

Einfluss der Verwendung von Quarzkörnung als Poliermittel und von Granitsplitt als Kontrollgestein auf die Präzision bei der Ermittlung des PSV

FA 6.083

Forschungsstelle: Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt (Prof. Dr.-Ing. J. Bald)

Bearbeiter: Böhm, S. / Rosauer, V.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Dezember 2008

1 Aufgabenstellung

Die Polierresistenz von Gesteinskörnungen (polished stone value, PSV) wird nach DIN EN 1097-8 (DIN, 2000) ermittelt. Gemäß dieser Norm ist als Kontrollgestein Quarzdolerit aus dem Vorrat des Transport Research Laboratory (TRL) aus England (im Folgenden englisches Kontrollgestein genannt) zu verwenden. Aus der europaweiten, regelmäßigen Anwendung des Prüfverfahrens resultiert allerdings ein großer Bedarf, der bei der Festlegung des englischen Kontrollgesteins nicht erkennbar war und der infolge des schnellen Abbaus von dem Vorkommen nun zu stärkeren Schwankungen der Polierresistenz des englischen Kontrollgesteins führt (Böhm, 2004). Das Poliermittel aus Naturkorund ist nach den Erfahrungen in der Praxis nur unregelmäßig verfügbar und zeigt starke Streuungen in der mineralogischen Zusammensetzung und Härte (Neubauer, 1995), folglich auch in der Polierwirkung. Dies führt bei dem durch zahlreiche Faktoren leicht beeinflussbaren Verfahren zu einer Verringerung der Präzision.

Als Alternative zu dem englischen Kontrollgestein wurde auf Basis eines 2007 durchgeführten Ringversuchs (Kallert, 2007) der "Herrnholzer Granit" als nationales Kontrollgestein bereits in die TP Gestein-StB Teil 5.4.1 (FGSV, 2008) aufgenommen.

Um den Einfluss der inhomogenen Zusammensetzung und der ungleichen Härte des Poliermittels zu beseitigen, könnten Poliermittel aus Quarz eingesetzt werden. Die für das Forschungsvorhaben vorgesehenen Quarzprodukte (Quarzsand WF 31, Quarzmehl Millisil W 6) zeigten bereits in einem vorherigen Forschungsprojekt (Böhm, u. a., 2005) gute Poliereigenschaften und wiederholbare Ergebnisse. Außerdem sind für den Quarzsand aus der jahrelangen Verwendung als Normsand und für das Quarzmehl aus der Verwendung bei der Polierprüfung nach Wehner/Schulze homogene Materialeigenschaften bekannt.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war daher, zunächst die Einflüsse, die mit dem Ersatz der Prüfmittel auf das Niveau sowie auf die Präzision des PSV entstehen, zu bestimmen. Nach dem Nachweis der Eignung der Prüfmittel war die Präzision des Prüfverfahrens unter Verwendung beider Prüfmittel in einem Ringversuch zu ermitteln. Die Eignung der neuen Prüfmittel ist gegeben, wenn mit ihnen Ergebnisse auf vergleichbarem Niveau und mit gleicher oder höherer Präzision zu erwarten sind.

2 Untersuchungsmethodik

In der Voruntersuchung wurden zunächst Proben der nationalen Prüfmittel hinsichtlich ihrer Eigenschaften beurteilt. Dabei wurde für die Poliermittel die äußere Beschaffenheit, die Korngrößenverteilung und die Rohdichte bestimmt, beim Quarzsand zusätzlich der Fließkoeffizient. Die Proben des nationalen Kontrollgesteins wurden mineralogisch mit Dünnschliffen und einer geochemischen Analyse beurteilt. Außerdem

wurde der PSV an den Splittproben des nationalen Kontrollgesteins dreifach bestimmt. Darauf basierend wurde jeweils eine Probe der nationalen Prüfmittel als repräsentativ bestimmt.

