

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Bewertung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze

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

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald BLAB,
Projektass. Dipl.-Ing. Markus SPIEGL,
Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung,

eingereicht an der Technischen Universität Wien,
Fakultät für Bauingenieurwesen,

von

Lukas KIRCHMAIER
E 610 / 0026812
Lerchenfelderstraße 52/7
1080 Wien

Wien, im April 2007

Kurzfassung

Bewertung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze

Die in der Fahrbahndeckschicht verwendeten Gesteinskörnungen sind wesentlich für die vorhandene Griffigkeit und somit für die Verkehrssicherheit verantwortlich. In den derzeit gültigen Normen werden lediglich Anforderungen hinsichtlich des PSV (Polished Stone Value), geprüft an der Splittfraktion 8/11 mm, gestellt. Für die in Deckschichten eingesetzten Sandfraktionen (≤ 2 mm) gibt es derzeit keine gesonderten Spezifikationen. Bereits veröffentlichte Untersuchungen zeigen jedoch, dass auch die Sandfraktionen einen Beitrag zur Erhöhung der Griffigkeit von dichten Straßenoberflächen (z.B. Asphaltbeton) leisten können.

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 nach Wehner/Schulze – PWS. Das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung an der TU Wien verfügt seit dem Frühjahr 2006 über eine entsprechende Prüfanlage neuester Bauart.

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Prüfanlage nach Wehner/Schulze erstmals in Betrieb genommen und eine Arbeitsanweisung für die Durchführung von Sandpolierprüfungen erstellt. Dafür fand mit der TU-Berlin ein Erfahrungsaustausch statt, bei dem insbesondere auf die Probekörperherstellung eingegangen wurde.

Zur Bewertung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden wurden drei Sande (hoch, mittel und wenig polierresistent) in vier verschiedenen Fraktionen hinsichtlich ihres Polierverhaltens untersucht. Dazu wurden die drei Sande in die Fraktionen 0,2/0,4, 0,4/0,63, 0,63/1,0 sowie 1,0/2,0 mm ausgesiebt, um die ganze Bandbreite der Sandfraktion 0/2 mm abzudecken. Pro Gestein und Fraktion wurden 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.

Mit den durchgeführten Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass der Polierwert von Sanden (PWS_{60}) mit zunehmender Korngröße ansteigt. Diese Zunahme ist einerseits von der Polierresistenz des Gesteins und andererseits von der Drainagewirkung der Probekörperoberfläche abhängig. In ergänzenden Untersuchungen konnte weiters der Einfluss der Kornform sowie der „Eckigkeit“ der Gesteinskörner auf den Polierwert bestimmt werden.

Abstract

Grain size dependency of the polishing resistance of sand using the Wehner/Schulze polishing test

Mineral aggregates used in the road surface layer are responsible for the actual skid resistance and therefore for the traffic safety. In the Austrian standards requirements are given merely with regard to the PSV (Polished Stone Value), checked at the stone chippings 8/11 mm. No separate specifications are set for sand fraction (≤ 2 mm) used in asphalt surface layers. Experiments showed that the sand groups also may contribute to an increase of skid resistance of road surface layers with low air void content, e.g. asphalt concrete.

The test procedure according to Wehner/Schulze, which is used for testing the polishing resistance of sand, has gained acceptance on a scientific – technical level throughout Europe. This test procedure determines the polishing value according to Wehner/Schulze, also called PWS. At the institute for road construction and road maintenance at TU Vienna an appropriate test machine of the latest construction design has been installed in spring 2006.

The first goal of this thesis was to put the test machine into operation and to write a work instruction for the execution of sand polishing examinations. For this, an experience exchange for the manufacturing of the specimens was arranged with the TU Berlin.

To prove the grain size dependency of the polishing resistance of sands three different sands (with a high, medium and little polishing resistance) were examined with regard to their polishing resistance behaviour in four different grain size groups. The three sands were sieved into the grain size groups 0,2/0,4, 0,4/0,63, 0,63/1,0 and 1,0/2,0 mm covering the whole bandwidth of sand (0/2 mm). For each stone and grain size group three sand specimens were produced and subsequently tested by analogy to the Austrian guideline RVS 11.06.23 for the sand resistance examination with the Wehner/Schulze test machine.

The results prove the fact that the polishing value of sand (PWS_{60}) rises with an increasing grain size. This increase is on the one hand dependent on the polishing resistance of the stone and on the other hand on the drainage effect of the sample body surface. Supplementary examinations proved the influence of the grain form as well as the “angularity” of the rock grain to the polishing resistance.

Vorwort

*„Es war ein Schock nach der Ruhe des ländlichen Irlands.
Dort, in jenem stillen Hinterland, hatte ich eine direkte Verbindung zwischen dem Tempo des Alltagslebens und der Zeit, die es dauert, bis der Barman einem ein Stout serviert, entdeckt.“*

Auszug aus dem Buch:
„Mit dem Kühlschrank durch Irland“
von Tony Hawks

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	3
2. AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	4
3. GRUNDLAGEN	5
3.1 Begriffsdefinition.....	5
3.1.1 Griffigkeit.....	5
3.1.2 Reibungsbeiwert μ	5
3.1.3 Rauheit, Oberflächentextur.....	8
3.1.4 Schlupf	11
3.1.5 Polierresistenz der Mineralstoffe	12
3.1.6 Polierwert	13
3.2 Bestimmung des Polierwertes von Splitten – PSV-Wert	14
3.3 Bestimmung des Polierwertes von Sanden	16
3.4 Anforderungen an den Polierwert von Gesteinskörnungen	17
3.4.1 Nationale Anforderungen	17
3.4.2 Straßenbaurelevante Anforderungen.....	20
4. PRÜFVERFAHREN NACH WEHNER/SCHULZE	21
4.1 Allgemeines.....	21
4.2 Bestandteile der Prüfanlage	23
4.2.1 Polierstation	24
4.2.2 Prüfstation	26
4.2.3 Sandstrahlkabine	28
4.3 Kurzbeschreibung der Versuchsdurchführung	29
4.3.1 Verkehrssimulation	29
4.3.2 Griffigkeitsmessung.....	29
4.4 Herstellung der Probekörper	31
4.4.1 Mosaik-Auslageverfahren für Splitt > 8 mm	31
4.4.2 Mastix-Eingussverfahren für Splitte 2/5 und 5/8 mm	31
4.4.3 Aufklebeverfahren für Sand	32
4.5 Versuchsdurchführung	36
4.6 Auswertung.....	37
5. PETROGRAPHIE DER VERWENDETEN GESTEINE	40
5.1 Diabaswerk Saalfelden - Hinterburgbruch	40
5.1.1 Geographische Lage	40
5.1.2 Geologische Situation	41
5.1.3 Gesteinsbeschreibung	41
5.2 Granulit Steinbruch „Wanko“	42
5.2.1 Geographische Lage	42
5.2.2 Geologische Situation	42
5.2.3 Gesteinsbeschreibung	43
5.3 Dolomitischer Kalksteinbruch – Hollitzer	44
5.3.1 Geographische Lage	44
5.3.2 Geologische Situation	44
5.3.3 Gesteinsbeschreibung	45
6. PROGRAMM DER VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	46
6.1 Ausgangssituation und Zielsetzung	46
6.2 Versuchsprogramm	47
6.2.1 Phase 1 – Sandpolierprüfung.....	47
6.2.2 Phase 2 – Weiterführende Untersuchungen	50
Mineralanalyse mittels Röntgen-Pulver-Diffraktometrie	51
Morphologische Ansprache	56
7. PRÜFERGEBNISSE UND INTERPRETATION	60
7.1 Sieblinienbestimmung.....	60
7.1.1 Dolomitischer Kalkstein	61
7.1.2 Granulit.....	62

7.1.3 Diabas	63
7.1.4 Anteile der Korngruppen am Gesamtmischgut eines AC 11	64
7.1.5 Zusammenfassung	65
7.2 Sandpolierprüfung	66
7.2.1 Dolomitischer Kalkstein	70
7.2.2 Granulit	71
7.2.3 Diabas	71
7.2.4 Zusammenfassung der Sandpolierprüfung	72
7.3 Mineralanalyse mittels Röntgendiffraktometrie	74
7.3.1 Diabas	74
7.3.2 Granulit	76
7.3.3 Zusammenfassung	77
7.4 Morphologische Ansprache	78
7.4.1 Kornform	78
7.4.2 Rundungsgrad	79
7.4.3 Kugeligkeit	80
7.4.4 Beurteilung der Spitzenausbildung	81
7.4.5 Zusammenfassung	82
8. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	83
8.1 Ausgangssituation und Zielsetzung	83
8.2 Versuchsprogramm	83
8.3 Versuchsergebnisse	84
8.4 Ausblick	85
DANKSAGUNG	86
LITERATURVERZEICHNIS	87
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	90
TABELLENVERZEICHNIS	93
ANHANG A: Gleitreibungs-/Geschwindigkeits-Diagramme der untersuchten Sande	I
ANHANG B: Fotodokumentation der Sandprobe-Körper (12-fache Vergrößerung)	VIII
ANHANG C: Arbeitsanweisung 221	XV

1. EINLEITUNG

Die Griffigkeit von Straßenoberflächen hat insbesondere bei nasser Fahrbahn einen wesentlichen Einfluss auf die Bremsweglänge und somit auch auf die Verkehrssicherheit. Es wurden bereits in den späten 20er und frühen 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts Untersuchungen über das Griffigkeitsverhalten von Straßen in diversen Ländern durchgeführt.

So führte R. Schenk bereits im Jahr 1928 in Berlin Bremsversuche mit Kraftwagen durch, die zur Untersuchung und Bewertung der Straßengriffigkeit dienten. Dabei wurden mehrere hundert Messungen durchgeführt. Gebremst wurde damals mit der auf die Triebräder wirkenden Handbremse [FUCHS, 2002].

Das erste Messsystem mit blockiertem Schlepprad, und damit ein Prototyp der heutigen modernen Messgeräte, wurde 1934 in den USA entwickelt. Zwei Jahre später entstand in Deutschland der Darmstädter Reibungsmesser, mit dem bereits systematische Reibungsmessungen auf Abschnitten von Reichsautobahnen und Reichsstraßen bei Geschwindigkeiten zwischen 40 und 120 km/h durchgeführt wurden [FUCHS, 2002]. Mit diesen neuen Messmethoden wurde es nun möglich, das Griffigkeitsverhalten von verschiedenen Straßenbelägen qualitativ zu untersuchen.

In Österreich erfolgt heute die Überprüfung der Griffigkeit von Straßenoberflächen in erster Linie mit dem Messsystem RoadSTAR des Unternehmens Arsenal Research. Mit diesem Messgerät wurden bereits in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts Österreichs Autobahnen und Schnellstraßen (A+S) bezüglich ihrer Griffigkeit untersucht. Aufgrund dieser Messungen wurde ein Bewertungshintergrund erstellt, der zur qualitativen Erfassung der Griffigkeit auf Österreichs A+S – Netz dient. Die Bewertung der Griffigkeit erfolgte in nach dem Schulnotensystem. Zusätzlich wurden ein Warn- und ein Schwellenwert definiert.

Mittlerweile haben mit 1. Jänner 2007 ein Mindest- sowie ein Sollabnahmewert μ für die Griffigkeit Eingang in das nationale Normenwerk gefunden. Des Weiteren wurde in der nationalen Normung ein Sollwert für die vorhandene Griffigkeit nach Ablauf der Gewährleistungsfrist von 3 Jahren – falls nicht anders vereinbart – festgelegt. Wird dieser mit einer Toleranz von 0,03 unterschritten, so sind vom Auftragnehmer Gewährleistungsmaßnahmen durchzuführen. Die Messgeschwindigkeit zur Ermittlung des Reibbeiwertes μ mit dem Messsystem RoadSTAR beträgt dabei einheitlich 60 km/h. Aufgrund dieser neuen Regelung sind nicht zuletzt von der Bauindustrie neue Untersuchungen und qualitative Bewertungen bezüglich der zu erwartenden Griffigkeit einer Deckschicht gefordert.

Ein Ansatz hierfür ist die Optimierung der im Asphalt oder auch im Beton verwendeten Mineralstoffe. So kann bei dichten Asphaltbetonen durch die Verwendung von besonders polierresistenten Sanden ein schlechtes Polierverhalten der Splitte zum Teil kompensiert werden. Ebenso kommen der Polierresistenz der verwendeten Sande bei der Fertigung von Betondecken mit herkömmlicher Oberflächenstruktur (Besenstrich) große Bedeutung zu.

2. AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit auf Straßen ist die vorhandene Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche von sehr großer Bedeutung. Bei Asphaltbetondeckschichten sowie bei Betonfahrbahnen mit einer herkömmlichen Oberflächentextur hängt sowohl das Niveau als auch die zeitabhängige Entwicklung der Straßengriffigkeit neben anderen Faktoren maßgeblich von der Polierresistenz der verwendeten Gesteinskörnungen und dabei vor allem der Sandfraktionen (0/2 mm) ab. Insbesondere an Stellen mit erhöhter Polierbeanspruchung durch die Verkehrseinwirkung, also an Stellen mit engen Kurvenradien, an Gefälleabschnitten oder in Bremsstrecken kommt der Griffigkeit eine große Bedeutung zu.

Zur Beschreibung der Polierresistenz von Gesteinskörnungen ≤ 2 mm hat sich in Europa auf wissenschaftlich – technischer Ebene das Verfahren nach Wehner/Schulze durchgesetzt. Das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien hat dafür eine Prüfanlage neuester Bauart im Frühjahr 2006 angeschafft.

Die Ziele der gegenständlichen Diplomarbeit lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Erarbeiten einer Arbeitsanweisung für die Durchführung von Polierversuchen an Sanden (Korngröße ≤ 2 mm) mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze neuer Bauart,
- Untersuchung einer vorhandenen Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden,
- Beurteilung der Anwendbarkeit des Prüfverfahrens auf unterschiedliche Sandfraktionen,
- Auswahl von geeigneten Fraktionen für weitergehende Untersuchungen.

In einem ersten Schritt wurde die Prüfanlage nach Wehner/Schulze in Betrieb genommen und anhand einer ersten Vorversuchsreihe eine Arbeitsanweisung für die Durchführung von Polierversuchen an Sandfraktionen erstellt. Dabei wurde insbesondere auf die Herstellung der Probekörper als auch auf die einzelnen Parameter der Versuchsdurchführung genauestens eingegangen.

Im nächsten Schritt wurde mittels der erarbeiteten Arbeitsanweisung eine Reihenuntersuchung zur Beschreibung einer Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden durchgeführt. Dafür wurden Sande der Korngruppe 0/2 mm mit unterschiedlicher Polierresistenz in Unterfraktionen ausgesiebt und mit standardisierten Prüfparametern hinsichtlich ihres Polierverhaltens untersucht.

Die so erhaltenen Ergebnisse wurden interpretiert und die Anwendbarkeit des Prüfverfahrens auf die verschiedenen Fraktionen bewertet.

Im letzten Schritt werden für weiterführende Untersuchungen aufgrund der ermittelten Ergebnisse Sandfraktionen ausgewählt, die das unterschiedliche Verhalten der Sandfraktionen bezüglich einer einwirkenden Polierbeanspruchung repräsentativ beschreiben.

3. GRUNDLAGEN

3.1 Begriffsdefinition

3.1.1 Griffigkeit

In der Straßenbautechnik versteht man unter dem Begriff Griffigkeit die Wirkung der Rauheit der Fahrbahnoberfläche (auch Oberflächentextur genannt) auf den Reibungswiderstand im Zusammenspiel mit dem Fahrzeugreifen. Also jene Eigenschaft der Straßenoberfläche, die für die Größe des aktivierbaren Reibungswiderstandes in der Kontaktfläche zwischen Fahrzeugreifen und Straßenoberfläche verantwortlich ist [PFEILER, 2004]. Ein in der Kontaktfläche vorhandener Wasserfilm hat einen wesentlichen Einfluss auf den Reibungswiderstand und bewirkt somit eine Reduktion der möglichen Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn. Da die Griffigkeit den Bremsweg eines Fahrzeuges wesentlich beeinflusst und somit unmittelbare Auswirkungen auf das Unfallgeschehen hat, ist sie die wichtigste Eigenschaft von Straßenoberflächen [HUSCHEK, 1996a]. Wird eine Fahrbahnoberfläche über ihre Lebensdauer betrachtet, so ist zu erkennen, dass die Griffigkeit sich langfristig entwickelt und zusätzlich erstaunlich kurzfristigen Veränderungen unterliegt. So kommt es stellenweise durch Aufraueffekte als Folge von Witterungseinflüssen (z.B. „saurer Regen“) zu Griffigkeitserhöhungen. [HUSCHEK, 1996b]. Physikalisch quantifiziert wird die Griffigkeit mittels eines Reibungskoeffizienten, auch Reibungsbeiwert μ genannt.

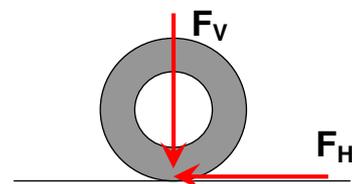
3.1.2 Reibungsbeiwert μ

Reibung ist eine physikalische Kraft, die einer Relativbewegung zwischen zwei einander berührenden Körpern entgegenwirkt. Der Reibungsbeiwert – auch Reibungswert, Reibungswiderstand, Kraftschlussbeiwert oder Reibwert genannt – ist definiert als der Quotient aus den durch Kraftschluss zwischen zwei Körpern übertragenen Horizontalkräften und den gleichzeitig wirkenden Normalkräften [FGSV, 2001].

Der Reibungsbeiwert μ nach Coloumb ermittelt sich demnach zu

$$\mu = \frac{F_H}{F_V} [-]$$

Gleichung 1



mit: F_H ...übertragene Horizontalkraft [N]
 F_V ...einwirkende Vertikalkraft [N]

Der Reibungsbeiwert μ ist für stationäre und kinematische Reibung unterschiedlich, wodurch zwischen Haft- und Gleitreibung unterschieden wird.

Zur Veranschaulichung soll nachfolgendes Beispiel dienen:

Eine 100 kg schwere Holzkiste steht auf dem Boden und soll seitlich gezogen werden. Der senkrechten Kraft F_V (Gewicht der Holzkiste) entspricht eine maximale waagrechte Reibungskraft F_H , die die Kiste in ihrer Position festhält. Dies wird in der Messtechnik als Haftreibung bezeichnet. Ein Reibungsbeiwert von „ $\mu = 0,3$ “ bedeutet, dass bei einer vertikalen Gewichtskraft von 100 kg eine horizontale Kraft von 30 kg zum seitlichen Ziehen der Holzkiste erforderlich ist. Bei weniger als 30 kg verbleibt die Holzkiste in ihrer Ruhelage.

Von einer Gleitreibung spricht man, wenn die Haftreibung überwunden wurde und sich die Holzkiste im Zustand des Gleitens befindet. Die nun zum Aufrechterhalten der reibungserzeugenden Bewegung erforderliche Kraft, ist geringer als jene zur Überwindung der Haftreibung. Somit ist der Gleitreibungsbeiwert niedriger als der Haftreibungsbeiwert und es genügt zum Beispiel eine seitliche Kraft von 20 kg – „ $\mu = 0,2$ “ – um die Holzkiste in Bewegung zu halten.

Umgelegt auf die Vorgänge auf der Straße bedeutet dies, dass nach Überwindung der Haftreibung in der Grenzfläche zwischen Fahrzeugreifen und Straßenoberfläche erst dann eine Reibungskraft erzeugt werden kann, wenn es zu einer Relativbewegung zwischen Reifen und Fahrbahn kommt [PFEILER, 2004].

Das tatsächliche Kraftschlussvermögen bei Brems- und Beschleunigungsvorgängen bzw. bei Kurvenfahrt weicht im Einzelfall allerdings immer von dem die Griffigkeit kennzeichnenden Reibungsbeiwert ab, da die idealisierten Randbedingungen für die Griffigkeitsmessung in der Regel nicht zutreffen [FGSV, 2003].

So erkannten KUMMER et al. [1967], dass die Vorgänge Adhäsion und Hysterese an der Kontaktfläche Reifen – Straßenoberfläche eine der Gleitbewegung entgegengerichtete Kraft verursachen.

Des Weiteren reduziert der Vorgang, welche in der Grenzfläche zwischen Reifen und Straßenoberfläche für ein Aufrauen bzw. Herausreißen des Reifengummis (Abrieb) sorgt, die übertragbaren horizontalen Kräfte. Dieser Vorgang ist als Kohäsion bekannt. Energie- bzw. Reibungsverluste aufgrund von Kohäsion sind auf eine permanente Deformation im Gummi zurückzuführen. Diese gehen mit einer Rissbildung einher und sind somit letzten Endes für den Verschleiß der Reifen verantwortlich. Die kinetische Energie des Fahrzeuges wird also bei der Kohäsionsreibung in Verformungsenergie umgewandelt [GEYER, 1972].

Somit hängt der in der Kontaktfläche von Fahrzeugreifen und Straßenoberfläche mögliche Reibungsbeiwert von mehreren Einflüssen ab. So gliederte PFEILER [2004] die verschiedenen Einflussparameter auf den Reibungsbeiwert und somit auf die Griffigkeit von Verkehrsflächen in vier Gruppen (siehe Abbildung 3-1):

- Einflüsse des Reifens: Profil, Schlupf, Gummimischung, Luftdruck,
- Einflüsse des Fahrzeuges: Geschwindigkeit, Radlast, Radstellung, Radlastschwankungen,
- Einflüsse des Zwischenmediums: Wasserfilm, Eis, Schnee, Verschmutzungen, etc.,
- Einflüsse der Straße: Oberflächentextur, Deckenbauart, Polierwiderstand der verwendeten Gesteine.

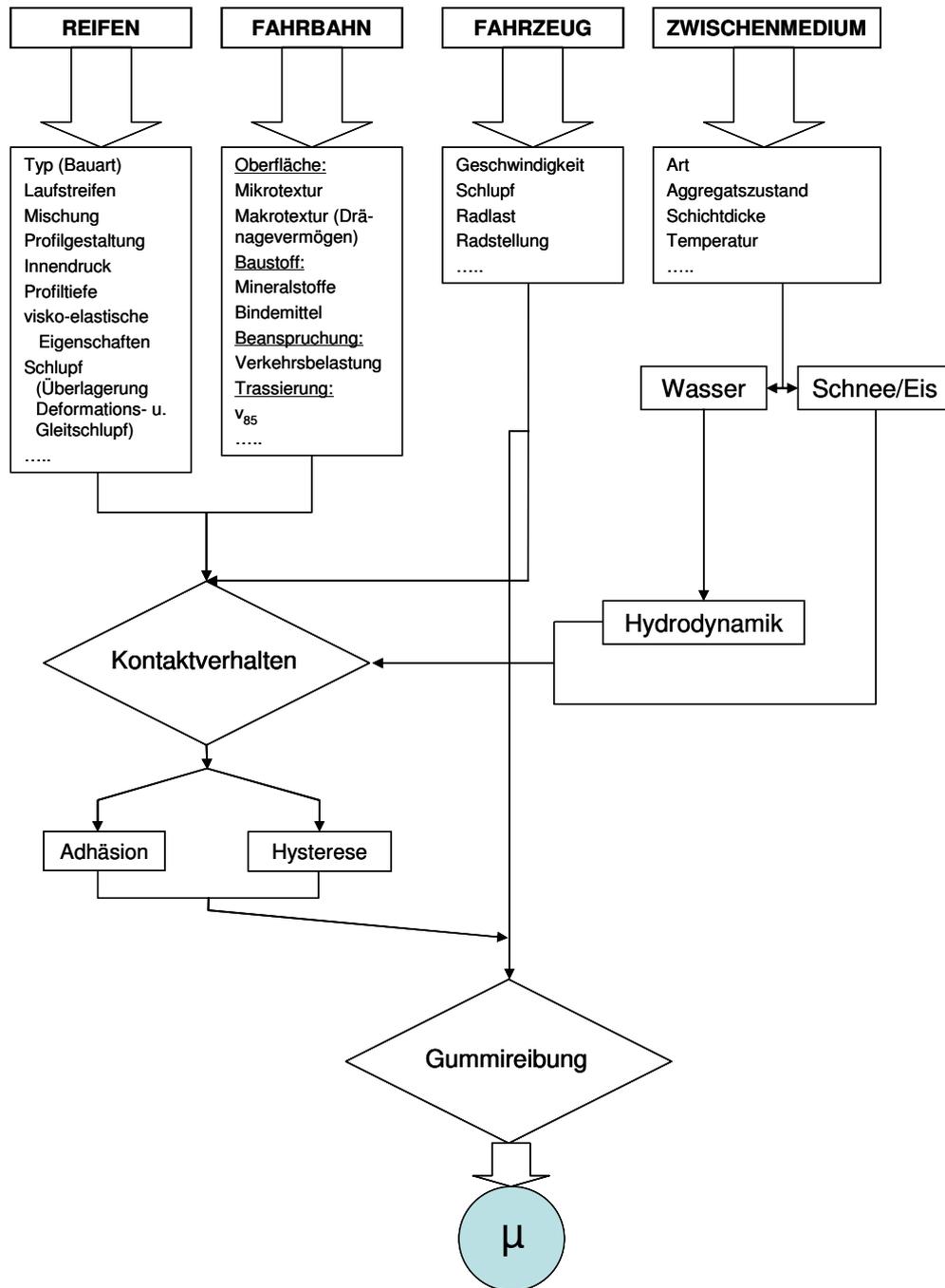


Abbildung 3-1: Einflussparameter auf die Reibung zwischen Reifen und Straßenoberfläche [PFEILER, 2004]

Der Einfluss der Fahrbahn ist jene Parametergruppe, die durch gezielte straßenbau-technische Maßnahmen gesteuert werden kann. Mögliche Maßnahmen sind hierbei die Wahl und Ausbildung einer griffigkeitserhöhenden Textur oder durch Verwendung von Gesteinsmaterialien, die sich hinsichtlich der einwirkenden Verkehrsbelastung als widerstandsfähig gegen Griffigkeitsverlust erweisen (hoher Polierwiderstand).

3.1.3 Rauheit, Oberflächentextur

Der Begriff Rauheit beziehungsweise Oberflächentextur beschreibt die geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche im Wellenlängenbereich von wenigen Mikrometern bis einigen Dezimetern. Bedingt durch die Herstellungsungenauigkeiten beim Bau von Straßen folgt, dass jede Straßenoberfläche Abweichungen von der ebenen Oberfläche aufweist. Interpretiert werden diese Abweichungen als Wellen mit unterschiedliche Wellenlängen und Amplituden, die sich als Spektrum überlagern. Je nach Wellenlängenbereich wird zwischen Textur, auch Rauheit genannt, und Unebenheit unterschieden. Die Rauheit wird außerdem in Mikro-, Makro- und Megatextur unterteilt (siehe Abbildung 3-2).

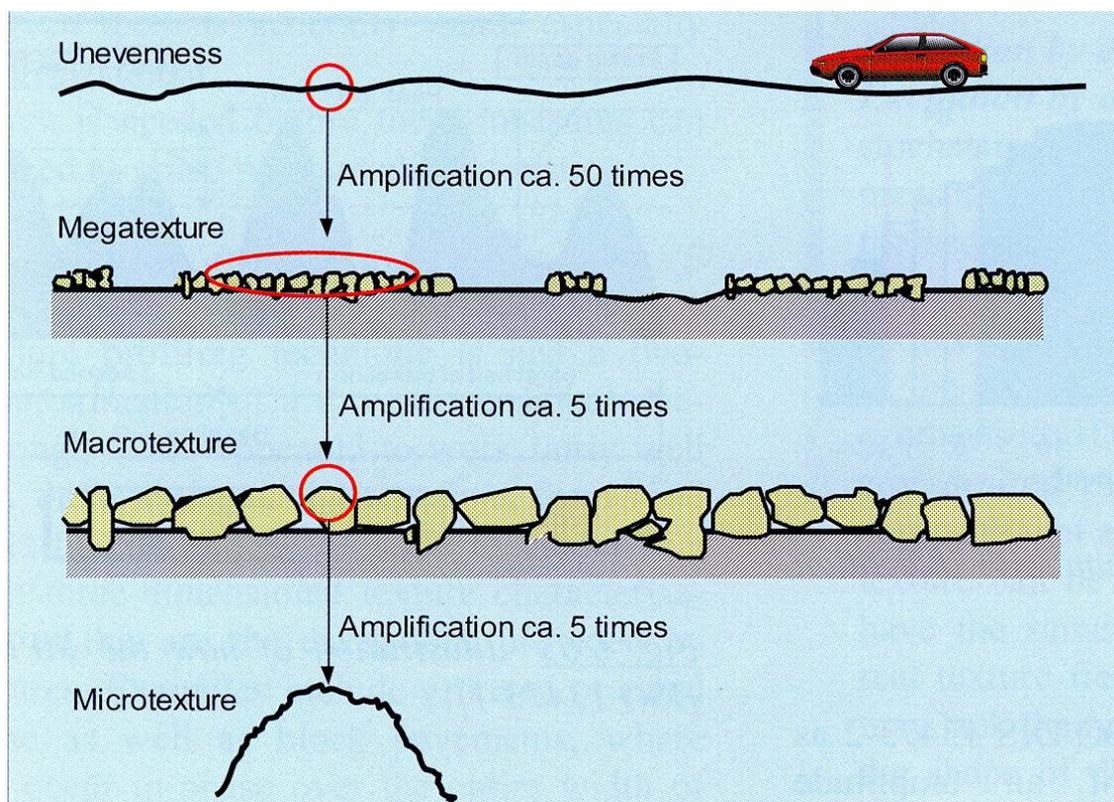


Abbildung 3-2: Wellenlängenbereiche und Amplituden einer Straße dargestellt als sich überlagerndes Spektrum [SANDBERG et. al., 2002]

- Mikrotextrur
bezeichnet Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung kleiner 0,5 mm. Im Wesentlichen wird dadurch die Rauheit des einzelnen Gesteinskorns an der Fahrbahnoberfläche beschrieben. Rauheiten bis zu einer Größenordnung von 1/100 mm haben einen sehr großen Einfluss auf die Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn bei nassen Verhältnissen. Die Mikrorauheit bestimmt also wesentlich das Niveau der Griffigkeit. Bei dichten Asphalten, wie z.B. bei Asphaltbeton gewinnen hier vor allem die Eigenschaften der verwendeten Sande an Bedeutung.

- Makrotextur

bezeichnet Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 0,5 mm bis 50 mm. Eine ausgeprägte Makrotextur kennzeichnet eine grobporige Oberfläche, wie sie bei der Verwendung von offenporigen Asphalten entsteht. Diese grobporige Oberfläche hat neben der Lärm reduzierenden Eigenschaft die Aufgabe, vor allem bei höheren Geschwindigkeiten, das Reifenprofil beim Abführen des Wassers aus der Kontaktfläche Reifen – Straßenoberfläche, dem so genannten Latsch, zu unterstützen. Für die Drainagewirkung der Deckschicht und somit für das Griffigkeitsverhalten der Fahrbahnoberfläche sind allerdings nur Rauheitselemente bis 10 mm wesentlich. Größere Rauheitselemente führen bereits zur Anregung von mechanischen, niederfrequenten Schwingungen. Diese üben nicht nur auf den Fahrkomfort, sondern auch auf das Fahrzeug negative Einflüsse aus.

- Megatextur

bezeichnet Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 50 mm bis 500 mm. Sie können einen Einfluss auf die Bildung von Wasseransammlungen auf der Fahrbahn haben in Bodenwellen oder auch in Spurrinnen haben. Rauheitselemente im Megatexturbereich und großer Amplitude führen außerdem zu einem niedrigen Fahrkomfort, der sich durch ein starkes „Rumpeln“ im Fahrzeuginneren bemerkbar macht.

- Unebenheit

Rauheitselemente mit einer Ausdehnung von größer 500 mm werden in der Straßenbautechnik als Unebenheit bezeichnet. Gemessen und beurteilt werden dabei insbesondere die Quer- und Längsebenheit einer Straße.

Abbildung 3-3 stellt das Wellenlängenspektrum einer Straßenoberfläche und dessen Auswirkungen auf das Gebrauchsverhalten der Straße dar. Zusätzlich erfolgt eine Beurteilung in notwendige und ungewünschte Auswirkungen.

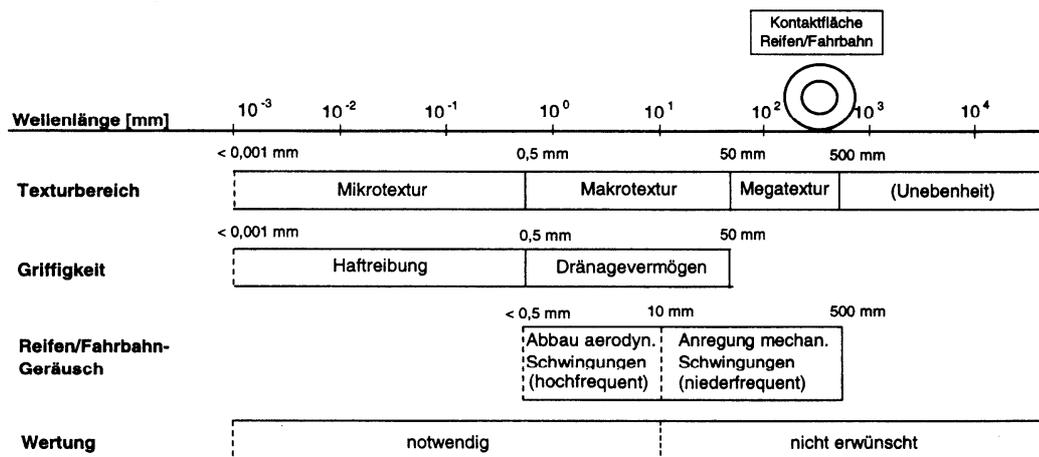


Abbildung 3-3: Wellenlängenspektrum der Straßenoberfläche und Auswirkungen auf die Gebrauchseigenschaften [FGSV, 2000]

Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass die vorhandene Griffigkeit ausschließlich von der Ausbildung der Mikro- und Makrotextur abhängig ist. In anderen Worten ist die Griffigkeit abhängig von dem Drainagevermögen der Oberfläche einerseits und dem Grad der Schärfe andererseits. Wird das Drainagevermögen der Makrotextur zugeprochen so ist die Ausbildung der Mikrotextur für den Grad der „Schärfe“ verantwortlich.

Abbildung 3-4 zeigt qualitativ die Auswirkung der Makro- und Mikrotextur der Straßenoberfläche auf die Reibungsbeiwerte μ in Abhängigkeit der Geschwindigkeit.

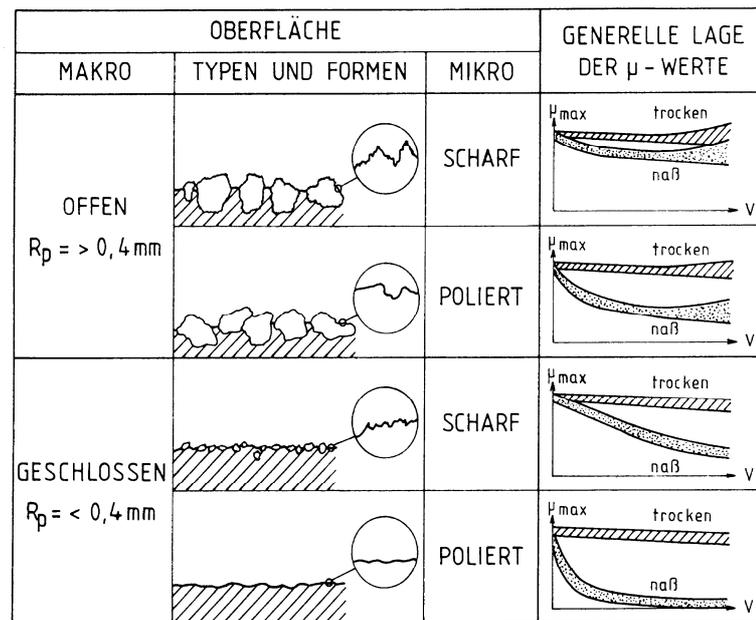


Abbildung 3-4: Auswirkungen der Oberflächenstruktur auf die Höhe des Reibungsbeiwertes μ , [ZIPKES, 1989]

Die Abbildung 3-4 veranschaulicht eindeutig den großen Einfluss einer polierten Oberfläche bei nasser Fahrbahn auf den Reibungsbeiwert μ . Auffallend dabei ist, dass nicht nur eine starke Abnahme des Reibungsbeiwertes mit zunehmender Geschwindigkeit eintritt, sondern die Abnahme schon bei geringen Geschwindigkeiten sehr deutlich ausfällt. Hingegen ist der Einfluss der polierten Mikrotextur im Gegensatz zu einer Mikrotextur mit ausgebildeter Schärfe bei trockener Fahrbahn verschwindend gering.

ZIPKES beschreibt in seiner Arbeit außerdem das Phänomen der zunehmenden Griffigkeit mit Zunahme der Geschwindigkeit bei einer offen ausgebildeten Makrotextur. Diese tritt vor allem bei Asphalten mit einem ausgebildeten Monokorngerüst auf.

3.1.4 Schlupf

Wie in Kapitel 3.1.2 erläutert wurde ist, um Kräfte zwischen Reifen und Fahrbahn übertragen zu können, eine Reibung zu aktivieren. Reibungskräfte auf der Fahrbahn werden aktiviert, wenn es bei einem Rad zu einer Verzögerung oder Beschleunigung des Abrollvorganges kommt.

Ein Beispiel dafür ist das in Abbildung 3-5 dargestellte gebremste Rad, das sich im Vergleich zu einem frei rollenden Rad langsamer bewegt. Die Umfangsgeschwindigkeit v_u des gebremsten Rades ist also kleiner als die Geschwindigkeit seines Radmittelpunktes v [MAYER et al., 2002].

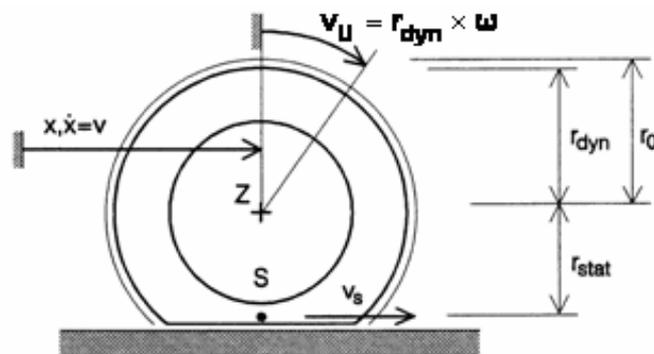
Das Verhältnis der Geschwindigkeiten v_u zu v wird als Schlupf S bezeichnet und in Prozent angegeben. Für das gebremste Rad berechnet sich der Schlupf nach Gleichung 2:

$$S = \frac{v - v_u}{v} \cdot 100 [\%] \quad \text{Gleichung 2}$$

mit: $v_u = r_{dyn} \times \omega$

ω ...Winkelgeschwindigkeit des Reifens unter Schlupf [°/s]
 r_{dyn} ...dynamischer Radius [m]

Der dynamische Radius eines Reifens r_{dyn} ist dabei jener Radius, der sich unter der Annahme eines konstanten Abrollumfanges ergibt. Der dynamische Radius ist stets größer als der statische Radius r_{stat} unter Auflast und kleiner als der Radius r_0 eines unbelasteten Rades.



- r_{dyn} ...dynamischer Radius [m]
- r_{stat} ...statischer Radius [m]
- x Weg des Radmittelpunktes [m]
- r_0 Radius des unbelasteten Rades [m]
- v_s Geschwindigkeit in der Reifenaufstandsfläche [m/s]
- ωWinkelgeschwindigkeit [°/s]
- vGeschwindigkeit des Radmittelpunktes [m/s]
- ϕ Abrollweg [°]

Abbildung 3-5: Geometrische und kinematische Größen am rollenden Rad, nach [MAYER et al., 2002]

Der Schlupf kann Werte zwischen 0 und 100 % annehmen. 0 % Schlupf bedeutet, dass das Rad frei abrollt und somit nur die Haftreibung zum Tragen kommt. Bei 100 % Schlupf blockiert das Rad, d.h. obwohl das Fahrzeug sich in einer translatorischen Bewegung befindet, dreht sich das Rad nicht und die Gleitreibung wird aktiviert. Von 100 % Schlupf ist auch beim durchdrehenden Rad (Beschleunigung) die Rede.

Ein maximaler Reibungsbeiwert wird in Abhängigkeit von den Eigenschaften auf der Fahrbahnoberfläche (nass, trocken, Eis, Schnee) bei einem Schlupf von 10 bis 30 % aktiviert (siehe Abbildung 3-6).

Die Abnahme des Reibungsbeiwertes nach dem Maximum von ca. 30 % ist auf den zunehmenden Gleitanteil am Gesamtschlupf zurückzuführen [BACHMANN, 1999].

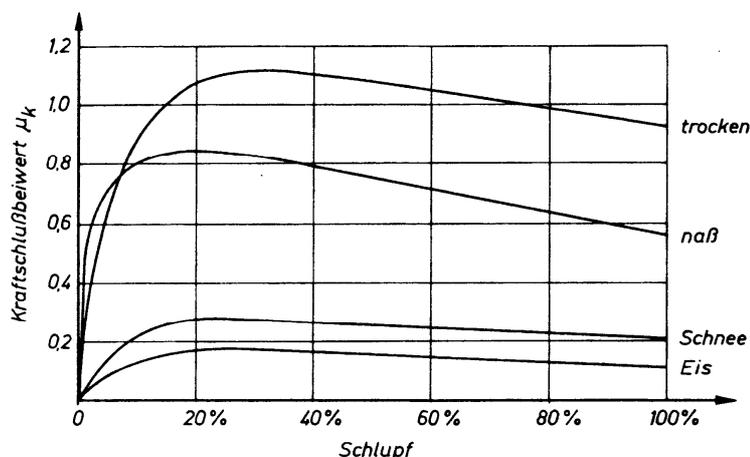


Abbildung 3-6: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Schlupf, [REIMPELL, 1971]

3.1.5 Polierresistenz der Mineralstoffe

Eine unter Verkehrsbeanspruchung stehende Straße ist durch die ständigen Überrollungen von Fahrzeugreifen einer starken mechanischen Polierwirkung ausgesetzt. Vor allem die an der Straßenoberfläche vorhandenen Mineralstoffe sind davon betroffen. Je nach Deckschichtart sind dabei besondere Anforderungen an die Polierresistenz von Sanden und/oder Splitten gestellt.

Die Polierresistenz – auch Polierwiderstand genannt – von Gesteinskörnungen gibt Auskunft darüber, wie sich die Körnung gegenüber der einwirkenden Polierbeanspruchung der Fahrzeugreifen im Hinblick auf die Beibehaltung ihrer ursprünglichen Form verhält. So werden Gesteinskörnungen mit einer sehr niedrigen Polierresistenz schneller und in höherem Ausmaß durch die mechanische Beanspruchung poliert als es bei polierresistenten Gesteinen der Fall ist. Die polierende Wirkung entsteht dadurch, dass alle Fahrzeugreifen unter Schlupf auf der Oberfläche abrollen. Das heißt, die Reifen gleiten über die Mineralstoffe an der Oberfläche und sorgen dadurch für die Glättung oder auch Einebnung der exponierten Kornoberflächen während der Übertragung

von Horizontalkräften auf die Fahrbahn. Abbildung 3-7 zeigt Sandkörner der Fraktion 0,63/1,0 mm vor und nach einer Polierbeanspruchung.

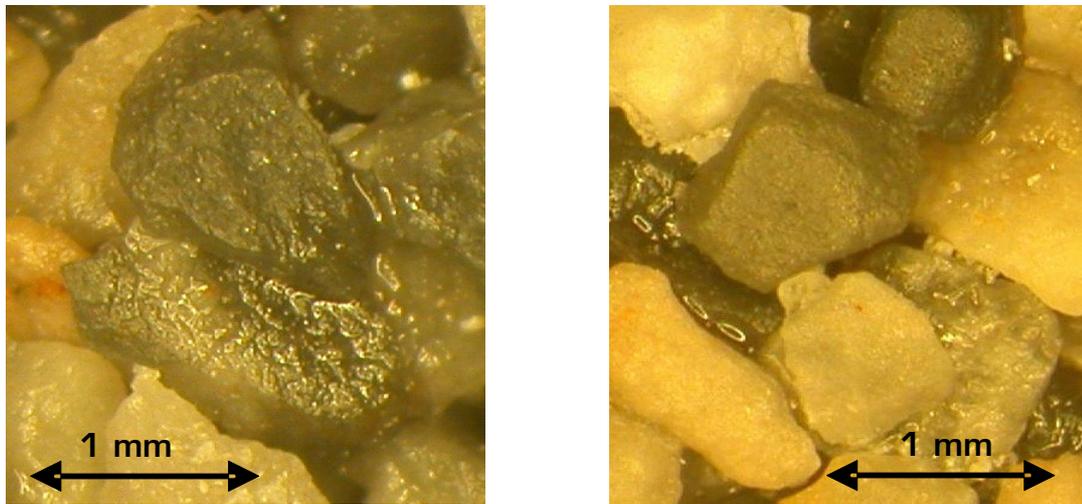


Abbildung 3-7: Kalksteinsandkörner der Fraktion 0,63/1,0 mm vor (links) und nach (rechts) einer Polierbeanspruchung

In obiger Abbildung ist links die ausgeprägte Mikrotextur der einzelnen Körner deutlich erkennbar, wohingegen rechts die Oberflächen der Sandkörner bereits stark poliert sind. Weiters weisen die Sandkörner rechts nach dem Polieren keine scharfe Kanten mehr auf. Somit nimmt der Grad der Schärfe der Kanten sowie der Oberflächen eines Gesteinskornes während der polierenden Einwirkung ab. Dies hat zur Folge, dass bei Nässe der dünne Wasserfilm auf der Kornoberfläche nicht mehr durchbrochen werden kann und so in der momentanen Kontaktfläche zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahn keine Reibungskräfte mehr aktiviert werden können. Dies führt in weiterer Folge zu einer Abnahme des Reibungsbeiwertes und einer Verlängerung des Bremsweges.

3.1.6 Polierwert

Der Polierwert – auch Polierbeiwert oder Polierwiderstand genannt – ist ein messtechnischer Begriff und ist ein Maß für die Polierresistenz von Gesteinskörnungen. Bei den derzeit üblichen Polierverfahren zur Bestimmung des Polierwertes an Gesteinskörnungen handelt es sich physikalisch gesehen um einen Gleitreibungsbeiwert, der durch überstreichen der Prüfoberfläche mittels einer genormten Gummifläche errechnet wird. Die Polierwertbestimmung erfolgt dabei immer nach dem Aufbringen einer polierenden Beanspruchung auf das zu untersuchende Gestein.

3.2 Bestimmung des Polierwertes von Splitten – PSV-Wert

Zur Bewertung des Polierwertes von Gesteinskörnungen dient das, vom Transport and Road Research Laboratory (TRRL) in England entwickelte Laborverfahren mit dem Schnellpolierrad.

Der hierbei ermittelte Gleitreibungsbeiwert nach Polieren, auch Polierwert (PSV – polished stone value) genannt, ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit eines Mineralstoffs gegen die polierende Wirkung von Gummireifen unter ähnlichen Bedingungen, wie sie auf der Straßenoberfläche herrschen [ZIEGER, 1990].

Die Durchführung der Bestimmung des PSV für Gesteinskörnungen ist in der ÖNORM EN 1097-8, Ausgabe 01.05.2000 geregelt. Die Versuchsdurchführung entspricht dem britischen Polierverfahren nach BS 812-113, Ausgabe 29.06.1990. Dabei erfolgt die Bestimmung des Polierbeiwertes PSV an im Labor eigens angefertigten Probekörpern der Standardprüffraktion 8/11 mm. In Abbildung 3-8 ist ein Prüfkörper mit den standardisierten Abmessungen (90,6 x 44,5 x 12,5 mm) abgebildet.



Abbildung 3-8: Prüfkörper für die Bestimmung des PSV-Wertes [PFEILER, 2004]

Im Regelfall werden je Laborprobe vier Probekörper hergestellt. Für die Polierwertbestimmung werden die Probekörper der Fraktion 8/11 mm auf einem Prüfrad ($\varnothing \cong 400$ mm) befestigt und mittels einer kontinuierlichen Zugabe von Grob- und Feinkorund sowie von Wasser für eine definierte Zeit (zwei mal drei Stunden) einer Polierwirkung unterzogen. Als Polierrad wird je ein Vollgummireifen mit einem Durchmesser von 200 mm und einer Breite $b = 38$ mm für den groben und den feinen Poliervorgang verwendet. Der Vollgummireifen wird während der Poliersimulation mit einer Anpresskraft von (725 ± 10) N gegen die Prüfkörper gepresst. Das Prüfrad dreht sich während der Versuchsdurchführung mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 320 RPM. Die Versuchsanordnung gemäß ÖNORM EN 1097-8 ist in Abbildung 3-9 abgebildet.

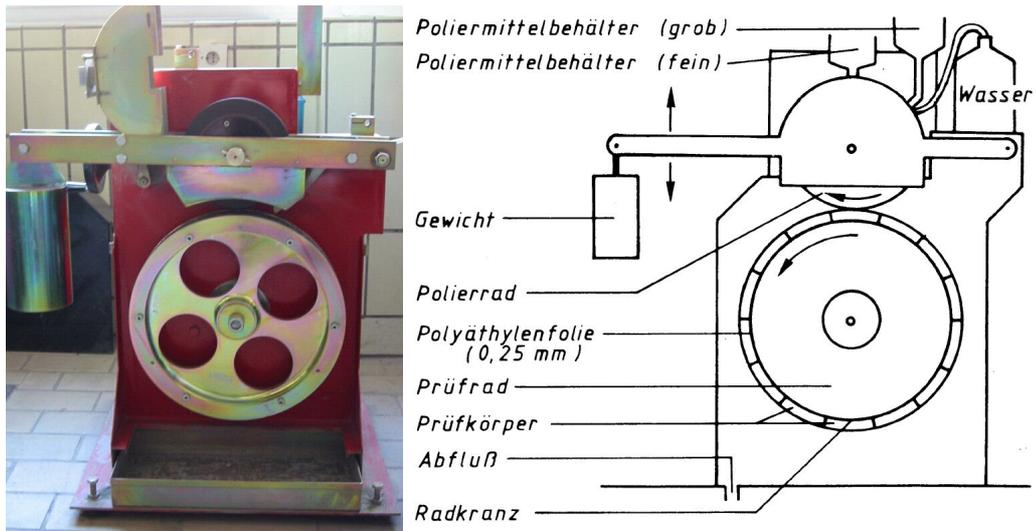


Abbildung 3-9: Poliersimulator des ISTU [PFEILER, 2004] bzw. [FSV, 1986]

Die Erfassung des Polierwertes PSV erfolgt im Anschluss an das Polieren der Probekörper mittels einer Pendelprüfung. Dafür werden die Probekörper einzeln mit der konvexen Prüfoberfläche nach oben zwangungsfrei in die dafür vorgesehene Halterung eingelegt, wobei darauf zu achten ist, dass die Gleitrichtung mit der Polierrichtung übereinstimmt. Für jeden Durchgang der Pendelprüfung ist der Probekörper mit Wasser zu benetzen. Insgesamt werden fünf Pendelprüfungen durchgeführt. Der Energieverlust durch den Gleitvorgang, der beim Überstreichen der nassen Probe mit einem Gummigleiter entsteht, wird durch einen Schleppeziger gemessen. Diese Werte sind aufzuzeichnen und die letzten drei ermittelten Werte je Probekörper dienen zur Berechnung des PSV-Wertes. In Abbildung 3-10 ist ein Pendelgerät für die PSV-Wert Bestimmung im Labor dargestellt.

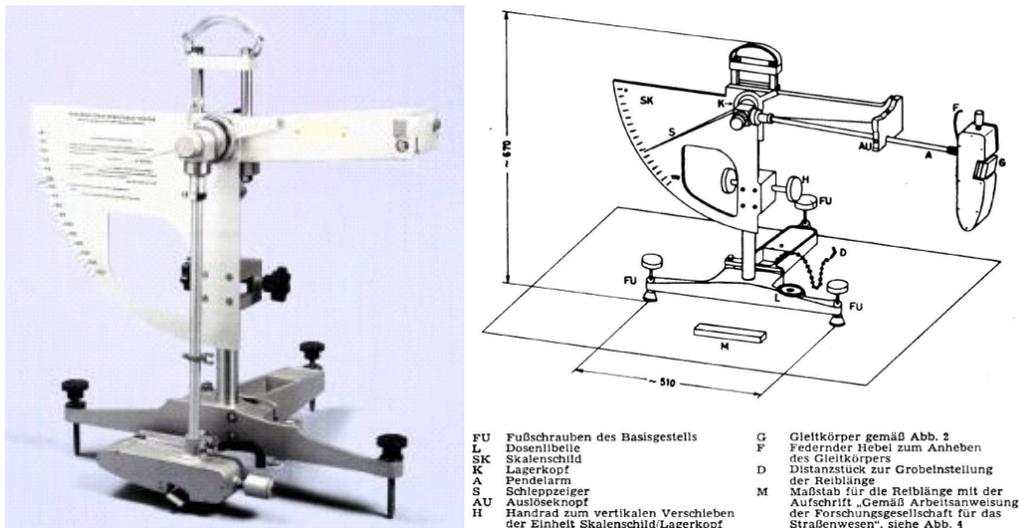


Abbildung 3-10: Pendelgerät nach BS 812-113:1990 [FSV, 1986]

3.3 Bestimmung des Polierwertes von Sanden

Die Frage, ob die Sandpolierprüfung ebenso wie die Polierprüfung von Splitten mit der bekannten und in vielen Prüfinstituten und Forschungslaboratorien vorhandenen PSV-Prüfanlage vorgenommen werden kann, beantworten deutsche Untersuchungen, durchgeführt an der TU Berlin hinreichend [DAMES, 2000]. Aufgrund der relativ kleinen Spreizung der Ergebnisse, die sich durch das Prüfverfahren nach ÖNORM EN 1097-8 ergeben, sowie aufgrund der stets vorhandenen Messwertstreuung, können die Polierwiderstände von Sandfraktionen bis 1 mm nicht ausreichend präzise differenziert werden.

