenniveau ermittelt wird. In Österreich hat man bereits reagiert und einen neuen Bewertungshintergrund mit Anforderungswerten für die in Österreich vorkommenden feinen Gesteinskörnungen geschaffen.

Da Prüfeinrichtungen der 1. Generation nicht mehr zur Verfügung stehen, ist eine Transformation des Bewertungshintergrunds durch Vergleichsuntersuchungen nicht möglich.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Neuermittlung des Bewertungshintergrunds für die in Deckschichten eingesetzten Gesteine in den Prüfkörnungen 0,2/0,4, 2/5, 5/8, 8/11 mm für die aktuelle 2. Gerätegeneration.

2 Untersuchungsmethodik

Zur Erreichung des Forschungsziels wurden die Untersuchungen in zwei Phasen geteilt.

Für die Untersuchungen der Phase 1 wurden Gesteine aus 25 Lagerstätten in den Lieferkörnungen 2/5, 5/8 und 8/11 in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Im Nachfolgenden werden diese als "Gesteinskörnung aktueller Probenahme" bezeichnet. Weiterhin wurden feine Gesteinskörnungen herangezogen in Form von je 15 Brech- und Natursanden. Die Datenbasis wurde durch Ergebnisse aus 12 Jahren Routineprüfungen des Forschungsnehmers ergänzt. Die Ergebnisse der Griffigkeitsuntersuchungen aus der 2. Phase wurden ebenfalls ergänzend hinzugezogen.

Zur Validierung der Untersuchungsergebnisse wurden an der Technischen Universität München und der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Vergleichsuntersuchungen an ausgewählten Gesteinen durchgeführt.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Erwartungsbereich der Polierwerte

Aus dem vorhandenen Datenmaterial wurden nach hinreichenden mathematisch-statistischen Analysen Summenlinien mit 95 % Wahrscheinlichkeit für jede Prüfkörnung erstellt. Als nächstes wurde die Abweichung des Mittelwerts durch den Stichprobenfehler berücksichtigt (im Bild 1 als grau schraffierte Linien dargestellt).

Der grüne Bereich im Bild 1 stellt die Spannweite der Messungen an der Stichprobe dar. Die schwarze Summenlinie deutet darauf hin, dass im unteren Bereich der Polierwerte die Extremwerte durch die Stichprobe ungenügend wiedergegeben werden. Die Polierwerte der untersuchten Gesteine repräsentieren somit nicht die Spannweite der Polierwerte der Grundgesamtheit aller verfügbaren Gesteine, sondern nur einen Anteil daraus. Um eine repräsentative Aussage über die mögliche Grundgesamtheit auf der Grundlage der untersuchten Stichprobe von nur einem Laboratorium zu erlangen, wurde der Stichprobenfehler hinzugezogen. Mithilfe des Stichprobenfehlers verschiebt sich die Summenlinie beidseitig (siehe grau schraffierte Linien im Bild 1).

Der beidseitige Abschluss der verschobenen Summenwahrscheinlichkeiten erweitert den Erwartungsbereich möglicher Polierwerte für die Prüfkörnung 8/11. Die Erweiterung im Bezug zu der ermittelten Spannweite der Polierwerte wird als arithmetischer Anteil bezeichnet. Der Stichprobenfehler berücksichtigt die zufälligen Abweichungen zwischen den Laboratorien.