Anschließend wurden jeweils drei Polierprüfungen mit den Poliermitteln aus Korund sowie mit den "repräsentativen" Poliermitteln aus Quarz durchgeführt. Die Straßenräder waren dabei mit Proben des englischen Kontrollgesteins, des nationalen Kontrollgesteins und fünf Prüfgesteinen (Quarzit, Grauwacke, Basalt, Kalkstein, Diabas) bestückt.

Da die nationalen Prüfmittel aufgrund der Ergebnisse der Voruntersuchung hinsichtlich ihrer homogenen Eigenschaften und ihrer Verfügbarkeit geeignet schienen, wurde der Ringversuch mit Einsatz der nationalen Prüfmittel unter Teilnahme von insgesamt 17 Prüfstellen aus Deutschland, den Niederlanden, der Schweiz und Österreich durchgeführt. Zur Bestimmung der Wiederholpräzision war die Prüfung von den Prüfstellen zweifach durchzuführen. Die Prüfgesteine und nationalen Prüfmittel wurden den Prüfstellen zur Verfügung gestellt.

Auf Basis der Daten des Ringversuchs wurden die Berechnungsformeln für den PSV unter Verwendung der nationalen Prüfmittel und die Präzision des Verfahrens bestimmt. Weiterhin konnten zusätzliche, beim Ringversuch erfasste Daten hinsichtlich ihres Einflusses auf den PSV ausgewertet werden.

3 Untersuchungsergebnisse

Von den Poliermitteln aus Quarz konnten aus dem laufenden Betrieb drei Proben des Quarzsands und vier Proben des Quarzmehls genommen werden. Die Zusammensetzung und Eigenschaften sowohl des Quarzsands als auch des Quarzmehls sind sehr gleichmäßig. Verglichen mit den Poliermitteln aus Korund, waren Unterschiede in dem Größtkorndurchmesser, der Kornform, der Korngrößenverteilung und der Härte nach Mohs festzustellen: Der Quarzsand verfügt im Vergleich zum groben Korund über ein größeres Größtkorn, über einen höheren Feinanteil und auch über einen höheren Grobkornanteil. Das Quarzmehl ist insgesamt gröber als der feine Korund und verfügt über ein größeres Größtkorn. Weiterhin bestehen die Poliermittel aus Quarz jeweils zu 100 % aus Körnern mit einer gedrungenen Gestalt und abgerundeten Körnern. Der grobe Korund verfügt neben dieser Kornform über einen Anteil von 10 % stengeliger, splittriger Körner, bei dem feinen Korund beträgt der Anteil an stengeligen, splittrigen Körnern etwa 30 %. Die Härte nach Mohs ist von dem Quarz geringer als von dem Korund (Quarz, Härte nach Mohs: 7; Korund, Härte nach Mohs: 9 (Mehling u. a, 2003)).

Die mineralogische Untersuchung des nationalen Kontrollgesteins wurde an drei Proben der gebrochenen Gesteinskörnung aus dem Jahr 2004 und an Handstücken der aktuellen Bruchwand aus den Jahren 2007 und 2008 sowie an Handstücken von benachbarten Steinbrüchen aus dem Jahr 2008 durchgeführt. Die Ergebnisse der mineralogischen Untersuchung (Holtz, 2008) zeigen, dass die Zusammensetzung des nationalen Kontrollgesteins sehr gleichmäßig ist und auch für den weiteren Abbau (in dem für das nationale Kontrollgestein bestimmten Bereich) eine homogene Zusammensetzung zu erwarten ist. Die an den gebrochenen Gesteinskörnern bestimmten PSV liegen dementsprechend sehr nahe beieinander. Die Eignung des nationalen Kontrollgesteins nach den Bestimmungen der DIN EN 1097-8 wurde bereits in einem vorigen Ringversuch (Kallert, 2007) nachgewiesen.

Somit ist, unter weiterer Berücksichtigung der Produktion und der Größe der Vorkommen, für die nationalen Prüfmittel eine langfristig sichere Verfügbarkeit und Gleichmäßigkeit zu erwarten.

