

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Untersuchungen zum Einfluss des Sandes und des Sandstrahlens auf die Griffigkeit von Asphaltbeton

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-
Ingenieurs unter der Leitung von

o.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Dr.h.c. Johann LITZKA
und Univ. Ass. Dipl.-Ing. Lukas KIRCHMAIER,
Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung,

eingereicht an der Technischen Universität Wien,
Fakultät für Bauingenieurwesen,
von

Marin DONCHEV
E 610/0227090
Liulin Planina Str. 14/9
1606 Sofia

Wien, im Dezember 2007

Kurzfassung

Untersuchungen zum Einfluss des Sandes und des Sandstrahlens auf die Griffigkeit von Asphaltbeton

Die Straßengriffigkeit ist aufgrund ihrer unmittelbaren Auswirkung auf die Verkehrssicherheit vor allem bei Nässe eine wesentliche Kenngröße im heutigen und zukünftigen Straßenbau. Die Griffigkeit ist bei den Deckschichten von dem Polierwiderstand des verwendeten Gesteinsmaterials abhängig. Bereits veröffentlichte Untersuchungen der TU Berlin zeigen, dass die feineren Fraktionen ≤ 4 mm bzw. ≤ 2 mm, eine Erhöhung der Fahrbahngriffigkeit von dichten Straßenoberflächen wie z.B. bei Asphaltbeton leisten können.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit, die Teil eines umfassenden großen Forschungsprojektes ist, wird der Einfluss der Polierresistenz von vier in Österreich gewinnbaren Sanden (≤ 2 mm) auf die Griffigkeit von Asphaltbeton (AC11) untersucht. Dafür wird in einem ersten Schritt deren Polierresistenz mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze ermittelt. In einem zweiten Schritt wird auf Basis der erhaltenen Ergebnisse der Polierresistenzbestimmung untersucht, ob sich durch die Verwendung von polierresistenten bzw. wenig polierresistenten Sanden im Zusammenhang mit einem wenig polierwiderstandsfähigen Splitt im Asphaltmischgut ein unterschiedliches Griffigkeitsniveau des Asphaltbetons AC11 einstellt.

Das gewählte Versuchsprogramm für die Asphaltuntersuchung ist in Anlehnung an das Standardprogramm für Griffigkeitsprognosen mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze der TU Berlin strukturiert und soll eine detaillierte Phasenentwicklung der Griffigkeit von AC11 erzeugen.

Das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung an der TU Wien verfügt seit dem Jahr 2006 über eine entsprechende Sandstrahlkabine für das Wehner/Schulze Verfahren letzter Bauart. Im Zuge dieser Arbeit wurde die Sandstrahlkabine erstmals in Betrieb genommen und eine Arbeitsanweisung für die Durchführung des Sandstrahlens erstellt. Dafür fand mit der TU Berlin ein Erfahrungsaustausch statt.

Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse haben nicht nur den Einfluss der feinen Fraktionen auf die Griffigkeit von Asphaltbetonen beurteilt, sondern auch den Einfluss des Sandstrahlens auf die Griffigkeitsentwicklung von im Labor hergestellten Asphaltprobekörpern beschrieben.

Nach der Analyse aller Versuchsergebnisse erfolgt eine umfassende Beurteilung unter Berücksichtigung des Aspekts Polierwiderstand der verwendeten Gesteinsarten. Es wurde festgestellt, dass das gewählte Versuchsprogramm eine 50 % - ige Abnahme des PWS_{60} ergibt.

Die bei dieser Arbeit gewonnenen Erfahrungen haben somit zu einer weiteren Entwicklung des Wehner/Schulze Verfahrens im Zusammenhang mit dem Einfluss des Sandstrahlens bei der Untersuchung der Griffigkeit von Asphaltdeckschichten beigetragen.

Summary

Research on the influence of the sand and the sandblast on the pavement grip of asphalt-concrete

The pavement grip due to its direct effect on the road safety, above all on wet roads, is a substantial characteristic in today's and future road construction. The pavement grip depends on the polishing resistance of the surface layers of the aggregate material used. Already published investigations of the Technical University Berlin show that finer fractions ≤ 4 mm respectively ≤ 2 mm are able to achieve an enhancement of compact road surfaces like asphalt-concrete.

This research, being part of a wide ranging research project, examines the influence of the polishing resistance of four different sands currently available in Austria (≤ 2 mm), on the pavement grip of asphalt-concrete (AC11). The first step is to determine their polishing resistance using the Wehner/Schulze method. On the basis of the results from step one, step two is to research whether by using polish-resistant, respectively low polishing resistant sands, together with chippings manifesting a low level of polishing resistance in the asphalt mixture, a different grip level of asphalt-concrete (AC11) is obtained.

The selected test program for the asphalt research follows the standard Technical University of Berlin program used to predict the phases of pavement grip wear of AC11, with the traffic simulation according to Wehner/Schulze. In addition our program aims to provide a detailed breakdown of the various phases involved in the process of pavement grip wear (AC11).

Since 2006 the Technical University Vienna's Institute for Road Constructions and Road Maintenance, has had a state of the art sand jet cabin suitable for the Wehner/Schulze test. In the course of this work the sand jet cabin was used for the first time and detailed instruction for the execution of the sandblast test was instituted using an exchange of experiences with the Technical University Berlin.

In the context of the research the results did not only judge the influence of the fine particles on the pavement grip of asphalt-concrete, but also the influence of the sandblast on the pavement grip development of laboratory produced asphalt samples.

After the analysis of all test results we made a comprehensive evaluation with consideration to the aspect of polishing resistance of the various kinds of rocks used. It was established that the chosen experimental program gives a 50 % decrease for the PWS_{60} .

The results gained from this research contributed thus to a further development of the Wehner/Schulze procedure in connection with the influences of sandblast on the pavement grip of asphalt-concrete surface layers.

Резюме

Изследване влиянието на пясъка и обструйването с пясък върху сцеплението на асфалтобетона

Сцеплението на пътя е съществена величина в съвременното и бъдещо пътно строителство поради неговото непосредствено влияние върху сигурността на транспорта, особено при валежи. Сцеплението на пътните настилки зависи от устойчивостта при полиране на използвания в тях каменен материал. Публикувани изследвания на Техническия Университет Берлин показват, че фините каменни фракции $\leq 4 \text{ mm}$ и/или $\leq 2 \text{ mm}$ могат да осигурят повишаване сцеплението на плътни пътни настилки като например асфалтобетон.

В рамките на тази дипломна работа, която е част от голям научноизследователски проект, се изследва влиянието на устойчивостта при полиране на четири вида, добивани в Австрия, пясъци ($\leq 2 \text{ mm}$) в асфалтобетонена смес (AC11). За целта първо се определя устойчивостта им на полиране по метода на Венер/Шулце. След това въз основа на получените резултати от полировъчния тест се изследва влиянието на устойчивите респективно слабо устойчивите на полиране пясъци заедно със слабо устойчив на полиране чакъл в асфалтовата смес върху сцеплението на асфалтобетона AC11.

Избраната програма за изследване на асфалтобетона се позовава на стандартната програма на Техническия Университет Берлин за прогнозиране на сцеплението с транспортна симулация по метода на Венер/Шулце и има за цел да представи детайлно фазите на развитие при износването на асфалтобетонната повърхност.

Институтът за строителство и поддръжка на пътища към Техническия Университет Виена разполага от 2006 година с последен модел кабина за обструйване с пясък, пригодена за метода на Венер/Шулце. В хода на изследването кабината бе пусната за първи път в действие и беше съставено упътване за работа с нея. За целта се проведе и обмяна на опит с Техническия Университет Берлин.

В рамките на тази работа е направена оценка не само за влиянието на фините каменни фракции върху сцеплението на асфалтобетона, но е описано и влиянието на обструйването с пясък върху износването на повърхността на асфалтови пробни тела, изработени в лабораторни условия.

Въз основа на всички получени резултати от проведените изследвания се направи оценка на устойчивостта на полиране на използваните видове каменен материал. Установено бе, че избраната опитна програма дава 50 % спад на коефициента на полиране (PWS_{60}).

Получените резултати от тази работа допринасят също така и за бъдещото развитие на метода на Венер/Шулце, комбиниран с обструйване с пясък при изследване сцеплението на асфалтови настилки.

“Drei Wege führen zu dem Wissen: der Weg des Nachdenkens - das ist der edelste Weg, der Weg der Nachahmung - das ist der leichteste Weg, und der Weg der Erfahrung - das ist der bitterste Weg.”

Konfuzius

Vorwort

Ich möchte mich bei Herrn o.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Dr.h.c. Johann Litzka herzlich bedanken, der es mir erlaubte, meine Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung durchführen zu können.

Weiters möchte ich mich besonders bei Herrn Dipl.-Ing. Lukas Kirchmaier für seine ausgezeichnete Betreuung und das exzellente kollegiale Arbeitsklima bedanken.

Außerdem möchte ich mich auch herzlich bei dem ganzen Laborteam für die Mithilfe und für das nette und kollegiale Benehmen bedanken.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, meiner Mutter Romyana, meinem Vater Slavi, und meinem Bruder Dobrin, die mir im Laufe meines Studiums die schwere Last des Alltags von den Schultern genommen haben. Bei meiner Tante Latinka möchte ich mich besonders für die Unterstützung und die zahlreichen fachlichen Gespräche während meiner Studienzeit bedanken.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meinen Studienkollegen und Freunden für die Unterstützung bedanken.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	2
2. AUFGABESTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	3
3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN ZUR GRIFFIGKEIT	4
3.1 Begriffsdefinitionen	4
3.2 Einflussparameter	7
3.3 Textur	9
3.4 Einfluss der Textur (Makro und Mikro) ohne und bei einem vorhandenen Zwischenmedium	12
3.5 Polierwiderstand	13
4. METHODEN ZUR BESTIMMUNG DES POLIERWIDERSTANDES	14
4.1 Polierversuch mit dem Poliersimulator und Polierwiderstandsmessung mit dem Pendelgerät (PSV)	14
4.1.1 Allgemeines	14
4.1.2 Poliersimulation mit dem Polierrad	15
4.1.3 Polierwiderstandsmessung mit dem Pendelgerät	15
4.2 Polierwert nach Wehner/Schulze Verfahren (PWS)	16
4.2.1 Allgemeines	16
4.2.2 Beschreibung des Verfahrens	18
4.2.3 Auswertung	20
4.2.4 Geräte	21
5. UNTERSUCHUNGEN ZUR GRIFFIGKEIT VON ASPHALTBETON (AC11)	23
5.1 Ausgangssituation und Zielsetzung	23
5.2 Versuchsprogramm	24
5.3 Gesteinsaufbereitung (Phase 1)	26
5.3.1 Gesteinsauswahl	26
5.3.2 Aussieben der Fraktion 0,2/0,4 mm der ausgewählten Sande	27
5.4 Sandpolierprüfung (Phase 2)	28
5.4.1 Probenvorbereitung	28
5.4.2 Sandpolierprüfung mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze	32
5.4.3 Ergebnisse und Beurteilung der Sandpolierprüfung	36
5.5 Asphaltuntersuchung (Phase 3)	42
5.5.1 Mischgutvarianten für den AC11	42
5.5.2 Herstellung der Asphaltprüfplatten	44
5.5.3 Konventionelle Asphaltprüfung der untersuchten Asphaltproben	46
5.5.4 AC11 - Polierprüfung mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze und Sandstrahlbehandlung (SSB)	48
5.5.5 Ergebnisse und Beurteilung	52
6. ZUSAMMENFASSUNG	60
6.1 Ausgangssituation und Zielsetzung	60
6.2 Versuchsprogramm	61
6.3 Versuchsergebnisse	62
6.4 Schlussfolgerungen und Ausblick	63
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	64
TABELLENVERZEICHNIS	66
LITERATURVERZEICHNIS	67
ANHANG A	70
ANHANG B	73
ANHANG C	76
ANHANG D	84

1. EINLEITUNG

Die Straßengriffigkeit ist aufgrund ihrer unmittelbaren Auswirkung auf die Verkehrssicherheit vor allem bei Nässe eine wesentliche Kenngröße im heutigen und zukünftigen Straßenbau. Deshalb ist dieses Thema beim Bau, Erhaltung und Betrieb von Straßen immer aktuell. Die Griffigkeit hat nicht nur in den hochrangigen, sondern auch in den sekundären Straßennetzen einen hohen Stellenwert, wie z.B. in Bereichen mit kleinen Kurvenradien, in Bremsstrecken oder bei großen Längsneigungen. Die Gewährleistung und die Aufrechterhaltung der Griffigkeit im Laufe der Nutzungsdauer einer Straße sind zwei sehr wesentliche Aufgaben des heutigen Straßenbauers bzw. des Straßenerhalters. Das dient im Wesentlichen zur Erstellung einer sicheren Straßeninfrastruktur für den Verkehrsteilnehmer.

Die flächendeckenden Griffigkeitsmessungen werden in Österreich seit den 90er nicht nur auf dem Autobahn- und Schnellstraßennetzen (A+S), sondern auch auf dem Landesstraßennetz (B) periodisch durchgeführt. Die Ergebnisse fließen als eine der Entscheidungsgrundlagen in die Erhaltungsplanung des österreichischen Straßennetzes ein (Litzka, 2002).

Die in Deutschland durchgeführten Untersuchungen von Dames (2000a, 2000b) zeigen, dass die feineren Fraktionen ≤ 4 mm, nicht nur am Anfang, sondern auch während der gesamten Nutzungsdauer der Straße die Fahrbahngriffigkeit nachhaltig beeinflussen können. Neben der Beurteilung der Polierresistenz des Gesteinsmaterials wurde festgestellt, dass die Berücksichtigung des Sandes für die Griffigkeit der Straßenoberfläche sinnvoll ist.

Für neue Fahrbahndecken bzw. neue Deckschichten der A+S - Straßen sind in den derzeit gültigen Normen neue Anforderungen für die Griffigkeit bzw. für die Reibungsbeiwerte gestellt.

2. AUFGABESTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird der Einfluss der Polierresistenz von Sanden (≤ 2 mm) auf die Griffigkeit von Asphaltbeton (AC11) untersucht. Dafür wird in einem ersten Schritt die Polierresistenz von vier in Österreich verfügbaren Sanden mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze ermittelt. Auf Basis der erhaltenen Ergebnisse soll in Anlehnung an bereits durchgeführte Untersuchungen von Schulze (1970), Dames (2000a, 2000b), Huschek (2002), Pfeiler (2004) ermittelt werden, ob sich durch die Verwendung von polierresistenten Sanden eine bessere Griffigkeit des Asphaltbetons AC11 erzielen lässt.

Ziel der gegenständlichen Arbeit, die Teil eines umfassenden großen Forschungsprojektes ist, wird den Einfluss der vier zur Verfügung stehenden Sande auf die Fahrbahneigenschaft "Griffigkeit" im Asphaltstraßenbau herauszuarbeiten. Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse sollen nicht nur den Einfluss des Sandes auf die Griffigkeit von Asphaltbetonen beurteilen, sondern auch den Einfluss des Sandstrahlens auf die Griffigkeitsentwicklung von im Labor hergestellten Asphaltprobekörpern beschreiben. Es ist auch eine Arbeitsanweisung zur Nutzung der Sandstrahlkabine zu erstellen, die danach für die Laborgriffigkeitsuntersuchungen von Asphalten verwendet wird.

Die bei dieser Diplomarbeit gewonnenen Erfahrungen müssen zu einer weiteren Entwicklung des Wehner/Schulze Verfahrens im Zusammenhang mit dem Einfluss des Sandstrahlens bei der Untersuchung der Griffigkeit von Asphaltdeckschichten beitragen.

3. TECHNISCHE GRUNDLAGEN ZUR GRIFFIGKEIT

3.1 Begriffsdefinitionen

- **Griffigkeit**

Unter der Griffigkeit einer Straßenoberfläche versteht man deren Eigenschaft, sowohl bei Trocken- als auch bei Nasszustand im Kontakt mit einem Fahrzeugsreifen Reibungskräfte zu entwickeln. Vor allem bei nasser Fahrbahn kann der in die Kontaktfläche eindringende Wasserfilm die Reibungskräfte sehr rasch reduzieren und die Verkehrssicherheit bedrohen. Besitzt die Straßenoberfläche eine gute Griffigkeit, könnte diese Kräfteerzeugung minimiert werden.

- **Reibungsbeiwert μ**

Bei der Bewegung eines Fahrzeuges entstehen dynamische Kräfte, die über den Fahrzeugsreifen in die darunter liegende Konstruktion übertragen werden. Die Theorie der Reibungsphysik beschreibt die Größe der übertragbaren Kraft durch einen quantifizierbaren Wert. Dieser Wert ist physikalisch gesehen ein Reibungskoeffizient oder auch Kraftschlussbeiwert genannt, der den Zusammenhang zwischen den auf die Fahrbahn übertragenen Horizontalkräften und den gleichzeitig wirkenden Vertikalkräften beschreibt. Nach der Theorie der Reibung zwischen zwei aufeinander gepressten Körpern (siehe Abb. 3-1) ist der Reibungsbeiwert unabhängig von der Kontaktfläche und von der Geschwindigkeit. Die übertragbare Horizontalkraft $F_{H,1} = F_{H,2}$ ist also von der vorhandenen Reibung zwischen den beiden Körpern abhängig, die durch den Kraftschlussbeiwert " μ " beschrieben wird. Je größer der Kraftschlussbeiwert ist, desto größer ist die übertragene Kraft bzw. auch der durch Reibung erzeugte Widerstand. Wenn der Reibungsbeiwert in der Kontaktfläche Fahrzeugsreifen/Straße minimal oder gleich Null ist, dann findet auch keine Kraftübertragung statt. Deswegen hat er unmittelbare Auswirkungen auf das Unfallgeschehen und ist somit die wichtigste Eigenschaft von Fahrbahnoberflächen.

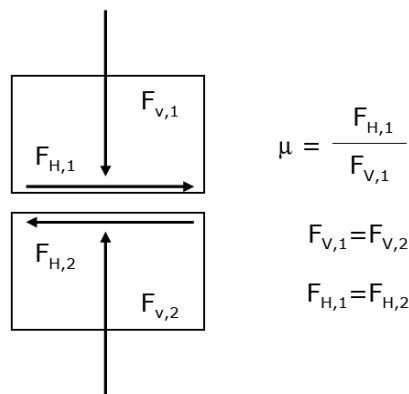


Abb. 3-1: Definition des Reibungsbeiwertes (Pfeiler, 2004)

- **Gleitreibungsbeiwert**

Der Gleitreibungsbeiwert ist ein Sonderfall des Reibungsbeiwertes. Die Straßenbau-literatur beschreibt diesen Wert mit dem Prinzip des blockierten Messrades. Kinema-tisch gesehen ist die Gleitreibung der Reibungszustand zwischen blockiertem Reifen und Fahrbahnoberfläche. Die Gleitreibung tritt dann auf, wenn die durch Antrieb des Motors hervorgerufene Umfangskraft "Z" der Reifen oder die Bremskraft beim Anhal-ten größer als die Reaktionskraft "Z_r" der Fahrbahnoberfläche ist (siehe Abb. 3-2).

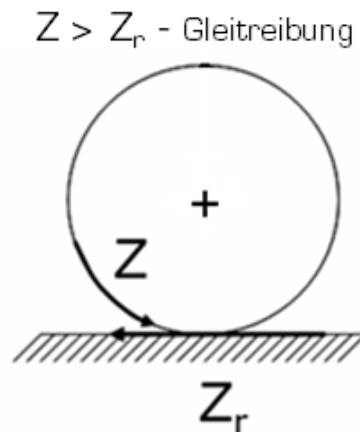


Abb. 3-2: Kräfteübertragung bei Gleitreibung

- **Schlupf**

Während bei der Theorie der Gummireibung hauptsächlich vom Zustand des Gleitens ausgegangen wird, tritt im Fall der Kraftübertragung zwischen Reifen und Straßenoberfläche auch ein Abrollvorgang auf. Überträgt ein rollender Reifen im Aufstandspunkt eine Längskraft, so entsteht eine gewisse Relativbewegung zwischen Reifen und Fahrbahn, also ein Verlust an Vortrieb. Dieser Verlust wird Schlupf genannt (Pfeiler, 2004).

Die Beziehung zwischen dem vorhandenen Schlupf und der aktivierbaren Reibung lässt sich anhand der in Abb. 3-3 dargestellten Reibungsbeiwert - Schlupf - Kurve erklären. Bei einem bestimmten kritischen Schlupf, der auf griffiger, trockener Oberfläche zwischen 0,2 und 0,4 liegt, erreicht der Reibungsbeiwert sein Maximum, das auch als Kraftschlussgrenze bezeichnet wird. Beim Überschreiten des kritischen Schlupfes können die in der Reifenaustandsfläche aktivierbaren Kräfte dem wirkenden Bremsmoment nicht mehr standhalten und das Rad blockiert. Während der Schlupf sehr schnell weiter ansteigt, sinkt der Reibungsbeiwert μ und erreicht bei $S = 1$ (Gleitzustand) den minimalen (Gleit-) Reibungsbeiwert μ_g . Auf nasser Fahrbahn verhält es sich sehr ähnlich, der kritische Schlupf sowie der erzielbare Reibungsbeiwert sind dabei allerdings wesentlich geringer (Pfeiler, 2004).

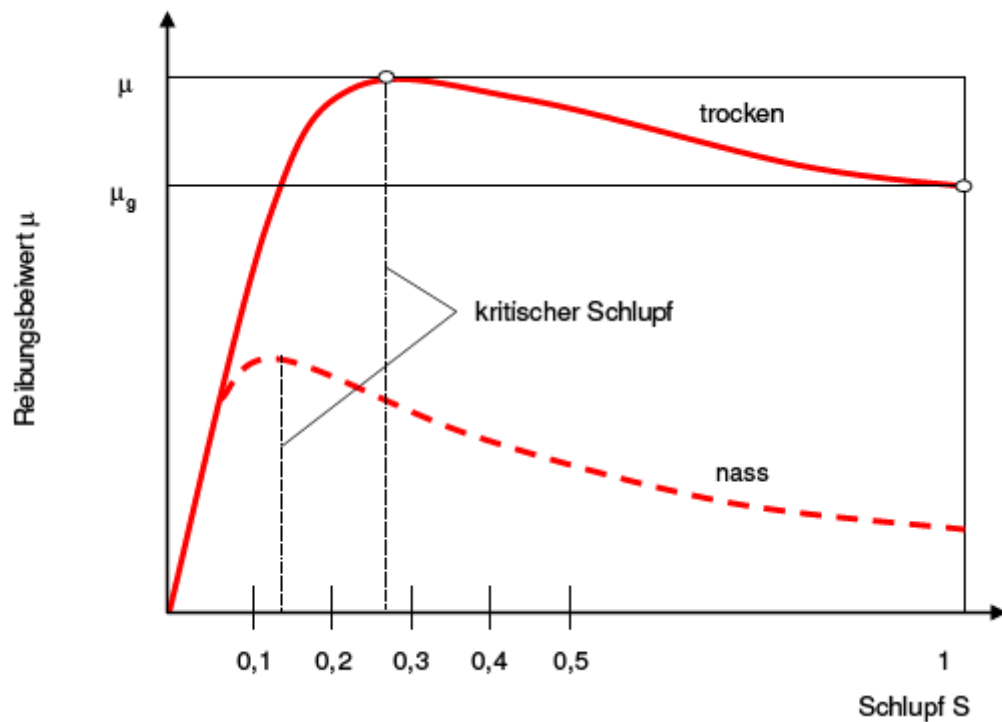


Abb. 3-3: Reibungsbeiwert - Schlupf - Kurve nach (KUMMER et al., 1970)

Bei 100 % - igem Schlupf ($S = 1$) wird der Reibungsbeiwert als ein Gleitreibungsbeiwert betrachtet.

- **Polierwert**

Der Polierwert - auch Polierbeiwert genannt - ist ein Begriff, der in der Messtechnik verwendet wird. Er ist ein Maß für den Polierwiderstand von Gesteinskörnungen und wird durch ein genormtes Polierverfahren mit nachfolgender Bestimmung des Gleitbeiwertes an einer Prüfkörnung bestimmt (siehe Kapitel 4.2).

3.2 Einflussparameter

Der in der Kontaktfläche Fahrzeugreifen/Straßenoberfläche mögliche Reibungsbeiwert ist von vielen Einflüssen geprägt. Die Einflussparameter auf die Griffigkeit von Verkehrsflächen können in vier Gruppen eingeteilt werden (siehe Abb.3-4):

- **Einflüsse des Reifens:** Profilart, Profiltiefe, Luftdruck, Gummizusammensetzung, Schlupf
- **Einflüsse der Strasse:** Oberflächentextur (Makro- und Mikrotextur), Polierfähigkeit, Deckenbauart
- **Einflüsse des Fahrzeuges:** Geschwindigkeit, Radlast, Radart, Radlastschwankungen
- **Einflüsse des Zwischenmediums:** Wasserfilm, Eis, Schnee, Schmutzfilm

Auf der einen Seite stehen dabei die Einflüsse des Reifens, des Fahrzeuges und eines eventuell vorhandenen Zwischenmediums, also das sind Einflüsse, die durch die Straßenbautechnik sehr wenig beeinflusst werden können. Auf der anderen Seite steht der Einfluss der Straße. Es ist eine Reihe von Parametern, deren Einfluss auf die Griffigkeit durch entsprechende straßenbautechnische Maßnahmen gesteuert werden kann. Etwa durch die Wahl einer entsprechenden Textur, die Optimierung der Mischgutzusammensetzung d.h. die in der Zusammensetzung verwendeten Gesteinsmaterialien oder durch die Wahl entsprechender Trassierungselemente. Da die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktoren sehr komplex sind, kann der Einfluss der einzelnen Parameter auf den Reibungsvorgang von Fall zu Fall unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann (Pfeiler, 2004).

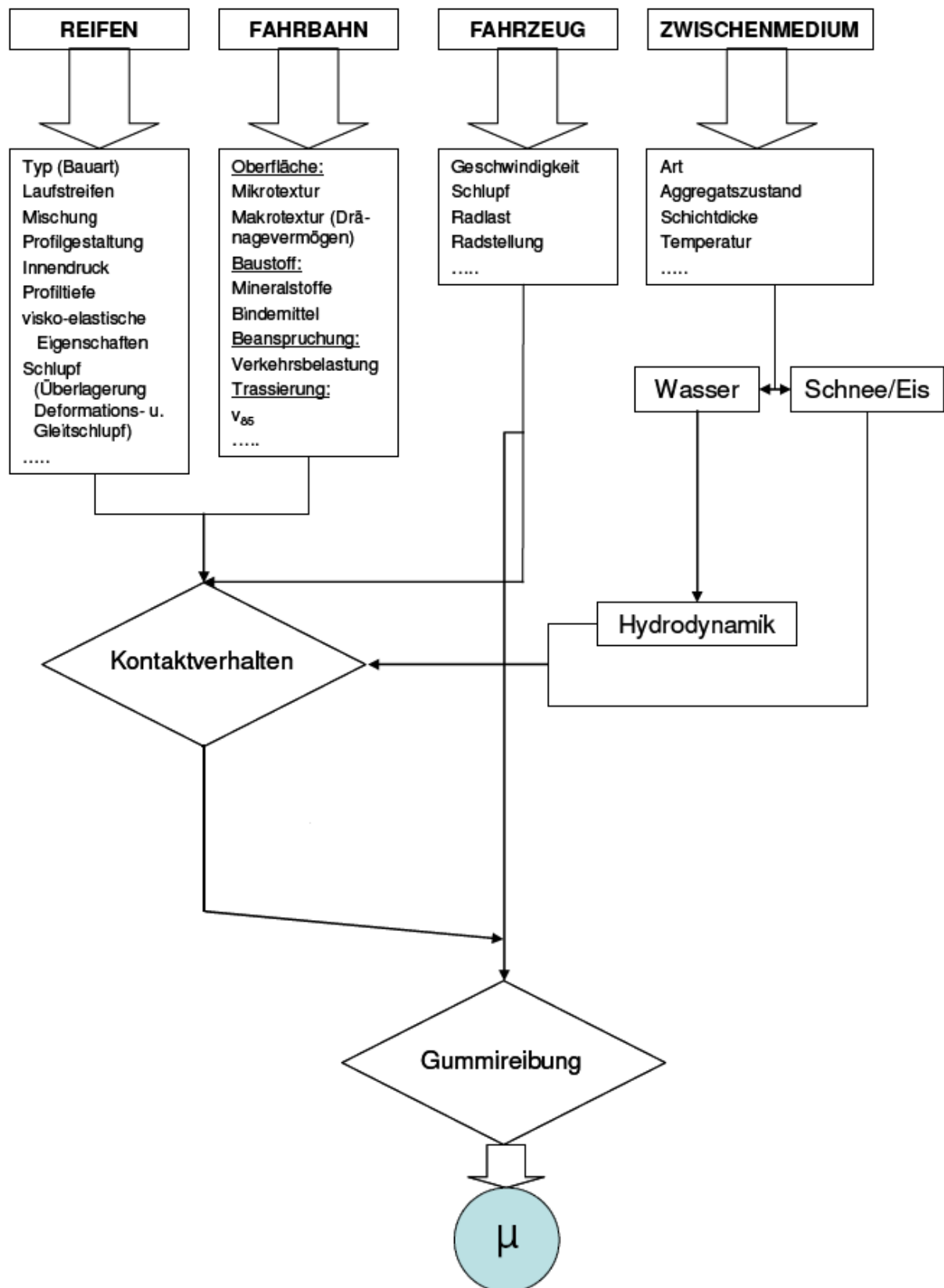


Abb. 3-4: Einflussparameter auf die Reibung zwischen Reifen und Straßenoberfläche (vereinfachte Darstellung nach Pfeiler, 2004)

3.3 Textur

Um ein gutes Kraftschlussvermögen in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn vor allem bei Nässe zu garantieren, ist nicht nur das Reifenprofil, sondern auch die Fahrbahnoberfläche verantwortlich. Im Zusammenhang mit dem Straßenbau wird für die geometrische Gestalt einer Deckschicht auch der Begriff der Textur (Rauheit) verwendet. Es sind zwei Parameter, die diesen Begriff ausdrücken, die Wellenlänge und die Profiltiefe einer Straßenoberfläche (siehe Abb. 3-5). Nach Pfeiler (2004) hängen diese zwei Parameter nicht nur von den Materialeigenschaften der Decke ab, sondern werden auch durch den Fertigungsverfahren beeinflusst. Zum Beispiel kann es bei einem Asphaltmischgut, das einen etwas höheren Bindemittelgehalt und dadurch auch einen geringeren Hohlraumgehalt aufweist, meistens bei Asphaltbetonen, während des Einbaus durch die Rüttelbohlen des Straßenfertiger zu Bindemittelanreicherungen an der Oberfläche kommen. Das kann andererseits eine entsprechende Textur verhindern und dadurch die Anfangsrauheit der Oberfläche schlecht beeinflussen.

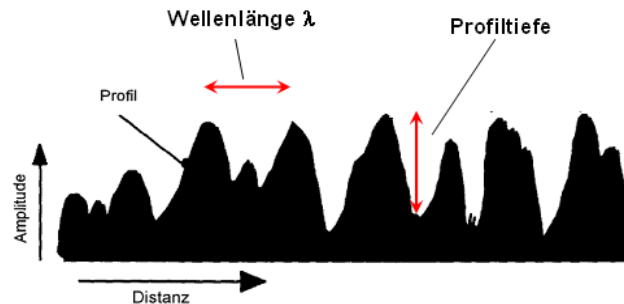


Abb. 3-5: Darstellung eines Oberflächenprofils (Pestalozzi et al, 2003)

Die Textur bestimmt zwei grundsätzliche Gebrauchseigenschaften der Straßenoberfläche - die Griffbarkeit und die Reifenrollgeräusche. Man unterscheidet je nach Länge der Welle zwischen Mega-, Makro- und Mikrotextur (siehe Abb. 3-6).

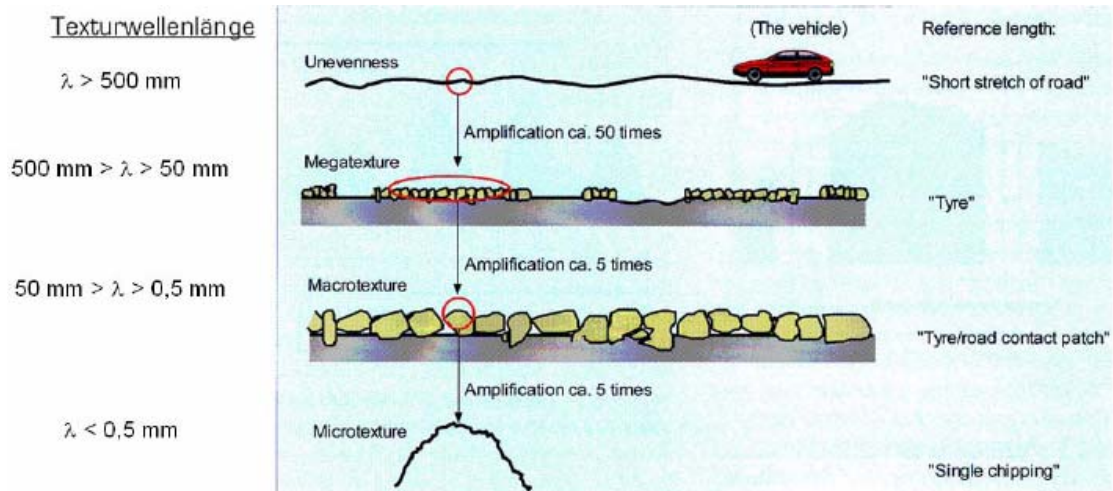


Abb. 3-6: Mega-, Makro- und Mikrotextur (Sandberg et al., 2002)

Das gesamte "Texturspektrum" ist bis zu einer oberen Grenzwellenlänge von 500 mm definiert, längere Wellen werden der Unebenheit zugeordnet. Innerhalb des Texturspektrums wird in die Bereiche der Mikrotextur, Makrotextur und Megatextur unterschieden (siehe Abb. 3-6), die jeweils durch die Grenzwellenlängen von 0,5 mm, 50 mm und 500 mm nach oben begrenzt werden.