Für die Untersuchung der Polierresistenz von Sandfraktionen wird daher die Prüfanlage nach Wehner/Schulze verwendet, welche eine wesentlich größere Differenzierung der unterschiedlichen Polierwiderstände zulässt (vgl. LITZKA et al., 2003).

Schon frühere systematische Untersuchungen zum Polierverhalten von Mineralstoffen mit der Prüfanlage Wehner/Schulze zeigten, dass man aufgrund der unterschiedlichen Beanspruchung des Mineralstoffes während der Polierprüfung nicht ohne weiteres vom Polierwiderstand eines Splittes 8/11 mm auf den des zugehörigen Brechsandes 0/2 mm schließen kann. So zeigte bereits DAMES [2000], dass Basalte und Hochofenschlacke wegen ihrer sehr feinkristallinen Oberflächenstruktur als Splittkörnung 8/11 mm oft nur mäßige Polierwerte erzielen, wohingegen die gleichen Mineralstoffe als Brechsandkörnung meistens Spitzenwerte für den Polierwiderstand aufweisen.

In einer Vielzahl von durchgeführten Reihenuntersuchungen an der TU Berlin (vgl. DAMES, 1989), wurde zur Beschreibung des Polierwertes von Sanden mit der Prüffraktion 0,2/0,4 mm gearbeitet. Die Festlegung auf die Prüfkörnung 0,2/0,4 mm fand aufgrund von Ergebnissen statt, die eine Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes innerhalb der feinen Körnungen bis 1,0 mm bestätigen. Diese Abhängigkeiten sind jedoch nicht so stark ausgeprägt, weswegen es gerechtfertigt erschien, die Sandpolierprüfung repräsentativ nur an einer Körnung (0,2/0,4) durchzuführen [DAMES, 2000].

So fand die Verwendung dieser Prüfkörnung auch Eingang in die deutschen Prüfvorschriften [FGSV, TP Min-StB Teil 5.5.2, 1999] sowie in die österreichischen Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen [FSV, RVS 11.06.23, Ausgabe 1.10.2005]. Der gemäß dieser Richtlinie ermittelte Polierwert der Sandfraktion 0,2/0,4 mm wird als PWS-F bezeichnet. In dieser Richtlinie wurde weiters die Polierdauer für die Sandprüfung mit der Prüfanlage Wehner/Schulze mit 90.000 Überrollungen (ÜR) festgelegt. Aufbauend auf dieser Richtlinie wurden die gegenständlichen Untersuchungen an Sanden durchgeführt.

3.4 Anforderungen an den Polierwert von Gesteinskörnungen

3.4.1 Nationale Anforderungen

Um dem Einfluss der verwendeten Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit der Deckschichten Rechnung zu tragen, sind in den einschlägigen Normen Anforderungen an den Polished Stone Value (PSV) gestellt.

Deckschichten aus Asphalt

Die bisher in Österreich gültige RVS für die Auswahl von Gesteinskörnungen für den Straßenbau und deren Einsatz in bituminösen Deckschichten [FSV, RVS 8S.01.41, Ausgabe 01.11.2004] wurde im Zuge der europäischen Harmonisierung der Asphaltnormen durch die nun gültige RVS – Anforderungen an Asphaltmischgut – Baustoffe [FSV, RVS 08.97.05, Ausgabe 01.01.2007] – ersetzt. Die Gültigkeit der neuen RVS beschränkt sich, abweichend zu der vorher für Eignungs-, Kontroll- und Abnahmeprüfung gültigen RVS 8S.01.41, lediglich auf die Abnahmeprüfungen. Für die Eignungsprüfungen (ab 01.01.2008 Erstprüfungen genannt) gelten die nationalen Umsetzungsnormen der Europäischen Asphaltnormen EN 13108.

In der RVS 08.97.05 wird an die Gesteinskörnungen > 2 mm eine entsprechende Mindestanforderung an den PSV gestellt (siehe Abbildung 3-11). Für Sande ≤ 2 mm ist der PSV lediglich anzugeben, wobei die Körnung aus einem Gestein herzustellen ist, bei dem die Splitte (8/11 mm) den geforderten PSV sicherstellen.

Bezug zur ÖNORM EN 13043 und ÖNORM B 3130			Gesteins- klasse	Mischguttyp AC deck, SMA, BBTM, PA, MA					
Abschnitt:	Merkmal gemäß CE-Zeichen	Auswahltablelle							
Lieferkörnungen D > 0,063 mm									
Korngruppe				0/2	2/4	4/8	8/11	11/16	16/22
4.1.2	Siebgrößen zur Festlegung der Korngruppen	Tab. 1	G1-G3	gemäß ÖNORM B 3130					
4.1.3	Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN 933-1	Tab. 2	G1-G3	G _F 85	G _C 90/15				
4.1.3.2	Für feine Gesteinskörnungen	Tab. 4	G1-G3	G _{TC} 20	–				
4.1.4	Gehalt an Feinteilen gemäß ÖNORM EN 933-1	Tab. 5	G1-G3	f ₁₆	f ₁				
4.1.6	Kornform von Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-4	Tab. 8	G1-G3	–		SI ₁₅			
4.1.7	Anteil gebrochener Körner in groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-5	Tab. 9	G1	C _{100/0}					
			G2, G3	C _{90/11}					
4.1.8	Kantigkeit von feinen Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-6	Tab. 10	G1-G3	E _{CS} 35	–				
4.2.2 ¹⁾	Widerstand gegen Zertrümmerung an 8/11 gemäß ÖNORM EN 1097-2	Tab. 11	G1	LA ₂₀ ¹⁾	LA ₂₀				
			G2	LA ₂₅ ¹⁾	LA ₂₅				
			G3	LA ₂₅ ¹⁾	LA ₂₅				
4.2.3 ¹⁾	Widerstand gegen Polieren gemäß ÖNORM EN 1097-8	Tab. 13	G1	PSV ¹⁾	PSV ₅₀				
			G2	angeben	PSV ₄₄				
			G3		PSV _{angeben}				

Abbildung 3-11: Auszug der Tabelle 11 „Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Deckschichten – Lieferkörnungen“ [FSV, RVS 08.97.05:2007]

Die Anforderungen bezüglich des PSV sind dabei abhängig von der gewählten Gesteinsklasse (G1 bis G3). Die Gesteinsklasse wiederum wird bestimmt durch die Lastklasse auf Grundlage der Verkehrsbeanspruchung.

Für hohe Beanspruchung, entsprechend den Lastklassen S, I und II gemäß RVS 03.08.63, wird für Asphaltbetone AC deck sowie für Splittmastixasphalt jeweils die Gesteinsklasse G1 empfohlen. Darüber hinaus wird diese Gesteinskörnungsklasse empfohlen bei hoher Beanspruchung in der Lastklasse III (z.B. Bremszonen, Kreisverkehr, Busbuchten, extremer Spurverkehr usw.) sowie in allen Lastklassen, wo eine hohe Griffigkeit (Polierwert des Gesteins PSV_{50}) gefordert wird (siehe RVS 08.97.05:2007).

Für mittlere Beanspruchung, entsprechend den Lastklassen III und IV gemäß RVS 03.08.63 wird für Asphaltbetone AC sowie für Splittmastixasphalt die Gesteinsklasse G2 empfohlen. Dafür ist ein PSV_{44} gefordert (siehe RVS 08.97.05:2007).

Für schwache Beanspruchung, entsprechend der Lastklasse V und VI gemäß RVS 03.08.63 (Nebenflächen usw.) wird für Asphaltbetone AC deck mit Gesteinsklasse G3 empfohlen [RVS 08.97.05:2007]. Hierfür ist der PSV lediglich anzugeben und muss keine Mindestanforderung erfüllen.

Dieselben Anforderungen an das Gestein bezüglich des PSV gelten für Asphaltbeton für sehr dünne Schichten, für Gussasphalt sowie für offenporigen Asphalt [ÖNORM B 3581 sowie B 3585 bis B 3586].

Obwohl der PSV in der RVS 08.97.05 sowie in den nationalen Umsetzungsnormen der EN 13108 für den Bereich von 2 bis 22 mm anzugeben ist, so erfolgt die Ermittlung des Kennwertes dennoch ausschließlich an der Fraktion 8/11 mm.

Damit wird bezüglich dem Einfluss der Fraktionen ≤ 2 mm in der nationalen Normung für Asphaltstraßen keine Aussage getroffen, obwohl deren Polierresistenz nach Dames [1988, 1997] nachweislich einen Einfluss auf die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche hat.

Betondecken

Im Gegensatz zum Asphaltstraßenbau hat in der Betonbautechnik die Bezeichnung Sand für alle Gesteinskörnungen ≤ 4 mm Gültigkeit. Für die Herstellung des Oberbetons von Betondecken hat bereits eine Anforderung an den Polierwert von Sanden Eingang in die nationalen Richtlinien gefunden. So sind in den nationalen Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau [FSV, RVS 08.17.02, Ausgabe 01.03.2007] an Gesteinsfraktionen ≤ 4 mm Anforderungen hinsichtlich des PWS Wertes gestellt. Gefordert wird ein PWS Wert von $\geq 0,55$ mm, geprüft an der Fraktion 0,2/0,4 mm gemäß RVS 11.06.23 (siehe Abbildung 3-12). Als Alternative dient der Nachweis der Prüfung des CO_2 -Gehaltes der Gesteinskörnungen. Ist dieser kleiner als 15 %, so ist dieses Gestein für den Einsatz im Oberbeton gemäß dieser Norm geeignet. Diese Regelung in Hinblick auf den CO_2 -Gehalt ist allerdings zu hinterfragen.

Zusätzlich zum geforderten Polierwiderstand PWS von Sanden ≤ 4 mm ist für den Einsatz von Splitten > 4 mm ein PSV-Wert von 50, geprüft an der Standardfraktion 8/11 mm, gefordert.

Erforderliche Körnungen für GK8, GK11 (Waschbetonstruktur)	0/1 oder 0/2 und GK8: 4/8 GK11: 4/8 + 8/11 oder 4/11
Erforderliche Körnungen für \geq GK16 (z.B. mit Besenstrich)	3 Korngruppen, davon eine mit höchstens 4 mm Größtkorn, die anderen mit mindestens 4 mm Kleinstkorn, 4/8 kann entfallen
Kornrohichte	angegebener Wert \pm 30 kg/m ³
Kornzusammensetzung > 4mm	G _c 90/15, bei Körnung > 11/..: G _c 85/20
Kornzusammensetzung \leq 4 mm ¹⁾	G _e 85, Kategorie gemäß Tabelle C.1 der ÖNORM EN 12620
Kornform	SI _{40'} bei Waschbeton bei Körnung > 4/.. SI ₁₅
Muschelschalengehalt	SC ₁₀
Gehalt an Feinteilen grob	f _{1,5}
Gehalt an Feinteilen fein	f ₁₀
Anteil gebrochener Körner in grober Gesteinskörnung	C _{90/1} (bestimmt gemäß ÖNORM EN 933-5)
Widerstand gegen Zertrümmerung > 4 mm	LA ₂₀ (bestimmt gemäß ÖNORM EN 1097-2 an 8/11)
Widerstand gegen Polieren > 4 mm	PSV ₅₀ (bestimmt gemäß ÖNORM EN 1097-8 an 8/11)
Widerstand gegen Polieren \leq 4 mm	PWS \geq 0,55 gemäß RVS 11.06.23 (11.06.23) oder CO ₂ < 15 % (ÖNORM EN 196-2)
Frost-Tau-Widerstand > 4 mm	F ₁
Frost-Tau-Widerstand \leq 4 mm	F ₁ gemäß ÖNORM B 3303, Abschnitt 9.2
Säurelösliches Sulfat	AS _{0,8}
Alkali-Kieselsäure Reaktivität	Beanspruchungsklasse 3 gemäß ÖNORM B 3100
Kornanteil 4/8 bzw. 4/11 am gesamten Korngemisch bei GK8, GK11	\geq 68 % bzw. 65 % bei Straßenbeton mit Fließmittel
Kornzusammensetzung GK22	Sieblinienbereich AC22 oder Ausfallkörnung mit jeweils \geq 60 % Korn aus Korngruppen mit Kleinstkorn \geq 4 mm

Abbildung 3-12: Auszug aus der Tabelle 4.1 „Anforderungen an Gesteinskörnungen für Beton: Oberbeton“ [FSV, RVS 08.17.02, 2007]

Die in der RVS 08.17.02 geforderte Bestimmung des PWS Wertes von Sanden (die Prüfung hat gemäß RVS 11.06.23 zu erfolgen) bezieht sich bisher ausschließlich auf die Fraktion 0,2/0,4 mm. Es ist allerdings noch nicht geklärt, ob diese Korngruppe stellvertretend für die gesamte Sandfraktion die Polierresistenz des Gesteins beschreibt.

3.4.2 Straßenbaurelevante Anforderungen

Der Einfluss der Sandfraktionen auf die Griffigkeit ist vor allem auf deren Grad der Schärfe zurückzuführen. Das heißt, dass der Anteil der Kantigkeit im Vergleich zur ebenen Oberfläche eines kleinen Gesteinkorns wesentlich höher ist, als dies bei Körnungen der Fraktion 8/11 mm mit ihren relativ großen Bruchflächen der Fall ist.

Dieser Umstand kommt vor allem bei der Herstellung von sehr dichten Asphalten wie etwa dem Asphaltbeton zu tragen. Dort ist bedingt durch den geringen Hohlraumgehalt und der „ausgeglichenen“ Sieblinie, die Mikrotextur der kleinen Gesteinskörner an der Oberfläche hauptverantwortlich für die Griffigkeit.

Ebenso verhält es sich bei Betonfahrbahnen ohne Waschbetonstruktur. Bei diesen werden nach SCHULZE et al. [1982] drei oberflächennahe Zonen unterschieden (Abbildung 3-11).

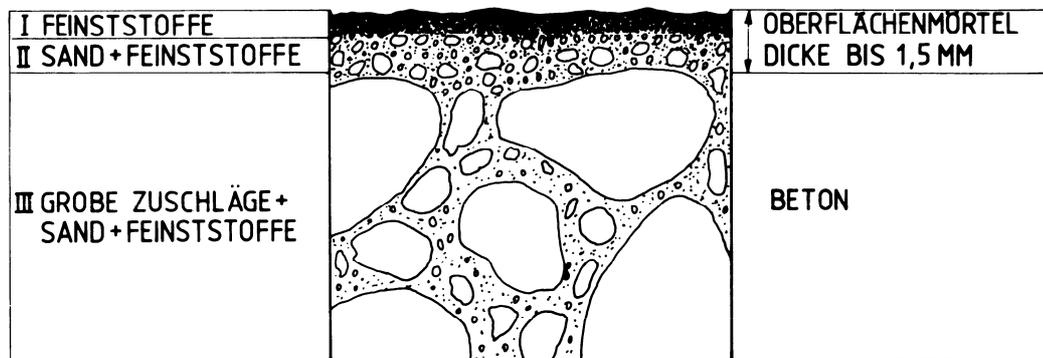


Abbildung 3-13: Oberflächennahe Zonen einer Betonfahrbahndecke [SCHULZE et al., 1982]

Durch den Verdichtungsprozess beim Einbau entstehen Zementmörtelansammlungen an der Oberfläche (Zone I). Diese Ansammlungen haben bedingt durch den hohen Mehlkornanteil negative Auswirkungen auf das Griffigkeitsverhalten. Diesem Umstand wird durch aufbringen einer entsprechenden Textur (Besenstrich, Jutetuch) entgegengewirkt [SCHULZE et al., 1982].

Im Laufe der Zeit werden durch Witterung und Verkehr die Feinstoffe und auch die zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit hergestellten Oberflächenstrukturen abgetragen. Dadurch wird die Zone II freigelegt, die aus Sand und Zementleim besteht. Die Sandteilchen des Oberflächenmörtels gewinnen dabei immer mehr an Einfluss auf die Griffigkeit. Der Sand bestimmt dann über Jahre hinweg das Griffigkeitsverhalten, da es lange dauert, bis die Grobzuschläge freigelegt sind. Daher ist bei Betonfahrbahndecken auf einen hohen Polierwiderstand der Brechsande zu achten [MAYER et al., 2002].

Ist mit Fortdauer auch die Zone II abgewittert bzw. durch die Polierbeanspruchung abgefahren, so kommt die Zone III zu tragen. Dabei bestimmen die Splittfraktionen bzw. die Grobzuschläge das Griffigkeitsverhalten einer Betonfahrbahn.

4. PRÜFVERFAHREN NACH WEHNER/SCHULZE

4.1 Allgemeines

Das Simulieren der Verkehrseinwirkungen auf der Straße und deren Einflüsse auf die Deckschichten, hier insbesondere der Einfluss auf die Mineralstoffe, unter definierten Bedingungen im Labor zählt zu einer der wichtigsten Aufgaben in der Straßenbauforschung. Um die Änderung der Griffigkeit von Fahrbahnen infolge von Verkehrseinwirkung untersuchen zu können, haben Wehner und Schulze Anfang der 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts an der TU Berlin das gleichnamige Verfahren nach Wehner/Schulze (W/S) entwickelt. Dabei wird im Labor, unter definierten Bedingungen, der Straßenverkehr simuliert und anschließend eine Griffigkeitsprüfung an den polierten Probekörpern durchgeführt.

Der ermittelte Wert für den Reibungskoeffizienten wird dabei als PWS bezeichnet. Der PWS Wert ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit von Gesteinskörnungen beziehungsweise von Asphalt- und Betonmischungen gegen die polierende Wirkung von Fahrzeugreifen auf einer Straßenoberfläche. Für die Beurteilung der Griffigkeit mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze wird der PWS Wert bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h ermittelt. In der Fachliteratur ist somit manchmal auch vom PWS_{60} die Rede. Diese Bezeichnung wird deswegen in dieser Arbeit 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 an anderen Geschwindigkeiten erfolgt, die Möglichkeit bieten, die PWS Werte eindeutig voneinander unterscheiden zu können.

Stand ursprünglich das Bestimmen des Verhaltens der Mineralstoffe unter Verkehrseinwirkung im Vordergrund, so ist es mit diesem Verfahren nun nicht nur möglich die Polierresistenz von Mineralstoffen für den Straßenbau zu bestimmen, sondern auch Aussagen zur Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnen zu tätigen.

Anfangs bestand die Prüfeinrichtung noch aus zwei getrennten Maschinen. So wurden von der ehemaligen Firma „Tonindustrie“ je eine Prüfanlage für das Polieren der Probekörper, sowie für die Griffigkeitsmessungen der Proben gebaut. Die an der TU Berlin ermittelten Ergebnisse für die Polierwiderstände von Sanden basieren alle auf Untersuchungen mit der Wehner/Schulze Prüfanlage alter Bauart.

Obwohl es das System der Prüfanlage nach Wehner/Schulze nun schon seit über 40 Jahren gibt und das Prüfverfahren in Berlin auch immer praktiziert wurde, so ist diese Prüfeinrichtung erst seit wenigen Jahren in Europa auf wissenschaftlicher – technischer Ebene anerkannt. Vor allem zur Bestimmung der Polierresistenz von Sanden hat sich dieses Verfahren aufgrund der vielen Vorteile gegenüber dem englischen Verfahren zur Bestimmung der Polierresistenz von Splitten (Schnellpolierrad) durchgesetzt.

Der eigentliche Durchbruch gelang dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze durch die technischen Modifikationen und Neuerungen, die von der Firma „Maschinen- und Gerätebau FREUNDL“ in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Straßenbau der Technischen Universität Berlin unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. sc. techn. ETH S. Huschek in den Jahren 2000/2001 vorgenommen wurden. Die Polier- und die Griffigkeitsmessanlage wurden zu einem Bausatz kombiniert, was nicht nur einen wesentlich geringeren Platzbedarf, sondern auch versuchstechnische Vorteile mit sich brachte. Durch diese Modifikation entfällt der Probenumbau zwischen dem Polieren und der Griffigkeitsmessung. Einen weiteren Vorteil bringt die gebündelte Messdatenerfassung und Datenverarbeitung mit einem PC.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der für dieses Prüfverfahren spricht, ist die im Gegensatz zur Versuchseinrichtung nach ÖNORM EN 1097-8 vergrößerte Bandbreite der prüfbareren Korngruppen und Baustoffe. So können neben der Sandfraktion 0,2/0,4 mm alle Korngrößen von 0,2 bis 11 mm untersucht werden. Zusätzlich ist es möglich Asphalt- und Betonprobekörper, die entweder einer bestehenden Straße entnommen oder im Labor hergestellt wurden, mit diesem Verfahren auf ihr Griffigkeitsverhalten hin zu untersuchen. Durch die genaue Steuerung der Poliereinwirkung sind Zusammenhänge zwischen der Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnen und den im Labor erzielten Polierwerten herstellbar. Das in der ÖNORM EN 1097-8 festgelegte Verfahren zur Bestimmung des Polierbeiwertes ist lediglich auf die Prüfkörnung 8/11 mm beschränkt und erlaubt für fertige Asphalt- und Betonmischungen keinerlei Aussagen über die Griffigkeitsentwicklung der Fahrbahndeckschichte.

Außerdem liefert das Prüfverfahren nach Wehner/Schulze eine weitaus größere Spreizung und bessere Wiederholbarkeit der Ergebnisse als bei Versuchen mit dem Schnellpoliergerät. So ergab eine an der TU Berlin durchgeführte Vergleichsuntersuchung zwischen dem W/S-Verfahren und dem englischen Verfahren für die Bestimmung des PWS Wertes von Splitten 8/11 mm eine Wiederholbarkeit von $r = 0,025$, wohingegen der PSV Wert nur eine Wiederholbarkeit von $r = 3$ erzielte (HUSCHEK 2002). Ursachen für die geringe Wiederholbarkeit der PSV Bestimmung sind sicherlich in der kleinen Prüfoberfläche der Probekörper sowie in der durchzuführenden Griffigkeitsmessung mit dem SRT-Pendel an einer gewölbten Oberfläche zu suchen.

Das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung ist seit dem Frühjahr 2006 im Besitz einer Wehner/Schulze Prüfanlage neuester Bauart. Bei diesem Modell ist im Gegensatz zu dem Vorgängermodell der TU Berlin die Spülstation in die Vorrichtung für die Poliersimulation integriert, was zu einer weiteren Platzeinsparung führte.

In Abbildung 4-1 ist die Prüfanlage nach Wehner/Schulze am Labor des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung (ISTU) abgebildet.



Abbildung 4-1: Prüfanlage nach Wehner/Schulze des ISTU [Foto: Kirchmaier]

Neben dem ISTU besitzt in Österreich zurzeit noch ein weiteres Labor eine W/S-Prüfanlage. Europaweit sind laut Herstellerangaben 15 stationäre Maschinen in Betrieb, u.a. in Deutschland, Frankreich, England. Zusätzlich verfügt die RWTH Aachen noch über eine mobile Wehner/Schulze-Prüfanlage. Diese ermöglicht Griffigkeitsuntersuchungen direkt auf der Fahrbahn, wodurch ein Ziehen von Probekörpern entfällt.

4.2 Bestandteile der Prüfanlage

Die W/S Prüfanlage besteht im Wesentlichen aus zwei Bauteilen – der Polierstation und der Prüfstation. Weiters sind ein Behälter für das Quarzmehl-Wasser-Gemisch inklusive einer Förderpumpe, sowie ein Druckluftkompressor notwendig. Zum Einspannen der Gesteinsprobekörper sowie der Probekörper aus Asphalt oder Beton dient eine Probeneinspannvorrichtung. In Abbildung 4-2 sind die wesentlichen Bauteile dargestellt.

Optional wird für die Griffigkeitsprüfung und für die Erstellung von Griffigkeitsprognosen von Asphalt- und Betonmischungen noch eine Sandstrahlkabine benötigt. Diese ist eine separate Prüfanlage und wird in Kapitel 4.2.3 näher erläutert.

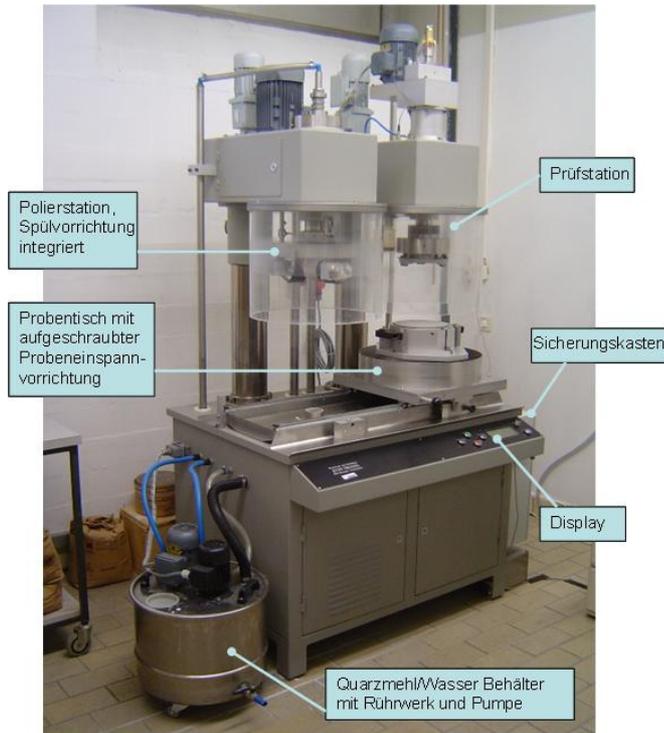


Abbildung 4-2: Bestandteile der W/S-Prüfanlage am ISTU [Foto: Kirchmaier]

4.2.1 Polierstation

Die Polierstation besteht aus einem maschinenbetriebenen Polierkopf mit drei Polierrollen (Abbildung 4-3), der auf die Probenfläche abgesenkt werden kann. Die Prüfkörperplatten besitzen einheitlich einen Durchmesser von 225 mm, wobei nur ein äußerer Kreisring mit einer Breite von 60 mm, das entspricht einer polierten Fläche von ca. 735 cm², von den Polierrollen erfasst wird. Das Auflastgewicht des Polierkopfes auf die Prüfkörperoberfläche beträgt 392 N. Das entspricht einem mittleren Kontaktdruck der Polierrollen auf die Prüfkörperoberfläche von ca. 0,37 N/mm². Der vermutete Spitzenkontaktdruck liegt zwischen 0,6 und 0,7 N/mm² [Angaben Fa. Freundl].



Abbildung 4-3: Polierkopf mit den drei Polierrollen [Foto: Kirchmaier]

Die Drehzahl des Rollenkopfes lässt sich stufenlos zwischen 0 und 1000 RPM regeln. Die zu verwendende Drehzahl für die Poliersimulation ist durch Erfahrungen aus Berlin mit 500 RPM – entspricht einer Bahngeschwindigkeit von 17 km/h – festgelegt. Diese Festlegung fand auch in die RVS 11.06.23 Eingang. Somit beträgt die Dauer des Poliervorganges für 90.000 Überrollungen eine Stunde.

Die Polierrollen rollen dabei mit einem Schlupf von 0,5 bis 1,0 %, der durch die Lagerreibung der Polierrollen hervorgerufen wird, über die Prüfoberfläche [HUSCHEK, 2002].

Die Zufuhrate des Wasser-Quarzmehl-Gemisches beträgt 5 Liter pro Minute. Dies wird durch eine eingestellte Pumpenförderleistung von 47 % gewährleistet. Das Verhältnis von Quarzmehl zu Wasser beträgt 2,4:40, d.h. 40 Liter Wasser sind 2,4 kg Quarzmehl < 0,063 mm Typ Millisil W6 (Quarzwerke Frechen) zuzugeben. Die geforderte Temperatur des Quarzmehl-Wasser-Gemisches während dem Poliervorgang beträgt 20°C.

Durch Erhöhung der Förderleistung steigt die Zufuhrate, was wiederum eine höhere Polierbeanspruchung der Probekörperfläche zur Folge hat. Ein diesbezüglich durchgeführter Versuch mit einer Anhebung der Pumpenleistung von 47 auf 88 % hat bei Kalkstein der Fraktion 0,2/0,4 mm eine Verminderung des PWS_{60} von 14 % ergeben. Bei der Prüfung von Diabas derselben Fraktion hatte dies eine Reduktion des PWS_{60} um 8 % zur Folge. Dies zeigt, dass durch eine Erhöhung der Zufuhrate des Quarzmehl-Wasser-Gemisches eine zusätzliche Spreizung der Ergebnisse möglich ist.

Die Polierrollen (Abbildung 4-4) bestehen aus einem keisegel-förmigen Metallträgergehäuse, auf dem eine 8,8 mm dicke Gummischicht aufgebracht ist. Die Shorehärte des Gummis beträgt (65 ± 3) . In jede Polierrolle sind 8 Querrillen von ca. 4,5 mm Tiefe sowie 3,5 mm Breite geschnitten. Die äußeren Maße der Rollen betragen:

- Durchmesser 36 bzw. 80 mm
- Höhe 56,3 mm
- Mantellinie $s = 60$ mm



Abbildung 4-4: Simulation der Verkehrsbeanspruchung [HUSCHEK, 2002]

In die Polierstation ist außerdem eine Spülvorrichtung, die zur Reinigung der Prüfkörper nach dem Poliervorgang dient, integriert. Dies ist notwendig um die Proben von den vorhandenen Quarzmehlrückständen zu befreien, da diese das Ergebnis nachhaltig beeinflussen. Eine Polierdauer von 120 Sekunden mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit des Polierkopfes von 100 RPM ist für das Reinigen der Probekörper ausreichend.

Die dann unter dem Mikroskop sichtbaren Quarzmehlrückstände sind vernachlässigbar gering. Da beim Spülvorgang die Polierrollen mit demselben Anpressdruck wie bei der Poliersimulation auf die Prüfkörperoberfläche drücken, werden diese zusätzlichen Überrollungen zu den Gesamtüberrollungen mitgerechnet.

4.2.2 Prüfstation

Die Prüfstation besteht aus einem kuppelbaren, maschinenbetriebenen Messkopf der mit drei Messgummis (Gleitschuhe) bestückt ist (siehe Abbildung 4-5). Die Aufstandsfläche eines Gleitschuhs beträgt entsprechend der Stollenfläche eines durchschnittlichen PKW-Reifens ca. 4 cm^2 [HUSCHEK, 2002].



Abbildung 4-5: Prüfkopf mit den drei Gleitschuhen [Foto: Kirchmaier]

Der mittlere Kontaktdruck der Prüfgummis auf die Probenoberfläche beträgt ca. $0,2 \text{ N/mm}^2$ (vergleichbar dem mittleren Reifeninnendruck von 2 bar bei PKW-Reifen). Dies entspricht einem Auflastgewicht von ca. 240 N [Angaben Fa. Freundl]. Abbildung 4-6 zeigt die Position der Prüfgummis auf der zu prüfenden Oberfläche.



Abbildung 4-6: Prinzip der Griffigkeitsmessung [HUSCHEK, 2002]

Die Zufuhr rate des Prüfwassers beträgt ca. 20 Liter pro Minute, wobei eine Prüfwassertemperatur von $(10 \pm 2) \text{ °C}$ einzuhalten ist. Die Kühlung des Prüfwassers erfolgt mit dem integrierten Kälteaggregat.

Die gesamte Prüffläche beträgt ca. 82 cm^2 bei einer Prüfbahnlänge von 565 mm je Messkopfumdrehung und einer Gleitschuhbreite von 14,5 mm. Die Gleitschuhe beste-

hen aus einem kreisringförmigen Metallträger mit Einspannvorrichtung, auf dem eine 4 mm starke Gummischicht aufgebracht ist. Neue Prüfgummis weisen eine Dicke (inkl. Träger) von 17,3 mm auf. Die mittlere Shorehärte beträgt (65 ± 3) .

Für die Plausibilitätskontrolle der erzielten Ergebnisse sind vor Messbeginn die Gleitschuhe auf Kontrollplatten zu kalibrieren. Dies können ein Wurzelblech aus Aluminium, eine Glasplatte oder andere geeignete Oberflächen mit gut reproduzierbaren Griffigkeitseigenschaften sein. Im Labor des ISTU wird eine Glasplatte verwendet, auf der für neue Prüfgummis ein Reibungsbeiwert zwischen 0,095 und 0,115 gegeben sein muss. In Versuchen zeigte sich, dass neue Prüfgummis bereits nach der ersten Prüfung einen Kontrollreibwert von $> 0,115$ aufweisen. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen im Labor des ISTU konnte festgestellt werden, dass bis zu einem Kontrollwert von ca. 0,160 keinerlei Beeinflussung der Prüfergebnisse erfolgt.

In Abbildung 4-7 ist im Hintergrund ein abgenutzter und im Vordergrund ein neuer Prüfgummi abgebildet. Prüfgummis sind auszusondern, wenn sie entweder eine Mindestgummidicke von 2 mm unterschreiten, sie bei der Kalibrierung auf einer Kontrollplatte einen zu hohen Wert ($\mu > 0,160$) oder durch zu starke Beanspruchung deutlich erkennbare Abriebsrillen oder Fehlstellen auf der Oberfläche aufweisen.



Abbildung 4-7: Abgenutzter und neuer Prüfgummi [Foto: Kirchmaier]

Bei der Prüfung von Sanden der Fraktion 1,0/2,0 mm kann es besonders bei polierresistenten Gesteinen (Diabas, Granulit, Basalt, etc.) zur Bildung eines Abriebskeiles (siehe Abbildung 4-8) kommen. Prüfgummis, die einen Abriebskeil aufweisen, sind für weitere Untersuchungen unbrauchbar.

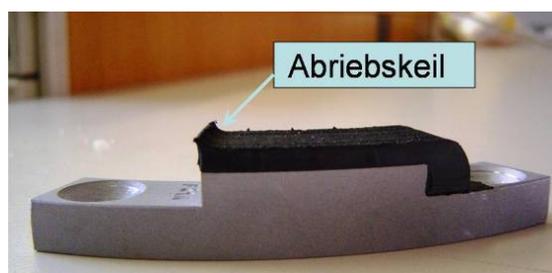


Abbildung 4-8: Prüfgummi mit ausgebildetem Abriebskeil [Foto: Kirchmaier]

4.2.3 Sandstrahlkabine

Die Sandstrahlkabine dient bei im Labor hergestellten Asphalt- oder Betonprobekörpern zur Entfernung der herstellungsbedingten Bindemittel- bzw. Zementmörtelanreicherungen an der Oberfläche. Der hierbei im Labor simulierte Vorgang entsteht in der Anfangsphase einer für den Verkehr freigegebenen Straße durch die Polierwirkung des rollenden Verkehrs. Zusätzlich werden die oberflächennahen Anreicherungen von Bindemittel oder Zementmörtel durch Witterungseinflüsse wie etwa saurer Regen, Einwirken von Luftsauerstoff oder Temperaturschwankungen auf Straßen entfernt.

Die in Abbildung 4-9 dargestellte Sandstrahlkabine des ISTU ist eine vollautomatische Strahlkabine mit 5 voreingestellten Programmen zur Entfernung des oberflächennahen Bindemittels. Dabei wird zwischen dem Strahlwinkel mit dem der Korund auf die Probenoberfläche trifft, der Strahlgeschwindigkeit und der Strahlintensität variiert.

Beginnend vom Probekörpermittelpunkt wird je nach Programm mit einer definierten Geschwindigkeit die Probe von Innen nach Außen abgestrahlt. Dabei rotiert die Grundplatte, was zu einem regelmäßigen Abstrahlen der Beton- oder Asphaltprobekörper führt.

Optional besteht die Möglichkeit die Proben von Hand zu strahlen. Davon ist allerdings abzuraten, da dieser Vorgang sehr sorgsam ausgeführt werden muss und Unregelmäßigkeiten beim Strahlen einen großen Einfluss auf die Messergebnisse haben.

Abgestrahlte Probekörper sind vor dem eigentlichen Poliervorgang in der W/S-Prüfanlage mittels Druckluft von etwaigen Korundrückständen des Sandstrahlens zu reinigen.



Abbildung 4-9: Sandstrahlkabine am Labor des ISTU [Foto: Kirchmaier]

4.3 Kurzbeschreibung der Versuchsdurchführung

Mit dem W/S-Verfahren wird der von der Korngröße von Gesteinen bzw. der von der Oberfläche einer Deckschichte abhängige Polierwert nach Wehner/Schulze, PWS, ermittelt.

Die Ermittlung des Polierwertes erfolgt bei der Gesteinsprüfung in zwei Teilschritten:

1. Verkehrssimulation
2. Griffigkeitsmessung.

4.3.1 Verkehrssimulation

Mit der Poliereinrichtung wird zeitraffend eine Verkehrseinwirkung, die den Überrollungen von Fahrzeugreifen entspricht, auf der zu prüfenden Oberfläche des Prüfkörpers im Labor simuliert.

Die polierende Wirkung wird durch drei unter Schlupf laufenden, konische Gummirollen, die mit Querrillen versehen sind, nachgeahmt. Die Querrillen der Polierrollen werden benötigt, um das für den Poliervorgang bedeutende Ausschlagen der Reifenstollen am Riefenauslauf zu simulieren [HUSCHEK, 2002].

Auf der Straße verstärkt der vorhandene Straßenstaub sowie vorhandene, losgelöste Gesteinskörner die Polierwirkung der Fahrzeugreifen. Durch eine kontinuierliche Zugabe eines Wasser-Quarzmehl-Gemischs auf die Prüfkörperoberfläche während des Poliervorganges, wird dieser Vorgang im Labor simuliert.

4.3.2 Griffigkeitsmessung

Das Laborgriffigkeitsmessgerät stellt im Prinzip die Übertragung der Messmethode des blockierten Schlepprades („Stuttgarter Reibungsmesser“) ins Laboratorium dar. Das System des blockierten Schlepprades findet bei diversen Feldmethoden (RoadSTAR, Griptester) zur Griffigkeitsmessung Anwendung. Das Griffigkeitsmessgerät ist mit der Poliereinrichtung für Messungen auf ebenen, kreisförmigen Prüfoberflächen, mit einem Durchmesser von 225 mm, abgestimmt. Drei mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 km/h rotierende Messgummis werden auf der bewässerten Oberfläche des Probekörpers abgebremst. Die Reibungskraft wird dabei bis zum Stillstand aufgezeichnet. Der Polierwert PWS wird dann als Verhältnis zwischen Reibungskraft und Aufstandskraft der Messgummis über den ganzen Geschwindigkeitsbereich von 100 bis 0 km/h berechnet und aufgezeichnet [HUSCHEK, 2004].

Laut RVS 11.06.23 ergibt sich der Polierwert PWS aus dem Mittelwert von Messwerten an mindestens zwei verschiedenen Prüfkörpern bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h. Dieser Polierwert ist auf zwei Dezimalstellen anzugeben.

Für die Ermittlung des Polierwertes von im Labor hergestellten Asphalt- bzw. Betonprobekörpern, sind diese in einem ersten Schritt in einer Sandstrahlkabine (siehe Kapitel 4.2.3) von den Bindemittel- bzw. Zementmörtelanreicherungen an der Oberfläche zu befreien. Die weitere Bestimmung des PWS erfolgt gemäß der Versuchsdurchführung für Gesteinskörnungen.

4.4 Herstellung der Probekörper

Der Herstellung der Probekörper kommt bei dem Verfahren nach Wehner/Schulze eine sehr große Bedeutung zu. Generell erfordert das Herstellen von homogenen, ebenen Oberflächen Übung und ist mit besonderer Sorgfalt durchzuführen.

An der TU Berlin wurden für die Mineralstoffprüfung je nach Größe des zu untersuchenden Gesteins drei verschiedene Verfahren entwickelt.

1. Mosaik-Auslageverfahren für Splitt > 8 mm
2. Mastix-Eingussverfahren für Splitte 2/5 und 5/8 mm
3. Aufklebeverfahren für Sande 0/2 mm

Zusätzlich können Probekörper aus Asphaltmischgut mittels eines Walzsegmentverdichters im Labor hergestellt werden. Dabei werden aus Platten mit einer Dicke von 5 cm Bohrkerne mit einem Durchmesser von 225 mm herausgebohrt. Die Bohrkerne können auch direkt aus fertigen Fahrbahnen gezogen werden.

Da sich diese Diplomarbeit mit der Untersuchung der Korngrößenabhängigkeit des Polierbeiwertes von Sanden beschäftigt wird auf die Verfahren 1 und 2 nur kurz eingegangen.

4.4.1 Mosaik-Auslageverfahren für Splitt > 8 mm

Hierbei werden ähnlich der Probekörperherstellung beim PSV- Verfahren möglichst kubische Körner mit ihrer flachen Seite in eine ebene Form mit einem Durchmesser von 225 mm so eng wie möglich eingelegt. Die Zwischenräume der Körner werden zu einem Drittel ihrer Höhe mit Feinsand aufgefüllt. Danach wird der Prüfkörper mittels eines Kunststoffmörtels verfüllt. Nach Erhärten des Mörtels wird der Prüfkörper aus der Form genommen und mit einer Bürste von losem Sand befreit. Es entsteht somit eine Prüffläche aus einer Vielzahl kleiner bruchrauer Splittflächen des zu prüfenden Mineralstoffes [HUSCHEK, 2004].

4.4.2 Mastix-Eingussverfahren für Splitte 2/5 und 5/8 mm

Dabei wird eine Asphaltmastix bestehend aus 70 % Füller und 30 % Bitumen B 20/30 bei einer Temperatur von 200 °C hergestellt. Die zu untersuchende Prüfkörnung wird anschließend mit der Asphaltmastix gemischt. Die fertige, homogene Mischung wird in eine Metallform, 225 mm Innendurchmesser und mit geeigneter Höhe gespachtelt und mit Hilfe eines Rütteltisches oder sonstigem Verdichtungsgerät möglichst hohlraumarm verdichtet. Nach dem Erkalten wird der Asphaltkörper in zwei etwa 40 bis 50 mm dicke Scheiben planeben geschnitten. Die Schnittflächen werden durch vorsichtiges Sandstrahlen von Asphaltmörtel soweit befreit, dass ein etwa 1 mm tiefes Oberflächenrelief entsteht [HUSCHEK, 2004].

4.4.3 Aufklebeverfahren für Sand

Nachfolgend wird das Verfahren zur Herstellung von Sandprüfplatten nach der Berliner Methode beschrieben. Die vollständige Anleitung ist dem Anhang C „Arbeitsanweisung 221 – Bestimmung des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfgerät nach Wehner/Schulze (PWS)“ zu entnehmen.

4.4.3.1 Mineralaufbereitung

Die für die Prüfung vorgesehene Gesteinsfraktion ist durch Nasssiebung zu gewinnen und von den anhaftenden Feinteilen zu befreien. Pro Prüfplatte sind ca. 200 g der zu untersuchenden Fraktion aufzubereiten.

4.4.3.2 Versiegeln der Trägerplatten

Für die Prüfung von Sanden werden Holzträgerplatten aus Sperrholz benötigt. Diese haben einen Durchmesser von 225 mm und eine Dicke von 9 mm. Um das Aufsaugen des Klebers durch die Holzplatte zu vermeiden und somit den Haftverbund zwischen Gestein und Holzplatte zu reduzieren, sind diese vorab mittels eines Holzschutzlackes zu versiegeln. Probepplatten mit unversiegelter Oberfläche weisen nach der Versuchsdurchführung mit der W/S-Prüfanlage das in Abbildung 4-10 dargestellte Schadensbild auf.



Abbildung 4-10: Schadensbild einer unversiegelten Holzplatte nach der Griffigkeitsmessung [Foto: Kirchmaier]

4.4.3.3 Herstellen der Prüfplatten

Die Plattenoberfläche wird mit einem 2-Komponenten Kleber dünn und gleichmäßig bestrichen und anschließend mit der Prüfkörnung bestreut. Die Prüfkörnung wird aus einem Sieb mit einer Maschenweite etwas größer als das Größtkorn auf die mit Klebstoff bestrichene Holzplatte eingerieselt und kräftig mit einer Handgummiwalze in Längs- und Querrichtung eingewalzt. Dieser Vorgang ist mehrmals zu wiederholen. Nach der Aushärtung des Klebers werden die nicht gebundenen Körner abgebürstet. Es ist darauf zu achten, dass kein Kleber an die Prüfoberfläche getreten ist. Dies könnte bei zu dick aufgetragenem Kleber vorkommen. Solche Oberflächen dürfen nicht geprüft werden.

4.4.3.4 Verwendete Klebstoffe

Dem verwendeten Klebstoff kommt bei der Herstellung von Sandprüfplatten eine sehr große Bedeutung zu. Insbesondere die Viskosität und die Endfestigkeit des Klebstoffes sind zwei Eigenschaften, die für die Versuchsdurchführung und für die Tauglichkeit der Sandprobekörper von großer Bedeutung sind. Im Zuge der Voruntersuchungen wurde mit vier verschiedenen Klebstoffen – allesamt 2-Komponenten Klebstoffe – experimentiert. Unter anderem wurde der Einfluss der Erhärtungsbeschleunigung durch Aushärtung in einem Trockenschrank bei 50 °C untersucht, als auch die Erhöhung der Festigkeit durch Lagerzeiten bis zum Erreichen der Endfestigkeit bei Raumtemperatur. Das Erreichen der Endfestigkeit variiert zwischen den verschiedenen Produkten von 12 Stunden bis hin zu 7 Tagen. Kriterien für die Auswahl des Klebstoffes für die Hauptversuche waren die spezifischen Eigenschaften hinsichtlich der Verarbeitbarkeit sowie eine ausreichende Festigkeit für den anschließenden Versuchsablauf in der W/S-Prüfanlage.

Die folgenden Klebstoffe wurden für die Herstellung von Sandprobepplatten getestet (Detailangaben laut Hersteller):

1. MC-DUR 1200 VK (von der TU Berlin empfohlene Klebstoff)
 - Viskosität bei 20 °C ca. 600 mPa·s
 - Druckfestigkeit ca. 72 N/mm² nach 7 Tagen
2. Kleiberit 529
 - Viskosität bei 20 °C ca. 1000 mPa·s
 - Druckfestigkeit ca. 60 N/mm² nach 7 Tagen
3. UHU plus endfest 300
 - Viskosität bei 20 °C ca. 35.000 mPa·s
 - Festigkeit ca. 12 N/mm² nach 12 Stunden
4. Pattex Stabilit Express (Fa. Henkel)
 - Viskosität bei 20 °C ca. 20.000 mPa·s
 - Festigkeit ca. 25 N/mm² nach 1 Stunde

Der Klebstoff UHU plus endfest 300 wies eine zu hohe Viskosität auf, d.h. der Klebstoff ist sehr zähflüssig, was das Bestreichen der Holzträgerplatten sehr schwierig macht. So ist das Erstellen einer ebenen Klebstoffschicht nur bedingt möglich. Obwohl der Klebstoff bereits nach 12 Stunden seine Endfestigkeit erreicht, ist diese für die anschließende Griffigkeitsprüfung nicht ausreichend und die Abriebsverluste (siehe Abbildung 4-11) während des Poliervorganges sind zu hoch. Deswegen wurde dieser Klebstoff für die weiteren Versuche ausgeschieden.

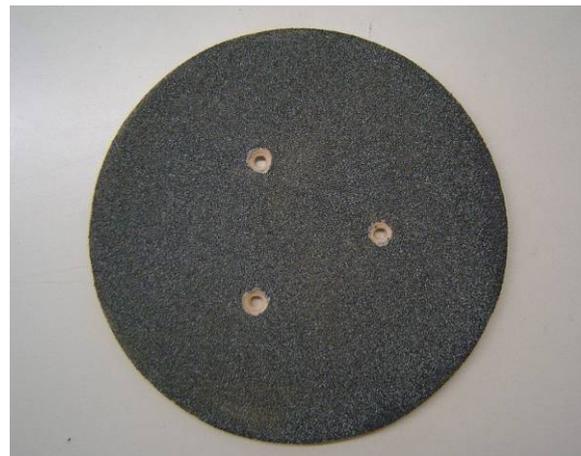
Das Produkt der Fa. Henkel erwies sich aufgrund der nur geringfügig kleineren Viskosität des Klebstoffes ebenso als nicht geeignet für das Erstellen einer ebenen Klebstoffschicht. Auch bei diesem Produkt ist die erzielbare Endfestigkeit nicht ausreichend für den Poliervorgang und die anschließende Griffigkeitsprüfung. Die polierten und einer Griffigkeitsmessung unterzogenen Probeplatten wiesen, wie beim Klebstoff der Fa. UHU, viele schadhafte Stellen mit Abriebsverlust auf.

Das Produkt der Fa. Kleiberit mit einer Viskosität von 1000 mPa·s, eignet sich zur Herstellung der Sandprobekörper wesentlich besser als die zuvor genannten Klebstoffe. Das Auftragen des Klebers kann mit einem Pinsel erfolgen und die Erstellung einer ebenen Klebstofffläche auf den Holzträgerplatten ist gewährleistet. Die Endfestigkeit von 60 N/mm² erweist sich allerdings als nicht ausreichend. Versuche, die Endfestigkeit des Klebers der Fa. Kleiberit, durch Lagerung der fertig hergestellten Prüfplatten in einem Trockenschrank bei 50 °C, zu erhöhen, hatten keine nennenswerte Verbesserung gebracht. Dadurch weisen auch Sandprobekörper mit diesem Klebstoff vereinzelte Schadhafte Stellen auf.

In Abbildung 4-11 sind zwei Prüfplatten – links mit zerstörter Oberfläche, rechts mit intakter Oberfläche – nach einer Prüfung mit der W/S-Prüfanlage gegenübergestellt.



(a) Zerstörte Probenoberfläche



(b) Intakte Probenoberfläche

Abbildung 4-11: Vergleich einer zerstörten (a) und einer intakten Prüfkörperoberfläche (b) [Fotos: Kirchmaier]

Im linken Bild sind deutlich die Abriebsverluste des zu prüfenden Gesteins erkennbar. Vor allem an den Stellen, an denen die Prüfungsgummis der Griffigkeitsmessung das erste Mal auf die Prüfplatte auftreffen, sind die Gesteinsverluste am Größten. Im Bild rechts ist auch noch nach der Durchführung der Poliersimulation und der Griffigkeitsmessung eine ebene, homogene Prüfoberfläche vorhanden.

Aufgrund der mangelnden Endfestigkeit wurde auch der 2-Komponenten Klebstoff der Firma Kleiberit ausgeschieden. Die Herstellung der Probekörperplatten für die Hauptversuche erfolgte ausschließlich mit dem Klebstoff MC-DUR 1200 VK.

Das Produkt der Firma MC-DUR lässt sich aufgrund seiner niedrigen Viskosität von ca. 600 mPa·s einfach mit einem Pinsel auf der versiegelten Holzträgerplatte verteilen. Durch das „Zerfließen“ des Klebstoffes ist eine ebene Klebstofffläche garantiert. Die erzielbare Endfestigkeit von 72 N/mm² ist für die Versuchsdurchführung ausreichend. Ein weiterer Vorteil dieses Klebstoffes ist die kurze Wartezeit zwischen Probekörperherstellung und der Prüfung in der W/S-Prüfanlage. So wurden mit dem MC-DUR 1200 VK hergestellte Sandprobekörper bereits nach 18 Stunden einer Poliersimulation und einer Griffigkeitsprüfung in der W/S-Prüfanlage unterzogen ohne nennenswerte Schadstellen vorzufinden.

Für die Herstellung der Sandprobekörper werden für drei Platten insgesamt 28 g Klebstoff benötigt. Bei einem empfohlenen Mischungsverhältnis von 3:1 entfallen somit auf die Komponente A 21 g sowie auf die Komponente B 7 g.

Im Zuge der Untersuchungen an der TU Wien wurde festgestellt, dass für die Fraktion 1/2 mm die Klebermenge zu erhöhen ist, was vor allem auf das größere Korn zurückzuführen ist. Ein Korn mit der Größe von 2 mm muss entsprechend tief in die Kleberschicht eingebunden sein, damit es der Belastung, und hierbei vor allem den Spitzendrücken, während der Versuchsdurchführung standhält. Der in diesen Fällen angestrebte Mittelweg zwischen ausreichendem Haftverbund und klebstofffreier Prüfoberfläche lässt sich bei dieser Fraktion allerdings nur schwer bewerkstelligen. Die Herstellung von drei Probekörpern dieser Fraktion erfolgte mit einer Klebstoffmenge von 40 g. Dadurch wird ein ausreichendes Haftvermögen der Sande 1/2 mm garantiert.