Anhand der Polierprüfungen mit den Poliermitteln aus Korund und aus Quarz war eine unterschiedliche Polierwirkung festzustellen. Bei Verwendung der Poliermittel aus Quarz werden die Prüfgesteine differenzierter bewertet: An den leichter polierbaren Prüfgesteinen werden geringere PSV bestimmt, an den polierresistenteren Prüfgesteinen höhere PSV. Die bei Verwendung der Poliermittel aus Quarz beobachtete Präzision war mindestens vergleichbar mit der des bisherigen Prüfverfahrens. Daher war die Weiterführung der Untersuchungen sinnvoll.

Für den Ringversuch wurden die Prüfgesteine durch die Zuordnung zu Messniveau 1 bis 5 (siehe Tabelle 1) anonymisiert und den Prüfstellen zusammen mit den nationalen Prüfmitteln, einer Anleitung zur Durchführung der Polierprüfung und einem Datenblatt zugesendet. Auf dem Datenblatt waren von den Prüfstellen zusätzliche Angaben zur Prüfstelle und zur Durchführung der Prüfung sowie die Ablesewerte der Prüfung einzutragen. Der Ringversuch wurde unter Berücksichtigung der Merkblätter über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen und der DIN EN 1097-8 ausgewertet.

Gemäß DIN EN 1097-8 dürfen die beiden Mittelwerte je Straßenrad des englischen Kontrollgesteins höchstens um 5 Einheiten differieren; dies wird bei allen Prüfungen an dem nationalen Kontrollgestein eingehalten. Ferner müssen die Mittelwerte je Straßenrad des englischen Kontrollgesteins im Bereich $52,5 \pm 3$ liegen. Der Mittelwert des nationalen Kontrollgesteins aller Prüfstellen beträgt 54,7. Aus der Voruntersuchung mit den Poliermitteln aus Quarz ist bekannt, dass bei dessen Verwendung eine größere Spreizung auftritt: Die Spannweite der mittleren Messwerte der Prüfgesteine von etwa 15 Einheiten bei Verwendung der Poliermittel aus Korund erhöht sich auf 19,3 Einheiten bei Verwendung der Poliermittel aus Quarz. Dieses entspricht dem Faktor 1,3. Daher wird der Bereich der am Kontrollgestein zulässigen Mittelwerte je Straßenrad von 3 auf 4 (= $3 \cdot 1,3$) Einheiten erhöht. Insgesamt wird deshalb der am nationalen Kontrollgestein zulässige Mittelwert je Straßenrad auf $54,5 \pm 4$ bestimmt. Prüfungen mit einem Mittelwert je Straßenrad außerhalb dieses Bereichs werden von der Auswertung zur Bestimmung der Präzision ausgeschlossen. Infolgedessen stehen für die Auswertung die Doppelbestimmungen von elf Prüfstellen zur Verfügung.

Zunächst wird die Messwertdifferenz der Prüfgesteine ausgewertet, um die quantitativen Niveauunterschiede zwischen Prüfgestein und nationalem Kontrollgestein zu bestimmen. Die Messwertdifferenz ($SD = S - C_{nat}$) berechnet sich aus der Differenz zwischen dem Messwert des Prüfgesteins (S) und dem Messwert des nationalen Kontrollgesteins (C_{nat}). Ist der Wert positiv, besitzt das Prüfgestein eine höhere Polierresistenz als das nationale Kontrollgestein. Ist der Wert negativ, lässt sich das Prüfgestein leichter polieren. Die nach der statistischen Prüfung und Auswertung je Messniveau über die Prüfstellen gemittelten Messwertdifferenzen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Mittelwert der Messwertdifferenzen je Messniveau

Messniveau	Prüfgestein	Mittelwert der Messwertdifferenz
1	Quarzit	2,03
2	Grauwacke	7,22
3	Basalt	-8,67
4	Kalkstein	-11,06
5	Diabas	4,09

Aufbauend auf den Niveauunterschieden werden die Berechnungsformeln für den PSV bestimmt: Hierbei ist zunächst die Parallelverschiebung der Messwerte mit dem Bezug auf den Referenzwert des Kontrollgesteins zu überprüfen. Anschließend ist die unterschiedliche Polierwirkung der Poliermittel aus Quarz auszugleichen, damit die mit dem modifizierten Verfahren bestimmten PSV mit der bestehenden PSV-Systematik vergleichbar sind.