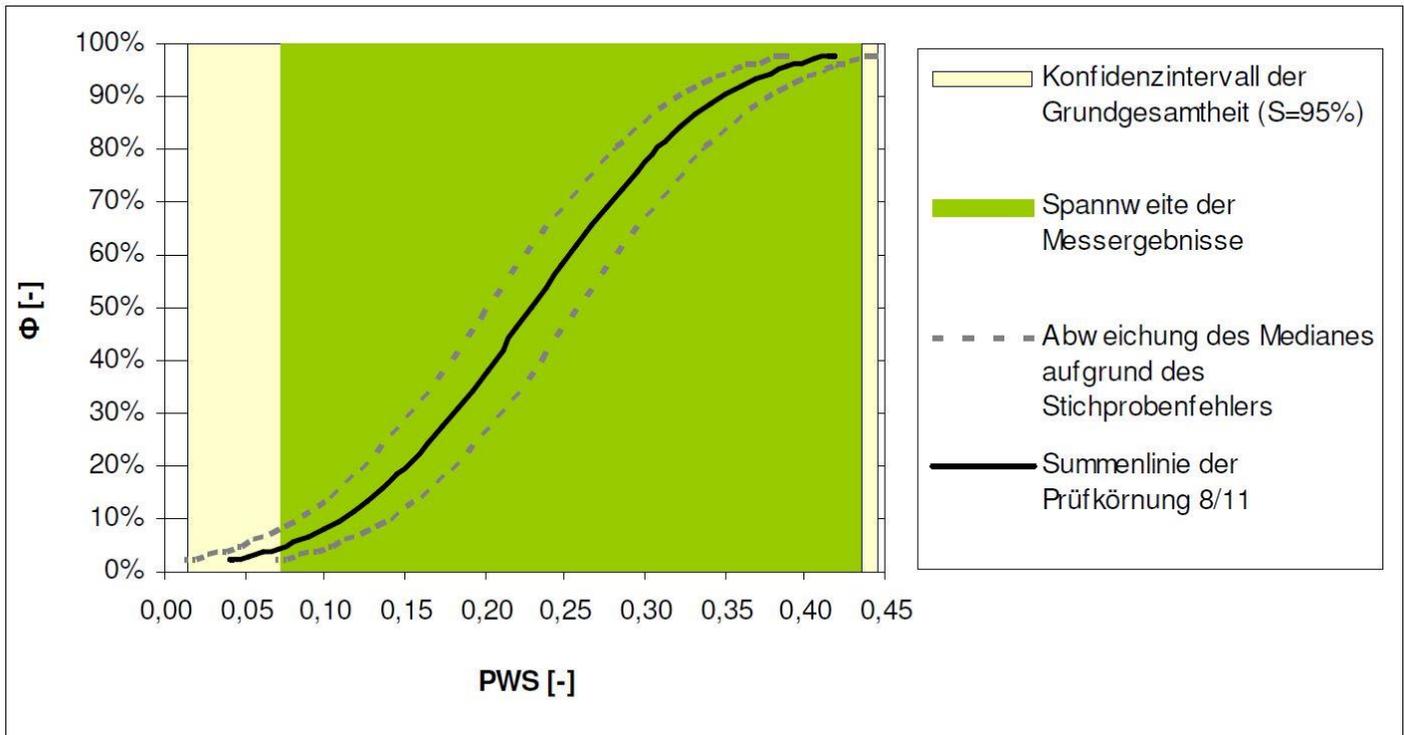


Bild 1: Exemplarische Summenlinie der Prüfkörnung 8/11

Nach dem Ergebnis der Vergleichsuntersuchung liegen die durch den Forschungsnehmer im Laborversuch ermittelten Polierwerte nahe dem Mittelwert der drei Laboratorien. Die Abweichung beträgt im Mittel -0,003 PWS-Einheiten. Im Vergleich zur Ringuntersuchung wurden die Prüfkörper in der Vergleichsuntersuchung im Labor des Forschungsnehmers hergestellt und vorbereitet. Die Abweichungen sind somit als systematische Fehler infolge der Arbeitsweise mit dem Prüfgerät entstanden. Die Unterschiede jeder Prüfkörnung wurden nicht im Bewertungshintergrund berücksichtigt. Die Abweichungen mit einer Genauigkeit von drei Nachkommastellen haben keine Auswirkungen auf den Bewertungshintergrund, der einer abschließenden Genauigkeit von zwei Nachkommastellen hat.

Tabelle 1: Grenzen der Erwartungsbereiche für die Prüfkörnung

Prüfkörnung und Art der Probekörper		Obere Grenze des Erwartungsbereiches	Untere Grenze des Erwartungsbereiches
Sandplatten 0,2/0,4	Natursand	0,60	0,35
	Brechsand	0,75	0,26
Mastix- prüfkörper	2/5	0,53	0,08
	5/8	0,51	0,07
	8/11	0,44	0,02

3.2 Übertragung der Anforderungswerte

Mithilfe der Rückstellproben in Form von Mastixprüfkörpern der Prüfkörnung 8/11 aus dem Forschungsbericht zur Ermittlung der Endpolierwerte und diversen feinen Gesteinskörnungen aus Routineprüfungen der TU Berlin sollten die Grenzwerte der 1.

Gerätegeneration auf einen Bewertungshintergrund für die 2. Gerätegeneration übertragen werden.