In Berlin wurde außerdem beobachtet, dass vereinzelt Gesteine ein schlechtes Haftverhalten auf der Holzträgerplatte aufweisen. Dieser Umstand ist vermutlich auf den Chemismus der Sande sowie auf ihre spezielle Bruchflächigkeit zurückzuführen. Eine Erhöhung der Klebermenge pro Holzplatte ist auch in diesen Fällen vorzunehmen.

Aufgrund der in den Vorversuchen gemachten Erfahrungen sind an den 2-Komponenten Klebstoff für die Herstellung von Sandprobekörpern folgende Anforderungen zu stellen:

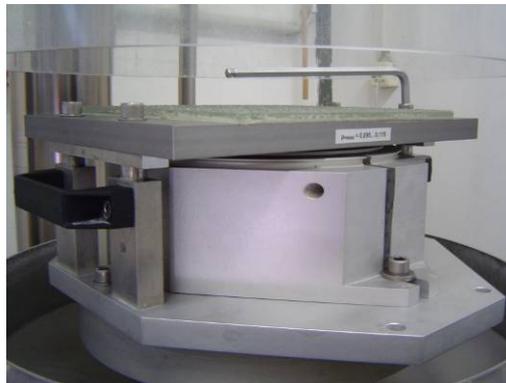
- Viskosität bei 20 °C Verarbeitungstemperatur ca. 600 mPa·s
- Minimale Endfestigkeit von > 70 N/mm²
- Möglichst rasche Aushärtezeit ≤ 7 Tage
- Eignet sich für das Verkleben von Stein mit Holz

4.5 Versuchsdurchführung

Nachfolgend wird die Versuchsdurchführung für die Prüfung von Sanden im Wesentlichen beschrieben. Für eine detaillierte Beschreibung sei auf den Anhang C „Arbeitsanweisung 221 – Bestimmung des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfgerät nach Wehner/Schulze (PWS)“ verwiesen.

Vor Beginn der Poliersimulation ist mittels der Kontrollplatte eine Plausibilitätskontrolle des verwendeten Prüfgummisatzes durchzuführen. Abbildung 4-12 zeigt die Probeneinspannvorrichtung mit aufgesetzter Kontrollplatte aus Glas. Das Messprogramm erkennt Kontrollmessungen anhand der Prüfhöhe automatisch.

Pro Prüfgummisatz darf immer nur ein Gestein und eine Fraktion geprüft werden.



**Abbildung 4-12: Probeneinspannvorrichtung mit aufgeschraubter Kontrollplatte
[Foto: Kirchmaier]**

Auf der Polierstation wird die auf die Probeneinspannvorrichtung aufgeschraubte Prüfplatte mit der gewünschten Anzahl an Überrollungen entsprechend den Spezifikationen in Kapitel 4.2.1 einer Verkehrssimulation unterzogen. Dabei werden kontinuierlich 5 l/min eines Quarzmehl-Wasser-Gemisches zur Verstärkung der Polierwirkung zugegeben.

Daran anschließend muss die Probepatte von den Quarzmehlrückständen befreit werden. Dies erfolgt durch einen Spülvorgang auf der Polierstation, bei der die Polierrollen für 120 Sekunden mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 100 RPM mittels Zugabe von sauberem Wasser über die Oberfläche rollen.

Nach diesem Schritt ist der Poliervorgang abgeschlossen und der Probentisch wird auf die Prüfstation verschoben. Die Griffigkeitsmessung hat bei einer Temperatur des Prüfwassers von $10 (\pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ zu erfolgen, wodurch die Kühlung der Messgummis während des Abbremsens gewährleistet wird. Der Prüfablauf erfolgt gemäß den Angaben in Kapitel 4.2.2.

Der Abbremsvorgang wird von der Maschine messtechnisch mittels eines Drehmomentenaufnehmers erfasst und computerunterstützt in Form eines Reibungsbeiwert-Geschwindigkeits-Diagramms (μ -v Diagramm) ausgewertet.

4.6 Auswertung

Während der Griffigkeitsmessung werden 125 Messdaten pro Sekunde erfasst und in der Auswertesoftware abgespeichert. Die wesentlichen Messdaten sind hierbei der Reibungsbeiwert μ sowie die Bahngeschwindigkeit der Messgummis. Der Reibungsbeiwert ermittelt sich wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben aus der horizontalen Reibungskraft und der vertikalen Aufstandskraft der Messgummis zum Zeitpunkt der Messdatenerfassung.

Die vorhandene horizontale Reibungskraft variiert in Abhängigkeit von der Gestalt der Prüfkörperoberfläche, dem vorhandenen Wasserfilm und der Geschwindigkeit. Zusätzlich tritt eine Deformation der Prüfgummis während der Griffigkeitsprüfung auf. Diese resultiert aus der Nachgiebigkeit und Verformbarkeit der Prüfgummis. So baut sich unter Deformation der Prüfgummis eine horizontale Kraft auf, bis die maximale Reibungskraft erreicht ist (hoher Reibbeiwert), und der Prüfgummi in Messrichtung weiter gleitet (niedriger Reibbeiwert). Dieser Vorgang wiederholt sich über die Messdauer. Vergleichbar ist dieser Vorgang mit dem Verschieben eines Tisches. Auch dabei verformen sich zuerst die Tischbeine bis eine maximale horizontale Kraft in der Kontaktfläche Tischbein-Fußboden erreicht ist und sie dann in Verschieberichtung weiter gleiten.

Der Gleitvorgang der Messgummis während der Griffigkeitsmessung ist somit nicht konstant. Daraus resultiert das in Abbildung 4-13 dargestellte μ - v Diagramm.

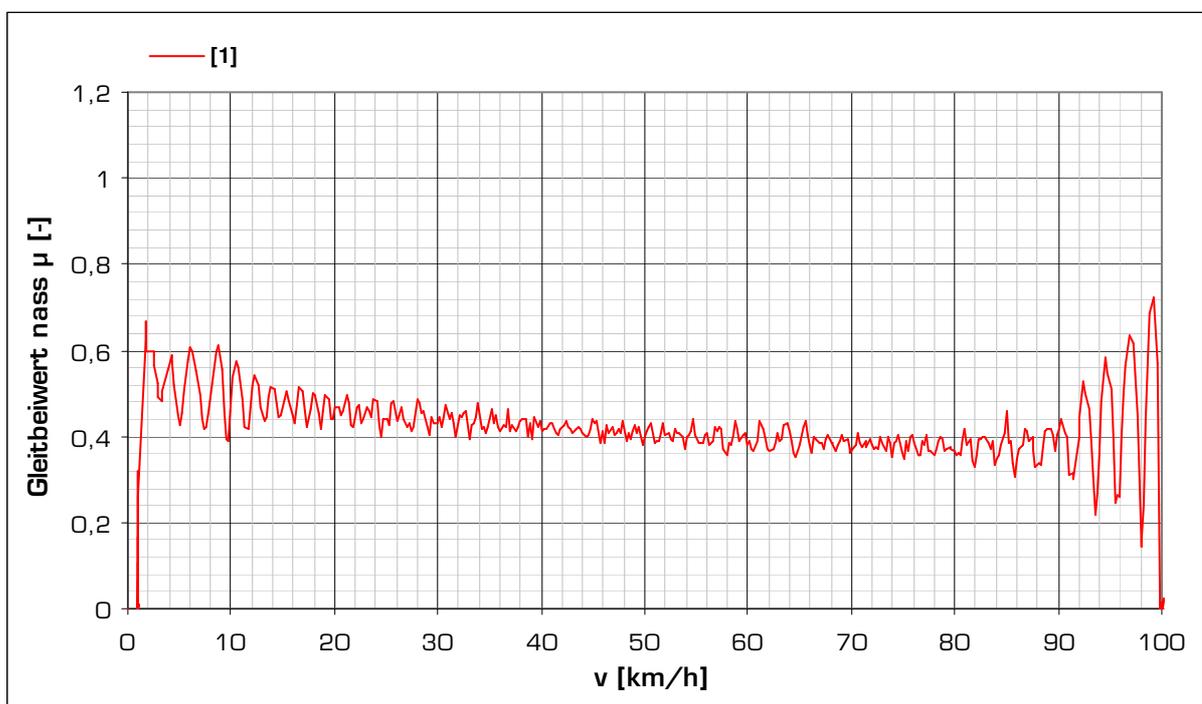


Abbildung 4-13: Ungeglättetes Reibbeiwert-Geschwindigkeits Diagramm

Um eine vergleichbare graphische Darstellung der Reibungsbeiwerte über den gesamten Geschwindigkeitsbereich sowie einen klar definierbaren Reibungsbeiwert μ zu erreichen, wird der in Abbildung 4-13 dargestellte Kurvenverlauf über den Geschwindigkeitsbereich von 95 bis 5 km/h durch ein Polynom 6. Ordnung angenähert und geglättet dargestellt.

In Abbildung 4-14 ist ein typisches μ - v Diagramm und in Tabelle 4-1 die dazugehörige Auswertetabelle dargestellt. Der PWS_{60} ermittelt sich aus den geglätteten Messwerten bei einer Bahngeschwindigkeit von 60 km/h.

Mit der Excel-Vorlagentabelle des Auswerteprogramms lässt sich aus der geglätteten Darstellung der PWS Wert für jede beliebige Geschwindigkeit zwischen 5 und 95 km/h berechnen.

Die Festlegung auf 60 km/h für die Bestimmung des PWS Wertes erfolgte durch langjährige Erfahrungen an der TU Berlin, die bei dieser Geschwindigkeit die besten Übereinstimmungen der im Labor ermittelten Werte mit den Messergebnissen des „Stuttgarter Reibungsmessers“ erzielten [DAMES et al., 1988].

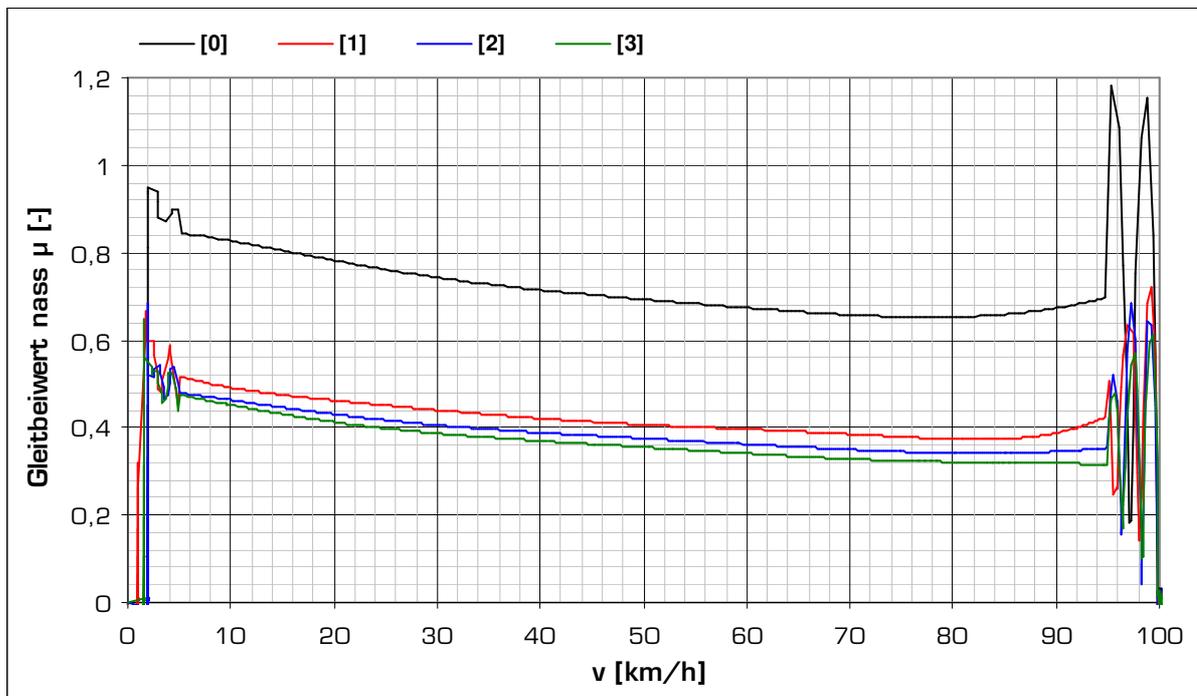


Abbildung 4-14: Geglättetes Reibbeiwert-Geschwindigkeits Diagramm

Die in Tabelle 4-1 angegebene Bezeichnung „KAL“ weist auf durchgeführte Prüfgumikalibrierungen mit einer Kontrollplatte hin.

In den Zeilen darunter sind die weiteren Messungen in Abhängigkeit der Beanspruchungsstufe aufgelistet. Ein Probekörper im Ursprungszustand entspricht dabei der Beanspruchungsstufe [0]. Wird eine Polierbeanspruchung von z.B. 30.000 Überrollungen (ÜR) aufgebracht so befindet sich der Probekörper in Beanspruchungsstu-

fe [1]. Eine zusätzliche Messung nach weiteren 30.000 ÜR entspricht der Beanspruchungsstufe [2]. Insgesamt wirkte auf den Probekörper in dieser Beanspruchungsstufe eine Polierbeanspruchung von 60.000 ÜR ein.

Zusätzlich zur Angabe der Geschwindigkeit bei Prüfbeginn und des Reibbeiwertes μ bei 60 km/h, wird die theoretische Bremsweglänge berechnet. Dabei wird der erforderliche Bremsweg für den Geschwindigkeitsbereich von 60 bis 5 km/h in Abhängigkeit der Reibbeiwertkurve für diesen Geschwindigkeitsbereich ermittelt. Ebenso wie den zu ermittelten PWS Wert lässt sich auch die theoretische Bremsweglänge für jeden beliebigen Geschwindigkeitsbereich zwischen 5 und 95 km/h berechnen.

Tabelle 4-1: PWS Messdatentabelle

Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 bis 5	Reibwert μ 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	

5. PETROGRAPHIE DER VERWENDETEN GESTEINE

Die folgende geologisch-petrographische Beschreibung der untersuchten Gesteine für die Bestimmung des Polierwiderstandes von Sanden ist aus den petrographischen Gutachten der einzelnen Steinbrüche entnommen. Dabei wird jeweils die geographische Lage und die geologische Situation erläutert sowie eine Gesteinsbeschreibung wiedergegeben. Die Verfasser dieser Gutachten sind im Literaturverzeichnis angeführt.

5.1 Diabaswerk Saalfelden - Hinterburgbruch

Anschrift des Steinbruches:

Diabaswerk Saalfelden Ges.m.b.H.
Kehlbach 19
5760 Saalfelden

5.1.1 Geographische Lage

Der Diabassteinbruch befindet sich an der Ostflanke des Biberges bei Saalfelden (siehe roter Kreis in Abbildung 5-1) und reicht vom Höhengniveau 711 m ü.A. bis ca. 865 m ü.A. (Stand 10/03).

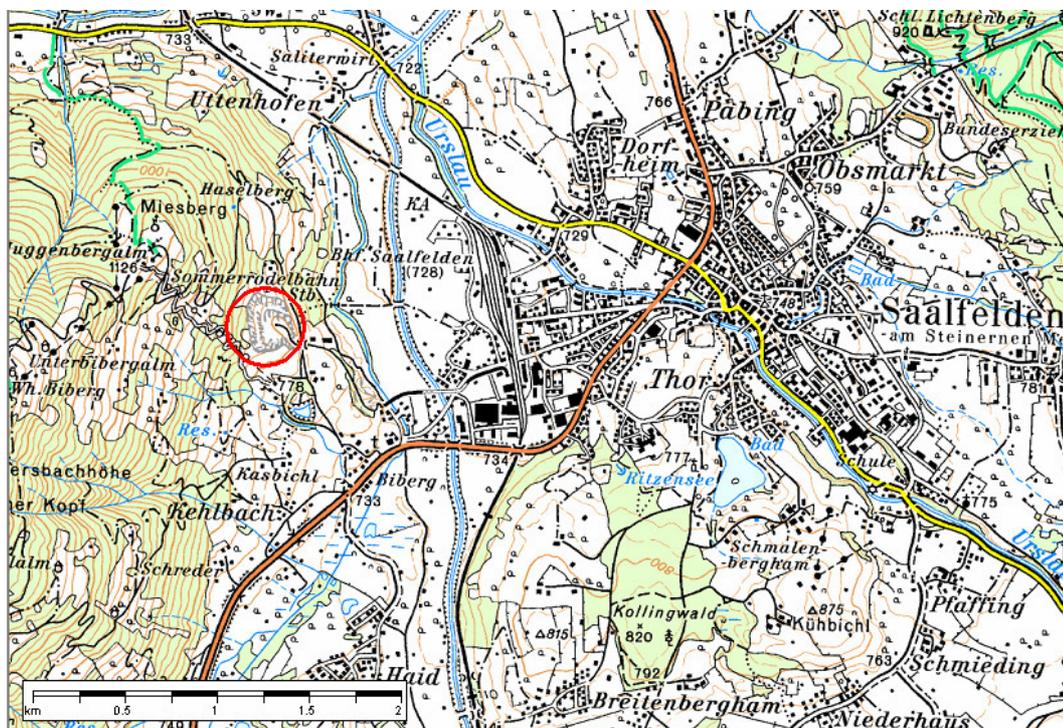


Abbildung 5-1: Geographische Lage – Diabassteinbruch Saalfelden, [BEV, AMap Fly, 2005]

5.1.2 Geologische Situation

Im Steinbruch werden Gesteine abgebaut, die zur so genannten Serie der Wildschönauer Schiefer im westlichen Teil der Nördlichen Grauwackenzone gehören und den gesamten Bergrücken des Biberges aufbauen. Es handelt sich im Wesentlichen um metasedimentäre Gesteine – mächtige Serien von Grauwacken & Tonschiefern mit zwischengelagerten Quarziten (Quarzsandsteinen) und Phylliten – in die mehrere Diabaskörper als ehemalige subvulkanische basaltische Intrusionen eingelagert sind. Die im Rahmen der alpinen Orogenese grünschieferfaziell metamorph überprägten Gesteine sind zum Teil verfaultet und tektonisch miteinander verschuppt. Der Diabaskörper verläuft entlang der westlichen und südwestlichen Abbaufrent. Er ist massig ausgebildet, schwach tektonisch beansprucht und weist eine sehr hohe Qualität auf [ANTHES, 2004].

5.1.3 Gesteinsbeschreibung

Der Diabas setzt sich im Wesentlichen aus folgenden Hauptgemengteilen zusammen:

- Plagioklas (langstängelig bis tafelig)
- Chlorit (stängelige bis unregelmäßig körnige Formen, schwach grünlich)
- Pyroxen (kurzprismatisch, mit abgerundeten Ecken oder skellettartig)
- Kaolin (in den Feldspäten fein verteilt, bilden kurzstängelige Aggregate)

Weiters sind noch folgende Nebengemengteile vorhanden:

- Alkalifeldspat (leistenförmig, lang- bis kurzstängelig)
- Quarz (rundliche bis gedrungene Formen)

Für den grobkörnigen Diabas (1,0 – 3,3 mm) sowie für den mittelkörnigen Diabas (0,3 – 1,0 mm) sind durch das sperrige Gefüge gute Festigkeiten zu erwarten. Der Verwitterungsgrad der Minerale ist recht gering (Feldspäte nur leicht verwittert, Pyroxene zum Großteil ersetzt durch Chlorit). Quellschäden durch die Kaolinneubildungen in den Feldspäten sind nicht zu erwarten [ANTHES, 2004].

Der feinkörnige Diabas (0,1 – 0,3 mm) weist ebenso ein sperriges Gefüge auf, jedoch ist der Verwitterungsgrad der Minerale recht hoch. So sind die Feldspäte teilweise stark verwittert und die Pyroxene zum Großteil durch Chlorit ersetzt. Durch die Kaolinneubildungen in den Feldspäten ist eine gewisse Quellfähigkeit vorhanden [ANTHES, 2004].

5.2 Granulit Steinbruch „Wanko“

Anschrift des Steinbruches:

Hartgesteinschotterwerk Michael Wankos´s Sohn Hans Wanko GmbH & Co.KG
Dorfstraße 19
3511 Meidling im Tal

5.2.1 Geographische Lage

Der Steinbruch Wanko liegt zwischen Hörfarth und Meidling im Tale (siehe Abbildung 5-2 roter Kreis) in Niederösterreich ca. 10 km südlich von Krems an der Donau.

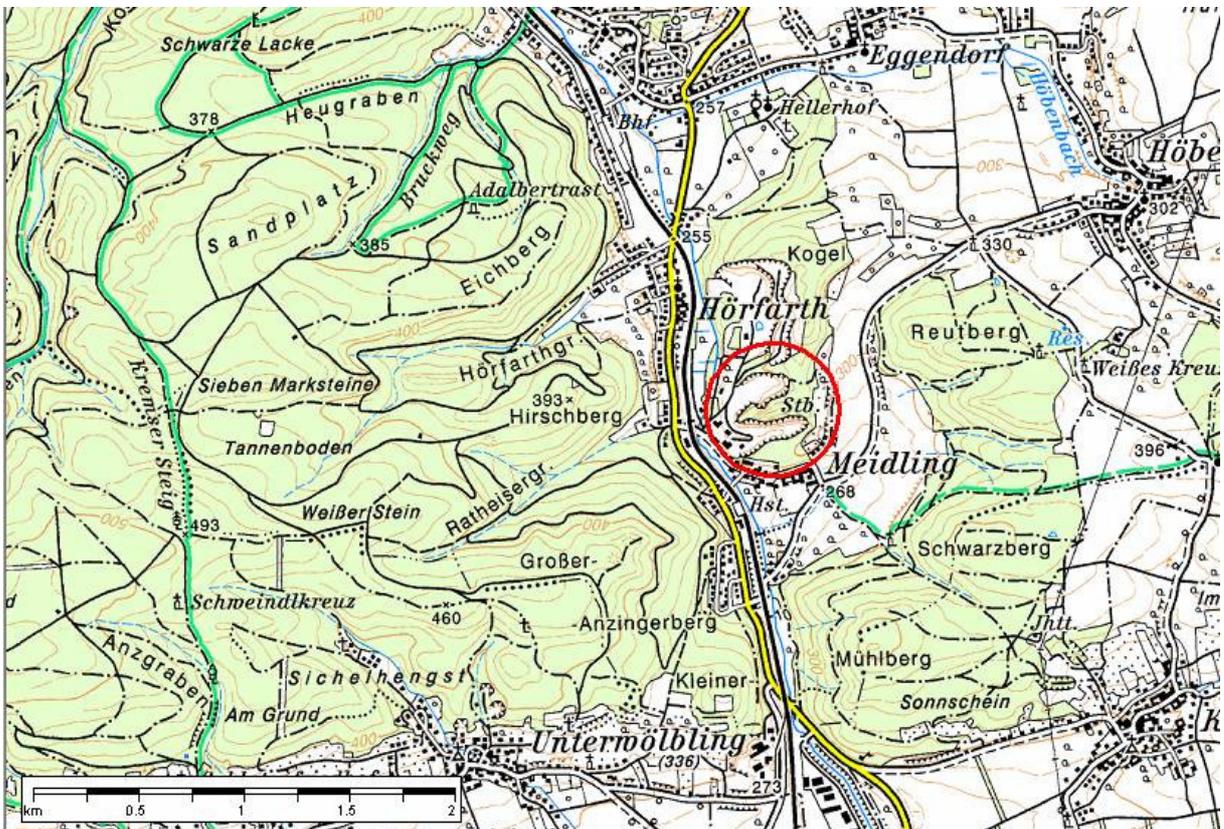


Abbildung 5-2: Geographische Lage – Hartgestein Schotterwerk Meidling im Tale, [BEV, AMap Fly, 2005]

5.2.2 Geologische Situation

„Der Dunkelsteiner Wald, in dem sich der Steinbruch Wanko befindet, gehört, wie der Sawwald, das Wald- und Mühlviertel, geologisch gesehen zur Böhmischer Masse. Die

Böhmische Masse selbst stellt den Südstamm der europäischen Varisziden dar. Die Böhmische Masse wird in das westliche, höher metamorphe Moldanubikum und in das diesem unterschobene, schwächer metamorphe Moravikum gegliedert. Die Grenze beider Einheiten, etwa an der Linie Geras – Messern – NO Schönberg/Kamp gelegen, wird Moldanubische Überschiebung genannt“ [STADLOBER, 2006].

Nach heutiger Auffassung wird das im Allgemeinen NNO – SSW streichende Moldanubikum als Deckengebirge betrachtet, dessen Struktur vor allem an den Rändern deutlich erkennbar ist. Es können vom Liegenden bis ins Hängende folgende Serien im Ostteil unterschieden werden:

- Monotone Serie (vor allem Paragneise)
- Dobra Gneise
- Bunte Serie (Gneise, Schiefer, Amphibolite, Quarzite, Marmore)
- Amphibolite und Mischgesteinsareale
- Gföhler Gneise und Granulite (tektonisch höchste Position).

Der Steinbruch Wanko kommt in den Granuliten der tektonisch höchsten Position zu liegen. In die Granulitmassen dieses Gebietes sind zum Teil riesige Serpentinmassen eingeschalten [STADLOBER, 2006].

5.2.3 Gesteinsbeschreibung

Ein Granulit ist ein Gestein mit Feldspat in einem überwiegend gleichmäßig granoblastischen, geregelten Kornmosaik, und hauptsächlich Quarz, häufig plattig bis diskförmig deformiert. Dunkle Gemengteile sind Pyroxen und Granat.

Bei dem hier untersuchten Gestein ist Quarz das Hauptmineral, der zusammen mit Feldspäten (überwiegend Plagioklas) ein eng verschränktes granoblastisches Gefüge bildet. Häufig sind Korn-Korn-Kontakte der Quarze zu beobachten, was deutlich auf Rekristallisation der Quarze hinweist. Der Feldspatgehalt liegt unter 10 Modal-%. Untergeordnet treten kleine Biotitleisten auf, die meist deutlich parallel eingeregelt sind und damit ein schwach erkennbares Parallelgefüge abbilden. Weiters treten grobkörnige Granatblasten, disseminiert verteilt, auf. Als Akzessorien konnten Rutil, Magnetit, Ilmenit, Pyrit und Zirkon identifiziert werden. Rutil, Magnetit und Ilmenit treten häufig als Einschlüsse im Granat auf.

Obwohl im Dünnschliff das Mineral Hypersthen nicht gefunden wurde, wird aufgrund des regionalgeologischen Kontextes das Gestein im Steinbruch „Wanko“ als Granulit angesprochen [STADLOBER, 2006].

5.3 Dolomitischer Kalksteinbruch – Hollitzer

Anschrift des Steinbruches:

Hollitzer Baustoffwerke
Am Pfaffenberg 1
2405 Bad Deutsch- Altenburg

5.3.1 Geographische Lage

Der an der Westflanke des Pfaffenberges (siehe roter Kreis in Abbildung 5-3) gelegene Steinbruch der Fa. Hollitzer, befindet sich südlich der Donau in Bad Deutsch-Altenburg ca. 50 km östlich von Wien.

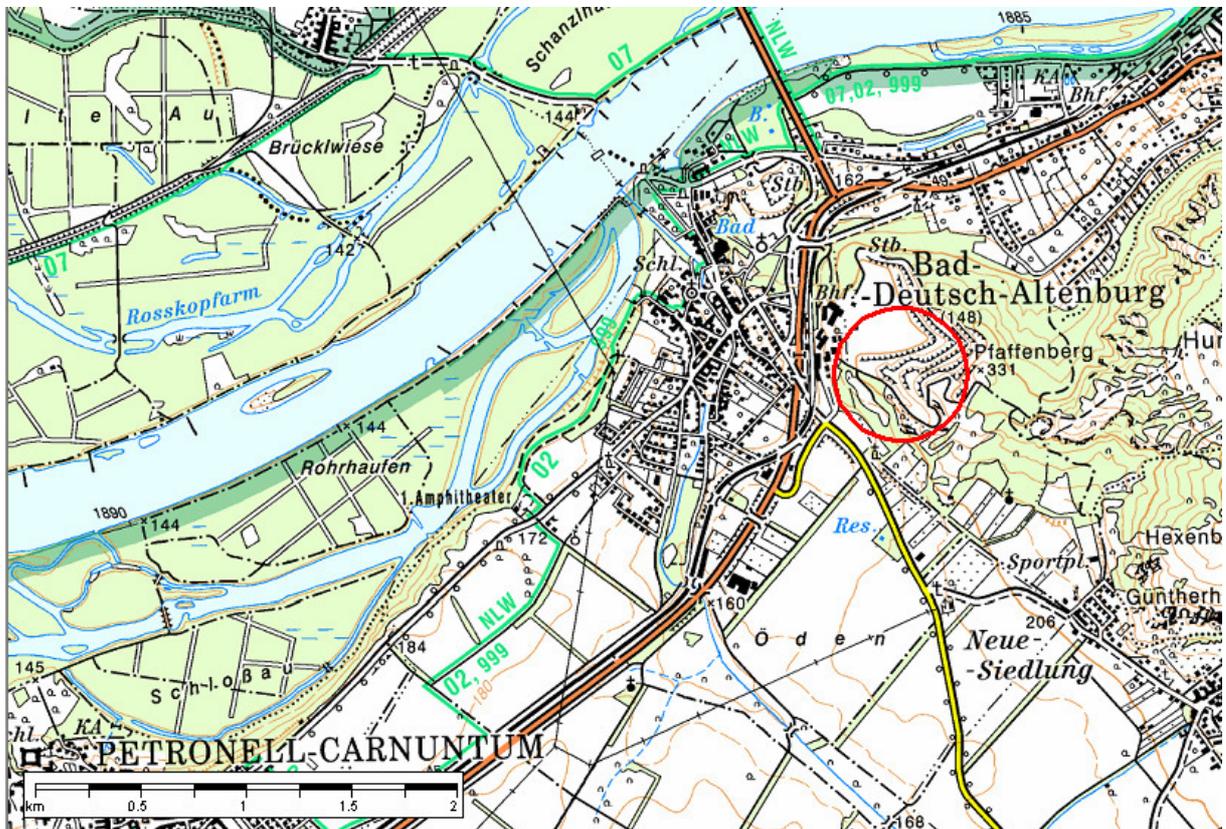


Abbildung 5-3: Geographische Lage – Hollitzer Baustoffwerke, [BEV, AMap Fly, 2005]

5.3.2 Geologische Situation

Geologisch gesehen gehört der Pfaffenberg mit den Hainburger Bergen zu den Trias-karbonaten des Tatrikums. Auf diesen aufliegend, bzw. in diese Unterlage eingeschnit-

ten finden sich Anteile einer massigen Blockbrekzie. Die morphologische Prägung des Pfaffenberges ist erosionsbedingt und ist von der Bruchtektonik des Wiener Beckens nur untergeordnet geprägt. So ist im Steinbruch die Wirkung der Tektonik nur durch Zerrüttungszonen und Kluftbildung zu erkennen. Die widerstandsfähigen Hänge der mesozoischen Karbonate stellten früher eine Steilküste dar, an welcher ein häufiger Wechsel von Transgression und Regression erfolgte, wodurch es zur Ausbildung klastischer Sedimente kam. Das im Steinbruchgebiet stark endogenbrekziös entwickelte Mesozoikum wurde durch die Brandung teilweise aufgearbeitet und die Komponenten durch kalkiges Bindemittel organischer Herkunft zu massigen Ablagerungen verkitet. Diese Ablagerungen sind von den Brekzien der Steilküste bis hin zu den Konglomeraten fossiler Strände im Steinbruch aufgeschlossen. Die Dolomitisierung erfolgte erst spätdiagenetisch. Sie setzte erst an den verfestigten Kalken durch darin zirkulierende magnesiumhaltige Porenwässer ein. Durch die unterschiedliche Permeabilität der verfestigten Kalke kam es zu einer unterschiedlichen Dolomitisierung der Sedimente [STRASSER, 2004].

5.3.3 Gesteinsbeschreibung

Bei dem Gestein handelt es sich um einen dolomitischen Kalk mit unterschiedlichem Dolomitierungsgrad. Die Farbgebung schwankt zwischen hell- und dunkelgrau. Im Steinbruch zeigen sich massig graue Kalke und massig ausgebildete, dunkelgraue Dolomite, welche als „Bankkarbonate“ bezeichnet werden. Der brekziöse Dolomit – von Zentimeter bis Metergröße – ist in eine hellgraue dolomitische Kalkmatrix eingebettet. Die Calcit- bzw. Dolomitkristalle die das Gestein aufbauen, sind nur unter dem Mikroskop erkennbar. Eine Dünnschliffanalyse ergab, dass die mittlere Korngröße der Kristalle zwischen < 0,01 und 0,2 mm variiert [STRASSER, 2004].

Eine chemische Analyse an 40 Proben des Gesteins ergab eine durchschnittliche Zusammensetzung aus:

- 79,3 Gew.-% Dolomit (Max. = 98,1 %, Min. = 14,5 %)
- 17,6 Gew.-% Calcit
- 3,1 Gew.-% Quarz

6. PROGRAMM DER VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

In diesem Kapitel werden die Ausgangssituation und die Zielsetzung dieser Arbeit zusammengefasst und das genaue Versuchsprogramm zur Durchführung der Reihenuntersuchung erläutert. Zusätzlich werden die notwendigen weiterführenden Untersuchungen zur besseren Interpretation der Versuchsergebnisse in ihrer Funktionsweise erklärt.

6.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Da die Eigenschaften der Gesteinsfraktionen ≤ 2 mm hinsichtlich ihrer Polierresistenz mit jenen der Standardprüffraktion 8/11 mm des PSV-Verfahrens nicht identisch sind, ist eine weitergehende Untersuchung der Polierresistenz von Sanden nahe liegend. Speziell bei Verwendung von minderwertigem Splitt konnte bei dichten Asphaltgutmischungen, wie etwa Asphaltbeton, nachgewiesen werden, dass durch Zugabe von hochpolierresistentem Sand die Griffigkeit der fertigen Deckschicht erhöht werden kann. Eine diesbezügliche Forschungsarbeit wurde am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung mit der Poliermaschine nach Wehner/Schulze alter Bauart und einem Frikto-meter zur Ermittlung des Reibungskoeffizienten durchgeführt [PFEILER 2004].

Die dabei durchgeführten Untersuchungen beschränkten sich jedoch nur auf Sande der Fraktion 0,2/0,4 mm. Über das Polierverhalten von Sandfraktionen $\geq 0,4$ mm bzw. ≤ 2 mm wurden mit dem Prüfverfahren W/S alter sowie neuer Bauart noch keinerlei Untersuchungen durchgeführt.

Grundsätzliches Ziel der gegenständlichen Forschungsarbeit ist es die Korngrößenabhängigkeit der Polierresistenz von Sanden bzw. deren Reibungsbeiwert nachzuweisen. Es soll gezeigt werden, dass der Reibungsbeiwert nicht für jede Fraktion gleich ist, sondern es über die Bandbreite von 0 bis 2 mm zu einer messbaren Änderung kommt. Dies muss aufgrund der unterschiedlichen „Schärfe“ der Fall sein, d.h. bei der Fraktion 0,2/0,4 mm hat vor allem die Kantenschärfe einen Einfluss, wohingegen bei Sanden > 1 mm schon die „Schärfe“ bzw. die Rauigkeit der Bruchflächen eine Rolle spielt. Weiters werden bei der Griffigkeitsmessung von Sanden > 1 mm weniger Körner pro cm^2 erfasst, als dies bei der Fraktion 0,2/0,4 mm der Fall ist. Somit verändert sich auch die Makrotextur, d.h. es entsteht ein Monokorngerüst mit relativ großen Hohlräumen, das einen wesentlichen Einfluss auf das Drainageverhalten der Sandprobenoberfläche hat.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde im Vorfeld der Hauptuntersuchungen die Prüfanlage nach Wehner/Schulze im Labor des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien in Betrieb genommen. Erste Voruntersuchungen wurden an drei verschiedenen Sanden mit den Fraktionen 0,25/0,5, 0,5/0,71 und 0,71/1,0 mm durchgeführt. Sie dienten dazu, die Durchführbarkeit des geplanten Versuchsprogramms zu bestätigen. Zur Beurteilung der Durchführbarkeit der geplanten Sandpolierversuche wurde außerdem die Anwendbarkeit vier verschiedener 2-Komponenten Klebstoffe untersucht (siehe Kapitel 4.4.3.4).

Während der Voruntersuchungen fand ein Wissensaustausch mit dem Fachgebiet für Straßenwesen, des Institutes für Bauingenieurwesen an der TU Berlin, unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. sc. techn. ETH Siegfried Huschek, statt. Im Labor des Fachgebietes wurde die Herstellung der Sandprobenkörper demonstriert und auch Vergleichsmessungen zwischen der dortigen Prüfanlage nach Wehner/Schulze und der des ISTU durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass die in Berlin ermittelten Ergebnisse durchwegs um ~15 % niedriger als die im Labor des ISTU ermittelten Werte liegen. Dies lässt sich auf die unterschiedliche Zufuhr rate des Quarzmehl-Wasser-Gemisches während des Poliervorganges zurückführen. So wurde in Berlin mit einer höheren Zufuhr rate gearbeitet. Die genaue Zufuhr rate des Quarzmehl-Wasser-Gemisches in Berlin konnte nicht eruiert werden.

Zusätzlich wurde im Zuge der Voruntersuchungen eine Arbeitsanweisung für die Herstellung der Sandprobenkörper, der Durchführung des Versuchsablaufes sowie für die Bedienung der Prüfanlage erstellt, die im Anhang C „Arbeitsanweisung 221 – Bestimmung des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfgerät nach Wehner/Schulze (PWS)“ dieser Arbeit angeführt ist.

6.2 Versuchsprogramm

Mit den in den Voruntersuchungen gewonnenen Erkenntnissen wurde das Hauptversuchsprogramm mit dem durchzuführenden Prüfablauf, sowie den zu untersuchenden Gesteinsfraktionen festgelegt. Die Durchführung des Hauptversuchsprogramms gliedert sich in zwei Hauptphasen. In Phase 1 erfolgt die Bestimmung der Polierwiderstände und in Phase 2 werden weiterführende Untersuchungen zur Beurteilung der ermittelten Polierwiderstände durchgeführt.

6.2.1 Phase 1 – Sandpolierprüfung

In Phase 1 wird die Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden untersucht. Die Bestimmung des Polierwiderstandes erfolgt an den Sandfraktionen 0,2/0,4, 0,4/0,63, 0,63/1,0 sowie 1,0/2,0 mm. Zur Anwendung kommt dabei das Prüfverfahren nach Wehner/Schulze, welches in Kapitel 4 ausführlich behandelt wurde.

Das detaillierte Versuchsprogramm der Phase 1 ist der Abbildung 6-1 zu entnehmen.

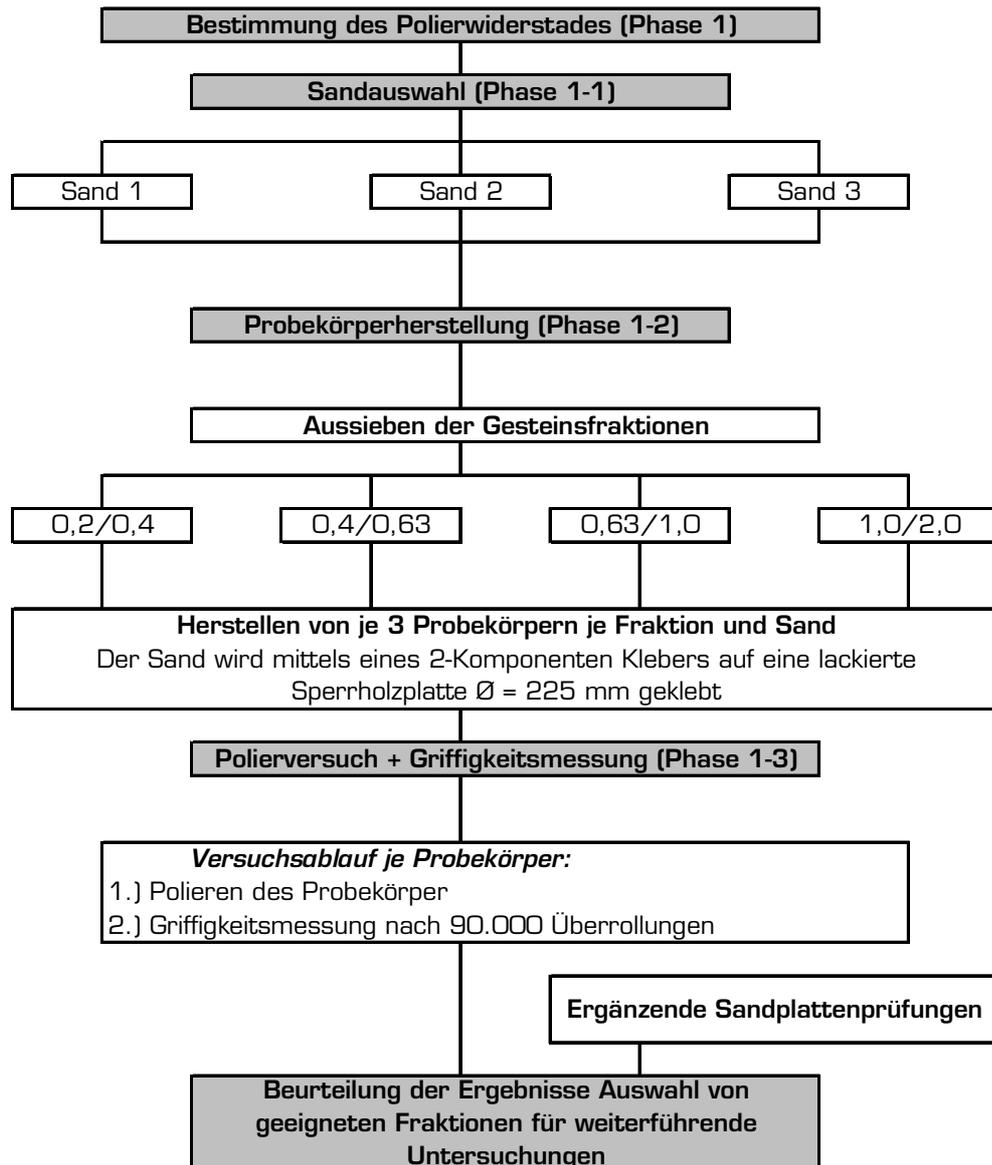


Abbildung 6-1: Versuchsprogramm Phase 1

6.2.1.1 Phase 1-1: Sandauswahl

Um für die Bestimmung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden einen repräsentativen Bereich der im Straßenbau verwendeten Gesteine abzudecken, fand in Phase 1-1 eine Sandauswahl statt.

Ausgesucht wurden drei Sande der Korngruppe 0/2 mm, die eine bekanntermaßen unterschiedliche Polierresistenz aufweisen. Die folgenden drei Sande wurden für die Versuchsreihe ausgewählt:

- Diabas (Bruch Saalfelden)
- Granulit (Bruch Meidling im Tale)
- Dolomitischer Kalkstein (Bruch Bad Deutsch Altenburg)

Von jedem Steinbruch wurden uns ca. 50 kg Edelbrechsand für diese Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Die Entnahme der gelieferten Sandproben erfolgte jeweils durch das Steinbruchunternehmen (Es handelte sich hiermit nicht um eine Fremdentnahme).

Eine petrographische Beschreibung der verwendeten Gesteine erfolgte in Kapitel 5.

6.2.1.2 Phase 1-2: Probekörperherstellung

In Phase 1-2 wurden die Sandprobekörper für die eigentliche Prüfung in der Wehner/Schulze Prüfanlage hergestellt. Dazu waren die drei Sande der Korngruppe 0/2 mm zuerst in die einzelnen Prüffractionen auszusieben. Dies erfolgte mittels einer Nasssiegung gemäß EN ÖNORM 933-1 (siehe dazu Kapitel 6.2.2.1). Durch die Nasssiegung wird der am Gesteinskorn anhaftende Füller ausgewaschen. Dies ist notwendig, damit das Haftvermögen zwischen Gesteinkorn und Holzträgerplatte erhöht wird.

Die Sandfractionen 0,2/0,4, 0,4/0,63, 0,63/1,0 sowie 1,0/2,0 mm wurden für den weiteren Versuchsablauf ausgesiebt. Pro Fraction und Gestein wurden ca. 2000 g Material aufbereitet.

Aus den so erhaltenen zwölf Sandproben wurden jeweils drei Sandprobekörper für die Prüfung in der W/S- Prüfanlage hergestellt. Die Herstellung der Sandprobekörper erfolgte dabei nach dem im Kapitel 4.4.3 beschriebenen Verfahren.

6.2.1.3 Phase 1-3: Polierversuch und Griffigkeitsmessung

Die in Phase 1-2 hergestellten 36 Sandprobekörper wurden in der Prüfanlage nach Wehner/Schulze einer Polierbeanspruchung ausgesetzt und danach wurde eine Griffigkeitsmessung zur Bestimmung der jeweiligen Reibbeiwerte durchgeführt. Das Versuchsprinzip der W/S- Prüfanlage wurde in Kapitel 4 behandelt.

Entsprechend der RVS 11.06.23 wurde der Versuchsablauf folgendermaßen festgelegt:

- Aufbringen einer Polierbeanspruchung von 90.000 Überrollungen bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit des Polierkopfes von 500 RPM und einer Zufuhrate des Quarzmehl-Wasser-Gemischs von 5 l/min,
- Kalibriermessung der Gleitschuhe auf einer Kontrollplatte,
- Durchführen der Griffigkeitsmessung mit einer Anfangsbahngeschwindigkeit von 100 km/h.

Als Messergebnis gilt der Reibungskoeffizient der Messkurve bei 60 km/h. Das Prüfergebnis ist der Mittelwert aus den drei pro Gestein und Fraction erhaltenen Messwerten und wird auf zwei Dezimalstellen angegeben. Dies ist der Polierwert nach Wehner/Schulze PWS_{60} der geprüften Sandoberfläche bei 60 km/h.

Falls aufgrund von Herstellungsfehlern oder zu großen Messwertabweichungen Proben als „Ausreißer“ zu definieren waren, so wurden ergänzende Sandprobekörperplatten hergestellt um einen repräsentativen Mittelwert zu erhalten.

Diese Versuchsphase gilt als abgeschlossen, wenn für jedes Gestein und jede Fraktion eine maximale relative Mittelwertabweichung von 5 % eingehalten wird. Diese Mittelwerte sind in Kapitel 7.1 interpretiert und dargestellt. Außerdem dienen die so erhaltenen Reibbeiwerte mit den in Phase 2 gewonnenen Zusatzinformationen als Kriterium für die Auswahl von geeigneten Fraktionen für weiterführende Reihenuntersuchungen.

6.2.2 Phase 2 – Weiterführende Untersuchungen

Phase 2 dient zur zusätzlichen Beurteilung der ermittelten Reibbeiwerte sowie zur Plausibilitätsprüfung der Messergebnisse. Dafür wurden diverse weiterführende Untersuchungen der verschiedenen Gesteine durchgeführt, wie zum Beispiel die Bestimmung der Sieblinien der gelieferten Sandproben und eine Mineralanalyse der ausgesiebten Sandfraktionen. Zusätzlich dienten die in dieser Phase ermittelten Ergebnisse als Kontrollmöglichkeit für etwaige Messfehler.

Das detaillierte Versuchsprogramm der Phase 2 ist der Abbildung 6-2 zu entnehmen.

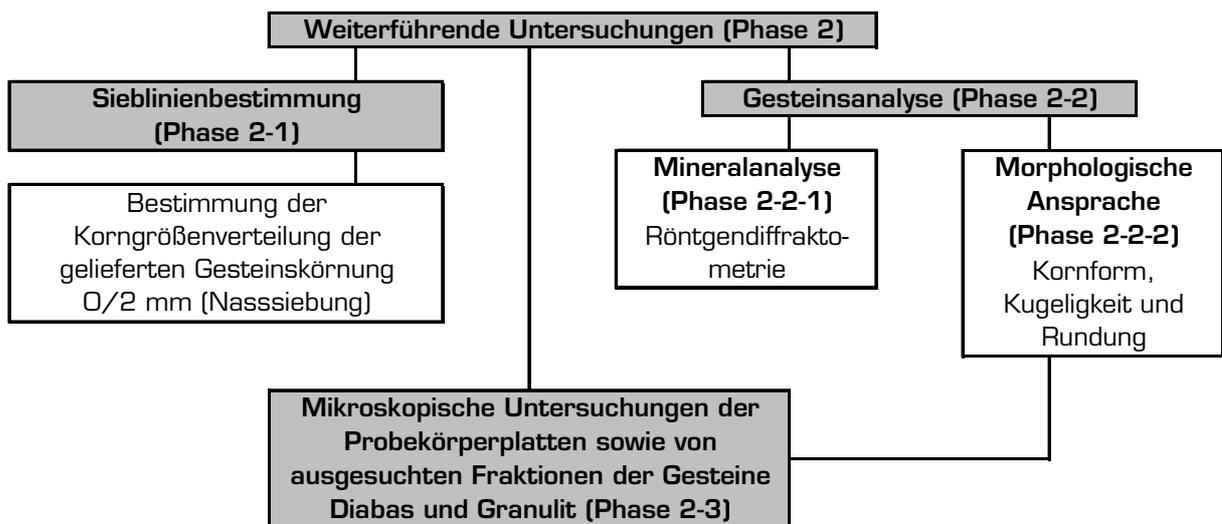


Abbildung 6-2: Versuchsprogramm Phase 2

6.2.2.1 Phase 2-1: Sieblinienbestimmung

Zur Beurteilung der Korngrößenverteilung der gelieferten Edelbrechsandproben wurde gemäß ÖNORM EN 933-1 eine Sieblinienbestimmung durchgeführt. Zuvor waren die gelieferten Proben gemäß ÖNORM EN 932-2 zu homogenisieren. Die Homogenisierung der Edelbrechsande (Ausgangsmenge 20 kg) erfolgte hierbei mit einem Riffelteil. Für die Sieblinienbestimmung wurde das Nasssiebverfahren angewandt. Das Nasssieben garantiert ein Auswaschen der feinen Mineralstoffe. Die Sieblinie bestand aus Analysensiebe mit den Maschenöffnungsweiten von 0,063-0,09-0,2-0,4-0,63-1,0 und 2,0 mm. In Abbildung 5-3 ist der Nasssiebturm des ISTU dargestellt.



Abbildung 6-3: Siebturm [Foto: Kirchmaier]

Als Einwaage für das Nasssieben wurden jeweils 500 g Edelbrechsand der Korngruppe 0/2 mm verwendet. Die Siebung erfolgte unter konstanter Zugabe von Wasser. Eine Siebdauer von 12 Minuten garantierte, dass aus dem Abflussschlauch nur mehr klares Wasser ausfließt und somit keinerlei Feinteile mehr an den Gesteinskörnern im Siebturm anhaften. Nach dem Nasssieben wurden die einzelnen Rückstände auf den Sieben getrennt in einem Trockenschrank bis zur Massenkonstanz getrocknet. Wurde Massenkonstanz erreicht, erfolgte noch eine kurze händische Nachsiegung der Rückstände auf den Analysensieben. Die so gewonnenen Rückstände auf den einzelnen Sieben wurden gewogen und als Massenprozent der eingewogenen Gesamtmasse berechnet. Pro Gestein wurden zwei Sieblinienbestimmungen durchgeführt. Das Endergebnis ergibt sich aus dem Mittel der beiden Sieblinienbestimmungen.

Die Bestimmung der Sieblinie soll einen Überblick über die enthaltenen Massenprozent der in Phase 1 geprüften Fraktionen der gelieferten Edelbrechsande liefern. Die Ergebnisse sind dem Kapitel 7.2 zu entnehmen.

6.2.2.2 Phase 2-2: Gesteinsanalyse

In dieser Phase wurden folgende zwei Bestimmungen durchgeführt:

- Mineralanalyse mittels Röntgen-Pulver-Diffraktometrie
- Morphologische Ansprache

Mineralanalyse mittels Röntgen-Pulver-Diffraktometrie

Ziel dieser Untersuchung war es, festzustellen, ob die Mineralzusammensetzung der Sande über die gesamte Korngruppe 0/2 mm gleich ist, oder ob in den ausgesiebten Fraktionen 0,2/0,4, 0,4/0,63, 0,63/1,0 und 1,0/2,0 mm ein Unterschied besteht.

Mit der Methode der Röntgen-Pulver-Diffraktometrie ist es möglich den Mineralinhalt eines Gesteines qualitativ zu bestimmen. Weiters kann eine ungefähre Aussage über die prozentuale Verteilung der Minerale eines Gesteins getroffen werden. Diese muss allerdings mit Vorsicht behandelt werden, da die Lage eines „Mineralplättchens“ im Probenträger für die Größe des zugeordneten Peaks in der Auswertung maßgebend ist. Am weitesten verbreitet ist diese Technik bei der Charakterisierung von Tonmineralen. Sie ist aber auch für die Mineraluntersuchung von Gesteinen aller Art geeignet.