Für die Prüfung der Parallelverschiebung werden die Messwerte der Prüfgesteine über dem zugehörigen Messwert des nationalen Kontrollgesteins aufgetragen (siehe Bild 1). Dabei wird der Wertebereich der Messwerte am nationalen Kontrollgestein nicht auf $54,5 \pm 4$ begrenzt, um den Zusammenhang auf einer breiteren Basis bewerten zu können.

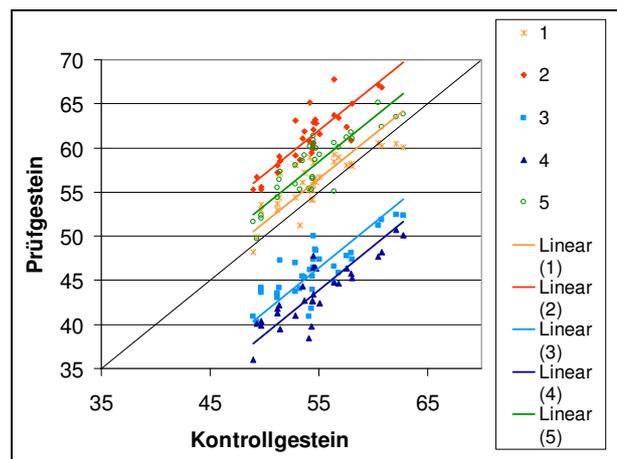


Bild 1: Messwerte der Prüfgesteine in Abhängigkeit der zugehörigen Messwerte des nationalen Kontrollgesteins aller Prüfstellen (ohne Ausreißer, Ordinaten-Abschnitt der Regressionsgerade mit dem Mittelwert der Messwertdifferenz vorgegeben)

Wird, unter Annahme eines linearen Zusammenhangs, der Ordinatenabschnitt der Regressionsgeraden mit den oben bestimmten Niveauunterschieden vorgegeben, betragen die Steigungen der Regressionsgeraden etwa eins. Die bestimmten Korrelationen sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,1 % nicht abzulehnen. Demzufolge kann die Parallelverschiebung zu einem Referenzwert von 54,5 (etwa der Mittelwert des nationalen Kontrollgesteins) angenommen werden. Der PSV mit Bezug zum nationalen Kontrollgestein berechnet sich daher mit

$$PSV_{nat} = S + 54,5 - C_{nat}$$

Für die Bestimmung der Berechnungsformel zum Ausgleich der unterschiedlichen Polierwirkung der Poliermittel aus Quarz werden die PSV des Poliervorgangs mit Korund über den PSV des Poliervorgangs mit Quarz aufgetragen (siehe Bild 2). Die PSV des Poliervorgangs mit Korund wurden dreifach in der Voruntersuchung (PSV K VU) bestimmt. Bei den PSV des Poliervorgangs mit Quarz werden einerseits die in der Voruntersuchung dreifach ermittelten und mit der obigen Formel berechneten PSV_{nat} (PSV nat VU) betrachtet, andererseits Schätzer für die Ergebnisse von PSV_{nat} aus dem Ringversuch (PSV^*_{nat}). Der Schätzer PSV^*_{nat} wird mit obiger Formel bestimmt, wobei S der Summe der mittleren Messwertdifferenz eines Prüfgesteins und dem Mittelwert des nationalen Kontrollgesteins ($C_{nat} = 54,7$) entspricht.

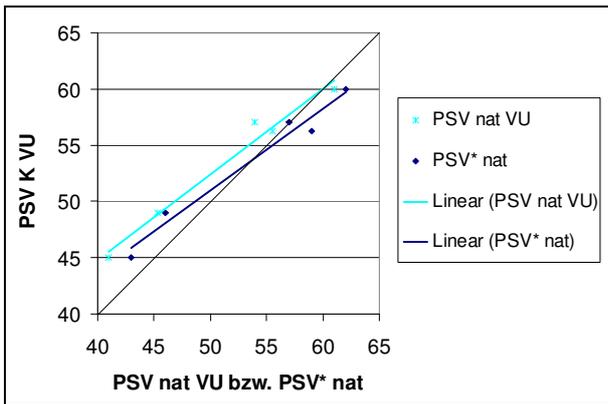


Bild 2: Darstellung der in der Voruntersuchung (VU) und in dem Ringversuch beim Poliervorgang mit Quarz ermittelten PSV über den in der Voruntersuchung beim Poliervorgang mit Korund ermittelten PSV

Tabelle 2: Regressionsgerade und Bestimmtheitsmaß für die Korrelation zwischen PSVK der Prüfgesteine aus der Voruntersuchung und PSV der Prüfgesteine aus der Voruntersuchung bzw. dem Ringversuch

Werte	Regressionsgerade	Bestimmtheitsmaß (R ²)
PSV nat VU	$PSV_K = 0,76 \cdot PSV_Q + 14,45$	0,98
PSV* nat	$PSV_K = 0,73 \cdot PSV_Q + 14,36$	0,97

Die Regressionsgeraden für $PSV_{nat,VU}$ und PSV^*_{nat} sowie die zugehörigen Bestimmtheitsmaße sind in Tabelle 2 gegeben. Beide Korrelationen sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % nicht abzulehnen. Aufgrund der größeren Datenbasis von PSV^*_{nat} und somit der höheren Repräsentativität wird die Anpassung der beim Poliervorgang mit Quarz bestimmten PSV an die bestehende PSV-Systematik mit folgender Formel beschrieben:

$$PSV_{Q,nat} = 0,73 \cdot PSV_{nat} + 14 = 0,73 \cdot (S + 54,5 - C_{nat}) + 14.$$

Die Bedeutung der bestimmten Formeln soll an folgendem Beispiel kurz erläutert werden (die gewählten Werte stammen aus dem Ringversuch): Bei der Polierprüfung mit nationalen Prüfmitteln wird der Messwert des Prüfgesteins Kalkstein $S = 39,4$ und der Messwert des nationalen Kontrollgesteins $C_{nat} = 51,5$ ermittelt. Der aus der Voruntersuchung und der Fremdüberwachung bekannte PSV des Kalksteins beträgt 45. Würde die Formel des bisherigen Verfahrens angewendet, bestimmt sich der PSV wie folgt:

$$PSV = 39,4 + 52,5 - 51,5 = 40,4 = 40.$$

Der ermittelte PSV liegt deutlich unterhalb des für den Kalkstein bekannten PSV. Mit der Berechnung von PSV_{nat} wird die Verwendung des nationalen Kontrollgesteins als Referenzgestein berücksichtigt:

$$PSV_{nat} = 39,4 + 54,5 - 51,5 = 42,4 = 42.$$

Der PSV liegt jedoch aufgrund der unterschiedlichen Polierwirkung der Poliermittel aus Quarz in diesem Fall weiterhin unterhalb des für das Gestein bekannten PSV. Mit der Berechnung von $PSV_{Q,nat}$ wird die unterschiedliche Polierwirkung des Poliermittels aus Quarz ausgeglichen und das Ergebnis an die bisherige PSV-Systematik angeglichen:

$$PSV_{Q,nat} = 0,73 \cdot (39,4 + 54,5 - 51,5) + 14 = 45,0 = 45.$$

Für die weitere Auswertung des Ringversuchs und die Bestimmung der Präzision des modifizierten Verfahrens werden PSV_{nat} und $PSV_{Q,nat}$ aus den Messwerten der elf Prüfstellen (mit