Die grobe Gesteinskörnung wurde in der damaligen Forschungsarbeit an Mastix- und Mosaikprüfkörpern untersucht. Mosaikprüfkörper sind für eine mehrfache Untersuchung nicht verwendbar, da sie sich für erneute Prüfungen nicht regenerieren lassen. Für die Übertragung des Bewertungshintergrunds wurden daher die vorhandenen Mastixprüfkörper verwendet. Durch Vorversuche an Mastixprüfkörpern aus dem eigenem Bestand konnte nachgewiesen werden, dass mit einem geeigneten Regenerationsverfahren, bei sehr guter Präzision, mehrmalige Prüfungen an einem Prüfkörper möglich sind. Die verwendeten Prüfkörper aus dem eigenem Bestand stammen aus der Ringuntersuchung von 2009. Die Prüfkörperoberflächen wurden nass angeschliffen und anschließend zwei Minuten mit standardisiertem Edelkorund 0,5/1 mm gesandstrahlt.

Die Darstellung der Ergebnisse im Vertrauensbereich des Verfahrens (siehe Bild 2) zeigt die Güte des Regenerationsverfahrens.

Durch die Prüfungsergebnisse der wiederaufbereiteten Rückstellproben konnten über Regressionen (siehe Bild 3 bis Bild 5) nach einem definierten Algorithmus die "Berliner" Anforderungswerte auf die 2. Gerätegeneration übertragen werden.

Im ersten Schritt (siehe Bild 3) wurden die für Mosaikprüfkörper ehemals gültigen Anforderungswerte auf das Messwertniveau der 1. Gerätegeneration für Mastixprüfkörper übertragen. Dabei wurde ein Sicherheitszuschlag über die Ablesung am oberen Vorhersagebereich berücksichtigt. Im zweiten Schritt (siehe Bild 4 und Bild 5) erfolgte ein Vergleich des Messwertniveaus zwischen der 1. und 2. Gerätegeneration. Die Anforderungswerte wurden über die Vorhersagebereiche übertragen.

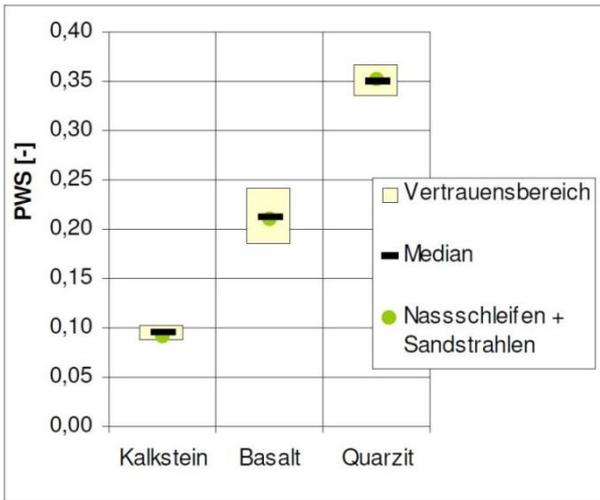


Bild 2: Ergebnisse der Vorversuche an Mastixprüfkörpern 8/11

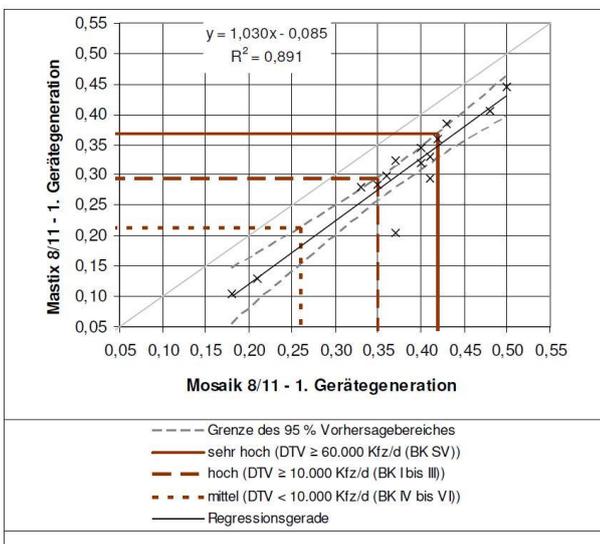


Bild 3: Regression zwischen Mastix- und Mosaikprüfkörpern der 1. Gerätegeneration

Für die groben Prüfkörnungen 5/8 und 2/5 konnte keine direkte Übertragung der Grenzwerte erfolgen. Einerseits existierten keine geeigneten Rückstellproben an der TU Berlin und andererseits bestand auch für die Prüfkörnung 5/8 bisher kein Bewertungshintergrund aus der Zeit der 1. Gerätegeneration.