- *Mikrotextur*

Die Mikrotextur ist durch Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 0,001 mm bis 0,5 mm definiert (siehe Abb. 3-6 und Abb. 3-7). Sie ist von der Kornoberfläche des verwendeten Gesteins abhängig und hat die Aufgabe, einen eventuell vorhandenen Wasserfilm in der Reifenaufstandsfläche zu durchbrechen und dadurch einen trockenen Kontakt zu den Profilstollen des Reifens herzustellen (Pfeiler, 2004). Bei frisch gebrochenem Gestein ist sie in ausreichendem Maß vorhanden, aber sie kann durch die polierende Wirkung der Fahrzeugsreifen vermindert werden. Eine dauerhaft gute Mikrotextur bieten nur die polierresistenten Gesteine (Müller et al., 2002).

- *Makrotextur*

Die Makrotextur ist durch Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 0,5 mm bis 50 mm definiert (siehe Abb. 3-7) und ist für das Drainagevermögen der Straßenoberfläche verantwortlich. Eine gute Makrotextur kennzeichnet eine grobporige Oberfläche. Die Aufgabe der Makrotextur ist, vor allem bei höheren Geschwindigkeiten das Reifenprofil beim Abführen des Wassers aus der Kontaktfläche Reifen/Straßenoberfläche zu unterstützen. Sie ist sehr wesentlich von der Korngrößenverteilung, dem Größtkorn bzw. der gewählten Deckenart abhängig (Pfeiler, 2004). Eine ausgeprägte Makrotextur ist für höhere Geschwindigkeiten zur Verringerung der Aquaplaninggefahr notwendig (Müller et al., 2002).

- *Megatextur*

Die Megatextur ist durch Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 50 mm bis 500 mm definiert (siehe Abb. 3-6 und Abb. 3-7). Sie hat vor allem in Bezug auf die Unebenheit eine große Bedeutung. So beeinflusst die Megatextur sehr stark das Reifenrollgeräusch und den Rollwiderstand infolge Wasseransammlung durch Längsunebenheiten (Pfeiler, 2004).

Die Textur > 500 mm kann als große Längsunebenheiten bezeichnet werden. Sie hat eine starke Auswirkung vor allem auf den Fahrkomfort und die dynamischen Radlasten (siehe Abb. 3-6 und Abb. 3-7).

Der Einfluss des Wellenspektrums auf die Gebrauchseigenschaften einer Straßenoberfläche ist in Abb. 3-7 dargestellt.

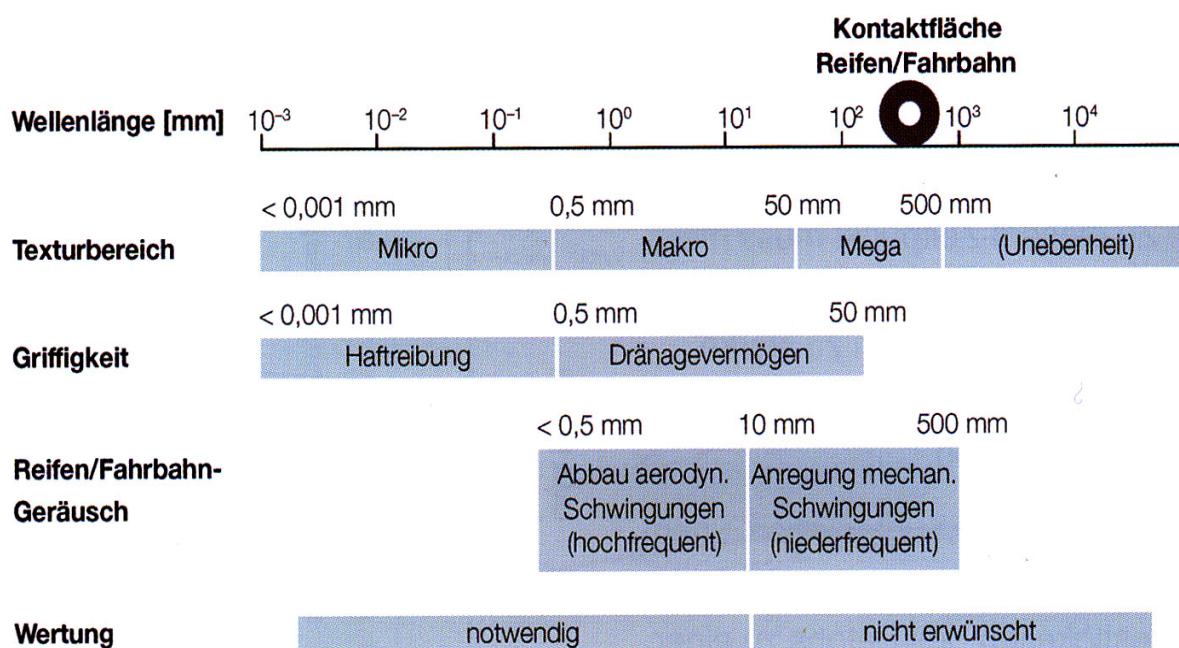


Abb. 3-7: Wellenspektrum der Fahrbahnoberfläche und ihre Auswirkung (FGSV, 2000)

Es könnte gemäß Abb. 3-7 zusammengefasst werden, dass im Bereich von 0,001 mm bis 0,5 mm sich vertikale Ausprägungen der Fahrbahnoberfläche günstig auf die Griffigkeit und Lärmemission auswirken, oberhalb 10 mm soll die vertikale Ausprägung möglichst klein sein.

Nach Schulze (1970b) und nach Pfeiler (2004) unterscheidet man grundsätzlich zwischen zwei wesentlichen Oberflächeneigenschaften, die die Griffigkeit maßgeblich beeinflussen, nämlich dem Dränagevermögen einerseits und dem Grad der Schärfe, der für die Griffigkeit verantwortlichen Gesteinskörner andererseits. Das Dränagevermögen in Abhängigkeit von der Makrotextur bezeichnet die Fähigkeit der Fahrbahn, Wasser aus dem Latsch abzuführen. Der Grad der Schärfe ist durch die Mikrotextur bestimmt. Die Mikrotextur der Einzelkörner ist als Ergänzung zur Makrotextur eine wichtige Voraussetzung für die ausreichende Griffigkeit einer Straßenoberfläche (Müller et al., 2002).

3.4 Einfluss der Textur (Makro und Mikro) ohne und bei einem vorhandenen Zwischenmedium

Bei dem Fall " trockener Fahrbahnzustand " zeigt sich nach Zipkes (1984), dass die Reibungsbeiwerte praktisch unabhängig von den Textureigenschaften und von der Geschwindigkeit sind (siehe Abb. 3-8). Wenn aber ein Zwischenmedium vorhanden ist, wie z.B. ein Wasserfilm in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Straßenoberfläche, kommt es jedoch immer zu einer Verringerung der Griffigkeit (Litzka et al., 1988).

Im Bereich der geringen Geschwindigkeiten ist der Reibungsbeiwert vom Grad der Schärfe beeinflusst, wobei die schärferen Oberflächen einen höheren Reibungswert liefern.

Mit zunehmender Geschwindigkeit hängt der Reibungsbeiwert bei Nässe stärker vom Drainagevermögen ab. Eine große Makrotextur hilft das Wasser abzuführen, sodass die Mikrorauheit wirken kann. Eine gute Makrotextur ist nutzlos, wenn die entsprechende Mikrotextur nicht vorhanden ist (Pfeiler, 2004).

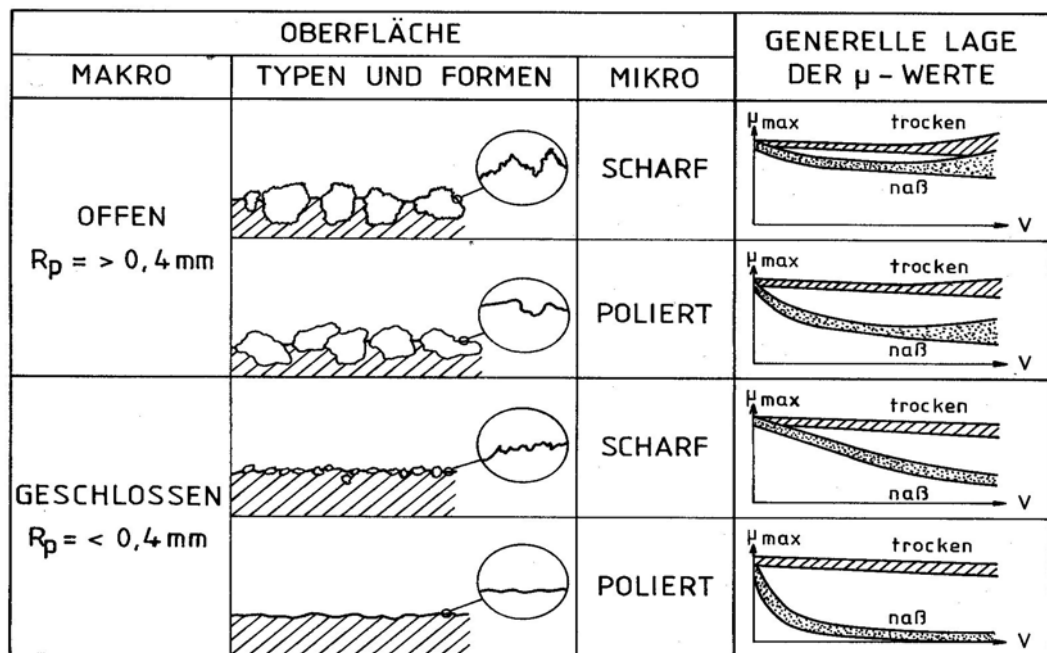


Abb. 3-8: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes von der Struktur der Oberfläche (Zipkes, 1984)

3.5 Polierwiderstand

Der Polierwiderstand, auch Polierresistenz genannt, ist eine Eigenschaft der Gesteinsoberfläche, die die Veränderung der Mikrotextur durch die polierende Wirkung des Reifens unter definierten Bedingungen beschreibt. Einen wesentlichen Einfluss auf diese Eigenschaft hat nicht nur der Mineralbestand und der innere Gefügebau des Gesteins, sondern auch jene Korngröße, die einen Mineralstoff besetzt, dessen Polierwiderstand mittels Polierprüfung nachweisbar ist. Schon vor ca. zehn Jahren hat Dames (1997) festgestellt, dass je kleiner wegen Abnutzung das einzelne Korn wird, desto größer wird der Anteil der Kantenschärfe. Das alles ändert auch die Reibungsverhältnisse in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Straßenoberfläche und könnte zu einer großen Kräfteübertragung führen.

Während also bei grobkörnigen Oberflächen die Rauheit der Bruchflächen der einzelnen Körner die Reibungsverhältnisse maßgebend beeinflusst, ist bei feinkörnigen Oberflächen die Kantenschärfe des Einzelkorns bestimmend (Schulze, 1970a).

Man unterscheidet zwei wesentliche Einflüsse des Gesteins, die die Fahrbahngriffigkeit steuern.

Einerseits hat die Splittkomponente bei bituminösen Deckschichten eine positive Auswirkung auf die Griffigkeit. Bei neuen Asphaltbetonoberflächen, wird sie allerdings wegen der mörtelangereicherten Oberfläche (Bindemittel - Sandgemisch) nicht sofort wirksam. Erst durch die Verkehrsbeanspruchung und teilweise wegen der Witterungsbedingungen wird das Bindemittel - Sandgemisch verschlissen, wodurch das zum Vorschein kommende Splittkorn die ausreichende Griffigkeit sichert d.h. erst einige Monate nach der Verkehrsübergabe erreicht man eine bindemittelfreie frische Gesteinsoberfläche, die die Griffigkeit positiv beeinflusst.

Nach Breuer (1991) und nach Pfeiler (2004) werden die Mikrotextur und der Polierwiderstand des einzelnen Kornes durch den mineralogischen Gesteinsaufbau beeinflusst. Beide Parameter haben großen Einfluss auf die durch den Splitt hervorgerufene Griffigkeit. Hervorzuheben sind Splitte, deren Minerale sich innerhalb des Gesteins in Härte und Spaltbarkeit unterscheiden. Sie sind in der Lage, ihre Mikrotextur durch Herausbilden eines sekundären Reliefs unter den Einwirkungen von Verkehr und Witterung selbständig zu regenerieren. Dies bedeutet, dass all jene Gesteine rau und griffig bleiben, die sich unter dem Verkehr auch abnutzen, mit anderen Worten Mineralien enthalten, die infolge guter oder relativ leichter Spaltbarkeit in kleinere Körner zerbrechen, abspalten und sich herauslösen, sodass stets neue Kristalle oder Mineralien zum Vorschein gebracht werden.

Andererseits hat der Einfluss des Brechsandes für die Anfangsgriffigkeit eine entscheidende Bedeutung. Die ausreichende Mikrotextur einer Straßenoberfläche erhält man durch die Art und die Menge des im Asphaltmischgut enthaltenen Brechsandes. Nach der Erfahrung von Dames (1986) führt ein hoher Brechsandanteil bis 80 % im Asphaltmischgut zu einer höheren Anfangs- und Dauergriffigkeit als ein hoher Natursandanteil. Das ist nur der Fall, wenn die verwendete Sandart eine hohe Polierresistenz aufweist.

Im Jahre 1988 hat Dames einen Zusammenhang zwischen Griffigkeit von Asphaltbetondeckschichten und dem Polierwiderstand von Sand bzw. den mit der Wehner/Schulze - Maschine der TU Berlin gemessenen Gleitbeiwerten nach Poliersimulation festgestellt.

4. METHODEN ZUR BESTIMMUNG DES POLIERWIDERSTANDES

Die Straßenbautechnik kennt bis heute zwei Methoden, die zur Bestimmung des Polierwiderstandes unter Laborbedingungen geeignet sind. Einerseits ist das der Polierversuch nach Britisch Standard (BS). Diese Methode kann eine ausreichende Beurteilung der Mikrotextur für die Splittkomponente ≥ 4 mm geben. Andererseits ist das das Verfahren nach Wehner/Schulze, das eine gute Ergebnis - Spreizung nicht nur bei den feineren Gesteinsfraktionen ≤ 4 mm, sondern auch bei den gröberen für die Beurteilung der Mikrotextur geben kann.

4.1 Polierversuch mit dem Poliersimulator und Polierwiderstandsmessung mit dem Pendelgerät (PSV)

4.1.1 Allgemeines

Der Polierwert (PSV - polished stone value) ist eine Größe für die Widerstandsfähigkeit eines Mineralstoffs gegen die polierende Wirkung von Autoreifen unter ähnlichen Bedingungen, wie sie auf der Straßenoberfläche herrschen. Im Labor werden angefertigte Probekörper durch die Zugabe eines Poliermittels während des Poliervorganges einer Polierbeanspruchung unterzogen und danach wird mit dem Pendelgerät deren PSV-Wert bestimmt. Da bei diesem Verfahren allerdings die Mikrotextur der Splittkomponente geprüft wird, kann man gleichzeitig über einen etwaigen Einfluss der feineren Fraktionen ≤ 4 mm des selben Gesteins keine Beurteilung geben, obwohl auch deren Polierresistenz einen nachweislichen Einfluss auf die Griffigkeit von Straßenoberflächen hat. Der Versuch ist in Österreich in ÖNORM EN 1097-8 genormt.

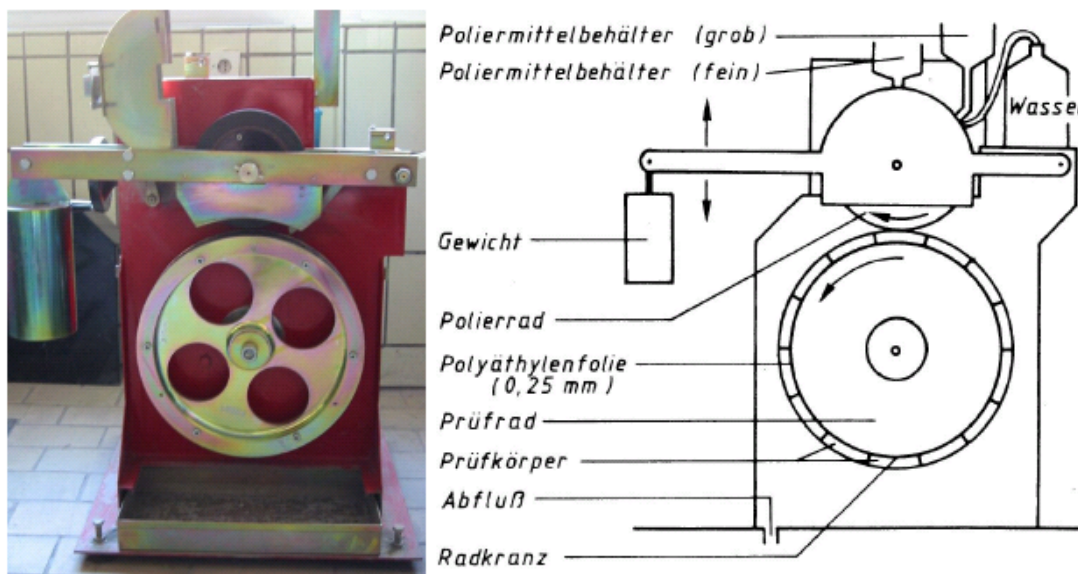


Abb. 4-1: Poliersimulator (Photo: Pfeiler 2004) und Prinzipskizze (FSV, 1986)

4.1.2 Poliersimulation mit dem Polierrad

In diesem standardisierten Verfahren werden die aus der Kornfraktion 8/10 mm hergestellten Prüfkörper auf einem Prüfrad ($\varnothing \cong 400$ mm) befestigt und einem genormten Poliervorgang unterworfen. Die möglichst unregelmäßig in Kunstharz gebetteten Körner sind nach dem Erhärten der Bettung aus den gekrümmten Schalungskörpern (90,6 x 44,5 x 12,5 mm) auszuformen und auf dem Prüfrad zu befestigen (Pfeiler, 2004).

Bei jedem Prüfdurchgang werden insgesamt 14 Probekörper poliert. Es können insgesamt 6 verschiedene Gesteinsproben und zusätzlich das PSV Kontrollgestein auf einmal poliert werden. Jede Gesteinsprobe besteht aus 2 diametral gegenüber befestigten Probekörpern (siehe Abb. 4-1 und Abb. 4-2). Jede Poliersimulation besteht aus zwei Poliervorgängen. Bei der ersten werden die Proben mit grobem Schmirgel (künstlicher Korund mit Größtkorn $\leq 0,3$ mm) und bei der zweiten mit feinem Schmirgel (künstlicher Korund mit Größtkorn $\leq 0,053$ mm) behandelt. Jeder Poliervorgang dauert 180 Minuten. Als Polierrad für die Poliersimulation wird ein Vollgummireifen mit einem Durchmesser von 200 mm und einer Breite $b = 38$ mm verwendet. Während dem Poliervorgang wird das Polierrad mit einer Anpresskraft von ca. 725 N gegen das Prüfrad gepresst, das eine Drehgeschwindigkeit von ca. 320 U/min hat.

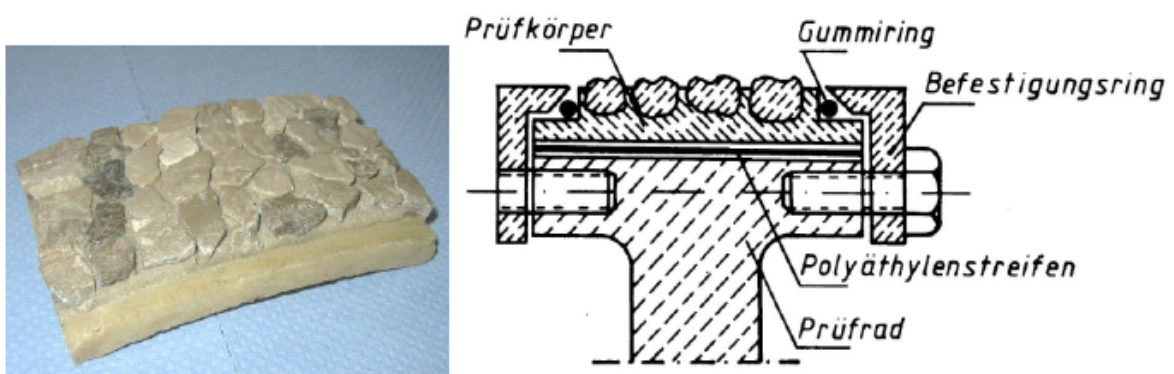


Abb. 4-2: Prüfkörper und schematische Darstellung der Befestigung auf dem Prüfrad (Photo: Pfeiler, 2004) bzw. (FSV, 1986)

4.1.3 Polierwiderstandsmessung mit dem Pendelgerät

Im Labor verwendet man das Pendelgerät (siehe Abb. 4-3) zur Bestimmung des PSV-Wertes an der Kornklasse 8/10 mm. Nach dem Poliervorgang werden die Prüfkörper in die dafür vorgesehene Halterung eingelegt und muss man darauf achten, dass die Gleitrichtung mit der Polierrichtung übereinstimmt. Vor dem Messbeginn muss zuerst die lotrechte Lage des Gerätes eingestellt werden und dann die Nullstellung des Pendels durch eine freie Schwingung überprüft werden. Der senkrecht zu dem Basisgestell stehende Pendelarm muss auf eine Gleitlänge von 76 mm kalibriert werden. Beim Messvorgang gleitet die Kante eines Gummikörpers über die zu prüfende angenässte Oberfläche. Das Pendel erreicht nach dem Gleitvorgang eine Steighöhe. Je kleiner der Energieverlust beim Gleiten ist, desto höher steigt der Zeiger. Der Ver-

lust an kinetischer Energie beim Gleiten entspricht der Reibungsarbeit und das ist ein Maß für die Mikrotextur der zu prüfenden Oberfläche.

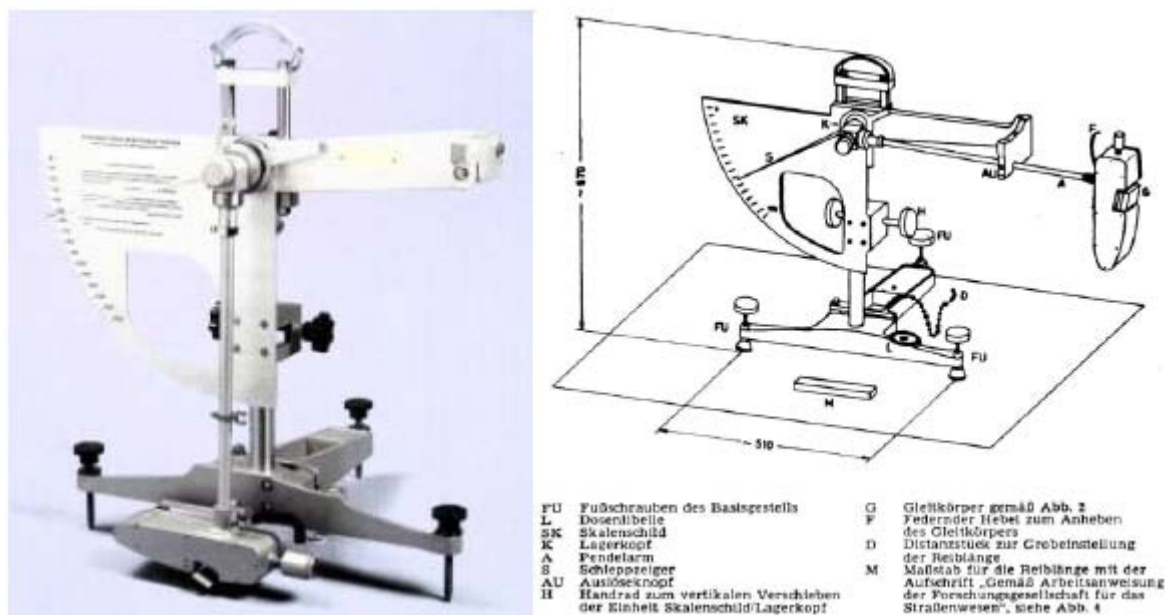


Abb. 4-3: Pendelgerät nach BS 812:1975 und Prinzipskizze (FSV, 1986)

4.2 Polierwert nach Wehner/Schulze Verfahren (PWS)

Der Polierwert nach Wehner/Schulze - PWS, ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit von Gesteinskörnungen bzw. Asphaltmischungen gegen die polierende Wirkung von Fahrzeugreifen auf einer Straßenoberfläche.

In Österreich ist das Verfahren nach Wehner/Schulze zur Bestimmung des Polierwertes von Sanden in der RVS 11.06.23 (FSV, 2005) geregelt.

4.2.1 Allgemeines

Mit dem von Wehner/Schulze entwickelten Verfahren wird der Polierwert PWS von Gesteinskörnungen durch eine zeitraffende Simulation der Verkehrseinwirkungen auf der Straßenoberfläche und eine anschließende Griffigkeitsmessung bestimmt. Mit diesem Verfahren sind auch Prüfungen zur Prognose der Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnoberflächen möglich, sowohl an im Labor hergestellten Asphaltmischungen als auch an aus Straßen gezogenen Bohrkernen. Das Ziel der Prüfung ist die Polierresistenz von Mineralstoffen zu beurteilen. Im Gegensatz zum Polierverfahren nach British Standard (PSV-Wert), wo nur für die Prüfkörnung 8/10 mm eine Bewertung vorliegt, ermöglicht die Polierprüfung nach Wehner/Schulze eine solche für Splitt 2/5 mm, 5/8 mm und 8/11 mm sowie auch für Sand bis 0/2 mm. Mit dem Prüf-

verfahren nach Wehner/Schulze lässt sich zudem eine erheblich größere Spreizung und bessere Wiederholbarkeit erreichen (Huschek, 2002).

Die Erfahrung der TU Berlin mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze und die dabei ermittelte Vielfalt von Messergebnissen ermöglichte die Ableitung eines Bewertungshintergrundes (siehe Abb. 4-4 und Abb. 4-5) getrennt für die Körnungen 8/11 mm, 2/5 mm und 0,2/0,4 mm. Die Bewertung erfolgt nach den drei Klassen "hoch", "mittel", "niedrig", deren Bereiche durch unterschiedliche Grautöne hervorgehoben sind (Huschek, 2002).



Abb. 4-4: Oberflächen zur Prüfung auf Polierresistenz nach Wehner/Schulze (Huschek, 2002)

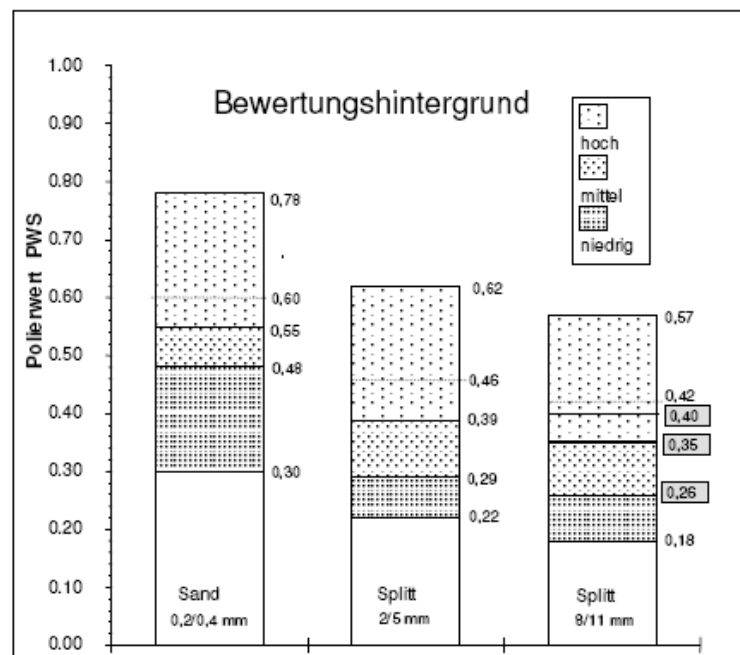


Abb. 4-5: Bewertungshintergrund für die Polierresistenz - PWS nach Wehner/Schulze (Huschek, 2002)

4.2.2 Beschreibung des Verfahrens

Das Verfahren dient zur Ermittlung des Polierwertes PWS nicht nur bei grobkörnigen und feinkörnigen Gesteinsfraktionen, sondern auch bei Asphalt- und Betonprobekörpern, die entweder unter Laborbedingungen hergestellt, oder direkt aus der Straßenkonstruktion ausgebohrt werden. Die Maschine besteht aus einem Poliergerät und einem Prüfgerät. Die Bestimmung des Polierwertes erfolgt in zwei Schritten:

- **Verkehrssimulation**
- **Griffigkeitsmessung**

Verkehrssimulation

Mit dem Poliergerät wird eine Verkehrseinwirkung auf die zu prüfenden Oberfläche des Prüfkörpers im Labor simuliert. Dabei wird die polierende Wirkung durch drei unter Schlupf mit konstanter Geschwindigkeit laufende konische Gummirollen nachgeahmt, die mit einem Querprofil versehen sind (siehe Abb. 4-6). Die Polierwirkung wird durch ein Quarzmehl/Wasser - Gemisch verstärkt, das während des Versuchs kontinuierlich auf die Prüfoberfläche gefördert wird.



Abb. 4-6: Simulation der Verkehrsbeanspruchung (Huschek, 2002)

Kennzahlen des Poliervorganges:

- Mittlerer Kontaktdruck: ca. 0,40 N/mm²
- Schlupf: < 1 %
- Bahngeschwindigkeit: ca. 17 km/h
- Drehzahl des Rollenkopfes: 500 U/min (90.000 Überrollungen/Stunde)
- Durchflussmenge des Wasser/Quarzmehl - Gemisches: 5,0 l/min ± 10 %
- Temperatur: 20 °C

Griffigkeitsmessung

Das Laborgriffigkeitsmessgerät (LGM) simuliert unter Laborbedingungen das Prinzip des blockierten Schlepprades (Stuttgarter Reibungsmesser). Es ist in Abstimmung mit dem Poliergerät für Messungen auf ebenen, kreisförmigen Prüfoberflächen, mit einem Durchmesser von 225 mm, eingerichtet (siehe Abb. 4-7). Drei mit einer Umfangsgeschwindigkeit von etwa 100 km/h rotierende Messgummis werden auf der bewässerten Oberfläche des Probekörpers bis zum Stillstand abgebremst. Der Polierwert PWS wird dann bei einer bestimmten Geschwindigkeit (60 km/h) von dem an die Prüfmaschine angeschlossene PC als Verhältnis zwischen Reibungskraft und Aufstandskraft des Messgummis erfasst.

Da allerdings die Polierwerte nach Wehner/Schulze bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h sehr gut mit den Gleitreibungsbeiwerten des Stuttgarter Reibungsmessers mit blockiertem Messrad korrelieren, wurde bei den Berliner Untersuchungen die Geschwindigkeit von 60 km/h als Standardmessgeschwindigkeit festgelegt (Huschek, 2002; Litzka et. al., 2003).



Abb. 4-7: Prinzip der Griffigkeitsmessung nach Wehner/Schulze mit der LGM (Huschek, 2002)

Kennzahlen der Griffigkeitsmessung:

- Mittlerer Kontaktdruck: 0,2 N/mm²
- Prüffläche: 82,0 cm²
- Prüfbahnlänge: 565 mm je Messkopfumdrehung
- Durchflussmenge: 20 l/min
- Temperatur: 10 °C

4.2.3 Auswertung

Bei jeder Griffigkeitsmessung mit dem LGM, nicht aber bei den Kalibriermessungen, wird der Zusammenhang zwischen der abnehmenden Drehgeschwindigkeit und dem zugehörigen Gleitbeiwert mittels einer Kurve mit eigener Farbe abhängig von der Beanspruchungsstufe in das Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm automatisch eingetragen (siehe Abb. 4-8). Außerdem ist die Messkurve im Bereich zwischen den ersten und letzten 5 km/h durch ein Polynom 6. Ordnung angenähert, bei dem in einem Spektrum von 10 km/h bis 90 km/h der Gleitreibungsbeiwert errechnet werden kann.