Für dieses Verfahren wird eine möglichst homogene Probenmenge zerkleinert, in einer Gesteinsmühle analysenfein gemahlen und als Pulver in den Probenträger eingebracht. Im Röntgendiffraktometer wird diese mit einem Röntgenstrahl beschossen. Durch langsames Drehen der Probe ändert sich der Auftreffwinkel des Röntgenstrahles. Die Probe wird dabei jeweils um $0,02^\circ$ geschwenkt und dann für die Dauer von 1 Sekunde mit dem Röntgenstrahl beschossen. Der ausgeführte Schwenkbereich reicht dabei von 2° bis 70° . Die Gesamtdauer der Untersuchung beträgt ca. 1 Stunde. Abbildung 6-4 zeigt eine graphische Darstellung der optischen Versuchseinrichtung.

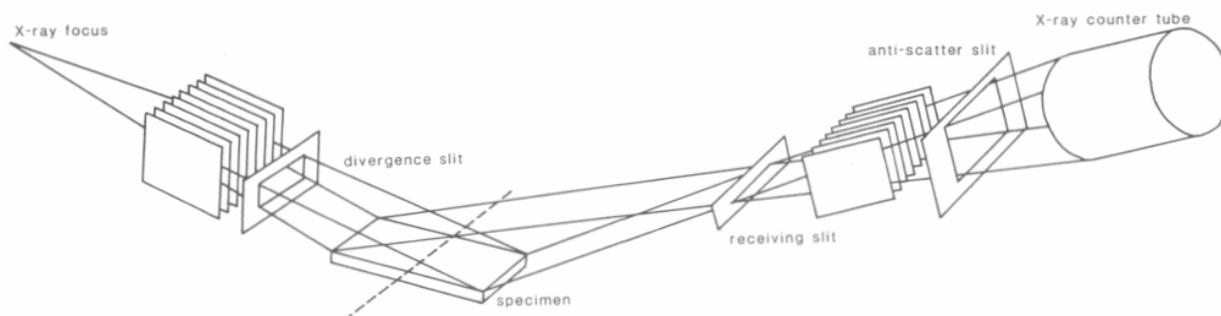


Abbildung 6-4: Optische Versuchseinrichtung für einen Phillips Diffraktometer [WILSON, 1987]

Trifft ein Röntgenstrahl auf eine Ebene von Atomen eines Kristalls, so wird der Röntgenstrahl in alle Richtungen hin zerstreut. Dabei interferieren die gestreuten Röntgenstrahlen miteinander und eliminieren sich gegenseitig. In einer speziellen Richtung jedoch verlaufen die gestreuten Röntgenstrahlen phasengleich und kombinieren sich zur Formung einer neuen Wellenfront. Diese Überlagerung wird Diffraction genannt [WILSON, 1987].

Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus der Kristallstruktur von Mineralen werden die Röntgenstrahlen in Abhängigkeit von den Gitterkonstanten d gebeugt. Die Gitterkonstanten entsprechen dabei engen, parallelen Ebenen der Atome eines Kristalls, die wiederum parallel zur Oberfläche verlaufen (siehe Abbildung 6-5).

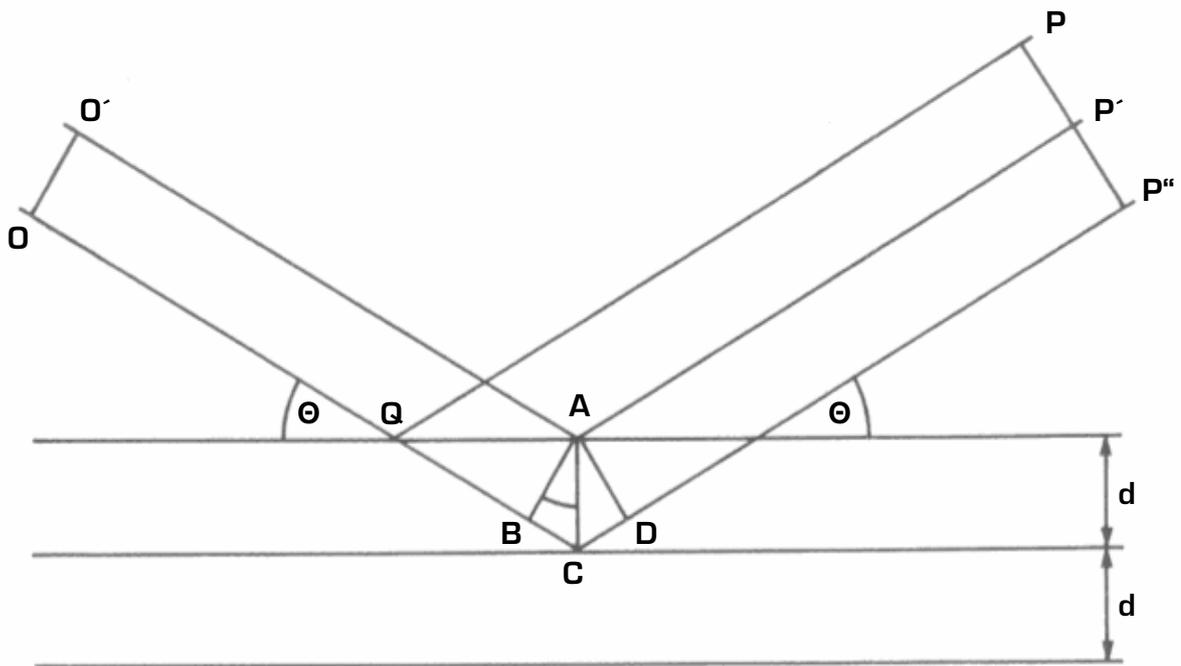


Abbildung 6-5: Röntgendiffraktion auf Kristallgitterebenen [WILSON, 1987]

Abbildung 6-5 zeigt zwei parallele Röntgenstrahlen gleicher Wellenlänge λ , die unter dem Winkel Θ auf eine Oberfläche treffen. Diese Oberfläche ist eine aus Atomen gebildete Ebene. Neben dieser einen Ebene existieren noch eine Vielzahl anderer Ebenen, deren paralleler Abstand zueinander dem Kristallgitterabstand d entspricht. Die einfallenden Strahlen sind dabei phasengleich und besitzen somit eine gemeinsame Wellenfront $O-O'$. Die Strahlen $O-Q$ und $O'-A$, werden an der obersten Kristallschicht in die Richtung $Q-P$ und $A-P'$ wiederum mit dem Winkel Θ gestreut und bilden deswegen ebenso eine gemeinsame Wellenfront. Aufgrund derselben Weglänge erreichen die beiden Strahlen die Front $P-P'$ phasengleich.

Dringt ein Röntgenstrahl in die nächste, tiefer gelegene Gitterebene ein, so weicht die Weglänge des auftreffenden und gestreuten Strahles $O-C-P''$ von dem darüber liegenden gestreuten Strahl um den Betrag $B-C-D$ ab. Die Wegdifferenz $B-C-D$ – oder auch Phasendifferenz genannt – entspricht auch $2 \cdot B-C$.

mit

$$BC = d \cdot \sin \Theta \quad \text{Gleichung 3}$$

folgt

$$2 \cdot d \cdot \sin \Theta \quad \text{Gleichung 4}$$

Gleichung 4 ist auch als die Bedingung nach Bragg für Reflexion bekannt.

Wird nun eine Probe kreisförmig gedreht, so passiert die Probe Positionen an denen die Phasendifferenz das 1-, 2-, 3-,...X-fache der Wellenlänge beträgt. Der dabei gemessene Gitterabstand dient zur Identifikation der einzelnen Minerale [WILSON, 1987]. Dabei wird die berechnete Schichtdicke d in der Einheit Å (= Ångström) angegeben. So entsteht für jedes Mineral ein charakteristisches Röntgenspektrum. Dadurch wird die Ermittlung der einzelnen Mineralphasen und damit eine Zuordnung zu einem Gesteinstyp möglich.

Diese Untersuchung wurde an der Universität für Bodenkultur am Institut für angewandte Geologie durchgeführt. Untersucht wurde dabei das Mineralspektrum der beiden Sande Diabas und Granulit der Korngruppe 0/2 mm. Dafür wurden für jedes Gestein die Proben aus den vier ausgesiebten Fraktionen 0,2/0,4, 0,4/0,63, 0,63/1,0 und 1,0/2,0 mm verwendet.

In Abbildung 6-6 ist das Röntgendiffraktometer des Institutes für angewandte Geologie der Universität für Bodenkultur dargestellt. Bei der dabei verwendeten Röntgenquelle handelt es sich um eine Cu-K α 1-Strahlung mit einer Wellenlänge $\lambda = 0,154056$ nm.



Abbildung 6-6: Philips Röntgendiffraktometer PW 1710 des Institutes für angewandte Geologie an der BOKU Wien [Foto: Kirchmaier]

Im Vordergrund der Abbildung 6-6 sind die acht präparierten Proben-träger der beiden Sande Granulit und Diabas für die Mineralanalyse zu sehen. Die Herstellung erfolgte durch Eindrücken des gemahlene Gesteins in die Proben-trägerformen nach dem „Backloading“ Verfahren.

Dazu wird der abnehmbare Alu-Ring des Proben-trägers verkehrt in die Präparationsvorrichtung eingespannt. Mittels eines Stempels wird die eingebrachte Menge an gemahlene Gesteinsmehl in der Proben-trägerform festgedrückt und anschließend mit einem Messer abgezogen. Dieser Vorgang ist zu wiederholen, bis eine homogene, ebene Oberfläche entsteht und sich die Probe nicht mehr unter das Niveau des Pro-

beträgerings zusammenpressen lässt. Anschließend wird der untere Teil des Probenträgers auf den gefüllten Alu-Ring aufgespannt und die ganze Präparationsvorrichtung mit dem Probenträger gekippt, um den Probenträger von der Präparationsvorrichtung vorsichtig zu lösen.

Je Probekörper wurden ca. 3 g gemahlenes Gesteingut benötigt. Das Mahlen der Sande erfolgte in einer Scheibenschwingmühle. Dafür wurden ca. 20 bis 25 g pro Sandfraktion in den Mörser gefüllt. Der Mörser wird in die Schwingmühle eingespannt und durch das Rütteln der Mühle zerkleinert der im Mörser frei bewegliche Stößel das Gestein (siehe Abbildung 6-7). Die Dauer des Mahlvorganges betrug fünf Minuten.



(a)



(b)

Abbildung 6-7: Scheibenschwingmühle (a) und Mörser mit Stößel (b) [Foto: Kirchmaier]

In Abbildung 6-8 ist ein typisches Mineralspektrum für Granulit dargestellt. Alle Ergebnisse der Mineralanalyse sind in Kapitel 7.3 angeführt.

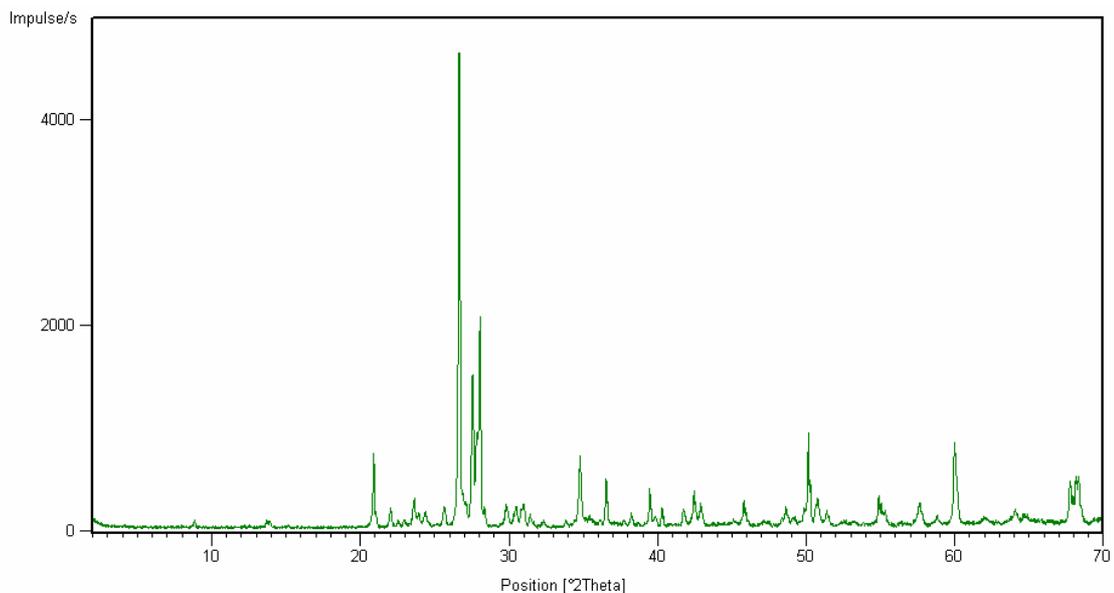


Abbildung 6-8: Typisches Mineralspektrum für Granulit

Morphologische Ansprache

Die Morphologie eines Kornes hängt von vielen Faktoren ab. Zunächst spielt die mineralogische Zusammensetzung, die Art des Herkunftsgesteins und der Verwitterungsgrad eine primäre Rolle. Eine weitere Rolle spielt der Grad der Korrosion oder die Auflösung während der Diagenese [TUCKER, 1985]. Hinsichtlich des Griffigkeitsverhaltens eines Gesteins ist die Morphologie insofern von Bedeutung, als eine ausgeprägte Eckigkeit sowie eine möglichst von der Kugelform abweichende Gestalt griffigkeitserhöhend wirkt. Über den Polierwiderstand wird insofern eine Aussage getroffen, als Sandkörner mit einer eher bescheiden ausgebildeten Kantigkeit bzw. „Schärfe“ gegenüber einer Polierbeanspruchung weniger Widerstand ausüben können. Dies ist durch die Einebnung der Mikro- bzw. Makrostruktur eines Gesteinskorns während des polierenden Vorganges erklärt. Obwohl die mineralogische Zusammensetzung des Gesteins die Morphologie wesentlich beeinflusst, so ist durch die morphologische Ansprache alleine dennoch keine gezielte Aussage bezüglich der Polierresistenz der enthaltenen Minerale des Gesteins möglich.

Mittels der morphologischen Ansprache wurden von den Edelbrechsandarten Diabas und Granulit der Fraktionen 0,63/1,0 und 1,0/2,0 mm die Kornform, die Kugeligkeit und der Rundungsgrad bestimmt, sowie die Anzahl der Körner mit ausgeprägtem Spitz gezählt. Die Bestimmung erfolgte an 50 zufällig ausgewählten Körnern je Fraktion und Gestein und wurde mit einem Stereomikroskop am Institut für angewandte Geologie auf der Universität für Bodenkultur durchgeführt.

Die Kornform ist dabei abhängig vom Verhältnis der 3 Hauptachsen $a > b > c$ (siehe Abbildung 6-9). Zur Beschreibung der Kornform gibt es entsprechend dem Achsen-Verhältnis vier Klassen:

- A. tafelig oder plattig,
- B. isometrisch (kubisch oder rund),
- C. flachstängelig,
- D. stängelig

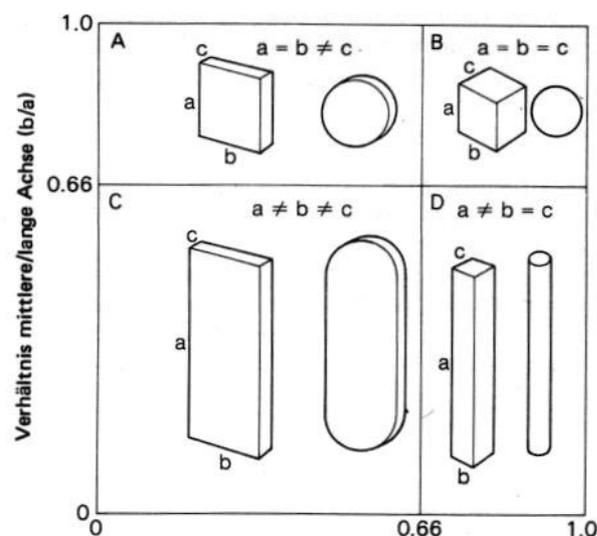


Abbildung 6-9: Kornform in Abhängigkeit der Achsen-Verhältnisse [TUCKER, 1985]

Die Kugeligkeit gilt als Maß der Annäherung eines Gesteinspartikels an eine Kugel. Unterschieden wird dabei in die zwei Kategorien geringe und hohe Kugeligkeit. Die Rundung befasst sich mit der äußeren Form der Körner. Nach TUCKER (1985) unterscheidet man dabei sechs Rundungsgrade von sehr eckig bis gut gerundet. In Abbildung 6-10 ist für jede Klasse ein Korn mit hoher und mit geringer Kugeligkeit dargestellt.

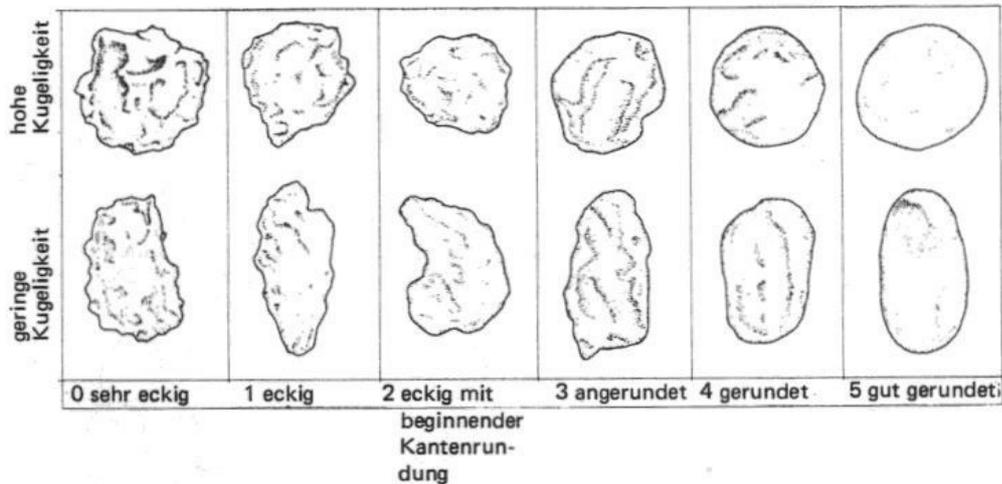


Abbildung 6-10: Rundungsgrade von Gesteinskörnern [PETTIJOHN et al., 1973]

In Abbildung 6-10 ist deutlich die unterschiedliche „Schärfe“ der Körner erkennbar. So weist ein Korn in der Klasse 0 (sehr eckig) eine wesentlich höhere „Schärfe“ als Körner der Klassen vier und fünf auf. Bei der Beurteilung der Eckigkeit wird nicht nur auf die Schärfe der Bruchkanten, sondern auch auf die Eckigkeit der Oberflächen geachtet. So weisen schiefrige Gesteine aufgrund ihrer Entstehung und Lagerung oft sehr scharfe Bruchkanten auf, wohingegen ihre Oberflächen eine eher glatte Prägung besitzen. Für diese Fälle wurde ein Mittelweg bei der Ansprache gewählt und die Gesteinskörner wurden den Stufen zwei bis drei zugeordnet.

Die Auswertung der morphologischen Ansprache erfolgt im Kapitel 7.4.

In Abbildung 6-11 sind für alle drei untersuchten Gesteine Sandkörner der Fraktion 1,0/2,0 mm dargestellt – dolomitischer Kalkstein (a), Granulit (b) und Diabas (c).

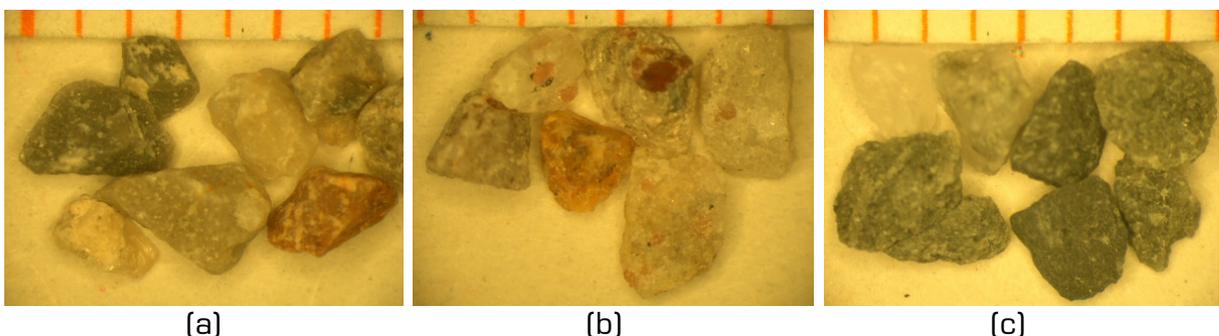


Abbildung 6-11: Gegenüberstellung von Sandkörnern der drei untersuchten Gesteine der Fraktion 1,0/2,0 mm (15-fache Vergrößerung)

6.2.2.3 Phase 2-3: Mikroskopische Untersuchung der Sandprobekörper

Zur Bestimmung der Anzahl der berührten Körner während der Polierprüfung und der Griffigkeitsmessung wurde eine mikroskopische Untersuchung der Sandprobekörper für die unterschiedlichen Fraktionen durchgeführt.

Dazu wurde auf das Stereomikroskop des Institutes für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie der Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften an der TU Wien zurückgegriffen. Das Stereomikroskop der Firma Wild ist mit einer Digitalkamera ausgestattet und ermöglicht so vergrößerte Aufnahmen der Probekörperplatten und der verwendeten Sande.

In dieser Versuchsphase wurden die bereits polierten Platten unter dem Stereomikroskop mit zwölfacher Vergrößerung betrachtet und versucht eine quantitative Aussage der, zur Poliersimulation und Griffigkeitsmessung beitragenden Körner, zu treffen.

Beispiele für die unterschiedliche Anzahl an Körnern pro cm^2 sind den Abbildungen 6-12a bis 6-12d zu entnehmen. Dargestellt sind in Abbildung 6-12 ca. $0,7 \text{ cm}^2$ große Ausschnitte aus Probekörperplatten des dolomitischen Kalksteines der Korngruppen $0,2/0,4 \text{ mm}$ (a), $0,4/0,63 \text{ mm}$ (b), $0,63/1,0 \text{ mm}$ (c) sowie $1,0/2,0 \text{ mm}$ (d).

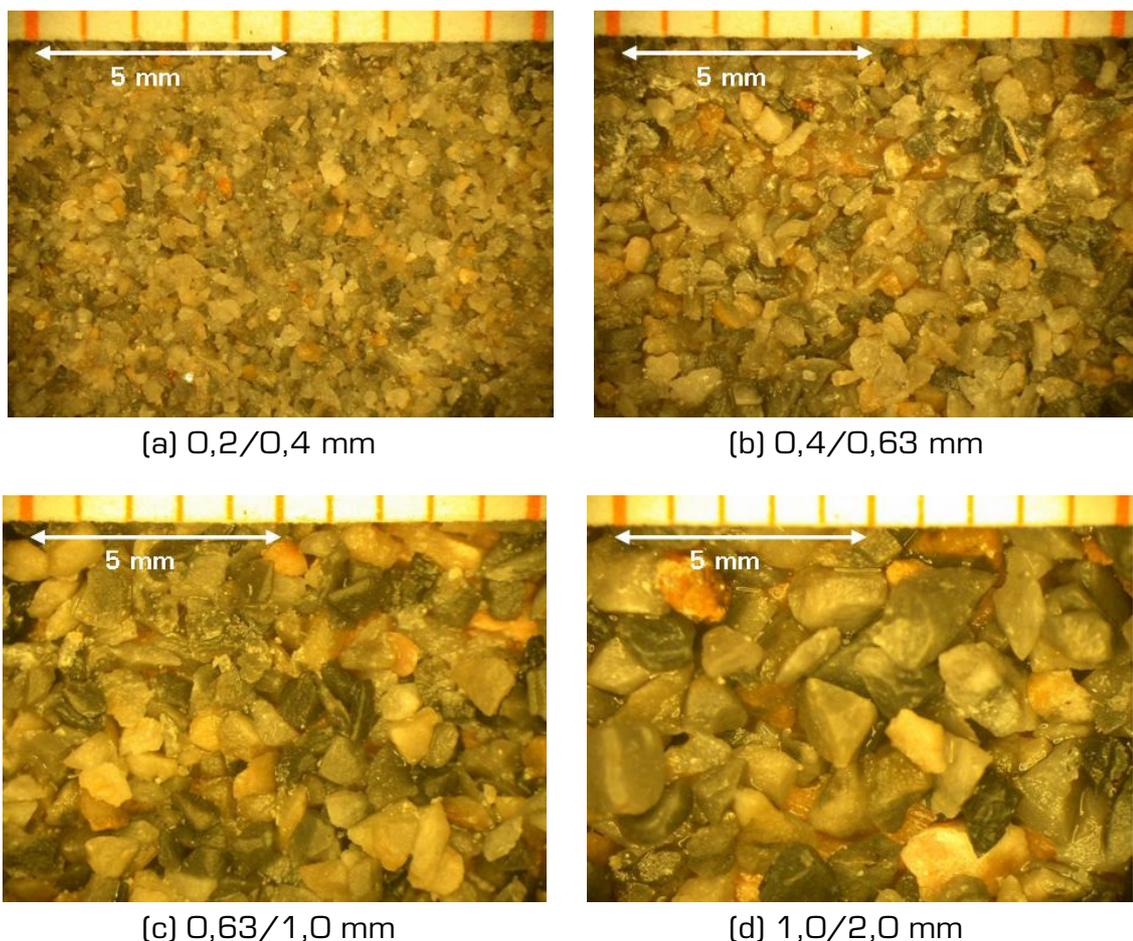


Abbildung 6-12: Gegenüberstellung von $0,7 \text{ cm}^2$ großen Ausschnitten der vier untersuchten Fraktionen unter dem Stereomikroskop (12-fache Vergrößerung)

Obwohl unter dem Mikroskop bei der Fraktion 0,2/0,4 mm die polierten und zur Griffigkeitsmessung beitragenden Körner erkennbar waren ist eine analytische Auswertung der Digitalbilder pro cm^2 nicht möglich, da die Körner sehr dicht und oftmals übereinander gelagert sind. Vor allem bei sehr quarzhaltigen Gesteinen wie etwa dem Granulit (siehe Abbildung 6-13) ist aufgrund der weißen, gläsernen Farbe des Minerals und der fehlenden Kontrastschärfe das Zählen der Körner nicht exakt durchführbar.

Deutlich erkennbar hingegen ist in Abbildung 6-12 die unterschiedliche Lagerungsdichte der Körner in den vier verschiedenen Fraktionen. Vor allem in den Fraktionen 0,2/0,4 mm und 0,4/0,63 mm sind keinerlei Hohlräume erkennbar, wohingegen in der Fraktion 1,0/2,0 mm einige von Körnern unbedeckte Stellen der Holzträgerplatte erkennbar sind. Diese Hohlraumzunahme in den größeren Fraktionen bedingt in weiterer Folge eine Veränderung der Drainagewirkung der Probenkörperoberfläche.

Eine Fotodokumentation aller geprüften Fraktionen je Gestein ist in Anhang B dieser Arbeit angeführt.

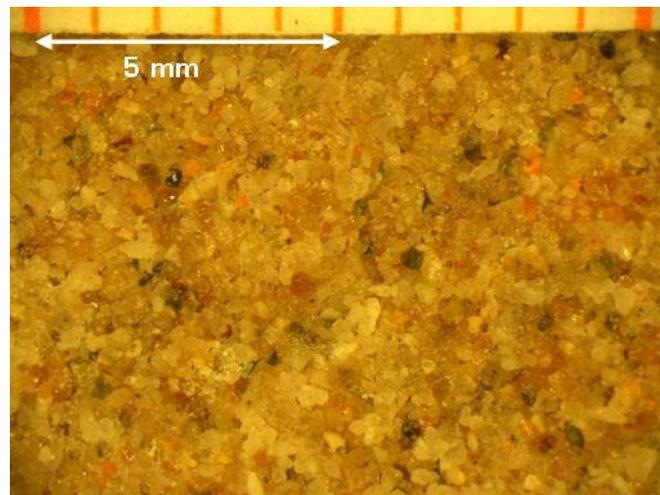


Abbildung 6-13: Ausschnitt eines Granulitprobekörpers der Fraktion 0,2/0,4 mm (12-fache Vergrößerung)

7. PRÜFERGEBNISSE UND INTERPRETATION

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Sandpolierprüfung, sowie der ergänzenden Untersuchungen dargestellt und abschließend zusammenfassend bewertet.

7.1 Sieblinienbestimmung

Kornsysteme, wie sie im Straßenbau – außer bei Spezialasphalten – verwendet werden, sind nach einer stetigen Korngrößenabstufung aufgebaut, d.h., sie enthalten vom größten bis zum kleinsten Korn ohne Ausfallkörnung alle Zwischengrößen (siehe Abbildung 7-1). Dies entspricht auch dem „Betonprinzip“ [MÜLLER, 1996].

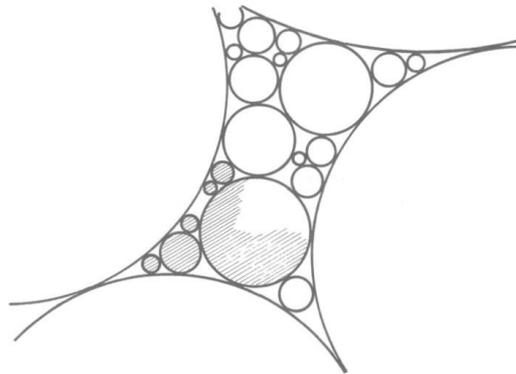


Abbildung 7-1: Hohlraumarmes Korngerüst - Modellvorstellung [MÜLLER, 1996]

Solch ein Kornsystem wird durch Gleichung 5 beschrieben:

$$y = \left(\frac{k}{k_{\max}} \right)^q \cdot 100 \text{ [%]} \quad \text{Gleichung 5}$$

- y.....Anteil der zu betrachtenden Teilkörnung [%]
- k..... Größtkorn der zu betrachtenden Teilkörnung [mm]
- k_{\max} .. Größtkorn der gesamten Körnung [mm]
- q..... Exponent [-]

Nach Fuller bzw. Rothfuchs erreicht man die Korngrößenverteilung mit der dichtesten Lagerung, wenn man den Exponenten q gleich 0,5 setzt, also die Korngrößenverteilung nach einer quadratischen Parabel aufbaut [MÜLLER, 1996].

Die so erhaltene ideale Sieblinienverteilung wird deswegen auch Fuller-Linie genannt. Um die untersuchten Sande hinsichtlich ihrer Eignung zur Ausbildung einer dichten Lagerung zu beurteilen, wird in den folgenden graphischen Auswertungen der Sieblinienbestimmung zusätzlich die Fuller-Linie für die Sandfraktion 0/2 mm (Größtkorn $k_{\max} = 2$ mm) angegeben.

7.1.1 Dolomitischer Kalkstein

Die Doppelbestimmung der Sieblinie des dolomitischen Kalksteins der Fa. Hollitzer ist in Abbildung 7-2 dargestellt.

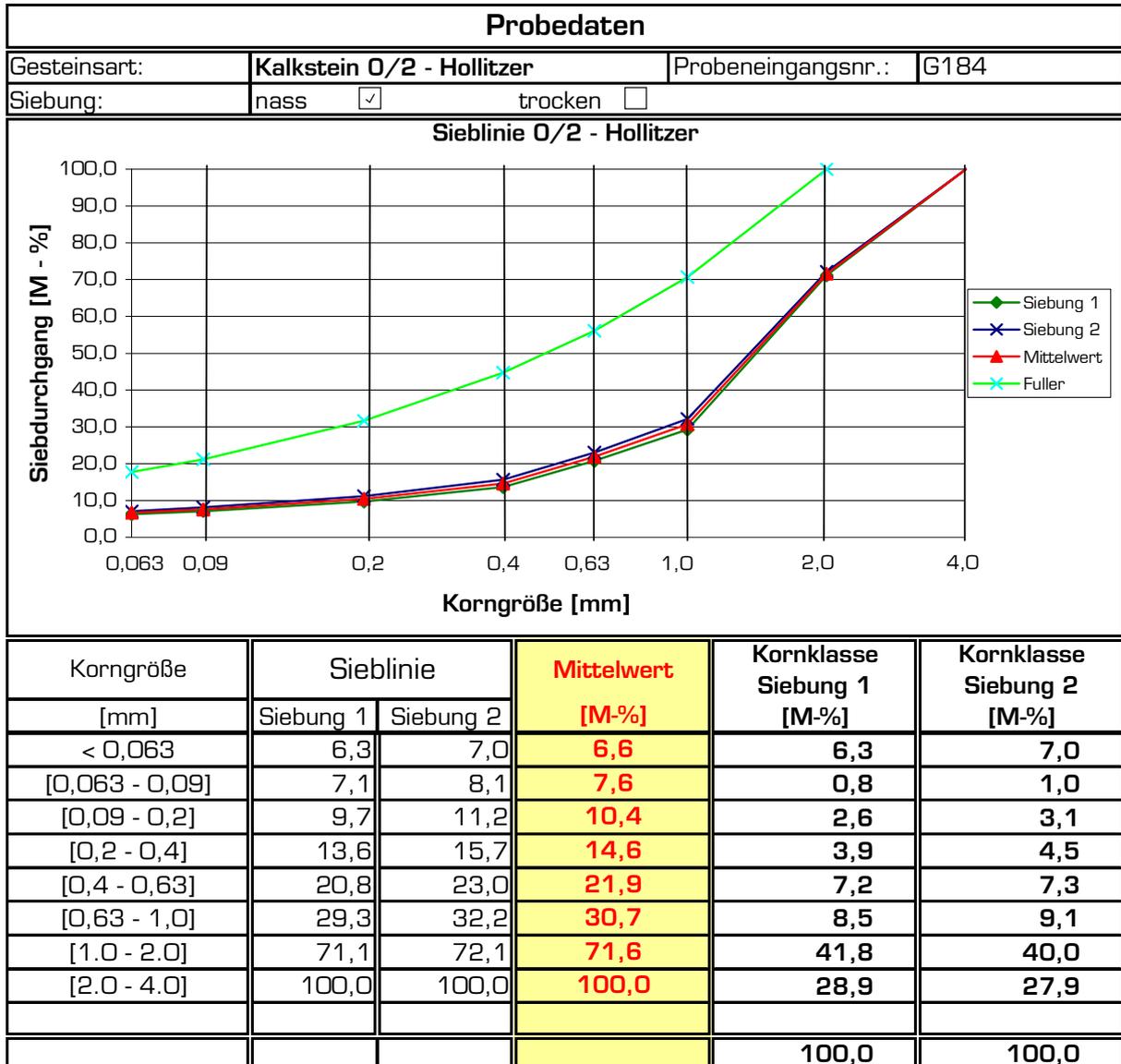


Abbildung 7-2: Sieblinie - Dolomitischer Kalkstein 0/2 mm

Die Sieblinienbestimmung ergab einen sehr großen Überkornanteil (> 2 mm) von 28,4 M-%. Der Fülleranteil ($\leq 0,063$ mm) beträgt 6,6 M-%. Der Anteil von Gesteinskörnern $\leq 1,0$ mm ist sehr gering. So beträgt der Anteil der Gesteinskörnungen 0,063/1,0 mm lediglich ~24 M-%, wohingegen die Korngruppe 1,0/2,0 mit einem Anteil von 40,9 M-% vorhanden ist. Der Anteil der Korngruppe 0,2/0,4 mm beträgt nur 4,2 M-%. Hier handelt es sich um eine größtkorn- bzw. überkornreiche Sieblinie, weswegen sie auch unter der Fuller-Linie verläuft. Die Sieblinie entspricht dabei eher der Fuller-Linie für einen Sand 0/4 mm. Der Anteil des fein- bzw. mittelkörnigen Sandes (0,1 bis 1,0 mm), welcher für die Griffigkeit bei dichten Asphaltbetonen mitver-

antwortlich ist, ist bei dem untersuchten Sand 0/2 mm nur in geringem Umfang vorhanden.

7.1.2 Granulit

Die Doppelbestimmung der Sieblinie des Granulits der Fa. Wanko ist in Abbildung 7-3 dargestellt.

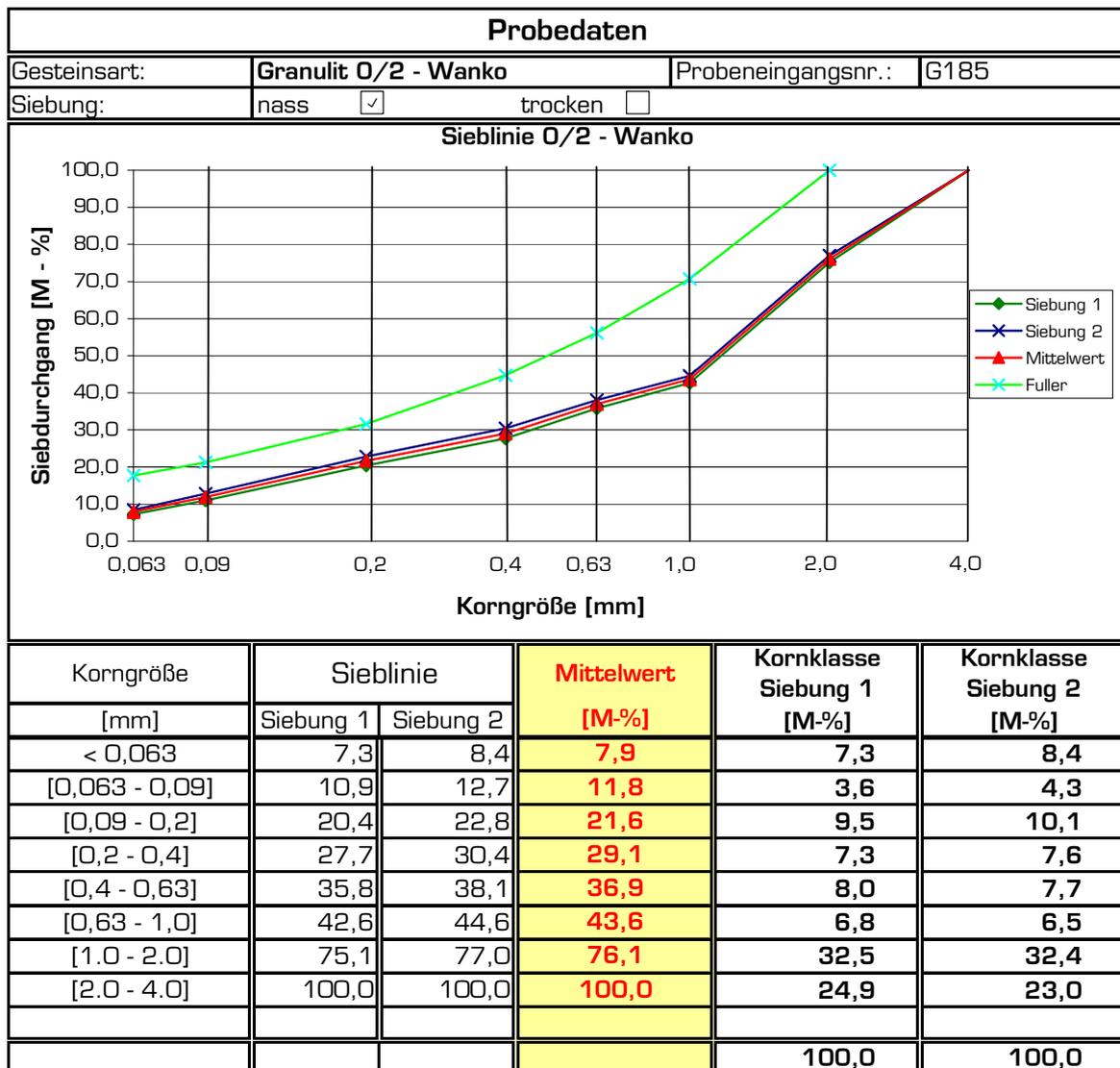


Abbildung 7-3: Sieblinie - Granulit 0/2 mm

Die Sieblinienbestimmung ergab einen Überkornanteil von 23,9 M-%. Dies entspricht in etwa dem Überkornanteil beim dolomitischen Kalkstein. Der Fülleranteil ($\leq 0,063$ mm) beträgt 7,9 M-%. Der Anteil der Fraktion 0,09/0,2 mm ist mit ~10 M-% relativ hoch. Die Korngruppen 0,2/0,4, 0,4/0,63 sind mit 7,5 bzw. 7,8 M-% vertreten. Daraus resultiert der lineare Anstieg der Sieblinie in diesem Bereich. Stark vertreten ist vor allem die Fraktion 1,0/2,0 mit einem Anteil von 32,5 M-%, wohingegen die Fraktion 0,63/1,0 mm nur mit einem Anteil von 6,7 M-% vorkommt. Diese

Sieblinie ist wie die des dolomitischen Kalksteins größtkornreich. Der Anteil des fein- bzw. mittelkörnigen Sandes (0,1 bis 1,0 mm), welcher für die Griffigkeit bei dichten Asphaltbetonen mitverantwortlich ist, beträgt bei dem untersuchten Sand in etwa 30 M-%. Die Sieblinie entspricht im Wesentlichen auch hier der Fuller-Linie für einen Sand der Fraktion 0/4 mm.

Weiters wurde beim Aussieben der Fraktion 0,063/0,09 mm eine starke Rotfärbung des gewonnenen Materials festgestellt. Dies lässt auf das Vorhandensein von Eisen-oxyd aufgrund tropischer Verwitterung schließen.

7.1.3 Diabas

Die Doppelbestimmung der Sieblinie des Diabases der Fa. Diabaswerk Saalfelden ist in Abbildung 7-4 dargestellt.

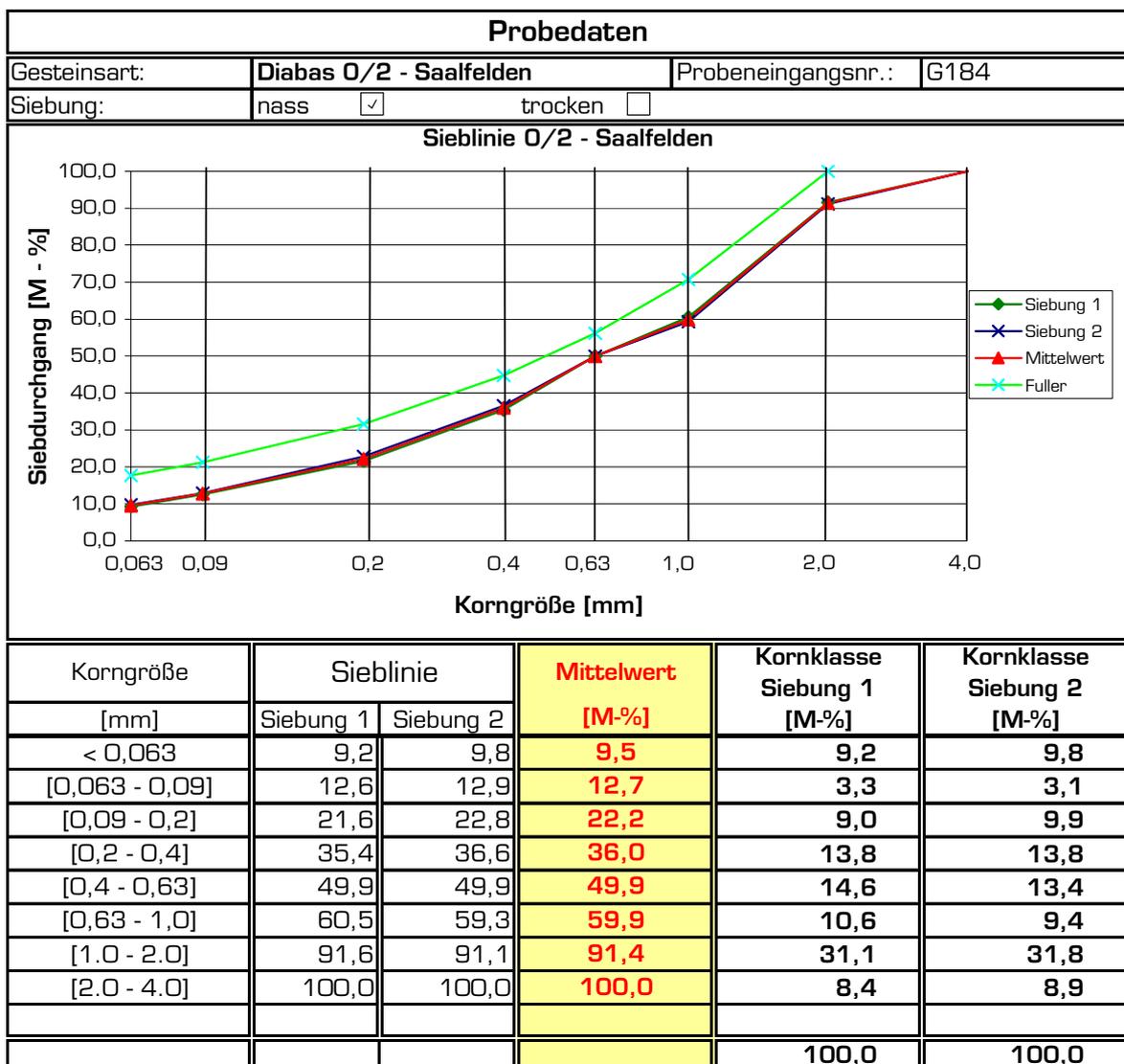


Abbildung 7-4: Sieblinie - Diabas 0/2 mm

Die Sieblinienbestimmung ergab einen relativ geringen Überkornanteil von 8,6 M-%. Der Fülleranteil ($\leq 0,063$ mm) beträgt 9,5 M-%. Die Korngruppen 0,09/0,2, 0,2/0,4, 0,4/0,63 und 0,63/1,0 mm sind jeweils mit rund 10 bis 14 M-% vertreten. Daraus resultiert der lineare Anstieg der Sieblinie in diesem Bereich. Der Anteil der Korngruppe 0,063/1,0 mm beträgt ca. 50 M-%. Dies entspricht in etwa dem doppelten des dolomitischen Kalksteins. Die Fraktion 1,0/2,0 mit einem Anteil von 31,5 M-% entspricht in diesem Bereich der Sieblinie des Granulits. Die Sieblinie des Diabases kann als stetig verteilt angesprochen werden und sie nähert sich der Fullerslinie sehr gut an. Vor allem die fein- und mittelkörnigen Sande (0,1 bis 1,0 mm) haben einen großen Einfluss auf die Griffigkeit bei dichten Asphaltbetonen sowie bei Betondeckschichten. Aufgrund der vorhandenen Sieblinie kann von einer ausreichenden Anreicherung der Fahrbahnoberfläche mit Feinteilen ausgegangen werden, was sich in Hinblick auf die Anfangsgriffigkeit günstig auswirkt.

7.1.4 Anteile der Korngruppen am Gesamtmischgut eines AC 11

Um den Einfluss der einzelnen Korngruppen des Sandes am Gesamtmischgut einschätzen zu können soll folgendes Rechenbeispiel, durchgeführt an einem AC 11, dienen:

Der Anteil der Sandfraktion 0/2 mm am Gesamtmischgut beträgt erfahrungsgemäß ca. 40 %. Multipliziert man die aus der Sieblinienanalyse erhaltenen M-% mit 0,4, so ergeben sich für die einzelnen Korngruppen unter Berücksichtigung des Überkorns die in Tabelle 7-1 angeführten Anteile in M-% am Gesamtmischgut.

Tabelle 7-1: Anteile der Korngruppen aus der Sieblinienbestimmung am Gesamtmischgut eines AC 11

		Gestein	Diabas	Granulit	Dolomitischer Kalkstein
		Anteil am Gesamtmischgut [%]			
Korngruppe	< 0,063		3,8	3,2	2,7
	[0,063 - 0,09]		1,3	1,6	0,4
	[0,09 - 0,2]		3,8	3,9	1,1
	[0,2 - 0,4]		5,5	3,0	1,7
	[0,4 - 0,63]		5,6	3,1	2,9
	[0,63 - 1,0]		4,0	2,7	3,5
	[1,0 - 2,0]		12,6	13,0	16,4
	[2,0 - 4,0]		3,4	9,6	11,4

Aus Tabelle 7-1 wird ersichtlich, dass die Korngruppen < 1,0 mm speziell beim Granulit und beim dolomitischen Kalkstein nur einen geringen Anteil vom Gesamtmischgut ausmachen. Ein Großteil entfällt auf die Fraktion 1,0/2,0 mm und auf das Überkorn. Beim dolomitischen Kalkstein beträgt der Anteil der Korngruppe 0,2/0,4 mm am gesamten Mischgut gerade einmal 1,7 M-%. Eine Prüfung des PWS₆₀ an dieser Korn-

gruppe zur Beurteilung der Griffigkeit des Sandes über die gesamte Bandbreite erscheint dadurch nicht repräsentativ.

7.1.5 Zusammenfassung

Die Sieblinie des Diabases ist über die gesamte Bandbreite 0/2 mm gleichmäßig verteilt und das Überkorn beträgt nur wenige Massenprozent, wohingegen beim dolomitischen Kalkstein und beim Granulit ein Überhang der Fraktion 1,0/2,0 mm festzustellen ist. Vor allem das Überkorn beträgt beim Granulit und beim dolomitischen Kalkstein ca. 25 M-%. Betrachtet man diesen Umstand unter der Bedingung, dass für die Griffigkeit von dichten Fahrbahnen (Asphaltbeton, Beton) vor allem die Sandfraktionen ≤ 1 mm verantwortlich sind, so besteht bei den Sieblinien der untersuchten Edelbrechsande noch Optimierungspotenzial.

Da der Anteil der Korngruppe 0,2/0,4 mm am gesamten Mischgut eines AC 11 nur sehr gering ist, sollte für die Ermittlung des PWS_{60} von Sanden auch eine andere Korngruppe in Betracht gezogen werden. Um repräsentative Korngruppen zu finden, die die Griffigkeit von Sanden hinreichend genau beschreiben, erscheint es sinnvoll die Sieblinien, der am häufigsten im Straßenbau verwendeten Sande, untereinander zu vergleichen. Dabei sollte auch eine Unterscheidung zwischen Natur- und Brechsande erfolgen.

7.2 Sandpolierprüfung

Für die in Kapitel 6.2.1 beschriebene Sandpolierprüfung an jeweils mindestens drei Probekörperplatten pro Gestein und Fraktion sind die Ergebnisse in Abbildung 7-5 in Form eines Balkendiagramms mit Kennzeichnung der Standardabweichung dargestellt. Es handelt sich dabei um die Mittelwerte aus mindestens drei Proben pro Gestein und Fraktion. Um zusätzliche Messsicherheit zu erreichen, wurden beim dolomitischen Kalkstein der Fraktionen 0,4/0,63, 0,63/1,0 und 1,0/2,0 mm sowie beim Granulit der Fraktionen 0,4/0,63 und 1,0/2,0 mm und beim Diabas der Fraktion 0,63/1,0 mm jeweils eine zusätzliche Probe hergestellt und eine Sandpolierprüfung durchgeführt. Somit wurden in der Hauptversuchsphase insgesamt 42 Probekörper hergestellt, mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze einer polierenden Beanspruchung ausgesetzt und anschließend der Reibbeiwert μ bestimmt.

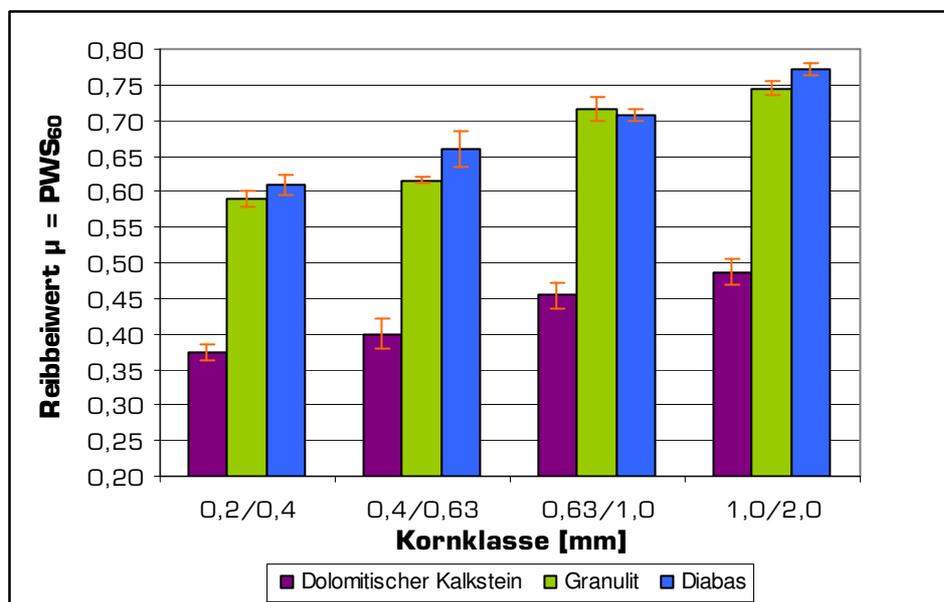


Abbildung 7-5: Ergebnisse der Sandpolierprüfung - Balkendiagramm

Aus obiger Abbildung wird ersichtlich, dass der dolomitische Kalkstein erwartungsgemäß eine wesentlich geringere Polierresistenz als der Granulit und der Diabas aufweist. Der Reibbeiwert μ des Diabases ist in der Regel etwas höher als der Reibbeiwert des Granulits. In der Fraktion 0,63/1,0 mm jedoch erzielt der Granulit einen höheren Reibbeiwert als der Diabas.