$C_{nat} = 54,5 \pm 4$) berechnet. Bei der Prüfung auf Ausreißer der Standardabweichungen sind bei einer Prüfstelle die Ergebnisse der Prüfung von Messniveau 4 zu streichen. Die Wiederhol- (r) und Vergleichsgrenze (R) für PSV_{nat} und $PSV_{Q,nat}$ lassen sich dann wie folgt bestimmen:

$$PSV_{nat} : \quad r = 2,8 \quad \text{und} \quad PSV_{Q,nat} : \quad r = 2,0 \quad \text{und} \\ R = 5,5; \quad \quad \quad R = 4,0.$$

Die höheren Zahlenwerte der Präzision von PSV_{nat} sind mit der größeren Spreizung der Messwerte beim Poliervorgang mit Quarz zu begründen. Relativ betrachtet, das heißt auf die Spannweite der mittleren Messwerte der Messniveaus bezogen, gleichen sich die Präzisionen.

Werden die Wiederhol- und Vergleichpräzisionen für $PSV_{Q,nat}$ mit den in den letzten Ringversuchen bestimmten Wiederhol- und Vergleichpräzisionen verglichen, ist eine ähnliche, leicht bessere Präzision zu erkennen: Die Wiederholungsgrenze, die für das bisherige Verfahren meist mit rund 3 Einheiten angegeben wurde, verbessert sich durch den Einsatz der nationalen Prüfmittel auf 2,0 Einheiten. Die Vergleichsgrenze wurde für das bisherige Verfahren mit 4,2 bis 6,0 Einheiten bestimmt. Mit dem Einsatz der nationalen Prüfmittel wird die Vergleichsgrenze auf 4,0 Einheiten reduziert.

Die Betrachtung der Standardabweichung der Prüfstellen je Messniveau in Abhängigkeit ihrer Routine (gemessen an der durchschnittlichen Anzahl an Polierprüfungen pro Jahr) zeigt, dass die maximale Standardabweichung tendenziell mit zunehmender Routine sinkt. Die minimale Standardabweichung ist von der Routine unbeeinflusst. Das heißt, dass mit etwas Übung und einem hohen Maß an Sorgfalt auch bei einer seltenen Durchführung der Polierprüfung gut wiederholbare Ergebnisse erzielt werden können.

Für die Betrachtung des Einflusses der Anzahl der Gesteinskörner je Probekörper, der Dauer der Wasserlagerung vor der Griffigkeitsprüfung, der Raumtemperatur bei der Griffigkeitsprüfung und die Auswertung der Bilder und Parameter der polierten Gesteinsoberflächen wird auf den Bericht verwiesen.

4 Folgerungen für die Praxis

Die umfassende Voruntersuchung mit den nationalen Prüfmitteln hat gezeigt, dass mit deren Einsatz die Problematik der Gleichmäßigkeit und Verfügbarkeit der Prüfmittel langfristig behoben werden kann. Die Auswertung des Ringversuchs hat darüber hinaus ergeben, dass mit deren Einsatz zudem die Präzision des Verfahrens verbessert wird. Daher ist die Änderung des nationalen Regelwerks gerechtfertigt und die Anwendung der nationalen Prüfmittel wird für die Praxis empfohlen. Dabei sind die bestimmten Berechnungsformeln anzuwenden, damit eine Vergleichbarkeit mit der bestehenden PSV-Systematik gegeben ist. Vorschläge für entsprechende Formulierungen zur Ergänzung der TP Gestein-StB Teil 5.4.1 (FGSV, 2008) sind im Anhang des Berichts enthalten.

Für die Verwendung des nationalen Kontrollgesteins sind nur ausgewählte Bereiche des Steinbruchs geeignet. Deshalb und im Sinne der Qualitätssicherung wird empfohlen, eine kontinuierliche Überprüfung des im Steinbruch produzierten nationalen Kontrollgesteins unter Berücksichtigung der im Bericht dokumentierten Ergebnisse durchzuführen.

Der untersuchte Quarzsand WF 31 wird ausschließlich im Werk Weferlingen produziert. Das Quarzmehl Millisil W 6 wird darüber hinaus in den Werken Frechen und Haltern/Flaesheim produziert. Aufgrund der gleichen mineralogischen Zusammensetzung wurde in dem Forschungsvorhaben das Quarzmehl ebenso aus dem Werk Weferlingen bezogen. Zwar sind die Produktspezifikationen in den beiden anderen Werken für das

Quarzmehl dieselben, sodass die gleichen Eigenschaften für das Quarzmehl aus den Werken Frechen sowie Haltern/Flaesheim und somit auch deren Eignung angenommen werden könnte. Zur Sicherheit wäre dies aber, sofern notwendig, in einer weiteren Untersuchung zu verifizieren.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden auch Dünnschliffe verschiedener Lieferungen des englischen Kontrollgesteins hergestellt und untersucht (Bausch, 2008). Dabei konnten Erklärungsmöglichkeiten für die schwankenden Eigenschaften gegeben werden. Eine umfassende Analyse, vergleichbar zu den Untersuchungen am nationalen Kontrollgestein, fehlt jedoch. Dieses sollte in einem weiteren Projekt erfolgen. Gleichmaßen wäre dann zu prüfen, ob der Referenzwert des englischen Kontrollgesteins von 52,5 (gleichbedeutend mit dessen durchschnittlicher Polierresistenz) beibehalten werden kann.

Sofern für die Praxis relevant, sind weiterhin die Berechnungsformeln für den PSV bei Verwendung des nationalen Kontrollgesteins und des groben und feinen Korunds als Poliermittel bzw. bei Verwendung des englischen Kontrollgesteins und des Quarzmehls und -sands als Poliermittel zu bestimmen.

Die zusätzlich durchgeführte Betrachtung der Gesteinsoberfläche und Analyse von Oberflächen-Parametern lässt vermuten, dass die unterschiedliche Polierwirkung der Poliermittel neben der Härte und Korngrößenverteilung auf die Kornform zurückzuführen ist. Je Gestein und Polierzustand wurde allerdings nur jeweils eine Fläche betrachtet. Zur Absicherung dieser Beobachtung wären zusätzliche Untersuchungen zum Einfluss der Kornform auf die Polierwirkung notwendig.

5 Literatur

- Bausch (2008): Untersuchung der Dünnschliffe im Projekt FE 06.083/2006/CGB. Nicht veröffentlicht. Dormitz.
- Böhm, S. (2004): Das PSV-Verfahren: Perspektiven für eine zukünftige Entwicklung. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, (Schriftenreihe der Arbeitsgruppe "Mineralstoffe im Straßenbau" ; 9), S. 25-28, Bonn.
- Böhm, S.; Riedl, S. (2005): Verwendung von synthetischem Korund bei der Durchführung der Polierprüfung, (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 921) Bonn.
- Deutsches Institut für Normung (DIN) e. V. (2000): DIN EN 1097-8 (2000): Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 8: Bestimmung des Polierwertes, Berlin.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2008): Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Teil: Bestimmung des Polierwertes (PSV) (TP Gestein-StB Teil 5.4.1), Köln.
- Holtz (2008): Bericht über die Untersuchung an Granit Gesteinen. Nicht veröffentlicht. Hannover.
- Kallert (2007): Ringversuch mit nationalem Kontrollgestein. Nicht veröffentlicht. Dresden.
- Mehling; Germann; Kownatzki (2003): Naturstein-Lexikon. München.
- Neubauer (1995): Fahrsicherheit – Polierverhalten von Mineralstoffen. In: Straße und Verkehr 81 (1995) Nr. 4, S. 146 – 152.