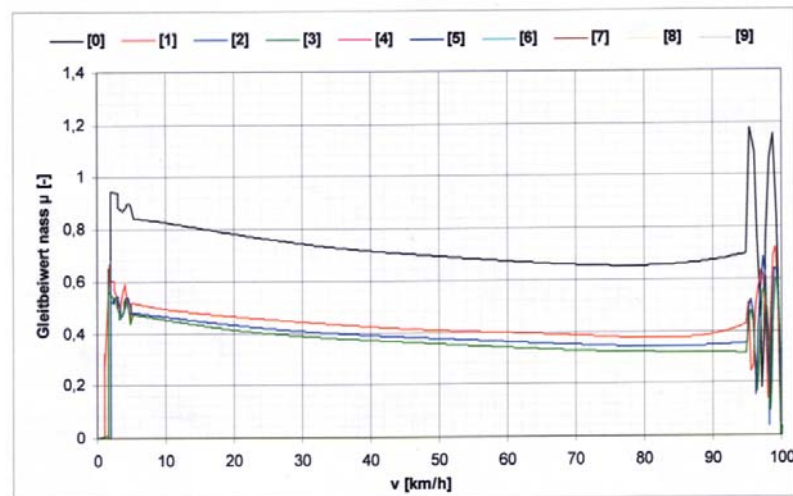


Abb. 4-8: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm

Bei jeder Griffigkeitsmessung wird auch in einer Tabelle automatisch eine Zeile mit den gemessenen Daten ausgerechnet und eingetragen (siehe Abb. 4-9).

Messung	Datum	Überrollung	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen:
KAL 1.	08.08.2006 14:10	0	100,0	46,45	0,147	
KAL 2.	08.08.2006 14:13	0	100,0	45,72	0,149	
KAL 3.	08.08.2006 14:14	0	100,0	46,17	0,147	
[0] 1.	08.08.2006 14:19	0	100,0	10,19	0,674	
[1] 1.	08.08.2006 14:54	30621	100,0	16,87	0,396	
[2] 1.	08.08.2006 15:40	61245	100,0	18,21	0,362	
[3] 1.	08.08.2006 16:22	91866	100,0	19,12	0,341	

Abb. 4-9: Auswertungstabelle

4.2.4 Geräte

Poliergerät - (siehe Abb. 4-10)

- Einspannvorrichtung für einen Probekörper
- Polierkopf mit drei Polierrollen
- Auflastgewicht: $(392 \pm 8) \text{ N}$ (40 kg)
- Mischbehälter mit Rührwerk für das Wasser/Quarzmehl - Gemisch
- Pumpe zur Aufbringung des Wasser/Quarzmehl - Gemisches auf die Prüfoberfläche, Pumpenleistung: $5,0 \text{ l/min} \pm 10 \%$
- Polierrollen:
 - Durchmesser 36 mm bzw. 80 mm
 - Höhe: 56,3 mm
 - Mantellinie $s = 60 \text{ mm}$
 - Shorehärte: (65 ± 3)

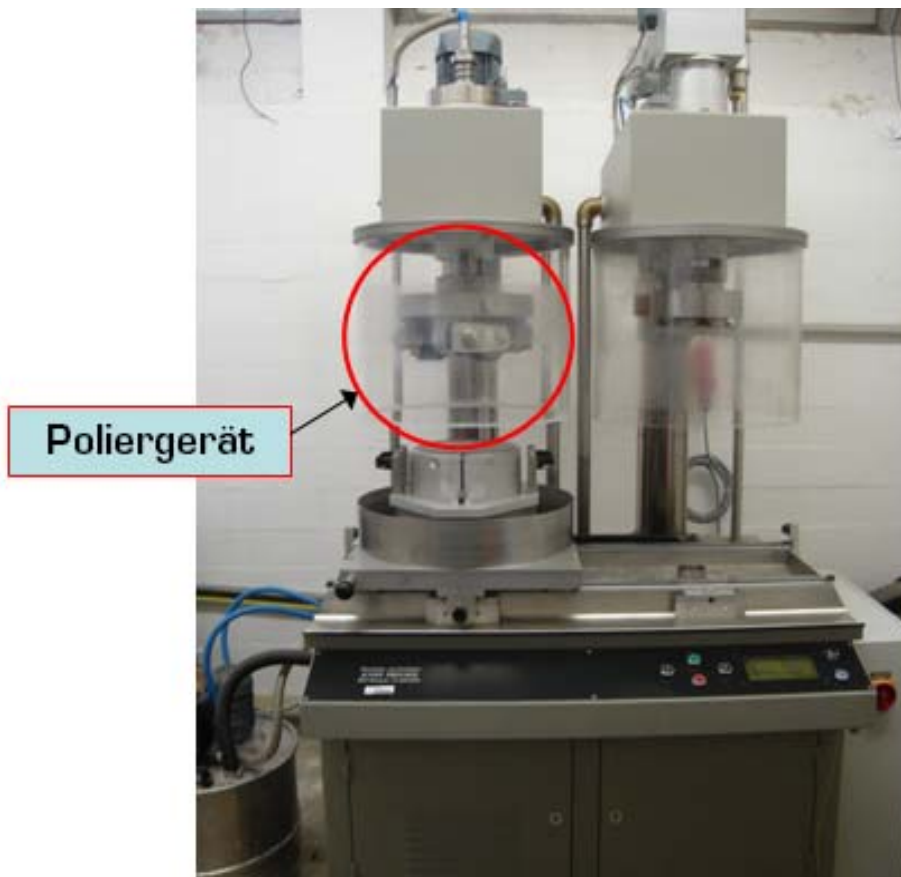


Abb. 4-10: Wehner/Schulze Maschine - Teil Poliergerät

Laborgriffigkeitsmessgerät (LGM) - (siehe Abb. 4-11)

- Einspannvorrichtung zur planparallelen Ausrichtung der Prüfoberfläche
- Messkopf mit drei Messgummis
- Antrieb für den Messkopf
- Wasseranschluss mit regelbarer Wassermenge
- Kraftmessdose
- Messwerterfassung und Datenverarbeitung
- Drehmomentmesssystem
- Messwerterfassung und Datenverarbeitung
- Gleitschuhe:
 - Breite: 14,5 mm
 - Dicke: 10 mm
 - Mittlere Länge: 30 mm
 - Shorehärte: (65 ± 3)



Abb. 4-11: Wehner/Schulze Maschine - Teil LGM

5. UNTERSUCHUNGEN ZUR GRIFFIGKEIT VON ASPHALTBETON (AC11)

5.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, ist die Fahrbahngriffigkeit bei den Deckschichten u.a. von dem Polierwiderstand des verwendeten Gesteinsmaterials abhängig. Die an der TU Berlin durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die feineren Fraktionen ≤ 4 mm, die Fahrbahngriffigkeit nachhaltig beeinflussen können. Nach der Beurteilung der Polierresistenz des Gesteinsmaterials wurde festgestellt, dass auch die Berücksichtigung des polierresistenten Sandes für die Griffigkeit der Straßenoberfläche sinnvoll ist.

Im Rahmen der gegenständlichen Forschungsarbeit wird der Einfluss der Polierresistenz von vier in Österreich gewinnbaren Sanden (≤ 2 mm) auf die Griffigkeit von Asphaltbeton (AC11) untersucht. Dafür wird in einem ersten Schritt deren Polierresistenz mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze ermittelt. In einem zweiten Schritt wird auf Basis der erhaltenen Ergebnisse der Polierresistenzbestimmung untersucht, ob sich durch die Verwendung von polierresistenten bzw. wenig polierresistenten Sanden im Zusammenhang mit einem wenig polierwiderstandsfähigen Splitt im Asphaltmischgut ein unterschiedliches Griffigkeitsniveau des Asphaltbetons AC11 einstellt.

Ziel des gegenständlichen Versuchsprogramms ist es, die im Rahmen dieser Arbeit gewonnene Ergebnisse nicht nur in Hinblick auf den Einfluss der feinen Fraktionen auf die Griffigkeit von Asphaltbetonen zu beurteilen, sondern auch den Einfluss des Sandstrahlens auf die Griffigkeitsentwicklung von im Labor hergestellten Asphaltprobenkörpern zu beschreiben.

Nach der Analyse aller Versuchsergebnisse erfolgt eine umfassende Beurteilung unter Berücksichtigung des Aspekts Polierwiderstand der verwendeten Gesteinsarten. Die bei dieser Arbeit gewonnenen Erfahrungen sollen somit zu einer weiteren Entwicklung des Wehner/Schulze Verfahrens im Zusammenhang mit dem Einfluss des Sandstrahlens bei der Untersuchung der Griffigkeit von Asphaltdeckschichten beitragen.

5.2 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm ist in drei Phasen geteilt und in Abb. 5-1 und Abb. 5-2 graphisch dargestellt.

In Phase 1 wird aus der Korngruppe 0/2 mm die Fraktion 0,2/0,4 mm der vier ausgewählten Sande (Dolomitischer Kalkstein „HK“, Diabas „DI“, Serpentin „SR“ und LD-Schlacke „LDS“) zuerst nass und dann noch einmal trocken ausgesiebt (siehe Seite 27).

In Phase 2 wird die ausgesiebte Prüfkörnung 0,2/0,4 mm auf eine Sperrholzplatte mit einem Durchmesser von 22,5 cm aufgeklebt. Es werden drei Probeplatten jeder Gesteinsart vorbereitet also insgesamt zwölf Proben. Jede Probe wird mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze einer Polierbeanspruchung von 90.000 Überrollungen (ÜR) unterzogen. Diese erfolgt unter konstanter Zufuhr eines Quarzmehl/Wassergemischs. Nach der Polierbeanspruchung wird der Polierwert (PWS) bestimmt.

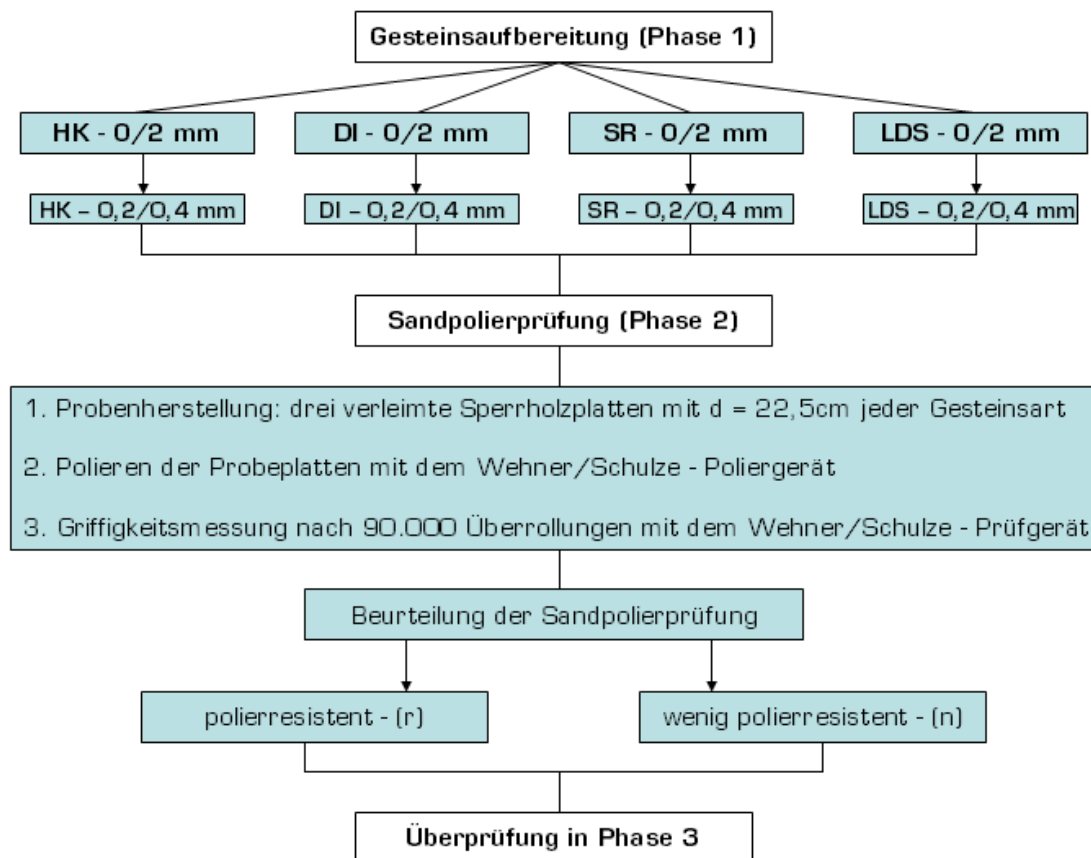


Abb. 5-1: Schematischer Versuchsablauf der Phase 1 und 2

In Phase 3 wird auf Grund der Ergebnisse der in Phase 2 durchgeführten Sandpolierprüfung untersucht, ob sich durch die Verwendung von polierresistenten bzw. wenig polierresistenten Sanden, unter Beibehaltung des selben Gesteins für die Splittkomponenten, eine bessere Griffigkeit des Asphaltbetons AC11 erzielen lässt. Es werden un-

ter Laborbedingungen mittels Zwangsmischer und Walzsegmentverdichter insgesamt vier Asphaltplatten mit einer Dicke von 5 cm entsprechend den folgenden Zusammensetzungen hergestellt.

- Dolomitischer Kalkstein 8/11, 4/8, 2/4, 0/2
- Dolomitischer Kalkstein 8/11, 4/8, 2/4, sowie Diabas 0/2
- Dolomitischer Kalkstein 8/11, 4/8, 2/4, sowie Serpentin 0/2
- Dolomitischer Kalkstein 8/11, 4/8, 2/4, sowie LD-Schlacke 0/2

Es werden in weiterer Folge aus den vier Asphaltplatten je Platte zwei kreisrunde Asphaltprüfkerne mit einem Durchmesser $d = 22,5$ cm ausgebohrt und in zwei Probe-reihen unterteilt. Jede Reihe besteht aus jeweils einem Probekörper der vier herge-stellten Mischgutarten (AC11). Das Polierverhalten beider Probe-reihen wird nach 30.000, 60.000 und 90.000 ÜR mit der Wehner/Schulze Maschine untersucht. Danach wird jede Probe-reihe mit einer eigenen Programmeinstellung der Sandstrahl-kabine sandgestrahlt und jeweils vor und nach noch 90.000 ÜR also nach insgesamt 180.000 ÜR deren PWS geprüft.

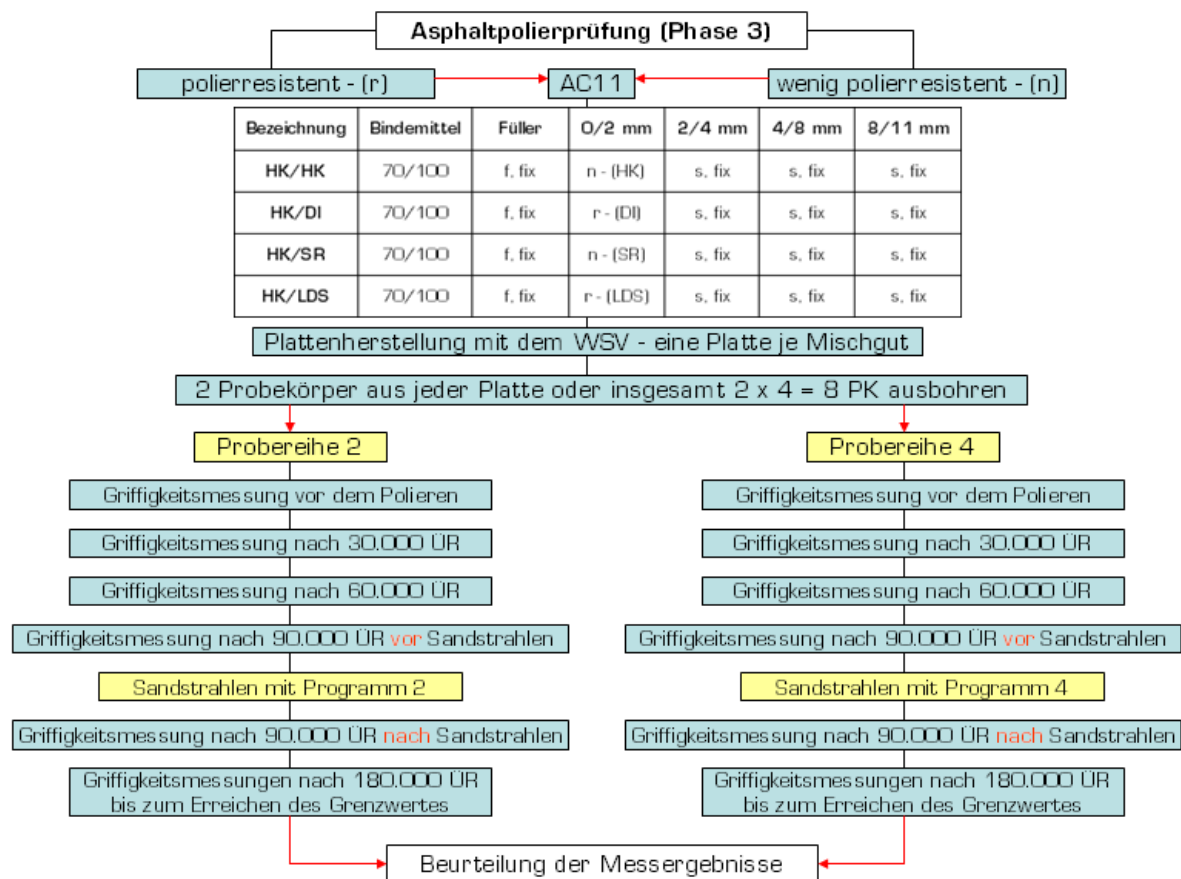


Abb. 5-2: Schematischer Versuchsablauf der Phase 3

Eine Auflistung der ermittelten Ergebnisse jedes AC11 Mischguts und deren Interpretation erfolgt in Kapitel 5.5.5.

5.3 Gesteinsaufbereitung (Phase 1)

5.3.1 Gesteinsauswahl

Für die Herstellung der Mischgüter für die Griffigkeitsuntersuchungen des Asphaltbetons AC11 werden vier in Österreich gewinnbare Gesteinsarten, die im Straßenbau Verwendung finden, ausgewählt. Zur Anwendung kommen dabei Kalkstein und Serpentin aufgrund ihrer niedrigen Polierresistenz, sowie LD-Schlacke und Diabas aufgrund ihrer hohen Polierresistenz. Die zuletzt genannten Gesteine werden aufgrund ihrer hohen PSV-Werte in Asphaltdeckschichten auch regelmäßig verwendet.

Da bei jedem Gestein die Menge des Eigenfüllers verschieden groß ist und um auch im Füller-Bereich $\leq 0,063$ mm für alle Asphaltmischungen gleiche Bedingungen zu schaffen, wird der eventuell fehlende Eigenfüller durch einen Fremdfüller (Kalksteinhohl) ergänzt.

Alle Gesteinsarten für das Versuchsprogramm sind der Tab. 5.1 zu entnehmen. Die Sieblinien der Korngruppe 0/2 mm der verwendeten Gesteine sind im Anhang A angeführt.

Tab. 5.1: Liste der ins Versuchsprogramm aufgenommenen Gesteine

Nr.	Material	Bezeichnung
1	Dolomitischer Kalkstein	HK
2	Diabas	DI
3	Serpentin	SR
4	LD-Schlacke	LDS

5.3.2 Aussieben der Fraktion 0,2/0,4 mm der ausgewählten Sande

Aus der Korngruppe 0/2 mm wird die Fraktion 0,2/0,4 mm der vier Sande (HK, DI, SR, LDS) zuerst mittels Nasssiebung und nach Trocknung bis zur Massenkonzanz noch einmal mittels Trockensiebung aufbereitet.

Vorgangsweise:

Jede Gesteinsart, die für das Versuchsprogramm vorgesehen ist, hat eine eigene Nummer und wird aus dem Gesteinslager des Labors entnommen. Um die Kornklasse 0,2/0,4 mm aus der Korngruppe 0/2 mm zu trennen, muss in einem ersten Schritt jedes Gesteines in einem dafür vorbereiteten Siebturm bei einem konstanten Wasserzugabe 12 min auf Volleistung gesiebt werden. Wenn eine ausreichende Menge, ca. 600 g, der Fraktion 0,2/0,4 mm ausgesiebt ist, lässt man sie im Trockenschrank bei einer Temperatur von $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ für ca. 16 Stunden bis zur Massenkonzanz trocknen. Danach wird in einem zweiten Schritt die schon fertige Menge der Sandfraktion 0,2/0,4 mm noch einmal mittels Trockensiebung fertig ausgesiebt. Jeder Trockensiebvorgang dauert ca. 10 min auf Volleistung.

Die ausgesiebte Fraktion 0,2/0,4 mm aller Gesteine ist in Abb. 5-3 dargestellt.

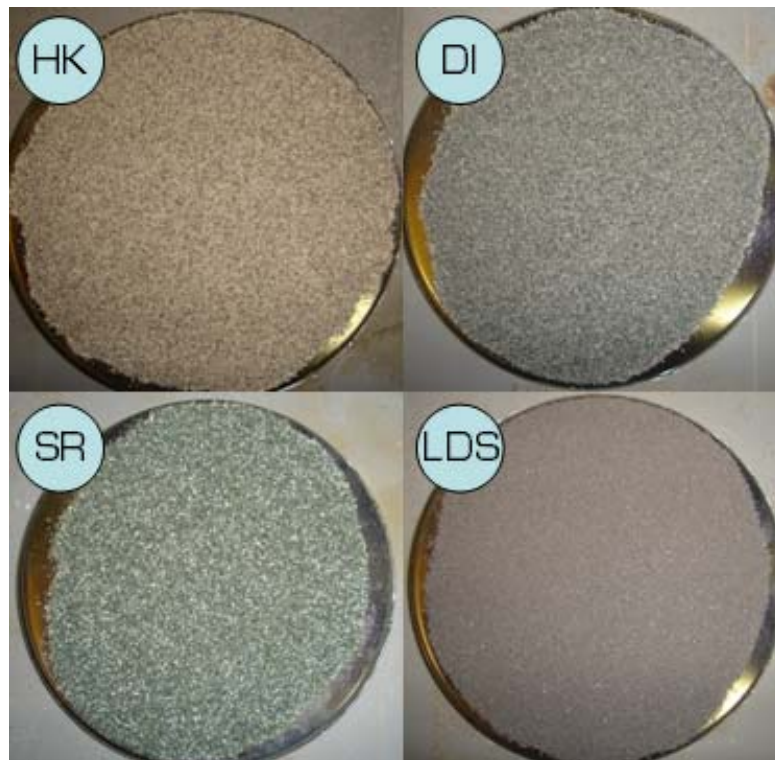


Abb. 5-3: Kornklasse 0,2/0,4 mm der verwendeten Gesteine

5.4 Sandpolierprüfung (Phase 2)

Um den Polierwiderstand von Sanden zu prüfen und zu bewerten, hat sich in Europa auf wissenschaftlich - technischer Ebene das Prüfverfahren nach Wehner/Schulze durchgesetzt. Mit diesem Prüfverfahren erfolgt die Bestimmung des Polierwertes (PWS).

Zur Bewertung des Polierwiderstandes der Korngruppe 0/2 mm wurden vier Sande der Fraktion 0,2/0,4 mm untersucht. Wie auch bei Kirchmaier (2007) wurden pro Gesteinsart jeweils drei Sandprobekörper hergestellt. Diese wurden in weiterer Folge, in Anlehnung an die für die Sandpolierprüfung in Österreich gültige Richtlinie RVS 11.06.23, mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze einer Polierwertbestimmung unterzogen.

Wie bei Kirchmaier (2007) wird in dieser Arbeit die Bezeichnung für die Beschreibung des Polierwertes von Sanden abweichend von der RVS 11.06.23:2005 verwendet. Da die in dieser Richtlinie definierte Bezeichnung des Polierwertes - PWS-F - ausschließlich für die Korngruppe 0,2/0,4 mm Gültigkeit besitzt, wurde für diese Diplomarbeit die einheitliche Bezeichnung PWS_{60} für den Polierwert aller Korngrößen gewählt. Der Index 60 soll außerdem für spätere Untersuchungen, bei denen die Ermittlung des PWS bei anderen Geschwindigkeiten erfolgt, die Möglichkeit bieten, die PWS Werte eindeutig voneinander unterscheiden zu können.

Die Polierwertbestimmung erfolgt mit dem Laborgriffigkeitsmesser nach 90.000 UR mit dem Wehner/Schulze Poliergerät unter konstanter Zugabe eines Quarzmehlwassergemisches von 5 l/s.

5.4.1 Probenvorbereitung

Für die ganze Untersuchung werden insgesamt zwölf Probeplatten vorbereitet und anschließend mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze einer Polierwertbestimmung unterzogen. Jede Holzplatte muss mindestens 1 Tag vor dem Verwenden mit Holzschutzlack gegen schnelle Kleberaufsaugung versiegelt werden. Dann wird jede Probeplatte für die Polierprüfung nach folgenden Schritten vorbereitet:

- Jede fertige Kornfraktion 0,2/0,4 mm wird auf drei kreisrunden Holzplatten mit Durchmesser 22,5 cm geklebt. Die Bohrlöcher der Holzplatte sind vor dem Auftragen des Klebers an der Unterseite mit Isolierband abzukleben (siehe Abb. 5-4).



Abb. 5-4: Abkleben der Bohrlöcher an der Unterseite der Platten mit Isolierband

- Auf jede kreisförmige Trägerplatte wird eine Menge von ca. 9 g des Zweikomponenten-Klebers (Harz und Härter in Verhältnis 3:1) aufgetragen und gleichmäßig dünn auf der ganzen Fläche der Platte mit einem weichen Pinsel verteilt (siehe Abb. 5-5).



Abb. 5-5: Kleberauftragung und Verteilung

- Danach ist die zu prüfende Fraktion 0,2/0,4 mm in ausreichender Menge von ca. 200 g in einem Maschensieb (etwas größer als die Prüffraktion z.B. bei der Prüfkörnung 0,2/0,4 mm ist das Maschensieb 0,5 mm zu verwenden) einzufüllen und durch Klopfen mit einem Löffel gegen die Siebwand einzurieseln (siehe Abb. 5-6).

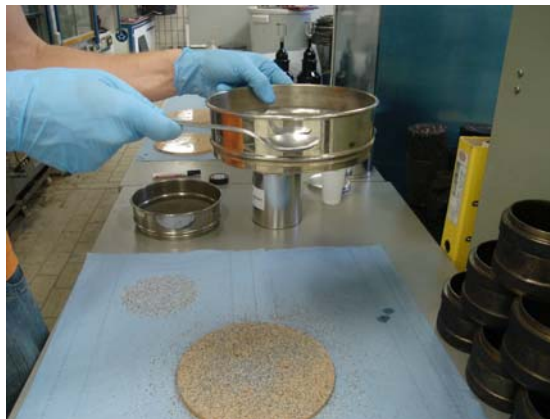


Abb. 5-6: Gesteinseinrieseln mittels Klopfen gegen die Siebwand

- Im ersten Einrieselvorgang soll nur soviel Sand aufgebracht werden, dass die gesamte Holzplatte mit Sand bedeckt und keine freien Klebstellen sichtbar sind. Des Weiteren ist der Sand kreuzweise mit einer Tapeziererwalze einzuwalzen. Dabei ist fest anzudrücken, damit die Körner in das Klebebett eingedrückt werden. Einrieseln und Einwalzen sind noch 2 Mal zu wiederholen, so dass kein Kleber mehr zur Oberfläche durchdringt und die gesamte Platte mit einer konstant dicken Sandschicht bedeckt ist (siehe Abb. 5-7).



Abb. 5-7: Sand mittels Walzen im Klebebett eindrücken

- Die schon mit Sand aufgeklebte Platte ist für mindestens 18 Stunden auf Raumtemperatur aushärten zu lassen. Danach muss die überschüssige Sandmenge von der Probeplatte durch Klopfen auf eine Tischplatte entfernt werden (siehe Abb. 5-8).



Abb. 5-8: Entfernen der überschüssigen Sandmenge

- Nach dem Lösen der Isolierbänder wird das noch lose anhaftende Gestein durch gegenseitiges, vorsichtiges Aneinanderreiben mit einer anderen Platte entfernt (siehe Abb. 5-9).



Abb. 5-9: Lösen der Isolierbänder und Entfernen des lose anhaftenden Gesteins

- Zum Schluss müssen die Löcher zum Einspannen der Platte vom angeklebten Sand befreit werden. Dazu werden zuerst mit einem Bohrer Ø 6 mm die vorhandenen Löcher von der Unterseite frei gebohrt, und danach mit einem Senkbohrer die Vertiefungen wieder hergestellt (siehe Abb. 5-10).



Abb. 5-10: Bohrlöcher vom aufgeklebten Sand befreien

Es ist darauf zu achten, dass kein Kleber an die Prüfoberfläche tritt. Solche Probekörper sind zu verwerfen (RVS 11.06.23).

5.4.2 Sandpolierprüfung mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze

Vor und nach jedem Versuchsablauf ist eine Verbindung zwischen der Wehner/Schulze Maschine und dem dazu angeschlossenen PC - Rechner herzustellen bzw. zu trennen.

Die Reihenfolge der einzelnen Schritte für den Prüfungsablauf sind in Anlehnung an die RVS 11.06.23 wie folgt festgelegt:

- Kalibrieren
- Probeplatte einbauen
- Polieren (90.000 ÜR)
- Spülen
- Prüfen
- Probe ausbauen

Kalibrieren

Vor Beginn müssen die vorhandenen Prüfgummis mit der Kalibrierplatte, die aus einer Glasoberfläche besteht, auf Funktionstüchtigkeit überprüft werden. Der Kalibriervorgang findet auf der Prüfstation statt (siehe Abb. 5-11).

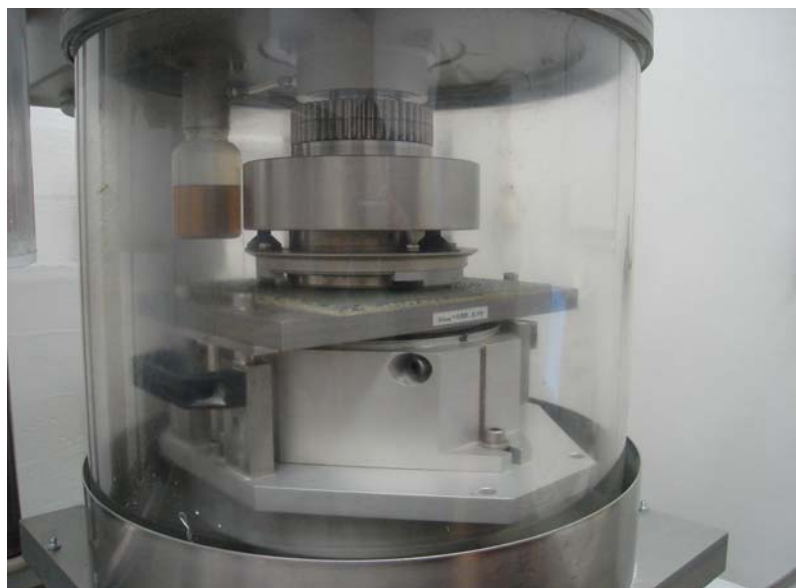


Abb. 5-11: Kalibrieren der verwendeten Prüfgummis

Probeplatte einbauen

Die Probeplatte wird auf der dafür vorgesehenen Einspannvorrichtung mittels dreier Schrauben befestigt (siehe Abb. 5-12).



Abb. 5-12: Einbauen der Sandprobeplatte

Polieren (90.000 ÜR)

Der Poliervorgang findet auf der Polierstation statt. Bei dem Poliervorgang wird die Oberfläche des Probekörpers bei einer Drehgeschwindigkeit von (500 ± 1) U/min unter konstanter Zugabe eines Quarzmehl/Wasser - Gemisches (Q/W-G) bei einem vertikalen Kontaktdruck von $0,4 \text{ N/mm}^2$ eine Stunde lang poliert. Die Temperatur des Quarzmehl/Wasser - Gemisches soll maximal 25°C betragen und ist während des Versuches regelmäßig zu kontrollieren. Nach 30.000 Umdrehungen des Rollkopfes bzw. 90.000 ÜR durch die Gummirollen wird der Poliervorgang automatisch beendet (siehe Abb. 5-13).



Abb. 5-13: Poliervorgang unter konstanter Zugabe von Q/W-G

Spülen

Nach dem Polieren ist die Oberfläche des Probekörpers sowie der Rollenkopf und die Einspannvorrichtung gründlich von Poliermittel und Sandabrieb mittels der Funktionseinstellung **“Spülen”** zu reinigen. Das Spülen findet auf der Polierstation statt (siehe Abb. 5-14).



Abb. 5-14: Spülen der Probeoberfläche von Poliermittel und Sandabrieb

Prüfen

Die Messung des Polierwertes findet auf der Prüfstation statt. Bei Messbeginn wird die Prüfspindel mit den Messgummis pneumatisch angehoben und auf eine Umlaufgeschwindigkeit von 100 km/h beschleunigt. Bei Erreichen von 90 km/h schaltet sich der Prüfwasserzufluss ein. Bei Erreichen der Anfangsgeschwindigkeit (100 km/h) werden die Messgummis auf die zu prüfende Oberfläche pneumatisch abgesenkt, wo sie bis zum Stillstand abgebremst werden. Sobald die Messgummis zum Stillstand gekommen sind, schaltet sich der Wasserfluss aus. Die aktivierte Reibungskraft während des Abbremsvorganges wird über den gesamten Geschwindigkeitsbereich bis zum Stillstand mittels dafür vorgesehener Software am PC aufgezeichnet und ausgewertet (siehe Abb. 5-15).