Mit zunehmender Korngröße steigt der PWS_{60} Wert. Dabei ist zu erkennen, dass das Ausmaß der Zunahme des Reibbeiwertes vom Gestein nahezu unabhängig und somit für alle drei Sande beinahe ident ist.

In Abbildung 7-6 sind die PWS_{60} Werte, bereinigt um den Anfangsreibbeiwert bei der Fraktion 0,2/0,4 mm, dargestellt.

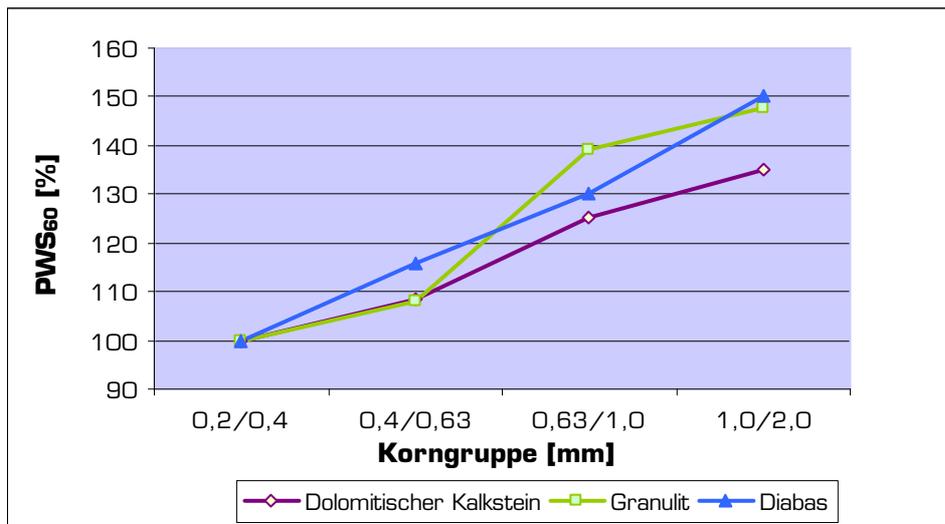


Abbildung 7-6: Ergebnisse der Sandpolierprüfung - Liniendiagramm bereinigt um den Anfangsreibbeiwert der Fraktion 0,2/0,4 mm

Aus Abbildung 7-6 wird deutlich, dass die Zunahme des PWS_{60} Wertes für die beiden Sande Granulit und Diabas nahezu ident ist. Der Granulit fällt dabei lediglich durch eine größere Schwankungsbreite auf. Die Zunahme des PWS_{60} Wertes des dolomitischen Kalksteines erfolgt ein wenig abgeschwächer als dies bei den beiden polierresistenten Gesteinen der Fall ist.

Zur Quantifizierung der Zunahme des Reibbeiwertes μ aus den durchgeführten Versuchen sind in Abbildung 7-7 für die ermittelten Ergebnisse der drei Sande Trendlinien angenähert. Bei den angenäherten Kurven handelt es sich um Potenzfunktionen. Für die Darstellung wurde der ermittelte PWS_{60} Wert auf den Mittelwert der untersuchten Fraktion bezogen. So wurde der ermittelte Wert der Fraktion 0,2/0,4 mm auf der x-Achse der Korngröße 0,3 mm, für die Fraktion 0,4/0,63 mm der Korngröße 0,515 mm, etc. zugeordnet. Die mathematische Beschreibung der Trendlinie ist in der Abbildung farblich den einzelnen Trendlinien zugeordnet. Zusätzlich sind in dieser Abbildung die Bestimmtheitsmaße R^2 der Trendlinien angeführt. Das Bestimmtheitsmaß ist dabei eine Zahl, deren Wert zwischen 0 und 1 betragen kann, und die den Grad der Übereinstimmung zwischen den geschätzten Werten für eine Trendlinie und ihren tatsächlichen Daten anzeigt. Die Verlässlichkeit einer Trendlinie ist am größten, je näher sich der Betrag des Bestimmtheitsmaßes dem Wert 1 nähert. Für den Diabas ergab sich dabei ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9999$. Annähernd genau beschreibt die Trendlinie für den Kalkstein mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9695$ die Mittelwerte. Nur für den Granulit ergibt sich aufgrund der größeren Schwankungsbreite der Versuchsergebnisse über die gesamte Bandbreite 0/2 mm, ein relativ geringes Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9106$.

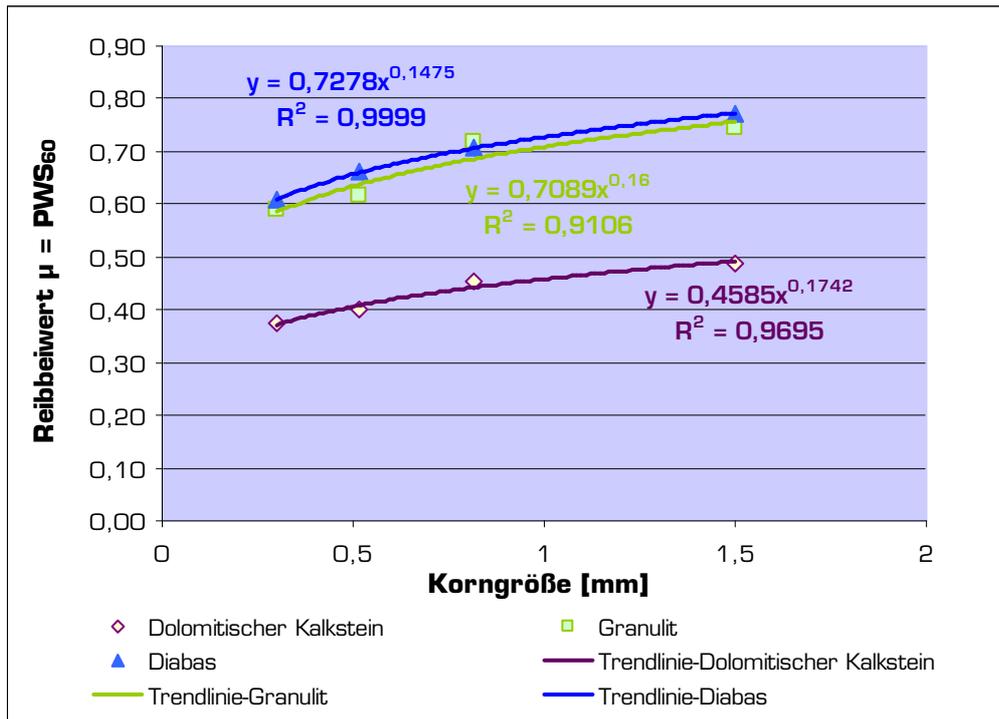


Abbildung 7-7: Ergebnisse der Sandpolierprüfung - Trends und Bestimmtheitsmaß

Die mathematische Beschreibung der Trendlinien erfolgt in der Form

$$PWS_{60} = a \cdot x^n \quad \text{Gleichung 6}$$

Mit: a Konstante [mm^{-1}]

x Korngröße [mm]

n Potenz [-]

PWS_{60} ... Polierwert nach Wehner/Schulze für Sande [-]

Dabei stellt a einen konstanten Faktor dar. Dieser kennzeichnet das Offset der Anfangswerte bei der Fraktion 0,2/0,4 mm. So ergibt sich für den Diabas mit seiner hohen Polierresistenz und einem PWS_{60} Wert von 0,772 in der Fraktion 1,0/2,0 mm eine Konstante a von 0,7278, wohingegen beim dolomitischen Kalkstein, mit seinem geringeren PWS_{60} Wert von 0,487, die Konstante $a = 0,4585$ beträgt.

Die Potenz n gibt Auskunft über die Polierresistenz des untersuchten Gesteins. Je kleiner die Potenz n desto größer ist die Polierresistenz des Gesteins. So weißt die Potenz n beim Diabas einen Wert von 0,1475, beim etwas geringer polierresistenten Granulit 0,16 und beim wesentlich polierfreudigeren dolomitischen Kalkstein 0,1742 auf. Die Potenz n kennzeichnet zusätzlich die Steigung der Potenzlinien.

Aus Abbildung 7-7 geht hervor, dass die Steigung der Trendlinie der beiden polierresistenten Sande Granulit und Diabas nahezu ident ist. Die Zunahme des Reibungsbeiwertes μ des dolomitischen Kalksteines hingegen ist etwas geringer.

Für die berechneten PWS₆₀ Mittelwerte werden in der Folge die Standardabweichung, die absolute, sowie die relative Mittelwertabweichung angegeben. Bei dieser Berechnung wurden offensichtliche Fehlversuche infolge von mangelhafter Probekörperherstellung sowie falscher Prüfmaschineneinstellungen nicht verwendet.

Standardabweichung σ_x

Die Standardabweichung ist ein Maß dafür, wie weit die jeweiligen Ergebnisse um den Mittelwert streuen. Bei dieser Berechnung der Standardabweichung wird davon ausgegangen, dass die ermittelten Ergebnisse eine Stichprobe aus einer Grundgesamtheit darstellen. Somit ist die berechnete Standardabweichung eine erwartungstreue Schätzung der Standardabweichung der Grundgesamtheit. Das Ergebnis ist ein Absolutwert, dient also nicht zum Vergleich unter den verschiedenen Versuchsreihen [Microsoft Office Online Hilfe].

Die Bestimmungsgleichung für die Standardabweichung lautet:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad \text{Gleichung 7}$$

Dabei stellt \bar{x} den Stichprobenmittelwert und n den Stichprobenumfang dar.

Absolute Mittelwertabweichung δ_{x_a}

Gibt die durchschnittliche absolute Abweichung einer Reihe von Merkmalsausprägungen und ihrem Mittelwert zurück. Die absolute Mittelwertabweichung ist ein Maß für die Streuung innerhalb einer Datengruppe. Da das Ergebnis ein Absolutwert ist, können damit keine unterschiedlichen Versuchsreihen untereinander verglichen werden [Microsoft Office Online Hilfe].

Die Bestimmungsgleichung für die absolute Mittelwertabweichung lautet:

$$\delta_{x_a} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x - \bar{x}| \quad \text{Gleichung 8}$$

Dabei stellt \bar{x} den Stichprobenmittelwert und n den Stichprobenumfang dar.

Relative Mittelwertabweichung $\delta_{\bar{x}}$

Gibt die relative Abweichung einer Reihe von Daten x_i und ihrem Mittelwert \bar{x} an. Die relative Mittelwertabweichung dient als ein Maß für die Streuung innerhalb einer Datengruppe und kann für Vergleichszwecke verwendet werden.

Die Bestimmungsgleichung lautet:

$$\delta_{\bar{x}} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad \text{Gleichung 9}$$

Als Bedingung für die Beendigung der Versuchsreihe der Sandpolierprüfung wurde eine maximale relative Mittelwertabweichung von 5 % festgelegt. Wurde dieser Wert aufgrund der ersten drei, durchgeführten Prüfungen je Gestein und Fraktion überschritten, so wurden zusätzliche Probekörper hergestellt.

In den Tabellen 7-2 bis 7-4 sind die statistischen Auswertungen \bar{x} , σ_x , $\delta_{\bar{x}}$ sowie $\delta_{\bar{x}}$ der Sandpolierprüfung nach Gesteinsart getrennt zusammengefasst. Die für die Auswertung verwendeten Gleitreibungs-Geschwindigkeitsdiagramme sind im Anhang A dieser Arbeit nach Gesteinstyp und untersuchter Fraktion angeführt.

7.2.1 Dolomitischer Kalkstein

Der dolomitische Kalkstein weist in allen Fraktionen eine sehr niedrige Polierresistenz auf. Durch diese Prüfung wird bestätigt, dass sich dieses Gestein für den Einsatz in Deckschichten hinsichtlich seiner Polierresistenz eher schlecht eignet.

Tabelle 7-2: Ergebnisse Sandpolierprüfung - Dolomitischer Kalkstein

Gestein	Dolomitischer Kalkstein			
	Korngruppe [mm]	0,2/0,4	0,4/0,63	0,63/1,0
Mittelwert $PWS_{60} \bar{x}$ [-]	0,373	0,400	0,455	0,487
Standardabweichung σ_x [-]	0,011	0,022	0,018	0,019
abs. Mittelwertabweichung $\delta_{\bar{x}}$ [-]	0,007	0,017	0,013	0,014
rel. Mittelwertabweichung $\delta_{\bar{x}}$ [%]	1,961	4,215	2,930	2,786
Anzahl Probekörper n	3	4	4	4

Die Differenz $\Delta\mu$ des PWS_{60} Mittelwertes zwischen der Fraktion 0,2/0,4 mm und der Fraktion 1,0/2,0 mm beträgt für den dolomitischen Kalkstein:

$$\Delta\mu = 0,114$$

Bis auf die Korngruppe 0,4/0,63 mm wurde eine maximale relative Mittelwertabweichung von 3 % unterschritten. Dies bestätigt die hohe Wiederholpräzision der Versuchseinrichtung.

Die absolute Mittelwertabweichung beträgt maximal 0,017 [-]. Das heißt der PWS_{60} Mittelwert kann aus drei Messproben mit einer relativen Mittelwertabweichung von weniger als 5 % auf 2/100 genau angegeben werden.

7.2.2 Granulit

Der Granulit weist in allen Fraktionen eine deutlich höhere Polierresistenz als der dolomitische Kalkstein auf. Der PWS_{60} Wert 0,589, geprüft an der Fraktion 0,2/0,4 mm, ist größer als der in der RVS 08.17.02 geforderte Mindestwert von 0,55 für den Einsatz in Betonfahrbahnen.

Tabelle 7-3: Ergebnisse Sandpolierprüfung - Granulit

Gestein	Granulit			
	Korngruppe [mm]	0,2/0,4	0,4/0,63	0,63/1,0
Mittelwert $PWS_{60} \bar{x}$ [-]	0,589	0,615	0,717	0,745
Standardabweichung σ_x [-]	0,012	0,004	0,017	0,010
abs. Mittelwertabweichung $\delta_{x\sigma}$ [-]	0,008	0,003	0,013	0,007
rel. Mittelwertabweichung $\delta_{\bar{x}}$ [%]	1,403	0,488	1,829	0,907
Anzahl Probekörper n	3	4	3	4

Die Differenz $\Delta\mu$ des PWS_{60} Mittelwertes zwischen der Fraktion 0,2/0,4 mm und der Fraktion 1,0/2,0 mm beträgt für den Granulit der Fa. „Wanko“:

$$\Delta\mu = 0,156$$

In allen Fraktionen wurde die maximale relative Mittelwertabweichung von 5 % deutlich unterschritten. In der Korngruppe 0,4/0,63 mm beträgt die relative Mittelwertabweichung lediglich 0,488 %. Somit ist auch hier eine sehr gute Wiederholbarkeit der Messergebnisse gegeben.

7.2.3 Diabas

Der Diabas weist bis auf die Fraktion 0,63/1,0 mm eine höhere Polierresistenz als der Granulit auf. Der in der Fraktion 0,2/0,4 mm erzielte PWS_{60} Wert von 0,609 genügt auch dem in der RVS 08.17.02 geforderten PWS_{60} Mindestwert von 0,55 für den Einsatz in Betonfahrbahnen.

Tabelle 7-4: Ergebnisse Sandpolierprüfung - Diabas

Gestein	Diabas			
	Korngruppe [mm]	0,2/0,4	0,4/0,63	0,63/1,0
Mittelwert $PWS_{60} \bar{x}$ [-]	0,609	0,660	0,707	0,772
Standardabweichung σ_x [-]	0,013	0,026	0,008	0,008
abs. Mittelwertabweichung $\delta_{x\sigma}$ [-]	0,009	0,019	0,006	0,006
rel. Mittelwertabweichung δ_x [%]	1,557	2,954	0,912	0,777
Anzahl Probekörper n	3	3	4	3

Die Differenz $\Delta\mu$ des PWS_{60} Mittelwertes zwischen der Fraktion 0,2/0,4 mm und der Fraktion 1,0/2,0 mm beträgt für den Diabas:

$$\Delta\mu = 0,163$$

In allen Fraktionen wurde die festgelegte maximale relative Mittelwertabweichung von 5 % deutlich unterschritten. Die größte auftretende absolute Mittelwertabweichung tritt in der Fraktion 0,4/0,63 mm mit einem Wert von 0,019 [-] auf.

7.2.4 Zusammenfassung der Sandpolierprüfung

Aus den gesammelten Ergebnissen geht hervor, dass der Polierwiderstand von Sand, hier als PWS_{60} bezeichnet, von der Korngröße des untersuchten Gesteins abhängig ist. Der PWS_{60} steigt dabei mit zunehmender Korngröße an. Die Zunahme des PWS_{60} kann dabei durch folgende zwei Einflüsse erklärt werden:

- Größe und Härte der Spitzen eines Gesteinskornes, die einer Poliereinwirkung entgegenwirken,
- Drainagewirkung der Prüfoberfläche.

Die Ausbildung der Kantigkeit eines Kornes aus der Fraktion 1,0/2,0 mm ist deutlicher ausgeprägt, als dies bei einem Korn der Fraktion 0,2/0,4 mm der Fall ist. Das heißt, dass die Bruchfläche eines großen Kornes mit den relativ großen vorhandenen Spitzen, durch die Poliereinwirkung langsamer eingeebnet wird, als dies bei kleineren Körnern der Fall ist. Bei diesen Körnern können die kleinen Spitzen wesentlich weniger lang einer Poliereinwirkung standhalten. Die unterschiedliche Differenz $\Delta\mu$ des PWS_{60} zwischen den beiden Korngruppen 0,2/0,4 mm und 1,0/2,0 mm, der drei untersuchten Sande, spiegelt auch hier einen Zusammenhang zwischen der Art des Gesteins und der zu erzielenden Polierresistenz wider. So beträgt bei dem dolomitischen Kalkstein, mit seinem geringen Polierwiderstand, die Differenz $\Delta\mu = 0,114$. Mit zunehmender Polierresistenz des Gesteins steigt auch die Differenz $\Delta\mu$ zwischen der kleinsten und größten untersuchten Korngruppe. So beträgt sie beim Granulit $\Delta\mu = 0,156$ und beim Diabas, der die höchsten PWS_{60} Werte lieferte, sogar $\Delta\mu = 0,163$.

Da die Zunahme des PWS_{60} Wertes bei allen drei untersuchten Sanden annähernd dieselbe ist, kann davon ausgegangen werden, dass ein Einfluss der Drainagewirkung

der Probekörperoberfläche auf den Gleitbeiwert vorhanden ist. So ermöglicht die relativ hohlraumreiche Oberfläche einer Probenplatte der Fraktion 1,0/2,0 mm ein wesentlich rascheres Abführen des Prüfwassers, wodurch der Effekt einer Wasserkeilbildung unter dem Prüfgummi erst gar nicht eintreten kann.

Die in der RVS 11.06.23 geforderte Präzision für die Versuchsdurchführung bei der Polierwertbestimmung von Sanden der Fraktion 0,2/0,4 mm, mit einer maximal zulässigen Spannweite von $a = 0,030$, wurde bei den hier untersuchten Sanden der Fraktion 0,2/0,4 mm immer eingehalten. Lediglich für den dolomitischen Kalkstein und für den Diabas der Korngruppe 0,4/0,63 mm ergaben sich geringfügig größere Spannweiten von $a = 0,034$ bzw. $a = 0,038$.

Die Ermittlung des PWS_{60} gemäß RVS 11.06.23 erfolgt auf Basis einer Doppelbestimmung. Für das gewählte Versuchsprogramm der gegenständlichen Reihenuntersuchung wurde der PWS_{60} aus dem Mittelwert von drei oder mehr durchgeführten Versuchen bestimmt.

Die Herstellung der Sandprobekörper in der Fraktion 1,0/2,0 mm gestaltete sich schwierig, da aufgrund der Korngröße eine dichte Lagerung der Körner nur schwer zu bewerkstelligen ist. Trotz Erhöhung der Klebermenge, weisen die Probepplatten in der Fraktion 1,0/2,0 mm relativ viele Hohlräume auf, die sich nach der Polierbeanspruchung noch vervielfachen. Dies ist vor allem darin begründet, dass der vorhandene Haftverbund zwischen Gesteinskorn und Holzträgerplatte nicht ausreicht, um den, während der Versuchsdurchführung einwirkenden Kräften standzuhalten. Wegen der größeren Kornfläche und den oft stark ausgeprägten Spitzen, werden die einzelnen Körner einer wesentlich höheren Belastung ausgesetzt, als dies bei einer eher ebenen, dichten Fläche der Fraktion 0,2/0,4 mm der Fall ist.

Ein weiterer negativer Aspekt der Prüfung von Probekörperplatten der Fraktion 1,0/2,0 mm ist der sehr hohe Prüfgummiverschleiß. So weisen die Prüfgummis bereits nach zwei Griffigkeitsmessungen stark ausgeprägte Schadstellen auf, die die Ergebnisse von weiteren Messungen mit dem Prüfgummisatz verfälschen. Aus diesen drei Gründen (schwierige Plattenherstellung, großer Einfluss der Drainagewirkung sowie der hohe Prüfgummiverschleiß) ist die Durchführung von Reihenuntersuchungen mit der Fraktion 1,0/2,0 mm nicht zielführend.

Aus versuchstechnischen Gründen (einfache Probenherstellung und geringe Spannweite der Einzelergebnisse) sind für weitere Untersuchungen die Fraktionen 0,2/0,4 mm und 0,63/1,0 mm zu empfehlen. Die Verwendung der Fraktion 0,2/0,4 mm hat den Vorteil bereits Vergleiche mit Ergebnissen der TU Berlin anstellen zu können, da dies die dortige Standardprüffraktion für Sandprüfungen darstellt. Die Fraktion 0,63/1,0 mm wies eine sehr gute Wiederholpräzision auf.

7.3 Mineralanalyse mittels Röntgendiffraktometrie

Wie in Kapitel 7.2 ersichtlich wurde, ist die Zunahme des Reibbeiwertes μ mit größer werdender Korngröße bei allen drei untersuchten Sanden nahezu identisch. In der Regel liegen die erzielten Reibbeiwerte des untersuchten Granulits etwas niedriger als die Reibbeiwerte des untersuchten Diabases. Allerdings übersteigt bei der Sandfraktion 0,63/1,0 mm der ermittelte Reibbeiwert und somit der Polierwiderstand des Granulits jenen des Diabases. Dies führt zu der Vermutung, dass in der Fraktion 0,63/1,0 mm die mineralische Zusammensetzung des Granulits oder auch des Diabases von denen der restlichen Fraktionen abweicht. Zur Verifikation dieser Vermutung dient die Mineralanalyse mittels Röntgendiffraktometrie. Die Beschreibung dieses Verfahrens wurde in Kapitel 6.2.2.2 erläutert.

7.3.1 Diabas

Die generelle Mineralbestimmung des Diabases ergab folgende, vermehrt auftretende Gemengteile:

- Plagioklas
- Chlorit
- Quarz
- Karbonate

Dies deckt sich auch mit der in Kapitel 5.1 angeführten petrographischen Beschreibung des Gesteins. Das der Fraktion 0,2/0,4 mm zugehörige Mineralspektrum, bestimmt mittels Röntgendiffraktometrie, ist in Abbildung 7-8 dargestellt. Darin sind die auftretenden Hauptpeaks entsprechend der Zugehörigkeit zu einem Mineral beschriftet. Zur Bestimmung dient die jeweilige Position auf der x-Achse, die den Auftreffwinkel der Röntgenstrahlen bei der Reflexion an diesem Mineral wiedergibt.

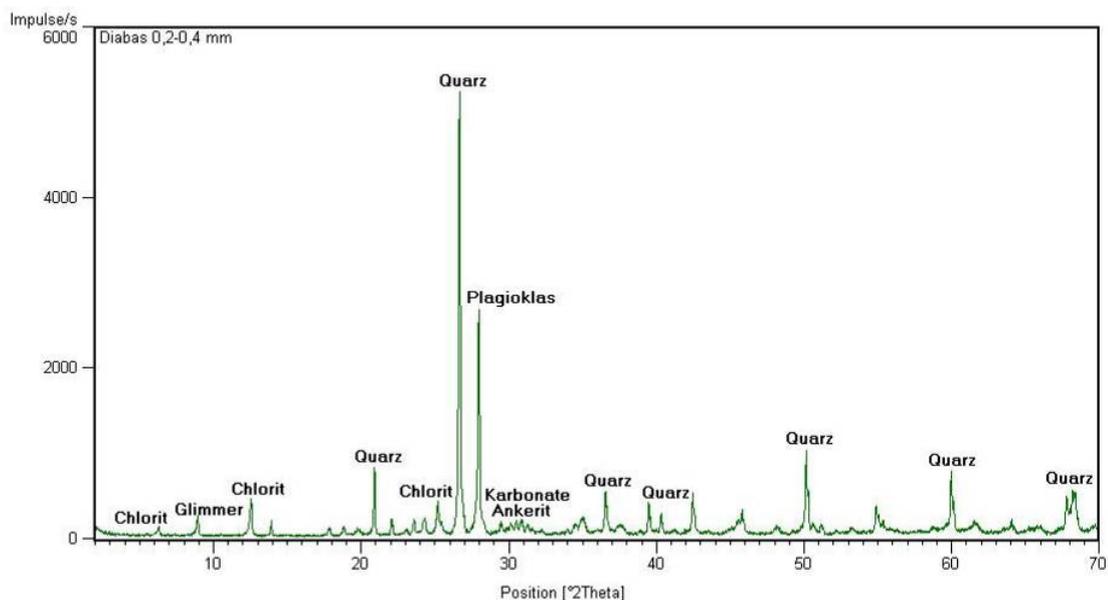


Abbildung 7-8: Röntgenspektrum – Diabas

Auf der y-Achse in Abbildung 7-8, wird die Anzahl der Impulse pro Sekunde bei der Reflexion an einem Mineral aufgetragen. Je höher die Impulsrate, desto größer ist die Quantität des auftretenden Minerals.

In Abbildung 7-9 sind die Einzelergebnisse der vier untersuchten Fraktionen übereinander gelegt dargestellt. Dabei wurden die vier Einzelergebnisse auf der y-Achse um 800 Impulse/s zur besseren Veranschaulichung verschoben.

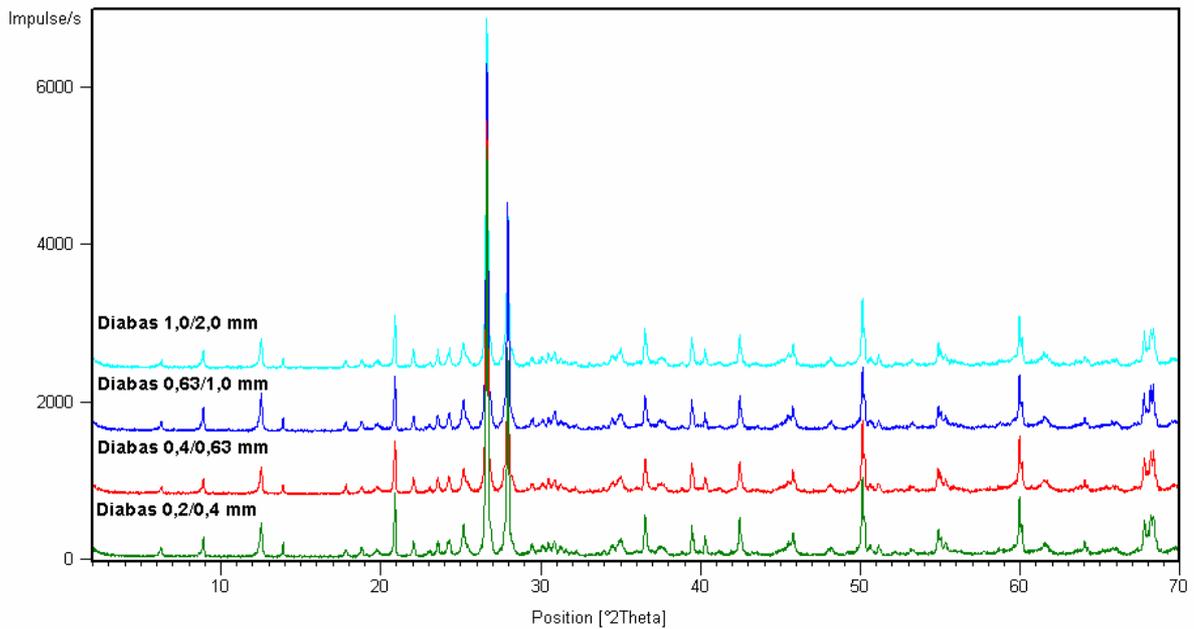


Abbildung 7-9: Diabas - Gegenüberstellung der vier untersuchten Fraktionen

Aus der obigen Abbildung wird ersichtlich, dass die ermittelten Mineralspektren der vier untersuchten Fraktionen nahezu identisch sind. Die auftretenden Abweichungen der Peak-Intensität sind im Bereich der Messungenauigkeit. Für den Diabas kann daraus geschlossen werden, dass die Mineralverteilung in allen vier Fraktionen identisch ist. Das Fehlen eines polierresistenten Minerals in der Fraktion 0,63/1,0 mm kann also als Ursache für die in der Fraktion 0,63/1,0 mm ermittelte, niedrigere Polierresistenz ausgeschlossen werden.

7.3.2 Granulit

Wie für den Diabas wurden auch für die vier, für die Sandpolierprüfung ausgesiebten Fraktionen, das Mineralspektrum bestimmt.

Die generelle Mineralbestimmung ergab folgende, vermehrt auftretende Gemengteile:

- Quarz
- Plagioklas
- Kalifeldspat
- Granat

Dies bestätigt die in Kapitel 5.2.3 angeführte Gesteinsbeschreibung. Vor allem der Quarzanteil ist bei diesem Gestein sehr hoch. Zusätzlich zu den Feldspäten (Plagioklas und Kalifeldspat) ist auch noch das Vorkommen von Granat eindeutig identifizierbar. Das der Fraktion 0,2/0,4 mm zugehörige Mineralspektrum ist in Abbildung 7-10 dargestellt.

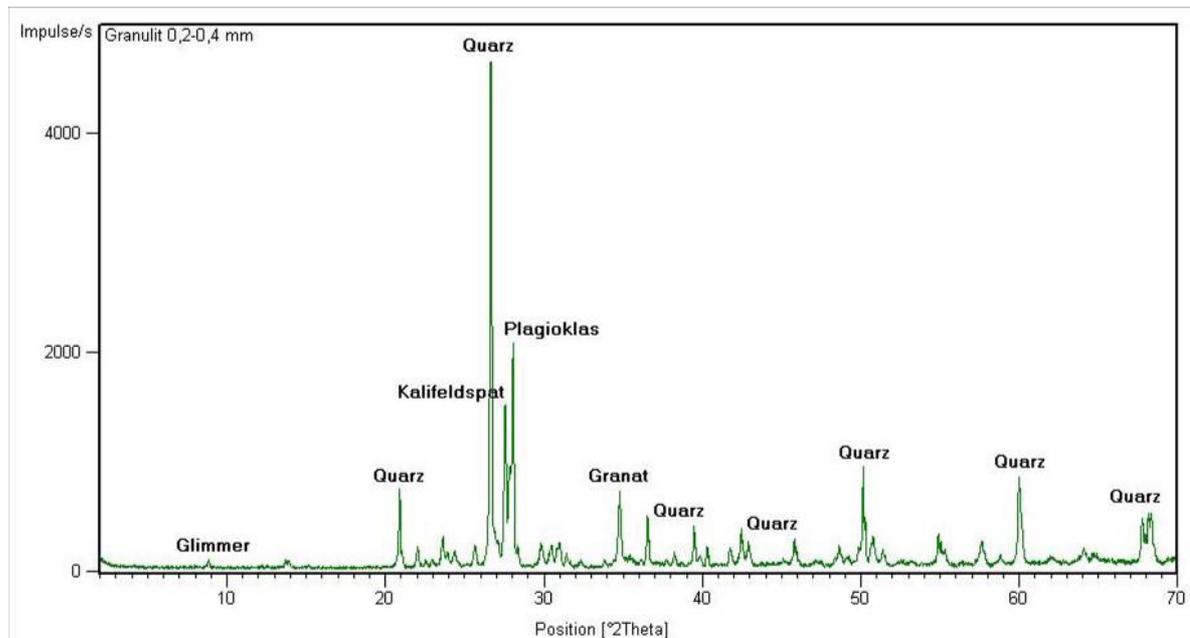


Abbildung 7-10: Röntgenspektrum – Granulit

In Abbildung 7-11 sind die Einzelergebnisse der vier untersuchten Fraktionen übereinander gelegt dargestellt. Dabei wurden die vier Einzelergebnisse auf der y-Achse um 800 Impulse/s zur besseren Verständlichkeit verschoben.

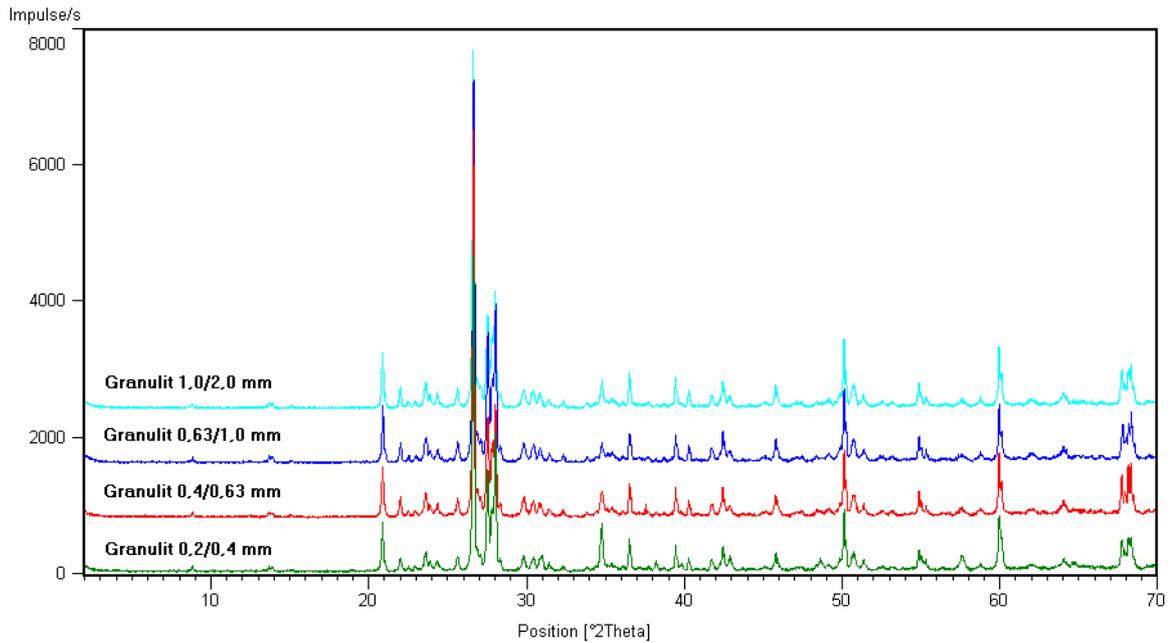


Abbildung 7-11: Granulit - Gegenüberstellung der vier untersuchten Fraktionen

Die Beurteilung der Analyse der vier untersuchten Mineralspektren ergab wie beim Diabas, dass die Ergebnisse nahezu identisch sind. Auch hier sind die geringen Abweichungen in der Größe der Peaks zwischen den einzelnen Fraktionen im Bereich der Messungengenauigkeit. Somit kann ausgeschlossen werden, dass der Granulit in der Fraktion 0,63/1,0 mm eine besonders hohe Konzentration an polierresistenten Mineralen enthält.

7.3.3 Zusammenfassung

Aus der Mineralanalyse geht hervor, dass die untersuchten Gesteine über die ganze Bandbreite der Korngröße 0/2 mm eine homogene Mineralverteilung aufweisen. Die auftretenden geringen Abweichungen zwischen den einzelnen Fraktionen bewegen sich im Bereich der Messungengenauigkeit. Somit ist eine unterschiedliche, mineralische Zusammensetzung zwischen den einzelnen Fraktionen als Grund für die höhere Polierresistenz des Granulits gegenüber dem Diabas bei der Fraktion 0,63/1,0 mm auszuschließen.

7.4 Morphologische Ansprache

Da die Mineralanalyse keinerlei Aufschlüsse für die höhere Polierresistenz des Granulits gegenüber dem Diabases in der Fraktion 0,63/1,0 mm liefern konnte, wurde eine morphologische Ansprache dieser beiden Sande durchgeführt.

Untersucht wurden dabei jeweils 50 Körner der Fraktionen 0,63/1,0 und 1,0/2,0 mm. Eine morphologische Ansprache für Sande < 0,63 mm ist aufgrund der komplizierten Handhabung der Gesteinskörner nicht mehr möglich.

7.4.1 Kornform

Die Kornformanalyse der zwei untersuchten Fraktionen an den zwei Sanden ergab die in Abbildung 7-12 (Granulit – grün und Diabas – blau) dargestellte Zuordnung zu den vier Kornformklassen.

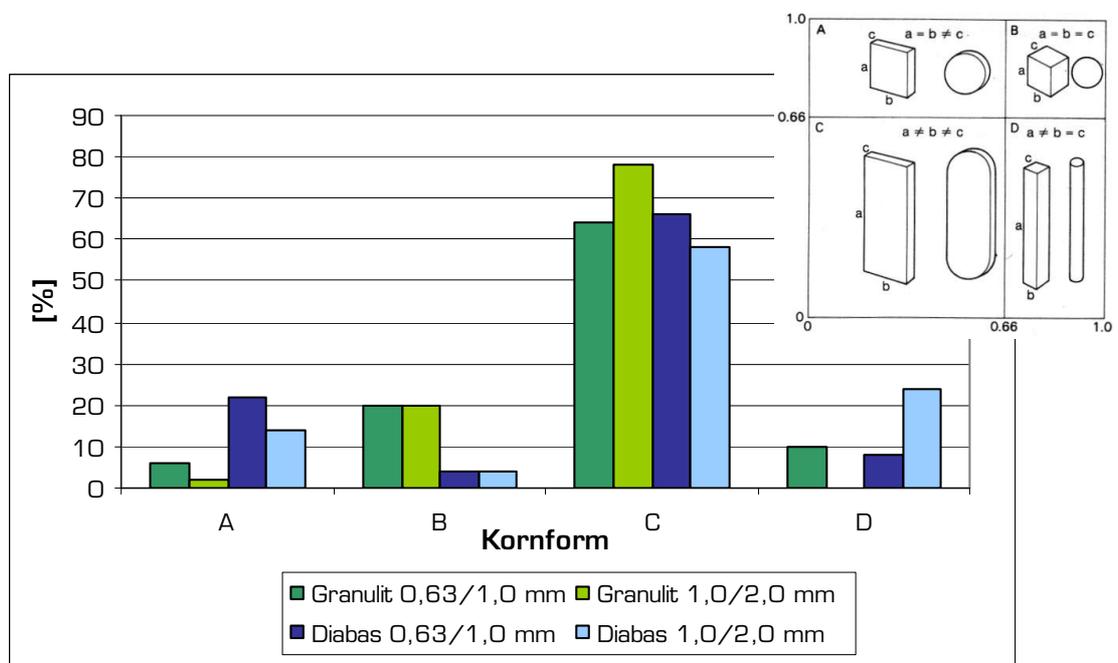


Abbildung 7-12: Ergebnisse der Kornformanalyse

Eine Auflistung der prozentuellen Verteilung der Kornform je Gestein und untersuchter Fraktion ist in Tabelle 7-5 zusammengefasst.

Tabelle 7-5: Kornformanalyse - Auswertung

	Kornform - Verteilung in %			
	A	B	C	D
Granulit 0,63/1,0 mm	6	20	64	10
Granulit 1,0/2,0 mm	2	20	78	0
Diabas 0,63/1,0 mm	22	4	66	8
Diabas 1,0/2,0 mm	14	4	58	24

Die für den Diabas und Granulit durchgeführte Kornformanalyse ergab, dass ein überwiegender Anteil (60 bis 80 %) der untersuchten Körner eine flachstängelige Kornform aufweist.

Beim Diabas weisen in der Fraktion 1,0/2,0 mm 24 % und in der Fraktion 0,63/1,0 mm 8 % eine stängelige Kornform auf. Dies ist bedingt durch die vorhandenen Hauptgemengteile Kaolin und Chlorit des Diabases. Tafeliges oder plattiges Aussehen ist die dritte dominierende Kornform des Diabases. So entfallen auf die Kornformklasse A bei der Fraktion 0,63/1,0 mm 22 % und bei der Fraktion 1,0/2,0 mm 14 %. Die Kornform B spielt beim Diabas nur eine untergeordnete Rolle.

Der Granulit weist aufgrund seines hohen Quarzgehaltes eine eher isometrische Form auf. So entsprechen jeweils 20 % in der Fraktion 0,63/1,0 und in der Fraktion 1,0/2,0 mm der Kornformklasse B. Ein tafeliges beziehungsweise ein stängeliges Aussehen war beim Granulit nur in untergeordnetem Ausmaß festzustellen.

Welche Rolle der Kornform hinsichtlich des Reibbeiwertes zukommt, lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen. Es ist allerdings anzunehmen, dass kubische und stängelige Formen aufgrund der eher kleineren glatten Flächen einen höheren Reibbeiwert zur Folge haben.

7.4.2 Rundungsgrad

In Abbildung 7-13 sind die Ergebnisse der Zuordnung der Körner zu den sechs Rundungsklassen dargestellt.

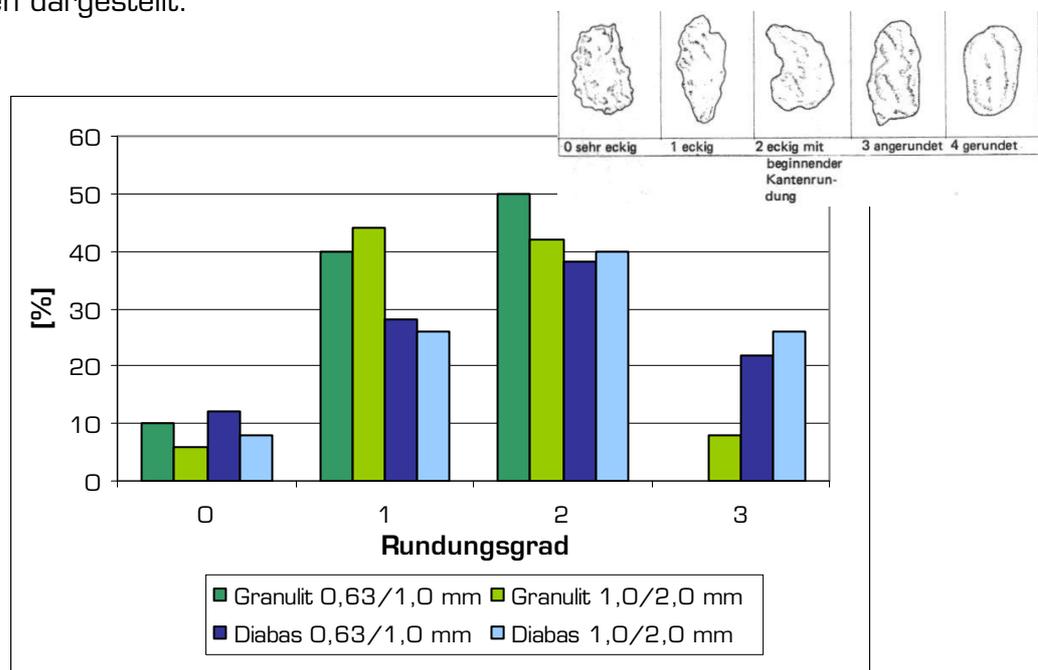


Abbildung 7-13: Ergebnisse der Bewertung des Rundungsgrades

Eine Zusammenfassung der Bewertung der äußeren Form der Körner ist in Tabelle 7-6 aufgelistet. Daraus wird ersichtlich, dass der Granulit eine eher eckigere Gestalt als der Diabas aufweist. Besonders in der Fraktion 0,63/1,0 mm des Granulits kön-

nen alle untersuchten Körner den Rundungsgraden 0 bis 2 zugeordnet werden. Obwohl ein großer Teil der untersuchten Körner des Diabases scharfe Kanten aufweist, so besitzen doch viele, bedingt durch die Schieferung, eher gerundete Oberflächen bzw. stellenweise glatte Oberflächen. Deswegen wurden rund 25 % der untersuchten Diabas Körner dem Rundungsgrad 3 zugeordnet. Der Anteil der sehr eckigen Körner beschränkt sich in beiden Sanden auf ca. 5 bis 10 %. Da es sich bei den untersuchten Gesteinen um Edelbrechsande handelt, waren keine Körner der Rundungsklasse vier bzw. fünf zuzuordnen.

Tabelle 7-6: Rundungsgrad - Auswertung

	Rundungsgrad - Verteilung in %				
	0	1	2	3	4
Granulit 0,63/1,0 mm	10	40	50	0	0
Granulit 1,0/2,0 mm	6	44	42	8	0
Diabas 0,63/1,0 mm	12	28	38	22	0
Diabas 1,0/2,0 mm	8	26	40	26	0

Betrachtet man die Rundungsgrade 0 bis zwei, erkennt man, dass der Granulit in der Fraktion 0,63/1,0 mm im Verhältnis zum Diabas eine höhere Eckigkeit aufweist als dies in der Fraktion 1,0/2,0 mm der Fall ist. In Kombination mit der unterschiedlichen Mineralzusammensetzung der beiden Gesteine kann dies der Grund für die höhere Polierresistenz des Granulits in der Fraktion 0,63/1,0 mm gegenüber dem Diabas derselben Fraktion sein.

7.4.3 Kugeligkeit

Die prozentuale Verteilung der untersuchten Körner bezüglich ihrer Kugeligkeit ist in Abbildung 7-14 dargestellt.

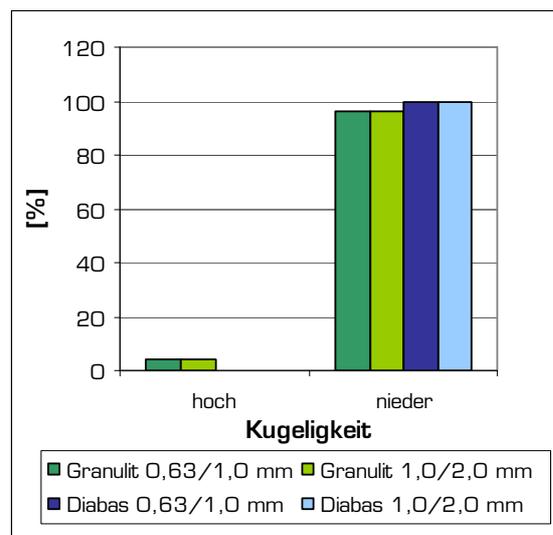


Abbildung 7-14: Ergebnisse der Bewertung der Kugeligkeit

Wie bereits aus der Kornformanalyse mit einer vorwiegend stängeligen, tafeligen Verteilung ersichtlich war, weist ein Großteil der untersuchten Körner beim Granulit und beim Diabas eine sehr geringe Kugeligkeit auf. Lediglich der Granulit, der aufgrund seines hohen Quarzanteils teilweise eine kubische Kornform besitzt, weist bei 4 % der untersuchten 50 Körner eine hohe Kugeligkeit auf. Dies entspricht zwei Körnern pro Fraktion. Die prozentmäßige Verteilung ist in Tabelle 7-7 aufgelistet.

Tabelle 7-7: Kugeligkeit - Auswertung

	Kugeligkeit - Verteilung in %	
	hoch	nieder
Granulit 0,63/1,0 mm	4	96
Granulit 1,0/2,0 mm	4	96
Diabas 0,63/1,0 mm	0	100
Diabas 1,0/2,0 mm	0	100

Körner, die eine geringe Kugeligkeit aufweisen, sind hinsichtlich des Reibbeiwertes den kugeligen Körner zu bevorzugen, da kugelige Körner zumeist eine bereits eingeebnete Mikrotextur aufweisen. Wegen dem kleinen Anteil von kugeligen Körnern beim Granulit, ist von keiner großen Beeinträchtigung des Reibbeiwertes auszugehen.

7.4.4 Beurteilung der Spitzenausbildung

Da bei der Poliersimulation und der anschließenden Griffigkeitsprüfung die Abnutzung der Prüfummis neben der Härte des Gesteins wesentlich von den vorhandenen Spitzen der Gesteinskörner abhängig ist, wurden die 50 Körner je Fraktion zusätzlich hinsichtlich ihrer Spitzen untersucht. Stark ausgeprägte Spitzen bewirken, dass der Prüfummis bei der Ermittlung des Reibbeiwertes regelrecht „zerfetzt“ wird. Eine Bedingung dafür ist, dass das Korn mit dem spitzen Ende zur Prüfkörperoberfläche hin aufgeklebt wird. Vorstehende Spitzen führen einerseits zu einem hohen Prüfummisverschleiß und andererseits zu einem hohen PWS_{60} Wert. Die Abbildung 7-15 zeigt die prozentuale Häufigkeit von Körnern mit einem ausgeprägten Spitz in den untersuchten Korngruppen.

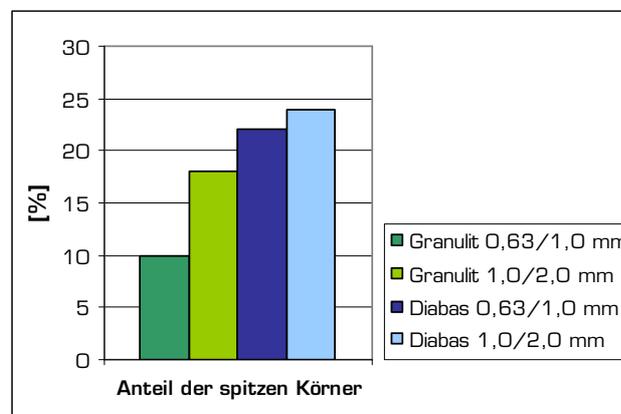


Abbildung 7-15: Häufigkeit von Körnern mit einem ausgeprägten Spitz

Vor allem der Diabas weist bei einem großen Teil der untersuchten Körner (20 bis 25 %) stark ausgeprägte Spitzen auf. Dies ist vor allem auf die vorwiegend stängelige Kornform zurückzuführen. Beim Granulit der Kornklasse 0,63/1,0 mm waren nur in 10 % der Fälle Spitzen nachzuweisen. Eine tabellarische Auswertung ist in Tabelle 7-8 angeführt.

Tabelle 7-8: Spitze Körner - Auswertung

	Anteil spitze Körner [%]
Granulit 0,63/1,0 mm	10
Granulit 1,0/2,0 mm	18
Diabas 0,63/1,0 mm	22
Diabas 1,0/2,0 mm	24

Diese Auswertung widerspricht den Messergebnissen der Polierwertbestimmung. Demnach müsste der Diabas in allen Fraktionen einen wesentlich höheren Reibbeiwert als der Granulit aufweisen. Dies lässt den Schluss zu, dass die, durch die Schieferung des Diabases bedingten, vielen glatten Kornoberflächen den Reibbeiwert wesentlich beeinträchtigen.

7.4.5 Zusammenfassung

Allgemein lässt sich festhalten, dass der Diabas eine viel höhere Schärfe seiner Bruchkanten aufweist, als dies beim Granulit der Fall ist. Aufgrund der Schieferung besitzt der Diabas allerdings auch Körner mit zum Teil sehr glatten Bruchflächen, die sich wiederum negativ auf den erzielbaren Polierwiderstand auswirken

Die Kornform des Diabases und des Granulits ist vorwiegend flachstängeliger Natur. Der Diabas besitzt zusätzlich noch tafelige und stängelige Körner, wohingegen der Granulit als zweite dominante Kornform kubische Körner aufweist.

Generell ist die Eckigkeit der einzelnen Körner beim Granulit höher als beim Diabas. Darauf lässt sich auch der in der Fraktion 0,63/1,0 mm erzielte, höhere PWS₆₀ Wert des Granulits gegenüber dem Diabas zurückführen.

Eine kugelige Ausbildung der Gesteinskörner ist beim Granulit nur in geringem Ausmaß und beim Diabas überhaupt nicht feststellbar. Jedoch weisen beim Diabas erheblich mehr Körner eine stark ausgeprägte Spitze auf, als dies beim Granulit der Fall ist. Diese werden allerdings durch die vielen glatten Bruchflächen der Körner wieder kompensiert.

Aufgrund der gesammelten Ergebnisse wird ersichtlich, dass alle untersuchten Eigenschaften (Kornform, Rundungsgrad, Kugeligkeit sowie Anteil der Spitzen) zusammen bewertet werden müssen, um eine Erklärung für die schwankende Polierresistenz zwischen Granulit und Diabas in der Fraktion 0,63/1,0 mm zu finden.

8. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

8.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Eine ausreichende Griffigkeit der Fahrbahndecken ist ein wesentliches Kriterium für die Verkehrssicherheit. Damit verbunden ist die Forderung des Einsatzes von polierresistenten Gesteinen bei der Herstellung von Deckschichten. Vor allem die Sandfraktionen (0/2 mm) leisten einen wesentlichen Beitrag zur Gewährleistung der Anfangsgriffigkeit bei dichten Fahrbahndecken.