Die Grenzwerte wurden daher über eine Transformation mit äquivalenten Wahrscheinlichkeiten von der Prüfkörnung 8/11 auf die Prüfkörnung 5/8 und 2/5 übertragen.

Auf der Basis der Regression von feinen Gesteinskörnungen wird deutlich, dass der aus der Ära der 1. Gerätegeneration stammende und durch das M OB gültige Anforderungswert für den Einsatz einer feinen Gesteinskörnung in Verkehrswegeflächen aus Beton von 0,55 PWS-Einheiten für die 2. Gerätegeneration deutlich niedriger liegt.

3.3 Vergleich der Polierwerte PWS und PSV

Mit dieser Arbeit bot sich die Möglichkeit, einen aktualisierten Vergleich zwischen den Polierwerten PWS und PSV herzustellen.

len. Hierzu wurden 22 der 25 groben Gesteinskörnungen aus der Forschungsarbeit "Bestimmung der PSV-Berechnungsformel bei Verwendung von Quarzkörnung als Poliermittel und Granitsplitt als Kontrollgestein" in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Bei nachfolgenden Vergleichen zwischen den Polierverfahren wird auf die Ergebnisse der Forschungsarbeit mit nationalem Kontrollgestein (GER) und englischen Kontrollgestein (UK) und Korund als Poliermittel Bezug genommen.

Für die 2. Gerätegeneration der Prüfanlage Wehner/Schulze wurde somit erstmalig ein Zusammenhang zum Polierverfahren PSV hergestellt. Die Regression weist ein Bestimmtheitsmaß auf, wie es von der 1. Gerätegeneration bekannt ist. Bild 9 zeigt den Zusammenhang zwischen den übertragenen "Berliner" Anforderungswerten PWS für Mastixprüfkörper 8/11 und den PSV-Anforderungswerten.

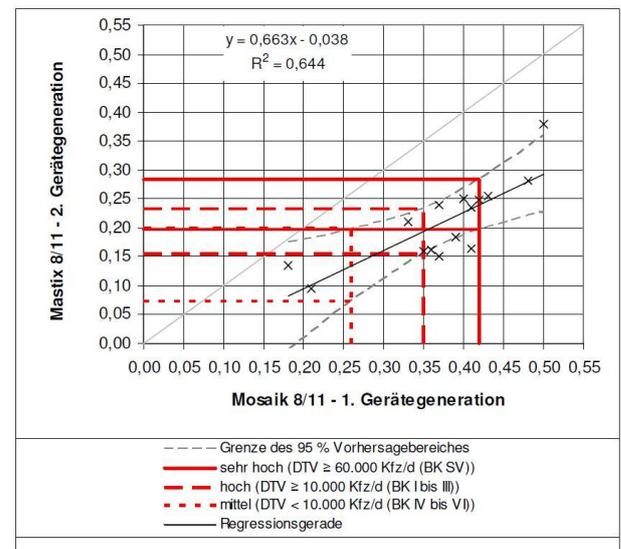


Bild 4: Regression zwischen Mastixprüfkörpern der 2. Gerätegeneration und Mosaikprüfkörpern der 1. Gerätegeneration

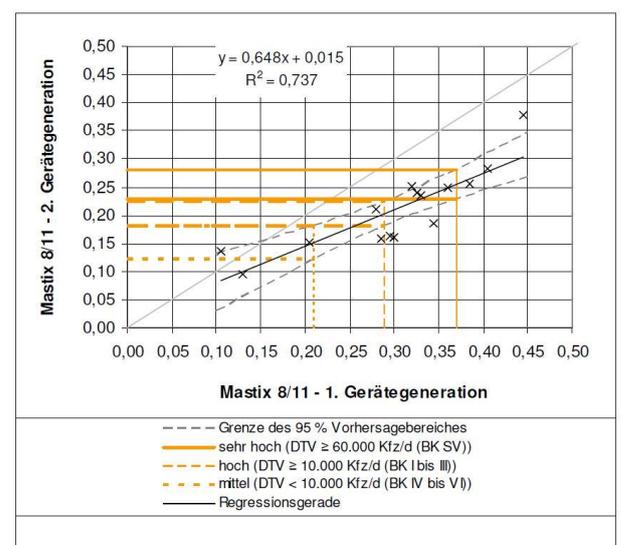


Bild 5: Regression zwischen Mastixprüfkörpern der 2. Gerätegeneration und Mastixprüfkörpern der 1. Gerätegeneration

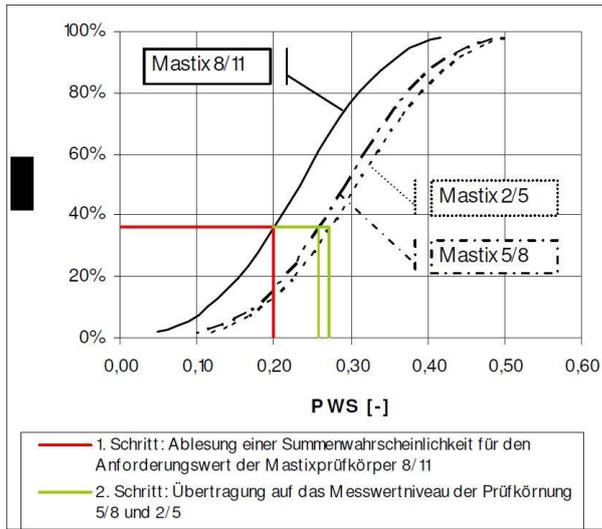


Bild 6: Übertragung der transformierten "Berliner" Anforderungswerte für die Prüfkörnung 8/11 auf die Prüfkörnungen 5/8 und 2/5

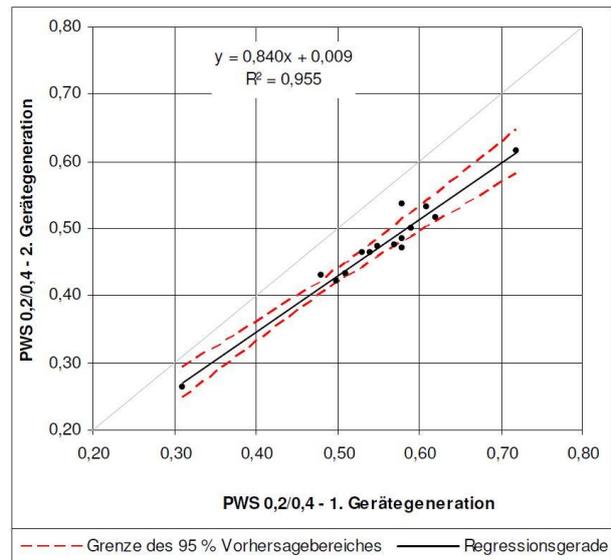


Bild 7: Regression zwischen 1. und 2. Gerätegeneration mit Sandplatten 0,2/0,4

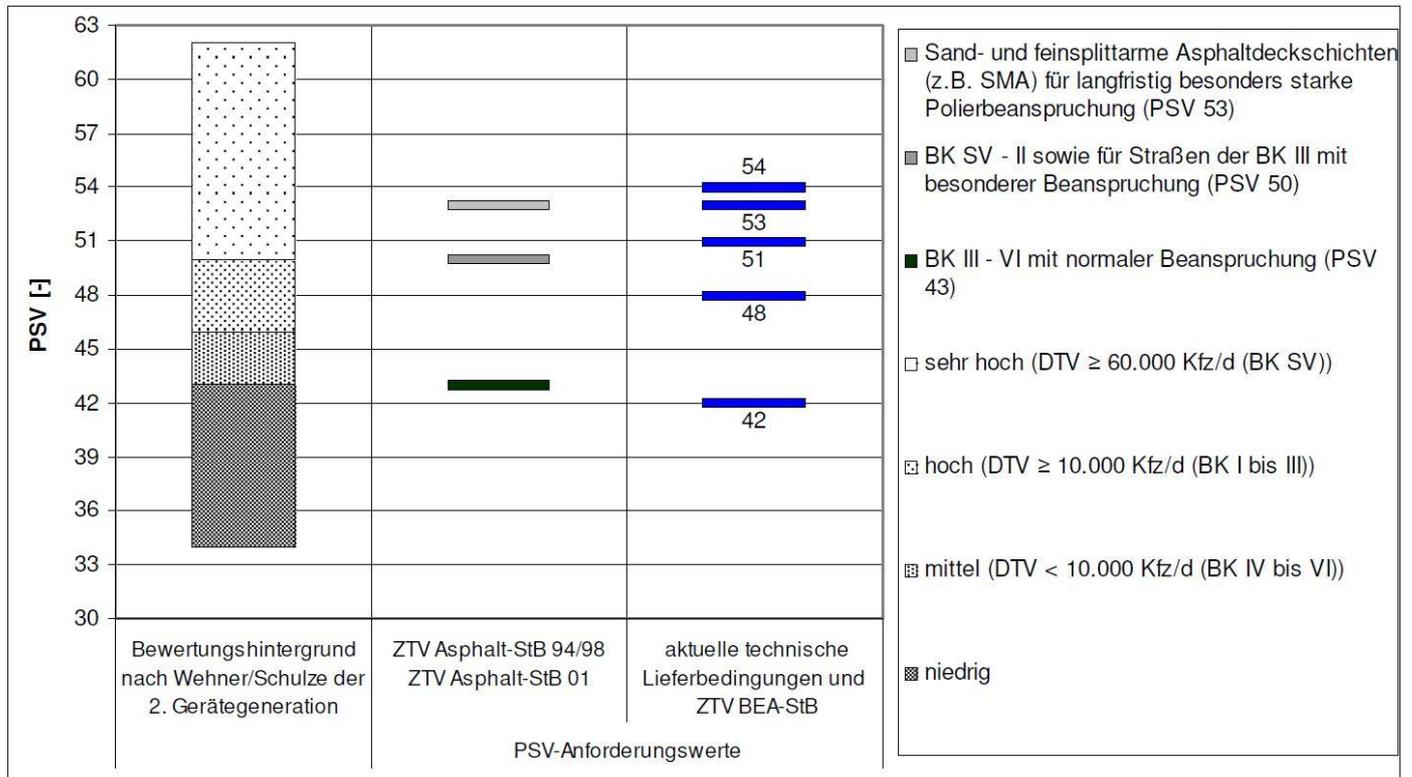


Bild 8: Vergleich der PSV-Anforderungswerte mit dem Bewertungshintergrund für Mastixprüfkörper 8/11 für die 2. Gerätegeneration, basierend auf den "Berliner" Anforderungswerten der 1. Gerätegeneration Wehner/Schulze

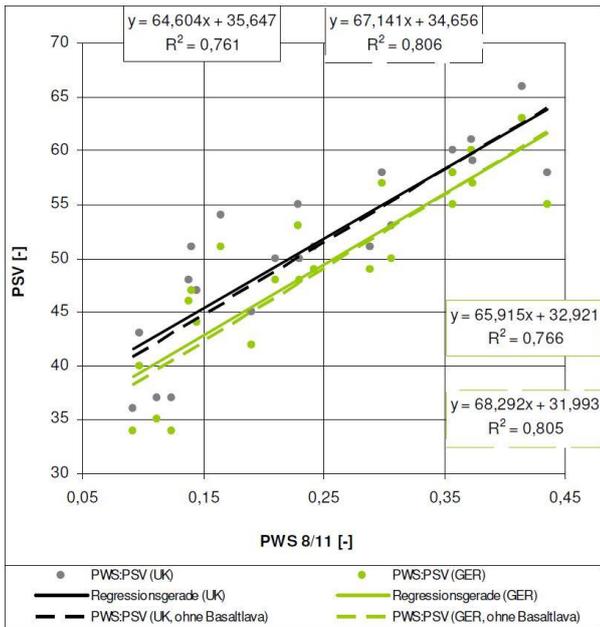


Bild 9: Regression zwischen den Polierverfahren PSV und PWS

Die Umrechnung auf die Anforderungswerte der ZTV Asphalt-StB basiert auf den TP Gestein-StB, Teil 5.4.1, Ausgabe 2010, mit nationalem Kontrollgestein (Herrnholzer Granit). Durch spätere Anpassungen der Technischen Regelwerke an die europäischen Stoffnormen wurden die PSV-Anforderungswerte verändert. Unabhängig davon, dass die Grundlagen der älteren Anforderungswerte für PWS und die aktuellen Anforderungswerte PSV in den Regelwerken nur noch eingeschränkt vergleichbar sind, zeigt sich eine gute Übereinstimmung beim Mindestwert von 42 PSV-Einheiten, der die grundsätzliche Möglichkeit für die Verwendung einer Gesteinskörnung in Deckschichten des Straßenbaus darstellt. Die übrigen Anforderungswerte müssen durch eine national repräsentative und breitere Stichprobe neu definiert und abgesichert werden.

4 Zusammenfassung

Eine umfassende Untersuchung des Polierwiderstands von feinen und groben Gesteinskörnungen nach dem Verfahren der TP Gestein-StB, Teil 5.4.2 sowie die Einbeziehung von vorliegenden Ergebnissen aus Routineprüfungen führten im Rahmen dieses Projekts zu einem aktualisierten Bewertungshintergrund des Verfahrens für die 2. Gerätegeneration.

Die Darstellung im Bild 10 stellt eine Zusammenfassung aus den ermittelten Erwartungsbereichen und übertragenen "Berliner" Anforderungswerten der 1. auf die 2. Gerätegeneration dar. Die Erwartungsbereiche setzen sich aus den Spannweiten der Untersuchungsergebnisse zusammen, welche durch mathematisch-statistisch ermittelte Anteile ergänzt werden. Somit werden die durch Prüfung ermittelten Spannweiten auf theoretische Grenzen erweitert.

Der systematische Fehler der Stichproben wurde durch eine Vergleichsuntersuchung bestimmt. Die Abweichungen bei den Vergleichsuntersuchungen setzen sich zusammen aus der Vergleichspräzision der Prüfung und der Wiederholpräzision bei der Prüfkörperherstellung. Die Abweichung des Forschungs-

nehmers kann als systematischer Fehler durch die Arbeitsweise mit dem Prüfgerät definiert werden. Das Ergebnis der Vergleichsuntersuchung validiert den Bewertungshintergrund.

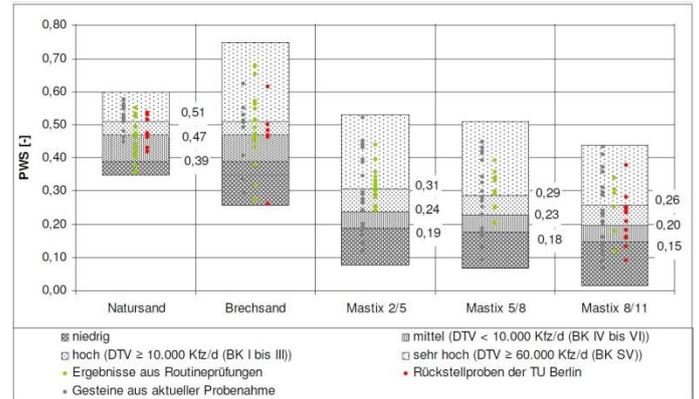


Bild 10: Bewertungshintergrund PWS für die 2. Gerätegeneration abgeleitet von den Anforderungswerten der 1. Gerätegeneration und den ermittelten oberen und unteren Grenzen der Polierwerte PWS

Mithilfe vorhandener Prüfkörper und Rückstellproben der TU Berlin konnte für die Prüfkörnungen 8/11 und 0,2/0,4 eine direkte Übertragung der "Berliner" Anforderungswerte von der 1. Gerätegeneration vorgenommen werden. Für die Prüfkörnungen 2/5 und 5/8 konnten über indirekte Beziehungen äquivalente Anforderungswerte abgeleitet werden.

Die Regressionen der groben Prüfkörnung 8/11 zwischen den Gerätegenerationen weisen eine gute Korrelation auf. So konnten mithilfe der Ergebnisse der Mosaikprüfkörper aus der Ära der 1. Gerätegeneration die Anforderungswerte auf einem abgesicherten Niveau übertragen werden. Das Messwertniveau für Mastixprüfkörper bei der Prüfkörnung 8/11 liegt im Vergleich zur 1. Gerätegeneration um ca. 30 % niedriger.

Die Polierwerte für die feinen Gesteinskörnungen 0,2/0,4 konnten mit einer sehr hohen Korrelation von ca. 96 % (siehe Bild 7) übertragen werden. Das Messwertniveau der 2. standardisierten Gerätegeneration ist auf den Sandplatten im Mittel um ca. 14 % niedriger als jenes der 1. Gerätegeneration.

Die Gründe für das niedrigere Messwertniveau der aktuellen Gerätegeneration wurden nicht untersucht. Obwohl bei der Neukonstruktion der Anlage die wesentlichen Maschinenparameter beibehalten wurden, führen offensichtlich andere Ursachen zu systematisch geringeren Polierwerten. Mögliche Ursachen sind in folgenden Randbedingungen zu vermuten:

- reduzierte Lagerreibung in der Griffigkeitsmesseinrichtung der 2. Gerätegeneration gegenüber der 1. Gerätegeneration aufgrund neuer Maschinenteknik
- Änderungen der Messgummis, da bekannt ist, dass zur Zeit der 1. Gerätegenerationen drei aufeinanderfolgende Produzenten die Messgummis hergestellt haben
- Änderungen in der Probekörpervorbereitung bei der Herstellung von Mastixprüfkörpern
- stärkere Polierwirkung durch verbesserte Rückführung des Quarzmehl-Poliermittels

Bei der Ermittlung des neuen Bewertungshintergrunds wurde bei der Auswahl der Gesteine auf eine Verknüpfung mit dem Forschungsvorhaben "Bestimmung der PSV-Berechnungsformel bei Verwendung von Quarzkörnung als Poliermittel und Granitsplitt als Kontrollgestein" geachtet, sodass auch für die neue Gerätegeneration der Zusammenhang zwischen den Prüfverfahren PWS und PSV hergestellt werden konnte (siehe Bild 8).

Der direkte Vergleich der Polierverfahren zeigt, dass die übertragenen "Berliner" Anforderungswerte kalibriert werden müssen. Weiterhin basieren die Empfehlungen für Anforderungswerte auf Untersuchungen von zwei Laboratorien und einer Stichprobe von Gesteinskörnungen, die nicht repräsentativ ist für die in Deutschland im Verkehrswegebau verfügbaren und eingesetzten Gesteine. Vor Einführung von Anforderungswerten für das Prüfverfahren Wehner/Schulze bedarf es somit einer Absicherung durch eine breitere Datenbasis. Bei den für die regelmäßige Güteüberwachung von Gesteinskörnungen relevanten Verfahren sollte die Ermittlung des Polierwerts PWS zur Erfahrungssammlung mit aufgenommen werden. Diese Verfahrensweise hat sich bei der Einführung neuer Prüfverfahren bewährt und wird in kurzer Zeit eine abgesicherte Datenbasis zur Überprüfung der vorläufigen Anforderungswerte ermöglichen. Mit der vorgestellten indirekten Transformation können dann Anforderungswerte für die Prüfkörnung 2/5 und 5/8 aus der Datenerhebung abgeleitet werden.

5 Literatur

- Dames, J., Lindner, J.: Zusammenhang zwischen dem Polierwiderstand von Mineralstoffen und der Griffigkeit von Straßendecken; Forschungsarbeit FE 06.049 G86 C, 1990
- Dames, J., Lindner, J.: Untersuchungen über den Einfluß des Größtkorns in bituminösen Deckschichten auf die Griffigkeit; Forschungsarbeit FE 7.109 G 83 F, 1988
- Dames, J., Lindner, J.: Ermittlung der Endpolierwerte von im Straßenbau verwendeten Gesteinen; Forschungsarbeit FE 6.048 G 85 C, 1989
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau – Teil 5.4.2: Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze (TP Gestein-StB, Teil 5.4.2), Ausgabe 2008
- Ausführungsvorschriften zu §7 des Berliner Straßengesetzes über Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (Einführung TL Min-StB 94 (17. Februar 1996); Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Verkehrsflächen aus Beton (M OB), Ausgabe 2009
- Lindner, J., Dudenhöfer, B.: Bericht über die Auswertung der ersten Vergleichsuntersuchung PWS mit der Prüfeinrichtung Wehner/Schulze – neu; Januar 2004, unveröffentlicht
- Kirchmaier, L., Pfeiler, A.: Griffigkeit von Betonstraßen – gesicherte Qualität durch neue Prüftechnik; Zeitschrift zement + beton, Mai 2009
- Lindner, J., Dudenhöfer, B., Li, A.: Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren Wehner/Schulze, Durchführung von Ringversuchen zur Ermittlung der Präzision unter Vergleichsbedingungen; Forschungsarbeit FE-Nr. FGSV 3/07, Juni 2009
- Böhm, S., Schwebel, N.: Bestimmung der PSV-Berechnungsformel bei Verwendung von Quarzkörnung als Poliermittel und Granitsplitt als Kontrollgestein, Forschungsarbeit FE-Nr. 06.0093/2011/BGB, Januar 2014
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzlich Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB), Ausgabe 1994/Fassung 1998
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzlich Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB), Ausgabe 2001
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB 07/13), Ausgabe 2007/Fassung 2013
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB 07), Ausgabe 2007
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzlich Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen (ZTV BEA-StB 09)
- Schulze, P.M.: Beschreibende Statistik, 6. Auflage; Oldenburger Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2007