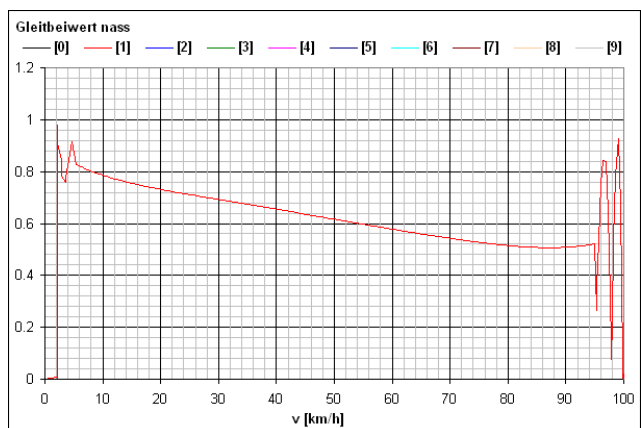


Abb. 5-15: Abbremsvorgang und die entsprechende Aufzeichnung

Probe ausbauen

Die schon geprüfte Sandprobeplatte kann durch Lösen der drei Schrauben aus der Einspannvorrichtung abgehoben werden (siehe Abb. 5-16).

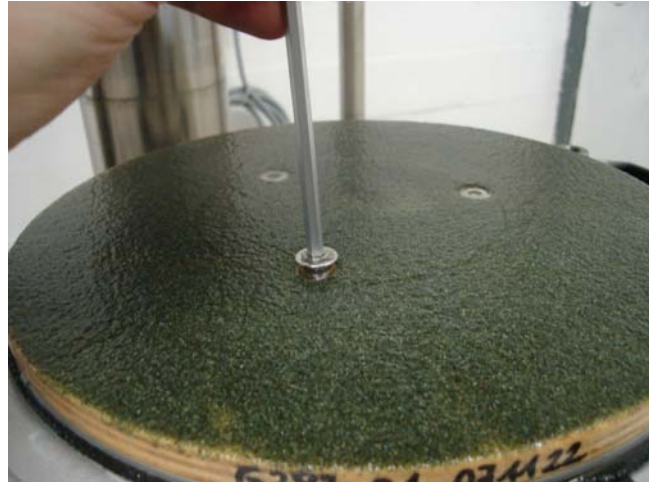


Abb. 5-16: Probe ausbauen

Somit ist der ganze Prüfungsablauf für eine Sandprobeplatte abgeschlossen und die Verbindung zwischen dem PC - Rechner und der Wehner/Schulze Maschine wird getrennt.

Die Entwicklungsstufen einer Sandprüfplatte vom Ausgangszustand bis am Ende der Polierprüfung sind in Abb. 5-17 dargestellt.

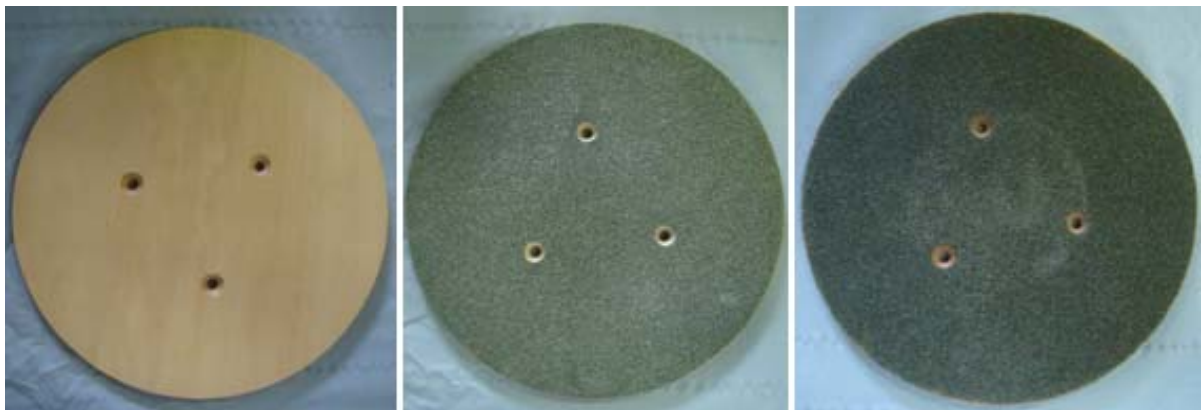


Abb. 5-17: Holzträgerplatte, Sandprüfplatte und polierte Sandprüfplatte

Eine detaillierte Beschreibung der Sandpolierprüfung mit der Wehner/Schulze-Anlage ist in "Bewertung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze" von Kirchmaier (2007) enthalten.

5.4.3 Ergebnisse und Beurteilung der Sandpolierprüfung

Als Messwert bei der Polierwertbestimmung gilt der Reibungskoeffizient bei 60 km/h (PWS_{60}). Das Prüfergebn ist der Mittelwert aus den Messwerten drei Probekörpern, zur Gewährleistung einer ausreichenden Messsicherheit, und ist auf drei Dezimalstellen angegeben. Alle Messwerte sind in einem Prüfprotokoll eingetragen.

Alle Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramme aus der Sandpolierprüfung sind in Anhang B angeführt.

Ergebnisse aus der Griffigkeitsuntersuchung mit dem Verfahren nach W/S

Die Ergebnisse der Sandpolierprüfung sind in Tab. 5.2 und dargestellt.

Tab. 5.2: Ergebnisse der Sandpolierprüfung

Gestein	HK	DI	SR	LDS
PWS_{60} [-]:	0.348	0.564	0.310	0.571
Standardabweichung [-]:	0.00808	0.0152	0.00416	0.00569
abs. Mittelwertabweichung [-]:	0.0058	0.0109	0.0031	0.0042
rel. Mittelwertabweichung [%]:	1.659	1.930	1.005	0.740

Der Diabas, ein relativ hartes und scharfkantiges Gestein, weist mit einem PWS_{60} von 0,564 eine um 62 % höhere Polierresistenz als der Kalkstein auf, der ein karbonathaltiges Gestein ist und eine um 82 % höhere Polierresistenz als der Serpentin, der zu der Gruppe der metamorphen Gesteinen gehört. Die erreichten hohen PWS_{60} -Werte der LD-Schlacke bestätigen deren bekannt hohe polierresistente Eigenschaft. Deren Polierwert ist wenig höher als der Polierwert bei dem Diabas. Die LDS weist mit einem PWS_{60} von 0,571 eine um 1,2 % höhere Polierresistenz als der Diabas und um 64 % höhere als der Kalkstein und um 84 % höhere als der Serpentin auf. Der HK weist eine um 11 % höhere Polierresistenz als SR auf (siehe Abb. 5-18).

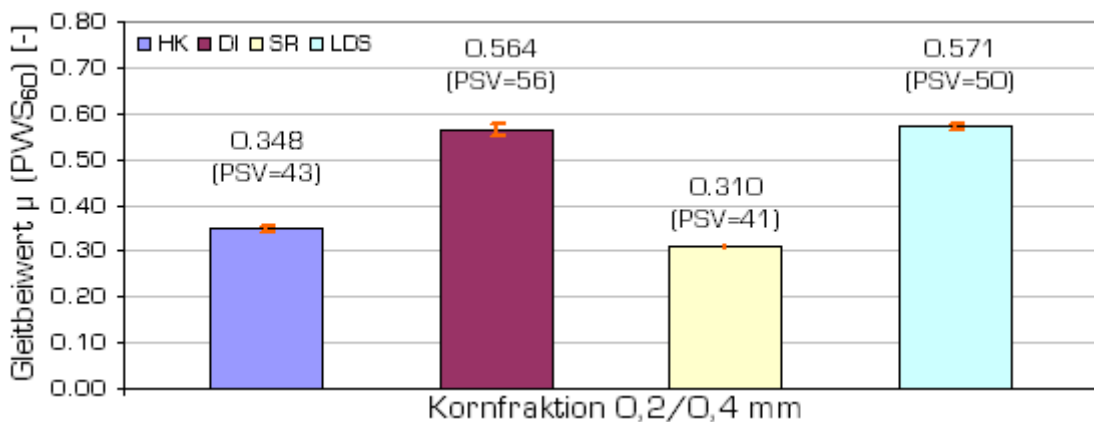


Abb. 5-18: Ergebnisse der Sandpolierprüfung PWS_{60} sowie Angabe der PSV - Werte des Grundmaterials (Splitt 8/11 mm)

Die in Abb. 5-18 dargestellten PSV-Werte sind an der Korngruppe 8/11 mm ermittelt und sind aus der Quelle - "Güteschutzliste 2007" des österreichischen Kies-, Splitt- und Schotterwerke entnommen.

Für die weitere Betrachtung werden in dieser Arbeit auf Basis der Ergebnisse der Polierprüfung die untersuchten Gesteine in zwei Klassen (r) und (n) geteilt (siehe Tab. 5.3). Die Grenze **0,45** hat keine Allgemeingültigkeit.

Tab. 5.3: Klassenbildung nach dem Sandpoliervorgang

Polierresistenz – Klasse	PWS ₆₀ (Polierwert nach Wehner/Schulze)
r - mehr polierresistent	> 0,45
n - wenig polierresistent	≤ 0,45

Eine Darstellung der einzelnen Klassen mit den zugeordneten Sanden ist aus Abb. 5-19 ersichtlich.

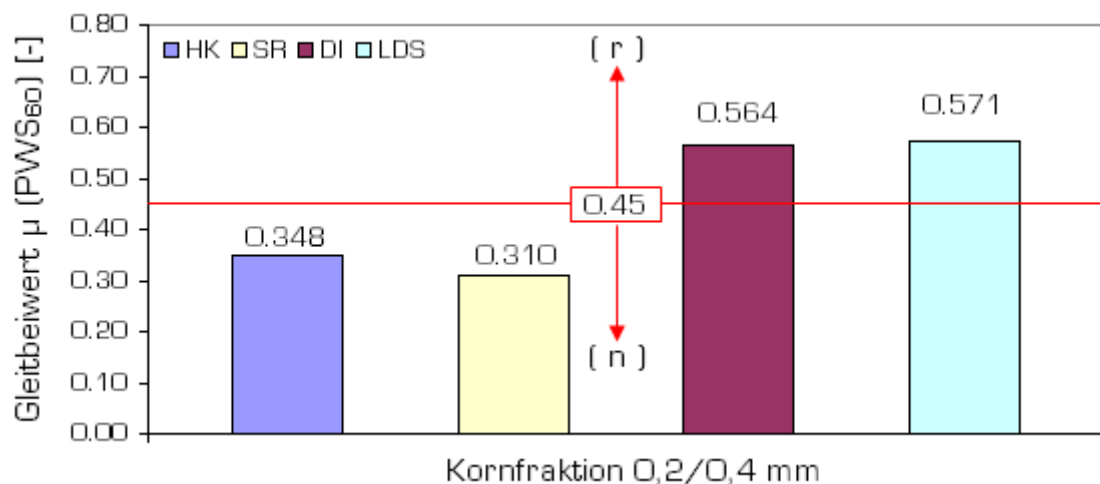


Abb. 5-19: Ergebnisse der Sandpolierprüfung der Klassen (r) und (n)

Vergleich der Ergebnisse zwischen PWS_{60} nach W/S und PSV nach BS

Für die untersuchten Gesteine ist auch ein Vergleich zwischen den Polierwerten PWS nach Wehner/Schulze und den zur Verfügung stehenden PSV-Werten nach dem Polierverfahren nach BS zu erstellen. Die Ausgangsdaten sind in Tab. 5.4 angeführt.

Tab. 5.4: Ergebnisse der vier untersuchten Proben nach den beiden Verfahren

Probebezeichnung	PWS nach W/S für 0,2/0,4 mm	PSV nach BS für 8/11 mm
HK	0,368	43
DI	0,564	56
SR	0,310	41
LDS	0,571	50 (56)*

* PSV-Wert nach 24 Stunden Wasserbadlagerung

Die ermittelten Werte der Sandpolierprüfung mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze zeigen einen linearen Zusammenhang mit den PSV-Werten aus der Güteschutzliste (siehe Abb. 5-20).

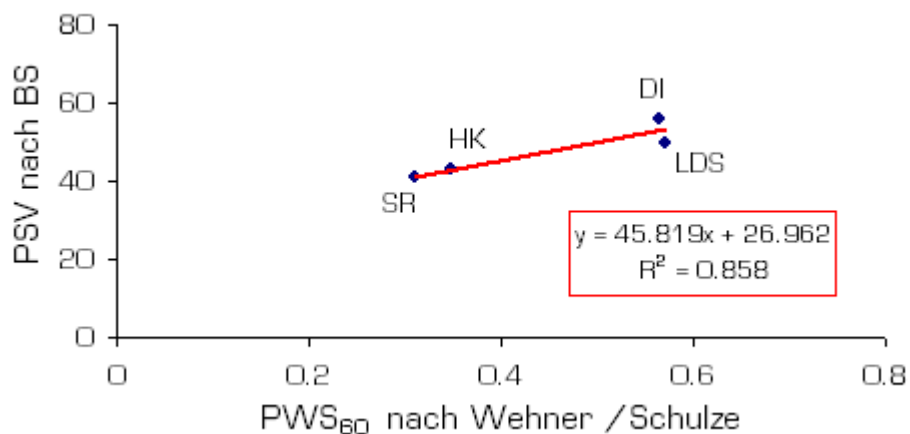


Abb. 5-20: Zusammenhang zwischen PSV und PWS_{60} nach W/S

Aufgrund von theoretischen Überlegungen hinsichtlich vorhandener unterschiedlicher mineralogischer Zusammensetzung und unterschiedlichem morphologischem Aufbau der Splitt- und Sandfraktionen des selben Gesteins erscheint jedoch ein linearer Zusammenhang gemäß Abb. 5-20 nicht allgemein gültig zu sein. Zur Veranschauli-

chung dieser Überlegungen wird auf Ergebnisse eines laufenden Forschungsprojektes am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien verwiesen (siehe Abb. 5-21).

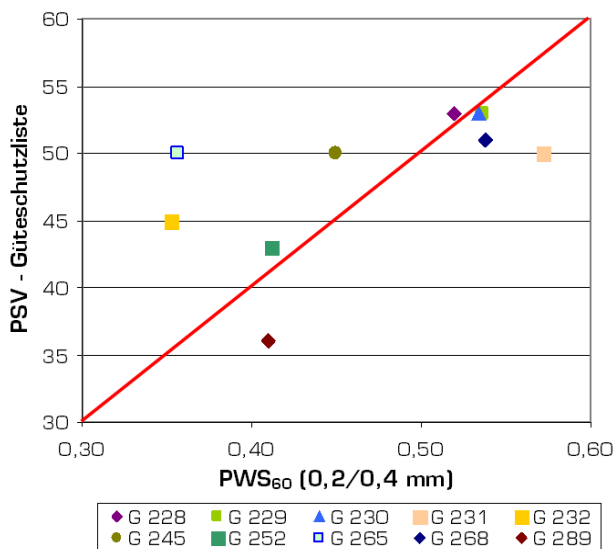


Abb. 5-21: Vorläufige Ergebnisse der TU Wien über den Zusammenhang PWS₆₀ und PSV

Aus dieser Grafik geht hervor, dass zwei Gesteine (G265 und G232) in der Sandfraktion 0,2/0,4 mm gegenüber dem zugehörigen PSV-Wert der Fraktion 8/11 mm eine wesentlich geringere Polierresistenz aufweisen.

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen der TU Wien und auf Basis der verschiedenen Messprinzipien kann man nicht schließen, dass zwischen den PSV-Werten nach British Standard und den PWS₆₀-Werten nach Wehner/Schulze ein allgemein gültiger Zusammenhang besteht. Um eine generelle Interpretation zu finden, müssen in der Zukunft mehr unterschiedliche Gesteine untersucht werden.

Beurteilung der Ergebnisse in Bezug auf die Plattenherstellung

Die Ergebnisse der Sandpolierprüfung sind auch von der Plattenherstellung abhängig. Um den PWS₆₀-Wert zu beurteilen wurden zwei Zusammenhänge erstellt:

- Gesteinsmenge (g) / Klebstoffmenge (g), (siehe Abb. 5-22)
- Gesteinsmenge (g) / Polierwert - PWS₆₀ (-), (siehe Abb. 5-23)

In Abb. 5-22 ist zu sehen, dass im Bereich von 7 bis 9 g Klebstoffmenge die Auswirkung auf die anhaftende Gesteinsmenge bei dem Diabas und bei dem Serpentin gering ist. Bei der LD-Schlacke und bei dem Kalkstein schwankt trotz nahezu identer Klebermenge die Gesteinsmenge deutlich. Die LD-Schlacke hat eine höhere Rohdichte im Vergleich mit den anderen verwendeten Gesteinen, deswegen ist die Gesteinsmenge höher, obwohl vielleicht gleich viel Körner wie bei den anderen Gesteinen auf der

Platte sind. Für den Kalkstein sind nur zwei Datensätze vorhanden. Abb. 5-22 zeigt, dass er sich ungefähr wie die LD-Schlacke verhält, obwohl er eine deutlich geringere Rohdichte in Vergleich mit der LD-Schlacke hat. Auf Basis dieser Gedanken kann man zur Zeit keine logische Erklärung finden.

In Abhängigkeit von den verwendeten Gesteinsarten ist zusammenzufassen, dass der Serpentin und der Diabas weniger von der Klebstoffmenge abhängig sind als der Kalkstein und die LD-Schlacke (siehe Abb. 5-22).

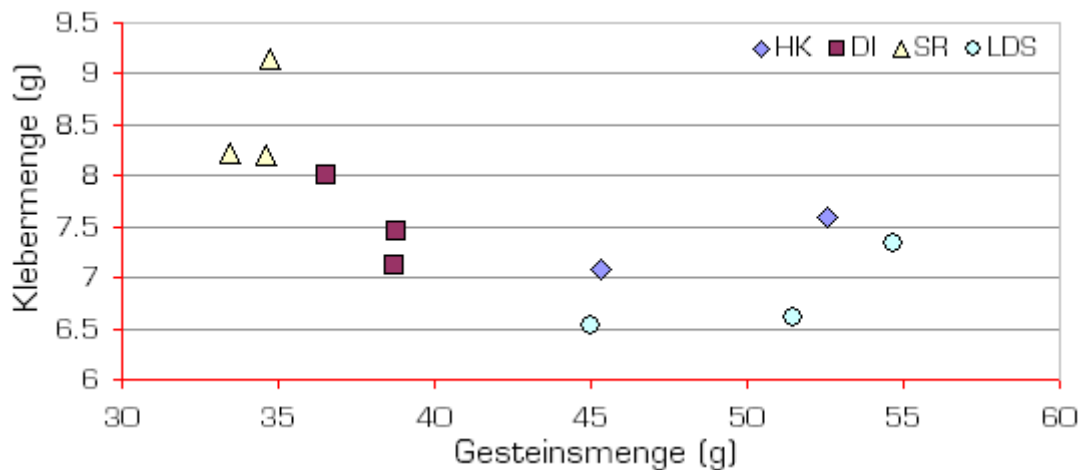


Abb. 5-22: Zusammenhang - Gesteinsmenge (g) / Klebstoffmenge (g)

Aus Abb. 5-23 wird ersichtlich, dass bei der Sandpolierprüfung des HK und der LDS trotz wesentlicher Unterschiede der aufgeklebten Gesteinsmenge, der resultierende PWS_{60} -Wert nur geringfügig schwankt. Bei dem DI sieht man aber Polierwertschwankungen bei einer Spanne der Gesteinsmenge im Bereich von 37 bis 39 g. Nur beim SR in Abhängigkeit von der anhaftenden Gesteinsmenge ergeben sich stetige Polierwerte. Somit scheint die aufgeklebte Gesteinsmenge einen nur sehr geringen Einfluss auf den PWS_{60} -Wert zu haben.

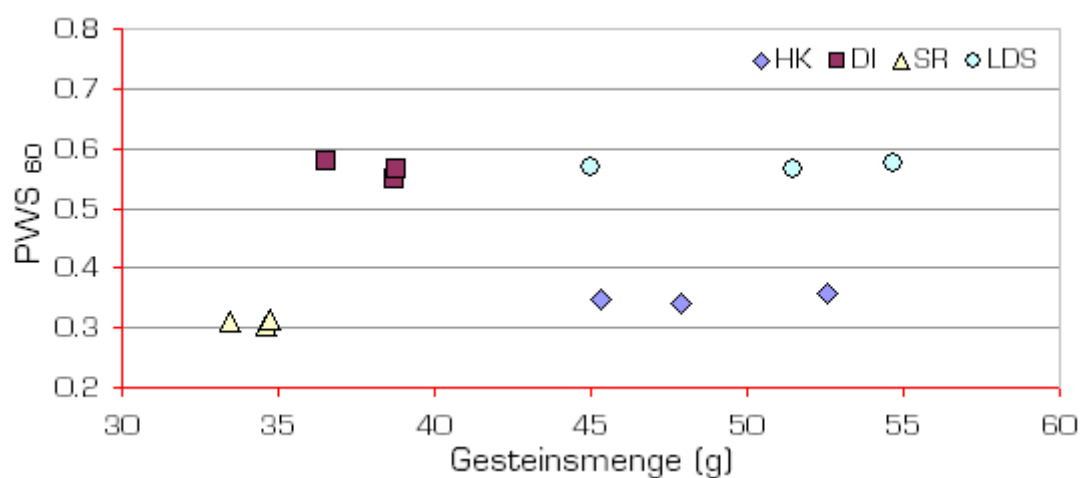


Abb. 5-23: Zusammenhang - Gesteinsmenge (g) / PWS_{60} (-)

Im Rahmen dieser Arbeit konnte noch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen aufgebrachtener Klebstoffmenge und vorhandener Gesteinsmenge bzw. Gesteinsmenge und ermitteltem PWS_{60} gefunden werden. Es besteht allerdings die Vermutung, dass vor allem zwischen der vorhandenen Gesteinsmenge und dem daraus resultierenden PWS_{60} -Wert ein Zusammenhang besteht. Deswegen sollte auch in weiter führenden Untersuchungen zum PWS_{60} -Wert von Sanden die Klebstoffmenge und die Gesteinsmenge aufgezeichnet werden, um in der Zukunft eine genaue Aussage treffen zu können.

5.5 Asphaltuntersuchung (Phase 3)

Zur Untersuchung des Einflusses des Sandes und des Sandstrahlens auf die Griffigkeit von Asphaltbeton AC11 wurden mit den schon untersuchten Gesteinen vier Mischgutvarianten, die sich voneinander nur im Bereich der Korngruppe 0/2 mm unterscheiden, hergestellt. Für das Asphaltmischgut wird nach ÖNORM B3580-1 (2006) die Bitumensorte **70/100** vorgesehen.

5.5.1 Mischgutvarianten für den AC11

Zu einer differenzierten Bewertung des Sandeinflusses bzw. des Einflusses des Sandstrahlens wurden verschiedene AC11-Mischungen unter Variation der Komponente 0/2 mm hergestellt (siehe Tab. 5.5). Alle anderen Komponenten des Asphaltmischgutes sowohl der Füller $\leq 0,063$ mm, als auch die Splittkomponenten - 2/4 mm, 4/8 mm und 8/11 mm wurden für alle vier Mischgutvarianten beibehalten. Obwohl im Asphaltstraßenbau für die Herstellung von Deckschichten üblicherweise kein Kalkstein zum Einsatz kommt, wurde für diese Untersuchung im Splittbereich bewusst Kalkstein verwendet, um eine genaue Aussage bezüglich des Einflusses der Sandkomponente auf die Griffigkeit des AC11 tätigen zu können.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Gesteinsarten wurden daher vier unterschiedliche AC11-Mischungen (siehe Tab. 5.5) festgelegt, mit welchen je eine Prüfplatte mit möglichst homogener Makrorauheit unter Laborbedingungen mit einem Walzsegmentverdichter (WSV) hergestellt wurden.

Tab. 5.5: Mischkombinationen für den AC11

Bezeichnung	Bindemittel	Füller	0/2 mm	2/4 mm	4/8 mm	8/11 mm
HK/HK	70/100	f, fix	n - (HK)	s, fix	s, fix	s, fix
HK/DI	70/100	f, fix	r - (DI)	s, fix	s, fix	s, fix
HK/SR	70/100	f, fix	n - (SR)	s, fix	s, fix	s, fix
HK/LDS	70/100	f, fix	r - (LDS)	s, fix	s, fix	s, fix

f: Füller, Kalksteinmehl

s: Splitt, Kalkstein

r: mehr polierresistenter Brechsand entspr. Tab 5.3

n: weniger polierresistenter Brechsand entspr. Tab 5.3

Wie aus Abb. 5-24 ersichtlich ist, wurde bei der Auswahl der Korngrößenverteilung die mittlere Parabel zwischen den beiden in der ÖNORM B3580 -1 (2006) geregelten Grenzsieblinien für den AC11, welche das hohlraumärmste Korngerüst beschreibt, angepasst. Die ausgewählte Sieblinie bzw. die Sollsieblinie beschreibt nach

bisherigen Erfahrungen für die AC11 - Mischgutvorbereitung eine günstige Korngrößenverteilung. Bei der Erstellung der vier verschiedenen Rezepturen wurde unter Berücksichtigung der verschiedenen Sieblinien der verwendeten Sande und deren unterschiedlichen Füllergehalts ein Erreichen der Sollsieblinie auf $\pm 1,8\%$ angestrebt.

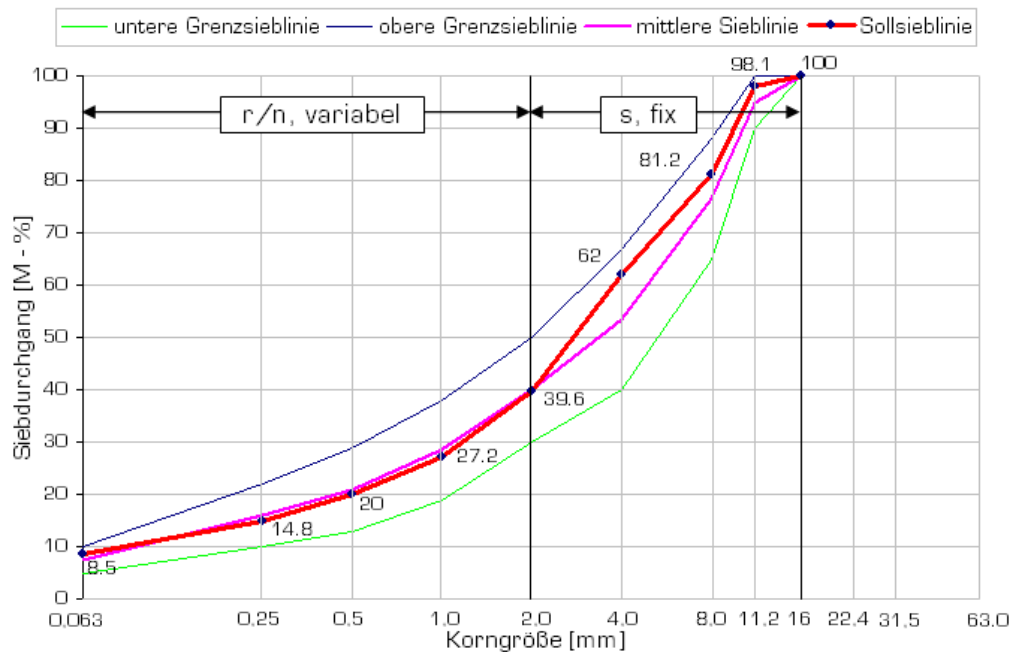


Abb. 5-24: Für AC11 zugrundeliegende Korngrößenverteilung

Für das Herstellen des Asphaltmischguts müssen zuerst das Gestein und das Bitumen auf eine Temperatur von $(165 \pm 5)^\circ\text{C}$ erhitzt werden. Das erhitzte Gestein und Bitumen werden dann im vorgewärmten Zwangsmischer (siehe Abb. 5-25) zusammengefügt und für eine Dauer von 5 min gemischt.



Abb. 5-25: Labormischer für Asphalt

5.5.2 Herstellung der Asphaltprüfplatten

Die Herstellung der 50 cm x 26 cm x 5 cm großen Asphaltprüfplatten erfolgte mit einem Walzsegment-Verdichtungsgerät (WSV), bei dem die Verdichtung in einem horizontal beweglichen Formkasten durch ein, bei einer von 0 bis 50 kN variierende Walzkraft, schwenkendes Walzsegment erfolgt. Hierbei wird nach Firma Freundl (www.baustoff-pruefsysteme.com) das Mischgut durch das Walzsegment mit einem Radius von 550 mm (entsprechend einer Straßenwalze) mit einer walzenden Bewegung bei gleichförmiger Geschwindigkeit innerhalb des Formkastens knetend bzw. walzend wie auf der Straße verdichtet (siehe Abb. 5-26).

Der Walzsegment-Verdichter garantiert ebene Oberflächen und bietet auch die Möglichkeit diese praxisnah abzustreuen (Hushek, 2002).

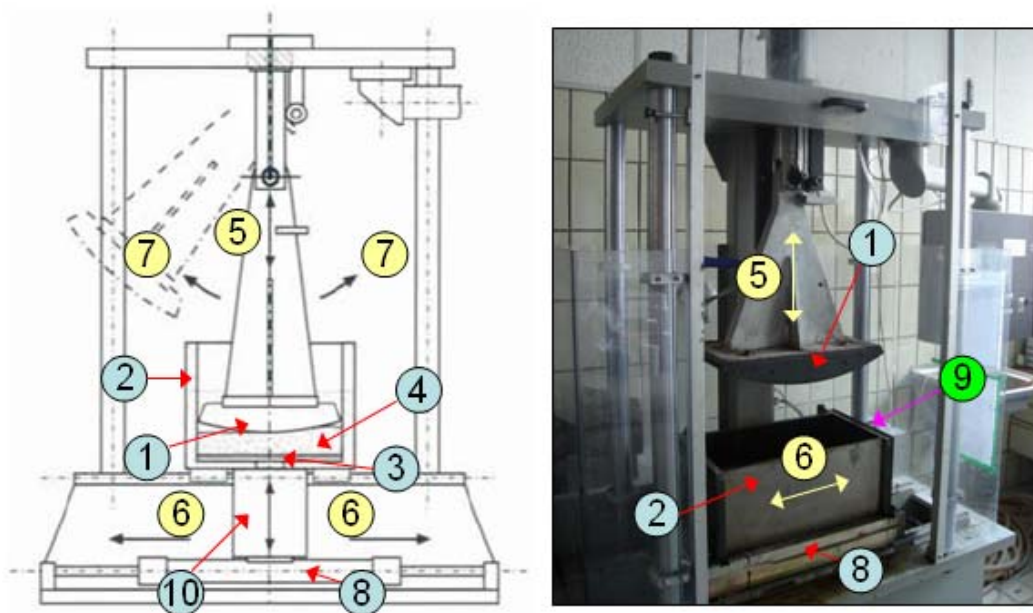


Abb. 5-26: Walzsegment - Verdichtungsgerät (WSV)

1. Walzsegment
2. Formkasten für das Mischgut, Innenabmessungen: 50 cm x 26 cm x 16 cm
3. Grundplatte
4. Verdichtetes Asphaltmischgut
5. Vertikale Senkrichtung des Walzsegmentes
6. Bewegungsrichtung des Formkastens
7. Schwenkrichtung des Segmentes
8. Auf Schienen bewegende Traverse
9. Einspannvorrichtungsplatz für den oberen Formkasten
10. Auspresszylinder

Die Bestimmung der Mischguteinwaage bei einem Gesteinsanteil von 94,4 % und einem Bitumenanteil von 5,6 % erfolgt in Hinblick auf einen angestrebten Hohlraumgehalt von 3 %.

Nachdem bei 150 °C bis 170 °C das Asphaltmischgut schon frisch hergestellt wurde, erfolgt der Plattenherstellungsvorgang mittels des WSV in Anlehnung mit vier nach Firma Freundl (www.baustoff-pruefsysteme.com) vorgeschriebenen aufeinander folgenden Schritten.

1. Mit dem horizontal geteilten Formkasten die untere Einlegeplatte zur Probenentnahme einlegen.
2. Das fertige Mischgut in den Formkasten einfüllen, etwa gleichmäßig verteilen.
3. Die Sollhöhe für das Verdichtungsprogramm einstellen und den Verdichtungsprozess starten. Dadurch fährt der Belastungskolben vertikal nach unten und bei einem Gegendruck von 1 kN beginnt das Walzsegment in dem Formkasten zu schwenken. Der Tischvorschub wird dann automatisch zugeschaltet und der Verdichtungsprozess wird vollständig abgearbeitet. Nach dem Ende des Verdichtungsprogramms wird das Walzsegment wieder nach oben gefahren und seitlich herausgeschwenkt.
4. Mit dem Auspresszylinder die Probeplatte aus der unteren Formhälfte nach oben in die Obere Formhälfte auspressen. Die Schnellspannverschlüsse der oberen Formhälfte lösen und diese zusammen mit der Einlegeplatte und der Probe aus dem Walzsegmentverdichter herausheben und zum abkühlen abstellen.

Die ganze Plattenherstellungsprozedur dauert ca. 10 Minuten Arbeitszeit. Nach einer Abkühlphase (in Abhängigkeit von der Raumtemperatur - ca. 5 Stunden), konnte die Asphaltprüfplatte ausgeschalt werden (siehe Abb. 5-27).

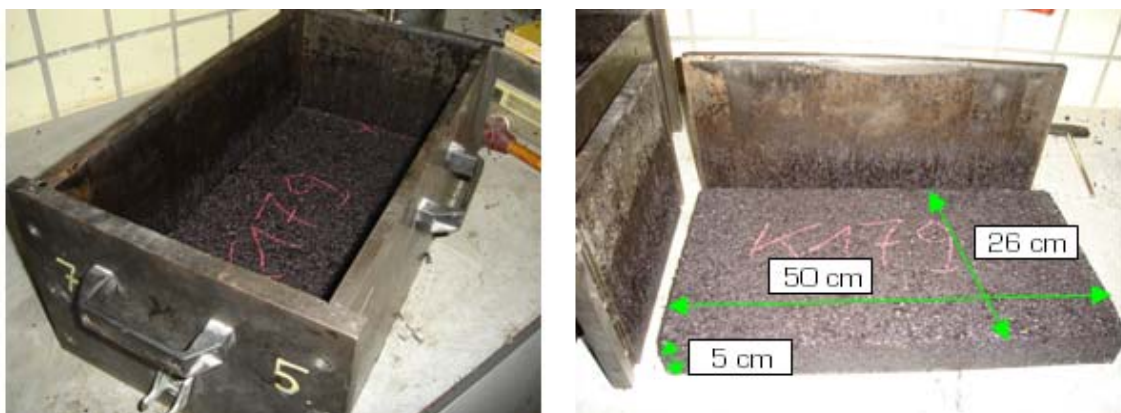


Abb. 5-27: Fertig hergestellte Platte und ausgeschalt nach der Abkühlphase

Für die weiteren Untersuchungen bekommt jede Platte je nach Mischgutart eine eigene Bezeichnung. Alle Plattenbezeichnungen sind in Tab. 5.6 angeführt.

Tab. 5.6: Plattenbezeichnungen

Mischgutart	HK/HK	HK/DI	HK/SR	HK/LDS
Plattenbezeichnung	WS001	WS002	WS003	WS004

5.5.3 Konventionelle Asphaltprüfung der untersuchten Asphaltproben

In diesem Kapitel wird die Vorbereitung der zu prüfenden Asphaltprobekörper und anschließend deren Rohdichten, Raumdichten und Hohlraumgehalte beschrieben und beurteilt.

Nachdem die Prüfplatten schon ausgeschalt und mindestens eine Woche bei Raumtemperatur gelagert wurden, wurden je Platte zwei Bohrkern mit einem Durchmesser $d = 22,5 \text{ cm}$ mittels der Laborbohrmaschine (siehe Abb. 5-28) ausgebohrt.

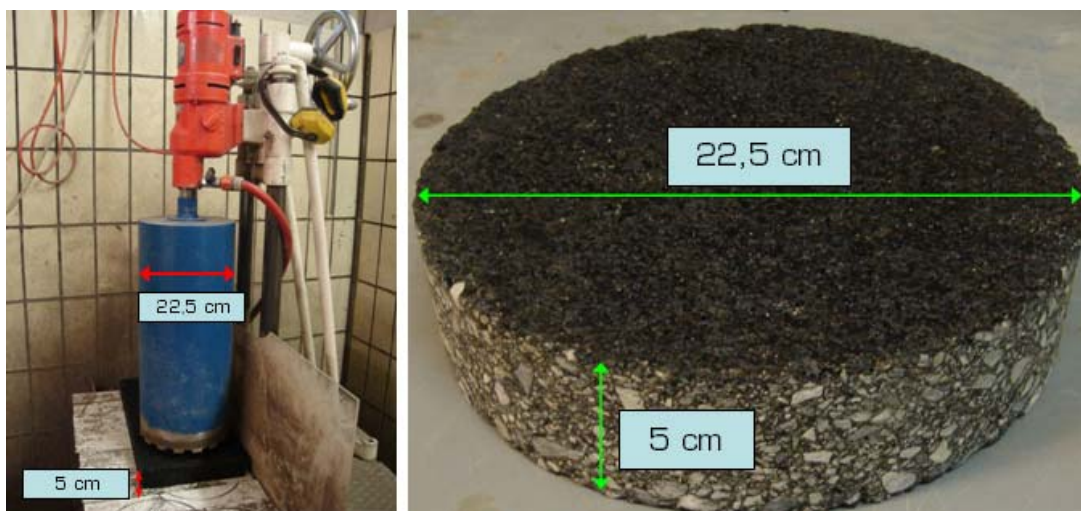


Abb. 5-28: Ausbohren der Kreisbohrkerne aus der Asphaltprobeplatte

Alle schon fertigen Bohrkern ($\varnothing 22,5 \text{ cm}$, $h = 5 \text{ cm}$) wurden anschließend unter Wasser gelagert und entsprechend dem in der ÖNORM EN 12697-6 (06.01.2003) beschriebenen Tauchwägeverfahren deren Raumdichte bestimmt. Die Bestimmung der Rohdichte jedes zu prüfenden Asphaltmischguts erfolgt entsprechend dem in der ÖNORM EN 12697-5 (01.01.2003) beschriebenen Pyknometerverfahren mittels Lösungsmittel - Toluol und anschließend werden die Hohlraumgehalte jedes ausgebohrten Probekörpers nach ÖNORM EN 12697-8 (06.01.2003) berechnet.

Alle Ergebnisse aus der konventionellen Prüfung der untersuchten Asphaltmischungen werden in den folgenden Grafiken (Abb. 5-29, Abb. 5-30, Abb. 5-31) dargestellt.

Die in diesen Mischungen vorherrschenden Mineralstoffe (r) und (n) sind Vertretern einer hohen und einer niedrigen Polierklasse und haben in etwa dasselbe spezifische Gewicht außer die LDS, bei der das spezifische Gewicht höher im Vergleich zu den anderen ist. Das ist auch bei den Ergebnissen (siehe Abb. 5-29) der Rohdichtebestimmung erkennbar. Alle Mischgutrohdsichten außer dem Mischgut mit der LDS bewegen sich in Grenzen von 2567 kg/m³ bis 2575 kg/m³. Die LDS weist eine Rohdsichte von 2881 kg/m³ auf.

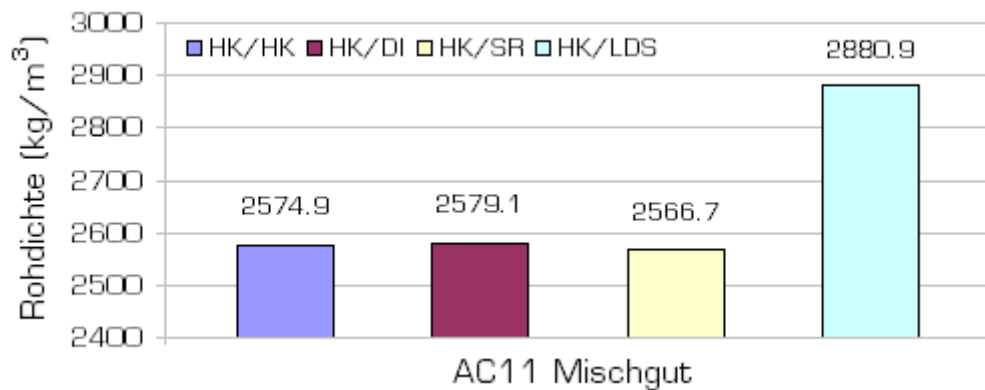


Abb. 5-29: Ergebnisse aus der Rohdichtebestimmung des AC11

Abb. 5-30 zeigt, dass bei der Raumdichtebestimmung für das HK/DI und HK/SR - Mischgute im Bereich von 3,6 % bis 4,1 % geringere Werte in Vergleich mit den HK/HK aufweisen, obwohl alle drei Rohdsichten ungefähr gleich sind (siehe Abb. 5-29). Bei dem HK/LDS - Mischgut ist alles wie erwartet wurde. Das hat sowohl eine hohe Rohdsichte als auch eine daraus resultierende hohe Raumdichte.

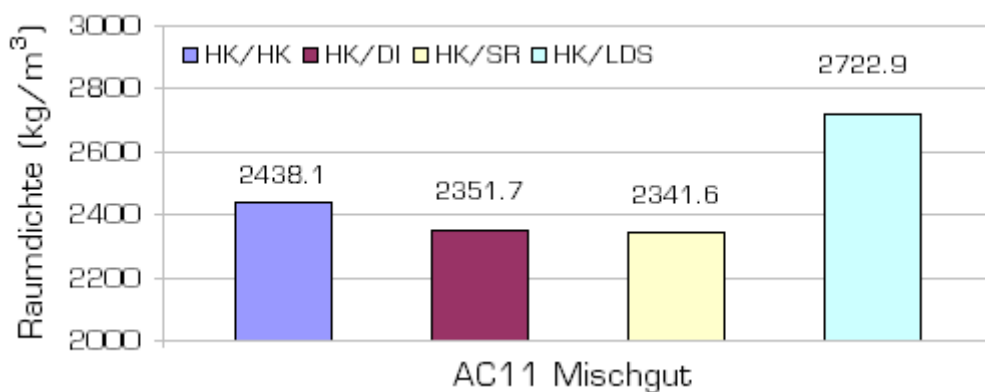


Abb. 5-30: Ergebnisse aus der Raumdichtebestimmung des AC11

Neben den Kennwerten an den Prüfkörpern wie Rohdichte und Raumdichte wurde auch der Hohlraumgehalt ermittelt. Wie in der Abb. 5-31 gut zu sehen ist, sind die Hohlraumgehalte bei den geprüften Mischungen und besonders bei HK/DI und HK/SR etwas höher in Vergleich mit den vorgeschriebenen nach ÖNORM B3580-1 (2006) für AC11, die sich in einem Bereich von 2 % bis 4 % verändern können. Das ist darauf zurückzuführen, dass bei der Verdichtung mit dem Walzsegment-Verdichter (WSV) der Wegaufnehmer (LVDT - Linear Variable Displacement Transducer) defekt war, weshalb auch die Zielhöhe von 50 mm nicht erreicht wurde. Danach ist eine vorhandene Höhe der Prüfplatten von 54 mm entstanden. Neben den Mittelwerten ist auch die Standardabweichung eingetragen.

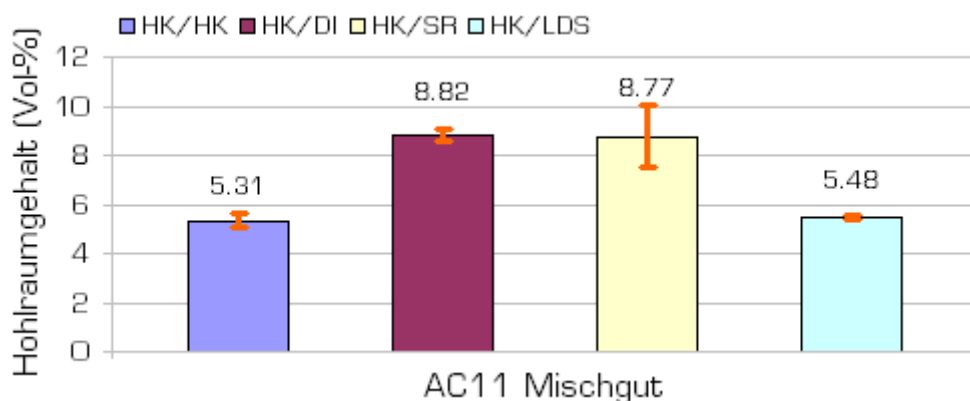


Abb. 5-31: Hohlraumgehalte des untersuchten AC11

Die somit hergestellten Platten und besonders WSO02 und WSO03, deren vorhandene Hohlraumgehalte die maximal erlaubten um mehr als 100 % überschreiten (siehe Abb. 5-31), entsprechen nicht den Anforderungen der ÖNORM B3580-1 (2006) und müssten verworfen sowie neue Platten hergestellt werden. Aus zeitlichen Gründen wurden trotz der markant hohen Hohlraumgehalte der Probekörper die nachfolgend beschriebenen Polieruntersuchungen durchgeführt.

5.5.4 AC11 - Polierprüfung mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze und Sandstrahlbehandlung (SSB)

Das Ziel der Asphaltpolierprüfung ist es, eine Griffigkeitsprognose des AC11 mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze zu entwickeln, bei der einerseits der Einfluss der Korngruppe 0/2 mm aus den dafür vorgesehenen Gesteinsarten auf das Griffigkeitsverhalten des Asphaltbetons zu beurteilen ist, und andererseits der Einfluss des Sandstrahls auf die Griffigkeitsentwicklung der Asphaltdeckschicht zu untersuchen ist. Das Sandstrahlen simuliert dabei einen Abnutzungszustand der Probenoberfläche, der sich durch den Witterungseinfluss sowie durch den Winterdienst auf der Straße nach einigen Jahren einstellt. Der simulierte Abnutzungszustand wird im Labor durch unterschiedliche Programmeinstellungen der Sandstrahlbehandlung variiert.

Das gewählte Versuchsprogramm für die Polierprüfung ist in Anlehnung an das Standardprogramm für Griffigkeitsprognosen mit der Verkehrssimulation nach Weh-

ner/Schulze der TU Berlin strukturiert (siehe Tab. 5.7 und Tab. 5.8) und soll eine detaillierte Phasenentwicklung der Griffigkeit von AC11 (von PWS (0) bis PWS (5)) erzeugen, die sich nach (Huschek et. al., 2002) unter einer vier- bis sechsjährigen Verkehrsbelastung der deutschen Bauklasse SV (entspricht der österreichischen Bauklasse S) bei einem DTV > 20.000 einstellt.

Tab. 5.7: Standard Programm für Griffigkeitsprognose an der TU Berlin

Beanspruchungsstufen (B-Stufen)	
Griffigkeitsmessung mit dem LGM in unbeanspruchtem Ausgangszustand	[0]
90000 ÜR in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	[1]
Aufrauen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen	[2]
90000 ÜR in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	[3]
Weitere Griffigkeitsmessungen mit der LGM bis zum Erreichen des Grenzwertes	[4]

Tab. 5.8: Gewähltes Programm für die Griffigkeitsuntersuchungen am AC11

Beanspruchungsstufen (B-Stufen)	
Griffigkeitsmessung mit dem LGM in unbeanspruchtem Ausgangszustand	[0]
Griffigkeitsmessung mit dem LGM nach 30.000 ÜR in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	[1]
Griffigkeitsmessung mit dem LGM nach 60.000 ÜR in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	[2]
Griffigkeitsmessung mit dem LGM nach 90.000 ÜR in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	[3]
Aufrauen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen	[-]
Griffigkeitsmessung mit dem LGM nach Aufrauen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen (Probereihe 2 - Programm 2; Probereihe 4 - Programm 4)	[4]
Weitere Griffigkeitsmessungen mit dem LGM bis zum Erreichen des Grenzwertes nach insgesamt 180.000 ÜR in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	[5]

Im Rahmen des Versuchsprogramms werden insgesamt acht Probekörper untersucht, wobei jeweils zwei aus demselben Asphaltmischgut bestehen. Die acht Asphaltproben wurden in zwei gleiche Reihen unterteilt und als Probereihe 2 (PR2) und Probereihe 4 (PR4) weiter bezeichnet (siehe Tab. 5.8). Die Nummern der jeweiligen Probe-reihen entsprechen den Nummern der Programmeinstellungen der Sandstrahlkabine,

wo jede Asphaltprobe nach dem vorgesehenen Programm zum Sandstrahlen eingebracht wird (siehe Anhang D: AA610 - "Sandstrahlen von Asphalt- und Betonprobekörpern für das Verfahren nach Wehner/Schulze").

Die Polierprüfung der Asphaltprobekörper ist dem in Abschnitt 5.4.2 beschriebenen Poliervorgang der Sandprobeplatten ähnlich und erfolgt grundsätzlich in zwei Schritten:

- 1. Verkehrssimulation mit dem W/S - Poliergerät und mit der Strahlkabine**
- 2. Griffigkeitsmessungen mit dem W/S - LGM**

1. Verkehrssimulation mit dem W/S - Poliergerät und mit der Strahlkabine

Die Verkehrssimulation für jede Probereihe umfasst 90.000 ÜR auf der Polierstation, dosiertes Sandstrahlen und zusätzliche 90.000 ÜR, also insgesamt 180.000 ÜR. Der Poliervorgang erfolgt dabei unter konstanter Zugabe eines Quarzmehl/Wasser - Gemisches mit einem mittleren Kontaktdruck der Polierrollen von 0,4 N/mm² und einem Schlupf (infolge Gummideformation und Lagerreibung) von 0,5 bis 1,0 % (siehe Kapitel 4.2.2). Das Sandstrahlen in der Sandstrahlkabine erfolgt mit einem dosierten Sandstrahl bei einer Druckluftzufuhr von 5 Bar, einem Auftreffwinkel des Sandstrahls von 90° und einem Abstand zwischen Strahldüse und Probenoberfläche von ca. 10 cm (siehe Anhang D: AA610 - "Sandstrahlen von Asphalt- und Betonprobekörpern für das Verfahren nach Wehner/Schulze").

2. Griffigkeitsmessungen mit dem W/S - LGM

Die Polierwertmessungen erfolgen mit dem LGM nach Wehner/Schulze auf nasser (0,5 mm Wasserfilm) Prüfoberfläche bei 60 km/h und unter einem mittleren Kontaktdruck von 0,2 N/mm² (siehe Kapitel 4.2.2) und wurden zu folgenden Zeitpunkten durchgeführt:

Probereihe 2:

1. Messung: Nullmessung vor dem ersten Poliervorgang bzw. B-Stufe (0)
2. Messung: nach 30.000 ÜR bzw. B-Stufe (1)
3. Messung: nach 60.000 ÜR bzw. B-Stufe (2)
4. Messung: nach 90.000 ÜR vor Sandstrahlen mit Programm 2 bzw. B-Stufe (3)
5. Messung: nach 90.000 ÜR nach Sandstrahlen mit Programm 2 bzw. B-Stufe (4)
6. Messung: nach 180.000 ÜR bis zum Erreichen des Grenzwertes bzw. B-Stufe (5)

Probereihe 4:

1. Messung: Nullmessung vor dem ersten Poliervorgang bzw. B-Stufe (0)
2. Messung: nach 30.000 ÜR bzw. B-Stufe (1)
3. Messung: nach 60.000 ÜR bzw. B-Stufe (2)
4. Messung: nach 90.000 ÜR vor Sandstrahlen mit Programm 4 bzw. B-Stufe (3)
5. Messung: nach 90.000 ÜR nach Sandstrahlen mit Programm 4 bzw. B-Stufe (4)
6. Messung: nach 180.000 ÜR bis zum Erreichen des Grenzwertes bzw. B-Stufe (5)

In Abb. 5-32 ist ein Beispiel der Aufzeichnung des Abbremsvorganges bei jeder Beanspruchungsstufe im Bereich (0) bis (5) dargestellt.

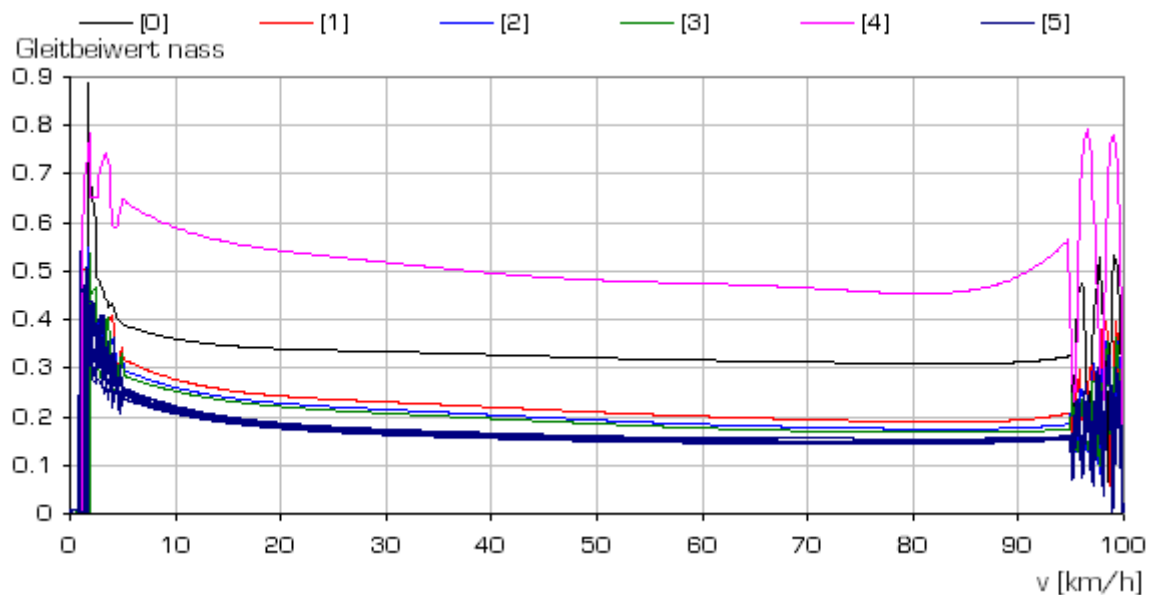


Abb. 5-32: Aufzeichnung des Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramms

Abb. 5-33 zeigt einen Probekörper im unbeanspruchten Zustand (links) und nach 180.000 ÜR sowie nach einer Sandstrahlbehandlung (rechts).



Abb. 5-33: Probekörper bei B-Stufe [0] (links) und bei B-Stufe [5] (rechts)

5.5.5 Ergebnisse und Beurteilung

Die Ergebnisse der Asphaltpolierprüfung, die mit den vorgesehenen AC11-Mischungen erzielt wurden, sind nachfolgend für die gewählte Standard-Messgeschwindigkeit von 60 km/h zusammengestellt. Alle Einzelergebnisse sind dem Anhang C zu entnehmen.

In Tab. 5.9 und Tab. 5.10 sind die Gleitbeiwerte (in dem Ergebnisbereich von 0 bis 90.000 ÜR sind die Mittelwerte aus den beiden Asphaltproben aufgelistet) für die verschiedenen Beanspruchungsstufen der Verkehrssimulation dargestellt. Die Entwicklung des Gleitbeiwertes wird weiter in Abhängigkeit von den Polierstufen betrachtet und die Ergebnisse werden in Bezug auf das gewählte Versuchsprogramm für die Griffigkeitsuntersuchung von AC11 (siehe Tab. 5.8) in zwei Bereiche (vor Sandstrahlen und nach Sandstrahlen) geteilt (siehe Tab. 5.9 und Tab. 5.10).

Tab. 5.9: Gleitbeiwerte der Probereihe 2 (Mittelwerte von 0 bis 90.000 ÜR)

B-STUFE		HK/HK	HK/DI	HK/SR	HK/LDS
		PWS ₆₀ (-)			
[0] = 0 ÜR	VOR SANDSTRAHLEN	0.333	0.373	0.315	0.397
[1] = 30.000 ÜR		0.256	0.426	0.213	0.313
[2] = 60.000 ÜR		0.224	0.401	0.197	0.283
[3] = 90.000 ÜR		0.204	0.381	0.190	0.263
[4] = 90.000 ÜR	NACH SANDSTRAHLEN	0.450	0.489	0.474	0.510
[5] = 180.000 ÜR		0.155	0.174	0.146	0.189

Tab. 5.10: Gleitbeiwerte der Probereihe 4 (Mittelwerte von 0 bis 90.000 ÜR)

B-STUFE		HK/HK	HK/DI	HK/SR	HK/LDS
		PWS ₆₀ (-)			
[0] = 0 ÜR	VOR SANDSTRAHLEN	0.333	0.373	0.315	0.397
[1] = 30.000 ÜR		0.256	0.426	0.213	0.313
[2] = 60.000 ÜR		0.224	0.401	0.197	0.283
[3] = 90.000 ÜR		0.204	0.381	0.190	0.263
[4] = 90.000 ÜR	NACH SANDSTRAHLEN	0.460	0.509	0.479	0.536
[5] = 180.000 ÜR		0.144	0.180	0.150	0.187

Es zeigt sich, dass sowohl bei den Proben, bei denen ein wenig polierresistenter Sand in der Fraktion 0/2 mm verwendet wurde (HK/HK und HK/SR), als auch bei der LD-Schlacke, die im Prinzip eine sehr hohe Polierresistenz besitzt, der größte Griffigkeitsabfall während der erste Beanspruchungsstufe - nach 30.000 ÜR auftritt. Der weitere Griffigkeitsverlauf bis B-Stufe (3) ist relativ konstant abfallend und ändert sich zwischen der ersten und dritten Beanspruchungsstufe nicht so stark. Bei der Asphaltmischung mit dem Diabas (HK/DI) tritt während der ersten 30.000 ÜR genau das Gegenteil ein. Dabei zeigt sich sowohl eine deutliche Erhöhung des Gleitbeiwertes nach 30.000 ÜR als auch eine Erhöhung nach 90.000 ÜR gegenüber Zustand (0) (siehe Abb. 5-34 und Abb. 5-35). Im Ergebnisbereich von B-Stufe (0) bis B-Stufe (3) sind die Mittelwerte aus den beiden Asphaltproben genommen und mit einem zusätzlichen Standardabweichungskennzeichen dargestellt.

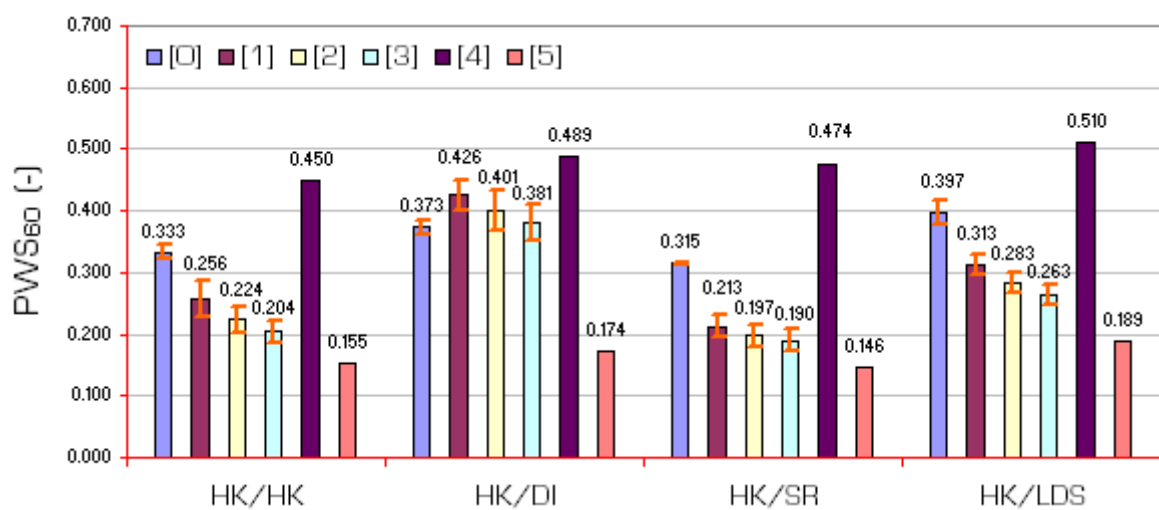


Abb. 5-34: Verlauf des Gleitbeiwerts von (0) bis (5) jedes Mischguts bei PR 2

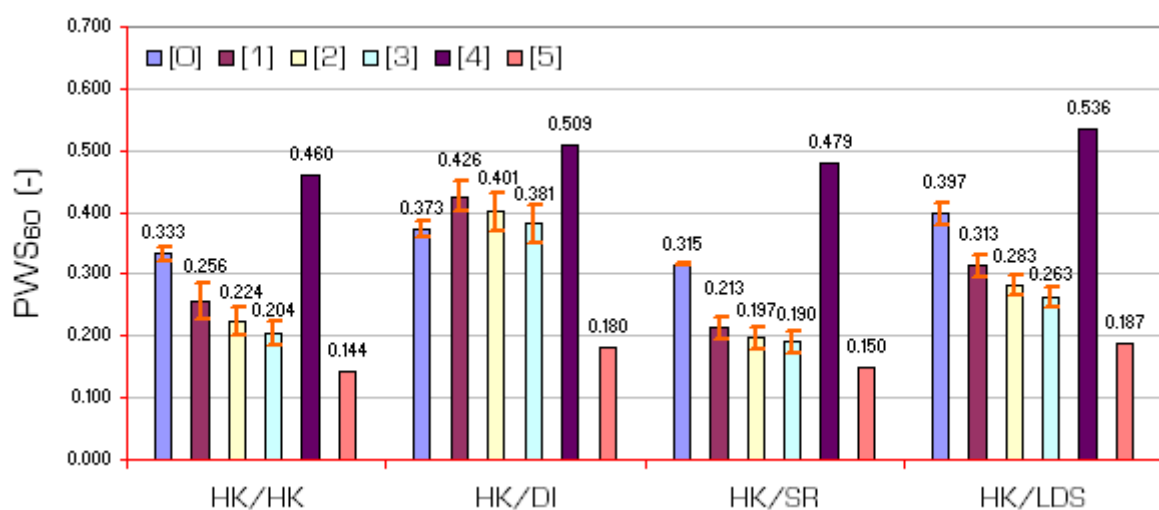


Abb. 5-35: Verlauf des Gleitbeiwerts von (0) bis (5) jedes Mischguts bei PR 4

Abb. 5-36 und Abb. 5-37 zeigen die ermittelten PWS_{60} -Werte aller untersuchten Gesteine bei den verschiedenen Beanspruchungsstufen vor und nach dem Sandstrahlen. Die Mittelwerte sind mit einem Standardfehlerzeichen dargestellt.

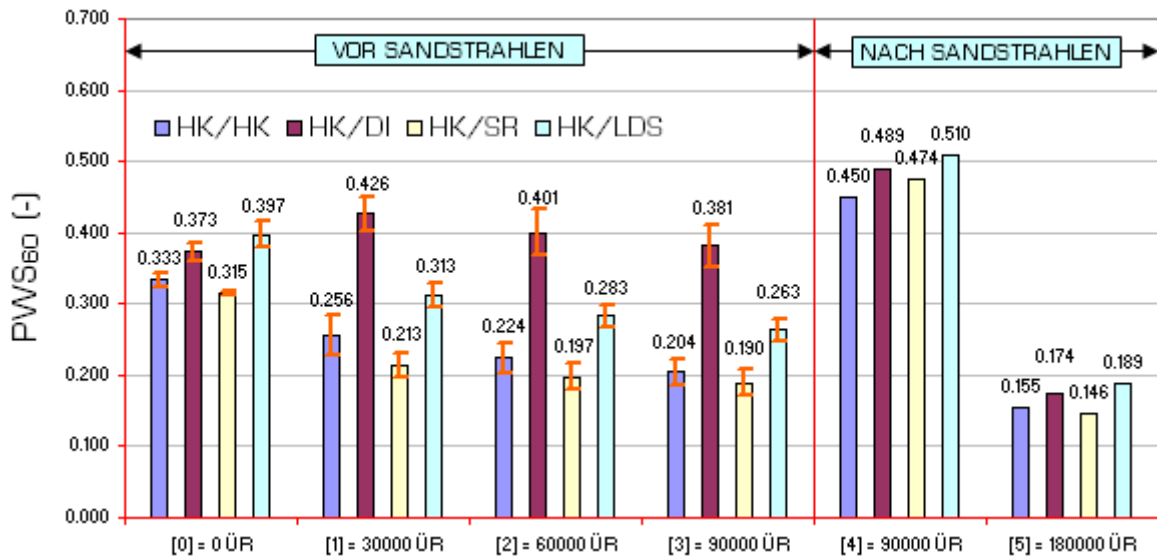


Abb. 5-36: Entwicklung des Polierwertes in Abhängigkeit von der B-Stufe für PR 2

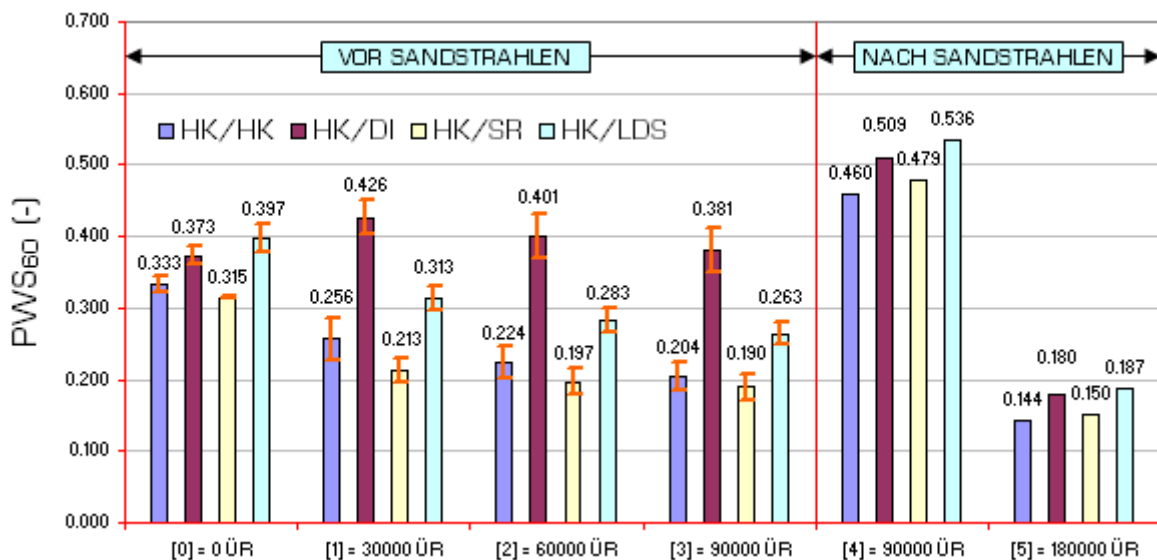


Abb. 5-37: Entwicklung des Polierwertes in Abhängigkeit von der B-Stufe für PR 4

Die Polierwerte beim HK/HK und beim HK/SR Mischgut im Bereich vor dem Sandstrahlen verhalten sich sowohl beim unpolierten Zustand - B-Stufe (0), als auch bei den B - Stufen von (1) bis (3) der Sandpolierprüfung analog (siehe Kapitel 5.4.3). Sowohl bei den Sandproben, als auch bei den Asphaltproben zeigt der SR niedrigere PWS_{60} -Werte im Vergleich mit dem HK (siehe Abb. 5-36 und Abb. 5-37).

Die Situation bei den HK/DI und HK/LDS Mischungen ist nur bei dem unpolierten Zustand (0) wie bei der Sandpolierprüfung in gleicher Größe, dann sieht man bei denen zwischen B - Stufe (1) und (3) eine stark ausgeprägte umgekehrte Griffigkeitsentwicklung. Der Polierwertabfall in diesem Bereich ist bei dem HK/DI - Mischgut um ca. 26 % bis 31 % höher als der Polierwert bei dem HK/LDS - Mischgut (siehe Abb. 5-36 und Abb. 5-37).

Nach dem Sandstrahlen sowohl bei Probereihe 2 als auch bei Probereihe 4 bildet sich eine deutlich ausgeprägte, aufgeraute Probenoberfläche. Außerdem entstehen Rautiefen zwischen den gröberen Mineralstoffkörnern infolge einer Entfernung des feinen Bitumenfilms und teilweise der Sandfraktionen. Das führt zu deutlichen Erhöhungen der PWS_{60} -Werte (siehe Abb. 5-36 und Abb. 5-37). Der relativ hohe Abfall der Polierwerte zwischen den B-Stufen (4) und (5) ist darauf zurückzuführen, dass beim Aufrauen der Probenoberfläche nicht nur der verbleibende Bitumenfilm entfernt wird, sondern auch die Mikrotextur der Splittkomponenten teilweise verletzt und der Grad der Schärfe der zum Vorschein kommenden Kalksteinsplittkörner erhöht wird. Infolgedessen entstehen die hohe Polierwerte, die nach dem nachfolgenden Poliervorgang aufgrund des, durch das Sandstrahlen, fehlenden polierresistenten Sandes rasch in einem Bereich von 63 % bis 67 % bei allen Asphaltproben abfallen.

Die PWS_{60} -Werte bei den polierresistenten Gesteinen (r) der Korngruppe 0/2 mm in der letzten Beanspruchungsstufe sowohl bei der Probereihe 2 als auch bei der Probereihe 4 (siehe Abb. 5-36 und Abb. 5-37) verhalten sich den Polierwerten der Sandpolierprüfung analog (siehe Kapitel 5.4.3). Das HK/LDS - Mischgut weist hier einen PWS_{60} -Wert um 3,7 % bis 8 % höher als das HK/DI - Mischgut auf. Auch dies bestätigt die Ergebnisse aus der Sandpolierprüfung, bei der die LDS einen um 1,2 % höheren PWS_{60} -Wert als das Diabasgestein aufwies.

Bei der Sandpolierprüfung wies der HK einen wenig höheren PWS_{60} -Wert als der SR auf. Dieselbe Situation ergab sich bei der Asphaltprüfung der Probereihe 2. Auch hier weist das HK/HK Mischgut einen wenig höheren PWS_{60} -Wert im Vergleich zu dem HK/SR - Mischgut (siehe B-Stufe (5) in Abb. 5-36) auf. Bei der Probereihe 4 hingegen zeigt das HK/HK - Mischgut niedrigere Polierwerte im Vergleich zu dem HK/SR - Mischgut (siehe B-Stufe (5) in Abb. 5-37).

In Anbetracht dessen, dass zwei verschiedene Sandstrahlprogramme verwendet werden, dass sich die Standardabweichungen der Messergebnisse im Bereich der Messunsicherheiten befinden und dass eine ideale Homogenität der Prüfoberflächen nicht immer erreicht werden konnte, kann man zusammenfassen, dass die Ergebnisse aus der Asphaltpolierprüfung die Ergebnisse aus der Sandpolierprüfung bestätigen, wo die LDS den höchsten und der SR den niedrigsten Polierwert zeigt.

Die in Tab. 5.11 dargestellten Werte zeigen die Veränderung der Messergebnisse sowohl in Bezug auf den unbeanspruchten Zustand (0), als auch in den Bereichen zwischen den Beanspruchungsstufen (1) - (2), (2) - (4), (3) - (4) und (4) - (5). Im Bereich vor dem SSB wurde der Mittelwert (MW) zwischen den beiden Proben genommen.

Tab. 5.11: PWS₆₀ Unterschiede vor und nach SSB der beiden Probereihen

AC11 TYP	HK/HK		HK/DI		HK/SR		HK/LDS	
Probereihen Nummer	2 und 4 - MW		2 und 4 - MW		2 und 4 - MW		2 und 4 - MW	
VOR SSB	Δ PWS ₆₀ [%]		Δ PWS ₆₀ [%]		Δ PWS ₆₀ [%]		Δ PWS ₆₀ [%]	
[0] - [1]	- 23.0		14.2		- 32.4		- 21.2	
[0] - [2]	- 32.9		7.4		- 37.4		- 28.7	
[0] - [3]	- 38.7		2.1		- 39.8		- 33.7	
[1] - [2]	-12.8		- 6.0		- 7.5		- 9.6	
[2] - [3]	- 8.6		- 4.9		- 3.7		- 6.9	
Probereihen Nummer	2	4	2	4	2	4	2	4
NACH SSB	Δ PWS ₆₀ [%]		Δ PWS ₆₀ [%]		Δ PWS ₆₀ [%]		Δ PWS ₆₀ [%]	
[0] - [4]	35.0	38.0	31.1	36.5	50.6	52.0	28.4	34.9
[0] - [5]	- 53.6	- 56.9	- 53.4	- 51.7	- 53.6	- 52.4	- 52.3	- 52.8
[3] - [4]	120.1	125.1	28.3	33.6	150.1	152.5	93.6	103.4
[4] - [5]	- 65.6	- 68.8	- 64.4	- 64.6	- 69.2	- 68.7	- 62.9	- 65.0

Im Bereich vor dem Sandstrahlen gibt es bei allen AC11 Mischungen außer bei HK/DI eine Abnahme des Polierwertes in Bezug auf den unbeanspruchten Zustand. Die Abnahme des PWS₆₀- Wertes bei dem HK/HK bewegt sich im Bereich von 23 % bis 39 % und bei HK/LDS von 21 % bis 34 %. Das HK/SR Mischgut zeigt einen größeren Abfall im Vergleich zu HK/HK und HK/LDS von 32 % nach 30.000 ÜR und 37 % nach 60.000 ÜR. Der HK/DI Mischgut weist eine Erhöhung des PWS₆₀- Wertes von 14 % nach 30.000 ÜR auf. Danach nimmt der PWS₆₀-Wert wieder ab und sinkt nach insgesamt 90.000 ÜR auf +2 % gegenüber dem Ausgangszustand (0). Das wichtigste dabei ist, dass obwohl er bei den Stufen (1) und (3) abnimmt, in der Stufe (3) positiv im Vergleich zum unpolierten Zustand bleibt. Im Bereich der relativen Veränderungen ist die Abnahme des Polierwertes bei der HK/HK und der HK/LDS höher als bei den anderen zwei Mischungen (siehe Abb. 5-38 und Abb. 5-39).

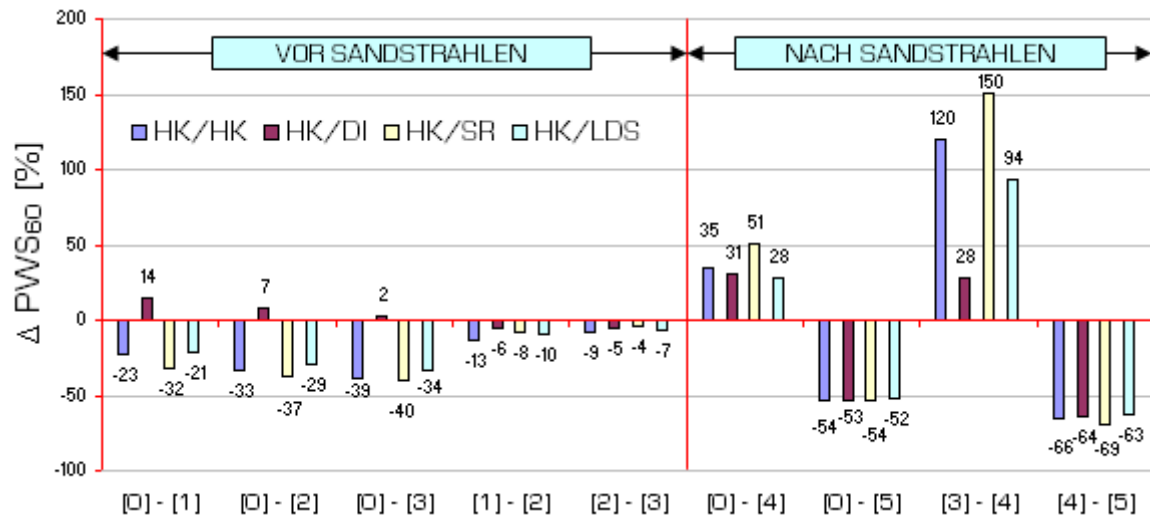


Abb. 5-38: PWS₆₀ Unterschiede vor und nach Sandstrahlen der PR 2

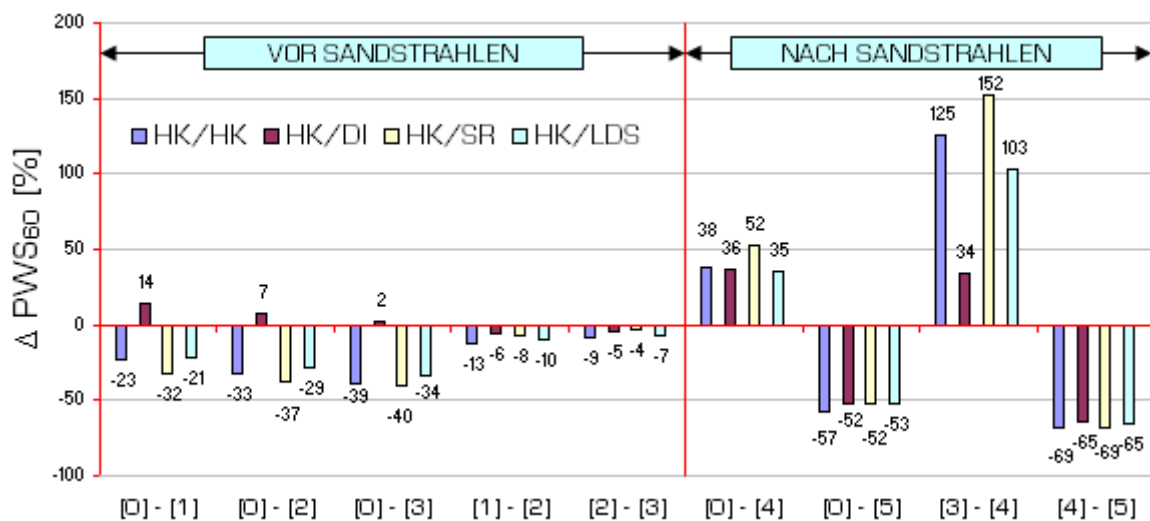


Abb. 5-39: PWS₆₀ Unterschiede vor und nach Sandstrahlen der PR 4

Die stärksten Veränderungen der PWS₆₀-Werte außer bei dem HK/DI erscheinen zwischen Stufe (3) und Stufe (4) d.h. gerade vor- und nach Sandstrahlen. Bei allen ist die Veränderung positiv und schwankt von 94 % bis über 150 %, außer bei dem Diabas, wo die Veränderung ca. 30 % ist. Es ist auch gut zu sehen, dass die Polierwerterhöhungen bei dem Programm 4 etwas mehr als bei dem Programm 2 sind (siehe [3] - [4] der Abb. 5-38 und Abb. 5-39). In Bezug auf unpolierten Zustand ist die Erhöhung zwischen den Polierwerten nach dem Sandstrahlbehandlung außer bei dem HK/SR ungefähr konstant. Der HK/SR steigt bis um mehr als 50 % (siehe [0] - [4] der Abb. 5-38 und Abb. 5-39). Nach dem nachfolgenden Poliervorgang bei B-Stufe (5) fällt der Polierwert um 63 % bis 67 % gegenüber B-Stufe (4) bei allen Asphaltproben ab. Wenn man die letzte Stufe mit dem unpolierten Zustand vergleicht, ist zu sehen, dass sich alle Polierwertabnahmen im Bereich von 52 % bis 57 % verän-

dern (siehe [0] - [5] der Abb. 5-38 und Abb. 5-39). D.h. das gewählte Versuchsprogramm ergibt eine 50 % - ige Abnahme des Polierwertes.

Für die Beurteilung des Sandstrahleinflusses ist eine Gegenüberstellung zwischen den beiden in diesem Versuchsprogramm verwendeten Einstellprogrammen der Strahlkabine in Abhängigkeit der Messergebnisse zu erstellen. Wenn man nur den Bereich "NACH SANDSTRAHLEN" die B-Stufe (4) in Abb. 5.36 und Abb. 5.37 anschaut, ist es zu sehen, dass bei dem Programm 4 (Sandstrahlbehandlungszeit: 1 min und 50 sec), das nur halb so viel im Vergleich mit Programm 2 (Sandstrahlbehandlungszeit: 3 min und 35 sec) die Probenoberfläche mit Korund behandelt (siehe auch Anhang D: Kapitel 1.4 - "Steuerungseinheit" der AA610 - "Sandstrahlen von Asphalt- und Betonprobekörpern für das Verfahren nach Wehner/Schulze"), die PWS_{60} -Werte entsprechend höher sind. Das ist darauf zurückzuführen, dass bei einer schwachen im Vergleich zu einer starken Sandstrahlbehandlung die feinsten Kornkomponenten weniger weggestrahlt werden und die verbleibenden Sandkörner weiterhin einen Einfluss auf die Griffigkeit ausüben. Darüber hinaus kann man behaupten, dass je länger eine Strahlbehandlung dauert, sich ein desto höherer Abnutzungszustand einstellt.

Bei der Beurteilung des Sandstrahleinflusses kann man auf Basis der Endgleitbewerte zusammenfassen, dass die Unterschiede zwischen den beiden Strahlbehandlungsstufen nicht stark ausgeprägt sind (siehe Abb. 5-40). Bei den AC11 Mischungen mit den hoch polierresistenten Sandklassen gibt es fast keine Unterschiede und bei den Vertretern der niedrigeren Polierklassen sind die Unterschiede minimal - bis um 0,011. Unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten bei der PWS_{60} -Wert Bestimmung sowie der Toleranzen bei der Probekörperherstellung ist festzustellen, dass die beiden Einstellprogrammen nach der letzten Beanspruchungsstufe keine Unterschiede der Endgriffigkeiten bewirken.

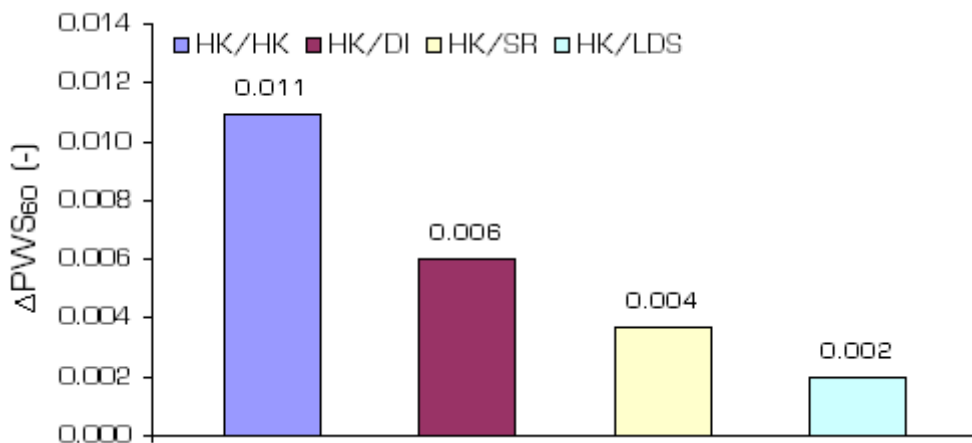


Abb. 5-40: PWS_{60} (-) Unterschiede zwischen Probereihen 2 und 4 in B-Stufe (5)

Schließlich ist es wichtig zu betonen, dass in den zukünftigen Griffigkeitsuntersuchungen mit dem Wehner/Schulze Verfahren im Zusammenhang mit Abnutzungssimulationen mit dem Sandstrahlverfahren, sowohl die schon verwendeten Programmeinstellungen der Strahlkabine als auch die anderen - Programm 1, Programm 3, Programm 5 und Programm "Hand" (siehe Arbeitsanweisung AA610 in Anhang D) verwendet werden sollten, um eine deutliche Beurteilung des Einflusses des Sandstrahlens

auf die Griffigkeit von Asphaltoberflächen zu ermöglichen. Es ist für die Beurteilung in den weiteren Untersuchungen auch wichtig, dass mehr als zwei Einzelasphaltproben eines Mischgutes geprüft werden.

Im Rahmen dieser Arbeit sind keine vertiefenden Gesteinsuntersuchungen vorgesehen gewesen und somit kann keine genaue Aussage über die Erhöhung des Polierwertes bei dem Asphaltmischgut mit dem Diabas zwischen der ersten und dritten Beanspruchungsstufe gemacht werden. Eine mögliche Erklärung des Polierverhaltens bei dem Diabas im Vergleich zu dem bei der LD-Schlacke wäre, dass bei dem Diabas die Bitumenanhaftung infolge seiner eventuell nicht stark ausgeprägten Mikrotextur schwächer ist und während dem Poliervorgang der Bitumenfilm leichter entfernt wurde. Dadurch kommt die hohe Polierresistenz des Diabases voll zum Tragen und kompensiert das leichtpolierfähige Splittkorn. Die Situation bei der LD-Schlacke ist umgekehrt. Sie besitzt eventuell eine gut ausgeprägte Mikrotextur, die den Bitumenfilm während dem ersten Teil des Poliervorgangs hält und infolgedessen nimmt der PWS_{60} -Wert so stark ab.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, dass das Sandstrahlen mit den verwendeten Programmen der Strahlkabine zu stark erscheint (siehe Abb. 5-41). Bei den zukünftigen Untersuchungen muss man eventuell mit weniger Druck sandstrahlen.

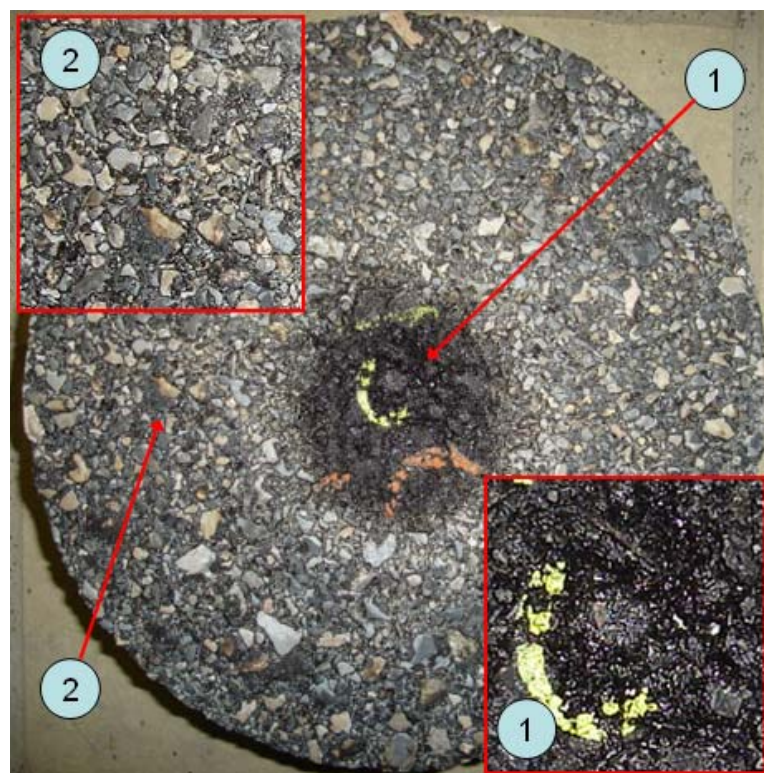


Abb. 5-41: Probekörperoberfläche bei Ausgangszustand (1) und nach SSB (2)

Im Rahmen dieser Arbeit war auch unmöglich nachzuweisen, ob das Sandstrahlen wie bei Huscheck (2002) angeführt wirklich eine Liegedauer von 4 bis 6 Jahren simuliert, weil wir keinen Vergleich mit der Straße gehabt haben.

6. ZUSAMMENFASSUNG

6.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Straßengriffigkeit ist aufgrund ihrer unmittelbaren Auswirkung auf die Verkehrssicherheit vor allem bei Nässe eine wesentliche Kenngröße im heutigen und zukünftigen Straßenbau. Sie ist bei Deckschichten u.a. von dem Polierwiderstand des verwendeten Gesteinsmaterials abhängig. Die an der TU Berlin durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass bei den feinkörnigen Deckschichten die feineren Fraktionen ≤ 4 mm, eine Erhöhung der Fahrbahngriffigkeit leisten können. Daher erscheint bei der Beurteilung der Polierresistenz des Gesteinsmaterials, dass die Berücksichtigung der Polierresistenz des Sandes für die Griffigkeit der Straßenoberfläche sinnvoll ist. Für neue Fahrbahndecken bzw. neue Deckschichten der A+S - Straßen sind in den derzeit gültigen österreichischen Richtlinien neue Anforderungen für die Griffigkeit bzw. für die Reibungsbeiwerte gestellt.

Im Rahmen der gegenständlichen Forschungsarbeit wird der Einfluss der Polierresistenz von vier in Österreich gewinnbaren Sanden (≤ 2 mm) auf die Griffigkeit von Asphaltbeton (AC11) untersucht. Dafür wird in einem ersten Schritt deren Polierresistenz mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze ermittelt. In einem zweiten Schritt wird auf Basis der erhaltenen Ergebnisse der Polierresistenzbestimmung untersucht, ob sich durch die Verwendung von polierresistenten bzw. wenig polierresistenten Sanden im Zusammenhang mit einem wenig polierwiderstandsfähigen Splitt im Asphaltmischgut ein unterschiedliches Griffigkeitsniveau des Asphaltbetons AC11 einstellt.

Ziel des gegenständlichen Versuchsprogramms ist es, einerseits den Einfluss der feinen Fraktionen auf die Griffigkeit von Asphaltbetonen zu beurteilen, andererseits auch den Einfluss des Sandstrahlens auf die Griffigkeitsentwicklung von im Labor hergestellten Asphaltprobekörpern zu beschreiben.

Nach der Analyse aller Versuchsergebnisse erfolgt eine umfassende Beurteilung unter Berücksichtigung des Aspekts Polierwiderstand der verwendeten Gesteinsarten. Die bei dieser Arbeit gewonnenen Erfahrungen sollen somit zu einer weiteren Entwicklung des Wehner/Schulze Verfahrens im Zusammenhang mit dem Einfluss des Sandstrahlens bei der Untersuchung der Griffigkeit von Asphaltdeckschichten beitragen.

6.2 Versuchsprogramm

Das ganze Versuchsprogramm wurde in drei Phasen geteilt.

- Phase 1: Gesteinsaufbereitung
- Phase 2: Sandpolierprüfung
- Phase 3: Asphaltpolierprüfung

In Phase 1 wird aus der Korngruppe 0/2 mm die Fraktion 0,2/0,4 mm von vier in Österreich gewinnbaren Gesteinen - Dolomitischer Kalkstein (HK), Diabas (DI), Serpentin (SR) und LD-Schlacke (LDS), die in Asphaltdeckschichten Anwendung finden, zuerst nass und dann noch einmal trocken ausgesiebt.

In Phase 2 wird die ausgesiebte Prüfkörnung 0,2/0,4 mm auf eine Sperrholzplatte mit einem Durchmesser von 22,5 cm aufgeklebt. Es werden drei Probenplatten jeder Gesteinsart vorbereitet also insgesamt zwölf Proben. Jede Probe wird mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze einer Polierbeanspruchung von 90.000 Überrollungen (ÜR) unterzogen. Nach der Polierbeanspruchung wird der Polierwert gemäß RVS 11.06.23 bestimmt. In dieser Arbeit werden auf Basis der Ergebnisse der Sandpolierprüfung die untersuchte Gesteine in zwei Klassen (r - mehr polierresistent) und (n - weniger polierresistent) bei einer Grenze von 0,45 geteilt.

In Phase 3 wird auf Grund der Ergebnisse der in Phase 2 durchgeführten Sandpolierprüfung untersucht, ob sich durch die Verwendung von polierresistenten bzw. wenig polierresistenten Sanden, unter Beibehaltung des selben Gesteins für die Splittkomponenten, eine bessere Griffigkeit des Asphaltbetons AC11 erzielen lässt. Für das Asphaltmischgut wird nach ÖNORM B3580 -1 (2006) die Bitumensorte **70/100** vorgesehen. Es werden unter Laborbedingungen mittels Zwangsmischer und Walzsegmentverdichter insgesamt vier AC11 - Asphaltplatten mit einer Dicke von 5 cm hergestellt. In weiterer Folge werden aus den vier Asphaltplatten je Platte zwei kreisrunde Asphaltprüfkerne mit einem Durchmesser $d = 22,5$ cm ausgebohrt und in zwei Probereihen unterteilt. Jede Reihe besteht aus jeweils einem Probekörper der vier hergestellten Mischgutarten (AC11). Das Polierverhalten beider Probereihen wird nach 30.000, 60.000 und 90.000 ÜR mit der Wehner/Schulze Maschine untersucht. Danach wird jede Probereihe mit einer eigenen Programmeinstellung der Sandstrahlkabine bei einer Druckluftzufuhr von 5 Bar sandgestrahlt und jeweils vor und nach noch 90.000 ÜR also nach insgesamt 180.000 ÜR deren Polierwert (in weiterer Folge abweichend von RVS 11.06.23 als PWS_{60} bezeichnet) geprüft.

6.3 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse aus der Sandpolierprüfung ergaben eine deutliche Abstufung, die bei dieser Arbeit in zwei Polierresistenz - Klassen mit einer Grenze von 0,45 geteilt wurden.

- $r > 0,45$ - mehr polierresistent
- $n \leq 0,45$ - weniger polierresistent

Vor allem die Sande aus Hartgestein, wie der Diabas, und die LD-Schlacke erzielen hohe Polierwerte an den Sandprobeplatten. Die Sande aus Kalkstein und Serpentin erreichen eher geringere Polierwerte (siehe Kapitel 5.4.3).

Bei der Beurteilung der Ergebnisse im Zusammenhang mit der Plattenherstellung konnte noch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen aufgebrachtener Klebstoffmenge und vorhandener Gesteinsmenge bzw. Gesteinsmenge und ermittelten PWS_{60} gefunden werden.

Die Ergebnisse der Sandpolierprüfung kommen nicht in gleicher Weise bei jeder Beanspruchungsstufe der Asphaltuntersuchung zum Ausdruck. Es zeigt sich, dass sowohl bei den Proben, bei denen ein wenig polierresistenter Sand in der Fraktion 0/2 mm verwendet wurde (HK/HK und HK/SR), als auch bei der LD-Schlacke, die im Prinzip eine sehr hohe Polierresistenz besitzt, ein Griffigkeitsabfall nach 30.000, 60.000 und nach 90.000 ÜR auftritt. Bei dem Diabas ergab sich eine Erhöhung des PWS_{60} - Wertes sowohl nach 30.000 als auch nach 90.000 ÜR. Nach dem Sandstrahlen bildet sich eine deutlich ausgeprägte, aufgeraute Probenoberfläche. Außerdem entstehen Rautiefen zwischen den größeren Mineralstoffkörnern infolge einer Entfernung des feinen Bitumenfilms und teilweise der Sandfraktionen. Das führt zu einer deutlichen Erhöhung der PWS_{60} - Werte. Die guten Eigenschaften der LD-Schlacke erscheinen etwa nach dem Sandstrahlen. Schließlich nach 180.000 ÜR weist der Trend auf, dass sich beim Verwenden von mehr polierresistenten Sanden im Vergleich zu den weniger polierresistenten der Korngruppe 0/2 mm eine bessere Griffigkeit der untersuchten AC11 - Mischungen erzielen lässt (siehe Kapitel 5.5.5).

6.4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Bei der Sandpolierprüfung wurde die Polierresistenz von vier in Österreich gewinnbaren Sanden untersucht und beurteilt. Es hat sich gezeigt, dass bei den untersuchten Gesteinen die PWS_{60} -Werte nach dem Wehner/Schulze Verfahren einen fast eindeutigen Zusammenhang mit den PSV-Werten nach British Standard aufweisen. Um eine genaue Interpretation zu finden, müssen in der Zukunft mehr unterschiedliche Gesteine untersucht und verglichen werden.

Es besteht allerdings die Vermutung, dass zwischen der vorhandenen Gesteinsmenge und dem daraus resultierenden PWS_{60} -Wert ein Zusammenhang besteht. Deswegen sollte man auch in weiter führenden Untersuchungen zum PWS_{60} -Wert von Sanden die Klebstoffmenge und die Gesteinsmenge aufgezeichnet werden, um in der Zukunft eine genaue Aussage treffen zu können.

Die Ergebnisse der Asphaltpolierprüfung zeigen, dass das gewählte Versuchsprogramm eine 50 %-ige Abnahme des Polierwertes nach Sandstrahlen und nach insgesamt 180.000 ÜR ergibt.

In Anbetracht dessen, dass zwei verschiedene Sandstrahlprogramme verwendet werden, dass sich die Standardabweichungen der Messergebnisse im Bereich der Messunsicherheiten befinden und dass eine ideale Homogenität der Prüfoberflächen nicht immer erreicht werden konnte, kann man zusammenfassen, dass die Ergebnisse aus der Asphaltpolierprüfung die Ergebnisse aus der Sandpolierprüfung bestätigen, wo die LD-Schlacke die höchste und der Serpentin die niedrigsten Polierwerte zeigt. Außerdem ist zu empfehlen, die Asphaltmischungen sowohl mit dem Diabas als auch mit der LD-Schlacke wegen fehlerhafter Plattenherstellung nochmals zu untersuchen, um eine genaue Aussage über deren Polierverhalten finden zu können.

Bei der Beurteilung des Sandstrahleinflusses kann man auf Basis der Endgleitbewerte zusammenfassen, dass die Unterschiede zwischen den beiden Strahlbehandlungsstufen nicht stark ausgeprägt sind. Schließlich ist es wichtig zu betonen, dass in den zukünftigen Griffigkeitsuntersuchungen mit dem Wehner/Schulze Verfahren im Zusammenhang mit Abnutzungssimulationen mit dem Sandstrahlverfahren, sowohl die schon verwendeten Programmeinstellungen der Strahlkabine als auch die anderen - Programm 1, Programm 3, Programm 5 und Programm - "Hand" verwendet werden sollten, um eine deutliche Beurteilung des Einflusses des Sandstrahlens auf die Griffigkeit von Asphaltoberflächen zu ermöglichen. Es ist für die Beurteilung in den weiteren Untersuchungen auch wichtig, dass mehr als zwei Einzelasphaltproben eines Mischgutes geprüft werden. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen auch, dass das Sandstrahlen mit den verwendeten Programmen der Strahlkabine zu stark erscheint. In der Zukunft muss man eventuell mit weniger Druck sandstrahlen.

Im Rahmen dieser Arbeit war es auch unmöglich nachzuweisen, ob das Sandstrahlen wie bei Huscheck (2002) angeführt wirklich eine Liegedauer von 4 bis 6 Jahren simuliert. Um solche Schlussfolgerungen zu erzielen, müssen Straßenproben und Laborproben in der Zukunft verglichen werden.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 3-1: Definition des Reibungsbeiwertes (Pfeiler, 2004).....	4
Abb. 3-2: Kräfteübertragung bei Gleitreibung	5
Abb. 3-3: Reibungsbeiwert - Schlupf - Kurve nach (KUMMER et al., 1970).....	6
Abb. 3-4: Einflussparameter auf die Reibung zwischen Reifen und Straßenoberfläche [vereinfachte Darstellung nach Pfeiler, 2004]	8
Abb. 3-5: Darstellung eines Oberflächenprofils (Pestalozzi et al, 2003)	9
Abb. 3-6: Mega-, Makro- und Mikrotextr (Sandberg et al., 2002).....	9
Abb. 3-7: Wellenspektrum der Fahrbahnoberfläche und ihre Auswirkung (FGSV, 2000)	11
Abb. 3-8: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes von der Struktur der Oberfläche [Zipkes, 1984]	12
Abb. 4-1: Poliersimulator (Photo: Pfeiler 2004) und Prinzipskizze (FSV, 1986).....	14
Abb. 4-2: Prüfkörper und schematische Darstellung der Befestigung auf dem Prüfrad (Photo: Pfeiler, 2004) bzw. (FSV, 1986).....	15
Abb. 4-3: Pendelgerät nach BS 812:1975 und Prinzipskizze (FSV, 1986).....	16
Abb. 4-4: Oberflächen zur Prüfung auf Polierresistenz nach Wehner/Schulze (Huschek, 2002)	17
Abb. 4-5: Bewertungshintergrund für die Polierresistenz - PWS nach Wehner/Schulze (Huschek, 2002)	17
Abb. 4-6: Simulation der Verkehrsbeanspruchung (Huschek, 2002)	18
Abb. 4-7: Prinzip der Griffigkeitsmessung nach Wehner/Schulze mit der LGM (Huschek, 2002)	19
Abb. 4-8: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm.....	20
Abb. 4-9: Auswertungstabelle	20
Abb. 4-10: Wehner/Schulze Maschine - Teil Poliergerät	21
Abb. 4-11: Wehner/Schulze Maschine - Teil LGM.....	22
Abb. 5-1: Schematischer Versuchsablauf der Phase 1 und 2	24
Abb. 5-2: Schematischer Versuchsablauf der Phase 3	25
Abb. 5-3: Kornklasse 0,2/0,4 mm der verwendeten Gesteine	27
Abb. 5-4: Abkleben der Bohrlöcher an der Unterseite der Platten mit Isolierband	28
Abb. 5-5: Kleberauftragung und Verteilung	29
Abb. 5-6: Gesteinseinrieseln mittels Klopfen gegen die Siebwand	29
Abb. 5-7: Sand mittels Walzen im Klebebett eindrücken	30
Abb. 5-8: Entfernen der überschüssigen Sandmenge	30
Abb. 5-9: Lösen der Isolierbänder und Entfernen des lose anhaftenden Gesteins	31
Abb. 5-10: Bohrlöcher vom aufgeklebten Sand befreien.....	31

Abb. 5-11: Kalibrieren der verwendeten Prüfgummis	32
Abb. 5-12: Einbauen der Sandprobeplatte	33
Abb. 5-13: Poliervorgang unter konstanter Zugabe von Q/W-G.....	33
Abb. 5-14: Spülen der Probeoberfläche von Poliermittel und Sandabrieb	34
Abb. 5-15: Abbremsvorgang und die entsprechende Aufzeichnung.....	34
Abb. 5-16: Probe ausbauen	35
Abb. 5-17: Holzträgerplatte, Sandprüfplatte und polierte Sandprüfplatte	35
Abb. 5-18: Ergebnisse der Sandpolierprüfung PWS_{60} sowie Angabe der PSV - Werte des Grundmaterials (Splitt 8/11 mm)	36
Abb. 5-19: Ergebnisse der Sandpolierprüfung der Klassen (r) und (n)	37
Abb. 5-20: Zusammenhang zwischen PSV und PWS_{60} nach W/S	38
Abb. 5-21: Vorläufige Ergebnisse der TU Wien über den Zusammenhang PWS_{60} und PSV	39
Abb. 5-22: Zusammenhang - Gesteinsmenge (g) / Klebstoffmenge (g).....	40
Abb. 5-23: Zusammenhang - Gesteinsmenge (g) / PWS_{60} (-)	40
Abb. 5-24: Für AC11 zugrundeliegende Korngrößenverteilung	43
Abb. 5-25: Labormischer für Asphalt	43
Abb. 5-26: Walzsegment - Verdichtungsgerät (WSV).....	44
Abb. 5-27: Fertig hergestellte Platte und ausgeschalte nach der Abkühlphase	45
Abb. 5-28: Ausbohren der Kreisbohrkerne aus der Asphaltprobeplatte	46
Abb. 5-29: Ergebnisse aus der Rohdichtebestimmung des AC11	47
Abb. 5-30: Ergebnisse aus der Raumdichtebestimmung des AC11	47
Abb. 5-31: Hohlraumgehalte des untersuchten AC11	48
Abb. 5-32: Aufzeichnung des Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramms	51
Abb. 5-33: Probekörper bei B-Stufe [0] (links) und bei B-Stufe [5] (rechts)	51
Abb. 5-34: Verlauf des Gleitbeiwerts von (0) bis (5) jedes Mischguts bei PR 2	53
Abb. 5-35: Verlauf des Gleitbeiwerts von (0) bis (5) jedes Mischguts bei PR 4	53
Abb. 5-36: Entwicklung des Polierwertes in Abhängigkeit von der B-Stufe für PR 2	54
Abb. 5-37: Entwicklung des Polierwertes in Abhängigkeit von der B-Stufe für PR 4	54
Abb. 5-38: PWS_{60} Unterschiede vor und nach Sandstrahlen der PR 2.....	57
Abb. 5-39: PWS_{60} Unterschiede vor und nach Sandstrahlen der PR 4.....	57
Abb. 5-40: PWS_{60} (-) Unterschiede zwischen Probereihen 2 und 4 in B-Stufe (5).....	58
Abb. 5-41: Probekörperoberfläche bei Ausgangszustand (1) und nach SSB (2).....	59

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 5.1: Liste der ins Versuchsprogramm aufgenommenen Gesteine.....	26
Tab. 5.2: Ergebnisse der Sandpolierprüfung	36
Tab. 5.3: Klassenbildung nach dem Sandpoliervorgang	37
Tab. 5.4: Ergebnisse der vier untersuchten Proben nach den beiden Verfahren	38
Tab. 5.5: Mischkombinationen für den AC11	42
Tab. 5.6: Plattenbezeichnungen.....	46
Tab. 5.7: Standard Programm für Griffigkeitsprognose an der TU Berlin	49
Tab. 5.8: Gewähltes Programm für die Griffigkeitsuntersuchungen am AC11	49
Tab. 5.9: Gleitbeiwerte der Probereihe 2 (Mittelwerte von 0 bis 90.000 ÜR)	52
Tab. 5.10: Gleitbeiwerte der Probereihe 4 (Mittelwerte von 0 bis 90.000 ÜR)	52
Tab. 5.11: PWS_{60} Unterschiede vor und nach SSB der beiden Probereihen	56

LITERATURVERZEICHNIS

- BREUER J.-U und V. BAIERL: Einfluss der Splittqualität auf die Griffigkeit und Lebensdauer von Oberflächenbehandlungen an einer Versuchsstrecke, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BMV, Heft 592, Bonn, 1991.
- DAMES J., J.HUFSCHMIDT, J.LINDNER und P.SULTEN: Langfristige Beobachtung des Griffigkeitsverhaltens von Versuchsstrecken, Straße und Autobahn, Heft 11, 1986.
- DAMES J., H.RODEWALD und J.LINDNER: Einfluss der Polierbarkeit von Sand auf die Griffigkeit von Asphaltbetondeckschichten, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 528, Bonn, 1988.
- DAMES J. und J.LINDNER: Ermittlung der Endpolierwerte von im Straßenbau verwendeten Gesteinen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 574, 1989.
- DAMES J. und J.LINDNER: Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Mineralstoffe auf das Gebrauchsverhalten von Asphaltdeckschichten hinsichtlich Griffigkeit, Querebenheit und Reifengeräuschen, Schlussbericht zu FENr. 6.061 G 93 E, Berlin, 1997.
- DAMES J.: Untersuchungen zur Sandpolierprüfung in Anlehnung an BS 812, Schlussbericht zu FE-Nr. 06.068/1996/CGB, Berlin, 2000a.
- DAMES J. und J.LINDNER: Griffigkeitsuntersuchungen auf der Splitt-Versuchsstrecke Bamberg A70, Straße und Autobahn, Heft 7, 2000b.
- FREUNDL J: Prüfanlage nach Wehner - Schulze, Beschreibung und Arbeitsanweisung, Wennigsen, Deutschland, 2004.
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
"Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Fahrbahndecken aus Beton", Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2000.
- FSV: Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Wien
RVS 08.97.05, Anforderungen an Asphaltmischgut, Wien, Jänner 2007.
RVS 08.16.01, Anforderungen an Asphaltschichten, Wien, Jänner 2007.
RVS 11.06.23, Prüfverfahren Steinmaterial, Bestimmung des Polierwertes von Sand, Wien, Oktober 2005.
- HUSCHEK S.: Die Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze, Tagungsband zum Kolloquium Fahrbahngriffigkeit, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, Heft 13, Wien, 2002.
- KIRCHMAIER, L.: Bewertung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung an der TU Wien, April 2007.

- KUMMER H.W. und W.E. MEYER: Versuch der Festlegung von Anforderungen an die Griffigkeit von Hauptverkehrsstraßen außerhalb von Ortschaften, In Intern. Kolloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin/München/Düsseldorf, 1970.
- LITZKA J. und E. FRIEDL: Untersuchungen über den maßgebenden Reibungsbeiwert, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 376, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien, 1988.
- LITZKA J: Vorwort, Tagungsband zum Kolloquium Fahrbahngriffigkeit, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, Heft 13, Wien, 2002.
- LITZKA J., A. PFEILER und M. ZIEGER: Der Einfluss des Sandes auf das Griffigkeitsverhalten bituminöser Decken, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 534, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2003.
- MÜLLER W., BUCHTA H., PASS F. und V. VASILJEVIC: Asphalt im Straßenbau, In Asphalt-Handbuch 3. Auflage, Gestrata, Wien, 2002.
- ONI Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM EN 1097-8 (2000): Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 8: Bestimmung des Polierwertes.
- ÖNORM EN 12697-5 (2003): Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt Teil 5: Bestimmung der Rohdichte.
- ÖNORM EN 12697-6 (2003): Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt - Probekörpern.
- ÖNORM EN 12697-8 (2003): Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt Teil 8: Bestimmung von volumetrischen Charakteristiken von Asphalt - Probekörpern.
- ÖNORM B3580-1 (2006): Asphaltmischgut Mischgutanforderungen - Asphaltbeton - Empirischer Ansatz. Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13108-1.
- PESTALOZZI H., H.-J. GROLIMUND, und ANGST CH.: „Lärmarme bituminöse Straßenbeläge innerorts - Statusbericht 2003,“ Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) & Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern, 2003.
- PFEILER, A.: Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstraßen. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung, Heft 16, Wien, 2004.
- TU BERLIN: Prüfanweisung „Prüfung mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze“ Stand: Oktober 2004
- SANDBERG U. und EJSMOND J.A.: „Tyre/road noise reference book,“ Informex, Schweden, 2002.
- SCHULZE K.-H.: Typen der Oberflächenfeingestaltung und ihre Wirkung auf den Reibungswiderstand bei Nässe, In: Intern. Kolloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin/München/Düsseldorf, 1970a.
- SCHULZE K.-H.: Zur quantitativen Bewertung der Rauheit von Straßenoberflächen in Beziehung zum Reibungswiderstand bei Nässe, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BMV, Heft 103, Bonn, 1970b.

ZIPKES E.: Griffigkeit-Bremsspur-Kraftübertragung, ISETH Mitteilungen, Heft 56, Zürich, 1984

ANHANG A

Sieblinien der Korngruppe 0/2 mm der verwendeten Brechsande

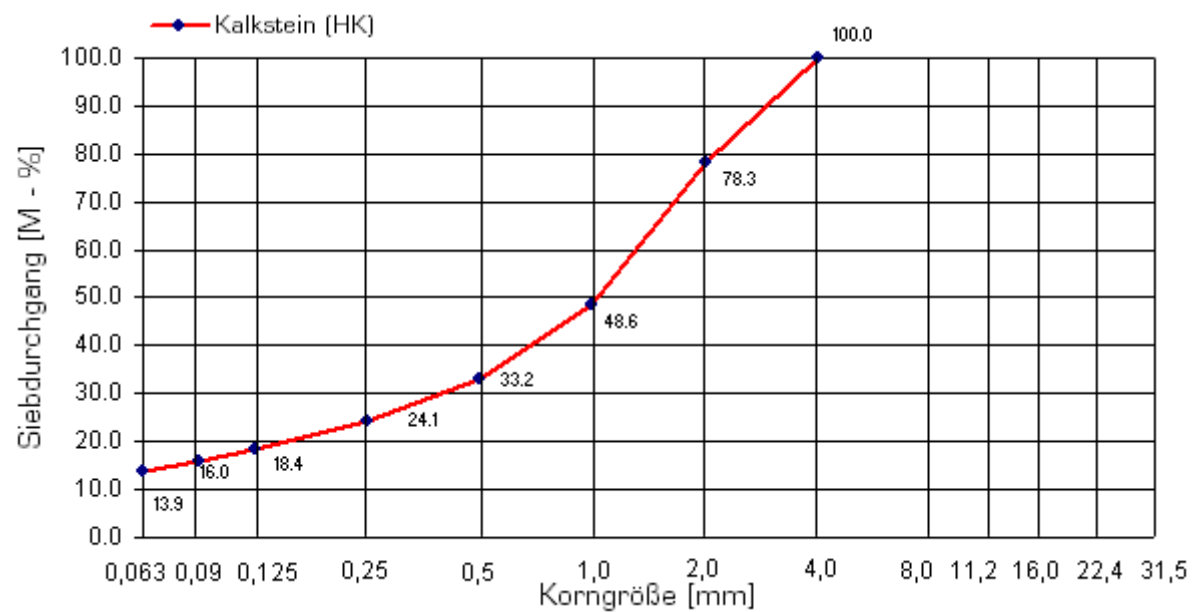


Abb. A-1: Siebline des Brechsandes Kalkstein (HK), Lieferbezeichnung 0/2

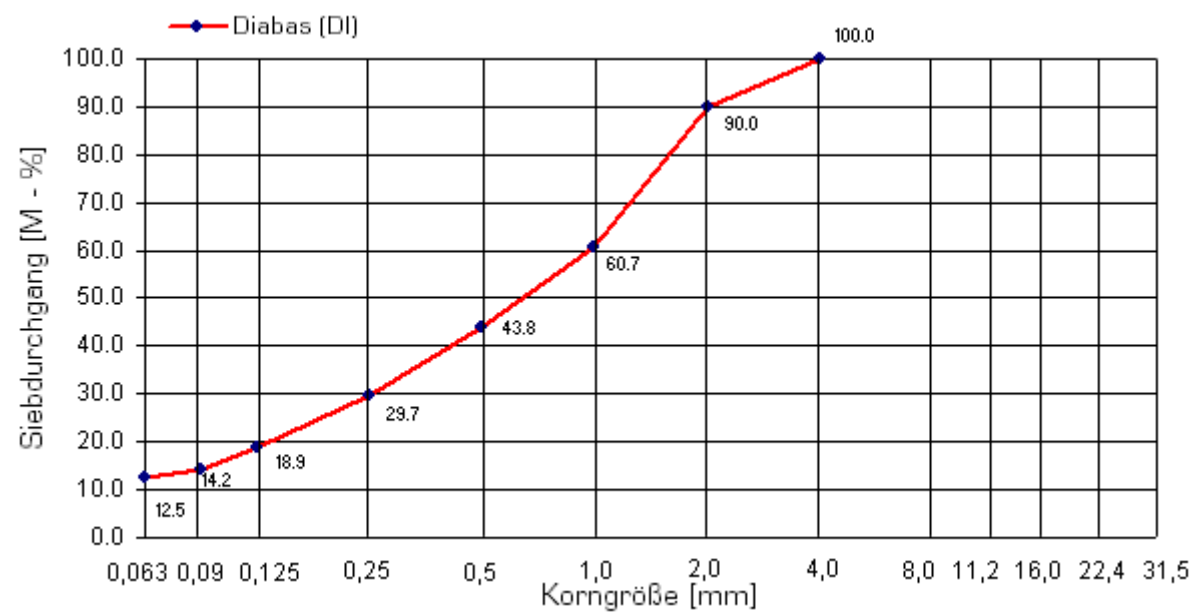


Abb. A-2: Siebline des Brechsandes Diabas (DI), Lieferbezeichnung 0/2

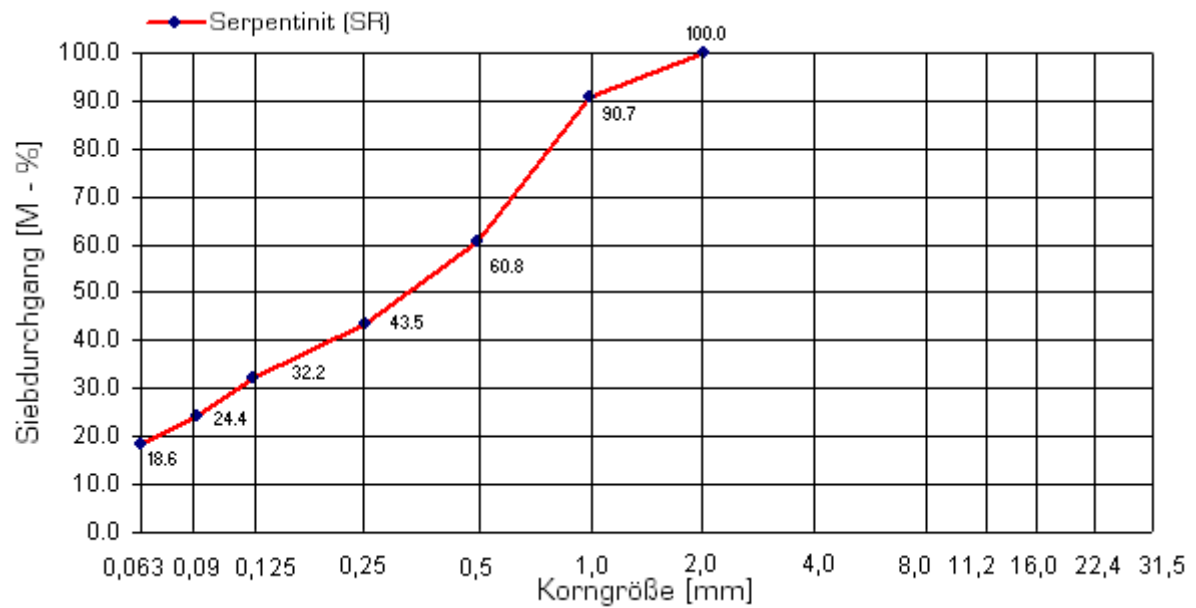


Abb. A-3: Sieblinie des Brechsandes Serpentin (SR), Lieferbezeichnung O/2

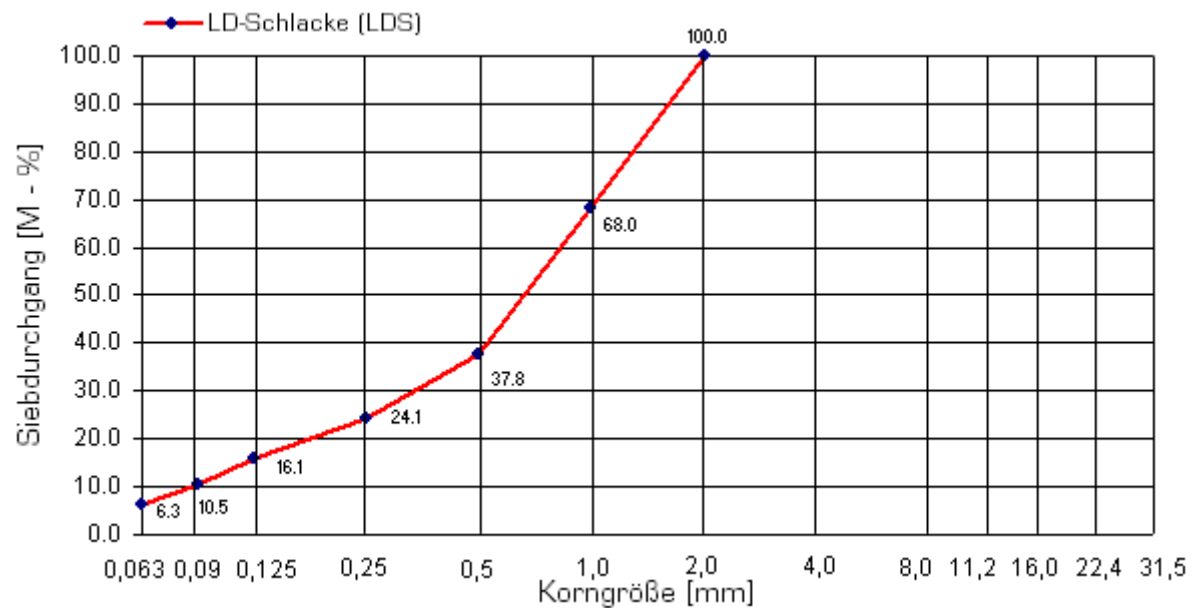


Abb. A-4: Sieblinie des Brechsandes LD-Schlacke (LDS), Lieferbezeichnung O/2

ANHANG B

Ergebnisse der Sandpolierprüfung

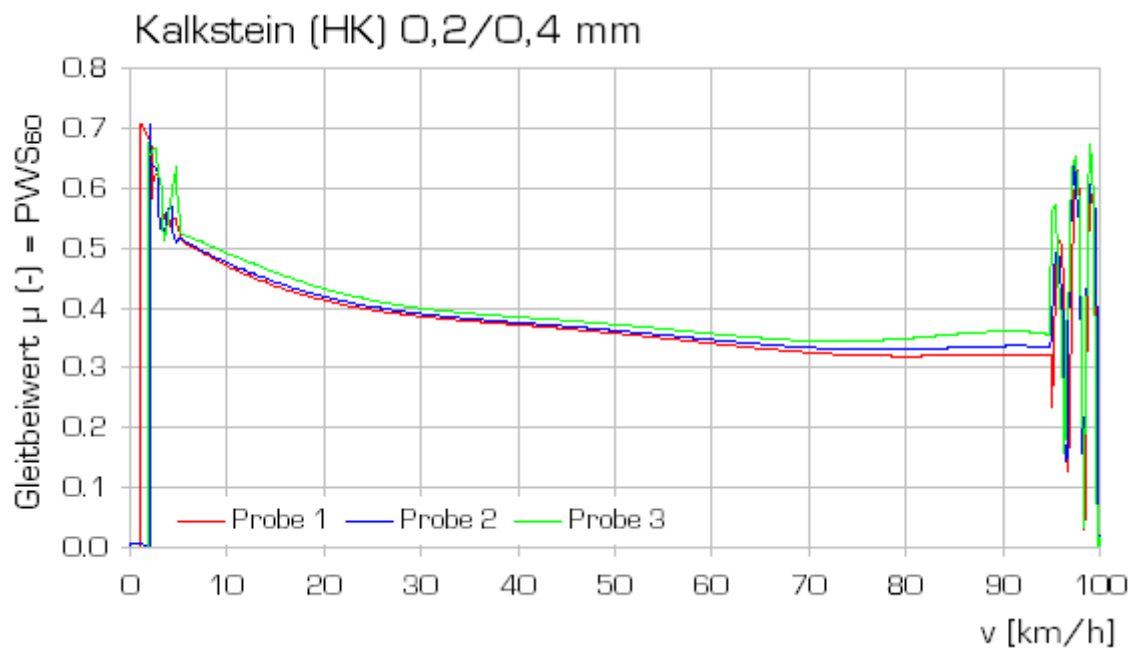


Abb. B-1: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm, Kalkstein (HK)

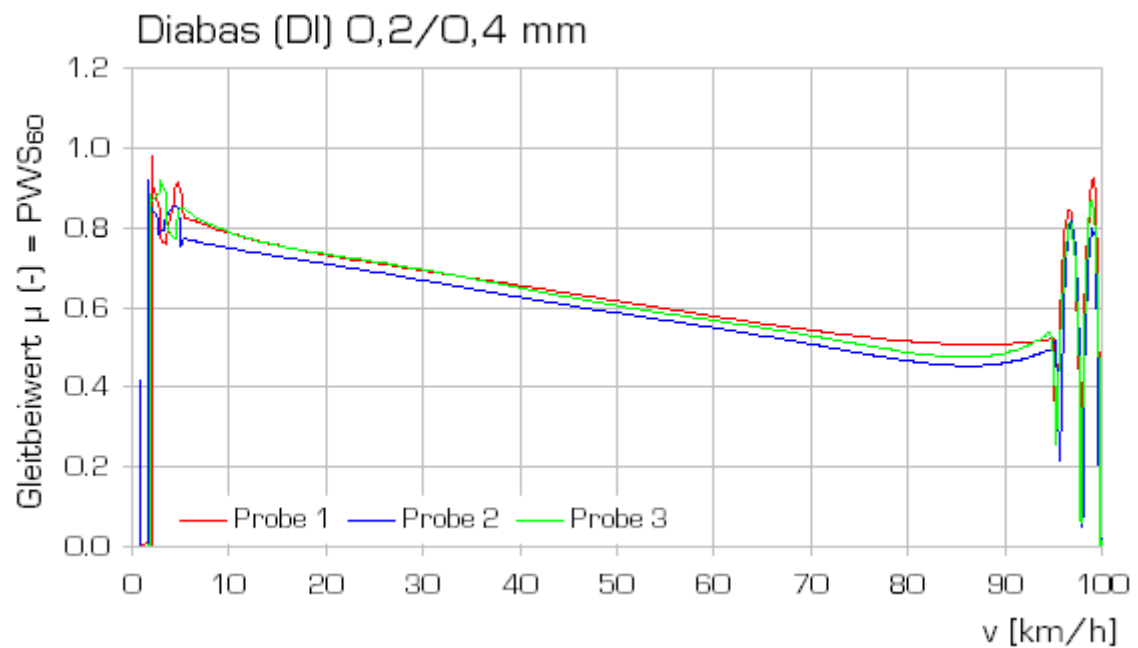


Abb. B-2: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm, Diabas (DI)

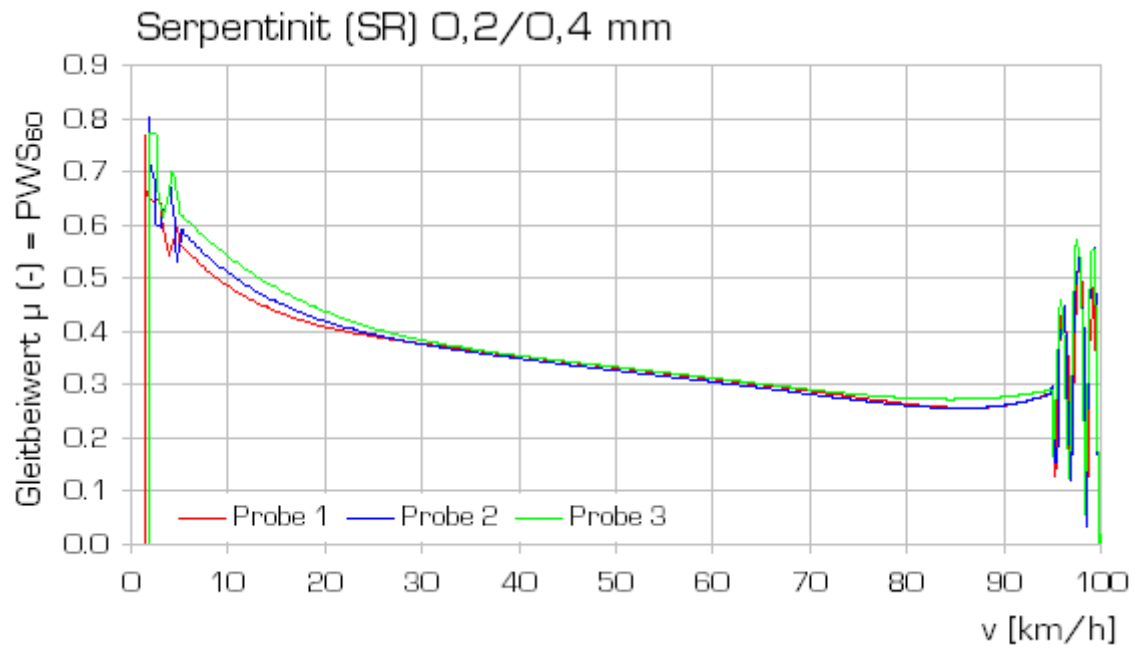


Abb. B-3: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm, Serpentinit (SR)

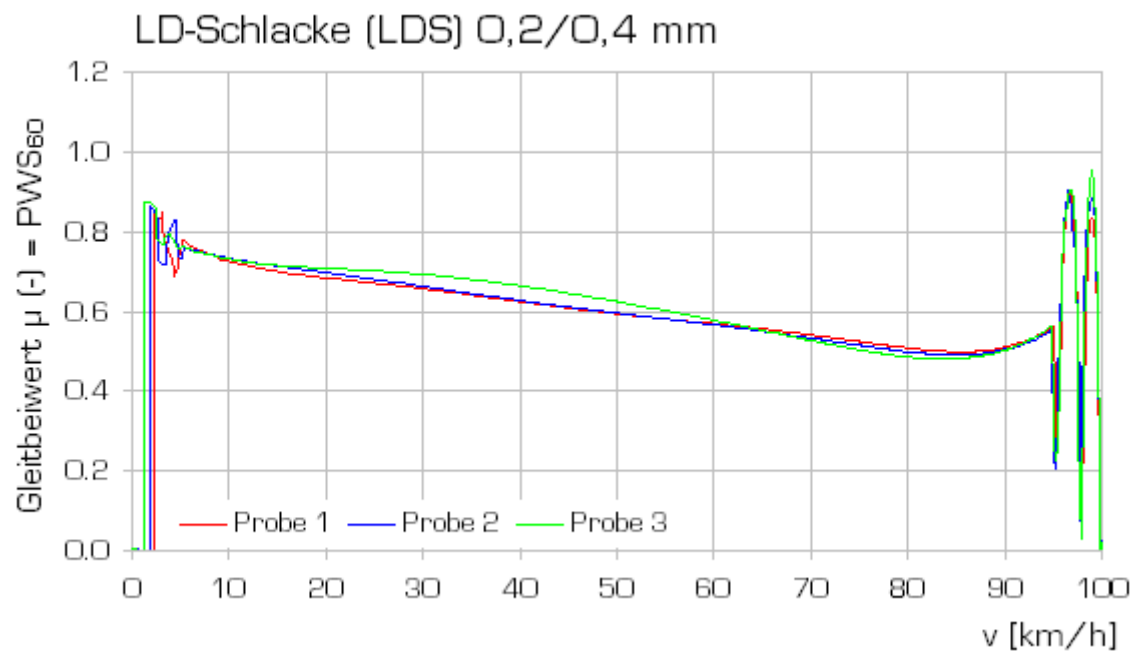


Abb. B-4: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm, LD-Schlacke (LDS)

ANHANG C

Ergebnisse der Asphaltpolierprüfung

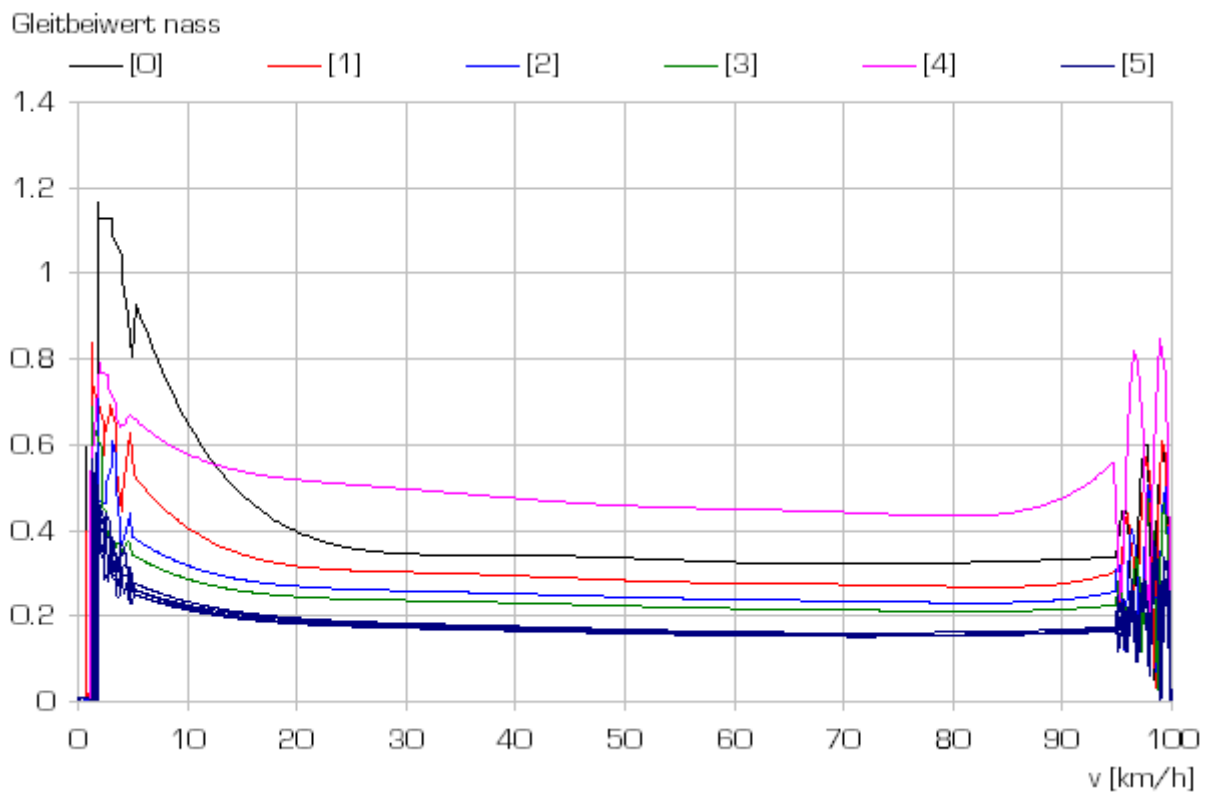


Abb. C-1: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm HK/HK, WS001- PR 2

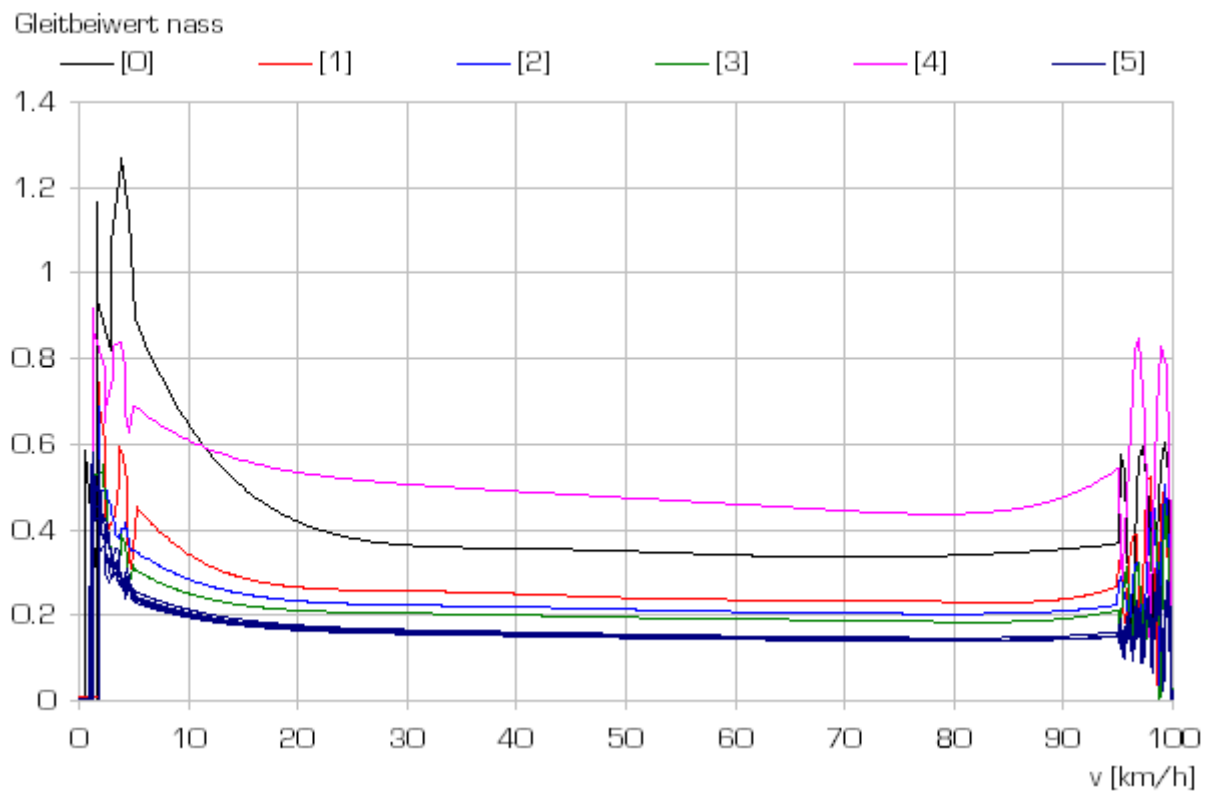


Abb. C-2: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm HK/HK, WS001- PR 4

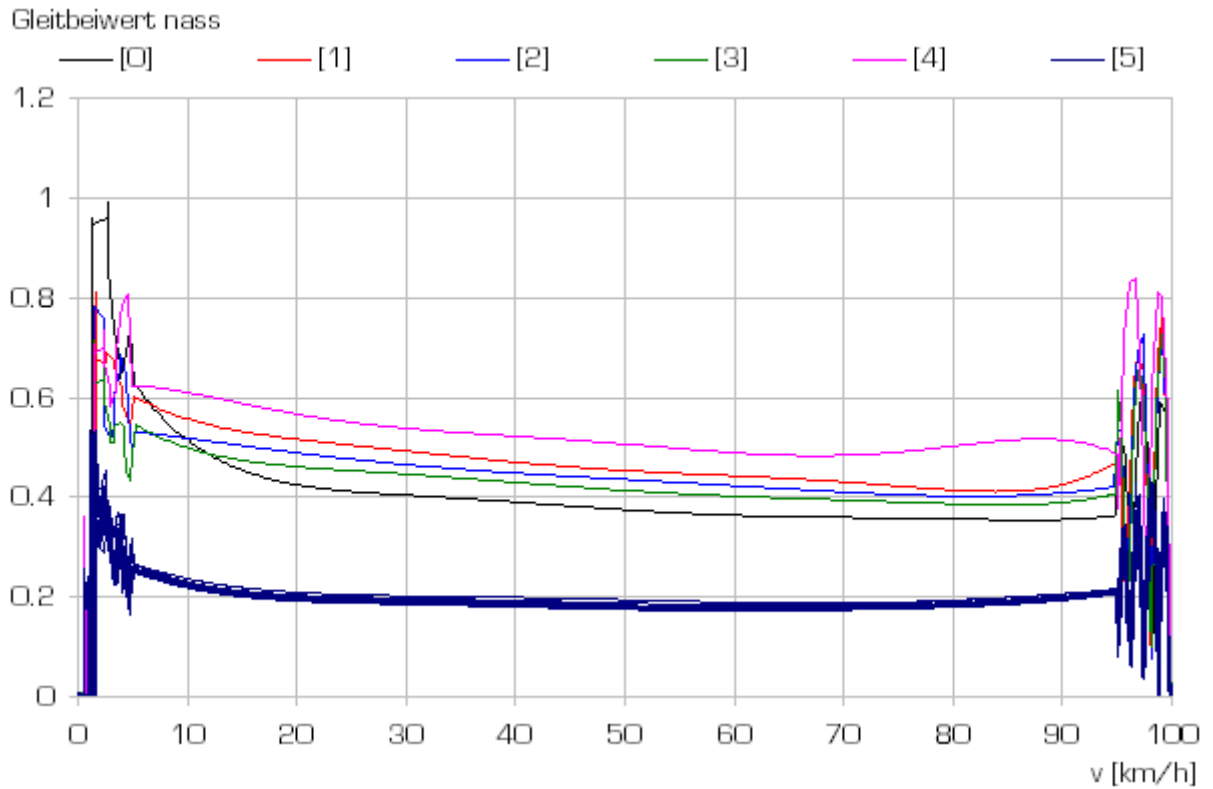


Abb. C-3: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm HK/DI, WS002 - PR 2

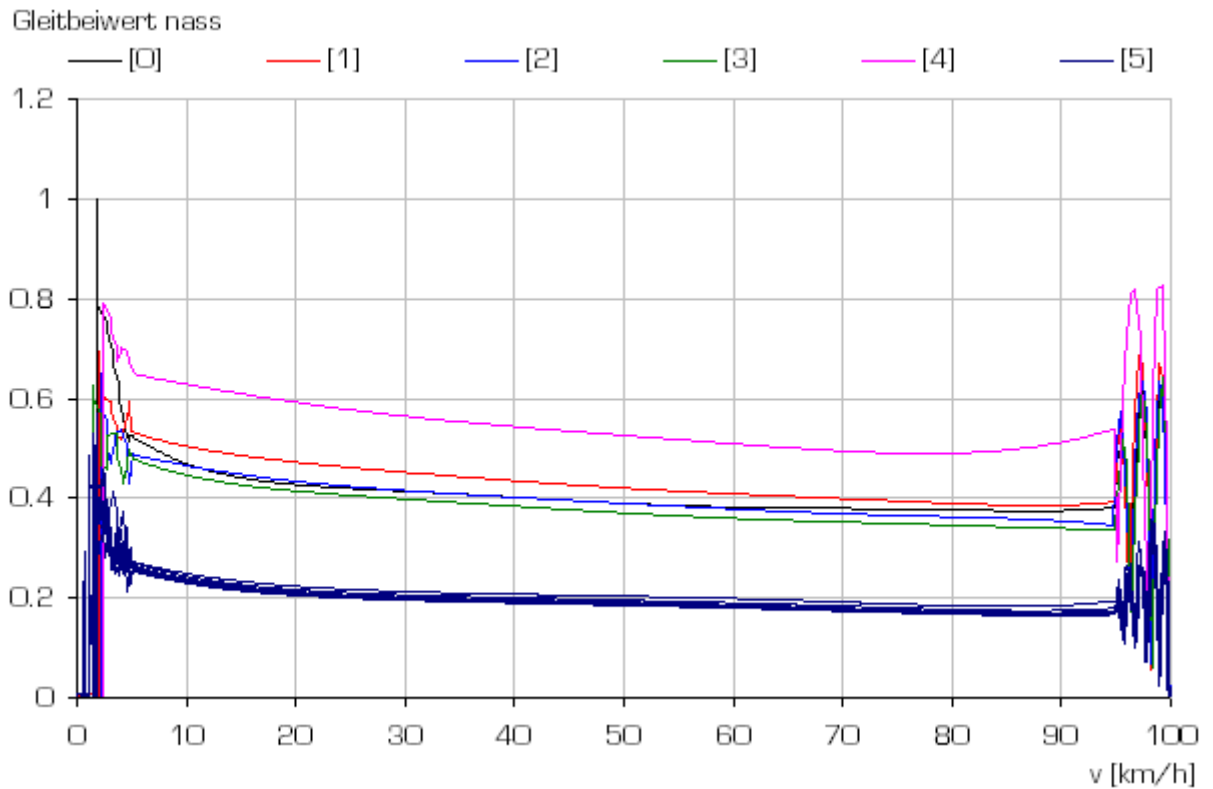


Abb. C-4: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm HK/DI, WS002 - PR 4

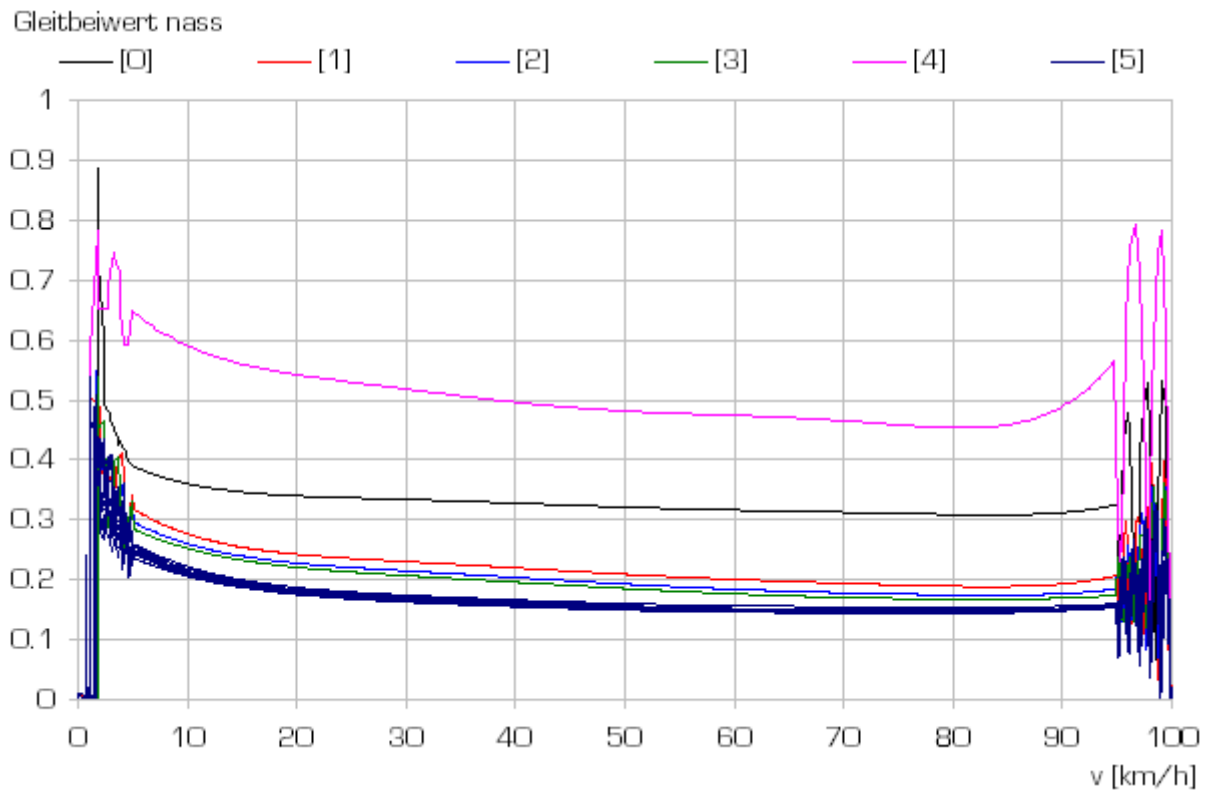


Abb. C-5: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm HK/SR, WS003 - PR 2

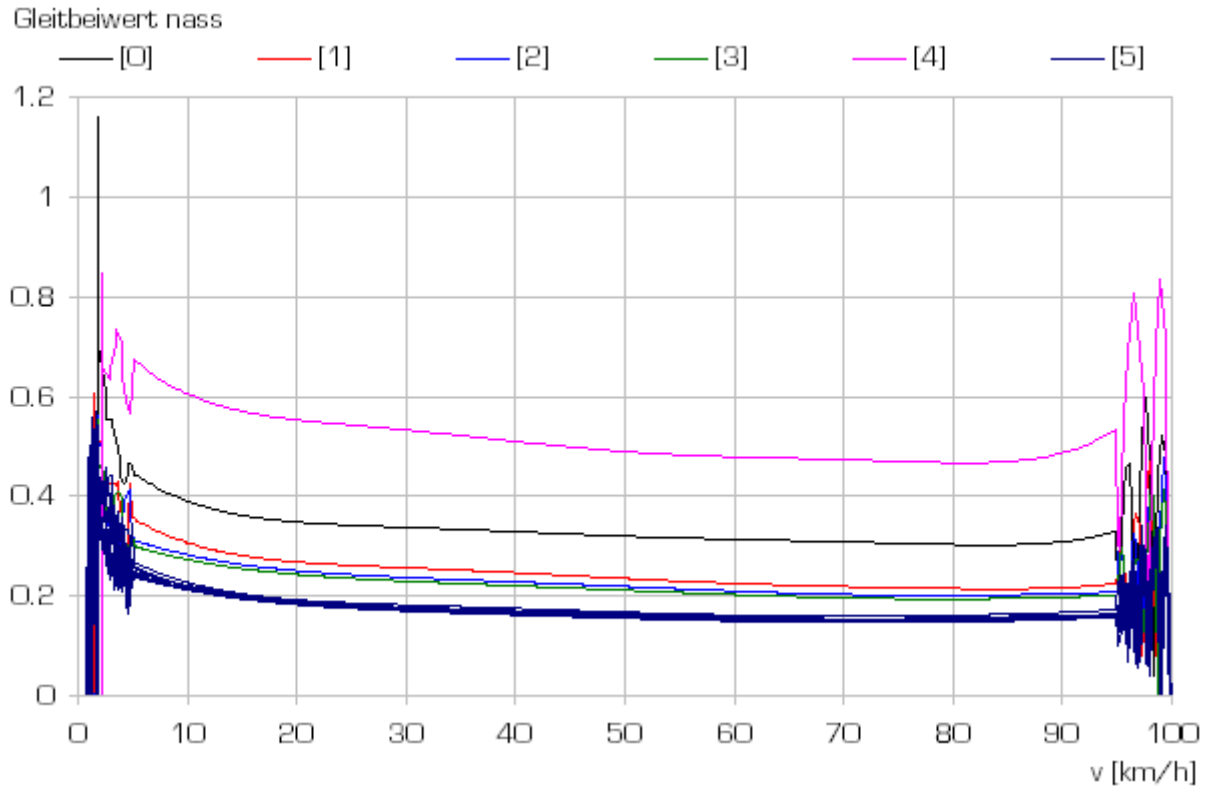


Abb. C-6: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm HK/SR, WS003 - PR 4

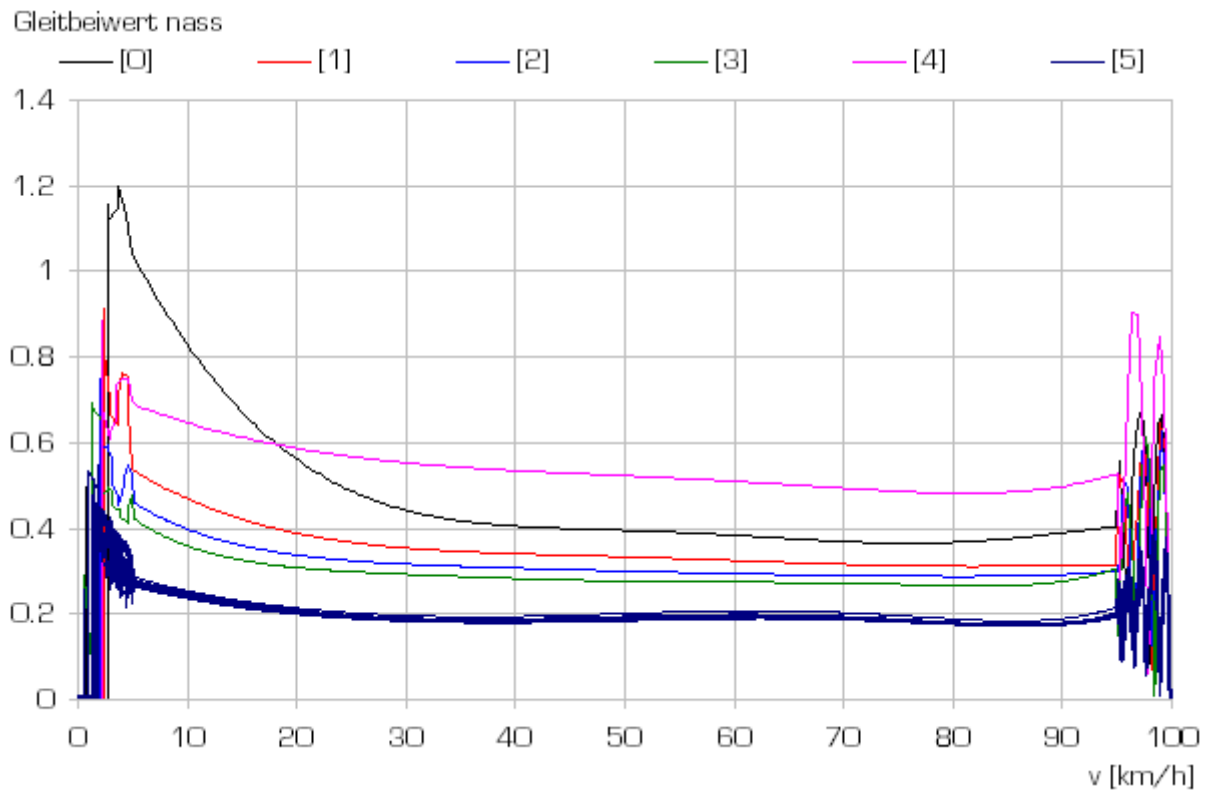


Abb. C-7: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm HK/LDS, WS004 - PR 2

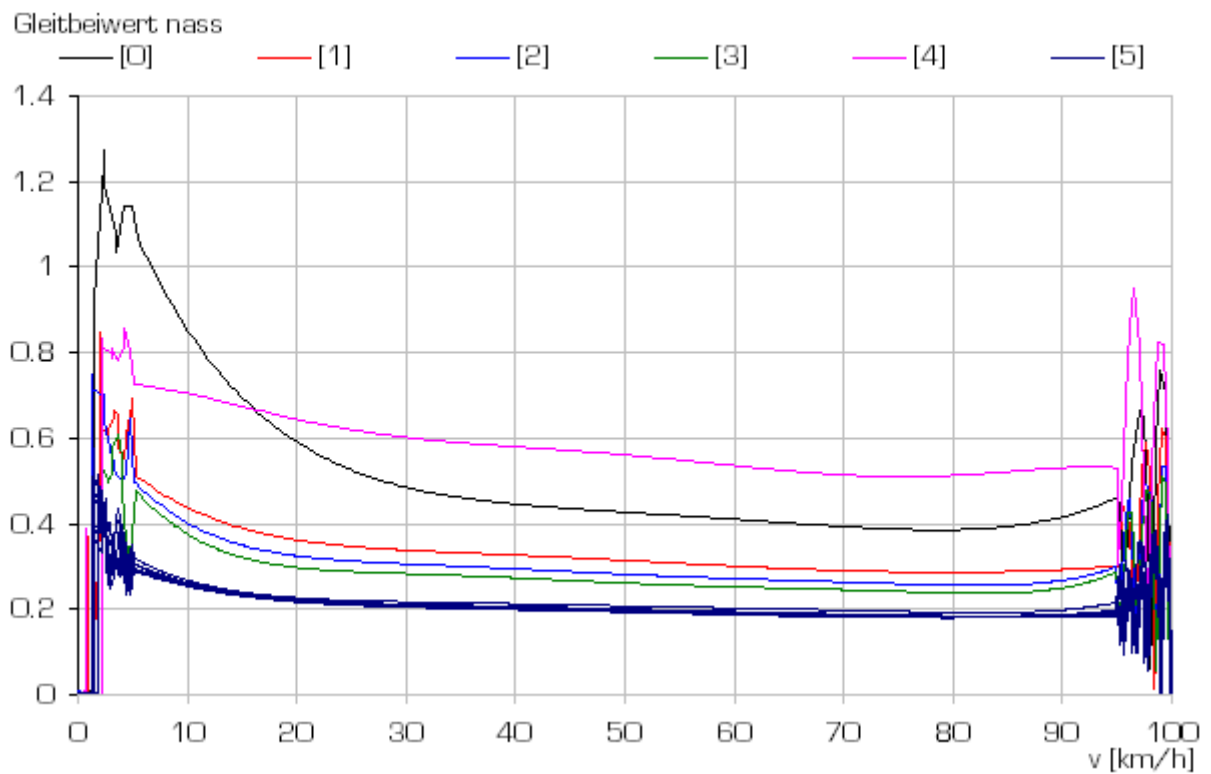


Abb. C-8: Gleitbeiwert/Geschwindigkeit - Diagramm HK/LDS, WS004 - PR 4

Tab. C.1: Gleitbeiwerte PWS_{60} der PR 2

B-STUFE		HK/HK	HK/DI	HK/SR	HK/LDS
		PWS_{60} (-)			
[0] = 0 ÜR	VOR SANDSTRAHLEN	0.326	0.364	0.316	0.384
[1] = 30.000 ÜR		0.277	0.443	0.201	0.325
[2] = 60.000 ÜR		0.239	0.423	0.184	0.294
[3] = 90.000 ÜR		0.218	0.402	0.177	0.274
[4] = 90.000 ÜR	NACH SANDSTRAHLEN	0.450	0.489	0.474	0.510
[5] = 180.000 ÜR		0.155	0.174	0.146	0.189

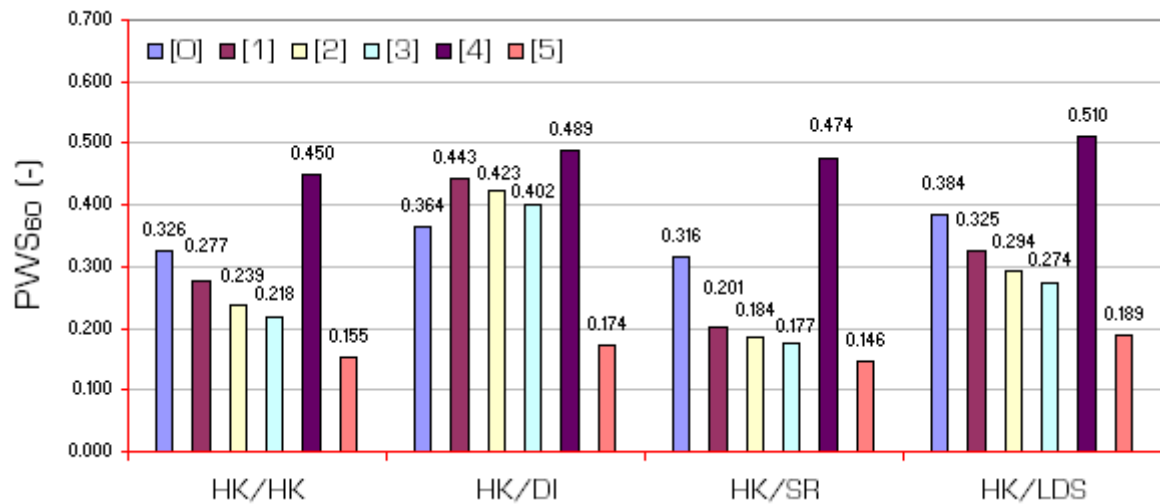


Abb. C-9: Verlauf des Polierwertes von (0) bis (5) jedes Mischguts bei PR 2

Tab. C.2: Gleitbeiwerte PWS_{60} der PR 4

B-STUFE		HK/HK	HK/DI	HK/SR	HK/LDS
		PWS_{60} (-)			
[0] = 0 ÜR	VOR SANDSTRAHLEN	0.341	0.382	0.313	0.410
[1] = 30.000 ÜR		0.236	0.409	0.225	0.301
[2] = 60.000 ÜR		0.208	0.378	0.210	0.272
[3] = 90.000 ÜR		0.191	0.360	0.203	0.252
[4] = 90.000 ÜR	NACH SANDSTRAHLEN	0.460	0.509	0.479	0.536
[5] = 180.000 ÜR		0.144	0.180	0.150	0.187

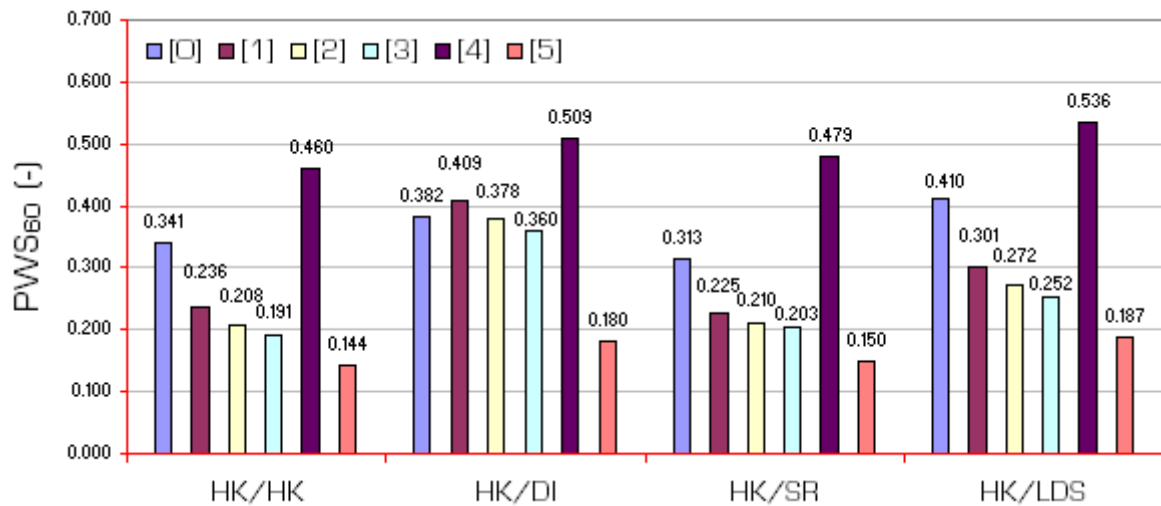


Abb. C-10: Verlauf des Polierwertes von [0] bis [5] jedes Mischguts bei PR 4

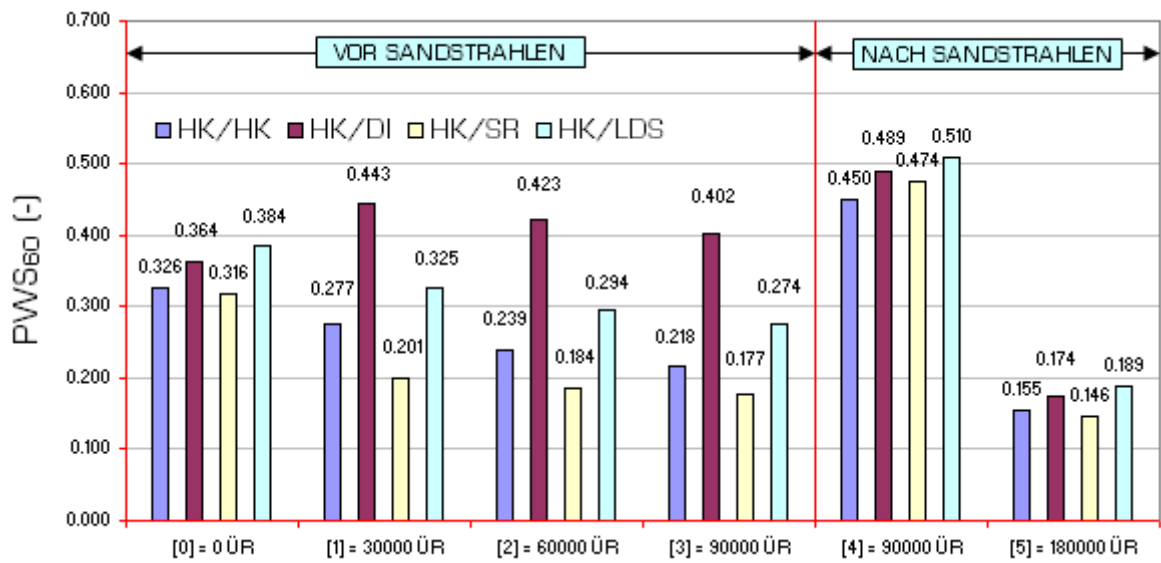


Abb. C-11: Entwicklung des Polierwertes in Abhängigkeit von der B-Stufe für PR 2

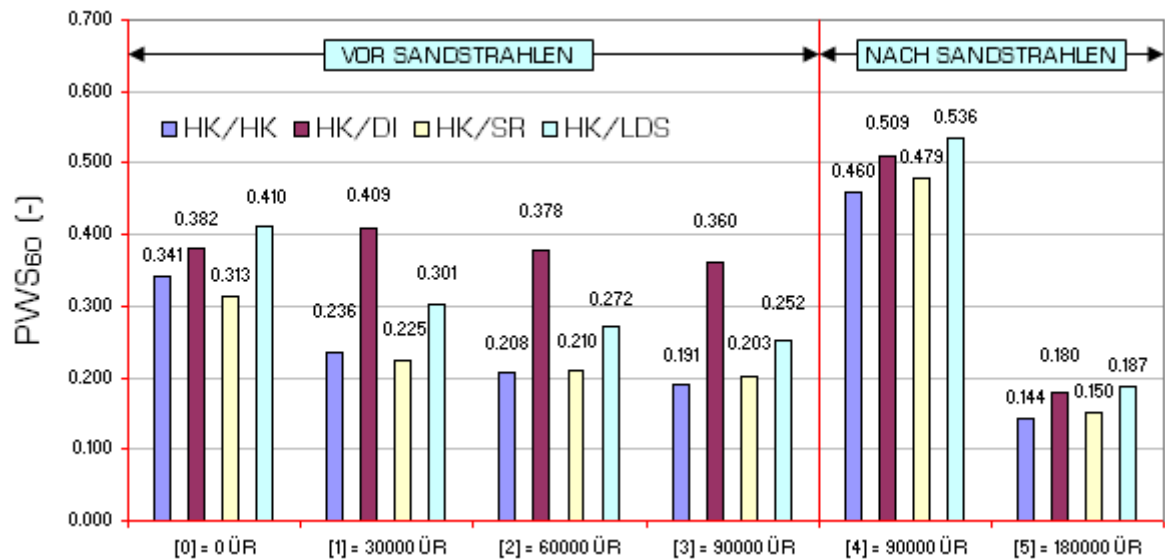


Abb. C-12: Entwicklung des Polierwertes in Abhängigkeit von der B-Stufe für PR 4

ANHANG D

AA 610

**Sandstrahlen von Asphalt- und Betonprobekörper
für das Wehner/Schulze Verfahren**