In den derzeit in Österreich gültigen Normen und Richtlinien für die Auswahl von Gesteinskörnern für die Herstellung von Asphaltstraßen werden an die verwendeten Gesteine Anforderungen hinsichtlich ihres PSV (Polished Stone Value) gestellt. Die Bestimmung des PSV erfolgt jedoch ausschließlich an der Kornklasse 8/11. Da die Eigenschaften der Polierresistenz eines Splittkornes in der Fraktion 8/11 mm jedoch nicht mit den Sandfraktionen (≤ 2 mm) identisch sind, werden gesonderte Anforderungen an den Polierwiderstand von Sanden notwendig.

Für Gesteinskörnungen ≤ 4 mm ist für den Einsatz in Betondeckschichten ein $PWS \geq 0,55$, bestimmt nach der RVS 11.06.23, gefordert. Die Bestimmung des PWS Wertes erfolgt allerdings nur an der Sandfraktion 0,2/0,4 mm.

In Europa hat sich für die Polierwertbestimmung von Sanden auf wissenschaftlich - technischer Ebene das Prüfverfahren nach Wehner/Schulze durchgesetzt. Mit diesem Verfahren ist die Bestimmung des Polierwertes nach Wehner/Schulze, sowohl für die Sand- als auch für die Splittfraktionen möglich. Das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung ist seit dem Frühjahr 2006 im Besitz einer Wehner/Schulze-Prüfanlage neuester Bauart.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Prüfanlage nach Wehner/Schulze in Betrieb zu nehmen und im Zuge von Voruntersuchungen eine Arbeitsanweisung für die Polierwertbestimmung von Gesteinen in der Sandfraktion 0/2 mm zu erstellen.

Weiters soll das Vorhandensein einer Korngrößenabhängigkeit des Polierwertes untersucht werden. Zu diesem Zweck wird an Sanden unterschiedlicher Fraktionen eine Polierwertbestimmung mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze durchgeführt. Der ermittelte Polierwert von Sanden wird als PWS_{60} bezeichnet.

Zum Abschluss soll noch eine Empfehlung von geeigneten Korngruppen für die Polierwertbestimmung von Sanden abgegeben werden.

8.2 Versuchsprogramm

In ersten Voruntersuchungen wurden Erfahrungen bei der Bedienung der Prüfanlage nach Wehner/Schulze sowie der Durchführung der Polierwertbestimmung gesammelt. Für das Erstellen der Arbeitsanweisung für die Sandpolierprüfung fand ein Erfahrungsaustausch mit der TU Berlin statt. In dem zugehörigen Labor des Fachbereichs für Straßenwesen wurde insbesondere auf die Herstellung der Sandprobekörper ein-

gegangen. In weiterer Folge wurden vier verschiedene 2-Komponenten Klebstoffe für das Herstellen der Sandprobekörper getestet. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse aus den Vorversuchen wurde für die Herstellung der Sandprobekörper für die Hauptversuchsreihe der Klebstoff MC-DUR 1200 VK der Firma MC-DUR verwendet.

In den Hauptuntersuchungen für die Bestimmung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden wurden drei verschiedene Sande mit bekanntermaßen hoher, mittlerer sowie niedriger Polierresistenz ausgewählt und in die vier Fraktionen 0,2/0,4, 0,4/0,63, 0,63/1,0 und 1,0/2,0 mm mittels Nasssiebung ausgesiebt. Verwendet wurden dazu die Gesteine Diabas (hohe Polierresistenz), Granulit (mittlere Polierresistenz) sowie dolomitischer Kalkstein (niedrige Polierresistenz). Je Fraktion und Gestein wurden in der Hauptphase drei Sandprobekörperplatten hergestellt und eine Polierwertbestimmung mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze durchgeführt. Für Fraktionen mit einem ermittelten PWS_{60} Wert mit einer relativen Mittelwertabweichung von $> 5 \%$ der drei Proben, wurden zusätzliche Probekörper hergestellt, um die Messunsicherheit zu verringern.

Im Zuge von ergänzenden Untersuchungen erfolgten die Bestimmung der Sieblinie der untersuchten Sande sowie eine Analyse der Morphologie der beiden Sande Diabas und Granulit. Für diese wurden zusätzlich eine Mineralanalyse mit einem Röntgendiffraktometer durchgeführt. Die Mineralanalyse diente zur Verifizierung von Unregelmäßigkeiten in der Mineralzusammensetzung der beiden Sande in den vier Fraktionen.

8.3 Versuchsergebnisse

Mit den Ergebnissen der Hauptuntersuchungen konnte eine deutliche Abhängigkeit des Polierwiderstandes von der Korngröße von Sanden nachgewiesen werden. Der Polierwiderstand steigt mit zunehmender Korngröße in Form einer Potenzfunktion an, wobei sich eine asymptotische Annäherung an einen maximalen Polierwert abzeichnet. Es zeigte sich, dass die absolute Zunahme des PWS_{60} Wertes zusätzlich von der Polierresistenz des Gesteins abhängig ist. So ist beim Diabas mit seiner hohen Polierresistenz die Zunahme des Polierwertes $\Delta\mu$ über die Bandbreite 0,2 bis 2 mm höher, als dies beim dolomitischen Kalkstein der Fall ist.

Zusätzlich ist die Zunahme des Polierwertes abhängig von der unterschiedlichen Drainagewirkung der Probenoberfläche. Diese bedingt, mit zunehmendem Hohlraumanteil, ein wesentlich schnelleres Abfließen des Prüfwassers, was zu einer Erhöhung des Polierwertes führt. Weiters konnte ein Einfluss der Kornform und im Speziellen die „Kantigkeit“ einer Gesteinskörnung auf den Polierwert nachgewiesen werden. Eine eckigere Ausbildung der einzelnen Körner hatte beim Granulit in der Fraktion 0,63/1,0 mm einen höheren Polierwert zur Folge als beim Diabas derselben Fraktion, obwohl die Polierresistenz des Diabases generell höher, als die des Granulits ist.

Die Mineralanalyse der beiden Sande Diabas und Granulit bestätigte eine homogene Mineralzusammensetzung über die ganze Korngruppe 0/2 mm.

In zwölf der elf durchgeführten Messreihen wurde mit der Polierwertbestimmung nach Wehner/Schulze eine maximale Mittelwertabweichung von $\leq 3,0 \%$ erreicht, was die sehr gute Wiederholbarkeit der Prüfergebnisse bestätigt.

Für die Herstellung der Sandprobekörper der Fraktion 1,0/2,0 mm musste die Klebermenge erhöht werden, um ein Anhaften der Körner an die Holzträgerplatte zu gewährleisten. Es stellte sich jedoch heraus, dass nicht nur die Herstellung der Probekörper mit der Fraktion 1,0/2,0 mm sehr schwierig ist, sondern auch der Prüfgummiverschleiß bei der Griffigkeitsmessung sehr hoch ist. Dies bedingt bereits nach zwei durchgeführten Messungen, dass der komplette Prüfgummisatz zerstört wird und somit alle weiteren Messungen verfälschte Ergebnisse liefern.

Aufgrund der Erfahrungen aus dieser Reihenuntersuchung sind für weiterführende Untersuchungen aus versuchstechnischer Sicht die beiden Fraktion 0,2/0,4 mm sowie 0,63/1,0 mm zu empfehlen. Für beide Fraktionen ist eine homogene, einfache Herstellung der Probekörper gewährleistet und die Versuchsergebnisse lieferten in beiden Fraktionen eine sehr hohe Wiederholpräzision. Zusätzlich ist der Verschleiß der Prüfgummis gering.

8.4 Ausblick

Aufgrund der Abhängigkeit des Polierwertes von Sanden (PWS_{60}) von der Korngröße, stellt sich die Frage, welche Korngruppe repräsentativ die Polierresistenz der Sandfraktionen beschreibt.

Bisher ist bekannt, dass vor allem der Karbonatgehalt der Gesteine wesentlich für die Polierresistenz verantwortlich ist. Zur Bestimmung einer repräsentativen Fraktion ist es sinnvoll, die Verteilung des Karbonatgehalts über die Sandfraktion 0/2 mm zu betrachten. Sollte sich eine spezifische Fraktion mit höherem Karbonatanteil herauskristallisieren, so sollte diese im Zuge einer Reihenuntersuchung genauer geprüft werden.

Einen weiteren wichtigen Punkt für die Festlegung einer repräsentativen Kornfraktion für die Polierwertbestimmung des Sandes stellt die vorhandene Sieblinie des Gesteins über die Bandbreite 0/2 mm dar. So erscheint es wenig sinnvoll eine Korngruppe als standardmäßige Prüffraktion festzulegen, die in der gesamten Sieblinie des Sandes lediglich mit einem geringen Anteil vertreten ist. Hierfür bietet sich ein Vergleich der Sieblinien, der im Straßenbau am häufigsten verwendeten Sande, an. Dabei sollte auch zwischen Natur- und Brechsande unterschieden werden, da diese in jedem Fall eine unterschiedliche Sieblinie aufweisen. Es wäre außerdem denkbar, die ermittelten PWS_{60} Werte einer Fraktion, in Abhängigkeit des Anteils dieser Fraktion an der gesamten Sieblinie des Sandes, zu gewichten.

DANKSAGUNG

Ich möchte mich an dieser Stelle herzlich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab und Herrn Projektass. Dipl.-Ing. Markus Spiegl, für die ausgezeichnete Betreuung meiner Diplomarbeit, bedanken.

Dank gebührt insbesondere dem ganzen Team des Labors des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, das mir jederzeit mit Rat zur Seite gestanden ist und mir das Abwickeln der Diplomarbeit in einem sehr guten Arbeitsklima ermöglicht hat.

Mein Dank gilt allen beteiligten Personen, die mich bei der Durchführung der diversen Versuche tatkräftig und kostenlos unterstützt haben. Nennen möchte ich in diesem Zusammenhang:

- Herrn ao.Univ.Prof. Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Franz Ottner, Leiter des Institutes für angewandte Geologie an der Universität für Bodenkultur Wien,
- Frau ARätin Heidemarie Knoblich, Mitarbeiterin des Institutes für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie an der Technischen Universität Wien.

Danken möchte ich weiters folgenden Firmen:

- Diabaswerk Saalfelden Ges.m.b.H.,
- Hartgesteinschotterwerk M. Wankos´ Sohn H. Wanko GmbH & Co.KG,
- Hollitzer Baustoffwerke,
- MC-Bauchemie,
- KLEBCHEMIE M.G. Becker GmbH + Co. KG

LITERATURVERZEICHNIS

- Anthes, G.: Geologisch-petrographische Beschreibung – Diabas-Tagebau Oberbiberg-Hinterburg der Diabaswerk Saalfelden Ges.m.b.H. Gesteinskundliche Beschreibung Hinterburgbruch, GEOsolutions, Strobl, 2004.
- Bachmann Th.: Wechselwirkung im Reibungsprozess zwischen Reifen und Fahrbahn. VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Reifen, Fahrwerk, Fahrbahn, Hannover, 1999.
- BSI: BS 812-113: Testing aggregates. Method for determination of aggregate abrasion value (AAV). London, 1990.
- 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., S. Huschek und J. Lindner: Ermittlung der Endpolierwerte von im Straßenbau verwendeten Gesteinen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 574, Bonn, 1989.
- Dames J. und J. Lindner: Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Mineralstoffe auf das Gebrauchsverhalten von Asphaltdeckschichten hinsichtlich Griffigkeit, Querebenheit und Reifengeräuschen. Schlussbericht zu FE-Nr. 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, 2000.
- FGSV: TP Min-StB Teil 5.5.2: Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze. Köln, 1999.
- Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Fahrbahndecken aus Beton. Köln, 2000.
- TP Griff-StB (SCRIM): Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SCRIM. Köln, 2001.
- Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe. Köln, 2003.
- FSV: RVS 11.062,
Prüfverfahren – Steinmaterial, Wien, 1986.
- RVS 11.06.23,
Bestimmung des Polierwertes von Sand. Wien, 01.10.2005.
- RVS 08.16.01,
Anforderungen an Asphaltsschichten – Bituminöse Trag- und Deckschichten. Wien, 01.01.2007.
- RVS 08.97.05,
Anforderungen an Asphaltsschichten – Baustoffe. Wien, 01.01.2007.
- RVS 08.17.02,
Betondecken – Deckenherstellung. Wien, 01.03.2007.

- Fuchs, M.: Griffigkeitsmessung in Österreich. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung, Heft 13, Wien, S. 56-57, 2002.
- Geyer W.: Der Einfluss geometrischer Reibflächen-Rauhigkeitsformen auf das trockene und nasse Reibverhalten von Gummi. Automobil-Industrie, Heft 2 und Heft 4, Würzburg, 1972.
- Huscek, S.: Anforderungen an die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen –Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe. Straße und Autobahn, Heft 720, 1996a.
- Huscek, S, J. Dames, M. Rittershofer: Griffigkeitsschwankungen von Fahrbahndecken. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BMV, Heft 720, 1996b.
- Huscek, S.: Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung, Heft 13, Wien, 2002.
- Huscek, S.: Prüfung mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze. Prüfanweisung des Fachgebiets Straßenwesen der TU-Berlin, Berlin, 2004.
- Kummer H.W. und W.E. Meyder: Verbessertes Kräftegleichgewicht zwischen Reifen und Fahrbahn – Ergebnis einer neuen Reibungstheorie. ATZ 69/8, Stuttgart, 1967.
- Litzka J., A. Pfeiler und M. Zieger: Einfluss des Sandes auf das Griffigkeitsverhalten bituminöser Decken. BMVIT, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 534, Wien, 2003.
- Mayer G., S. van der Sluis und B. Steinhauer: Griffigkeit von Straßenoberflächen, Teil 2: Signifikante Griffigkeitswerte aus der Verkehrssicherheitssicht. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 841, Bonn, 2002.
- Müller W., Asphalt im Straßenbau. Asphalt Handbuch, GESTRATA, Wien, 1996.
- ÖNI Österreichische Normungsinstitut, Wien.
 ÖNORM EN 1097-8 (2000): Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 8: Bestimmung des Polierwertes.
 ÖNORM EN 932-2 (1999): Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Verfahren zum Einengen von Laboratoriumsproben.
 ÖNORM EN 933-1 (2006): Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung - Siebverfahren.
- Pettijohn F.J., P.E. Potter und R. Siecer: Sand and sandstone. Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 1973.
- Pfeiler, A.: Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstraßen. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung, Heft 16, Wien, 2004.
- Reimpell J.: Fahrwerktechnik 1. 2. Auflage, Vogel Verlag, Würzburg, 1971.

- Sandberg U., J.A. Ejsmont: Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, Kisa, 2002.
- Schulze K.H., G. Hoffmann, J. Dames, F.O. Schuster, P. Sulten und A. Maas: Einfluss der Oberflächenausführung von Betondecken auf die Griffigkeit, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 356, Bonn, 1982.
- Stadlober K.: Geologisch-petrographische Beschreibung des Steinbruches „Wanko“. Technisches Büro für Montangeologie/Angewandte Geowissenschaften, Leoben, 2006.
- Strasser W.: Gesteinskundliche Beschreibung des Steinbruches „Hollitzer“ am Pfaffenberg in Deutsch-Altenburg gemäß ÖNORM B 3120 – Natürliche Gesteine. Untersuchungsbericht für die Hollitzer Baustoffwerke, TPA – Technisches Büro für Erdwissenschaften, Wien, 2004.
- Tucker M.E.: Einführung in die Sedimentpetrologie. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1985.
- Wilson M.J.: A Handbook of determinative methods in clay mineralogy. Blackie, New York, 1987.
- Zieger M.: Polierversuch, Teil 3. BMVIT, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 385, Wien, 1990.
- Zipkes E.: Das Phänomen ansteigender Griffigkeits-Koeffizienten bei hohen Geschwindigkeiten. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Kippenheim, 1989.

Sonstige Quellen:

BEV, AMap Fly, Ausgabe 2005

Maschinen- und Gerätebau Josef Freundl,
Werner-von-Siemens-Str.1, D-30974 Wennigsen,
www.freundl.com

Microsoft Office Online Hilfe, 2007

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1: Einflussparameter auf die Reibung zwischen Reifen und Straßenoberfläche [PFEILER, 2004]	7
Abbildung 3-2: Wellenlängenbereiche und Amplituden einer Straße dargestellt als sich überlagerndes Spektrum [SANDBERG et. al., 2002]	8
Abbildung 3-3: Wellenlängenspektrum der Straßenoberfläche und Auswirkungen auf die Gebrauchseigenschaften [FGSV, 2000]	9
Abbildung 3-4: Auswirkungen der Oberflächenstruktur auf die Höhe des Reibungsbeiwertes μ , [ZIPKES, 1989]	10
Abbildung 3-5: Geometrische und kinematische Größen am rollenden Rad, nach [MAYER et al., 2002]	11
Abbildung 3-6: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Schlupf, [REIMPELL, 1971]	12
Abbildung 3-7: Kalksteinsandkörner der Fraktion 0,63/1,0 mm vor (links) und nach (rechts) einer Polierbeanspruchung	13
Abbildung 3-8: Prüfkörper für die Bestimmung des PSV-Wertes [PFEILER, 2004]	14
Abbildung 3-9: Poliersimulator des ISTU [PFEILER, 2004] bzw. [FSV, 1986]	15
Abbildung 3-10: Pendelgerät nach BS 812-113:1990 [FSV, 1986]	15
Abbildung 3-11: Auszug der Tabelle 11 „Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Deckschichten – Lieferkörnungen“ [FSV, RVS 08.97.05:2007]	17
Abbildung 3-12: Auszug aus der Tabelle 4.1 „Anforderungen an Gesteinskörnungen für Beton: Oberbeton“ [FSV, RVS 08.17.02, 2007]	19
Abbildung 3-13: Oberflächennahe Zonen einer Betonfahrbahndecke [SCHULZE et al., 1982]	20
Abbildung 4-1: Prüfanlage nach Wehner/Schulze des ISTU [Foto: Kirchmaier]	23
Abbildung 4-2: Bestandteile der W/S-Prüfanlage am ISTU [Foto: Kirchmaier]	24
Abbildung 4-3: Polierkopf mit den drei Polierrollen [Foto: Kirchmaier]	24
Abbildung 4-4: Simulation der Verkehrsbeanspruchung [HUSCHEK, 2002]	25
Abbildung 4-5: Prüfkopf mit den drei Gleitschuhen [Foto: Kirchmaier]	26
Abbildung 4-6: Prinzip der Griffigkeitsmessung [HUSCHEK, 2002]	26
Abbildung 4-7: Abgenützter und neuer Prüfgummi [Foto: Kirchmaier]	27
Abbildung 4-8: Prüfgummi mit ausgebildetem Abriebskeil [Foto: Kirchmaier]	27
Abbildung 4-9: Sandstrahlkabine am Labor des ISTU [Foto: Kirchmaier]	28
Abbildung 4-10: Schadensbild einer unversiegelten Holzplatte nach der Griffigkeitsmessung [Foto: Kirchmaier]	32
Abbildung 4-11: Vergleich einer zerstörten (a) und einer intakten Prüfkörperoberfläche (b) [Fotos: Kirchmaier]	34
Abbildung 4-12: Probeneinspannvorrichtung mit aufgeschraubter Kontrollplatte [Foto: Kirchmaier]	36
Abbildung 4-13: Ungeglättetes Reibbeiwert-Geschwindigkeits Diagramm	37

Abbildung 4-14: Geglättetes Reibbeiwert-Geschwindigkeits Diagramm	38
Abbildung 5-1: Geographische Lage – Diabassteinbruch Saalfelden, [BEV, AMap Fly, 2005].....	40
Abbildung 5-2: Geographische Lage – Hartgestein Schotterwerk Meidling im Tale, [BEV, AMap Fly, 2005]	42
Abbildung 5-3: Geographische Lage – Hollitzer Baustoffwerke, [BEV, AMap Fly, 2005].....	44
Abbildung 6-1: Versuchsprogramm Phase 1	48
Abbildung 6-2: Versuchsprogramm Phase 2	50
Abbildung 6-3: Siebturm [Foto: Kirchmaier].....	51
Abbildung 6-4: Optische Versuchseinrichtung für einen Phillips Diffraktometer [WILSON, 1987].....	52
Abbildung 6-5: Röntgendiffraktion auf Kristallgitterebenen [WILSON, 1987]	53
Abbildung 6-6: Phillips Röntgendiffraktometer PW 1710 des Institutes für angewandte Geologie an der BOKU Wien [Foto: Kirchmaier].....	54
Abbildung 6-7: Scheibenschwingmühle (a) und Mörser mit Stößel (b) [Foto: Kirchmaier]	55
Abbildung 6-8: Typisches Mineralspektrum für Granulit	55
Abbildung 6-9: Kornform in Abhängigkeit der Achsen-Verhältnisse [TUCKER, 1985]	56
Abbildung 6-10: Rundungsgrade von Gesteinskörnern [PETTIJOHN et al., 1973]	57
Abbildung 6-11: Gegenüberstellung von Sandkörnern der drei untersuchten Gesteine der Fraktion 1,0/2,0 mm (15-fache Vergrößerung).....	57
Abbildung 6-12: Gegenüberstellung von 0,7 cm ² großen Ausschnitten der vier untersuchten Fraktionen unter dem Stereomikroskop (12-fache Vergrößerung)	58
Abbildung 6-13: Ausschnitt eines Granulitprobekörpers der Fraktion 0,2/0,4 mm (12-fache Vergrößerung).....	59
Abbildung 7-1: Hohlraumarmes Korngerüst - Modellvorstellung [MÜLLER, 1996].....	60
Abbildung 7-2: Sieblinie - Dolomitischer Kalkstein 0/2 mm	61
Abbildung 7-3: Sieblinie - Granulit 0/2 mm	62
Abbildung 7-4: Sieblinie - Diabas 0/2 mm	63
Abbildung 7-5: Ergebnisse der Sandpolierprüfung - Balkendiagramm	66
Abbildung 7-6: Ergebnisse der Sandpolierprüfung - Liniendiagramm bereinigt um den Anfangsreibbeiwert der Fraktion 0,2/0,4 mm	67
Abbildung 7-7: Ergebnisse der Sandpolierprüfung - Trends und Bestimmtheitsmaß	68
Abbildung 7-8: Röntgenspektrum – Diabas.....	74
Abbildung 7-9: Diabas - Gegenüberstellung der vier untersuchten Fraktionen	75
Abbildung 7-10: Röntgenspektrum – Granulit	76
Abbildung 7-11: Granulit - Gegenüberstellung der vier untersuchten Fraktionen.....	77
Abbildung 7-12: Ergebnisse der Kornformanalyse	78
Abbildung 7-13: Ergebnisse der Bewertung des Rundungsgrades.....	79
Abbildung 7-14: Ergebnisse der Bewertung der Kugeligkeit	80

Abbildung 7-15: Häufigkeit von Körnern mit einem ausgeprägten Spitz 81

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-1: PWS Messdatentabelle	39
Tabelle 7-1: Anteile der Korngruppen aus der Sieblinienbestimmung am Gesamtmischgut eines AC 11	64
Tabelle 7-2: Ergebnisse Sandpolierprüfung - Dolomitischer Kalkstein	70
Tabelle 7-3: Ergebnisse Sandpolierprüfung - Granulit	71
Tabelle 7-4: Ergebnisse Sandpolierprüfung - Diabas.....	72
Tabelle 7-5: Kornformanalyse - Auswertung	78
Tabelle 7-6: Rundungsgrad - Auswertung	80
Tabelle 7-7: Kugeligkeit - Auswertung.....	81
Tabelle 7-8: Spitze Körner - Auswertung.....	82

**ANHANG A: GLEITREIBUNGS-/GESCHWINDIGKEITS-
DIAGRAMME DER UNTERSUCHTEN SANDE**

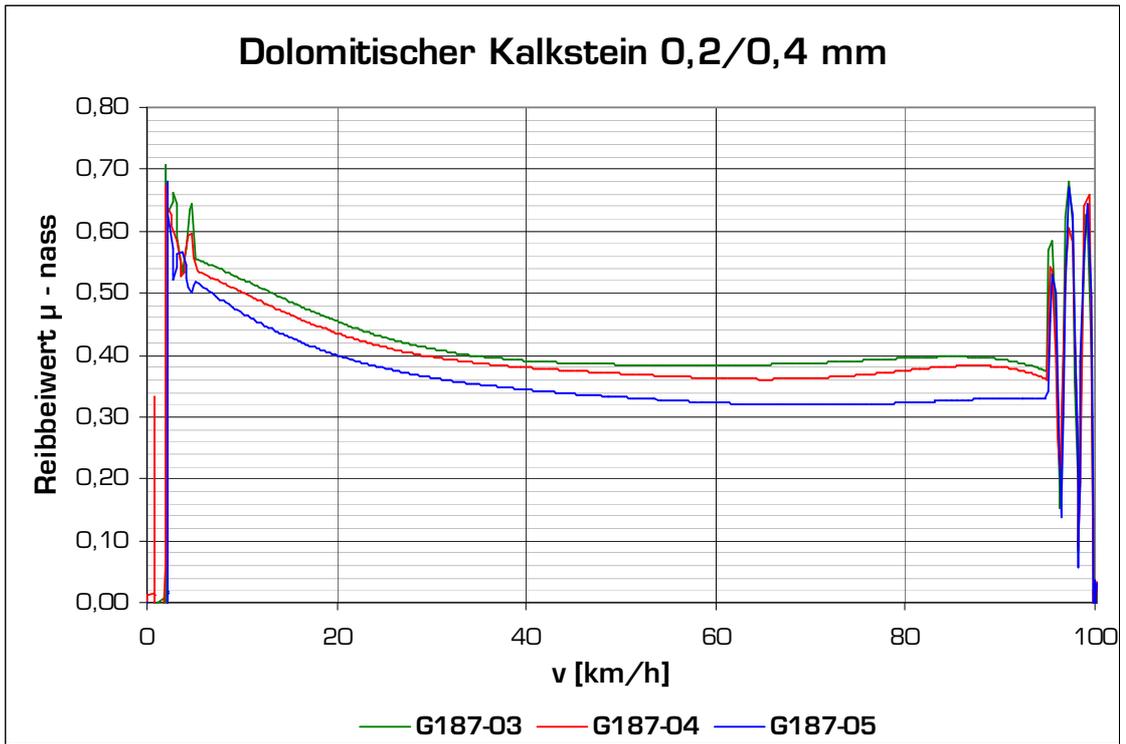


Abbildung A- 1: μ -v Diagramm - Dolomitischer Kalkstein 0,2/0,4 mm

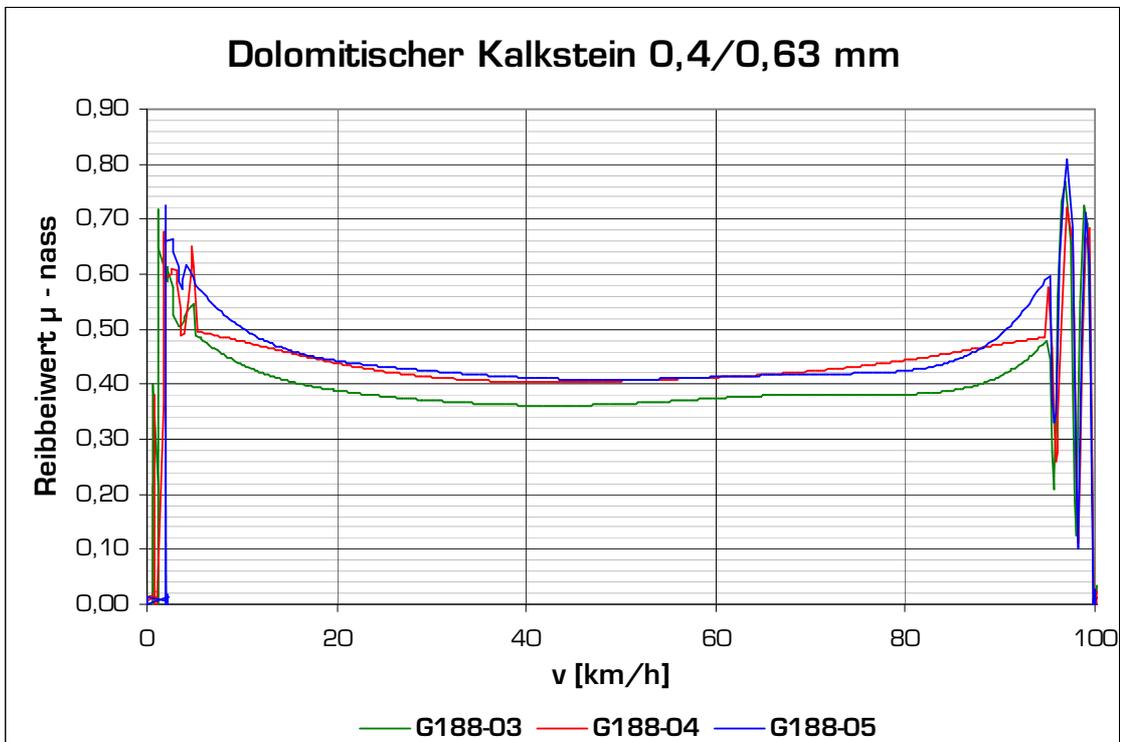


Abbildung A- 2: μ -v Diagramm - Dolomitischer Kalkstein 0,4/0,63 mm

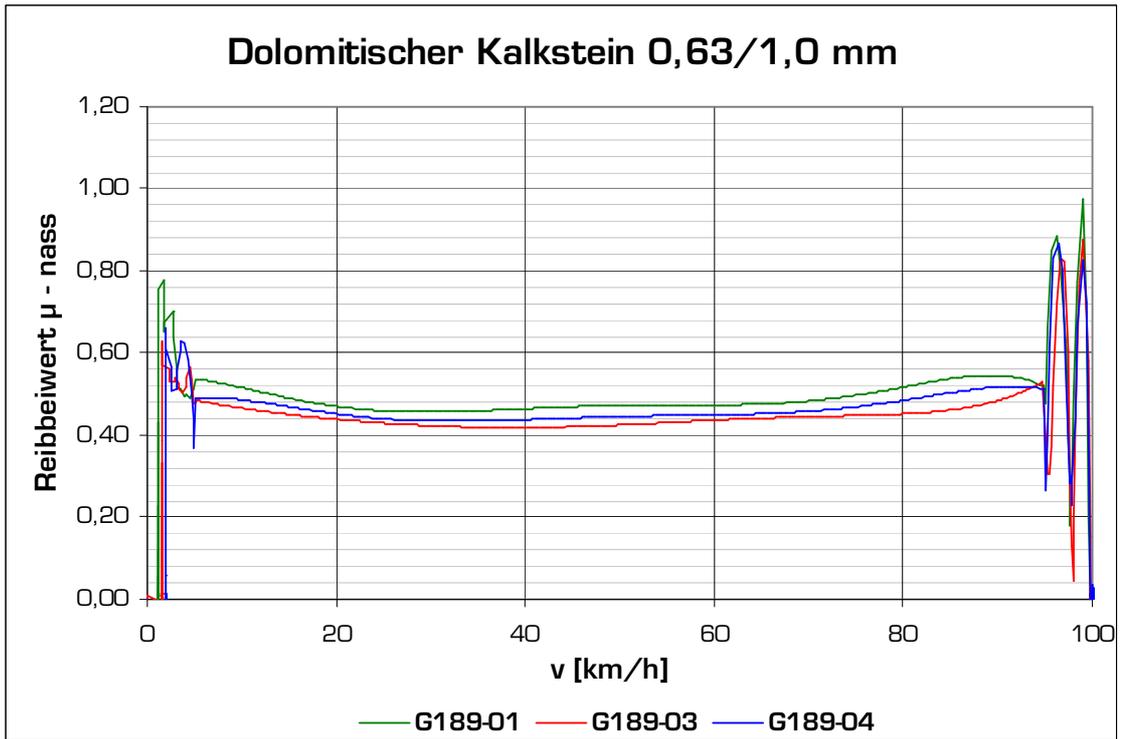


Abbildung A- 3: μ -v Diagramm - Dolomitischer Kalkstein 0,63/1,0 mm

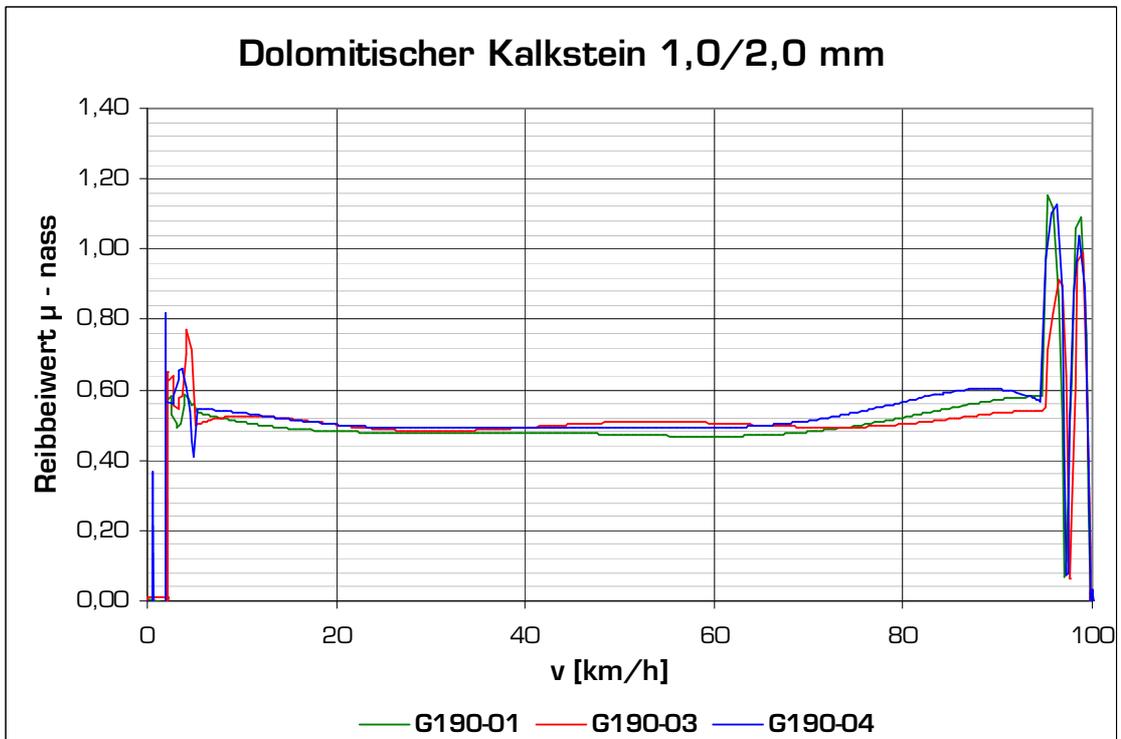


Abbildung A- 4: μ -v Diagramm - Dolomitischer Kalkstein 1,0/2,0 mm

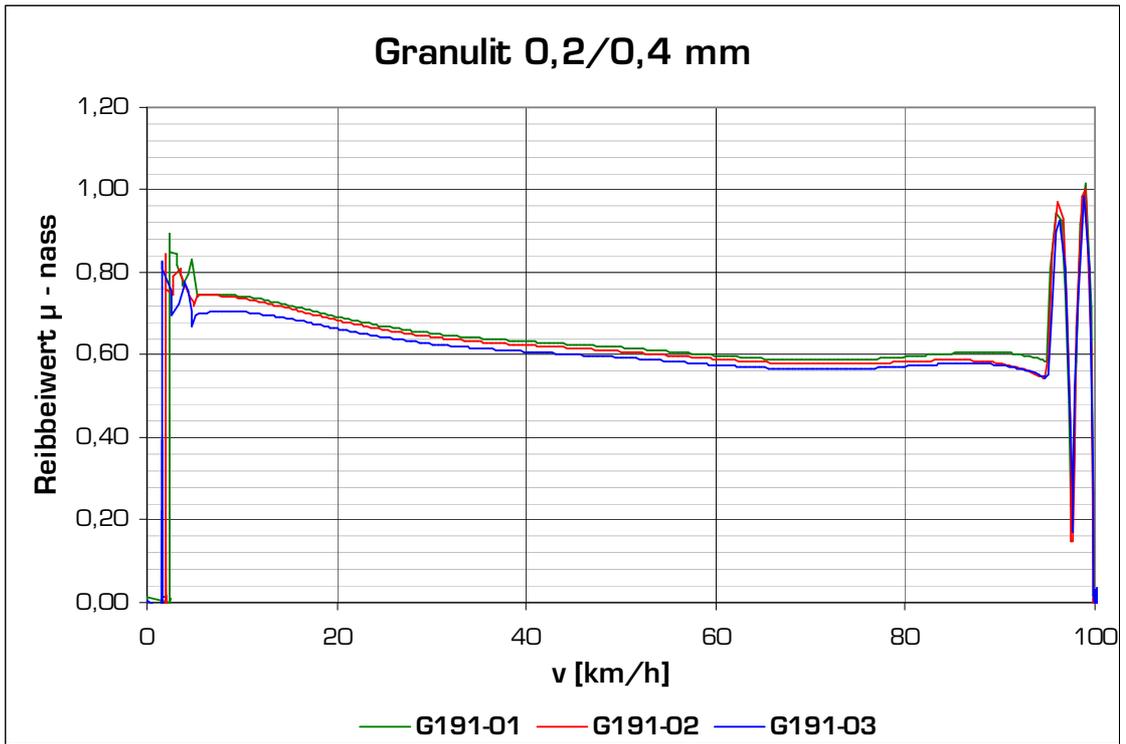


Abbildung A- 5: μ - v Diagramm - Granulit 0,2/0,4 mm

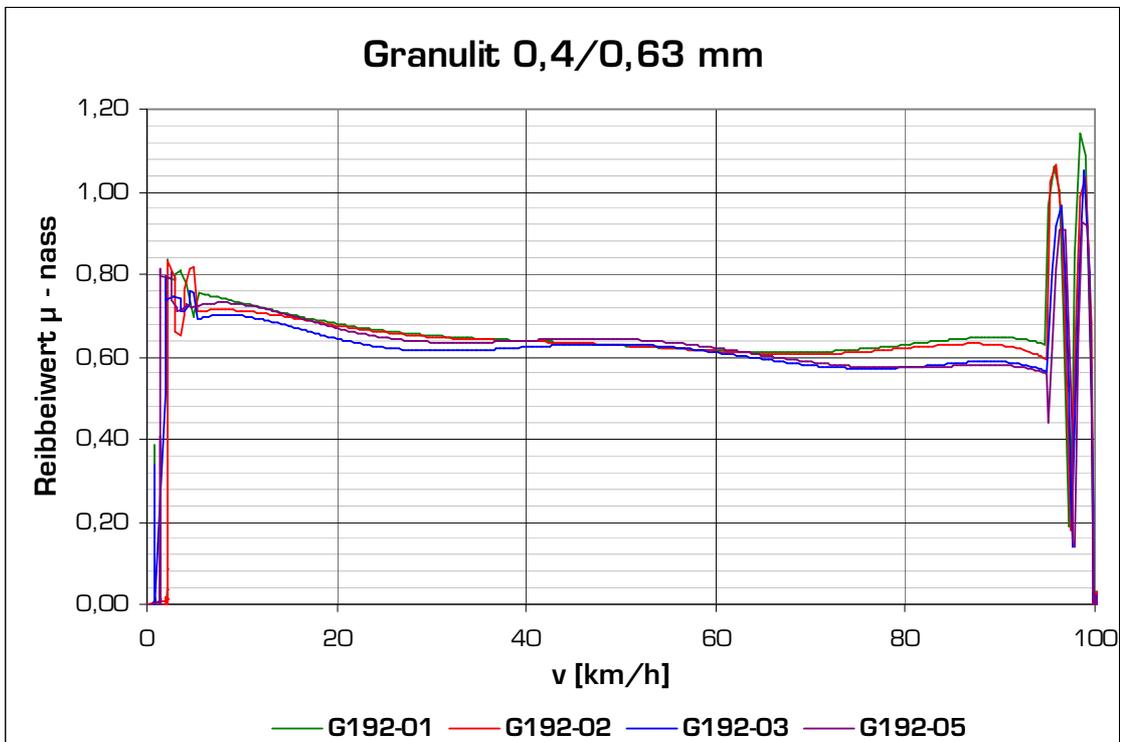


Abbildung A- 6: μ - v Diagramm - Granulit 0,4/0,63 mm

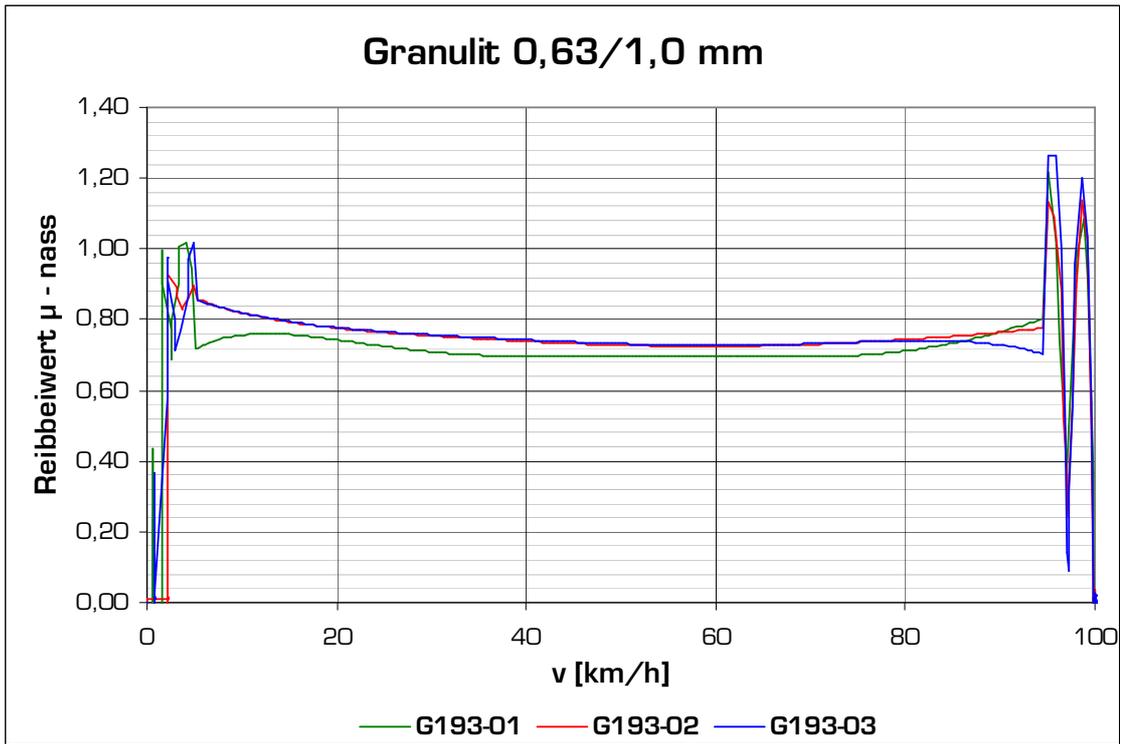


Abbildung A- 7: μ -v Diagramm - Granulit 0,63/1,0 mm

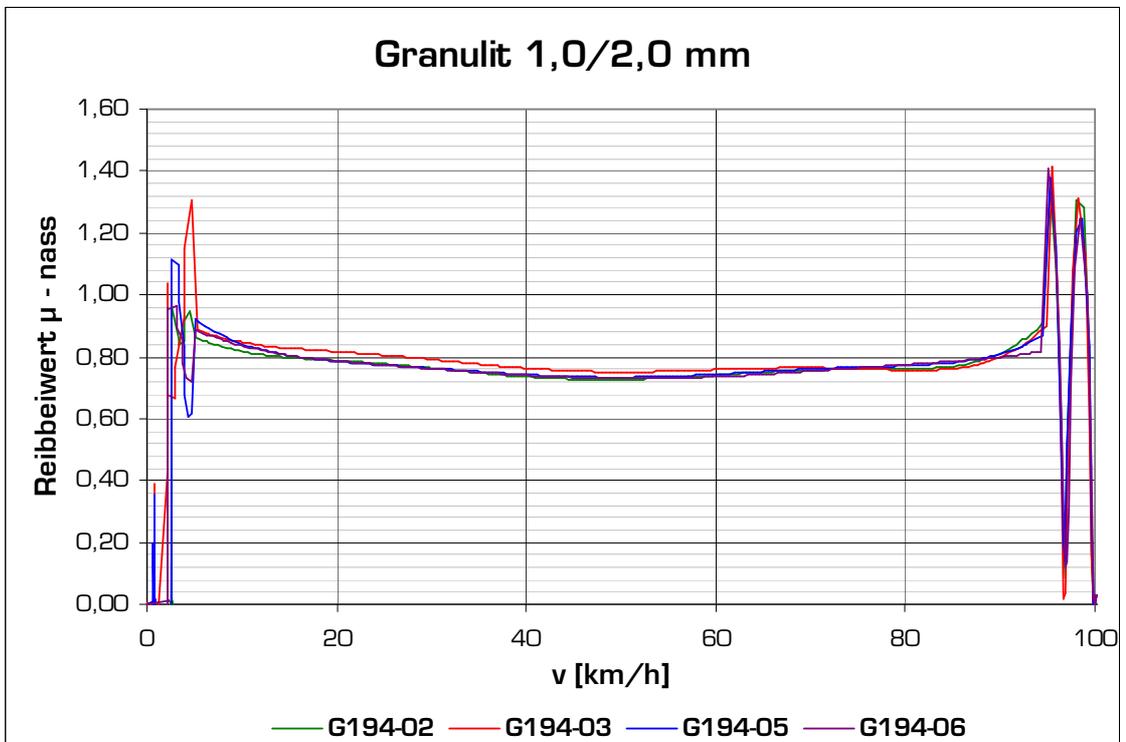


Abbildung A- 8: μ -v Diagramm - Granulit 1,0/2,0 mm

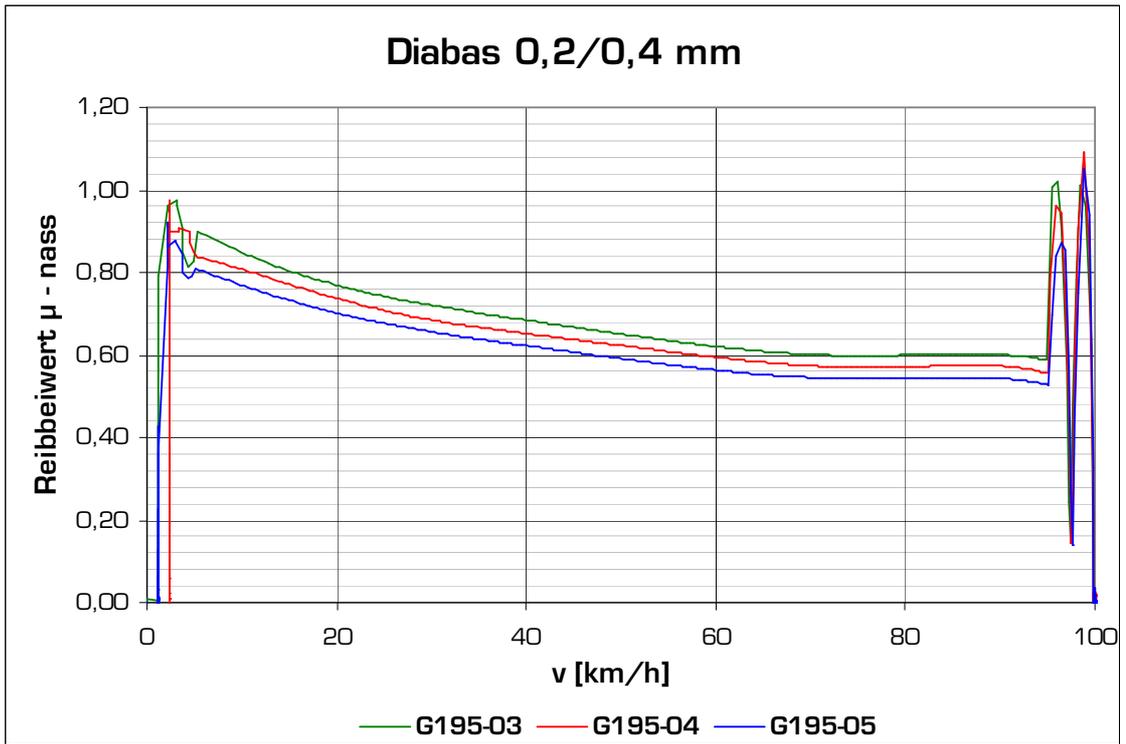


Abbildung A- 9: μ -v Diagramm - Diabas 0,2/0,4 mm

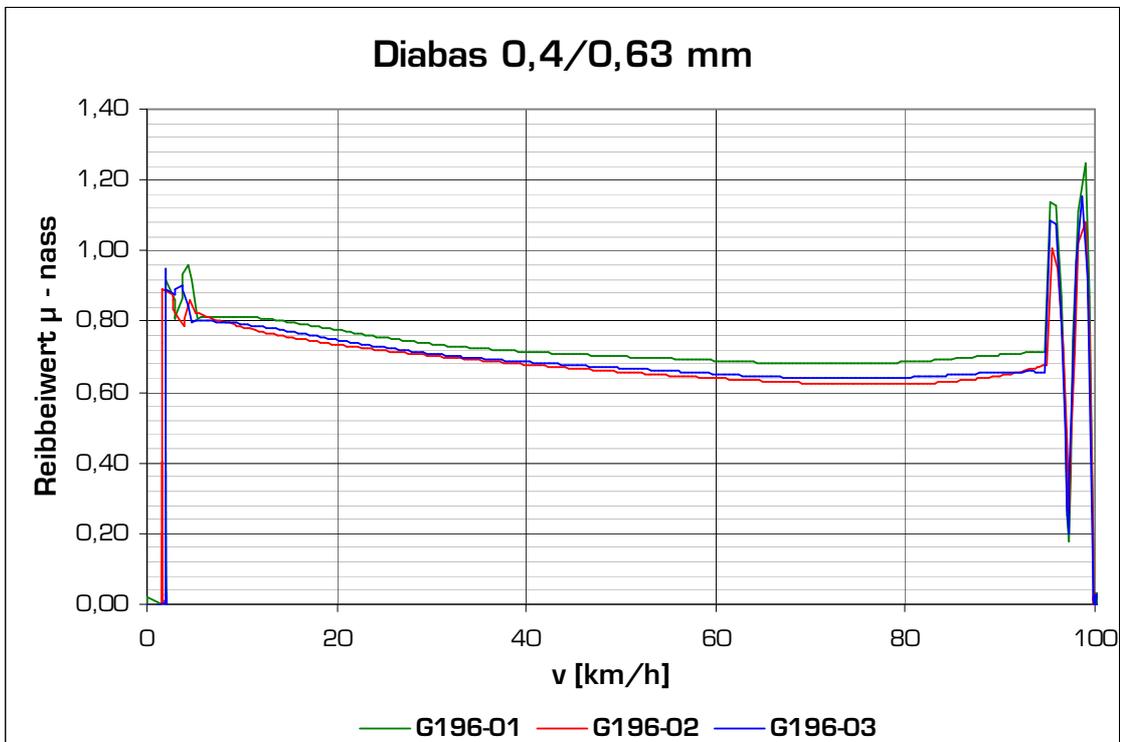


Abbildung A- 10: μ -v Diagramm - Diabas 0,4/0,63 mm

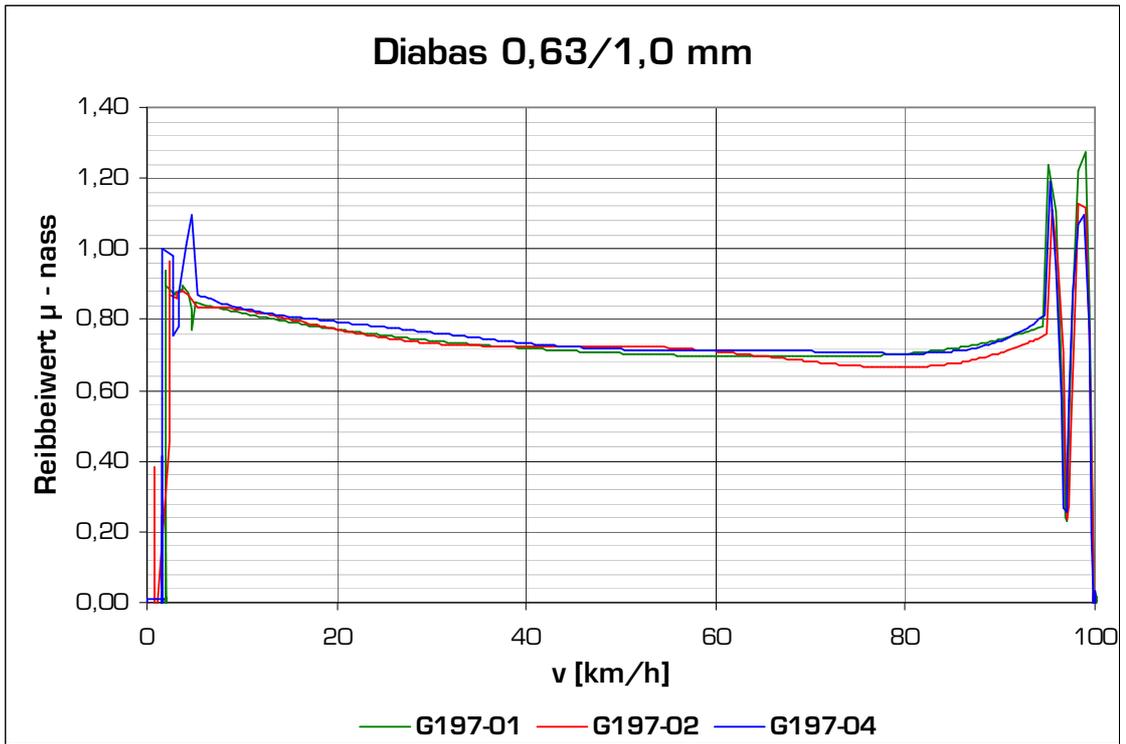


Abbildung A- 11: μ -v Diagramm - Diabas 0,63/1,0 mm

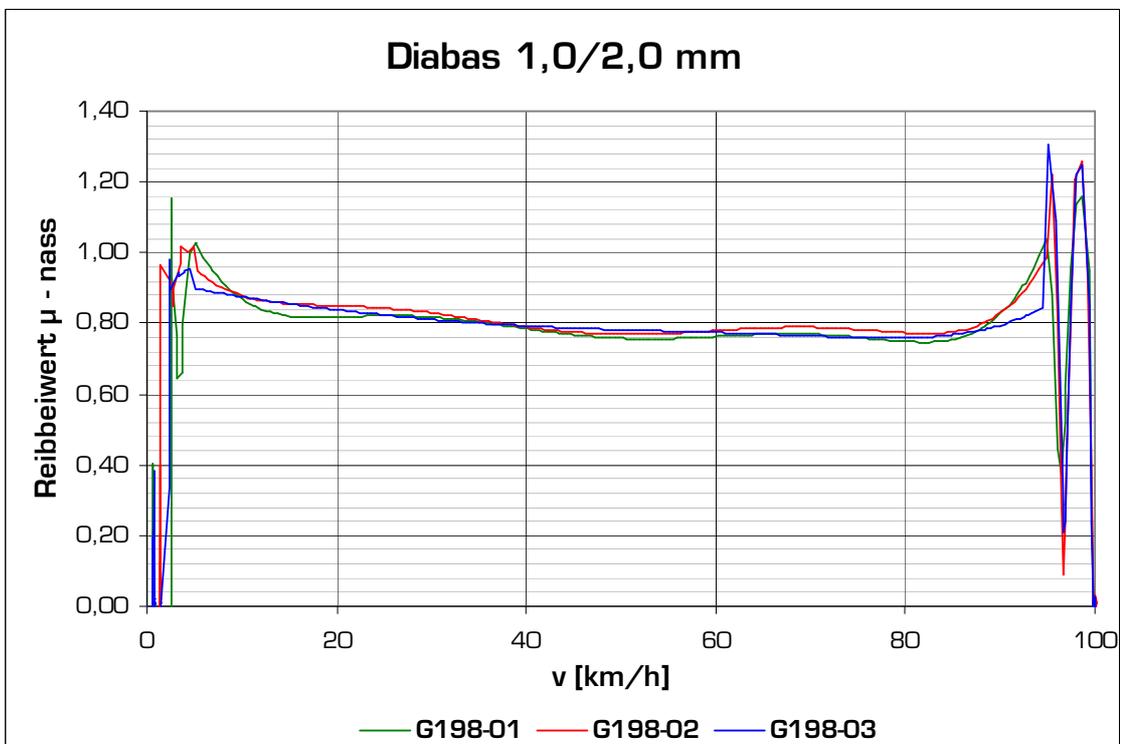


Abbildung A- 12: μ -v Diagramm - Diabas 1,0/2,0 mm

ANHANG B: FOTODOKUMENTATION DER SANDPROBE- KÖRPER (12-FACHE VERGRÖSSERUNG)

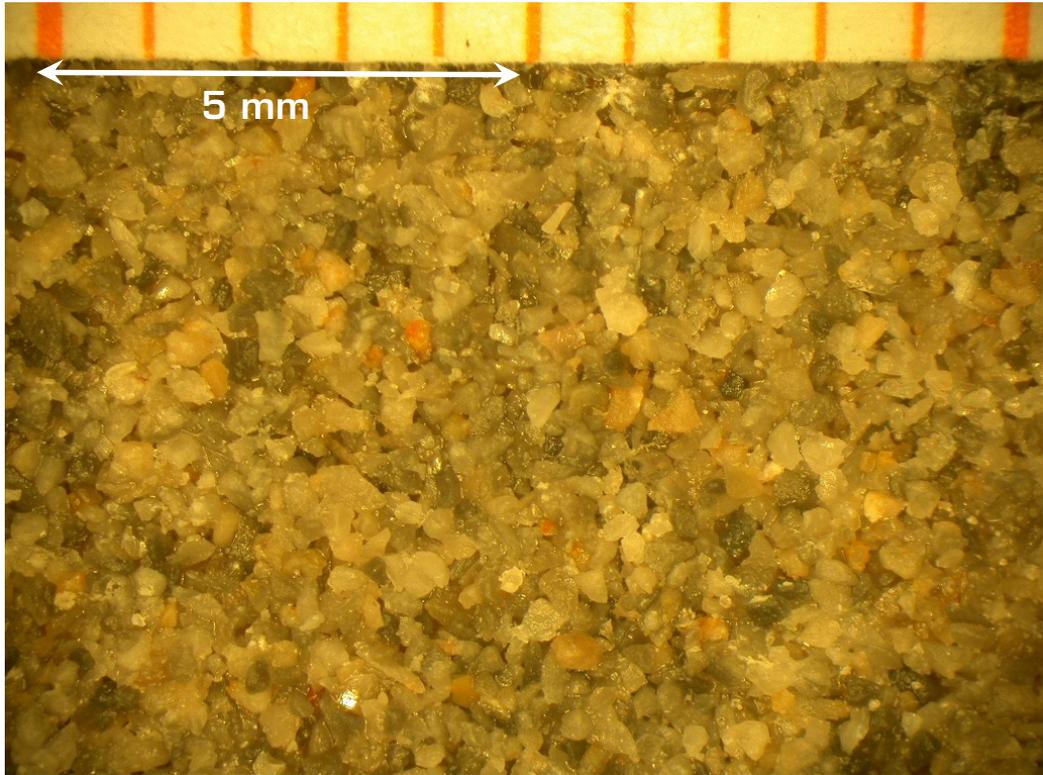


Abbildung B- 1: Dolomitischer Kalkstein 0,2/0,4 mm

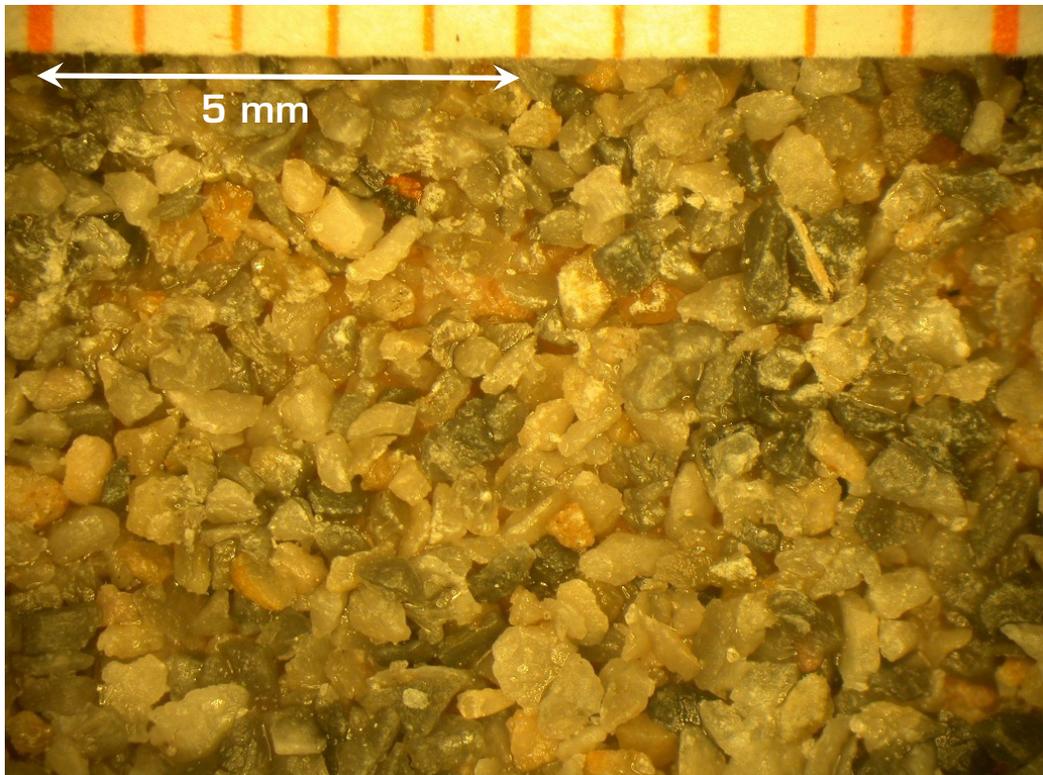


Abbildung B- 2: Dolomitischer Kalkstein 0,4/0,63 mm

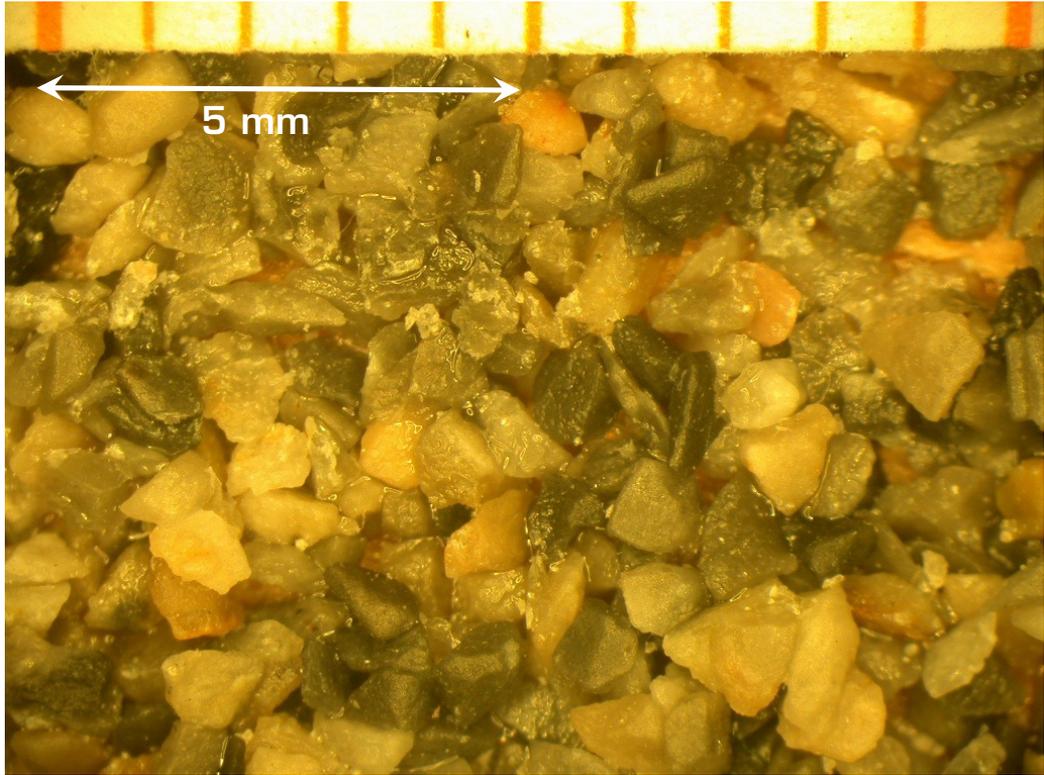


Abbildung B- 3: Dolomitischer Kalkstein 0,63/1,0 mm

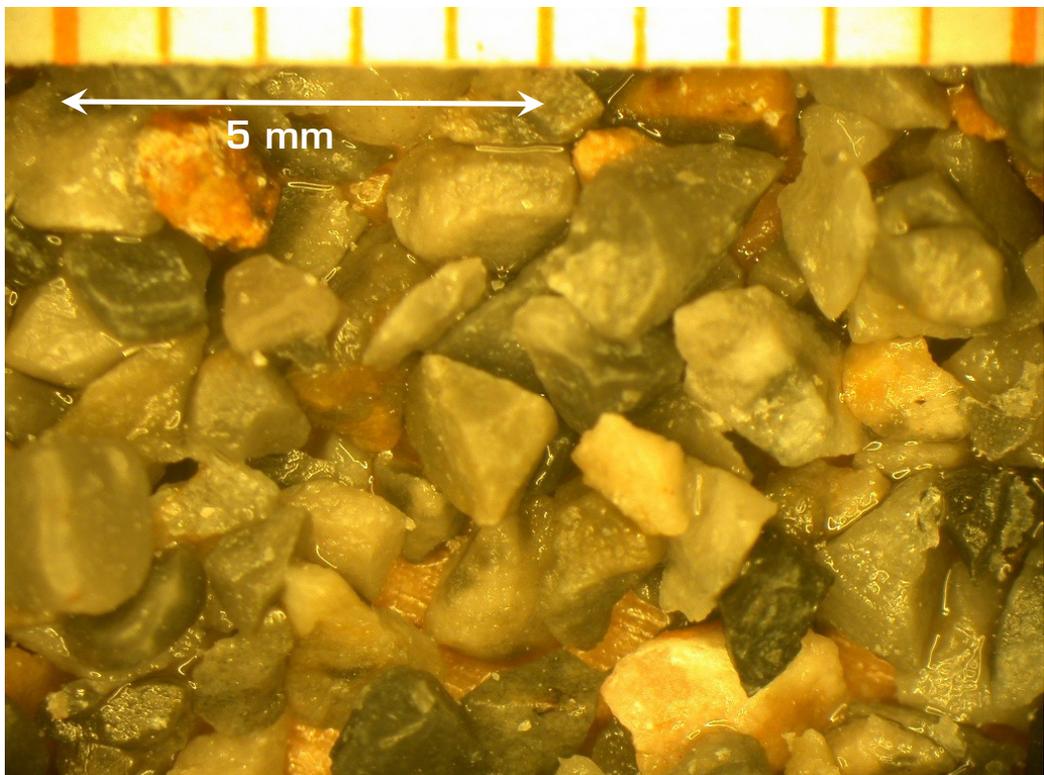


Abbildung B- 4: Dolomitischer Kalkstein 1,0/2,0 mm

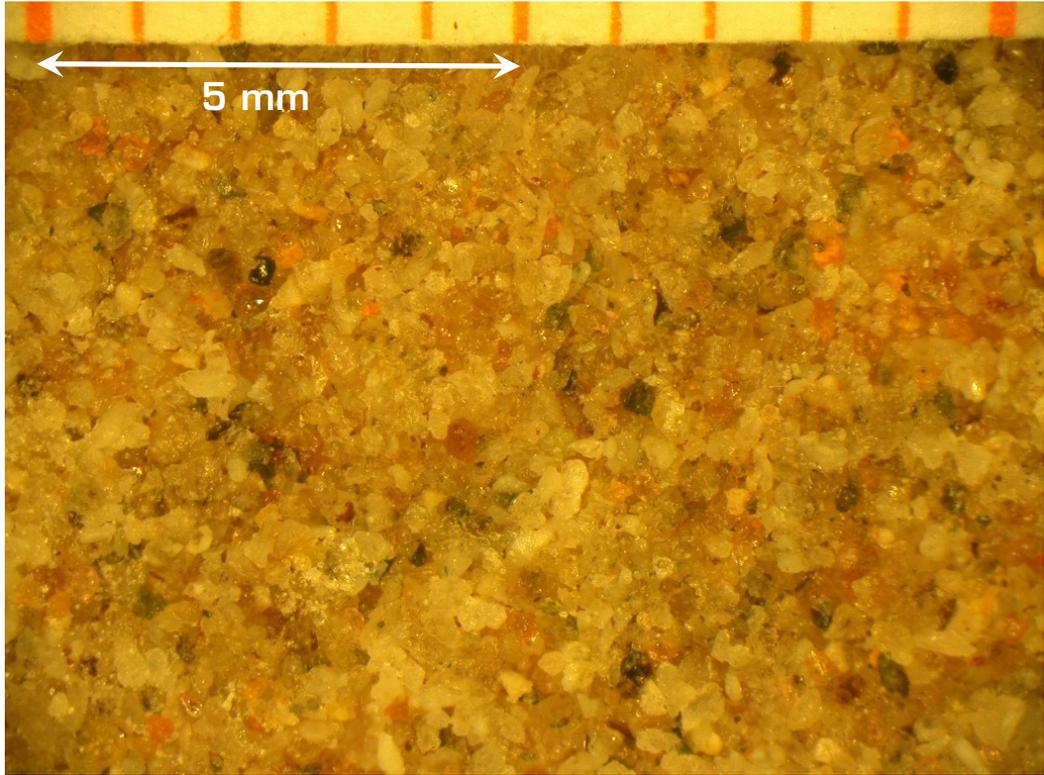


Abbildung B- 5: Granulit 0,2/0,4 mm



Abbildung B- 6: Granulit 0,4/0,63 mm



Abbildung B- 7: Granulit 0,63/1,0 mm

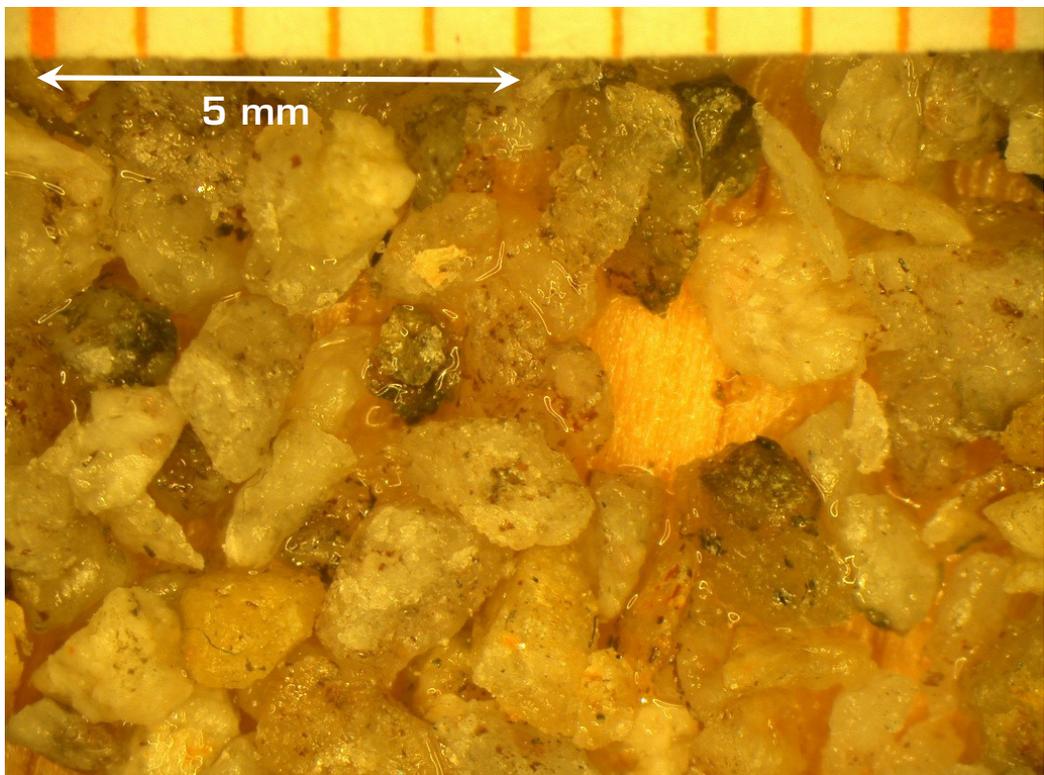


Abbildung B- 8: Granulit 1,0/2,0 mm



Abbildung B- 9: Diabas 0,2/0,4 mm

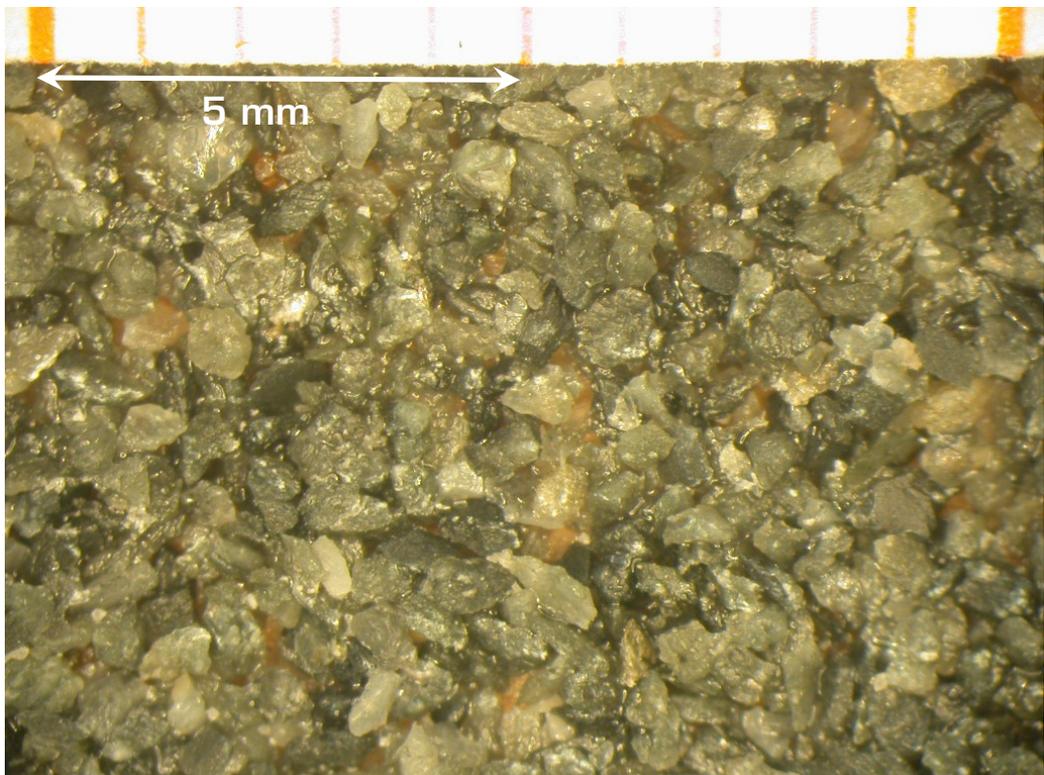


Abbildung B- 10: Diabas 0,4/0,63 mm

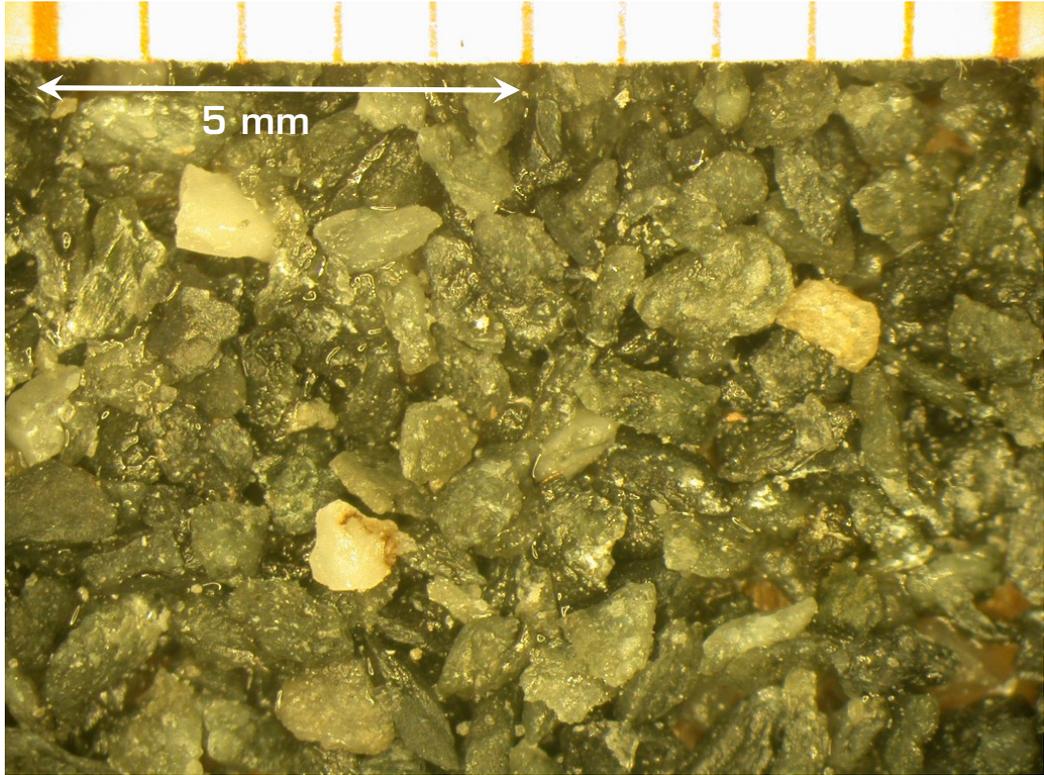


Abbildung B- 11: Diabas 0,63/1,0 mm

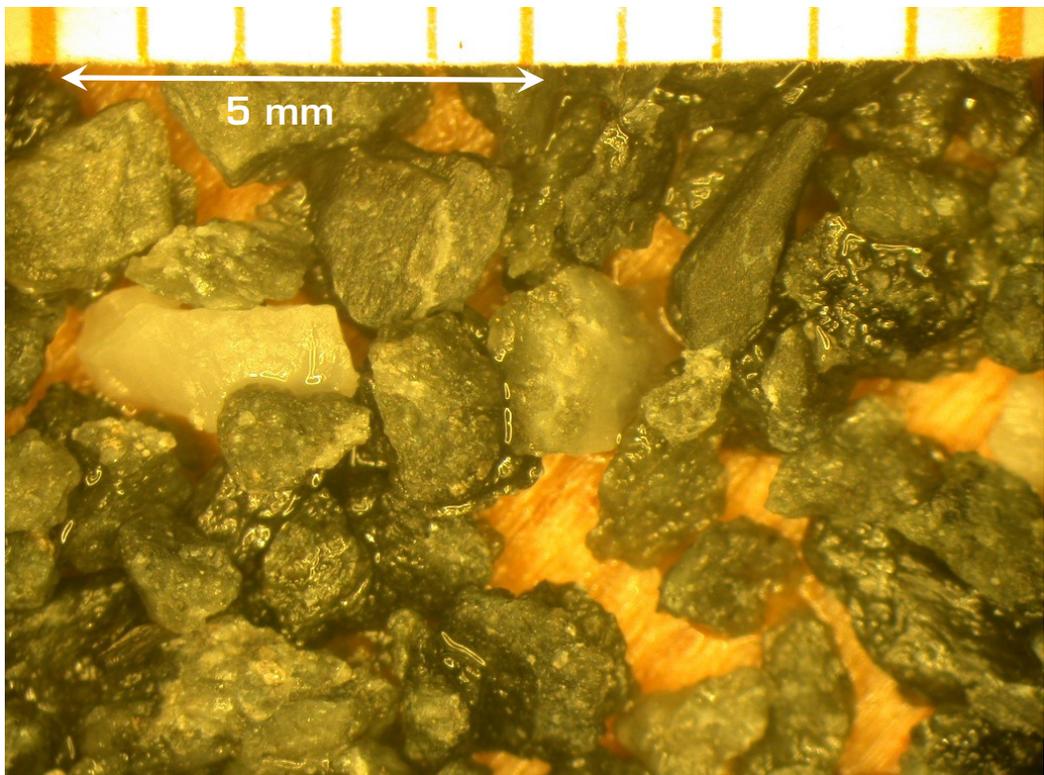


Abbildung B- 12: Diabas 1,0/2,0 mm

ANHANG C: ARBEITSANWEISUNG 221

**Bestimmung des Polierwiderstandes von Sanden
mit dem Prüfgerät nach Wehner/Schulze (PWS)**



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1
April 2007

Seite 1 von 42

AA 221

Bestimmung des Polierwiderstandes mit dem Prüfgerät nach
Wehner-Schulze (PWS)

Inhalt

1	Beschreibung	3
1.1	Normative Grundlage(n)	3
1.2	Kurzbeschreibung	3
1.3	Begriffe	3
1.4	Prüfgeräte und Hilfsmittel	4
1.5	Prüfanlage nach Wehner/Schulze	5
1.5.1	Bestandteile	5
1.5.2	Display	9
1.5.3	Fehlermeldungstabelle	13
2	Probekörpervorbereitung	14
2.1	Gesteinssiebung	14
2.2	Versiegeln der Holzplatten	14
2.3	Probplattenherstellung	14
2.4	Probeneinbau	18
2.4.1	Bestandteile der Probenform	18
2.4.2	Zusammenbau der Probenform	19
3	Maschine vorbereiten	21
3.1	PC Rechner hochfahren	21
3.2	Prüfanlage einschalten	22
3.3	Verbindung PC – PWS	22
3.4	Drehmomentmessung	23
3.5	Quarzmehlwasser	24
3.6	Prüfwasser	24



AA 221	Gesteinsprüfung Bestimmung des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfgerät nach Wehner/Schulze (PWS)	Ausgabe 1 April 2007
		Seite 2 von 42

3.7	Druckluft	24
3.8	Parameter in den Menüpunkten STEUERUNG, POLIEREN, PRÜFEN	25
3.9	Prüfgummiabnutzung, -wechsel	25
4	PRÜFUNGSABLAUF	26
4.1	Probe einbauen	26
4.2	Kalibrieren.....	26
4.3	Prüfen	27
4.4	Polieren	28
4.5	Spülen	30
4.6	PC Rechner – PWS trennen	31
4.7	Probe ausbauen	31
5	Auswertung und Darstellung der Ergebnisse.....	32
5.1	Bestandteile der Excel Tabelle.....	32
5.2	Prüfprotokoll	33
5.2.1	Auswertung	33
5.2.2	Gleitbeiwert-Diagramm.....	34
5.2.3	Polier-Diagramm.....	35
5.2.4	Kontroll-Diagramm	35
5.3	Messergebnis	36
6	kontrollprotokolle.....	37
6.1	Testwertprotokoll.....	37
6.2	Prüfgummiprotokoll.....	37
6.3	Q/W-Austauschprotokoll	39
7	Mitgeltende Unterlagen und Normen	40
8	Verteiler	40
9	BEILAGEN.....	40



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1
April 2007

Seite 3 von 42

1 BESCHREIBUNG

1.1 Normative Grundlage(n)

Die normative Grundlage dieser Arbeitsanweisung ist die RVS 11.06.23 – Bestimmung des Polierwertes von Sand.

1.2 Kurzbeschreibung

Mit der Prüfanlage nach Wehner- Schulze (PWS) kann die Polierresistenz von feinen Gesteinskörnungen bestimmt werden. Des Weiteren ist die Prognose der Griffigkeit von Asphalt und Betonoberflächen möglich.

Die Maschine besteht im Wesentlichen aus einer Polierstation und einer Prüfstation.

Auf der Polierstation wird die Verkehrseinwirkung mittels 3 Polierrollen, die mit einer konstanten Geschwindigkeit [U/min] auf einer Probestplatte rotieren, und unter konstanter Zuführung eines Quarzmehl-Wassergemisches simuliert.

Anschließend wird auf der Prüfstation der Reibungsbeiwert oder auch Kraftschlussbeiwert μ ermittelt. Hierbei wird ein, mit 3 Prüfgummis versehener, Prüfkopf mit einer voreingestellten Umlaufgeschwindigkeit, einer konstanten Last und unter Zufuhr von Wasser auf den Prüfkörper abgesenkt. Diese Griffigkeitsmessung stellt im Prinzip die Messmethode des blockierten Schlepprades („Stuttgarter Reibungsmesser“) dar.

Der an die Prüfmaschine angeschlossene PC erfasst die resultierenden Messdaten und ermittelt den Reibungsbeiwert μ bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h. Des Weiteren berechnet die Software den Bremsweg für eine eingestellte Geschwindigkeit und liefert diverse kinematische Diagramme wie z.B. s-t, v-t, etc. (siehe 5.1 Bestandteile der Excel Tabelle).

1.3 Begriffe

Reibungsbeiwert μ : Wird auch Reibungswert, Reibungswiderstand, Reibwert oder Kraftschlussbeiwert genannt. μ ist der Quotient aus den durch Kraftschluss zwischen 2 Flächen übertragenen Horizontalkräften und den gleichzeitig wirkenden Normalkräften.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 4 von 42

Polierwert: Maß für den Polierwiderstand von Gesteinskörnungen bzw. Asphaltmischungen gegen die polierende Wirkung von Fahrzeugreifen auf einer Straßenoberfläche. Beim Verfahren nach Wehner/Schulze ist der Polierwert physikalisch gesehen ein Gleitreibungsbeiwert, welcher ein Sonderfall des Reibungsbeiwertes ist. Die Messung erfolgt gemäß dem Prinzip eines blockierten Rades, oder in diesem Fall mit Gummigleiter.

1.4 Prüfgeräte und Hilfsmittel

Prüfgeräte:

- Prüfanlage nach Wehner/Schulze mit Quarzmehl/Wasserbehälter (PWS)
- PC Rechner PWS
- Kompressor
- Trockenschrank
- Analysensiebe

Hilfsmittel:

- 2-Komponenten Epoxydharzkleber MC-DUR 1200 VK (MC-Bauchemie, Am Kruppwald 1-8, 46238 Bottrop, Tel. +49 (0) 2041-10110, www.mc-bauchemie.de)
- Laborwaage auf 0,1 g genau
- Behälter zum Aufbewahren des Prüfgutes
- Plastikbecher zum Anrühren des Klebers mit einem Rührstab
- 1 weicher Pinsel
- 1 Esslöffel
- Holzplatten Ø225 mm
- Tapeziererwalze (Breite mind. 20 cm, Rollendurchmesser mind. 4 cm)
- Quarzmehl < 0,063 mm Typ Millisil W6 mit einer mittleren Korngröße $d_{50\%} = 40 \mu\text{m}$ (Quarzwerke GmbH, Postfach 1780, 50207 Frechen, Tel. +49 (0) 2234-1010, www.quarzwerke.com)

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1
April 2007

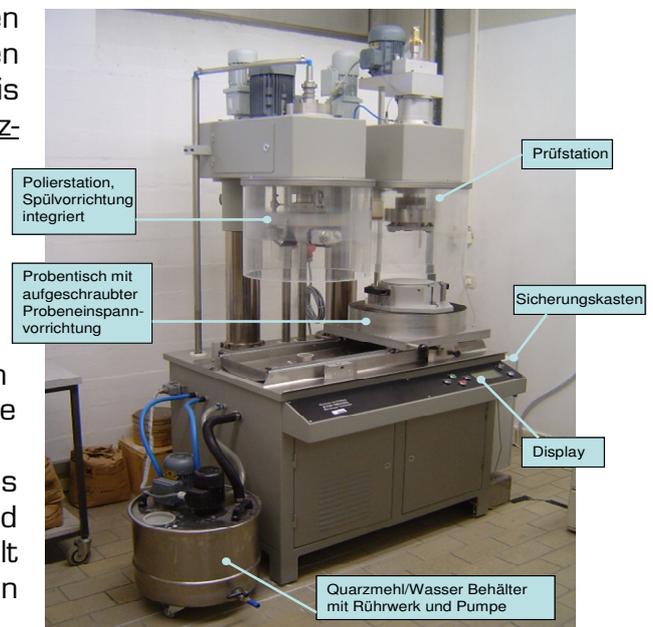
Seite 5 von 42

1.5 Prüfanlage nach Wehner/Schulze

1.5.1 Bestandteile

Die Prüfmaschine besteht im Wesentlichen aus der Polierstation mit den 3 Polierrollen links, der Prüfstation mit den Prüfgummis rechts, dem externen Quarzmehl/Wasserbehälter sowie einem Kompressor für die Druckluftzufuhr. Unterhalb des Sicherungskastens befindet sich ein Absetzbecken mit der Abwasserpumpe. Des Weiteren besitzt die Anlage einen eigenen Wasser- und Stromanschluss (400 V) und ist mit dem PC-Rechner über eine serielle Schnittstelle RS-232 verbunden.

Durch Verschieben des Proben­tisches (ziehen des schwarzen Fixierbolzens und verschieben mit dem Haltegriff) wechselt man zwischen den verschiedenen Stationen und aktiviert sie.



An der rechten vorderen Seite der Anlage befindet sich der Hauptschalter, der zum Ein- und Ausschalten der Maschine, sowie zum Betätigen eines Not-Aus dient. Nach dem Ausschalten muss man ca. 1 Minute warten, bis sich alle Transistoren entladen haben.



AA 221

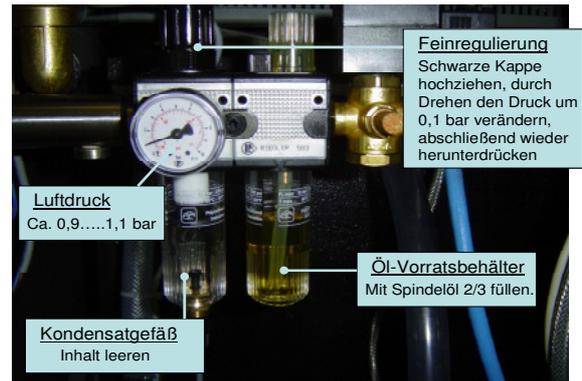
Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 6 von 42

Die Prüfanlage besitzt außerdem eine Aufbereitungseinheit zur Trocknung, Schmierung und Regulierung, der von außen eingespeisten Druckluft. Die Aufbereitungseinheit befindet sich an der Rückseite, hinter der linken Abdeckung. Die nebenstehenden Punkte sind regelmäßig zu überprüfen.



Der eingestellte Luftdruck sollte nur dann in Schritten zu 0,1 bar verändert werden, wenn eines der folgenden Symptome auftritt:

- Prüfgummis heben nicht vollständig ab und drehen sich erst mit Verzögerung → mehr Luftdruck
- Prüfgeschwindigkeit wird nur sehr langsam oder gar nicht erreicht → weniger Luftdruck

Der Quarzmehl/Wasserbehälter wird mit 40 Liter Wasser und 2400 g Quarzmehl befüllt. Dafür ist der graue Stecker [A] für die Stromversorgung zu trennen, der Deckel mit den schwarzen Griffen anzuheben, Quarzmehlwasser-Reste abtropfen zu lassen und den Deckel neben dem Behälter auf den 3 Füßen abzustellen. Das Quarzmehl/Wassergemisch ist nach 12 Poliervorgängen mit jeweils 90.000 Überrollungen zu erneuern, da es während dem Poliervorgang zu Quarzmehlverlusten und -Verunreinigungen kommt. Hierfür ist ein eigenes Quarzmehl/Wasser-Austauschprotokoll (zu finden am Desktop) zu führen (siehe Abschnitt 6 Kontrollprotokolle).



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 7 von 42



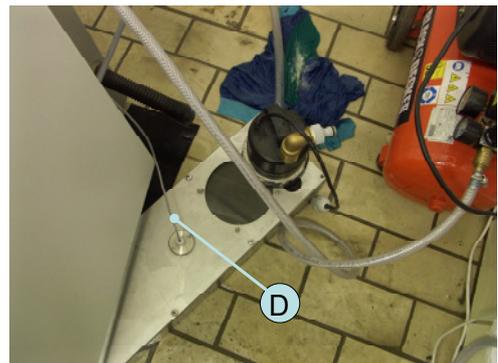
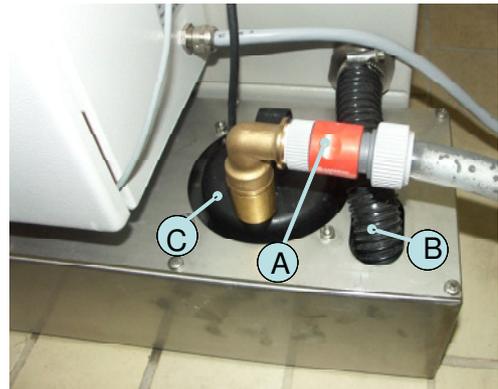
Die Prüfspindel wird vor jeder Prüfung beim Beschleunigen automatisch mit einem Tropfen Öl aus dem, oberhalb der Prüftraverse montierten, Spindelöler geschmiert. In den Tropföler darf nur gefiltertes, neues Spindelöl nachgefüllt werden.

Das Öl aus dem Auffangbehälter darf nicht wieder benutzt werden. Es ist verschmutzt und muss entsorgt werden.

In das Absetzbecken werden alle mit Quarzmehlrückständen und mit Probenabrieb belasteten Abwässer geleitet. Deswegen kommt es mit der Zeit zu einer Verlegung der Pumpe, die man durch regelmäßiges Reinigen (je nach Betriebsdauer der Anlage aber zumindest alle 2 Monate) verhindern muss. Das Datum der nächsten Reinigung ist zu notieren und gut sichtbar an der Magnetwand anzubringen.

Zum Reinigen des Absetzbeckens wird zuerst die Maschine mit dem Hauptschalter ausgeschaltet. Danach wird der Abflussschlauch [A] gelöst und der Abwasserzufluss [B] aus dem Absetzbecken gezogen. Nach Ausstecken des Elektroanschlusses der Abwasserpumpe [C], lässt sich diese senkrecht heraus ziehen. Nach dem Lösen des Kabels [D] an der Prüfanlage, kann das Absetzbecken unter dem Sicherungskasten hervorgezogen werden.

Zum Reinigen der Wanneninnenseite und des Pumpenarretierringes müssen nur noch die Halteschrauben [E] und die Befestigungsschrauben [F] gelöst und die Abdeckung entfernt werden. Vorsicht beim Festschrauben der Befestigungsschrauben: Sie dürfen nur leicht angezogen werden, da ansonsten die Innenmuttern ausreißen!



Auch die Abwasserpumpe ist von Quarzmehl- und Abriebsrückständen zu säubern. Blockiert die Pumpe wegen Verstopfung, so ist sie zu öffnen und die Innenseite zu reinigen.

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

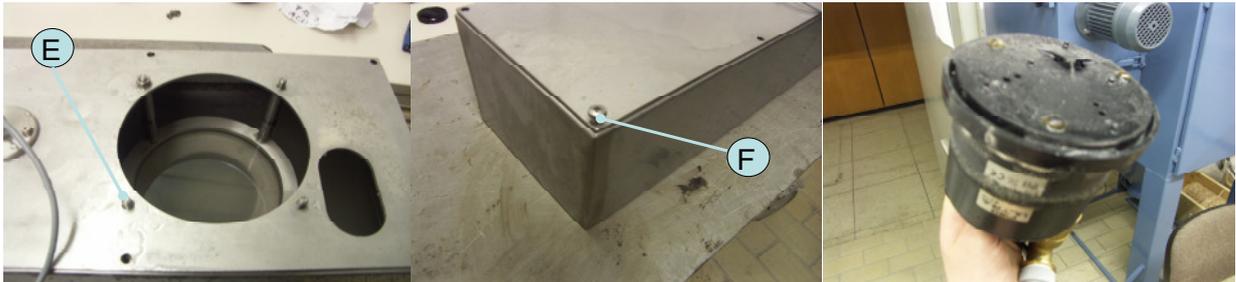
April 2007

Seite 8 von 42

Vor dem Wiedereinsetzen der Pumpe sollte das gereinigte Absetzbecken mit sauberem Wasser gefüllt werden, damit die Pumpe beim Anlaufen keine Luft enthält und somit die Gefahr des Trockenlaufens vermieden wird. Zusätzlich ist der Schlauch für den Wasserabfluss mit Wasser zu füllen.

Der Abwasserschlauch soll ca. 30 – 50 cm nach der Pumpe einen Hochpunkt aufweisen, an dem sich allfällig enthaltene Luft sammeln kann.

Die Mindestreinigungsintervalle sind im Wartungsbuch eingetragen und sind entsprechend durchzuführen. Wird die Maschine oft benützt sind die Reinigungsintervalle zu verkürzen. Das Wartungsbuch befindet sich in der untersten rechten Schublade des Schreibtisches.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 9 von 42

1.5.2 Display



- [1] Drehknopf zum Durchscrollen durch das Menü
- [2] Enter-Taste zum Auswählen einer Menüfunktion
- [3] 4-zeiliges LCD-Display
- [4] Start-Taste zum Starten von Programmen. Gleichzeitiges Drücken der Pfeiltaste nach oben und des Start-Knopfes betätigt die Selbsthaltefunktion, d.h. die Traverse fährt selbstständig nach oben.
- [5] Stop-Taste für manuellen Abbruch eines Programms
- [6] Pfeiltasten zum vertikalen Steuern der Traverse. Es wird immer nur jene Traverse betätigt, auf deren Position sich der Proben­tisch befindet.

Die LCD-Anzeige zeigt immer einen 4-zeiligen Ausschnitt aus dem vollständigen Anzeigemenü. Das schwarze, blinkende Rechteck, das am linken Anzeigerand steht, kann man mit dem schwarzen Drehknopf zeilenweise nach oben und nach unten verschieben.

Schaltzustände oder Einstellwerte, die auf der folgenden Seite **hervorgehoben** sind, kann man folgendermaßen ändern:

- Das schwarze Rechteck mit dem Drehknopf in die gewünschte Zeile schieben.
- Einmal auf die Enter-Taste drücken. Das schwarze Rechteck springt vom linken Rand in die Mitte der Zeile
- Mit dem Drehknopf den gewünschten Zahlenwert oder den gewünschten Schaltzustand einstellen. Der mögliche Wertebereich bzw. die möglichen Schaltzustände siehe nachfolgende Seiten



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 10 von 42

- Einmal auf die blaue Taste drücken. Das schwarze Rechteck springt zurück an den linken Rand. Die durchgeführte Änderung ist gespeichert und bleibt auch über das Ausschalten der Maschine hinaus erhalten!

Einige Einstellwerte und Schaltzustände können jedoch während eines laufenden Programms (Polieren, Prüfen) nicht verändert werden.

Die obersten 4 Zeilen des Anzeige-Menüs sind abhängig von der Stellung des Proben-tisches. Eventuelle Fehlermeldungen erscheinen im linken unteren Feld und sind laut Fehlermeldungstabelle, siehe Punkt 1.5.3, zu behandeln.

Probentisch zwischen den Stationen

	00.000 Nm	Probentisch-Drehmoment
=#=====#=		Tischindikator
Meldung	Zustand	Fehlermeldung und Steuerungszustand

Probentisch auf Station Polieren

	00.000 Nm	Probentisch-Drehmoment
00.0 °C	0000.0 1/min	Quarzmehlwasser-Temperatur / Polierdrehzahl
■=====#=	00000	Tischindikator / Teilpolierrollungen bzw. Spülzeit (je Pro-gramm)
Meldung	Zustand XX	Fehlermeldung und Steuerungszustand mit Nr.

Probentisch auf Station Prüfen

	0.0000 μ	Probentisch-Drehmoment
00.0 °C	000.00 km/h	Prüfwassertemperatur / Messgeschwindigkeit
=#====■=	XXXXX	Tischindikator / Prüfungstyp: KALIB oder PRUEF
Meldung	Zustand XX	Fehlermeldung und Steuerungszustand mit Nr.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Technische Universität Wien

Labor des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung

AA 221	Gesteinsprüfung Bestimmung des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfgerät nach Wehner/Schulze (PWS)	Ausgabe 1 April 2007
		Seite 11 von 42

Wird im Menü STEUERUNG unter dem Menüpunkt Reset eine Nullkalibrierung des Drehmomentes [Durch Bestätigen der Funktion MOMENT] durchgeführt so erscheint in der oberen Zeile links die Meldung AUTONULL.

Diese Nullkalibrierung ist nach jedem Einschalten der Maschine durchzuführen. Näheres im Abschnitt 3.1 Drehmomentmessung.

Die im Folgenden magentafarben hinterlegten **Werte**, stellen die vom Hersteller voraus eingestellten Werte dar beziehungsweise sind für die Bestimmung des Polierwertes als geeignet befunden worden.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 12 von 42

STEUERUNG

Reset: **NEIN**
B-Stufe: **[0]**
N Gesamt: **00000** Rol

POLIEREN

Spülen: **NEIN**
t Spül: **000** s
N Soll: **00000** Rol
n Spindel: **0000** 1/min
q Quarzm.: **000** %
T Soll: **000** °C

PRUEFEN

v Start: **000.0** km/h
q Wasser: **000** %
T Soll: **000** °C

TOTAL

Polier: **00000000** Rol
Prüfen: **00000** Mes

KONTROLLE

s Prüf.: **0000.00** mm
T1 Ist: **00.0** °C
T3 Ist: **00.0** °C
Handbetr.: **KEIN**

=====
Kalibr. ändern: **NEIN**

M **00.000** Nm
M Test: **NEIN**
M Skal: **0.00** %

T Null: **000**
T Skal: **000**

n P-Spuel: **000** 1/min
dt Polier: **00.00** s
Autonull: **HEBEN**
ds Düse: **0.00** mm

=====
XXXXX 0000.0 XXXXX
E100 E200 E300 E400
A100 A200 A300 A400
SYN=000 000000....00

NEIN-MOMENT (führt Nullkalibrierung durch)-**SPINDEL**
Beanspruchungsstufe **0...9**
Bisherige Gesamtpolierrollungen **0...999999** Schrittweite 3

NEIN-JA (zum Aktivieren des Spülprogramms)
Spülzeit **0...765** Schrittweite 1, **t=120 s**
Gewünschte Polierrollungen **0...999999**, Schrittweite 3, **90000**
Spindeldrehzahl **0...1000**, Schrittweite 10, **500 U/min**
Quarzmehlpumpenleistung **0...100**, **47 %**
Quarzmehlsolltemperatur **0...51**, Schrittweite 2, **20°C**

Anfangsgeschwindigkeit **0...127,5**, Schrittweite 0,5, **100 km/h**
Wasserpumpenleistung **0...100**, Schrittweite 0,5, **33,5 %**
Prüfwassertemperatur **0...51**, Schrittweite 0,2, **10 °C**

Gesamtbetriebsdauer „Polieren“ in Polierrollungen
Gesamtbetriebsdauer „Prüfen“ als Messungen inkl. Kalibrieren

Position der Prüftraverse vom oberen Endpunkt
Gegenwärtige Quarzmehlwasser-Temperatur
Gegenwärtige Prüfwassertemperatur
KEIN-RUEHRWERK-QUARZMEHL-PRUEFWASS-ANHEBEN-TRANSPORT

=====
NEIN-JA (zum Ändern der Kalibrierungsparameter)

Probentisch-Drehmoment
NEIN-JA (Anzeige des Testwertes, ist jeden Tag zu kontrollieren!)
Parameter zur Drehmoment Kalibrierung, **0,05 %**

Parameter zur Temperatur-Kalibrierung, **016**
Parameter zur Temperatur-Kalibrierung, **008**

Spindeldrehzahl beim Spülen **100...300**, **100 U/min**
Parameter zur PolierhöhenEinstellung, **1,76 s**
KEIN-HEBEN-RAMPE, Autonullzeitpunkt beim Prüfen
Versatz Wasserdüse **0...8,59**, Schrittweite 0,03, **1,34 mm**

Interne Daten für die Firma Freundl. Wird bei einer Fehlermeldung Kontakt mit dem Kundenservice aufgenommen, dienen diese Parameter der Herstellerfirma zur Fehlerfindung.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 13 von 42

Die Kalibrierparameter („M Skal:“ bis „ds Düse:“) können erst nach Bestätigen der Funktion „Kalibr. ändern: **JA**“ durchgeführt werden. Grundsätzlich sollen die eingestellten Parameter **XXX** nicht verändert werden. Wird eine Änderung durchgeführt sind die voreingestellten Parameter auf jeden Fall zu notieren!

1.5.3 Fehlermeldungstabelle

In der Zeile „Meldung Zustand“ (siehe Pkt. 1.5.2) wird links die Ursache für den Abbruch der laufenden Prüfung angezeigt. Die Anzeige der Abbruchursache verschwindet, sobald eine neue Aktion mit den Tasten „START“ oder „↓“ oder „↑“ gestartet wird.

Meldung	Beschreibung
TISCH-X	Probentisch hat Prüfposition unerwartet verlassen
KUHLWASS	Störung des Kühlaggregates Freundl kontaktieren
PRUFWASS	Prüfwasserstand zu niedrig Wasserzulauf überprüfen und warten, bis Niveau erreicht ist
POSHOCH	Prüfspindel hat zu hoch auf der Probe aufgesetzt Probe richtig eingebaut?
ES-UNTE	Prüftraverse hat unteren Endschalter erreicht Probe richtig eingebaut?
RAMPE	Prüfspindel konnte nicht auf Prüfdrehzahl beschleunigt werden Luftdruck zu hoch?
ANLAUF	Prüfspindel konnte nicht eingekuppelt werden Luftdruck zu niedrig?
MANUELL	Vorgang von Hand mit Taste "STOP" abgebrochen
MOTOR	Motorschutz hat ausgelöst siehe Abschnitt 6 "Problemdokumentation"
ABW.AUF	Abflussventil öffnet verschwindet automatisch nach 60 Sekunden
ABWA.ZU	Abflussventil (Rücklauf in Quarzmehlbehälter) schließt verschwindet automatisch nach 60 Sekunden
ZU WARM	Quarzmehlwasser ist wärmer als 25 °C
ES-SPIN	Polierspindel beim Polieren abgesackt
FERTIG	Vorgang normal beendet

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 14 von 42

2 PROBEKÖRPERVORBEREITUNG

Die folgende Probekörperherstellung beschreibt das Verfahren zur Herstellung von Sandprüfplatten nach der Berliner Methode.

2.1 Gesteinssiebung

Das zu prüfende Gestein ist mittels Nasssiebung und den entsprechenden Sieben der gewünschten Prüfkörnung in die zu prüfenden Gesteinsfraktionen aufzuteilen, im Trockenschrank bei $120 \pm 5^\circ\text{C}$ für ca. 12 Stunden zu trocknen und getrennt in Behältern aufzubewahren. Je Prüfplatte sind ca. 200 g der zu untersuchenden Fraktion aufzubereiten.

2.2 Versiegeln der Holzplatten

Die Holzträgerplatten sind vor dem Verwenden mit einem klaren Holzschutzlack zu versiegeln. Ansonsten saugt sich der 2-Komponenten Kleber zu stark in das Holz und die Gesteinsoberfläche hält den Beanspruchungen in der Prüfanlage nicht stand. Nach dem Versiegeln muss man ca. 1 Tag warten, bis der Lack vollständig getrocknet ist.



Die Bohrlöcher der Holzplatten sind vor Auftragen des Klebers an der Unterseite mit Isolierband abzukleben.

2.3 Probplattenherstellung

Der verwendete 2-Komponenten Kleber, MC-DUR 1200 VK (siehe Bild rechts, Kontaktadresse siehe Abschnitt 1.4 Prüfgeräte und Hilfsmittel), ist laut dem vorgeschriebenen Mischungsverhältnis im Mischbehälter zu verrühren bis sich die beiden Komponenten sorgfältig miteinander vermengt haben.

Material für 3 Platten: 21 g Harz
 7 g Härter



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 15 von 42

Für Sandfraktionen > 1,0 mm ist die Klebermenge auf 40 g für 3 Platten zu erhöhen. Dies entspricht 30 g Harz und 10 g Härter.

Mischbehälter und Rührstab dürfen nur einmal für das Anrühren des Klebers verwendet werden. Als Mischbehälter eignet sich ein Plastikbecher und zum Umrühren ein Holzstab.

- Die Platten sind am Rand mit einem wasserfesten Stift folgendermaßen zu beschriften: Materialcode-Probekörpernummer_Herstellungsdatum (JJMMTT) der Platten.
Bsp.: G 191-02_061124
- Die Holzträgerplatten sind mit dem 2-Komponenten Kleber flächendeckend mit einem weichen Pinsel einzustreichen. Es ist die gesamte Klebermenge gleichmäßig auf die 3 Holzplatten zu verteilen. Dabei ist der Pinsel ohne Druck über die Platten zu führen.

Zur Kontrolle der 100 %-igen Flächendeckung betrachtet man die Oberfläche gegen den Lichteinfall. Werden noch nicht bedeckte Stellen sowie „Berge“ und „Täler“ festgestellt, sind diese mit Kleber zu überdecken bzw. mit dem Pinsel zu verstreichen.

- Die zu prüfende Fraktion ist in ausreichender Menge (ca. 200 g) in das Maschensieb (etwas größer als die Prüffraktion, z.B. für die Prüffraktion 0,2/0,4 ist das Maschensieb 0,5 mm zu verwenden) mit einem Löffel einzufüllen.



- Danach ist die Prüffraktion in das Kleberbett, durch Klopfen mit dem Löffel gegen die Siebwand, einzurieseln. Im 1. Einrieselvorgang soll bereits soviel Sand aufgebracht werden, dass die gesamte Holzplatte mit Sand bedeckt und keine freien Kleberstellen sichtbar sind. Es ist aber darauf zu achten, dass kein zu großer Sandüberschuss auf der Plattenoberfläche entsteht, da sonst der anschließende Einwalzvorgang keine Wirkung zeigt.

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 16 von 42

- Der Sand wird nun kreuzweise mit der Tapeziererwalze eingewalzt. Dabei ist fest anzudrücken, damit die Körner in das Kleberbett 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.

Tipp: Sollte am Plattenrand überschüssiger Kleber mit Sand anhaften, so empfiehlt es sich diesen bereits vor dem Aushärten zu entfernen, da dies später nur schwer möglich ist und sich die Platte dann womöglich nicht mehr plan in die Probenform einbauen lässt.

- Die fertige Platte ist nun für mind. 18 Stunden aushärten zu lassen. Man kann das Aushärten beschleunigen, in dem die fertige Platte für ca. 30 Minuten in einem Trockenschrank bei $60 \pm 5^\circ\text{C}$ gelagert wird. Dann kann die Platte auch bereits nach 12 Stunden verwendet werden.



- Der überschüssige Sand ist von der Platte durch klopfen auf eine Tischplatte zu entfernen. Nach dem Entfernen der Isolierbänder wird das noch lose anhaftende Gestein durch gegenseitiges, vorsichtiges Aneinanderreiben der Prüfplatten entfernt.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 17 von 42

- Nun sind nur noch die Löcher zum Einspannen der Platten von angeklebtem Sand zu befreien. Dazu werden zuerst mit einem Bohrer $\varnothing 6$ mm die vorhandenen Löcher von der Unterseite frei gebohrt, und danach mit einem Senkbohrer die Vertiefungen wieder hergestellt.



- Die fertige Platte darf dann keine deutlich erkennbaren Kleberanhäufungen auf der Prüffläche aufweisen. Diese sind durch weiße Stellen auf der Platte erkennbar. Befindet sich in der Mitte der Platte solch eine Stelle, so stellt dies kein Problem dar, da der Mittelteil für die Prüfung nicht benötigt wird. Auf der Außenbahn würde solch eine Kleberanhäufung jedoch das Messergebnis nachhaltig beeinflussen.

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

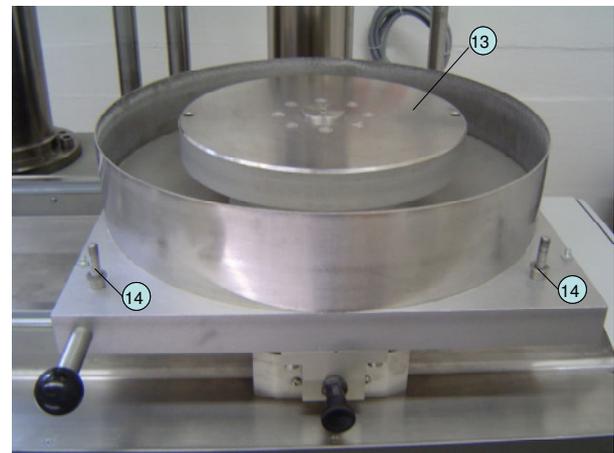
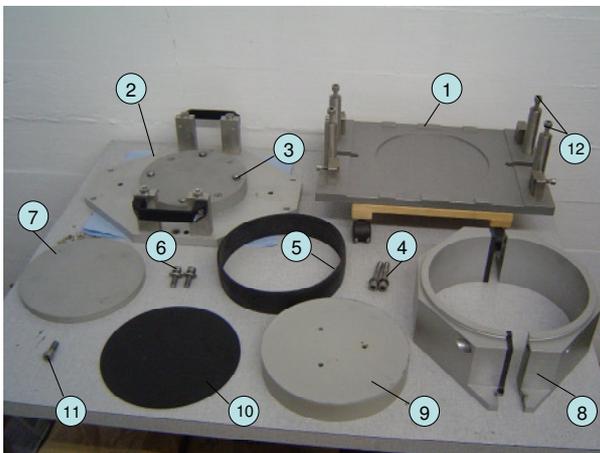
Ausgabe 1

April 2007

Seite 18 von 42

2.4 Probeneinbau

2.4.1 Bestandteile der Probenform



- [1] Hilfsvorrichtung zum Probeneinbau mit Holzwagen
- [2] Grundplatte
- [3] 4 Gewindestifte M16x35 zum horizontalen Justieren
- [4] 2 Zylinderschrauben M10x65 mit Beilagscheibe \varnothing 20 und 2 mm dick
- [5] Schaumstoffring
- [6] 2 Zylinderschrauben M10x25 mit Beilagscheibe \varnothing 25 und 4 mm dick
- [7] Zwischenplatte
- [8] 2 Halbschalen
- [9] Holzplattenträgerkörper (wird für Asphaltprobekörper nicht benötigt)
- [10] Gummimatte
- [11] Stellschraube M10x25
- [12] 4 Zylinderschrauben M10x35 mit Beilagscheibe \varnothing 20 und 2 mm dick
- [13] Proben­tisch
- [14] 2 Zylinderschrauben M10x30 mit Beilagscheibe \varnothing 20 und 2 mm dick

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 19 von 42

2.4.2 Zusammenbau der Probenform

- Hilfsvorrichtung [1] mit dem Holzwagen auf eine ebene Tischplatte stellen und die 4 Zylinderschrauben [12] lösen
- Probekörper mit der zu prüfenden Seite oder Holzplattenträgerkörper [9] mit den Gewindeöffnungen nach unten mittig in die ausgefräste, gereinigte Einspannvorrichtung legen
- Schaumstoffring [5] um den Probekörper spannen. Der Schaumstoffring ragt ca. ½ cm über den Probekörper hinaus
- Gereinigte, saubere Gummimatte [10] auf die Probe legen
- Gereinigte Zwischenplatte [7] auf die Gummimatte legen



- Die 2 Halbschalen [8] mittig auf die Hilfsvorrichtung stellen, der Schraubenauschnitt soll zentrisch über den Langschlitzen der Hilfsvorrichtung sein. Die 2 Zylinderschrauben M10x65 [4] einfädeln und die Halbschalen leicht anziehen
- Die Gewindestifte [3] zurückdrehen, bis sie auf der Probenseite nicht mehr vorstehen und die Grundplatte [2] mittig über Kopf aufsetzen
- Die Schrauben [12] einschrauben und festziehen
- Die 2 Schrauben [6] zur Verbindung der Halbschalen mit der Grundplatte einfädeln, von Hand auf Kontakt anziehen und ½ Umdrehung lösen
- Die Gewindestifte [3] auf Kontakt eindrehen, dann reihum stufenweise fester anziehen (ca. 5 Durchgänge). Achtung: nicht mit Gewalt



AA 221

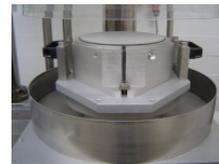
Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 20 von 42

- Die Schrauben [4] festziehen. Der Gummi zwischen den beiden Halbschalen soll sich ein klein wenig wölben
- Die Schrauben [6] durch die Längsschlitze der Hilfsvorrichtung festziehen.
- Schrauben [12] lösen. Vergewissern, dass die Gewindestifte [3] nicht vorstehen
- Kontrollieren der Oberfläche der Grundplatte und des Probentisches der Prüfanlage auf Sauberkeit und Trockenheit, fertig zusammengesetzte Probenform aus der Hilfsvorrichtung nehmen und in die Prüfanlage stellen. Befestigen der Grundplatte mit den 2 Schrauben [14]. Einfädeln der Stellschraube [11] und mit der Hand ein wenig einschrauben. Die Probenoberfläche bzw. der Holzplattentragkörper soll ca. 3 mm über den Rand der Form überstehen





AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1
April 2007

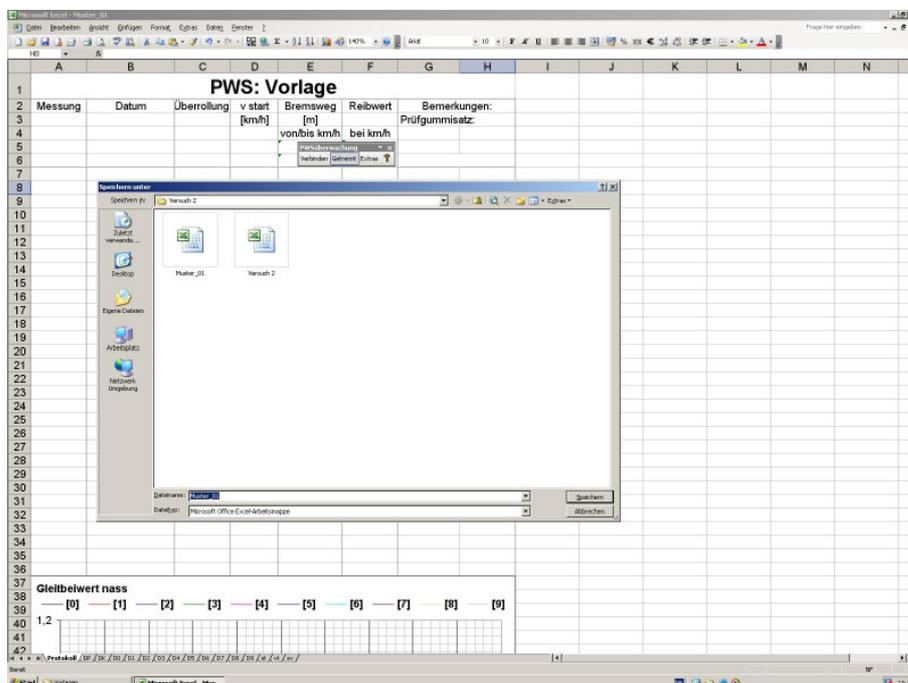
Seite 21 von 42

3 MASCHINE VORBEREITEN

Bevor mit der Prüfung begonnen werden kann sind die nachfolgenden Schritte, aufeinander folgend, durchzuführen.

3.1 PC Rechner hochfahren

Bevor die Prüfanlage mit dem Hauptschalter eingeschaltet wird, muss der Rechner hochgefahren, eine Excel-Vorlagentabelle – zu finden im Verzeichnis C:\Daten\PWS\Excel-Vorlagentabelle – geladen (Makros aktivieren, da ansonsten keine Verbindung mit der Prüfanlage hergestellt werden kann!) und unter neuem Dateinamen abgespeichert werden. Beispiel für den Dateinamen: 0629D_G184-02_070228 = Projektnummer_Materialcode-Plattennummer_Datum der Prüfung (im Format JJMMTT)





AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1
April 2007

Seite 22 von 42

3.2 Prüfanlage einschalten

Mit dem Hauptschalter wird die PWS-Anlage in Betrieb genommen. Nach dem Einschalten erscheint für ca. 3 s die Firmware-Information und nach ca. einer weiteren Minute, nachdem die Anlage eine Selbstüberprüfung durchgeführt hat, schaltet sich das Kühlaggregat ein.

3.3 Verbindung PC – PWS

Im Excel-Sheet ist mit der Menüleiste PWS- Überwachung eine Verbindung zwischen PC und Prüfanlage herzustellen. Dies passiert durch Klick auf „Verbinden“. Daraufhin öffnet sich das Messwerterfassungskernel „Freundl MEK.exe“ und ein Statusmonitor erscheint im Excel-Sheet.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	PWS: Vorlage										
2	Messung	Datum	Überrollung	v start [km/h]	Bremsweg [m]	Reibwert	Bemerkungen:				
3							Prüfgummisatz:				
4				von/bis km/h		bei km/h					
5				60		60					
6				5							

Einheit	Aktueller Messwert	Letzter gespeicherter Wert
Datum Uhrzeit	06.09.2006 13:23:10.000	
Zellindex	s : 0.000	
Stations-B-Stufe	:	10
Gesamt-Überrollungen	:	93621
Teil-Überrollungen	:	0.00
Drehzahl	1/min : 0.0	
Drehmoment	Nm : 39.913	
Temperatur	°C : 19.50	
Pumpleistung	% : 0	
Bahngeschwindigkeit	km/h : 0.00	
PWS-Reibwert	:	1.7386
Bahnlänge	m : 0.00	
Total Polieren	:	5343000
Total Prüfen	:	304
ds Düse	mm : 1.35	
externer Aufnehmer	ppm/4 : 1843.2	
Identifikation	:	1.3886



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 23 von 42

3.4 Drehmomentmessung

Zur Eigenüberwachung des Drehmomentaufnehmers (im Proben­tisch integriert) und der Messelektronik sind die folgenden Messwerte

- Null-Moment
- Test-Moment

nach jedem Einschalten zu überprüfen und im Testwertprotokoll (zu finden am Desktop) zu notieren. Der Proben­tisch ist dafür auf die Station Polieren zu bewegen und es sollte sich kein Probeneinsatz auf dem Proben­tisch befinden.

Zur Überprüfung des Null-Momentes ist zu warten bis sich das angezeigte Drehmoment nicht mehr ändert. Der jetzt als Drehmoment angezeigte Messwert in der ersten Zeile des Displays, ist die so genannte Null-Kraft des unbelasteten Aufnehmers. Dieser Wert ist im Testwertprotokoll mit Datum und Name zu notieren (siehe Abschnitt 6.1 Testwertprotokoll).

Wenn sich das Null-Moment bezogen auf den vorherigen Wert plötzlich erheblich ändert (± 2 Nm), ohne dass größere Schwankungen in der Umgebungstemperatur oder Veränderungen am Proben­tisch festgestellt werden, so kann dies ein Hinweis auf einen Fehler am Aufnehmer selbst oder an der Messelektronik sein. In diesem Fall ist die Firma Freundl zu kontaktieren.

Um das Test-Moment zu überprüfen, stellt man als erstes die Momentanzeige durch Auswahl der Funktion – Reset: **MOMENT** – im Menüpunkt STEUERUNG auf 0 (Auswahl von Menüfunktionen siehe Punkt 1.5.2 Display). Dabei erscheint in der ersten Zeile links des Displays die Meldung AUTONULL, welche nach ca. 15 Sekunden wieder verschwindet.

Danach ist die Testfunktion zu aktivieren (durch Auswahl von – M Test: **JA** – im Menüpunkt KONTROLLE), der Testwert in der Zeile oberhalb abzulesen und im Testwertprotokoll (siehe Abschnitt 6.1 Testwertprotokoll) zu notieren. Der Angezeigte Wert soll von dem Wert 47,308 Nm nicht mehr als $\pm 1,0$ % abweichen ansonsten ist von einem Fehler im Messwertaufnehmer auszugehen und es werden keine brauchbaren Ergebnisse erzielt.

M	00.000	Nm	← hier Testwert ablesen
M Test:	NEIN		← hier Testfunktion aktivieren
M Skal:	0.00	%	



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 24 von 42

3.5 Quarzmehlwasser

Es ist sicherzustellen, dass das Quarzmehl/Wassergemisch das vorgeschriebene Mischungsverhältnis aufweist und es zu keiner starken Verschmutzung durch Polierrollenabrieb und Gesteinskornverschleiß gekommen ist. Richtwert für das Wechseln des Quarzmehl/Wassergemisches sind 12 Poliervorgänge mit jeweils 90.000 Überrollungen (siehe Abschnitt 6 Kontrollprotokolle). Des Weiteren müssen alle Anschlüsse mit der Prüfmaschine fest verbunden sein. Der Quarzmehl/Wasserdurchfluss soll 5 l/min betragen, die entspricht einer eingestellten Pumpleistung von 47 %.

3.6 Prüfwasser

Der Wasserablauf ist auf Knickfreiheit hin zu überprüfen und der Wasserzulauf zu öffnen.

3.7 Druckluft

Der Kompressor muss einen Mindestdruck von 2 bar am Manometer aufweisen. Die Druckeinstellung an der Aufbereitungseinheit auf der Rückseite der Prüfanlage muss einen Druck zwischen 1,0...1,1 bar auf dem Manometer aufweisen.

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 25 von 42

3.8 Parameter in den Menüpunkten STEUERUNG, POLIEREN, PRÜFEN

Die Maschine speichert bei jedem Ausschalten die zuletzt benutzten Einstellungen. Deswegen sind die Solltemperaturen und die sonstigen eingestellten Parameter vor jeder Prüfung zu kontrollieren.

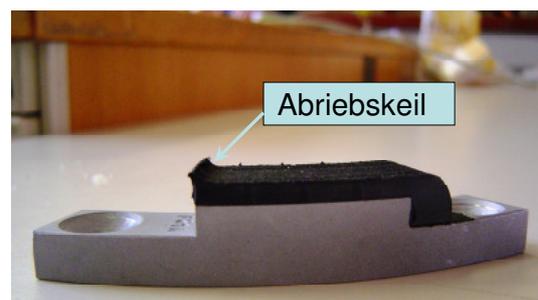
STEUERUNG			
Reset:	NEIN		
B-Stufe:	[0]		← ist für eine neue Probeplatte auf 0 zu stellen
N Gesamt:	00000	Rol	← ist für eine neue Probeplatte auf 0 zu stellen
POLIEREN			
Spülen:	NEIN		NEIN JA (zum Aktivieren des Spülprogramms)
t Spül:	000	s	120 Sekunden
N Soll:	00000	Rol	Einstellen der gewünschten Polierrollendrehzahl
n Spindel:	0000	1/min	100 1/min
q Quarzm.:	000	%	47 %
T Soll:	000	°C	Für das Polieren ist eine Temperatur von 20 °C empfohlen
PRUEFEN			
v Start:	000.0	km/h	100 km/h
q Wasser:	000	%	33,5 %
T Soll:	000	°C	Für das Prüfen ist eine Temperatur von 10 °C empfohlen

Steht der Probestisch auf der Polierstation wird vorrangig das Quarzmehlwasser gekühlt, steht der Tisch auf der Prüfstation wird vorrangig das Prüfwasser gekühlt.

3.9 Prüfgummiabnützung, -wechsel

Da bei mehrmaligem Prüfen von polierresistenten Sanden, wie zum Beispiel: Kersantit, Diabas, etc., die Prüfgummis sehr stark beansprucht und abgenutzt werden, ist eine optische Kontrolle der Prüfgummis vor Prüfungsbeginn durchzuführen.

In den bisher durchgeführten Versuchen hat sich herausgestellt, dass eine minimale Abnützung der Prüfgummis keinen Einfluss auf das Prüfergebnis hat. Eine minimale Abnützung bedeutet, dass die Prüfgummis eine etwas aufgeraute Oberfläche aufweisen, jedoch noch keinen deutlich zu erkennenden Abriebskeil besitzen.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 26 von 42

Aus den bisherigen Tests geht hervor, dass mit neuen Prüfgummis, der auf der Kontrollplatte vorgegebene Rahmen für den Reibbeiwert von 0,095...0,115 eingehalten wird. Allerdings verändert sich der Kontrollwert bereits nach einer Messung und pendelt im Bereich von 0,140... 0,155, ohne dass, die mit neuen oder benützten Prüf-gummis erzielten Ergebnisse, wesentlich voneinander abweichen.

Werden Prüfgummis ausgetauscht, so sind immer alle 3 zu wechseln. Es wird empfohlen für jede Gesteinsart einen eigenen Gummisatz zu verwenden.

Der verwendete Prüfgummisatz ist im Prüfprotokoll zu dokumentieren (eingeprägte Nummer) um später die Verwendung der Prüfgummis nachvollziehen zu können.

4 PRÜFUNGSABLAUF

Die Reihenfolge der einzelnen Verfahrensschritte wurde in Anlehnung an die RVS 11.06.23 wie folgt festgelegt:

- Probe einbauen
- Kalibrieren
- Prüfen
- Polieren (90.000 Überrollungen)
- Spülen
- Prüfen
- Kalibrieren
- Probe ausbauen

4.1 Probe einbauen

Siehe Abschnitt 2.3.2 Zusammenbau der Probenform

4.2 Kalibrieren

Da in die Bestimmung des Reibbeiwertes viele Faktoren eingehen (zum Beispiel Prüfwassertemperatur, Abnutzung der Messgummis, Auflast, Temperatur) ist vor jeder Messreihe eine Kontrolle durchzuführen um die zuverlässige Einhaltung der Randbedingungen zu dokumentieren.





AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1
April 2007

Seite 27 von 42

Dazu wird die Kontrollplatte, bestehend aus einer Glasoberfläche, auf die Prüfkörperform auf dem Proben Tisch geschraubt. Dieser muss sich für das Kalibrieren und das Prüfen auf der Prüfstation, mittig unter der Prüftraverse, befinden. Vergewissern, dass auf dem Display der Tischpositionsindikator die richtige Stellung anzeigt!

Achtung: Befindet sich eine Sandplatte auf der Prüfkörperform, ist diese vorher abzuschrauben.

Aufgrund der höheren Prüfposition erkennt die Steuerung die eingebaute Kontrollplatte automatisch und kennzeichnet die Messwerte entsprechend. Der Kalibrierablauf ist somit, bis auf das Einbauen der Kontrollplatte, mit dem Prüfablauf einheitlich.

4.3 Prüfen

Während des Prüfvorganges ist ständiger Sichtkontakt mit der Prüfeinrichtung zu halten um etwaige Fehler sofort zu erkennen und den Vorgang per Hand abbrechen zu können!

- Vergewissern, dass der Proben Tisch mittig unter der Prüftraverse steht und sich keine Gegenstände oder Anlagenteile im Fahrweg der Schutzverkleidung befinden und sie eventuell blockieren könnten.
- Mit der „↓“-Taste ist die Prüftraverse in die untere Endlage zu fahren.

Wird ohne automatischen Nullabgleich gearbeitet, Einstellung im Menüpunkt „Autonull: KEIN“, muss man während der Abwärtsfahrt kurz anhalten und im Menüpunkt „STEUERUNG“ in der Zeile „Reset:“ den Parameter „MOMENT“ auswählen, um die Drehmomentanzeige im lastfreien Zustand auf 0 einzustellen.

Sobald die Steuerung einen Kontakt mit der Prüfoberfläche erkennt, fährt die Prüftraverse wieder ein konstantes Stück nach oben. Dadurch wird ein reproduzierbarer Abstand zur Probe eingehalten. Während diesem Hochfahren ist ein „Surr-Geräusch“ hörbar. Ist diese Luftspaltfahrt beendet erscheint auf der Anzeige die Meldung „BEREIT“.

- Starten des Prüfvorganges mit der Taste „START“:
 - a) Die Prüfspindel mit den Messgummis wird pneumatisch angehoben

Wurde die Autonull-Funktion „HEBEN“ gewählt (voreingestellt), findet jetzt ein automatischer Nullabgleich statt, der etwa 15 Sekunden dauert.

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 28 von 42

- b) Bei langsamen Lauf des Antriebmotors wird die Prüfspindel eingekuppelt (Meldung: KUPPELN) und beginnt sich zu drehen. Gleichzeitig startet die Prüfwasserpumpe und läuft solange, bis die Prüfspindel vollständig eingekuppelt ist.

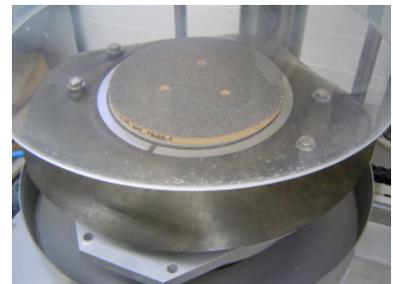
Tritt zu diesem Zeitpunkt KEIN Prüfwasser aus, muss die Messung sofort von Hand mit der Taste „STOP“ abgebrochen werden um den Fehler zu beheben, damit nicht später die Messgummis auf der trockenen Probe aufsetzen und beschädigt werden.

- c) Die Prüfspindel mit den Messgummis wird auf die eingestellte Anfangsgeschwindigkeit der Messung (100 km/h) beschleunigt.
- d) Kurz vor Erreichen der Anfangsgeschwindigkeit schaltet sich die Prüfwasserpumpe wieder ein.
- e) Mit Erreichen der Anfangsgeschwindigkeit werden die Messgummis pneumatisch auf die Probenoberfläche abgesenkt.
- f) Sobald die Messgummis zum Stillstand gekommen sind, schaltet sich die Prüfwasserpumpe aus und die Traverse fährt automatisch nach oben, um die Messgummis von der Probenoberfläche abzuheben.
- g) Danach ist zu warten bis die Software den Vorgang verarbeitet hat und es kann mit einer weiteren Prüfung begonnen oder zum Polieren übergegangen werden.

Wenn im Zustand „BEREIT“ für eine gewisse Zeit keine Prüfung gestartet wird, fährt die Traverse die Messgummis automatisch ein Stück nach oben auf Luftspalt.

4.4 Polieren

- Mit der Taste „↑“ alle Traversen in die obere Endlage fahren, den Verriegelungshebel ziehen und den Probentisch auf die Polierstation nach links schieben.
- Den Abdeckungsring bestehend aus Gummi mit den 4 Schrauben und Abdeckscheiben auf die Prüfkörperform montieren. Dadurch wird die Prüfkörperform weitgehend vor Verschmutzung durch Quarzmehl geschützt.
- Nochmalige Kontrolle der Parameter, insbesondere des Gesamtüberrollungszählers „N gesamt:“. Dieser muss für eine neue Probe auf  gestellt werden.





AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 29 von 42

- Vergewissern, dass der Probenstisch mittig unter der Prüftraverse steht und sich keine Gegenstände oder Anlagenteile im Fahrweg der Schutzverkleidung befinden und sie eventuell blockieren könnten.

Eine noch aufgesetzte Kontrollplatte wird in der Polierstation zerstört und kann den Polierkopf dauerhaft beschädigen!

- Mit der Taste „↓“ die Poliertraverse nach unten fahren, bis die Polierrollen auf der Probe aufsetzen und der Antrieb mit der Anzeige „BEREIT“ abschaltet.
- Starten des Poliervorganges mit der Taste „START“:
 - a) Zuerst startet das Rührwerk und mischt das Quarzmehlwasser für einige Minuten durch.
 - b) Dann läuft die Quarzmehlwasser-Pumpe für kurze Zeit mit voller Leistung, um eventuell leer gelaufene Leitungen schnell zu füllen. Gleichzeitig startet der Polierrollenantrieb und beschleunigt gleichmäßig auf die eingestellte Drehzahl. Die Quarzmehlwasser-Pumpe läuft mit der eingestellten Förderleistung.
- Mit der Taste „STOP“ kann der Poliervorgang unterbrochen und mit der Taste „START“ wieder fortgesetzt werden. Der Überrollungszähler wird solange angehalten.
- Nach Ablauf der eingestellten Überrollungen stoppt der Polierantrieb automatisch, die Quarzmehlwasser-Pumpe stoppt und die Poliertraverse fährt ein Stück nach oben.
- Danach ist zu warten bis die Software den Vorgang verarbeitet hat und die Poliertraverse ist mit der Taste „↑“ in die obere Endlage zu bringen.
- Der Gummiabdeckring ist abzunehmen und zu reinigen und es kann zum Spülen übergegangen werden.

Wenn im Zustand „BEREIT“ für eine gewisse Zeit kein Poliervorgang gestartet wird, fährt die Traverse die Polierrollen automatisch ein Stück nach oben auf Luftspalt.

Während des Poliervorganges genügt es, wenn man sich im Hörbereich der Maschine befindet.

Beachte: Eine Umdrehung des Polierkopfes bedeutet 3 Überrollungen und bei 500 Umdrehungen pro Minute dauern 90 000 Polierüberrollungen folglich 60 Minuten.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 30 von 42

4.5 Spülen

Das Spülen wird, wie das Polieren, auf der Polierstation durchgeführt. Es sind dafür nur folgende Parameter einzustellen:

POLIEREN	
Spülen:	JA
t Spül:	120 s

JA aktiviert das Spülprogramm
Spülzeit von 0...765 Schrittweite 1; 120 s haben sich als genügend erwiesen. Längere Spülzeiten müssen durch Wiederholung realisiert werden.

- Vergewissern, dass der Probenstisch mittig unter der Prüftraverse steht und sich keine Gegenstände oder Anlagenteile im Verfahrensweg der Schutzverkleidung befinden und sie eventuell blockieren könnten.
- Mit der Taste „↓“ die Poliertraverse nach unten fahren, bis die Polierrollen auf der Probe aufsetzen und der Antrieb mit der Anzeige „BEREIT“ abschaltet.
- Starten des Spülvorganges mit der Taste „START“
- Nach der eingestellten Spülzeit stoppt der Polierantrieb automatisch und die Poliertraverse ist mit der Taste „↑“ in die obere Endlage zu fahren.
- Danach kann zur neuerlichen Reibbeiwertbestimmung der Probenstisch auf die Prüfstation geschoben werden.

Die Spülüberrollungen werden ebenso wie die Polierüberrollungen im Überrollungszähler „N gesamt:“ erfasst.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1
April 2007

Seite 31 von 42

4.6 PC Rechner – PWS trennen

Ist die Versuchsdurchführung beendet, so ist mit der Menüleiste „PWS- Überwachung“ durch Klicken auf „Trennen“ die Verbindung zwischen PC Rechner und Prüfanlage zu trennen.

4.7 Probe ausbauen

Zum Ausbau der Probe sind die beiden Befestigungsschrauben zu lösen, die Stellschraube anzuziehen um die Adhäsion zu überwinden, die Grundplatte vom Probentisch wegzuheben und der Probentisch sofort sorgfältig zu reinigen.

Achtung: Die Stellschraube sofort wieder zurückdrehen, damit sie sich nicht im Gewinde verklemmt. Die Probenform immer nur auf einem Reinigungspapier ablegen. Nie auf verschmutzten Flächen!

Quarzmehlrückstände sind aus den Auffangblechen zu entfernen.

Der Quarzmehlwasser-Behälter darf nie längere Zeit unbefüllt sein, damit die Quarzmehlwasser-Pumpe nicht trocken stehen bleibt und festrostet!



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 32 von 42

5 AUSWERTUNG UND DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

Für die Benützung der Ergebnisse der Auswerte-Software und Variation der graphischen Darstellungen werden Excel-Kenntnisse vorausgesetzt.

5.1 Bestandteile der Excel Tabelle

Die Arbeitsmappe besteht aus folgenden Blättern:

Blattname	Beschreibung
Protokoll	Hier wird das druckbare Versuchsprotokoll dargestellt. Erläuterung nächster Abschnitt
DP	Messwerte der Station Polieren Spalte A Zeitpunkt der Messwerterfassung mit Datum und Uhrzeit Spalte B Zehnerstelle 0: Waschen, 1: Polieren, 2: Kontrollieren, 3: Prüfen Einerstelle Beanspruchungsstufe Spalte C Polierüberrollungen der Probe insgesamt Spalte D Spindelüberrollungen der laufenden Phase Spalte E Drehzahl in Umdrehungen pro Minute Spalte F Drehmoment in Nm Spalte G Temperatur in °C des Quarzmehls bzw. des Prüfwassers Spalte H Pumpleistung in % der Quarzmehl- bzw. Prüfwasserpumpe Spalte I Bahngeschwindigkeit der Prüfgummis in km/h Spalte J Reibbeiwert als dimensionslose Zahl μ Spalte K zurückgelegter Bahnweg in m Spalte L Gesamtpolierleistung der Anlage in Überrollungen (in 10.000er Schritten) Spalte M Gesamtprüfleistung der Anlage als Anzahl Prüfungen Spalte N Einstellwert für den Wasserdüsenabstand (s Luftsp.) in mm Spalte O Nullwert Drehmomentaufnehmer oder Auflast extern (nur für Service) Spalte P Identifikation der Prüfanlage Spalte Q Versuchsdauer in Sekunden ab Versuchsstart Spalte R Interpolierter Reibwert für Diagramme
DK	Messwerte der Station Prüfen auf einer Kontrollplatte (Spaltenaufteilung wie auf Blatt DP)
D0....D9	Messwerte der Station Prüfen auf Proben der Beanspruchungsstufen 0....9 (Spaltenaufteilung wie auf Blatt DP)
st	Diagramm Bremsweg über Zeit der Blätter D0....D9
vt	Diagramm Bahngeschwindigkeit über Zeit der Blätter D0....D9
sv	Diagramm Bremsweg über Bahngeschwindigkeit der Blätter D0....D9
Extras (unsichtbar)	Die interne Speicherung der versuchsabhängigen Einstellungen. Bearbeitung nur über den Menüpunkt "Extras".



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 33 von 42

Die Kurven der verschiedenen Beanspruchungsstufen werden in den Diagrammen farb-
big unterschieden.

5.2 Prüfprotokoll

Das Arbeitsblatt „Protokoll“ besteht aus der ersten Seite mit:

- Überschrift (kann beliebig verändert werden)
- Auswertung
- Gleitbeiwert-Diagramm

und einer zweiten Seite mit:

- Überschrift (kann beliebig verändert werden)
- Polier-Diagramm
- Kontroll-Diagramm

5.2.1 Auswertung

Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg	Reibwert	Bemerkungen:
				[m] von/bis km/h	bei km/h	
				60 5	60	
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	

Für jede Messung wird in dieser Tabelle automatisch eine Zeile berechnet und einge-
tragen:

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 34 von 42

Messung: KAL für Messungen auf der Kontrollplatte (wird automatisch erkannt), sonst die an der Maschine eingestellte Beanspruchungsstufe [X] und die laufende Nummer der Messung bei dieser Beanspruchungsstufe.

Datum: Zeitpunkt des Messbeginns

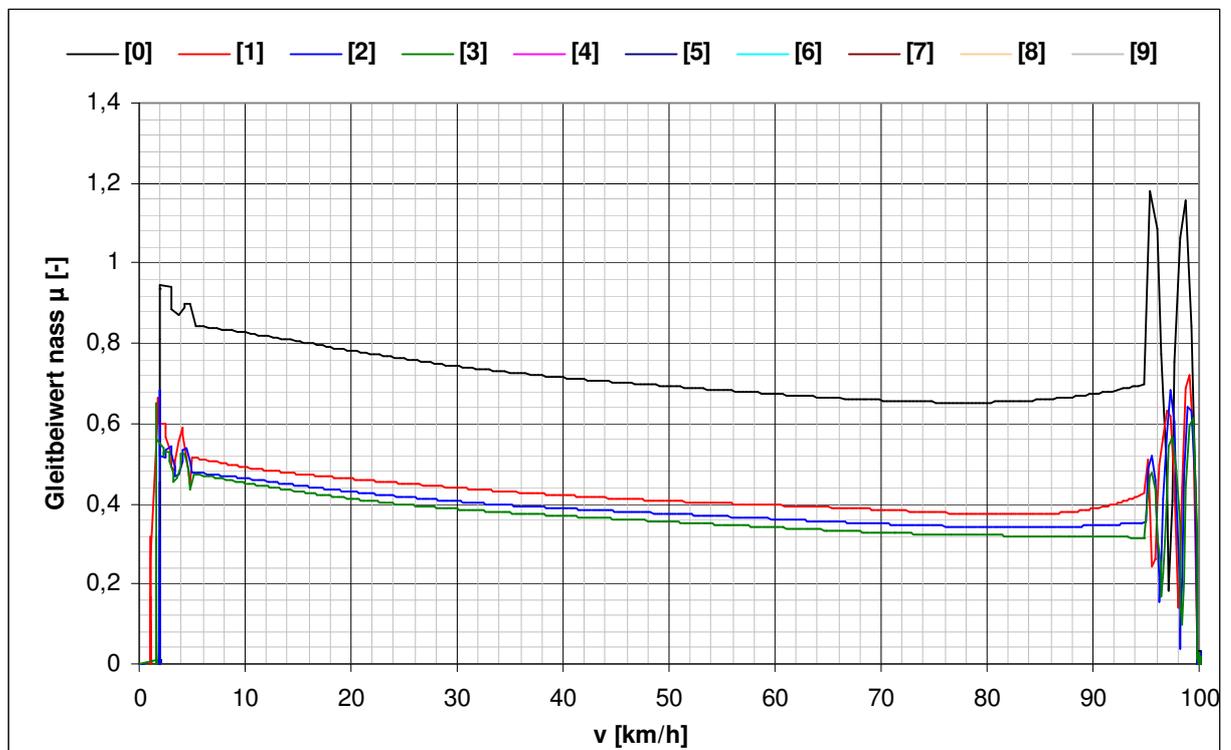
Überrollung: Zahl der bereits durchgeführten Polier-Überrollungen

v start: Auslösegeschwindigkeit der Prüfspindel

Bremsweg: Zurückgelegter Bremsweg bezogen auf den Bahnkreis der Messgummis zwischen den angegebenen Geschwindigkeiten. Die Bandbreite lässt sich variieren.

Reibbeiwert: Aus den geglätteten Messwerten (Polynom 6.Ordnung) wird bei der angegebenen Bahngeschwindigkeit der Reibbeiwert ermittelt. 60 km/h hat sich aus Untersuchungen der TU Berlin für sinnvoll ergeben.

5.2.2 Gleitbeiwert-Diagramm



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

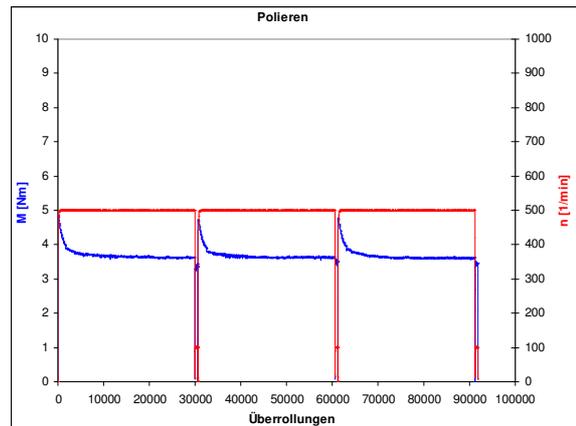
Seite 35 von 42

Für jede Messung – nicht aber für Kalibriermessungen – wird eine eigene Kurve in das Gleitbeiwert-Diagramm eingetragen. Die Farbe der Kurve ist in der Legende den Beanspruchungsstufen zugeordnet. Die Rohdaten, aus welchen die Kurven generiert werden, sind im jeweiligen Tabellenblatt der zugehörigen Beanspruchungsstufe, gespeichert. Bis auf die ersten und letzten 5 km/h wird die Messkurve als geglättetes Polynom 6. Ordnung dargestellt.

Die Beanspruchungsstufe wird an der Prüfanlage zur Unterscheidung der Messreihen eingestellt.

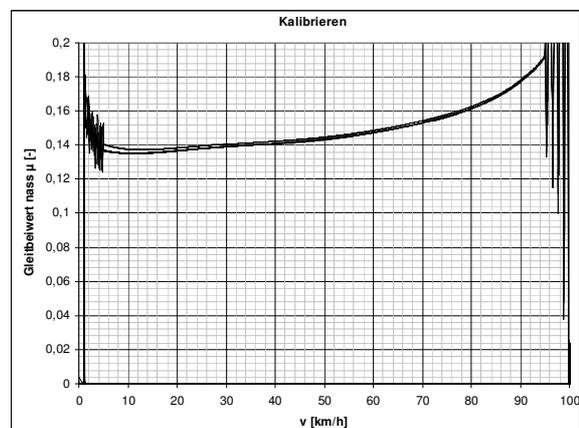
5.2.3 Polier-Diagramm

Vom Poliervorgang wird der Verlauf des gemessenen Drehmoments als blaue Kurve und der gemessenen Drehzahl als rote Kurve über der Überrollungszahl als Bezugsgröße in das Polier-Diagramm auf der zweiten Seite des Protokolls eingetragen.



5.2.4 Kontroll-Diagramm

Wird der Gleitbeiwert auf einem Versuchsaufbau gemessen, der höher als die normalen Proben ist, werden diese Messungen automatisch als Messungen auf einer Kontrollplatte erkannt und unabhängig von der eingestellten Beanspruchungsstufe im Kontroll-Diagramm auf der zweiten Seite des Protokolls dargestellt.





TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Technische Universität Wien

Labor des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 36 von 42

Für jede Probenplatte wird vor Beginn der Messungen eine Kalibrierprüfung durchgeführt. Dadurch kann der Einfluss der Abnutzung der Messgummis auf das Prüfergebnis festgestellt werden.

Details zur Prüfgummiabnutzung siehe Punkt 3.9 Prüfgummiabnutzung

Für weitere Details (einlesen von Binärdateien, Textdateien, etc) wird auf die Anleitung „Messdatenerfassungs-, Auswertungs- und Dokumentationssoftware für die Prüfanlage nach Wehner/Schulze“ der Firma Freundl verwiesen.

5.3 Messergebnis

Als Messwert gilt der Reibungskoeffizient bei 60 km/h. Das Prüfergebnis ist der Mittelwert aus den Messwerten von mindestens zwei Prüfkörpern und ist auf zwei Dezimalstellen anzugeben. Für eine ausreichende Messsicherheit wird die Prüfung von 3 Probekörpern empfohlen. Dies ist der Polierwert nach Wehner/Schulze PWS der geprüften Oberfläche.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

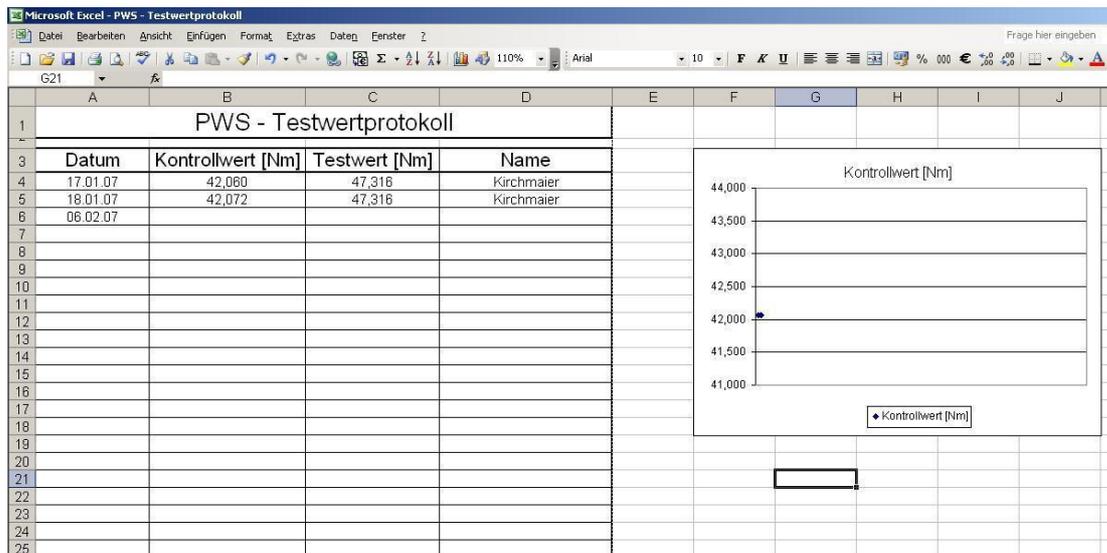
Ausgabe 1
April 2007

Seite 37 von 42

6 KONTROLLPROTOKOLLE

6.1 Testwertprotokoll

Das Testwertprotokoll ist über den Icon am Desktop des PCs aufrufbar und laut Abschnitt 3.4 Drehmomentmessung sind nach jedem Einschalten der Maschine der Kontroll- und Testwert mit Datum und Name einzutragen. Das Diagramm stellt eine Messkarte dar, dient der Erkennung eines Trends der Zunahme des Kontrollwertes und wird automatisch aktualisiert.



6.2 Prüfgummiprotokoll

Das Prüfgummiprotokoll ist über den Icon am Desktop des PCs aufrufbar. Darin werden für jeden Prüfgummisatz das untersuchte Gestein, die Fraktion und die Anzahl der durchgeführten Messungen sowie der dazugehörige Kalibrierwert notiert. Dies dient dazu um Erfahrungen über den Verbrauch bzw. die Abnutzung der Prüfgummis zu sammeln um für spätere Versuchsdurchführungen eine Abschätzung der Lebensdauer tätigen zu können.



AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1
April 2007

Seite 38 von 42

Bisherige Ergebnisse haben gezeigt, dass ein Kalibrierwert um $\mu = 0,150$ für Messungen zulässig ist solange die Prüfgummis keine stark ausgeprägten Abriebskeile (siehe Abschnitt 3.9 Prüfgummiabnutzung) aufweisen.

Prüfgummi Verwendungsprotokoll (bezogen auf 90.000 Polierüberrollungen pro Messung)																			
Prüfgummi satz Nr.	Kalibrierwert (KW) Neu	verwendetes Gestein			durchgeführte Messungen			durchgeführte Messungen			durchgeführte Messungen			Seite Mes- sungen					
		Code	Bezeichnung	Fraktion	Anzahl	Datum	KW	Anzahl	Datum	KW	Anzahl	Datum	KW						
5	F12A	0,108	G195	Diabas	0,2/0,4	1	17.11.06	0,108	1	21.11.06	0,151	1	22.11.06	0,155	1	24.11.06	0,147	6	
6						1	24.11.06	0,143	1	24.11.06	0,141								
8	F12B	0,112	G197	Kalkstein	0,2/0,4	1	17.11.06	0,112	1	21.11.06	0,140	1	22.11.06	0,144	1	05.12.06	0,143	6	
9						1	06.12.06	0,133	1	06.12.06	0,129								
11	F25C	0,103	G191	Granulit	0,2/0,4	1	07.12.06	0,103	1	07.12.06	0,130	1	11.12.06	0,138					3
14	F25B	0,105	G196	Diabas	0,4/0,63	1	11.12.06	0,106	1	11.12.06	0,143	1	11.12.06	0,142					3
17	F25A	0,106	G188	Kalkstein	0,4/0,63	1	12.12.06	0,107	1	12.12.06	0,125	1	12.12.06	0,123					3
20	F24Z	0,104	G192	Granulit	0,4/0,63	1	12.12.06	0,104	1	27.12.06	0,146	1	27.12.06	0,145					3
23	F24Y	0,106	G189	Kalkstein	0,63/1,0	1	27.12.06	0,106	1	27.12.06	0,131	1	28.12.06	0,131	1	17.01.07	0,137		4
26	F24K	0,106	G197	Diabas	0,63/1,0	1	28.12.06	0,106	1	28.12.06	0,141	1	28.12.06	0,146	1	18.01.07	0,146		4
29	F24W	0,105	G193	Granulit	0,63/1,0	1	28.12.06	0,105	1	28.12.06	0,148	1	29.12.06	0,153					3
32	F24V	0,104	G198	Diabas	1,0/2,0	1	29.12.06	0,104	1	29.12.06	0,158	1	29.12.06	0,157					3
35	F24U	0,106	G194	Granulit	1,0/2,0	1	29.12.06	0,106	1	29.12.06	0,161	1	02.01.07	0,150					4
38	F24T	0,106	G190	Kalkstein	1,0/2,0	1	02.01.07	0,106	1	02.01.07	0,137	1	02.01.07	0,147					4
41	F24S	0,108	G190	Kalkstein	1,0/2,0	1	17.01.07	0,108											4



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Technische Universität Wien

Labor des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung

AA 221

Gesteinsprüfung
Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden mit dem Prüfgerät nach
Wehner/Schulze (PWS)

Ausgabe 1

April 2007

Seite 40 von 42

7 MITGELTENDE UNTERLAGEN UND NORMEN

RVS 11.06.23, 1. Oktober 2005

8 VERTEILER

QMH

AGL

9 BEILAGEN

Formblätter:

F 221-1 Prüfprotokoll

F 221-2 Prüfbericht



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Labor des
Instituts für Straßenbau & Straßenerhaltung
Technische Universität Wien
Gußhausstraße 28/E233
1040 WIEN
Tel.: +43-1-58801-23301
Fax: +43-1-58801-23399

F221-1

**Prüfprotokoll: Bestimmung des
Polierwiderstandes von Sanden**

**Ausgabe 1
Seite 1 von 1**

Auftraggeber:
Datum:
Projekt:
Projektleiter:
Sachbearbeiter:
Arbeitsanweisung:
Datenfile Name:

AA221 gemäß RVS 11.06.23, Ausgabe 1. Oktober 2005

Maschinen- und Probedaten

Prüfmaschine:	Wehner/Schulze (PWS)		
Probeneingangsnr.:			Probenart:
Probenherkunft:			Prüfkörnung:
Herstellungsdatum der Probekörper:			Prüfgummisatz:

Versuchsparameter

Prüfwassertemperatur:	°C	Anzahl der Poliervorgänge je Probe:
Polierwassertemperatur:	°C	Anzahl Überrollungen (ÜR) je Vorgang:

Prüfergebnisse

	Probekörpercode			
	Kalibrierwert:			
Prüfwert nach:	ÜR			

Fehlermeldungen

--

Anmerkungen

--



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Labor des
Instituts für Straßenbau & Straßenerhaltung
Technische Universität Wien
Gußhausstraße 28/E233
1040 WIEN
Tel.: +43-1-58801-23301
Fax: +43-1-58801-23399

**Prüfbericht: Bestimmung des Polierwiderstandes
von Sanden**

**F221-2
Seite 1 von 1**

Auftraggeber:	0
Datum:	00.01.1900
Projekt:	0
Projektleiter:	0
Sachbearbeiter:	0
Norm:	AA221 gemäß RVS 11.06.23, Ausgabe 1. Oktober 2005
Datenfile Name:	0

Maschinen- und Probedaten

Prüfmaschine:	Wehner/Schulze (PWS)		
Probeneingangsnr.:	0	Probenart:	0
Probenherkunft:	0	Prüfkörnung:	0
Herstellungsdatum der Probekörper:	00.01.1900		

Versuchsparameter

Prüfwassertemperatur:	0 °C	Anzahl der Poliervorgänge je Probe:	0
Polierwassertemperatur:	0 °C	Anzahl Überrollungen (ÜR) je Vorgang:	0

Prüfergebnisse

	Probekörpercode	0	0	0
Prüfwert nach:	Kalibrierwert:	0,000 [-]	0,000 [-]	0,000 [-]
	0 ÜR	0,000 [-]	0,000 [-]	0,000 [-]

PWS_{Sand}: 0,000 [-]

Anmerkungen: