



Forschungspaket "POLIGRIP – Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit von Deckschichten – Initialprojekt

**POLIGRIP – Influence de la résistance au polissage des
granulats sur la qualité antidérapante des couches de
roulements – Projet initial**

**Poligrip - Influence of polishing of aggregates on the grip
of road surface - initial project**

IMP Baute AG
Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH.
Philip Bürgisser, Dr. rer. nat., dipl. Erdw.

**Forschungsprojekt VSS 2011/401 auf Antrag des Verbandes der
Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Forschungspaket POLIGRIP" - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit von Deckschichten - Initialprojekt.

**POLIGRIP – Influence de la résistance au polissage des
granulats sur la qualité antidérapante des couches de
roulements – Projet initial**

**POLIGRIP - Influence of polishing of aggregates on the
grip of road surface - initial project**

IMP Baute AG
Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH.
Philip Bürgisser, Dr. rer. nat., dipl. Erdw.

**Forschungsprojekt VSS 2011/401 auf Antrag des Verbandes der
Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH

Philip Bürgisser, Dr. rer. nat., dipl. Erdw.

Federführende Fachkommission

Fachkommission 4: Baustoffe

Begleitkommission

Präsident

Hammerschlag, Jean-Gabriel

Mitglieder

Beyeler, Hans-Peter

Seiler, Luzia

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	8
Summary	9
 1 Einleitung	 11
1.1 Zum Initialprojekt	11
1.2 Zielsetzung, Zweck und Auftrag des Initialprojekts	11
 2 Initialprojekt	 12
2.1 Vorgehensweise	12
2.2 Ausgangslage	12
2.3 Prüftechnik	14
 3 Sachstandbericht	 15
3.1 Grundlagen der Griffigkeit	15
3.1.1 Der Einfluss des Sandes auf die Griffigkeit	19
3.1.2 Einfluss der Witterung auf die Griffigkeit des Deckbelages	20
3.1.3 Einfluss der Mineralogie auf die Griffigkeit	21
3.1.4 Einfluss des Alters und der Verkehrsbelastung auf die Griffigkeit einer Deckschicht	24
3.2 Verfahren zur Bestimmung der Polierresistenz	25
3.2.1 Die Bestimmung der Polierresistenz mittels PSV	25
3.2.2 Bestimmung der Polierresistenz mit dem Wehner- Schulze-Verfahren	27
3.2.3 Bestimmung der Polierresistenz mit dem Wehner-Schulze-Verfahren	36
3.2.4 Das Erfurter Griffigkeitsprognoseverfahren EPGV	38
3.2.5 Das Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM)	39
3.2.6 Methode zur Untersuchung des Einflusses der Witterung auf die Griffigkeit	41
3.3 Verfahren zur Bestimmung der Polierresistenz	43
 4 Forschungsbedarf	 45
4.1 Mögliche Forschungsziele	45
 5 Definition der Einzelprojekte (EP)	 47
5.1 EP0: Projektleitung	47
5.2 EP1: Optimierung des Prüfverfahrens FAP	47
5.2.1 Ausgangslage	47
5.2.2 Ziele des EP1	48
5.2.3 Erwartete Resultate	48
5.2.4 Kostenrahmen	48
5.3 EP2: Anforderungen an die Polierbarkeit von Gesteinskörnungen für Deckschichten	49
5.3.1 Ausgangslage	49
5.3.2 Ziele des EP2	49
5.3.3 Erwartete Resultate	49
5.3.4 Ziele des EP2	49
5.4 EP3: Der Einfluss der Petrographie und Mikrostruktur auf die Polierbarkeit von Gesteinskörnungen für den Strassenbau	50
5.4.1 Ausgangslage	50
5.4.2 Ziele des EP3	50
5.4.3 Erwartete Ergebnisse	50
5.4.4 Kostenrahmen	50
5.5 EP4: Prognose der Griffigkeit von Deckschichten	51
5.5.1 Kostenrahmen	51
5.5.2 Ziele des EP4	51
5.5.3 Erwartete Ergebnisse	51
5.5.4 Kostenrahmen	52

5.6	EP5: Optimierung der Mischgutrezeptur hinsichtlich der Griffigkeit	52
5.6.1	Ausgangslage	52
5.6.2	Ziele des EP5.....	52
5.6.3	Erwartete Ergebnisse.....	52
5.6.4	Kostenrahmen.....	53
5.7	EP6: Einfluss der Polierbarkeit auf die akustischen Eigenschaften	53
5.7.1	Ausgangslage	53
5.7.2	Ziele des EP6.....	53
5.7.3	Erwartete Ergebnisse.....	53
5.7.4	Kostenrahmen.....	54
5.8	EP7: Der Einfluss der Witterung auf die Griffigkeitsentwicklung	54
5.8.1	Ausgangslage	54
5.8.2	Ziele des EP7.....	55
5.8.3	Erwartete Ergebnisse.....	55
5.8.4	Kostenrahmen.....	55
6	Kurzzusammenfassung und Nutzen der abgeschlossenen Forschung für das Forschungspaket	56
7	Abhängigkeiten der EP's.....	59
	Anhänge.....	63
	Abkürzungen	67
	Literaturverzeichnis.....	69
	Projektabschluss	71
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	74

Zusammenfassung

Die Eigenschaft von Gesteinskörnungen hinsichtlich ihrer Polierbarkeit durch den Verkehr hat eine hohe sicherheitstechnische Relevanz. Polierte Oberflächen weisen eine schlechtere Griffigkeit auf und beeinflussen somit das Unfallgeschehen negativ.

Bis heute wird in der Schweiz die Polierbarkeit mit dem Polished Stone Verfahren (PSV) untersucht. Diese Prüfung wird, repräsentativ für die Herkunft einer Gesteinskörnung, an einer einzigen Korngrösse bestimmt. Aus der Prüfung der Polierbarkeit einer einzelnen Korngrösse wird – mangels besserem Verfahren – eine Aussage über die Griffigkeit eines Strassenbelages erwartet. Dass diese Herleitung bei weitem nicht in allen Fällen zutrifft, ist auf die Vielzahl der Nachteile der PSV-Methode zurück zu führen.

Der vorliegende Bericht zum Initialprojekt umfasst einen Sachstandbericht in welchem der heutige Stand des Wissens dargelegt wird. Dieser Bericht wurde aufgrund einer umfassenden Literaturstudie zum Thema einerseits, sowie auf der Basis vieler Gespräche mit Experten aus europäischen Ländern andererseits verfasst. Die Teilnahme an diversen Workshops sowie die Einsitznahme in einen Arbeitskreis der deutschen Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen FGSV ermöglichten es in direkten Gesprächen einzelne Themen zu vertiefen.

Der Sachstandbericht legt dar, dass zurzeit ein bedeutender Forschungsbedarf besteht und gruppiert die offenen Fragen in drei Hauptgebiete:

- Prüftechnik
- Anforderungen
- Basiswissen

Die möglichen Forschungsfelder wurden aus diesen offenen Fragen abgeleitet und in einem Forschungspaket mit insgesamt 8 Einzelprojekten beschrieben. Für jedes Einzelprojekt wurde ein Kostenrahmen geschätzt und das Pflichtenheft derart festgelegt, dass es zur Ausschreibung der Arbeiten verwendet werden kann. Zudem wurden die Abhängigkeiten zwischen den Einzelprojekten und der Informationsfluss beschrieben

EP0 Projektleitung:	Führung und Controlling des Forschungspaketes
EP1 Prüfverfahren:	Präzisierungen zum Verfahren und dessen Kalibrierung
EP2 Anforderungen:	Grundlagen für die Festlegung von Anforderungen
EP3 Petrographie:	Einfluss von Petrographie und Mineralogie auf das Polieren
EP4 Prognose:	Griffigkeitsprognose im Labor; Validierung und Anforderungen
EP5 Mixdesign:	Optimierung der Mischgutrezepte hinsichtlich der Griffigkeit
EP6 Akustik:	Beeinflusst der Polierwiderstand die akustischen Eigenschaften?
EP7 Witterung:	Witterungseinflüsse auf die Entwicklung der Griffigkeit

Der Bericht zum Initialprojekt bildet eine Momentaufnahme zum Stand der europäischen Arbeiten in einem sich rasch entwickelnden Fachgebiet ab. Falls der Wille besteht, die dargelegten Arbeiten in Angriff zu nehmen, sollte dies möglichst bald erfolgen.

Résumé

La résistance au polissage des granulats sous l'influence du trafic est d'une importance majeure par rapport à la sécurité des usagers. Des surfaces de grains polies diminuent la qualité antidérapante et ont un impact négatif sur le risque d'accident.

Jusqu'à présent, la résistance au polissage des granulats est déterminée en Suisse par la méthode du Polished Stone Value (PSV). L'essai est effectué sur une classe granulaire, qu'on considère représentative pour tous les granulats du même gisement. Faute de mieux, on s'attend à une évaluation de la qualité antidérapante d'une chaussée sur la base de la résistance au polissage d'une seule classe granulaire. De par les nombreux inconvénients de la méthode PSV, cette évaluation est loin d'être correcte dans tous le cas.

Ce rapport du projet de recherche initial présente l'état actuel des connaissances. Le rapport se base d'une part sur une étude approfondie de la littérature technique concernée et d'autre part sur de nombreuses discussions avec des experts des pays européens. La participation à divers séminaires ainsi qu'aux séances du groupe de travail allemand de la Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen FGSV, a permis de discuter et d'approfondir certains sujets en direct.

Ce rapport sur l'état actuel des connaissances met en évidence un besoin important d'approfondir la recherche et regroupe les questions ouvertes en trois catégories :

- Méthode d'essai
- Exigences
- Connaissance de base

A partir des questions ouvertes, les domaines de recherche potentiels ont été déduits et décrits dans un paquet de recherche regroupant 8 projets individuels. Pour chaque projet de recherche, une estimation des coûts ainsi qu'un cahier des charges ont été définis, de sorte à pouvoir les utiliser pour établir un appel d'offre pour ces travaux. De plus, les dépendances et flux d'information entre les divers projets individuels ont été décrits

EP0 Direction du projet	Direction et controlling du paquet de recherche
EP1 Méthode d'essai	Précision sur la méthode et sa calibration
EP2 Exigences	Bases pour la détermination des exigences
EP3 Pétrographie	Influence de la pétrographie et minéralogie sur le polissage
EP4 Prévision	Prévision de la qualité antidérapante sur la base d'essais au laboratoire, validation et exigences
EP5 Mix design	Optimisation des recettes d'enrobé par rapport à la qualité antidérapante
EP6 Acoustique	Influence de la résistance au polissage sur les propriétés acoustiques?
EP7 Conditions météo	Influences des conditions météorologiques sur l'évolution de la qualité antidérapante

Ce rapport du projet initial présente l'état actuel des connaissances et des travaux au niveau européen dans un domaine qui évolue rapidement. En cas de volonté de progresser dans ce domaine, les travaux de recherche présentés devraient commencer rapidement.

Summary

The properties of aggregates have a profound influence on road safety. As cars roll on the street they polish the stones and so change the properties of road grip with time. Polished surfaces however have a lower grip and therefore influence the accident probabilities negatively.

In Switzerland the polishing properties of aggregates are determined with the Polished Stone Value Method (PSV). The PSV – test is carried out on a single grain size fraction of the conglomerate. From the test of this one grain size the grip of the pavement is determined. However this test is not really a reliable measure to represent the behaviour of the whole aggregate. Unfortunately there is no other procedure to predict how the grip of the road develops. This inability to predict the development of the grip is dissatisfying as it is an important factor for accident prevention. The reason that the test does not represent reality can be found in the many drawbacks of the PSV – test. That are e.g. ...xxx

This progress report of the initial project includes the latest developments in the field. The state of the art report is based on a wide literature study and discussions with experts from multiple European countries at meetings, conferences and workshops. Additionally the participation in the work group of the German Forschungsgesellschaft für Strasse und Verkehr (FGSV) about "polishing resistance and polish tests" made it possible to discuss some topics in depth.

The reports lead to the conclusion that it is necessary to conduct further studies. The main focus of those studies would be

- Lab and test engineering
- Requirements
- Basic knowledge

Possible fields of research were developed from those open questions and were divided into a total of eight different projects. For each of these projects expenses were estimated and specifications were defined. Additionally the dependencies between the projects and therefore necessary information flow were defined. Based on the specifications eight projects were advertised

EP0 Project management:	Leading and controlling of the research topics
EP1 test method:	Specification and calibration of the method
EP2 requirements:	Fundamental principles for the definition of requirements
EP3 petrography:	Influence of petrography and mineralogy on polishing characteristics
EP4 prediction:	Prediction of the skid resistance validation and requirements
EP5 mix design:	Optimization of asphalt mixtures regarding grip improvement
EP6 acoustics:	Determination of the possible influence of the grip on the acoustics
EP7 weathering:	Influence of weathering on the skid resistance

The report on the initial project is a snapshot of the work in Europe in a fast developing field. If the project is initialized it should happen as fast as possible.

1 Einleitung

1.1 Zum Initialprojekt

Die Eigenschaft von Gesteinskörnungen hinsichtlich ihrer Polierbarkeit durch den Verkehr hat eine hohe sicherheitstechnische Relevanz. Polierte Oberflächen weisen eine schlechtere Griffigkeit auf und beeinflussen somit das Unfallgeschehen negativ.

Bis heute wird in der Schweiz die Polierbarkeit mit dem Polished Stone Verfahren (PSV) gemäss SN EN 13043 [1] untersucht. Diese Prüfung wird, repräsentativ für die Herkunft einer Gesteinskörnung, an einer einzigen Korngrösse bestimmt. Dabei wird die normierte Korngrösse 8/11 im Labor derart eingegrenzt, dass sie weder handelsübliche Unter – noch Überkorn enthält.

Aus der Prüfung der Polierbarkeit (PSV) einer einzelnen Korngrösse wird – mangels besserem Verfahren – eine Aussage über die Griffigkeit eines Strassenbelages erwartet. Dass diese Herleitung bei weitem nicht in allen Fällen zutrifft, ist auf die Vielzahl der Nachteile der PSV-Methode zurück zu führen:

- Beurteilung des Splittkornes 8/11; keine Berücksichtigung des für die Griffigkeit sehr wichtigen Sandes; keine normierte Möglichkeit bei einer Deckschicht mit Grösstkorn 8 mm (AC MR 8 etc.) die Gesteinskörnungen zu prüfen.
- Wiederholbarkeit des Verfahrens unbefriedigend. Die Unsicherheit bezüglich der Aussagekraft des Prüfverfahrens wird in Zukunft noch schlechter werden, da das seit Jahrzehnten verwendete Referenz-Gestein nicht mehr erhältlich ist.
- Keine Berücksichtigung anderer wichtiger Parameter wie Korngrössenverteilung, Bindemittelgehalt, Eigenschaften des Bindemittels, Kantigkeit der Gesteinskörnungen etc.

In Deutschland wurde das WS-Verfahren (Wehner/Schulze) in den 1960er Jahren [2] entwickelt mit welchem der gesamte Belag – anstelle einzelner Komponenten – erfasst wird. Diese Arbeiten fanden internationale, grosse Beachtung. Innerhalb der europäischen Normierung CEN arbeitet die entsprechende Kommission WG 1 „Bituminous Mixtures“; des TC 227 zurzeit an einer entsprechenden Euro-Norm (12697-40) [3]. In Europa sind mittlerweile ca. 15 Geräte in verschiedenen Ländern im Einsatz (De, F, GB, NL). Die Prüfmethode hat auch in Übersee Anklang gefunden [37].

Inwiefern die Wehner/Schulze -Methode auch in der Schweiz eingeführt werden soll, ist abzuklären; es sind die bei einer allfälligen Einführung zu beachtenden Randbedingungen festzulegen.

Zudem werden im Rahmen des Sachstandsberichtes weitere in Frage kommende Prüfungen aufgelistet und evaluiert.

1.2 Zielsetzung, Zweck und Auftrag des Initialprojekts

Der vorliegende Bericht zum Initialprojekt soll einerseits mit einem Sachstandsbericht den heutigen Stand des Wissens darlegen und andererseits als Entscheidungsgrundlage für die Durchführung des geplanten Forschungspaket dienen.

Das Forschungspaket ist schlüssig und detailliert derart zu beschreiben, dass dessen Umsetzung erfolgen kann. Die wesentlichen Elemente der Einzelprojekte (EP) sind zu definieren. Die Abgrenzung der EP sowie deren Abhängigkeiten werden dargelegt. Der Bericht zum Initialprojekt will die gesamte Planung des Forschungspaketes umfassen, Inklusiv dem zeitlichen Ablauf und den Budgetierungen.

2 Initialprojekt

2.1 Vorgehensweise

Schritt 1:

In einem ersten Schritt wird in einem Sachstandbericht der diesbezügliche aktuelle Stand des Wissens aufgearbeitet und zusammengefasst. Daraus werden Probleme und offene Fragen identifiziert.

Schritt 2:

Anschliessend sind Interviews mit den aktivsten europäischen Forschern auf diesem Gebiet vorgesehen. Dabei wird es darum gehen den Sachstandbericht zu hinterfragen und gleichzeitig auch die aktuellsten, noch nicht publizierten Kenntnisse in Erfahrung zu bringen. Diese Interviews sollen auch diejenigen offenen Punkte in Erfahrung bringen, welche zurzeit in nationalen und internationalen Forschungsprojekten bearbeitet werden. Dadurch können Doppelspurigkeiten vermieden werden. Nach den Interviews werden die im Schritt 1 erkannten Probleme hinterfragt und definitiv festgelegt.

Schritt 3:

In diesem letzten Schritt geht es darum, die erkannten Probleme in Einzelprojekte zu fassen. Diese Einzelprojekte werden festgelegt, deren finanzieller Rahmen sowie die Abgrenzungen zueinander beschrieben.

Aufgrund des heutigen Wissenstandes stehen folgende Themen im Vordergrund: Ebenfalls werden die zeitkritischen Verbindungen zwischen den Einzelprojekten evaluiert. Zum Schluss werden die Ausschreibungstexte und die Pflichtenhefte für die Submission der Einzelprojekte erarbeitet.

Erwartete Resultate, Nutzen der Forschungsarbeit und Nutzniesser

Vom Initialprojekt werden folgende Ergebnisse erwartet:

- Festlegung der Einzelprojekte bezüglich deren Inhalt, finanziellem Umfang sowie zeitlichem Ablauf
- Abgrenzungen zwischen den Einzelprojekten festlegen
- Evaluation der zeitkritischen Verbindungen zwischen den Einzelprojekten
- Ausschreibungstexte für die Submission der Einzelprojekte
- Vorschlag für die Zusammensetzung der Begleitkommission

Nutzniesser des späteren Forschungspaketes sind primär die Bauherren und die Verkehrsteilnehmer. Diese praxisorientierte Forschung steht einerseits im Dienste der Verkehrssicherheit, indem sie einen Beitrag zu griffigeren Strassen leistet, andererseits im Dienste des Umweltschutzes, indem sie einen Beitrag zum Thema lärmarmen Beläge leistet. Für Produzenten von Gesteinskörnungen und Mischgut trägt eine Klärung der Anforderungen bezüglich der Polierbarkeit zur Planungssicherheit bei, indem sie ihre Ressourcen (Kiesvorkommen, Steinbrüche) gezielter nutzen können.

2.2 Ausgangslage

In der Schweiz existiert zurzeit noch kein normiertes Prüfverfahren, welches die zeitabhängige Veränderung der Griffigkeit eines Deckbelages beschreibt. Des Weiteren existiert auch kein normiertes Prüfverfahren, welches Auskunft über die Polierresistenz einer Gesteinskörnung < 8 mm geben kann. Unter der Polierresistenz wird der Widerstand einer Gesteinskörnung gegenüber einer Poliereinwirkung verstanden. Je kleiner die Poliereinwirkung auf einer Gesteinskörnung ist, desto höher ist ihre Polierresistenz (siehe Abbildung 2.1).

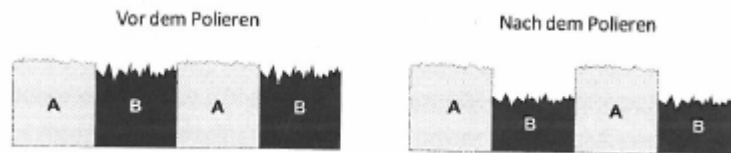


Abb. 2.1 Gesteinskörnung mit hohem Polierwiderstand,

B: Gesteinskörnung mit geringem Polierwiderstand

Die Eigenschaft von Gesteinskörnungen hinsichtlich ihrer Polierbarkeit durch den Verkehr hat eine hohe sicherheitstechnische Relevanz. Polierte Oberflächen weisen eine schlechtere Griffigkeit auf und beeinflussen somit das Unfallgeschehen negativ.

Mit dem bis jetzt in der Schweiz verwendeten Prüfverfahren (PSV-Methode) kann nur eine Aussage über die Polierresistenz der Korngrößen 8 – 11 mm gemacht werden, somit ist es auch nicht möglich die Griffigkeit eines Deckbelages zu ermitteln. Des Weiteren ist es mit diesem Prüfverfahren nicht möglich eine Griffigkeitsprognose für einen Deckbelag zu erstellen.

In Deutschland wurde schon Mitte der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts das WS-Verfahren (Wehner/Schulze) entwickelt mit welchem die gesamte Oberfläche eines Strassenbelages – anstelle einzelner Komponenten – erfasst wird. Diese Arbeiten fanden internationale, grosse Beachtung.

Anforderungen an die Polierbarkeit

Die heutigen Anforderungen an den PSV-Wert sind unbefriedigend, da sie nur einen Teil der Aspekte (Splitt 8/11) der Griffigkeitsproblematik abdecken. Die Unzulänglichkeiten des Prüfverfahrens gelten auch für die Anforderungen, wobei hier die relativ grosse aufgrund des Prüfverfahrens zu akzeptierenden Abweichung zwischen den Prüfstellen zu erwähnen ist.

Die Anforderungen an die Polierbarkeit – charakterisiert durch den PSV-Wert - wurde im Ausland aufgrund von Unfällen für gewisse Deckschichten (offenporige Beläge; PA, SMA, etc.) angehoben. Zudem wird auf der Basis grundsätzlicher Betrachtungen von einer besseren Polierbarkeit auch eine bessere akustische Dauerhaftigkeit erwartet [4].

Auch in der Schweiz hat das ASTRA für einzelne Deckschichten (AC MR 8) die in der Norm festgelegte Anforderung an den PSV-Wert von > 50 auf > 54 angehoben. Dies hat zu heftigen Reaktionen derjenigen Lieferanten geführt, welche die erhöhte Anforderung nicht mehr erfüllten. Die Erhöhung der Anforderungen war im Sinne der Vorsorge eine richtige Massnahme, obwohl nicht alle Fragen geklärt waren. Es besteht ein dringendes Bedürfnis Klarheit zu schaffen.

Einfluss der materialspezifischen Eigenschaften auf die Polierbarkeit

Der Einfluss der mineralogischen Zusammensetzung (Petrographie), der Mikrostruktur und der Korngrösse einer Gesteinskörnung auf deren Polierbarkeit sind zu wenig bekannt. Es fehlen grundlegende mineralogische Kenntnisse über den Poliervorgang einer Gesteinskörnung unter Verkehr. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Beschreibung des Verhaltens verschiedener Gesteinskörnungen, die sich in der Petrographie und Mikrostruktur unterscheiden, grundlegende Entscheidungshilfen zur Auswahl von Gesteinskörnungen liefern kann.

Prognose der Griffigkeit von Strassenbelägen

Das Bedürfnis die Griffigkeit eines Mischgutes bereits vor dessen Einbau beurteilen und bewerten zu können ist klar gegeben. Diese Fragestellung ist von hoher Sicherheitsrelevanz. Die Griffigkeit eines Strassenbelages wird von vielen Faktoren beeinflusst; unter anderem von der Korngrössenverteilung, dem Bindemittelgehalt, der Eigenschaften der einzelnen Fraktionen der Gesteinskörnungen. Die heutige Prüfung einer einzelnen Körnung 8/11 kann nur sehr beschränkt die aufgeworfenen Fragen beantworten. Von besonderer Bedeutung ist nicht nur die Bewertung der Griffigkeit einer Asphaltmischung, sondern insbesondere die Dauerhaftigkeit der Griffigkeit. Der Prognose der Griffigkeit kommt

somit grosse ökologische und ökonomische Bedeutung zu.

Potential der Polierbarkeit zur Beeinflussung der akustischen Dauerhaftigkeit lärmarmer Beläge

Im Rahmen einer Forschungsarbeit [5] wurden diejenigen Parameter beschrieben, welche grundsätzlich die Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften beeinflussen könnten. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Polierbarkeit der Gesteinskörnungen die akustischen Eigenschaften beeinflusst. Die Lärmentstehung in der Kontaktfläche Reifen-Fahrbahn wird von der Textur der Oberfläche massgebend beeinflusst. Wird diese Textur durch Abfahren der Ecken und Kanten (=Polieren) infolge der Verkehrsbelastung verändert, so ist auch eine Veränderung der akustischen Eigenschaften zu erwarten. Dieser Zusammenhang wurde in der bisherigen internationalen Forschung nicht hinterfragt und abgeklärt.

2.3 Prüftechnik

Es wurden einige Forschungsarbeiten [8,23] durchgeführt, um das PSV-Verfahren zu optimieren. Dadurch wurden zwar Verbesserungen erzielt; die grundlegenden Bedenken blieben jedoch bestehen.

Das Wehner/Schulze-Verfahren ist auf internationaler Ebene sehr aktuell, da verschiedene Länder die Vorteile der Methode erkannt haben. Es besteht eine ad hoc-Gruppe unter der Leitung der BAST, in welcher die Ergebnisse der Forschungsaktivitäten mehrerer europäischer Länder ausgetauscht werden.

Es gilt den heutigen Wissensstand aufzuarbeiten und Wissenslücken abzuleiten. Die Forschungsarbeit zur Wehner/Schulze-Methode könnte eine spätere Einführung sehr erleichtern, da die länderspezifischen Anforderungen / Fragestellungen bereits abgeklärt wären.

Zudem sollen auch andere Prüfverfahren, die mit der gleichen Fragestellung entwickelt wurden, ebenfalls betrachtet werden und in Erwägung gezogen werden.

3 Sachstandbericht

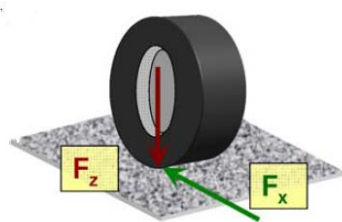
3.1 Grundlagen der Griffigkeit

Der Begriff Griffigkeit beschreibt die Interaktion der Rauheit der Strassenoberfläche mit dem Reifen und ist massgebend für Verkehrssicherheit verantwortlich [6,7] Die Beobachtung der Griffigkeit über die Zeit zeigt, dass sich die Griffigkeit langfristig entwickelt und zusätzlich auch kurzfristigen Veränderungen unterliegen kann, so kann es stellenweise durch Aufraueffekte als Verwitterungseinflüssen, wie sauren Regen, zur Griffigkeitserhöhung kommen [8].

Die griffigkeitsrelevanten Parameter im Interaktionssystem Reifen/Fahrbahn können folgendermassen zusammengefasst werden;

- **Reifen**
 - Typ, Laufstreifen, Gummimischung, Profilgestaltung
 - Innendruck, Profiltiefe
 - viskoelastische Eigenschaften
- **Fahrzeug**
 - Geschwindigkeit, Schlupf, Radlast
 - Radstellung, Dämpfungssystem
- **Unterlage**
 - Aggregatzustand, Schichtdicke eines allfälligen Wasserfilms
 - Temperatur
 - Fahrbahngeometrie
 - Mikrotextur, Makrotextur,
 - Gesteinskörnung, Bindemittel
 - Verkehrsbelastung

Die Griffigkeit wird physikalisch durch einen Reibungskoeffizienten μ beschrieben. Als Reibung wird die Summe aller Kräfte bezeichnet, die an der Grenzfläche zweier Körper wirken und die ihre gegenseitige Bewegung behindern. Der Reibwert selbst ist eine dimensionslose Zahl und berechnet sich aus dem Quotienten der zwischen dem Reifen und der Fahrbahn wirkenden Kräften, der Horizontalkraft (F_x) und der Normalkraft (F_z) [8] (siehe Abbildung 3.2).



$$\mu = \frac{F_x}{F_z}$$

Abb. 3.2 Einwirkende Reifungskräfte auf die Kontaktfläche Reifen/Strasse aus [8]

Die Horizontalkraft (F_x) selbst kann nochmals physikalisch in eine Adhäsionskomponente und Hysteresekomponente zerlegt werden (siehe Abbildung 3.2).

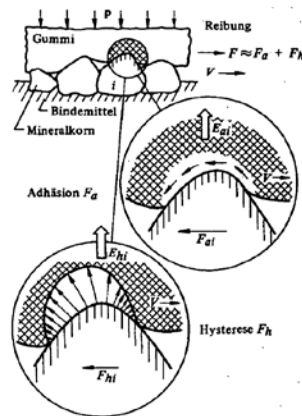
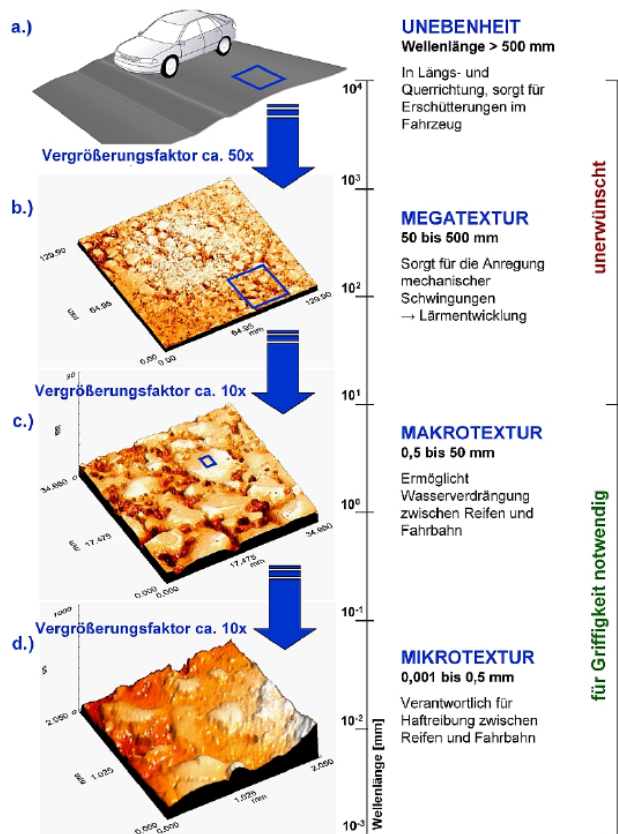


Abb. 3.3 Hysterese- und Adhäsionskomponente [9]

Unter den Adhäsionskräften versteht man die molekularen Anziehungskräfte zwischen den Gummipartikel des Reifens und der Fahrbahn. Diese sind abhängig von der Kontaktfläche Gummipartikel/Fahrbahn, da sie nur in dieser Kontaktfläche wirksam sind [9,10]. Auf trockener Fahrbahn überwiegt die Adhäsionskraft. Bei Nässe oder einem anderen Zwischenmedium kommt es zu einer Abschwächung dieser molekularen Anziehung, wodurch es zu einer Verringerung der Griffigkeit kommt. Die Hystereseekomponente beschreibt die Dämpfungsverluste durch die Deformation auf einer rauen Fahrbahn. Die Hysterese wird durch das viskoelastische Stoffverhalten des Reifengummis hervorgerufen und ist nicht von der Nässe auf der Fahrbahn abhängig (siehe Abbildung 3.3). Sie ist aber von der Geschwindigkeit abhängig und nimmt mit steigender Geschwindigkeit ab, was zu einer Reduktion der Reibung führt [11].

Da es sich beim Reifen um einen gummielastischen Stoff handelt, trägt zusätzlich die Verzahnung des Reifens mit der Oberflächenrauheit zur Reibungskraft bei [9,10]. Die Rauheit beschreibt die geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche im Wellenbereich von wenigen Mikrometern bis einigen Dezimetern. Je nach Wellenlängenbereich wird dabei zwischen Mikro-, Makro- und Megatextur unterschieden [12]. Für die Griffigkeit ist die Mikrotextur (0.001 – 0.5mm) und Makrotextur (0.5 – 50 mm) von zentraler Bedeutung, da in diesem Wellenlängenbereich in der Kontaktfläche Reifen und Gesteinskorn derjenige Mechanismus generiert wird, der für die Griffigkeit verantwortlich ist. Der Makrobereich unterstützt bei offenporigen Belägen mit seiner grobkörnigen Oberfläche bei hohen Geschwindigkeiten, das Reifenprofil beim Abführen des Wassers aus der Kontaktfläche (siehe Abbildung 3.4).



a

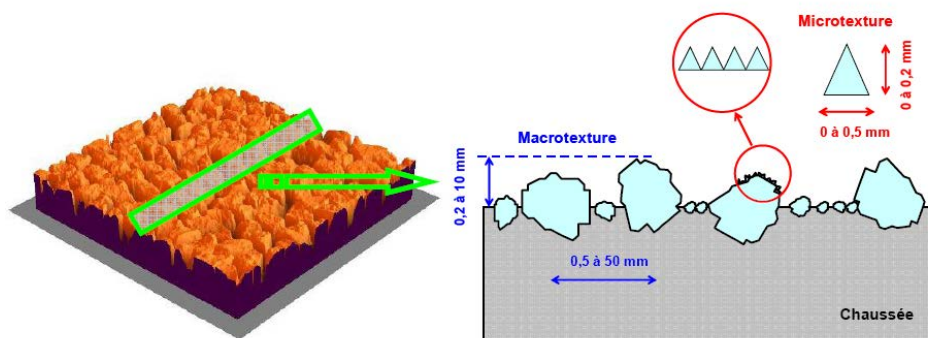


Abb. 3.4 Übersicht der Rauigkeitsbezeichnungen im Strassenwesen (aus [8] b) Zusammenhang Makrostruktur und Mikrostruktur (aus [13])

Zipkes [14] konnte qualitativ die Auswirkungen der Oberflächenstruktur (Mikro- und Makrostruktur) auf den Reibungswert zeigen (siehe Abbildung 3.5). Mittels der Oberflächenflankengröße R_p (= Höhe der grössten Pfeilspitze ausgehend von der mittleren Höhe des betrachteten Rauigkeitselementes (siehe Abbildung 3.6), die als Indikator für die Ausbildung der Makrostruktur angesehen werden kann, untersuchte er die Auswirkungen der Makro- und Mikrostruktur auf die Griffigkeit der Strassenoberfläche. So konnte er zeigen, dass bei $R_p \geq 0.4$ mm der Wasserfilm in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn abgeführt werden kann, und somit die Gefahr des Aquaplanings reduziert wird. Für den Fall, dass $R_p \leq 0.4$ mm ist steigt die Gefahr eines Aquaplaning, da das Wasser nicht mehr durch die geschlossene Oberfläche abgeführt werden kann. Desweiteren ist in Abbildung 3.5 erkennbar, welchen Einfluss eine polierte Oberfläche auf die Griffigkeit, speziell bei nasser Fahrbahn, haben kann. Die Griffigkeit von polierten Oberflächen nimmt schon bei sehr geringer Geschwindigkeit ab, während bei scharfen Oberflächen die Abnahme der Griffigkeit erst bei höherer Geschwindigkeit auftritt (siehe Abbildung 3.5). Ausserdem zeigt sich, dass bei trockener Fahrbahn der Einfluss einer fehlenden Mikrostruktur (polierte Oberfläche) sehr gering ist.

OBERFLÄCHE			GENERELLE LAGE DER μ -WERTE
MAKRO	TYPEN UND FORMEN	MIKRO	
OFFEN $R_p = > 0,4 \text{ mm}$		SCHARF	
		POLIERT	
GESCHLOSSEN $R_p = < 0,4 \text{ mm}$		SCHARF	
		POLIERT	

Abb. 3.5 Auswirkungen der Oberflächenstruktur auf die Höhe des Reibungsbeiwertes μ aus (Zipkes [10])

Beim Abrollen des Reifens mit einem Anpressdruck von 0.2 N/mm^2 auf der Fahrbahnoberfläche deformiert sich der Reifen in Abhängigkeit der Gummimischung, der Art der Reifenstollen sowie der Beschaffenheit der Oberfläche mehr oder weniger stark. Bei diesem Abrollprozess haben die „Täler“, im Gegensatz zu den Bergen der Textur, keinen Einfluss auf die Griffigkeit, da diese nicht von der Reifen/ Kontaktfläche erfasst werden (siehe Abbildung 3.6).

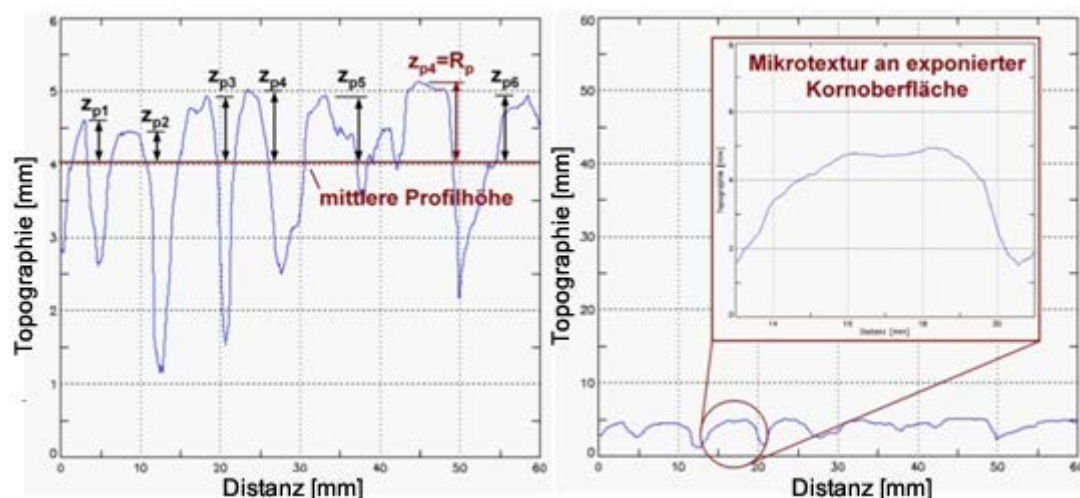


Abb. 3.6 Definitionen der grössten Profilsitzen R_p (links), zugehöriges, nicht überholtes Profil mit Kennzeichnung der Mikrotextur von Kornoberflächen (rechts) aus [8]

Die Eigenschaften der Berge der Oberflächentextur, die für die Griffigkeit verantwortlich sind, werden durch die Gesteinskörnungen bestimmt. Daher ist die Frage der Polierresistenz von Gesteinskörnungen von höchster sicherheitstechnischer Relevanz.

Unter der Polierresistenz versteht man das Verhalten der Mikrotextur einer Gesteinskörnung gegenüber einer einwirkenden Polierbeanspruchung. Polierresistente Gesteinskörnungen zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Oberflächeneigenschaften auch unter intensiver Polierwirkung erhalten bleiben. Auf der Strasse entsteht infolge der Verkehrsbeanspruchung ein Poliereffekt, welcher durch die Schmiergelwirkung von Schmutz und Abrieb-Partikeln beschleunigt wird.

3.1.1 Der Einfluss des Sandes auf die Griffigkeit

Es ist bekannt [2,5], dass die Gesteinskorngrösse einen Einfluss auf die Griffigkeit eines Deckbelages hat. So konnte [2] zeigen, dass die Korngrösse in der Gesteinskörnung einen wesentlichen Einfluss auf die Griffigkeit einer Deckschicht besitzt. Für seine Untersuchungen verwendete er zwei verschiedene Mischgut-Zusammensetzungen (Mischgut A und Mischgut B) (siehe Abbildung 3.7) die sich nur durch ihren Anteil an polierresistenter Schlacke in der Sandfraktion unterschieden.

Abb. 3.7 Sieblinie der beiden AC11 Mischgut

Sollsieblinie AC 11 deck A2 (zul. Bandbreite)		Verwendete Gesteinsfraktion	
Siebgrösse [mm]	Messanteil [M.%]	Mischgut A	Mischgut B
0.063	6-10	Korngruppe 0/2 mm insgesamt 41 M-%: 66 % 0/2 Kalk 34% 0/2 LD	M-%: 0/2 Kalk 41-M% Kalk
0.5	12-15		
2	32-47		
8	72-88	2/4 LD 11.4 M-%	2/4 LD 11.4 M-%
11.2	90-100	4/8 LD 23.7 M-%	4/8 LD 23.7 M-%
16	100	8/11 LD 19-M-%	8/11 LD 19 M-%

Im Labor wurden aus den beiden Rezepturen mit einem Walzsegmentverdichter zwei Asphaltplatten hergestellt, aus welchen jeweils ein Bohrkern gezogen. Anschliessend wurde die Griffigkeitsentwicklung der Prüfkörper mit der Wehner-Schulze-Maschine mittels dem „Berliner Prognoseverfahren“ ermittelt (siehe Abbildung 3.8).

Abb. 3.8 Ablauf einer Wehner-Schulze-Prüfung

Beanspruchungsstufen nach dem "Berliner Prognoseverfahren"	[B-Stufe]
Griffigkeitsmessung im unbeanspruchten Ausgangszustand	[0]
Polierbeanspruchung von 90.000 Überrollungen mit anschliessender Griffigkeitsmessung	[1]
Aufräuen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen mit anschliessender Griffigkeitsmessung	[2]
Polierbeanspruchung von 90.000 Überrollungen mit anschliessender Griffigkeitsmessung	[3]
Weitere Griffigkeitsmessungen bis zum Erreichen eines "Endpolierwertes"	[4]

Nach Beendigung des Prüfprogramms gemäss Wehner-Schulze-Prüfverfahren zeigte sich, dass die Mischung mit dem polierresistenten Schlacken-Sand eine höhere Griffigkeit aufwies als diejenige mit dem Sand ohne Schlacke (siehe Abbildung 3.9).

Abb. 3.9 Ergebnisse der Griffigkeitsentwicklung der zwei Mischgüter A und B

B-Stufe	Mischgut A		Mischgut B	
	Mittelwert	Stabw.	Mittelwert	Stabw.
[0]	0.39	0.006	0.39	0.021
[1]	0.27	0.023	0.18	0.009
[2]	0.53	0.001	0.48	0.002
[3]	0.18	0.001	0.14	0.011
[4]	0.18	0.003	0.14	0.009

Bei den Versuchen zeigte sich, dass beide Mischgut-Zusammensetzungen dieselbe Anfangsgriffigkeit besitzen, d.h. der höhere Sandanteil hatte keine negative Auswirkung auf die Griffigkeit. Der Autor [8] meint, dass zu Beginn des Versuches die Oberfläche bei beiden Proben noch mit einem Bindemittelfilm bedeckt waren. Ebenso seien auf Grund der ausgewählten Sieblinien beide Oberflächen identisch. Der Unterschied der Griffigkeit bei der Stufe 1 kann damit begründet werden, dass es durch den ersten Poliervorgang zur Aberosion des Bindemittels und zur Politur der Gesteinskörnungen gekommen ist. Der höhere Griffigkeitswert von Mischgut A beim Polierzyklus 2 kann damit erklärt werden, dass durch die dosierte Sandstrahlung die weitere Bindemittel-Gesteinsmatrix entfernt wird. Dies führt sowohl zu einer weiteren Ausprägung der Makrotextur als auch zu einer Anrauhung der Gesteinsoberfläche. Die höheren Griffigkeitswerte des Mischgutes A bei den Polierzyklen 3 und 4 können auf die höhere Polierresistenz der Schlacke zurückgeführt werden. Kirchmaier [2] folgert anhand dieses Beispiels, dass die Polierresistenz des Feinsandanteils einen grossen Einfluss auf die Gesamtgriffigkeit einer Deckschicht hat.

3.1.2 Einfluss der Witterung auf die Griffigkeit des Deckbelages

Die Untersuchungen von Huschek [15] zeigten, dass Deckschichten, welche ausschliesslich der Witterung ausgesetzt sind eine stetige Griffigkeitsverbesserung erfahren. In der Praxis ist jedoch in der Regel die Fahrbahn sowohl der Polierbeanspruchung als auch dem Einfluss der Witterung ausgesetzt, dadurch entsteht ein dynamisches Gleichgewicht. Die Griffigkeitsverbesserung entsteht hauptsächlich durch das Regenwasser, da durch dieses Schmutz- und Staubpartikel aus der Mikrostruktur ausgewaschen werden [16]. Des Weiteren führt saures Regenwasser bei kalkschichthaltigen Deckschichten zu einer Kohlensäureverwitterung, bei welcher die Griffigkeit der Deckschicht erhöht wird [17]. Huschek [18] konnte zeigen, dass die Griffigkeit jahreszeitlichen Schwankungen unterlegen ist, so zeigt der Winter höhere Werte für die Griffigkeit als der Sommer (siehe Abbildung 3.10). Dies kann damit begründet werden, dass im Winter die tieferen Temperaturen und grösseren Regenmengen eine aufrauende Wirkung auf die Gesteinskörnung ausüben, während sich die hohen Temperaturen und die sommerliche Trockenheit negativ auf die Griffigkeit auswirken, da unter diesen Bedingungen das Polieren gefördert wird.

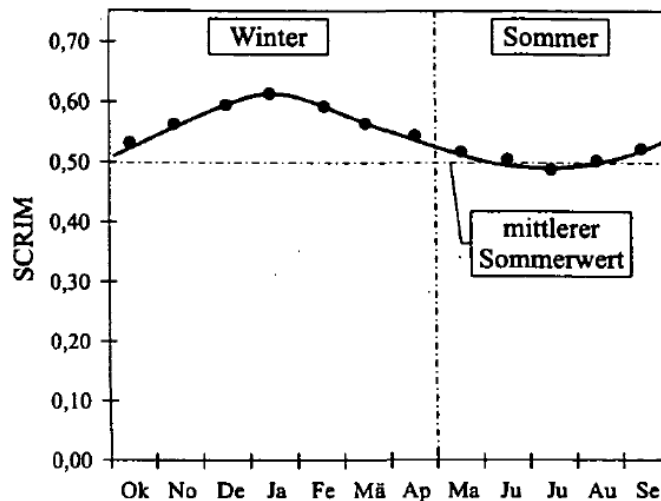


Abb. 3.10 Jahreszeitliche Schwankungen der Griffigkeit aus [18]

Die Griffigkeitsentwicklung einer Deckschicht wird durch die Witterung wie folgt beeinflusst:

Griffigkeitszunahme:

Als Folge des chemischen Angriffes durch Meteorwasser mit einem pH-Wert unterhalb von 7 (saurer Regen) erfolgt – insbesondere bei kalkhaltigen Gesteinskörnungen – eine Aufrauung der Gesteinsoberfläche und somit eine Zunahme der Mikrotextur.

Frosttauwechsel:

Die Frostwechsel führen bei Gesteinskörnungen zu einer Verwitterung welche die Textur einer allfällig polierten Oberfläche wiederum erhöht.

Bisher ist keine Prüfmethode bekannt bei welcher beide Entwicklung (Ab- / Zunahme der Griffigkeit) mit einschließt. Andererseits sind die beobachteten Vorgänge wie Polieren, Aufrauen und Frosttauwechsel bzw. durch chemischen Angriff mit den Eigenschaften der Gesteinskörnungen eng verbunden. Im Hinblick auf die Erarbeitung eines Verfahrens zur Beurteilung der möglichen Entwicklung der Griffigkeit einer Strassendecke sind alle drei Einflussfaktoren von Bedeutung. Es ist daher nicht nur wichtig das Polierverhalten an sich zu untersuchen, sondern auch das Potenzial einer Gesteinskörnung die Griffigkeit durch Witterungseinflüsse wieder ansteigen zu lassen. Der im Werner-Schulze-Gerät erreichte "Endwert" der Griffigkeit wird in der Praxis möglicherweise gar nicht erreicht, da die Gesteinskörnungen in Folge der Regeneration durch Witterungseinflüsse immer wieder aufgeraut werden.

3.1.3 Einfluss der Mineralogie auf die Griffigkeit

Es ist bekannt [4,19], dass die Eigenschaften der Gesteinskörnung, wie die Petrographie, Mineralogie, und die Morphologie der Oberfläche einen Einfluss auf die Griffigkeit der Deckschicht ausüben. In einem US-amerikanischen Forschungsprojekt[20] wurde mittels des „Aggregate Imaging System“ untersucht, welchen Einfluss die Mineralogie und Oberflächentextur von Gesteinskörnungen auf die Polierresistenz haben. Hierzu wurden insgesamt 62 Proben von drei verschiedenen Gesteinskörnungen verwendet, es handelte sich dabei um Kieselkalk, Sandstein und Quarzit. Die 62 Proben wiesen dabei 3 Korngrößenklassen auf (12.7 - 9.5 mm / 9.5 - 6.4 mm / 6.4 – 4.8 mm). Das System selbst besteht aus einem automatisierten und computergesteuertem Autofocusemikroskop mit einer Digitalkamera und einem Probetisch. Die Gesteinskörnungen wurden einer neunstündigen Polierung mittels der Micro-Deval-Methode [21] unterzogen. Vor und nach der Polierung fanden die Texturmessungen der Oberflächen der Gesteinskörnungen statt. Nach der

Polierdauer von 9 Stunden zeigte sich, dass bei den Gesteinskörnungen eine Änderung der Oberflächentextur zu beobachten war. Es stellte sich heraus, dass die Oberflächen-
texturänderung nicht von der Korngrösse der Minerale in einer Gesteinskörnung abhängig ist. Im Weiteren zeigte sich, dass die Texturänderungen der Oberfläche in ein und derselben Gesteinskörnung aus derselben Provenienz sehr unterschiedlich sein können. Zu diesem Zweck wurden Prüfkörper mittels des Micro-Deval-Test während 15, 30, 60, 75, 90, 105 und 180 Minuten beansprucht. Es zeigte sich, dass die Quarzite die grössten Texturveränderungen aufwiesen. Der Sandstein zeigte während den ganzen Polierzyklen eine ausgeprägte Textur, die nur leicht abnahm. Der Kieselkalk hatte schon von Beginn weg eine grössere Texturtiefe und zeigte während des Polierens nur geringe Veränderung der Oberflächentextur.

In einer deutschen Forschungsarbeit [22] wurde unter anderem der Frage nachgegangen welche grundsätzlichen Eigenschaften eines Gesteines (Gefüge, chemische und mineralogische Zusammensetzung) für das Polierverhalten verantwortlich sind. Als zu untersuchende Gesteine wurden aus vier verschiedenen Regionen von Deutschland vier unterschiedliche Granite gewählt, da man die Anzahl von Variablen möglichst klein halten wollte.

Von den zu prüfenden Graniten wurden Gesteinsplatten im Mosaiklegeverfahren hergestellt und im Wehner-Schulze Prüfverfahren belastet. Im Anschluss wurde die Griffigkeit bestimmt und Texturmessungen durchgeführt. Die Auswertungen ergaben, dass es beim Mosaikauslegeverfahren zu unterschiedlicher Einbauhöhe der Gesteinskörner kam, so dass keine glatte Oberfläche entstand. Somit wurden nicht alle Gesteinskörner während des Poliervorgangs von derselben Auflagekraft erfasst d.h. es kam zu einer inhomogenen Druckverteilung. Somit war es in dieser Arbeit nicht möglich auf das Polierverhalten einzelner Minerale zu schliessen.

Von dieser Erkenntnis ausgehend wurden die nachfolgenden Untersuchungen an werkseitig erstellen Gesteinsplatten durchgeführt, da so gewährleistet war, dass die Oberfläche keine Niveauunterschiede aufwies. Es wurde dabei das Polierverhalten der einzelnen gesteinsbildenden Mineralien wie Glimmer, Feldspat und Quarz detailliert untersucht, da diese typisch für Granite sind. Im folgenden Abschnitt sind die Ergebnisse kurz zusammengefasst.

Polierverhalten von Glimmer (Muskovit und Biotit)

Es zeigte sich, dass der Glimmer einen erheblichen Einfluss auf das Polierverhalten der Gesteinskörnung hat. Der Grund dafür sind seine leichte Spaltbarkeit, seine geringe Härte und seine Lage im Gesteinsverband. Glimmeraggregate die mehr oder weniger parallel zur beanspruchten Oberfläche orientiert sind, spalten sich schon bei leichtem Druck in dünne Glimmerblättchen. Bei der Polierbeanspruchung wurden die flachliegenden Glimmer schuppenartig abgetragen. Des Weiteren zeigte sich, dass die Auswirkung der Glimmer auf die benachbarten Feldspäte vom umgebenden Mineral abhängig ist. In Abhängigkeit von diesen Einflussfaktoren und ihrer Lage im Gesteinsverband, bringen die Glimmer eine Erhöhung der Mikrotextur mit sich. Der Autor weist aber darauf hin, dass die Erhebungen des Glimmers, die durch die schuppenartigen Abtragungen entstehen, auf Grund der guten Spaltbarkeit der Glimmer wieder abgebrochen werden können. Dies bedeutet, dass die durch die Poliereinwirkung entstandene Aufrauung keinen Beitrag zur Griffigkeit liefern kann.

Polierverhalten von Feldspäten

Die Feldspäte tragen auf Grund ihrer Härte, ihrer guten Spaltbarkeit und ihren meist hohen Volumenanteilen bei den Graniten erheblich zum Polierverhalten bei.

Die Untersuchungen ergaben, dass beim Polieren die rötlich eingefärbten Feldspäte (hämatithaltig) eine stärkere Abtragung zeigen als der Albit (farbloser, milchig-trüber Feldspat). Die Polierbeanspruchung manifestierte sich in tiefen, kraterförmigen Vertiefungen. Diese Vertiefungen waren im Randbereich abgerundet, im inneren jedoch rau und „feingrieselig“. Der Autor ist der Meinung, dass es durch diese Aufrauung zur Verstärkung der Mikro- und Makrotextur kommt. Da sich die Feinstruktur jedoch nur in den Vertiefungen ausbildet, kommt es dadurch nicht zwingend zur Erhöhung der Griffigkeit.

Polierverhalten von Quarz

Die Untersuchungen ergaben, dass der Quarz aufgrund seiner nicht vorhandenen Spaltbarkeit und seiner Härte sehr polierresistent ist. Es zeigte sich, dass im unbeanspruchten Zustand die bruchraue Oberfläche des Quarzes einen muscheligen Bruch mit scharfen Kanten und hohem Glanz aufweist. Unter der Polierbeanspruchung waren eine zunehmende Abrundung der Kanten und eine Abnahme des Glanzes beobachtbar. Die Bruchflächen wurden matt und entwickelten eine neue Oberfläche, die einer genarbten Leder-oberfläche glich. Es stellte sich heraus, dass die Oberflächengestalt abhängig vom Poliermedium war. Bei der Verwendung von Quarzmehl war die Oberflächenstruktur fein ausgebildet, während bei der Verwendung von Quarzsand eine grob ausgebildete Oberfläche zu beobachten war.

Der Autor ist der Auffassung, dass die Nachbarschaft im Gesteinsverband einen grossen Einfluss auf das Polierverhalten eines Minerals hat. Als Beispiel für er folgendes an: Ein Quarz der in seiner unmittelbarer Nachbarschaft Glimmer hat, weist ein anderes Polierverhalten auf als ein Quarz ohne Glimmer in seiner unmittelbaren Nachbarschaft. Deshalb ist der Autor der Meinung, dass eine Betrachtung von Mineralaggregaten wichtiger ist als die Betrachtung eines einzelnen Minerals. Unter dem Begriff Mineralaggregat fasst er das Gesamtverhalten, bestehend aus der Mikrotextur und dem Verhalten zwischen den einzelnen Mineralien, zusammen.

Für den Autor besitzt diese petrographische/mineralogische Einteilung folgende Vorteile:

- Das Polierverhalten der Mineralaggregate hängt unmittelbar mit dem Griffigkeitsverhalten des Gesteines zusammen. Der Beitrag der einzelnen Minerale zur Griffigkeit ist kaum zu differenzieren und zu berechnen, weil die Griffigkeit nicht nur vom Verhalten der einzelnen Mineralien sondern auch von ihren Wechselwirkungen im Gesteinsverband abhängt.
- Eine nähere Betrachtung des Polierverhaltens der einzelnen Minerale ist nur bei Gesteinen wie Granit möglich, deren Einzelminerale genügend gross sind, um eine eindeutige Unterscheidung im Stereomikroskop sicher zu stellen. Bei anderen Gesteinen ist eine getrennte Beobachtung der einzelnen Minerale wegen der geringen Kristallgrösse und der eventuell vernetzten Struktur nicht möglich.

Ausgehend von diesen Überlegungen folgert der Autor, dass für das Polierverhalten von Mineralaggregaten die Unterschiede der Einzelminerale, sowie deren Einbettung in die Gesteinsmatrix, einen grossen Einfluss ausüben. Falls sich die Minerale hinsichtlich der Härte und der Spaltbarkeit unterscheiden, kann die Mikrotextur der Mineralaggregate durch die Poliereinwirkung wieder regeneriert werden und wieder aufgeraut werden.

Des Weiteren folgert der Autor dass die polierresistenten Minerale langsamer erodiert werden als die weniger polierresistenten Minerale. Somit kann eine Oberfläche, welche polierresistenter und weniger polierresistente Minerale besitzt, bei längerer Polierbeanspruchung wieder aufgeraut werden (siehe Abbildung 3.11).

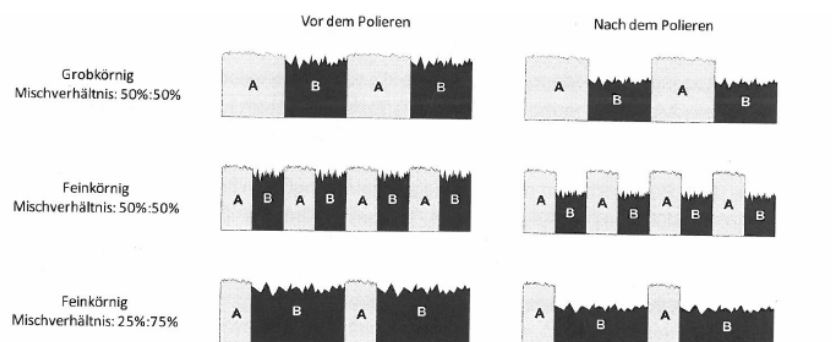


Abb. 3.11 Schematische Darstellung des Einflusses des Polierverhaltens der Mineralaggregate auf die Griffigkeit (A= verschleissbeständige Minerale, B= gering verschleissbeständige Minerale) aus [22]

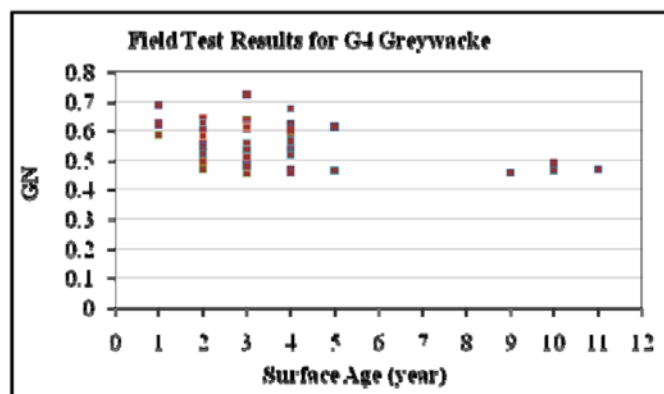
In Rahmen einer schweizerischen Forschungsarbeit [23] wurde Anhand von 12 Gesteinskörnungen untersucht, welchen Einfluss die petrographische Zusammensetzung auf den Polierwiderstand (PSV-Wert) hat. Die 12 untersuchten Gesteinskörnungen können folgenden Gruppen zugeordnet werden.

- Kiesel- und Sandkalke
- Kristalline Gesteine mit alpinen Sandsteinen sowie Kiesel- und Sandkalken
- Alpine Sandsteine mit Hornstein- bzw. Quarzanreicherungen
- Kalksilikatmarmor, teilweise in Silikattfels übergehend
- Kalkstein

Es zeigte sich, dass vor allem die quarzreichen, teils alpinen Gesteinskörnungen einen hohen Polierwiderstand (PSV 50 – 59) aufwiesen, während die kalkreichen Gesteinskörnungen tendenziell einen geringen Polierwiderstand (PSV 34 – 50) aufweisen. Gesteinskörnungen mit einem sehr hohen Anteil an feinkörnigen quarz- und hornsteinhaltigen Flyschsandstein zeigen die höchste Polierresistenz (PSV 59).

3.1.4 Einfluss des Alters und der Verkehrsbelastung auf die Griffigkeit einer Deckschicht

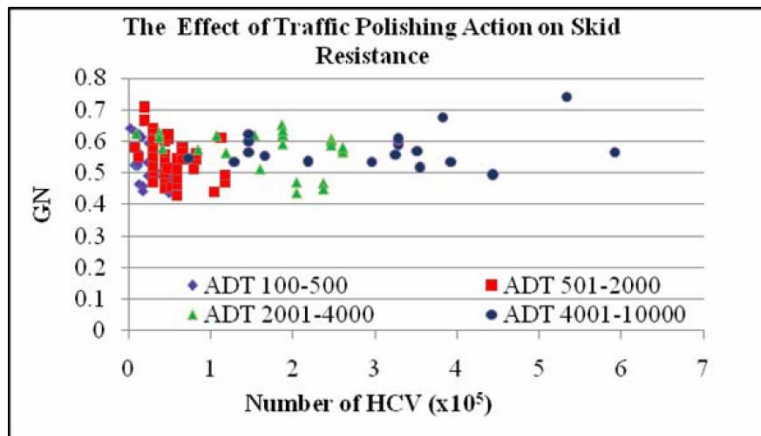
Eine neuseeländische Untersuchung [24] mit grauackenhaltigen Deckschichten zeigte, dass die Griffigkeit (ermittelt mit dem Griproadtester) eine exponentielle Abnahme aufwies (siehe Abbildung 3.12).



GN = Griffigkeitsniveau

Abb. 3.12 Entwicklung der Griffigkeit in Abhängigkeit des Alters der Deckschicht (aus [24])

Die Streuung innerhalb der Messreihen erklären die Autoren mit dem Umstand, dass die Ausprägung der Makrotextur der verschiedenen gemessenen Deckbelägen unterschiedlich war. Des Weiteren untersuchten die Autoren, welchen Einfluss der Schwerverkehr auf die Griffigkeitsentwicklung hat. Es zeigte sich jedoch wider Erwarten, dass der Schwerverkehr nur einen geringen Einfluss auf die Griffigkeitsentwicklung (siehe Abbildung 3.13) ausübt.



ADT: Durchschnittlicher täglicher Verkehr

Abb. 3.13 Einfluss des Schwerverkehrs (HCV) auf die Griffigkeit (aus [24]).

3.2 Verfahren zur Bestimmung der Polierresistenz

Der Begriff Griffigkeit beschreibt die Interaktion der Rauheit der Strassenoberfläche mit dem Reifen und ist massgebend für Verkehrssicherheit verantwortlich [25,26]. Die Beobachtung der Griffigkeit über die Zeit zeigt, dass sich die Griffigkeit langfristig entwickelt und zusätzlich auch kurzfristigen Veränderungen unterliegen kann, so kann es stellenweise durch Aufraueffekte als Verwitterungseinflüssen, wie sauren Regen, zur Griffigkeitserhöhung kommen [27].

3.2.1 Die Bestimmung der Polierresistenz mittels PSV

Bis jetzt wird in der Schweiz, wie in vielen anderen Ländern, der Polierwiderstand von Gesteinskörnungen mittels der PSV-Methode mit einer Schnellpoliermaschine (siehe Abbildung 3.14) bestimmt, die auch als BS 812 [28] bekannt ist. Bei dieser Methode erfolgt die Ermittlung der Polierresistenz einer Gesteinskörnung in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird die zu prüfende Gesteinskörnung der Fraktion 8/11 mit einem Gemisch von Grobkorund und Wasser während drei Stunden mit einem Polierrad poliert. Anschliessend wird der Prüfkörper sanft gereinigt bis er vom Grobkorund befreit ist. Danach wird der Probekörper einer weiteren Politur mit einem Gemisch von feinkörnigem Korund und Wasser mittels des Polierrades während weiteren drei Stunden poliert. Der Grob- und feinkörnige Korund wurden derart gewählt, um einen repräsentativen Querschnitt des Strassenschmutzes wiedergeben. Die Probe selbst befindet sich auf einem Radkranz und besteht aus einer repräsentativen Auswahl an Körner der Korngruppe 8/11 (siehe Abbildung 3.15). Auf dem Radkranz befindet sich bei jeder Prüfung eine Probe mit einem Kontrollgestein, welches für die Ermittlung der Polierresistenz notwendig ist.

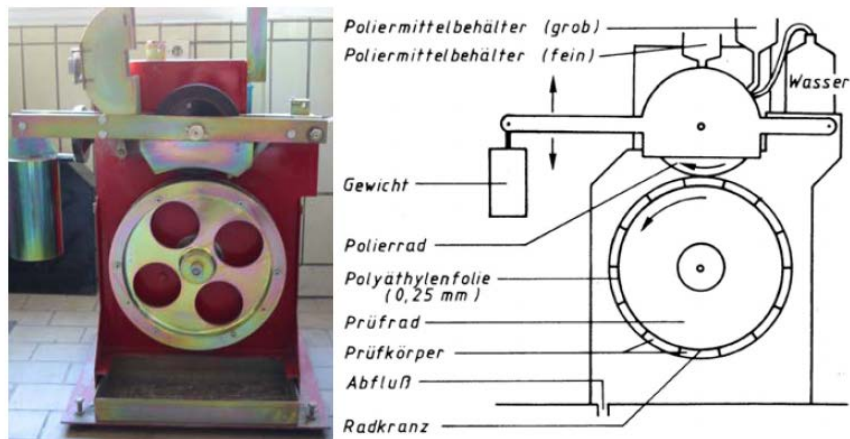
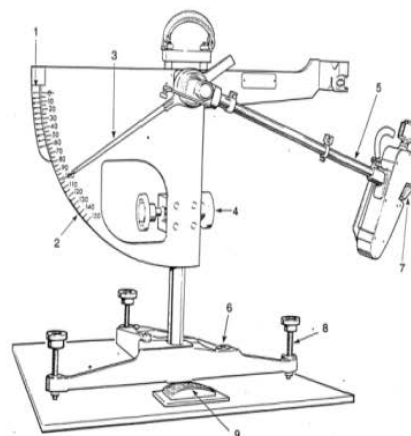


Abb. 3.14 Schnellprüfmaschine



Abb. 3.15 Probekörper für PSV-Prüfung (aus [8])

Anschliessend an den Polierzyklus wird mit dem Griffigkeitsmessgerät SRT-Pendel [29] die Griffigkeit der Probe (Mittelwert aus 5 Einzelproben) und des Kontrollgesteins (Mittelwert aus 4 Proben) ermittelt (siehe Abbildung 3.16).



- 1 F-Skala (für konvexe Oberflächen)
- 2 Messskala
- 3 Zeiger
- 4 Einstellschraube
- 5 Pendel
- 6 Wasserlibelle
- 7 Gleitkörper
- 8 Nivellierschraube
- 9 Halterung für die Einzelmessprobe

Abb. 3.16 Pendelgerät (aus [8])

Der PSV-Wert berechnet sich dabei folgendermassen;

$$PSV = S + 52.5 - C ;$$

S= Mittelwert aus den vier Einzelmessproben einer Gesteinskörnung und C= Mittelwert aus den vier PSV-Kontrollgesteinsproben

Der Nachteil dieser Prüfung liegt darin, dass nur die Körnung 8/11 geprüft werden kann, d.h. es ist nicht möglich Gesteinskörnungen zu prüfen, die eine kleinere Körnung als 8 mm aufweisen. Dieser Nachteil wirkt sich heute besonders stark aus, da die Deckschichten mit einem Grösstkorn von 11 oder 16 mm sehr selten verwendet werden. Des Weiteren ist es nicht möglich die Polierresistenz von Deckschichten direkt zu bestimmen, d.h. die Einflüsse der Sandfraktion, des Bindemittels und des Bindemittelgehalts können mit dieser Prüfmethode gar nicht erfasst werden. Ein weiterer Nachteil des Prüfverfahrens ist, dass die Prüfkörperherstellung sehr aufwendig ist und dass die Anordnung der Gesteinskörnung nicht wie bei einer Deckschicht auf der Strasse willkürlich ist, sondern so angeordnet wird, dass die Gesteinskörnungen ein flächendeckendes Mosaik bilden. Bei einem Ringversuch an welchen die EMPA [30] und 12 weitere europäische Labors teilnahmen, stellte sich heraus, dass die Bestimmung des PSV-Wertes an der einen und selben Probe je nach ausführendem Laboranten zu unterschiedlichen PSV-Werten (siehe Abbildung 3.17) führte. Die Messungen wurden immer am gleichen Prüfstand und im gleichen Labor (Alpine Moräne Edelsplitt, heute Baustoffprüfgesellschaft GmbH) durchgeführt, um gerätetechnische Fehler auszuschliessen.

Abb. 3.17 PSV-Werte des EMPA-Ringversuches

Laboranten	PSV-Wert
1	54.4
2	54.6
4	53.5
5	54.1
6	54.0
8	54.5
9	54.1
10	53.3
11	53.4
12	52.5
13	53.7

3.2.2 Bestimmung der Polierresistenz mit dem Wehner- Schulze-Verfahren

Das Wehner-Schulze-Prüfverfahren (siehe Abbildung 3.18) wurde Mitte der 1960er Jahre an der TU Berlin von den Herren Wehner und Schulze entwickelt und dient zur Bestimmung des Polierwertes (PWS) von groben und feinen Gesteinskörnungen. Mittels der Wehner-Schulze-Prüfverfahren ist es ausserdem möglich eine Prognose zur Entwicklung des Griffigkeitsverlaufs einer Fahrbahnoberfläche zu erstellen.



Abb. 3.18 Prüfeinrichtung nach Wehner-Schulze

Der Polierwert PWS kann als Mass des Widerstandes einer Gesteinskörnung gegenüber der polierenden Wirkung eines Reifen gesehen werden. Mit dem Prüfverfahren ist es möglich sowohl Laborproben als auch Bohrkern, die direkt der Strasse entnommen wurden zu prüfen. Der Poliervorgang simuliert dabei die Verkehrsbelastung im Zeitraffer. Die Polierwirkung wird durch ein Wasser-Quarzmehl-Gemisch auf die Probenoberfläche aufgebracht und durch drei konzentrische Gummirollen bewerkstelligt (siehe Abbildung 3.19).



Abb. 3.19 Polierköpfe der Wehner-Schulze-Prüfmaschine

Für die nachfolgende Griffigkeitsmessung werden die mit einer Geschwindigkeit von ca. 100 km/h rotierenden Messgummis auf der bewässerten Oberfläche bis zum Stillstand abgebremst. Dabei werden die Geschwindigkeit und die dazu gehörende Reibungskraft aufgezeichnet. Der dabei berechnete Polierwert PWS ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Reibkraft und Aufstandskraft der Messgummis (siehe Abbildung 3.20) bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h.



Abb. 3.20 Messkopf der Wehner-Schulze-Prüfmaschine

Die eigentliche Griffigkeitsprognose erfolgt mit einem Prüfprogramm (siehe Abbildung 3.21) welches von der TU Berlin ausgearbeitet wurde.

Abb. 3.21 Standard Programm für die Griffigkeitsprognose TU Berlin (aus [6])

Beanspruchungsstufen

Griffigkeitsmessung im Ausgangszustand der Probe (unbehandelte, nicht vorbereitete Probe,[0]
Bohrkerne aus seiner Strasse)

Griffigkeitsmessung nach 90.000 Überrollungen in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe[1]
von Wasser und Quarzmehl

Griffigkeitsmessung nach Aufrauen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen [2]

Griffigkeitsmessung nach weiteren 90.000 Überrollungen in der Poliermaschine unter konstanter[3]
Zugabe von Wasser und Quarzmehl

Griffigkeitsmessung ohne weitere Polierbeanspruchung, bis ein konstantes Niveau erreicht ist [4]

Die Literaturrecherche ergab, dass eine Vielzahl von Ländern ihre Untersuchungen zur Ermittlung der Polierresistenz der Gesteinskörnungen bzw. zur Griffigkeitsprognose mit Hilfe des Wehner-Schulze-Prüfverfahrens durchführten.

In einer von der BAST durchgeführten Untersuchung zur Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA) [19] zeigte sich, dass das Wehner-Schulze-Verfahren in der Lage ist, im Labor die Entwicklung der Griffigkeit eines Deckbelages wirklichkeitsnah zu simulieren. Die Autoren kamen jedoch zum Schluss, dass die Beanspruchungsstufen der Griffigkeitsprognose der TU Berlin zu scharf ist. Sie verglichen einen Bohrkern aus dem Standstreifen einer acht Jahre alten Autobahn mit drei Bohrkernen der drei Fahrspuren der achtjährigen Probestrecke mit EOS. Dabei zeigte sich, dass nach ca. 12'300 Überrollungen der durch das Wehner-Schulze Verfahren beanspruchte Probekörper einen PWS-Wert hatte, welchen den drei Bohrkernen der Fahrspuren entsprach (siehe Abbildung 3.22). Eine englische Forschungsarbeit [31] kam zur gleichen Schlussfolgerung, dass die Polierwirkung der Wehner-Schulze-Maschine stärker ist, als diejenige des Strassenverkehrs.

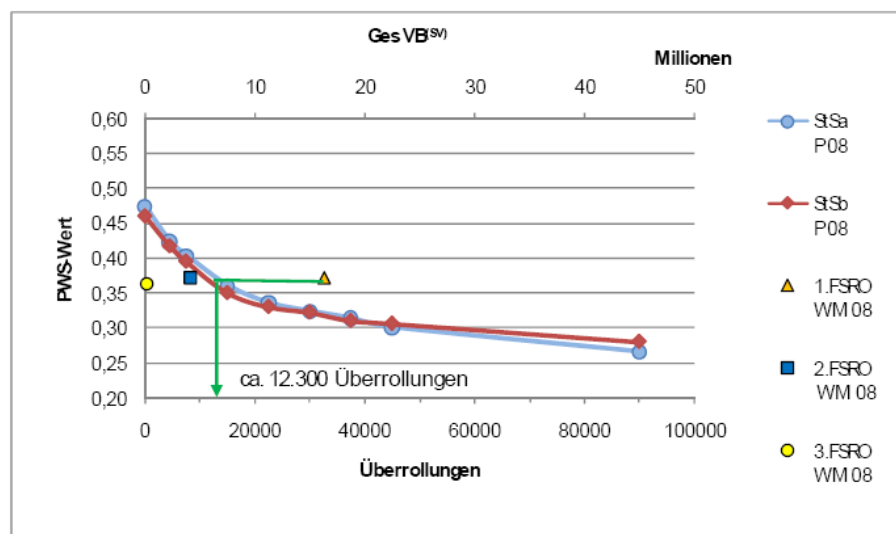


Abb. 3.22 Prognose Prüfung an Bohrkern aus Standstreifen (rote und blaue Kurve) im Vergleich PWS-Messungen dreier Bohrkern aus den Fahrstreifen nach acht Jahren Verkehrsbelastung (aus [19])

Das Prognosemodell nach Wehner-Schulze wurde auch für weitere Gesteinssorten wie Moränenmaterial, Quarzpophyr und Syenit (=magmatisches Tiefengestein) angewandt. Die Versuche zeigten, dass aus dem Prognoseverfahren eine Tendenz für die Griffigkeitsentwicklung ablesbar ist, aber dass die vorhandene Datenbasis zur Festlegung definitiver Zusammenhänge noch zu gering ist. Des Weiteren weisen die Autoren darauf hin, dass der Grund der Abweichung zwischen der im Prognoseverfahren ermittelten Griffigkeiten und der gemessenen Griffigkeiten an den aus der Strasse entnommen Bohrkerne in der Tatsache zu suchen ist, dass bereits mehrere Tausend Überrollungen beim Wehner-Schulze Verfahren einer Verkehrsbelastung von mehreren Jahren oder mehreren Millionen Überrollungen (inkl. des Schwerverkehrs) entsprechen.

In einer Untersuchung des Freistaates Sachsens [32] wurde untersucht ob sich das Wehner-Schulze-Verfahren eignet, um die Griffigkeitsentwicklung von Asphaltgemischen bereits im Rahmen einer Erstprüfung zu prognostizieren. Die Untersuchungen wurden an Deckschichten aus Splittmastixasphalt und Asphaltbeton mit jeweils für das Bundesland Sachsen typischen Gesteinskörnungen durchgeführt. Es wurden sowohl Laborprobekörper mittels Walzsegmentverdichter hergestellt, als auch Bohrkerne aus den Prüfstrecken entnommen. Es zeigte, dass beide Probekörpertypen ähnliche Griffigkeitsprognosen aufwiesen (siehe Abbildung 3.23 und 3.24).

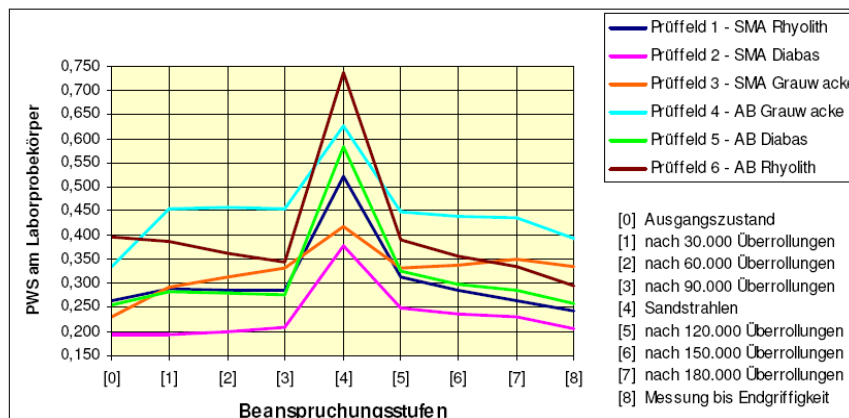


Abb. 3.23 Prognose mit dem Prüfverfahren PWS an Laborprobekörper

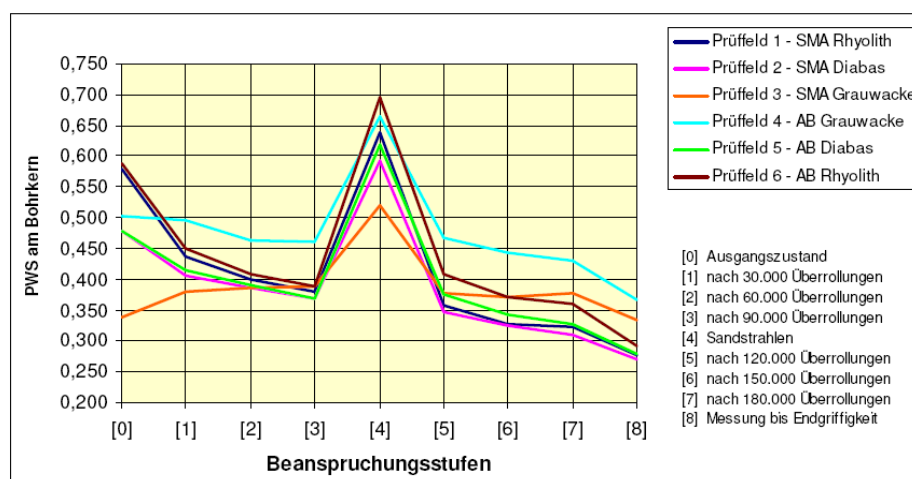


Abb. 3.24 Prognose mit dem Prüfverfahren an Bohrkernen aus neuen Deckschichten (aus [32])

Es zeigte sich, dass die Laborprobekörper geringfügig höhere PWS-Werte aufwies als die Bohrkern. Die Autoren begründen diesen Unterschied mit dem höheren Verdich-

tungsgrad der Laborprüfkörper. Auch weisen sie darauf hin, dass die im Walzsegementverdichter hergestellten Prüfkörper eine ebenere Oberfläche aufweisen. Es zeigte sich ausserdem, dass der Asphaltbeton griffiger war als der Splitmastixasphalt.

Die PWS-Bestimmung an Bohrkernen die nach der Freigabe der Probestrecken entnommen wurden, konnte teilweise die im Labor ermittelte Griffigkeitsprognose bestätigen. So zeigte sich, dass beim Feldversuch, wie auch schon bei den Laborversuchen, der Asphaltbeton eine höhere Griffigkeit aufwies als die Splitmastixasphalt-Deckbeläge (siehe Abbildung 3.25).

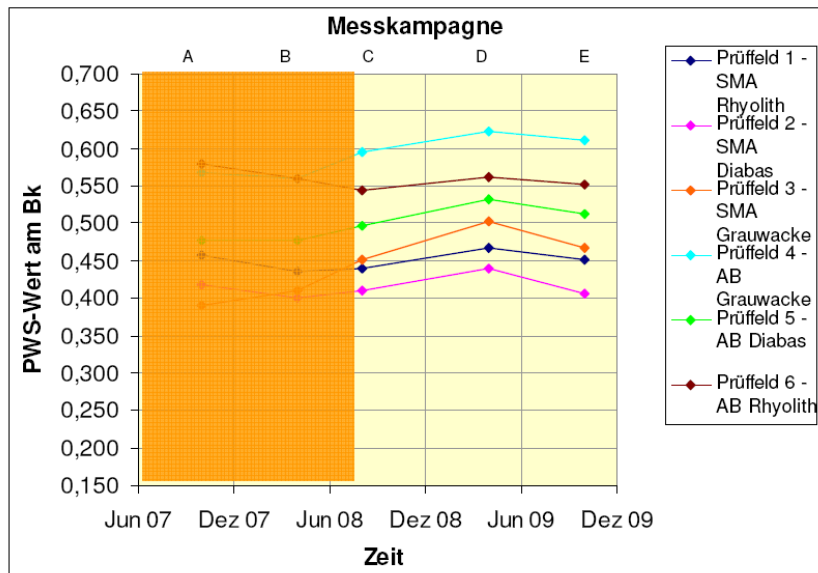


Abb. 3.25 PWS-Werte aus Bohrkernen in Abhängigkeit der Zeit (aus[32])

Die PWS-Werte an den Bohrkernen zeigen ein etwa gleich bleibendes bis leicht ansteigendes Griffigkeitsniveau, dass im Vergleich zur „Endgriffigkeit“ (Zustand [8]) des Prognoseverfahrens aber deutlich höher ist.

Eine niederländische Forschungsarbeit [33] kam zum Schluss, dass die ermittelte Anfangsgriffigkeit mittels des PWS eine gute Übereinstimmung mit der Griffigkeit auf der Strasse zeigte, die mittels dem Standard RAW Test 2005 [34] bei einer Geschwindigkeit von 70 km/h ermittelt wurde.

In einer britischen Forschungsarbeit [35] wurde zum ersten Mal untersucht, ob sich das Wehner-Schulze-Verfahren für die Voraussage der Griffigkeit von britischen Deckschichten als geeigneter als das in Grossbritannien verwendete PSV-Verfahren erweist. Die Autoren konnten zeigen, dass für britische Deckschichten eine Korrelation zwischen dem PSV- und dem PWS-Verfahren hergestellt werden konnte. So stellten sie fest, dass in Abhängigkeit der Korngrösse mit der Zunahme des PSV-Wertes eine Zunahme des PWS-Werts bis zu einer Korngrösse von 14 mm beobachtbar ist (siehe Abbildung 3.26).

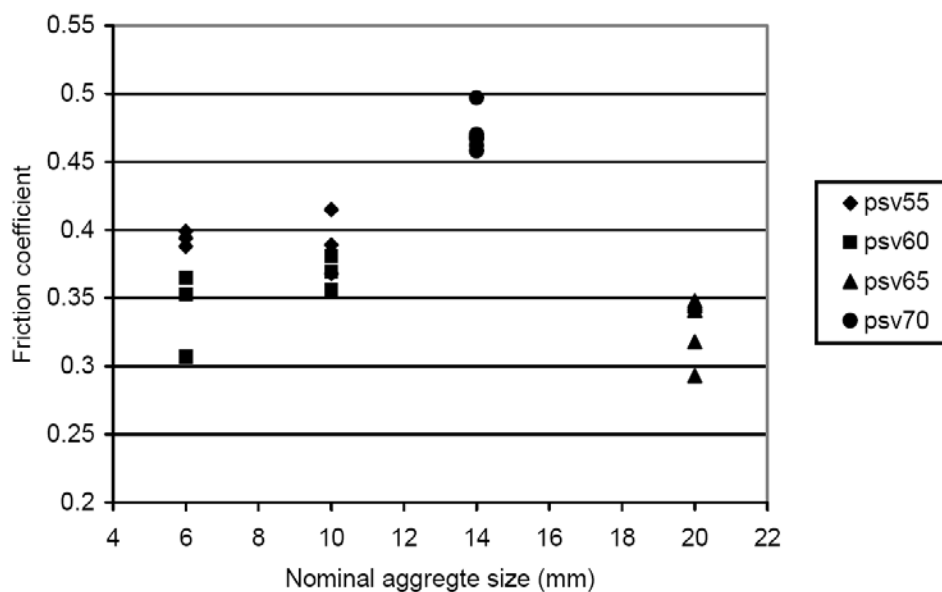


Abb. 3.26 Vergleich des PWS-Wertes (Friction coefficient) und des PSV-Wertes in Abhängigkeit der Korngrösse (aus [35])

Die Abnahme des PWS-Wertes bei einer Korngrösse von 20 mm begründen die Autoren damit, dass bei dieser Korngrösse andere Textureffekte wirken, die zur Reduktion des PWS-Wertes führen würden. Des Weiteren wird gefolgert, dass die Ergebnisse des Wehner-Schulze-Prüfverfahren kritisch hinterfragt werden sollen, da die ersten Untersuchungen nur einen kleinen Teil der britischen Mischgutsorten abdeckt. Im Weiteren wurden zwei Serien von gesamt 16 Proben von britischen Mischgütern getestet um zu untersuchen welches Potential die Wehner-Schulze-Prüfmaschine besitzt. Nach der Auswertung der zwei Serien folgern die Autoren, dass die ermittelten Werte zur Beurteilung der Griffigkeit nicht ganz verstanden wurden und dass deshalb weitere Untersuchungen notwendig sind. Die Autoren erwähnen jedoch, dass das Wehner-Schulze-Prüfverfahren dank der Möglichkeit sowohl Laborproben als auch Proben die direkt der Strasse entnommen werden gegenüber anderen Prüfmethode klar im Vorteil ist. Desweiteren wurde mittels des Wehner-Schulze-Prüfverfahren der Einfluss der Gesteinskörnung auf die Griffigkeitsentwicklung von Dünnschichtbelägen untersucht. Es wurden 11 verschiedene britische Deckschichten mit für Grossbritannien typische Gesteinskörnung (Granit, Andesit, verkieselter Sandstein) einer Griffigkeitsprognose unterzogen. Es zeigte sich, dass das Prognosemodell die Griffigkeiten in der erwarteten Reihenfolge wiedergeben konnte (siehe Abbildung 3.27).

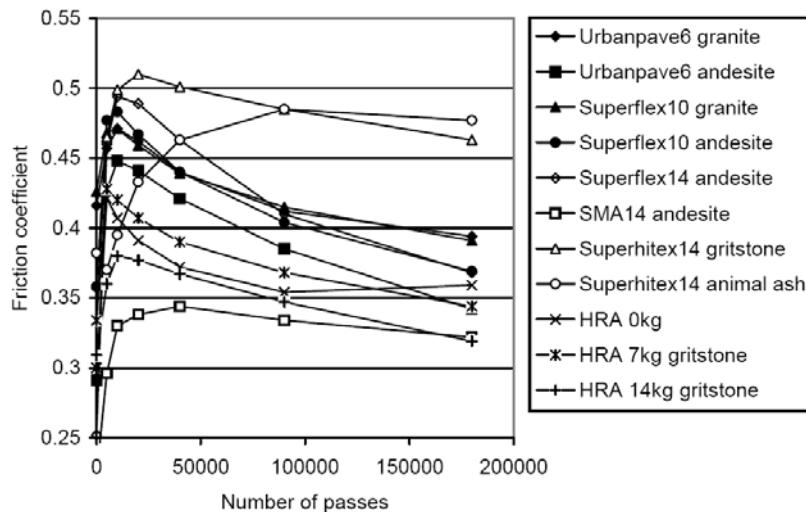


Abb. 3.27 Mittlere Wehner-Schulze Griffigkeitskoeffizienten typischer Deckschichten aus England (aus [35])

In einem Ringversuch mit 14 europäischen Labors (D, A, F, GB) wurde die Präzision des Wehner-Schulze Verfahrens ermittelt [36]. Für den Ringversuch wurden drei verschiedene Gesteinskörnungen mit unterschiedlichem PSV-Wert mit einer 8/11-Körnung verwendet.

- Kalkstein mit einem PSV von 43
- Basalt mit einem PSV von 52
- Quarzit mit einem PSV von 61

Als Probekörper wurden Bohrkern aus Laborplatten und Prüfkörper im Mosaikauslegeverfahren verwendet. Die Proben wurden mit 90'000 Zyklen belastet und anschliessenden Griffigkeitsmessungen unterzogen. Die Auswertung zeigte, dass die Laborplatten generell tiefere Griffigkeiten aufweisen als diejenigen des Mosaikauslegeverfahrens. Auch die Abfolge der Griffigkeiten als Funktion der Gesteinskörnung entsprach derjenigen des PSV-Verfahrens (siehe Abbildung 3.28).

Abb. 3.28 Vergleich PSV-Werte und PWS-Werte des internationalen Ringversuches aus [8]

Gesteinstyp	PSV-Wert	PWS-Wert ¹ - Mosaik	PWS-Wert ¹ -Splitt-Mastix
Kalkstein	43	0.144	0.9700
Basalt	52	0.291	0.0182
Quarzit	61	0.397	0.0505

¹ Mittelwert der Prüfergebnisse

Im Rahmen des Ringversuches von Splitt wurde zusätzlich die Vergleichspräzision des Wehner-Schulze-Verfahrens und des PSV-Verfahrens ermittelt (siehe Abbildung 3.29).

Beispiel für Verweis auf Literaturverzeichnis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Abb. 3.29 Vergleich PWS mit PSV – Vergleichsgrenze R^1 bezogen auf die vorhandene Spannweite (aus [8])

	PWS-Mosaik	PWS-Splitt-Mastix	PVS
Höchstes Polierniveau	0.397	0.354	61
Niedrigstes Polierniveau	0.144	0.097	43
Spannweite	0.253	0.257	18
Vergleichsgrenze	0.094	0.096	5.2
In % der Spannweite	37.2	37.4	28.9

¹ Vergleichsgrenze (R) = $S_R \cdot 1.96 \cdot (n)^{0.5}$; S_R = Standardabweichung unter Vergleichsbedingungen; n = Anzahl Schätzwerte (n=2 für Bestimmung der Vergleichsgrenze)

Die Autoren folgern anhand der ermittelten Werte in Abbildung 3.29, dass das Wehner-Schulze-Verfahren eine geringere Präzision besitzt, da es eine um 10% höhere Spannweite der Prüfungsergebnisse als das PSV-Verfahren aufweist. Laut den Autoren konnten erste Gründe für die grosse Prüfstreuung eruiert werden. Es zeigte sich, dass die Handhabung der Prüfmethode noch nicht von allen teilnehmenden Labors gleich gut beherrscht wurde. Als weiterer Punkt wird aufgeführt, dass nicht alle Wehner-Schulze-Prüfstände denselben technischen Stand besitzen. Im Weiteren zeigte sich im Ringversuch, dass die Handhabung der Strandstrahlung für die Splittmastixasphalt-Platten stark personenabhängig ist.

In einem neuseeländischen Forschungsvorhaben [37] zur Bestimmung der Griffigkeitsprognose konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse der beiden Methoden, Wehner-Schulze und PSV, korrelieren. Es wurden jedoch keine Messungen an Decksichten neuseeländischer Bauart durchgeführt. Hier ist zu bemerken, dass diese Untersuchungen an abgestreuten Oberflächen durchgeführt wurden. Die Autoren weisen darauf hin, dass das WS-Verfahren für die Untersuchungen von grobkörnigen Oberflächenbehandlungen weniger geeignet ist.

Zurzeit gibt es europäisch noch keinen gemeinsamen Bewertungshintergrund. Das PWS-Prüfgerät wird mittels einer Glasplatte kalibriert. Diese Glasplatte ist jedoch von Labor zu Labor unterschiedlich. In einer Niederländischen Forschungsarbeit [38] wurde im Rahmen eines europäischen Ringversuchs mit 7 Labors der Frage nachgegangen, welchen Einfluss diese unterschiedlichen Glasplatten auf den PWS-Wert haben (siehe Abbildung 3.30).

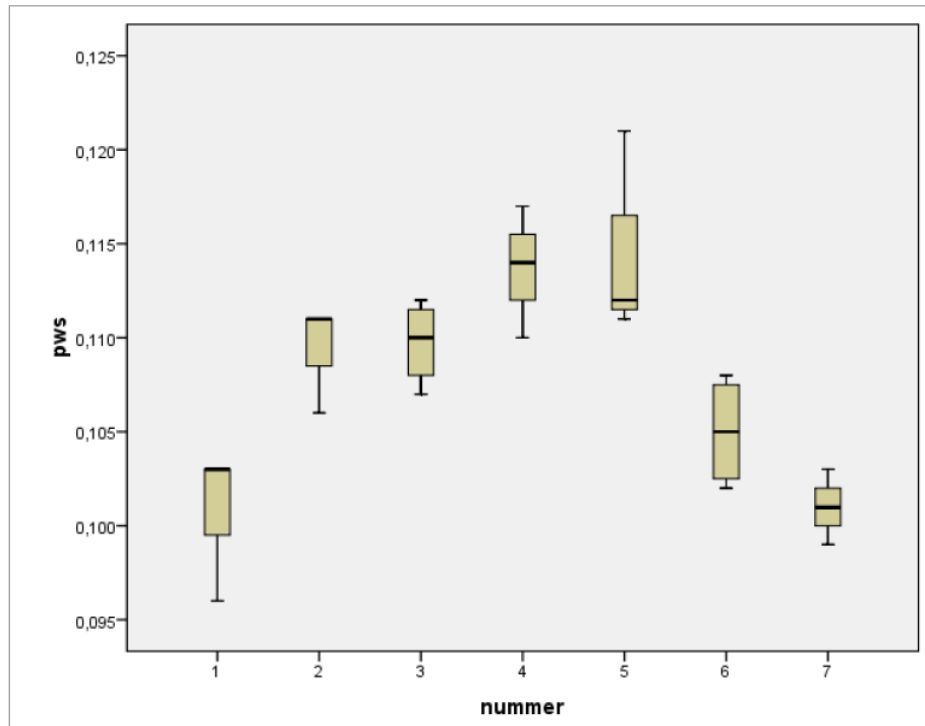


Abb. 3.30 WS [0]-Werte eines Ringversuches mit sieben verschiedenen Labors. (aus[33])

Der Ringversuch zeigte, dass die in den einzelnen Labor verwendeten Glasplatten teilweise grosse Abweichungen zeigten. Diese Abweichungen erklären auch weshalb die Bohrkern des Ringversuches Bohrkern in den verschiedenen Laboren verschiedene WS [0] (Anfangsgriffigkeiten) aufwiesen (siehe Abbildung 3.31).

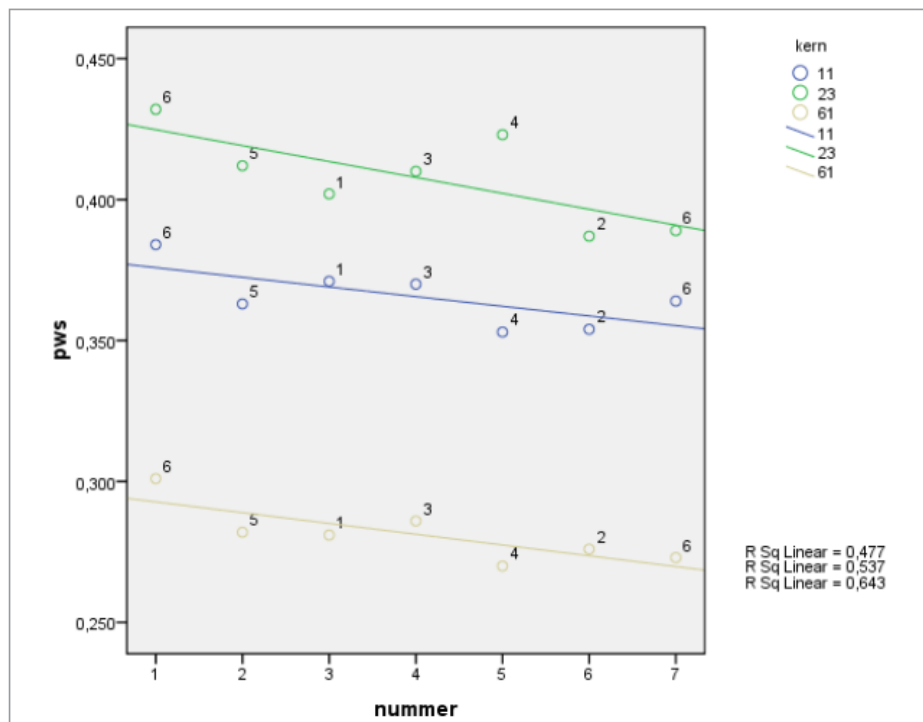


Abb. 3.31 Übersicht der ermittelten WS [0]-Werte von verschiedenen Bohrkernen (Y-Achse) gemessen in den sieben unterschiedlichen Labors (X-Achse) (aus [33]).

3.2.3 Bestimmung der Polierresistenz mit dem Wehner-Schulze-Verfahren

Im Rahmen der Erstellung des Sachstandberichtes wurden mit ausgewiesenen Fachpersonen Interviews durchgeführt. Zudem haben wir an mehreren Workshops teilgenommen, unsere Kontakte via CEN-Normierung genutzt und ausländische Prüfinstitute besucht. Im nachfolgenden Text ist die Essenz dieser Fachgespräche wiedergegeben. Die vollständige Liste der Interviewpartner ist im Anhang zu finden.

Vorteile:

- Bestimmung der Griffigkeit für Gesteinskörnungen ≤ 8 mm
- Beurteilung eines ganzen Mischgutes
- Beurteilung an Laborprobekörper und Probekörper aus der Strasse möglich
- Neue Forschungsergebnisse aus NL, D, GB und F zeigen, dass die Wiederholbarkeit im Gegensatz zur PSV-Methode gegeben ist.
- Forschungsergebnisse aus D, GB, NL und F zeigen, dass es mittels FAP-Test möglich ist einen Trend der Griffigkeitsprognose abzuschätzen → Feintuning und weitere Datensammlung und Auswertung nötig
- Ausländische Arbeitsgruppen arbeiten zusammen (z.B. D. FGSV AK 6.1.1 und Länderübergreifend FAP Workshop mit Federführung RWS NL) für einen einheitlichen Bewertungshintergrund.
- In F herrscht die Meinung, dass der FAB-Test soweit sei, dass man ihn ab sofort einsetzen kann.
- NL, D, UK denken, dass noch 2-3 Jahre benötigt werden, jedoch ein grosses Potential vorhanden sei.
- NL denkt FAP ist noch nicht perfekt aber gut genug. Er ist jedoch schon so gut, dass mit dem FAP schon gearbeitet werden kann. Neuere Forschungsarbeiten zeigen zusätzlich dass mit dem FAP an zweilagigen offenporigen Asphalt des niederländischen Typs ZOPA 8&16 Griffigkeitsprognosen möglich sind.
- Es existiert schon eine prEN12697-49-2011. Das Enquiry ergab, dass insgesamt 20 europäische Länder der Norm zustimmten (10 Enthaltungen, 0 Ablehnungen)
- Internationale Ringversuche zu FAP werden schon seit einiger Zeit organisiert.

Nachteile:

- Die Versuchspräzision ist noch nicht befriedigend wie es wünschenswert ist
- Grosse Streuung beim Kalibriermedium
- Kein einheitliches Kalibriermedium
- Jedes Land (D, UK, F, NL) hat zurzeit eigenes Prognoseprüfverfahren. Es konnte sich jedoch auf kein einheitliches Prüfverfahren geeinigt werden
- Zur Zeit noch eine Prüfung der Materialeigenschaft und noch kein Prognoseverfahren
- Polierwirkung zurzeit im Vergleich der Realität noch zu scharf.
- Einfluss des Schwerverkehrs auf das Prognosemodell noch abzuklären
- Es sind verschiedene Generationen (3 Generationen) von Geräten auf den Markt, sogar innerhalb einer Generation gibt es Unterschiede. Daraus folgt eine schlechte Vergleichbarkeit!

Fazit:

- Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten in Deutschland, den Niederlande, Frankreich und England, dass das Wehner-Schulze-Verfahren eine gute Alternative bei der Bestimmung der Polierresistenz ist.
- Es existiert schon eine prEN12697-49 des Wehner-Schulze-Prüfverfahren, somit kann damit gerechnet werden, dass dieses Prüfverfahren eine Zukunft besitzt.
- Die Frage des Bewertungshintergrund und der Kalibrierung ist noch nicht gelöst, es beschäftigen sich aber länderübergreifende Arbeitsgruppen mit dem Problem und sind bestrebt Lösungen zu finden.
- Das technische Niveau des Wehner-Schulze Prüfverfahren ist schon hoch, aber noch nicht perfekt.

3.2.4 Das Erfurter Griffigkeitsprognoseverfahren EPGV

Das Erfurter Griffigkeitsprognoseverfahren EPGV wurde Mitte der 1990er-Jahre entwickelt, da bei Untersuchungen festgestellt wurde, dass die ermittelten PSV-Werte von Gesteinskörnungen nicht mit dem auf der Strasse ermittelten PTV korrelieren (siehe Abbildung 3.32) [8, 39].

Abb. 3.32 Vergleich Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel in der Praxis PTV und im Labor (aus [39])

Grossplaster / Splitt	PTV (Grosspflaster)	PSV (Splitt)
Kupferschlacke	28	47
Basalt	36	52
Granit	44	53
Diabas	44	54
Quarzporphyr	56	53

Das Prinzip des EGPV lehnt sich an das Prinzip des Wehner-Schulze-Prüfverfahren an. Das Prüfgerät (siehe Abbildung 3.33) selbst besteht aus einem Zweiwegtisch mit Probenwanne, einem Kühlgerät für das Wasserbad, einer Poliereinheit, einem SRT-Pendel zur Griffigkeitsmessung und einer Steuereinheit.

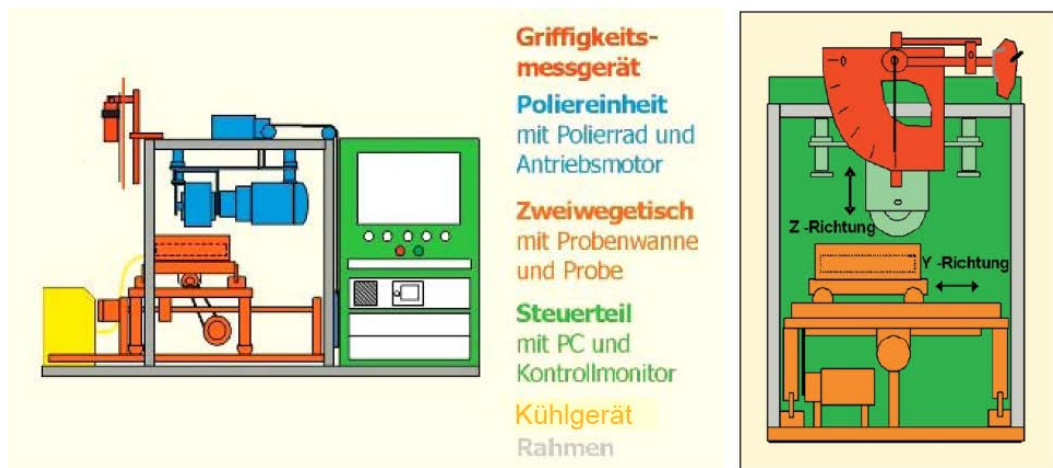


Abb. 3.33 Das Gerät für die Erfurter Griffigkeitsprognoseverfahren (aus [39])

Im Vergleich zum Wehner-Schulze-Verfahren wurden zusätzliche Faktoren berücksichtigt;

- Nachschärfender Effekt durch sauren Regen und Frostzyklen der winterlichen und der sommerlichen Einflüsse (mittels einer 1%-igen NaCl-Lösung und zehn Frost-Tauzyklen im Temperaturbereich -20°C – 20°C).
- Poliervorgang nur mit Gummi ohne Schmirgel
- Messung der Griffigkeit mit derselben Methode im Labor und auf der Strasse

Die Versuche zeigten, dass das EGPV in der Lage ist die Griffigkeit der eingebauten Deckbeläge gut zu prognostizieren. Zurzeit existiert nur ein Prototyp an der FH Erfurt. Die Gründe wieso das EGPV-Projekt nicht weiterverfolgt wurde sind nicht bekannt. Es fanden auch keine Vergleichsmessungen mit dem Wehner-Schulze-Verfahren statt [8].

3.2.5 Das Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM)

Am Institut von Dr.-Ing. Gauer Ingenieurgesellschaft mBH in Regenstauf (D) wurde ab den 1990er Jahren das Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM) (siehe Abbildung 3.34) entwickelt, welches ursprünglich für die Bestimmung des Polierwiderstandes von Gesteinskörnungen angewendet wurde.



Abb. 3.34 Polier- und Griffigkeitsmessgerät (aus [8])

Dank der kontinuierlichen Weiterentwicklung des Polier- und Griffigkeitsmessgerät ist es auch möglich eine Prognose der Griffigkeit von Deckschichten aus Asphalt und Beton zu erstellen. Ähnlich wie beim Wehner-Schulze-Prüfverfahren ist es möglich sowohl einzelne Korngruppen als auch verschiedene Mischgutsorten zu untersuchen. Wie beim Wehner-Schulze-Verfahren erfolgt die Griffigkeitsmessung mit einem blockierten Rad, d.h. es wird der Gleitreibungsbeiwert gemessen. Der Poliervorgang der Probe wird mit drei Metallstößel, die mit Gumminoppen versehen sind, und in denen Quarzsand eingebaut, ist unter Zugabe von Wasser durchgeführt. Die Metallstößel gleiten dabei in einer Kreisbahn mit einer Geschwindigkeit von 16 km/h (= 800 U/min) über die Probekörper. Für die nachfolgende Bestimmung der Griffigkeitsmessung gleiten drei mit Gumminoppel versehene Metallstößel für 5s mit einer konstanten Geschwindigkeit von 16 km/h über die Probenoberfläche. Es entstehen aufgrund der Maschinenkonzeption mit vertikalen Metallstößeln Probleme, falls die zu untersuchende Probe keine ausreichende Ebenheit aufweist. Aus diesem Grund müssen die Proben, die für die Griffigkeitsprognose bestimmt sind, zuerst eben geschliffen und nachfolgend sandgestrahlt werden. Die Ermittlung der Griffigkeitsänderung an der Oberfläche erfolgt jeweils nach 1, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150 und 180 min Polierdauer.

Im Rahmen einer Vergleichsuntersuchung an der TU München [40] zwischen dem PGM- und Wehner-Schulze-Prüfverfahren an acht Oberflächen mit unterschiedlicher Gesteinskörnung zeigte sich, dass das Wehner-Schulze-Prüfverfahren eine höhere Wiederholungspräzision aufweist als das PGM-Verfahren. Die Versuche zeigten allerdings, dass die Griffigkeitsprognose des PGM eine höhere Aussagekraft besitzt als diejenige des Wehner-Schulze-Verfahrens.

In einer Untersuchung des Freistaates Sachsens [32] zur Griffigkeit ausgewählter Strecken wurde das Potential zur Griffigkeitsprognose mit derjenigen des Wehner-Schulze-Verfahrens verglichen.

Beim PWS-Verfahren konnte sowohl bei den Laborproben als auch bei den Bohrkernen aus der Teststrecke eine Reihung der verschiedenen Asphaltarten erstellt werden. Dies gelang beim PGM-Verfahren nur bei den Bohrkernen. Bei der Korrelation der Griffigkeitsprognose der Laborproben mit den Bohrkernen zeigte sich, dass das PGM-Verfahren ein tieferes Bestimmtheitsmass ($R^2=0.6979$) als dasjenige des Wehner-Schulze-Verfahrens ($R^2=0.8172$) besass (siehe Abbildung 3.35 und 3.36).

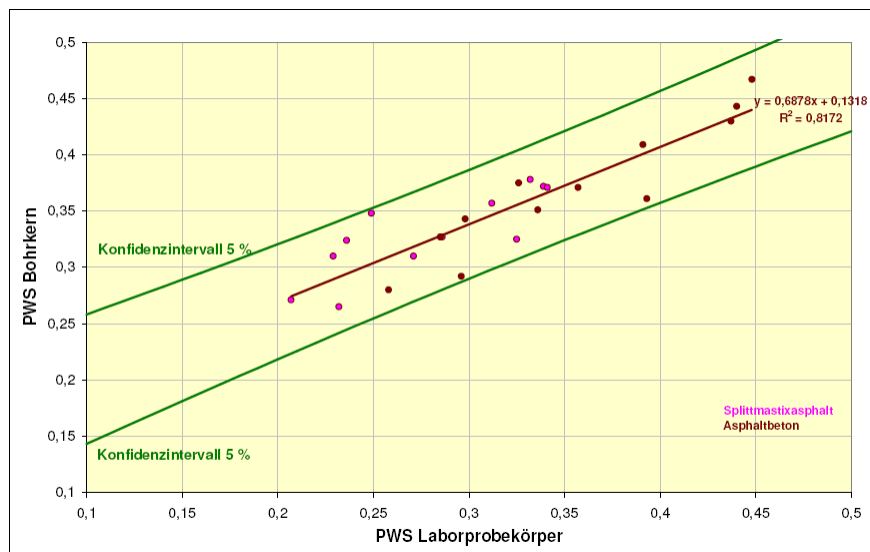


Abb. 3.35 Prognose mit dem Wehner-Schulze (aus [32])

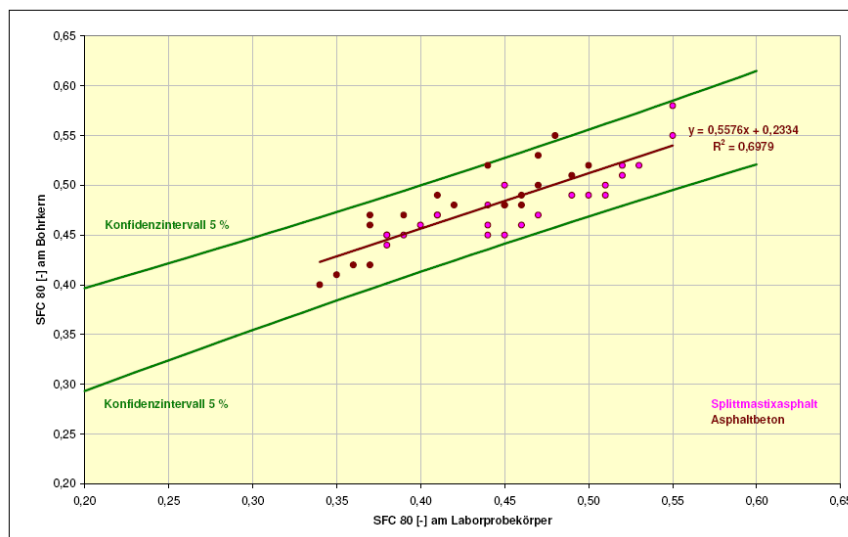


Abb. 3.36 Prognose mit dem PGM-Verfahren (aus [32])

3.2.6 Methode zur Untersuchung des Einflusses der Witterung auf die Griffigkeit

In einer französischen Forschungsarbeit [41] wurde der Frage nachgegangen, welchen Einfluss das Sonnenlicht, der Niederschlag, die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur auf die Griffigkeitsentwicklung haben und wie diese am besten nachgebildet werden. Zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragen wurde eine Maschine (Weatherometer) Namens SUNTEST XXL entwickelt (siehe Abbildung 3.37). Mit dem Weatherometer ist es möglich die Alterung künstlich zu beschleunigen. Am Weatherometer können folgende drei Parameter eingestellt werden:

- Lichteinstrahlung mittels Xenonlampen
- Temperaturbereich 45°C – 100°C
- Luftfeuchtigkeit 20-95%, die Proben können sogar mit einem Wasserdurchfluss von 0.3 l/min bewittert werden.

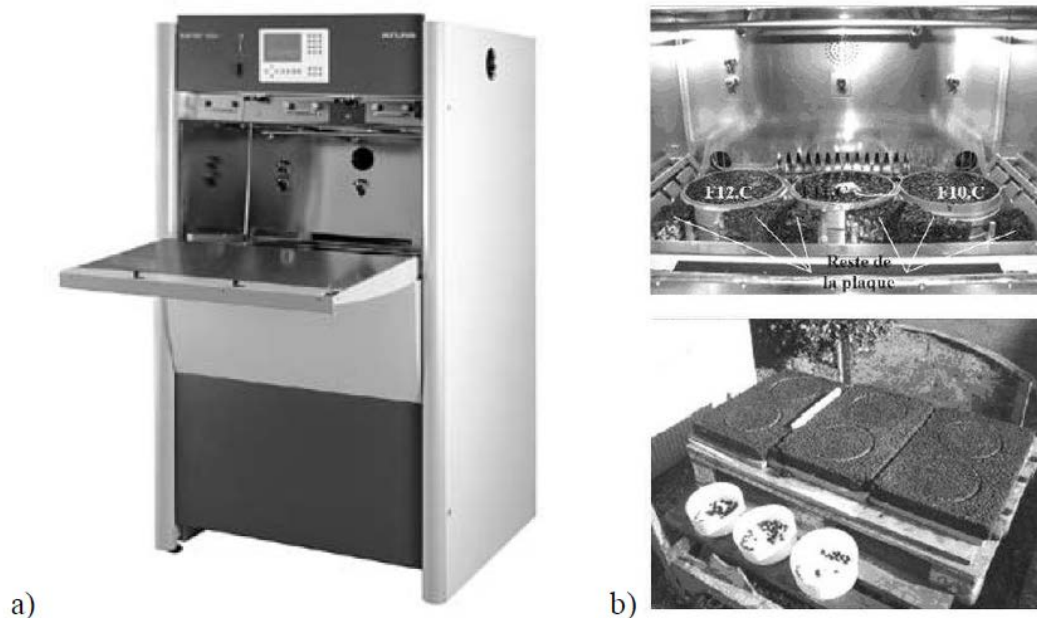


Abb. 3.37 Suntest XXL Apparatur b) zu prüfende Proben, die künstlich gealtert (oben) und natürlich bewittert (unten) wurden.(aus [41])

Anhand dieser Parameter wurde das Durchschnittswetter der Jahre 1961 – 1990 der Region Nantes soweit möglich nachgebildet. Es wurde anschliessend untersucht, ob mit der Prüfmaschine die natürliche Bewitterung nachvollzogen werden kann und ob die natürliche und die künstliche Bewitterung einen ähnlichen Einfluss auf Griffigkeitsentwicklung ausüben. Aus den Wetterdaten wurden folgende jährliche Durchschnittswerte erfasst:

- Niederschlag: 820 mm
- Luftfeuchtigkeit: 81%
- Sonneneinstrahlung: 215 MJ/m²
- Belichtungsdauer: 995 Std.

Aus den Wetterdaten wurde ein beschleunigendes Prüfprogramm entwickelt das aus 500 Zyklen bestand, die jeweils 2 Stunden dauerten. Jeder Zyklus beinhaltete eine zweiminütige Befeuchtung und 118 Minuten Trocknung mittels Einstrahlung. Die Griffigkeiten wurden dabei alle 24 Stunden mit der Wehner-Schulze Maschine bestimmt.

Die Auswertung der künstlich bewitterten Proben zeigte eine gute Übereinstimmung mit den auf der Strasse tatsächlich gemessenen Griffigkeiten (siehe Abb.3.38).

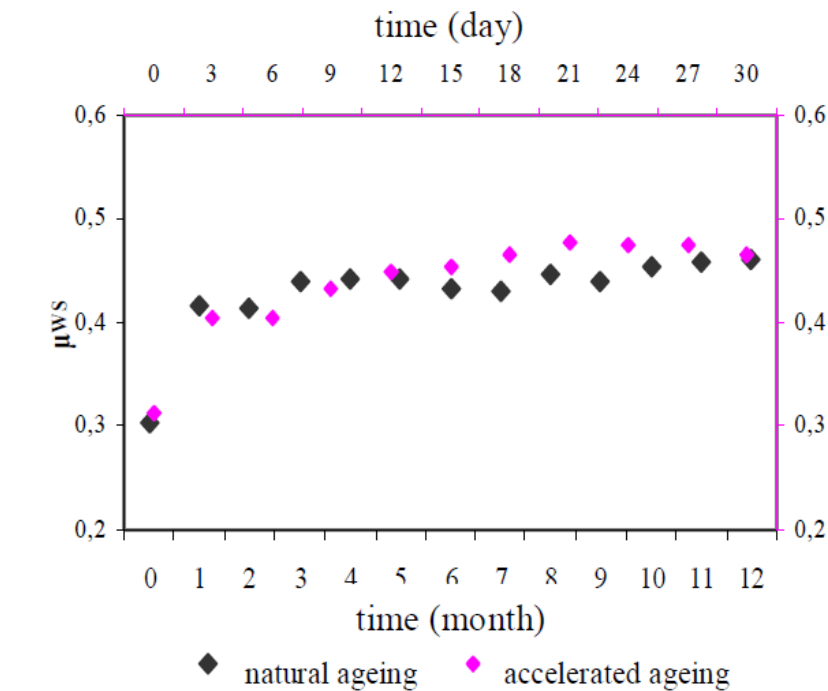


Abb. 3.38 Graphische Gegenüberstellung der im Weatherometer künstlich beschleunigten Alterung (violett) und der natürlich gealterten Proben (schwarz) (aus[41])

Es zeigte sich dabei, dass zwischen der beschleunigten, künstlichen Alterung (T_a) und der natürlichen Alterung (T_n) folgende lineare Abhängigkeit besteht (siehe Abbildung 3.39):

$$T_a = k_v \cdot T_n$$

T_a : beschleunigte Zeit in Tagen

T_n : Zeit in Monaten der natürlichen Alterung

k_v : Konstante, wird aus der linearen Regression des Plots $1/T_a$ vs. $1/T_n$ ermittelt

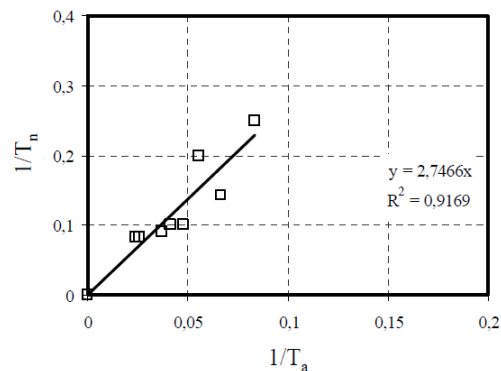


Abb. 3.39 Best fit für die Bestimmung der Konstanten k_v

Die Autoren verglichen die Ergebnisse des Weatherometer mit denjenigen des Wehner-Schulze-Prognoseverfahrens und stellten fest, dass die Wehner-Schulze-Methode den Einfluss des Verkehrs und das Entfernen des Bitumenfilms auf die Griffigkeit gut nachbilden kann, jedoch vermag die Methode nicht wie das Weatherometer, den Einfluss der Bewitterung auf die Griffigkeit anzusprechen.

3.3 Verfahren zur Bestimmung der Polierresistenz

Die Berührungslose Bestimmung der Griffigkeit erfolgt im Wesentlichen durch folgende Verfahrensschritte, der berührungslosen Messung der Strassenoberfläche (Lasertextur, optische Aufnahme) und der Bestimmung des Kraftschlusspotential bzw. der Griffigkeit der Fahrbahn über ein Gummireibungsmodell auf Basis der gemessenen Texturdaten [42]. In den neusten Forschungsarbeiten werden drei verschiedene Ansätze benützt um aus der Strassenoberfläche auf die Griffigkeit zu schliessen.

- Die Bestimmung der Griffigkeit über die Texturparameter
- Die Bestimmung der Griffigkeit über die Modelle, die den Reifen-Fahrbahn-Kontakt und die Gummireibung (teilweise unter der Berücksichtigung des Zwischenmediums) beschreiben.
- Die Beschreibung der Griffigkeit mittels einen kombinierten Ansatz bestehend aus beiden, Texturindikatoren und physikalisch basierten Modellen

Des Weiteren ist aus früheren Forschungsarbeiten bekannt, dass die Mikrotextur (Wellenlänge < 0.5mm) den Maximalwert der Kraftschluss-Schlupf-Kurve bestimmt, während die Makrotextur (Wellenlängen 0.5 mm – 50 mm) die Griffigkeit bei hohen Schlupfwerten beeinflusst (siehe Abbildung 3.40) [42].

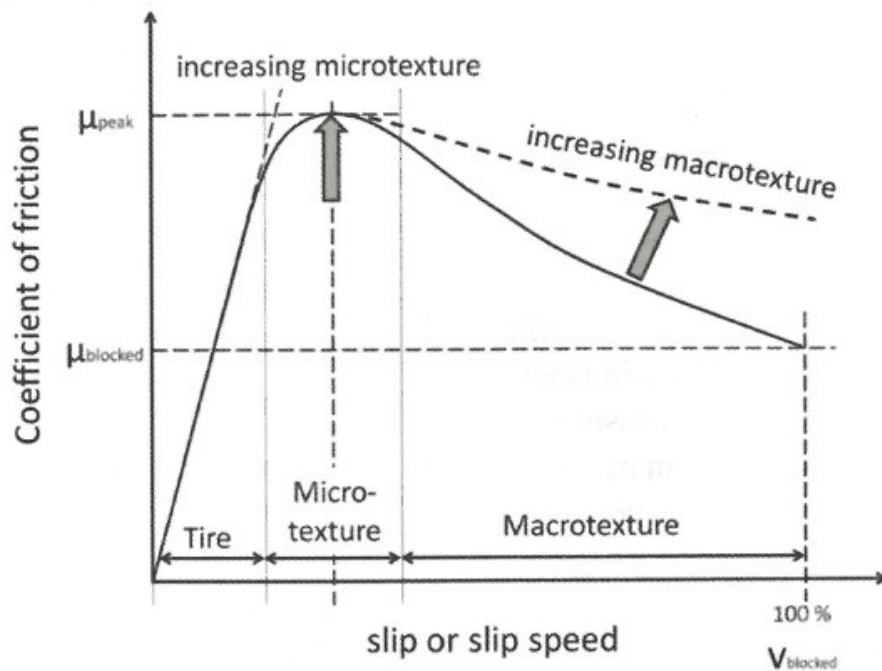


Abb. 3.40 Einfluss der Texturparameter auf die Reibung und den Schlupf aus [42]

Aus der Abbildung 3.40 ist ersichtlich, dass die Makrotextur für einen grossen Geschwindigkeitsbereich eine ausreichende Griffigkeit sicherstellen kann.

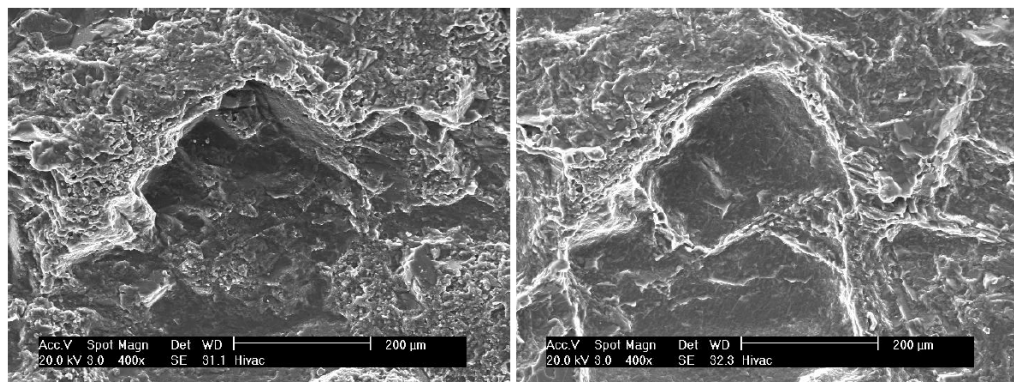
In einem britischen Forschungsvorhaben von Dunfort [43] wurde untersucht, welche berührungsfreie Methode sich eignet um die Griffigkeit von Gesteinskörnungen oder Belagsoberflächen bestimmen zu können. Für berührungslose Bestimmung wurden folgende Methoden gewählt;

- Oberflächenphotographie (Digitale Aufnahmen und REM-Aufnahmen)
- Oberflächentexturmessungen

Hierzu wurde die zu prüfende Gesteinskörnung mit dem Wehner-Schulze-Verfahren poliert. Die Polierzyklen betrugen dabei 0, 30, 90, 300, 900, 3000, 9000, 30000 und 90000

Übergänge. Nachfolgend wurde von jedem Polierzyklus der PWS-Wert bestimmt. Nach jedem Zyklus wurden an sechs Stellen jeweils 5 Gesteinskörner aufgenommen, sodass pro Polierzyklus gesamthaft 30 Gesteinskörner untersucht wurden. Die Auflösung der digitalen Kamera betrug 10 µm pro Pixel, somit war gewährleistet, dass die für die Griffigkeit verantwortliche Mikro- und Makrostruktur beschrieben werden konnte. An drei der sechs fotografierten Stellen wurden Abgüsse der Oberfläche (Durchmesser 50 mm) genommen und anschliessend am Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht. Die Abgüsse der Oberfläche wurden zusätzlich einer Oberflächentexturmessung unterzogen, um den Einfluss des Polierens auf die räumliche Struktur zu untersuchen.

Die Auswertung der Oberflächenphotographie zeigte, dass die Gesteinskörnungen mit zunehmender Politur eine zunehmende dunkle Färbung aufweisen. Die REM-Aufnahmen zeigten, dass es mit zunehmender Polierdauer zu einer Glättung der Kornoberflächen gekommen war (siehe Abbildung 3.41).



b nach Politur

Abb. 3.41 Texturänderungen hervorgerufen durch die Politur (aus [43])

Die Änderung der Mikrostruktur werden gemäss Autor durch die petrographischen und mineralogischen Eigenschaften einer Gesteinskörnung beeinflusst. Zum Verständnis des Wirkungsmechanismus werden weitere Forschungsarbeiten angeregt. Als weitere Forschungsidee führt der Autor auf, dass mit Hilfe der REM-Untersuchungen und dem eingebauten EDX-Analysator auf den Chemismus der untersuchten Oberfläche und somit auf deren Mineralogie geschlossen werden kann. Somit wäre es möglich zu untersuchen wie sich verschiedene Minerale in den Gesteinskörnungen bezüglich ihrer Polierresistenz verhalten. Aus den Daten der Oberflächentexturmessung folgert der Autor, dass auch weitere Untersuchungen notwendig sind, um aus den Oberflächentexturmessungen auf die Griffigkeitsentwicklung zu schliessen.

Die BAST [44] untersuchte im Rahmen des Forschungsvorhaben „Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2“ mittels dem T3D-Messsystems (Prinzip der Streifenprojektion) und eines Digitalmikroskops die Oberflächen der Gesteinskörnungen. Es zeigte sich, dass nur ein bedingter Zusammenhang zwischen der Griffigkeit der Rauheitskenngrössen besteht. Jedoch weisen die Autoren darauf hin, dass das Forschungsvorhaben noch nicht abgeschlossen ist.

4 Forschungsbedarf

4.1 Mögliche Forschungsziele

Der im Sachstandsbericht festgestellte Forschungsbedarf wird untenstehend in drei Gruppen eingeteilt:

Prüftechnik

- Kalibrier- und Kontrollmedium: In verschiedenen Ländern werden unterschiedliche Lösungen für die Kalibrierung des FAP-Prüfstandes gewählt. Es ist Klarheit darüber zu verschaffen, welche der Lösungen die geeignetste ist, um einen entsprechenden Vorschlag auszuarbeiten.
- Die Herstellung (Verdichtung) von Prüfkörpern im Labor ist zu präzisieren.
- Der Zustand der Gummirollen in FAP-Prüfstand ist näher zu beschreiben. Insbesondere ist eine Nutzungsbegrenzung bezüglich des Alters und der Anzahl Umdrehungen festzulegen.
- Die Präzision des Prüfverfahrens (Reproduzierbarkeit) ist noch zu wenig bekannt; die Teilnahme an einem internationalen Ringversuch ist anzustreben.

Anforderungen

- Es fehlt ein Bewertungshintergrund der in der Schweiz üblicherweise verwendeten Gesteinskörnungen für Asphalt-Deckschichten.
- Der Vergleich mit den bisherigen Methode PSV soll hergestellt werden.
- Das von der TU Berlin vorgeschlagene Verfahren zur Beurteilung der Griffigkeitsprognose ist auf Schweizer Verhältnis anzuwenden und die Einsatzmöglichkeit abzuklären.
- Es ist abzuklären, ob eine Griffigkeitsprognose im Rahmen der Erstprüfungen verwendet werden kann.
- Die In FAP-Prüfstand gemäss Vorschlag TU Berlin bestimmte Griffigkeitsprognose ist mit Messungen der Griffigkeit (SKM) zu belegen.

Basiswissen

- Der Einfluss der Betongraphie und Mineralogie auf das Polierverhalten soll untersucht werden. Darauf können grundlegende Kenntnisse über die Vorgänge beim Polieren gewonnen werden. Diese Kenntnisse könnten für die Auswahl der provenienz von Gesteinskörnungen hilfreich sein.
- Der Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Dauerhaft der akustischen Eigenschaften ist zu untersuchen.
- Der Einfluss der Witterung auf die Entwicklung der Griffigkeit (Frost-Tau-Wechsel so wie Belastung durch sauren Regen) ist zu untersuchen.
- Es ist abzuklären in wie weit eine Optimierung der Griffigkeit durch die Verwendung verschiedener Gesteinskörnungen mit unterschiedlichem Polierwiderstand erfolgen kann.

Aus der Erarbeitung des Sachstandsberichtes der vielen geführten Gespräche mit Fachexperten aus mehreren europäischen Ländern sowie der aktiven Beteiligung an einem internationalen Workshop konnten die aktuellen, offenen Fragen zum Thema erkannt werden. Daraus lassen sich mögliche Forschungsziele definieren, die sich mit der Thematik des Polierwiderstands und der Griffigkeit von Asphaltdeckschichten befassen.

- Optimierung des Wehner-Schulze-Verfahrens. Trotz grosser internationalen F&E Aktivitäten gibt es immer noch offene Fragen zur Durchführung/Kalibrierung der Wehner-Schulze-Prüfung.
- Anforderungen an die Polierbarkeit
- Einfluss von materialspezifischen Eigenschaften auf die Polierbarkeit
- Optimierung der Mischgutzusammensetzung hinsichtlich der Griffigkeit
- Potential der Polierbarkeit zur Beeinflussung der akustischen Dauerhaftigkeit

5 Definition der Einzelprojekte (EP)

Das geplante Forschungspaket FP besteht aus mehreren Einzelprojekte EP, welche sich auf spezifische Fragestellungen fokussieren. Die einzelnen EP wurden im Rahmen des Pakets konzipiert, sodass die Fragestellung „Polieren und Griffigkeit“ umfassend angegangen werden kann. Im Kap. 6 sind die Abhängigkeiten zwischen den EP aufgezeichnet.

Die entsprechenden ARAMIS-Formulare Nr 1 und Nr 2 sind im Anhang aufgeführt.

In den folgenden Kapiteln werden die Einzelprojekte derart beschrieben, dass diese Texte zur Ausschreibung verwendet werden kann.

Das Forschungspaket sieht für alle Einzelprojekte eine Dauer von 3 Jahren vor. In diesem Zeitraum ist ein Bericht mit den Ergebnissen und Folgerungen abzugeben. In den EP 4 und 6 werden Beobachtungsstrecken periodisch gemessen. Möglicherweise ist der gewählte Zeitraum von 3 Jahren zu kurz, um Veränderungen infolge der Verkehrsbelastung festzustellen. Trotzdem sollen auch diese EP innert 3 Jahren abgeschlossen werden, um einen Synthesebericht zum gesamten Forschungspaket verfassen zu können. Eine Verlängerung des Monitoring der Beobachtungsstrecken müsste allenfalls in Betracht gezogen werden.

5.1 EP0: Projektleitung

Der Projektleitung obliegen die Leitung und das Controlling der einzelnen EP's. Im Weiteren soll die Projektleitung die Begleitskommission bei Ihrer Arbeit unterstützen. Die Projektleitung hat die Aufgabe die für die im EP1-EP7 benötigten Gesteinskörnungen (insgesamt 4 Gesteinskörnungen) und Mischgutproben (roter Faden) zu besorgen und den einzelnen EP zuzustellen. Die Projektleitung soll die laufenden Erkenntnisse in Form von Zwischenberichten und einem Schlussbericht (Synthesebericht) zusammenfassen.

Nach Abschluss der Forschungsprojekte hat die Projektleitung die Aufgabe, aus dem Synthesebericht nationale Empfehlungen/Anforderungen für die Polierbarkeit und die Griffigkeitsentwicklung zu formulieren. Zudem hat die Projektleitung nach Abschluss des Projektes einen Workshop zu organisieren, in welchem einem breiten Publikum die Ergebnisse der Arbeit präsentiert werden.

Der Projektleitung ist ein Budget von 110'000 CHF für eine Zeitdauer von 3 Jahren zu gedacht.

5.2 EP1: Optimierung des Prüfverfahrens FAP

5.2.1 Ausgangslage

Das Ziel dieses EP ist die Verbesserung des Prüfverfahrens FAP „Friction after Polishing“. Die Arbeit soll die noch nicht beantworteten Fragen hinsichtlich der Kalibrierung des Gerätes, des Zustandes der verwendeten Rollen sowie der Herstellung von Prüfkörpern im Labor beantworten.

Das für die Kalibrierung der Prüfmaschine zu verwendende Referenz-Material ist bis heute nicht geregelt. Als mögliches Kalibriermaterial sollen insgesamt mindestens 4 Materialien untersucht werden, wobei folgende Materialien in die Untersuchung miteinzubeziehen sind: Glasplatte und Sandpapier.

Die Gummirollen der Prüfmaschine sind einerseits einem Verschleiss ausgesetzt, andererseits altert das Gummi. Bis jetzt besteht bezüglich des Alters noch keine Nutzungseinschränkung. Es sind Untersuchungen durchzuführen, welche eine Aussage über die Nutzungsdauer der Gummirollen hinsichtlich der Anzahl Umdrehungen wie auch des Alters

der Rollen ermöglichen.

Zur Festlegung des Verfahrens für die Verdichtung im Labor werden Proben mit mindestens zwei unterschiedlichen, in der EN 12697-xx Normenreihe beschriebenen Verfahren, im Labor verdichtet und mit Bohrkernen aus der Strasse verglichen, wobei Laborproben und Bohrkern aus dem gleichen Produktionstag derselben Rezeptur der gleichen Aufbereitungsanlage stammen. Die untersuchten Mischgutsorten werden mit den EP4/6/7 gemeinsam festgelegt, wobei auf unterschiedliche Provenienzen der Gesteinskörnungen zu achten ist. Aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse der FAP-Prüfungen soll einerseits eine Referenz-Labormethode vorgeschlagen werden, andererseits der Vergleich zur Strasse hinterfragt werden. Diese Gegenüberstellung zwischen Laborprüfkörpern und der Strasse soll anhand von mindestens 6 Einbaustellen erfolgen (die Wahl der Beobachtungsstrecken ist mit dem EP4 festzulegen). Das EP hat die Einbaukontrollen dieser 6 Beobachtungsstrecken (Mischgut- und Bohrkernuntersuchungen) gem. Prüfplan (SN 640 434a) durchzuführen.

Zur Bestimmung der Präzision (Reproduzierbarkeit) wird die Teilnahme an einem internationalen Ringversuch angestrebt.

Zurzeit existieren 3 Generationen von Prüfgeräten. Dies führt dazu, dass deren Vergleichbarkeit unterschiedlich bewertet wird. Daher ist es für das Forschungspaket sinnvoll, wenn alle FAP-Prüfungen auf dem gleichen Gerät erfolgen. Somit fällt dem EP1 die Aufgabe zu, die für die anderen EP's erforderlichen FAP-Prüfungen (30 Stück) und Prüfungen der Griffigkeitsprognose gem. Verfahren der TU Berlin [6] (60 Stück) auf dem WS-Prüfstand durchzuführen.

5.2.2 Ziele des EP1

Das Ziel des EP1 ist es das Laborprüfverfahren FAP zu verbessern. Das EP hat zu folgenden Fragen Stellung zu beziehen:

- Welches Kalibriermedium eignet sich am besten? Wie kann sichergestellt werden, dass die verwendeten Gummiwalzen zu jedem Zeitpunkt der Prüfung dieselben Eigenschaften aufweisen?
- Welches Laborverdichtungsverfahren eignet sich am besten um die Prüfkörper herzustellen?
- Gibt es eine Übereinstimmung der Ergebnisse der im Labor erstellten Prüfkörper mit denjenigen an Bohrkernen aus Strassen?
- Besteht eine befriedigende Reproduzierbarkeit der Prüfmethode FAP?

5.2.3 Erwartete Resultate

- Präzisierungen des Prüfverfahrens FAP
- Festlegung eines geeigneten Laborverdichtungsverfahrens aus der Normenreihe CEN 12697-xx
- Verbesserungsvorschläge in der Kommission CEN TC227/WG1/TG2 einbringen
- Diskussion der Ergebnisse und Darlegung ihrer Bedeutung für die Normierung

5.2.4 Kostenrahmen

Projektdauer: 36 Monate

Geschätzte Kosten: CHF 210'000 für das EP1

CHF 200'000 für die Durchführung der Prüfungen auf dem WS-Prüfstand für die anderen EP gemäss Projektplanung

5.3 EP2: Anforderungen an die Polierbarkeit von Gesteinskörnungen für Deckschichten

5.3.1 Ausgangslage

Das Ziel dieses EP's ist es, einen Bewertungshintergrund für die Ergebnisse der FAP-Prüfung für die in der Schweiz typisch vorkommenden Gesteinskörnungen zu erarbeiten. Der Bewertungshintergrund, gemeinsam mit ausländischen Erfahrungen, bildet die Basis für die Festlegung von Anforderungen an den Polierwiderstand einer Gesteinskörnung für Deckschichten im Strassenbau.

In der Schweiz gibt es zurzeit noch keine systematischen Erfahrungen (Bewertungshintergrund) über die Ergebnisse von FAP-Prüfungen für die typischen vorkommenden Gesteinskörnungen. Hierzu sollen die in der Schweiz für die Aufbereitung von Asphalt-Deckschichten verwendeten Gesteinskörnungen erfasst, analysiert und katalogisiert werden. Anschliessend soll an Gesteinskörnungen aus 12 verschiedenen Provenienzen systematische Prüfungen an den Fraktionen 4/8 und 8/11 durchgeführt werden. Parallel dazu werden vergleichende PSV-Untersuchungen durchgeführt, um allfällige Korrelationen zu suchen. Die FAP Prüfungen inkl. der Prüfkörperherstellung werden durch das EP1 (24 Stück) kostenlos durchgeführt; das EP2 trägt die Transportkosten und ist für die Interpretation der Ergebnisse verantwortlich.

5.3.2 Ziele des EP2

Das EP2 soll Entscheidungsgrundlagen für die Festlegung von Anforderungen liefern, indem Vorschläge ausgearbeitet werden. Diese Vorschläge basieren einerseits auf dem erstellten Bewertungshintergrund der in der Schweiz vorkommenden Gesteinskörnungen und andererseits auf den internationalen Erfahrungen.

5.3.3 Erwartete Resultate

- Erarbeitung eines Überblickes über das Verhalten der in der Schweiz zur Aufbereitung von Asphalt-Deckschichten verwendeten Gesteinskörnungen im FAP-Test
- Auswertung ausländischer Erfahrungen
- Vorschlag für Anforderungen an die Polierbarkeit (FAP-Test)
- Interpretation des Vergleiches der FAP-Ergebnisse mit der bisherigen Prüfung (PSV)
- Diskussion der Ergebnisse und Darlegung ihrer Bedeutung für die Normierung

5.3.4 Ziele des EP2

Projektdauer: 36 Monate
Geschätzte Kosten: CHF 140'000

5.4 EP3: Der Einfluss der Petrographie und Mikrostruktur auf die Polierbarkeit von Gesteinskörnungen für den Strassenbau

5.4.1 Ausgangslage

Über den Einfluss der Mineralogie/Petrologie und der Mikrostruktur der Gesteinskörnungen auf das Polierverhalten sowie auf die Griffigkeit ist bisher nur wenig bekannt. Gesteinskörnungen mit gleicher Anfangsgriffigkeit können unter einer Poliereinwirkung ein unterschiedliches Verhalten aufweisen. Zurzeit fehlen systematische Untersuchungen zur Erklärung dieses unterschiedlichen Verhaltens. Das EP3 soll die griffigkeitsrelevanten Mechanismen der verschiedenen Gesteinskörnungen unter Polierbeanspruchung beschreiben und daraus die Grundlagen zur Auswahl von geeigneten Gesteinskörnungen liefern.

Auf Basis einer erweiterten Literaturstudie sollen die zu untersuchenden mineralogischen und petrographischen Zusammensetzungen der Gesteinskörnungen festgelegt werden. Es sollen 10 zu untersuchende Provenienzen festgelegt werden, wobei deren 4 aus dem EP0 (roter Faden) vorgegeben werden. Die mineralogischen und petrographischen Untersuchungen sollen nach genau definierten Polierzyklen, detailliert mittels optischer Mikroskopie und REM-Mikroskopie erfolgen. Die Polierzyklen werden nach Vorgabe des EP3 durch das EP1 kostenlos (10 Prüfungen der Griffigkeitsprognose gem. Verfahren der TU Berlin [6]) inkl. der Herstellung der Prüfkörper (Mosaik-platten) durchgeführt; die Transportkosten gehen zu Lasten des EP3. Es soll dabei versucht werden, die für die Griffigkeit relevanten Mechanismen zu identifizieren. Es ist zudem abzuklären, ob aus den mineralogisch/petrographischen Untersuchungen eine Prognose der Polierbarkeit abgeleitet werden kann. Des Weiteren soll der Einfluss des Quarzsandanteils eines Sandes hinsichtlich des „selbstschärfenden Effekts“ untersucht werden.

5.4.2 Ziele des EP3

Das Ziel des EP3 ist es den Einfluss der Petrographie und der Mineralogie auf das Polierverhalten zu untersuchen. Das EP hat zu folgenden Fragen Stellung zu beziehen:

- Können die griffigkeitsrelevanten Mechanismen des Polierens identifiziert werden?
- Hat die Mikrostruktur (fein-/grobkristallin) einen Einfluss auf das Polierverhalten?
- Kann der Einfluss des Quarzanteils in einem Sandstein beschrieben werden (Selbstschärfender Effekt)?
- Sind aufgrund der mineralogischen und petrographischen Untersuchungen Aussagen über das Griffigkeitsverhalten möglich; kann eine Prognose der Griffigkeit gemacht werden?

5.4.3 Erwartete Ergebnisse

- Beschreibung des Poliervorganges von Gesteinskörnungen aus mineralogischer Sicht
- Entscheidungsgrundlagen zur Auswahl von Gesteinskörnungen hinsichtlich deren Polierbarkeit
- Diskussion der Ergebnisse und Darlegung ihrer Bedeutung für die Normierung

5.4.4 Kostenrahmen

Projektdauer: 36 Monate
Geschätzte Kosten: CHF 140 000

5.5 EP4: Prognose der Griffigkeit von Deckschichten

5.5.1 Kostenrahmen

Die Prognose der sicherheitsrelevanten Eigenschaft einer Deckschicht könnte bei der Auswahl der Baustoffe und deren Zusammensetzung (Rezeptur) von grosser Bedeutung sein. Daher soll dieses EP die Frage beantworten, ob es mit der FAP-Prüfung möglich ist eine Griffigkeitsprognose für die in der Schweiz verwendeten Deckschichten zu erstellen. Ausserdem soll abgeklärt werden, ob sich die FAP-Prüfung im Rahmen einer Erstprüfung einsetzen lässt.

Das Potential des Prüfverfahrens betreffend der Griffigkeitsprognose gem. Verfahren der TU Berlin [6**Fehler! Textmarke nicht definiert.**] soll anhand von mindestens 5 verschiedenen in der Schweiz vorkommenden Mischgutttypen (z. Beisp. AC8/AC11/ACMR8/ACMR11/SDA8) anhand von 12 Beobachtungsstrecken und Laborprobekörper untersucht werden. Die Mischgutsorten sind mit den EP1/6/7 gemeinsam festzulegen; 6 der 12 Beobachtungsstrecken sind gemeinsam mit dem EP1 festzulegen. Dabei soll die im Labor bestimmte Prognose der Griffigkeit (gem. Verfahren der TU Berlin [25]) der einzelnen Mischgutsorten mit den Messungen der Griffigkeit (SKM) auf den Beobachtungsschichten verglichen werden. Das Prognosemodell basiert auf den Vergleich mit SKM-Messungen, es dürfen daher im EP4 keine anderen Messverfahren zur Bestimmung der Griffigkeit verwendet werden. Es ist zu erwähnen, dass es nicht vorgesehen ist, eigens für das Projekt Teststrecken zu bauen. Die Messungen werden auf Strecken durchgeführt, die im Rahmen der Bautätigkeit verschiedener Bauherren erfolgen. Das EP hat die Einbaukontrollen der Beobachtungsstrecken (Mischgut- und Bohrkernuntersuchungen) gem. Prüfplan (SN 640 434a) durchzuführen. Die Griffigkeitsmessungen mit dem SKM-Messfahrzeug erfolgen unter Verkehr ohne diesen zu behindern. Somit können die Messungen beliebig oft durchgeführt werden; es sind mindestens 3 Messkampagnen aller Beobachtungsstrecken gefordert. Die Griffigkeitsprognose an den Laborprobekörper erfolgt kostenlos durch das EP1 (12 Stück inkl. Herstellung der Prüfkörper mit zur Verfügung gestelltem Mischgut) wobei die Transportkosten durch das EP4 zu tragen sind. Die Auswertung und die Interpretation der Ergebnisse erfolgt durch das EP4. Der Vergleich zwischen den SKM-Messungen und den Griffigkeitsprognosen soll Auskunft darüber geben, ob das FAP Prüfverfahren in der Lage ist, die Griffigkeitsentwicklung der in der Schweiz eingebauten Deckbeläge richtig zu prognostizieren oder deren Tendenz vorauszusagen.

5.5.2 Ziele des EP4

Das Ziel des EP4 ist es das von der TU Berlin vorgeschlagene Prognoseverfahren zu überprüfen. Das EP hat zu folgenden Fragen Stellung zu beziehen:

- Besteht ein Zusammenhang zwischen der im Labor erstellten Prognose der Griffigkeitsentwicklung und der tatsächlich gemessenen Griffigkeit?
- Verhalten sich die unterschiedlichen Mischgutsorten im Prognosemodell ähnlich oder müsste das Modell mischgutspezifisch angepasst werden?
- Welchen Einfluss hat der Anteil an Schwerverkehr (LW) bei der Entwicklung der Griffigkeit? Wie kann dieser Einfluss im Prognosemodell berücksichtigt werden?
- Kann das Prognosemodell im Rahmen von Erstprüfungen verwendet werden?

5.5.3 Erwartete Ergebnisse

- Beurteilung darüber, ob das von der TU Berlin vorgeschlagene Prognosemodell mit den gemessenen Griffigkeiten übereinstimmt
- Vorschlag von Grenzwerten für die Beurteilung der zukünftigen Griffigkeit von Deckschichten
- Diskussion der Ergebnisse und Darlegung ihrer Bedeutung für die Normierung

5.5.4 Kostenrahmen

Projektdauer: 36 Monate
Geschätzte Kosten: CHF 240'000

5.6 EP5: Optimierung der Mischgutrezeptur hinsichtlich der Griffigkeit

5.6.1 Ausgangslage

Die einzelnen Fraktionen eines Mischgutes beeinflussen die Griffigkeit einer verdichteten Deckschicht in unterschiedlicher Art und Weise. Falls es gelingt, durch den gezielten Einsatz hochwertiger Gesteinskörnungen in einzelnen Fraktionen die Verwendung von Gesteinskörnungen mit ungünstigeren Poliereigenschaften ohne Einbusse der Griffigkeitseigenschaften zu ermöglichen, hätte dies eine grosse wirtschaftliche und ökologische Bedeutung.

Es soll der Frage nachgegangen werden, ob durch den gezielten Austausch einzelner Fraktionen der Mischgutrezeptur die Griffigkeit einer Deckschicht erhöht werden kann. Die Optimierung der Griffigkeit soll im Labor an mindestens 4 verschiedenen Mischgutsorten (zum Beispiel ACMR8/SMA11/AC8) mit Gesteinskörnungen aus unterschiedlichen Provenienzen (Gesteinskörnungen aus EP0 und ergänzende Auswahl) mit unterschiedlichem Polierwiderstand erfolgen. Von jeder Mischgutsorte sind 4 Variationen der Rezeptur durchzuführen.

Es soll auch der Frage nachgegangen werden, wie durch den gezielten Einsatz von Sand die Griffigkeit einer Deckschicht beeinflusst werden kann. Hierzu soll sowohl die Sieblinie des Sandes als auch der Typ des Sandes (Kalksteinhaltig/granitoid) variiert werden. Diese Variation des Sandes soll an zwei Mischgutsorten mit unterschiedlichem Grösstkorn durchgeführt werden (z.B. ACMR8 und ACMR11 oder SDA4 und SDA8), wobei für jede Mischgutsorte 4 Variationen zu wählen sind.

Zur Beurteilung der Griffigkeit werden durch das EP1 FAP-Prüfungen (24 Stück inkl. Herstellung der Prüfkörper mit zur Verfügung gestelltem Mischgut) kostenlos durchgeführt, wobei die Transportkosten durch das EP5 zu tragen sind. Die Auswertung und die Interpretation der Ergebnisse erfolgt durch das EP5.

5.6.2 Ziele des EP5

Das Ziel des EP5 ist es die Mischgutrezeptur von Deckschichten hinsichtlich der Griffigkeit zu optimieren, indem Gesteinskörnungen mit unterschiedlichem Polierwiderstand verwendet werden. Das EP hat zu folgenden Fragen Stellung zu beziehen:

- In welchem Ausmass kann die Griffigkeit einer Deckschicht, welche mit Gesteinskörnungen mit ungünstigem Polierwiderstand erstellt wurde, durch den Austausch einzelner Fraktionen mit Gesteinskörnungen hoher Polierresistenz beeinflusst werden?
- Welchen Einfluss hat die Wahl des Sandes auf die Griffigkeit? Dabei soll die Frage der Korngrössenverteilung des Sandes einerseits und des Sandtypes (Art der Gesteinskörnung) andererseits untersucht werden.

5.6.3 Erwartete Ergebnisse

- Hinweise zur Optimierung der Mischgutrezeptur unter Verwendung verschiedener Gesteinskörnungen mit unterschiedlichem Polierwiderstand
- Hinweise zu den Anforderungen an die Qualität des Sandes um eine Verbesserung der Griffigkeit zu erreichen

- Diskussion der Ergebnisse und Darlegung ihrer Bedeutung für die Normierung

5.6.4 Kostenrahmen

Projektdauer: 36 Monate
Geschätzte Kosten: CHF 150'000

5.7 EP6: Einfluss der Polierbarkeit auf die akustischen Eigenschaften

5.7.1 Ausgangslage

In der aktuellen Forschung wurde der Einfluss der Polierbarkeit auf die akustischen Eigenschaften noch nicht eingehend behandelt. Einerseits wird argumentiert, die akustischen Eigenschaften einer Strassenoberfläche würden vor allem durch die Makro- und Megatextur in einem Wellenlängenbereich zwischen 0.5 und 500 mm beeinflusst, andererseits stellt man fest, dass die Veränderungen der akustischen Eigenschaften im Verlaufe der Nutzungsdauer durch Veränderungen der Textur hervorgerufen werden. Inwieweit da auch die Mikrotextur (0.1 mm bis 0.5 mm) eine Rolle spielt wurde noch nicht abgeklärt.

Das Ziel des EP6 ist es, die Frage, ob eine hohe Polierresistenz zu einer Verbesserung der akustischen Dauerhaftigkeit des Belages führt, zu beantworten. Dies soll anhand von 10 Beobachtungsstrecken untersucht werden. Diese Strecken werden aus den Beobachtungsstrecken der EP1 und EP4 ausgewählt und allenfalls mit weiteren Strecken ergänzt. Wesentlich dabei ist es, das Polierverhalten der ausgewählten Strecken zu kennen. Zu diesem Zweck führt das EP1 kostenlos bis zu 6 FAP an angelieferten Bohrkernen durch (im EP1 wird die FAP-Prüfung an Bohrkernen aus 6 Beobachtungsstrecken durchgeführt; die Ergebnisse stehen für das EP6 zur Verfügung). Die verschiedenen Beobachtungsstrecken sollen dabei Gesteinskörnungen mit unterschiedlichem Polierwiderstand enthalten. Auf den Beobachtungsstrecken erfolgen jährlich SKM-Messungen (für die Ermittlung der Griffigkeit) und CPX-Messungen (zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften). Aus dem zeitlichen Verlauf der beiden Messungen soll eine Aussage getroffen werden, ob zwischen der Polierresistenz und der akustischen Dauerhaftigkeit eines Deckbelages ein Zusammenhang besteht.

5.7.2 Ziele des EP6

Das Ziel des EP6 ist es, abzuklären, ob Gesteinskörnungen mit hohem Polierwiderstand einen Beitrag zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Deckschichten leisten können. Das EP hat zu folgenden Fragen Stellung zu beziehen:

- Hat der Polierwiderstand der Gesteinskörnungen einen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften?
- Haben die Erkenntnisse allenfalls einen Einfluss auf die Rezeptierung lärmindernder Deckschichten?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen Griffigkeit und Akustik?

5.7.3 Erwartete Ergebnisse

- Grundsätzliche Klärung der Frage nach dem Einfluss des Polierwiderstandes auf die akustische Dauerhaftigkeit
- Allfällige Vorschläge für Anforderungen an die Polierbarkeit der Gesteinskörnungen für lärmarme Deckschichten

- Diskussion der Ergebnisse und Darlegung ihrer Bedeutung für die Normierung

5.7.4 Kostenrahmen

Projektdauer: 36 Monate
Geschätzte Kosten: CHF 260'000

5.8 EP7: Der Einfluss der Witterung auf die Griffigkeitsentwicklung

5.8.1 Ausgangslage

Das Verfahren zur Bestimmung Griffigkeitsprognose gem. Vorschlag der TU Berlin [6] berücksichtigt nur das Polieren der Strassenoberfläche durch den Verkehr. Die Umwelteinflüsse wie Witterung bleiben dabei unberücksichtigt. Daher ist das Ziel des EP7 eine gesamtheitliche Erfassung der Veränderung der Griffigkeit infolge von Polieren (Abnahme), von Frost-Tau (FT)-Wechseln (Zunahme) sowie der chemischen Belastung durch sauren Regen (Zunahme) zu ermöglichen.

Hierzu sollen in einem ersten Schritt drei für die Schweiz relevanten Klimabedingungen ausgewählt werden, die sich bezüglich der Niederschlagsmengen und der Anzahl Frost-Tau-Wechsel voneinander unterscheiden. Der Einfluss der Sonnenbestrahlung bzw des UV-Lichtes auf die Alterung des Bindemittels wird von vornherein vernachlässigt, da es sich dabei um einen Einfluss handelt, der nur in den ersten Monaten der Gebrauchsdauer relevant in Erscheinung tritt. Die Bewitterung, bestehend aus mehreren Bewitterungszyklen, soll an Laborprobekörper durchgeführt werden. Es sind 6 Mischgüter festzulegen; 2 verschiedene Grösstkörner und 3 unterschiedliche Provenienzen der Gesteinskörnungen, wobei nach Möglichkeit die Gesteinskörnungen des roten Fadens (EP0) zu verwenden sind. Das EP7 stellt die Laborprüfkörper nach Angaben des EP1 (Laborverdichtungsart) her. Die Griffigkeit der bewitterten Oberfläche wird durch den FAP-Test charakterisiert und nach einer festgelegten Anzahl von Bewitterungszyklen durchgeführt. Die FAP-Prüfungen werden durch das EP1 kostenlos an angelieferten Probekörpern durchgeführt (18 Stück). Die bewitterten Laborprobekörper werden mit den unbewitterten Laborprobekörper, welche der gleichen Anzahl von Polierzyklen ausgesetzt, wurden, verglichen. Die Ergebnisse der FAP-Prüfungen an unbewitterten Proben werden vom EP1 zur Verfügung gestellt. Aus dem Vergleich der Griffigkeitsmessungen zwischen bewittert/unbewittert soll auf den Einfluss der Frost-Tau-Wechsel sowie des sauren Regen geschlossen werden. Zudem soll untersucht werden, ob die in der Regel tiefere Griffigkeit in Tunnels alleine auf die fehlende Bewitterung zurückzuführen ist, oder ob die höhere Belastung der Luft mit Schadstoffen einen Einfluss ausübt. Hierzu sind Prüfkörper einer Mischgutsorte einer hohen Belastung durch Abgase auszusetzen. Der Prüfkörper wird aus denjenigen Prüfkörpern ausgewählt, welche im EP1 der FAP-Belastung ausgesetzt wurde. Auf diese Weise kann eine weitere Veränderung der Griffigkeit durch die schadstoffbelastete Luft untersucht werden. Nach der Luft-Belastung wird die Griffigkeit im FAP-Prüfstand nochmals gemessen.

5.8.2 Ziele des EP7

Das Ziel des EP7 ist es, die Witterungseinflüsse auf die Entwicklung der Griffigkeit zu analysieren. Das EP hat zu folgenden Fragen Stellung zu beziehen:

- Kann das Potential einer Gesteinskörnung die Griffigkeit durch Witterungseinflüsse wieder ansteigen zu lassen quantifiziert werden?
- Haben die in der Schweiz vorkommenden, verschiedenen klimatischen Bedingungen unterschiedliche Auswirkungen auf die Entwicklung der Griffigkeit im Verlaufe der Nutzungsdauer?
- Sind die schlechteren Griffigkeitswerte in Tunnels ausschliesslich auf die fehlende Bewitterung zurückzuführen oder hat die Luftbelastung mit Schadstoffen auch einen Einfluss?
- Kann ein ungünstiger Polierwiderstand einer Gesteinskörnung in Kauf genommen werden, falls die Gesteinskörner durch Witterungseinflüsse wieder aufgeraut werden

5.8.3 Erwartete Ergebnisse

- Hinweise zur Verwendung von Gesteinskörnungen mit unterschiedlichem Regenerationsvermögen hinsichtlich der Griffigkeitsentwicklung
- Vorschlag einer umfassenden Beurteilung der Griffigkeitsentwicklung unter Berücksichtigung der Witterungseinflüsse
- Beurteilung der speziellen Bewitterung in Tunnels
- Diskussion der Ergebnisse und Darlegung ihrer Bedeutung für die Normierung

5.8.4 Kostenrahmen

Projektdauer: 36 Monate
Geschätzte Kosten: CHF 180'000

6 Kurzzusammenfassung und Nutzen der abgeschlossenen Forschung für das Forschungspaket

Autor(en)	Titel	Land	Nutzen für die Schweiz bzw. für das geplante Forschungspaket
Kirchmaier L.	Einfluss von Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit von Deckschichten im Strassenbau, Dissertation Uni Wien, 2011	A	Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Forschungsarbeit können als Grundlage für EP3 und EP5 verwendet. Die beiden EP können auf dieser Grundlage aufbauen
Rohleder, M., et al	Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA) Teil 1- Bestandsaufnahme an vorhanden Strecken, BAST, 2010	D	In dieser Arbeit wurde die Griffigkeitsprognose mittels Wehner-Schulze-Prüfung untersucht. Es zeigte sich, dass die im Labor erstellten Prüfungen teilweise mit der Griffigkeitsentwicklung auf verschiedenen Objekten übereinstimmen. Leider traf dies nicht in allen Fällen zu, vermutlich spielt die mineralogische Zusammensetzung der Gesteinskörnung eine wesentliche Rolle. Die Autoren kommen zum Schluss, dass jedoch Forschungsbedarf vorhanden ist, da der Einfluss des Schwerverkehrs und der Einfluss der Petrographie und Mineralogie auf die Griffigkeitsentwicklung nicht verstanden sind. Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Forschungsarbeit können als Grundlage für die EP1 , EP2 , EP3 , und EP4 verwendet werden.
Jansen, D., Pöppel-Decker	Griffigkeitsentwicklung an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumassnahmen	D	Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Forschungsarbeit können als Grundlage für die EP1 , EP2 , EP3 und EP4 verwendet werden, so dass bei diesem Forschungsprojekten nicht von Null begonnen werden muss.
Pfeifer, A	Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstrassen. Der Einfluss der Polierresistenz feiner Gesteinskörnung auf das Griffigkeitsverhalten von Asphaltdeckschichten. Dissertation ,Technische Universität Wien, 2004	A	In dieser Arbeit wurde u.a. die Verbesserung der Griffigkeit mittels Mischgutoptimierung durch die Verwendung von Feinsand systematisch untersucht. Die Erkenntnisse sollen beim EP5 und EP6 einfließen. Ausgehend von diesen Erkenntnissen soll untersucht werden welche Feinsande heimischer Gesteine sich eignen, die Griffigkeit der Deckschichten nachhaltig zu verbessern.
Wang, D.	Schaffung des Bewertungshintergrundes zur Charakterisierung des Polierverhaltens der einzelnen, gesteinsbildenden Minerale zur Untersuchung des Griffigkeitsverhaltens der Mineralaggregate in	D	In dieser Forschungsarbeit wurden die Grundlagen erarbeitet für die berührungslose Bestimmung der Griffigkeit. Diese Grundlagen können für das EP3 übernommen werden, da in diesem EP die griffigkeitsrelevanten Mecha-

	Abhängigkeit von den Polierbedingungen		nismen ergründet werden sollten
Rauschenbach, V., Borek, J.;	Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben 14937 BR/1 „Griffigkeit ausgewählter Beobachtungstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit von der Zeit“, Zentrum für angewandte Forschung und Technik e.V. an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, 2010	D	In dieser Forschungsarbeit wurde untersucht wie gut die Korrelation zwischen Griffigkeitsprognose und der Wirklichkeit ist. Es zeigte sich dabei, dass die Labormessungen eine geringe Griffigkeit auswiesen, als die Bohrkern der Strasse. Es wurden jedoch hauptsächlich Deckschichten untersucht, die aus Grauwacke, Rhyolith oder Diabs bestanden untersucht. In der Schweiz kommen jedoch andere Gesteinskörnungen zum Einsatz. Daher lassen sich die Erkenntnisse aus dieser Forschungsarbeit nur bedingt auf die Schweiz übertragen. Aus diesem Grund soll das Verhalten der heimischen Gesteinskörnungen mittels EP2 , EP3 und EP4 beantwortet werden.
Kuijper, P.M.	Validation of the Wehner/Schulze Test. Centre for Transport and Navigation, Delft, 2010	NL	Laut dem Autor (Vortrag CEN FAP-Workshop in Utrecht 2013) ist die Validierung nur für den ZOPA8/16 in den Niederlanden gültig. Daher können die Ergebnisse aus dieser Forschungsarbeit nicht auf die schweizerischen Gegebenheiten übertragen werden. Aus diesem Grund muss die Frage der Validierbarkeit mittels dem EP1 und EP2 untersucht werden-
Kuijper, P.M.,	Development of skid resistance in relation to quality of coarse aggregate. The development of instruments for risk control relating to the development of skid resistance (Track 1), Rijkswaterstaat, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2010	NL	Laut dem Autor sind die Aussagen nur begrenzt auf andere Länder übertragbar, da sich die niederländische Deckschichtbauweise (auf Autobahnen vorwiegend PA, teilweise zweilagig) von der schweizerischen Bauweise.
Lindner, J., Dudenhöfer, B., Li, A.	Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze, Durchführung von Ringversuchen zur Ermittlung der Präzision unter Vergleichsbedingungen. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FGSV-Nr. 3/2007, Berlin, 2007	D	In den Arbeitssitzungen des AK 6.1.1 des FGSV laufen zurzeit aktuelle Ringversuche verschiedener Labors, da die Präzision des Versuches nach Wehner-Schulze noch zu ungenau ist. Die Schweiz könnte mit dem EP2 dazu beitragen, bei der Präzisierung des Prüfverfahrens mitzuwirken und dabei Einfluss ins Europäische Normenwerk zunehmen.

Arampa-moorthy, H., Patrik, J.	Potential of the Wehner-Schulze test to predict the on-road friction performance of aggregate, NZ Transport Agency research report 433,	NZ	Die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen dieser Neuseeländischen Forschungsarbeit sind für die Schweiz von geriner Aussagekraft, da sich die neuseeländische Deckschichtbauweise (häufig Oberflächenbehandlung, abgestreut) von der schweizerischen Bauweise erheblich unterscheidet.
Dunford, A., Roe, P.G;	Use of the Wehner-Schulze machine to explore better use of aggregates with low polish resistance,1: Capabilities of the Wehner-Schulze machine, published project report ppr604, transport research laboratory, 2012	GB	Laut dem Autor sind die Aussagen nur begrenzt auf andere Länder übertragbar, da sich die englischen Deckschichtbauweise (vorwiegend Hot Rolled Asphalt) von der schweizerischen Bauweise.
Dunford, A.:	Measuring skid resistance without contact, transport research laboratory, 2010	GB	In dieser Forschungsarbeit wurden die Grundlagen erarbeitet für die berührungslose Bestimmung der Griffigkeit. Diese Grundlagen können für das EP3 übernommen werden, da in diesem EP die griffigkeitsrelevanten Mechanismen untersucht werden sollten

7 Abhängigkeiten der EP's

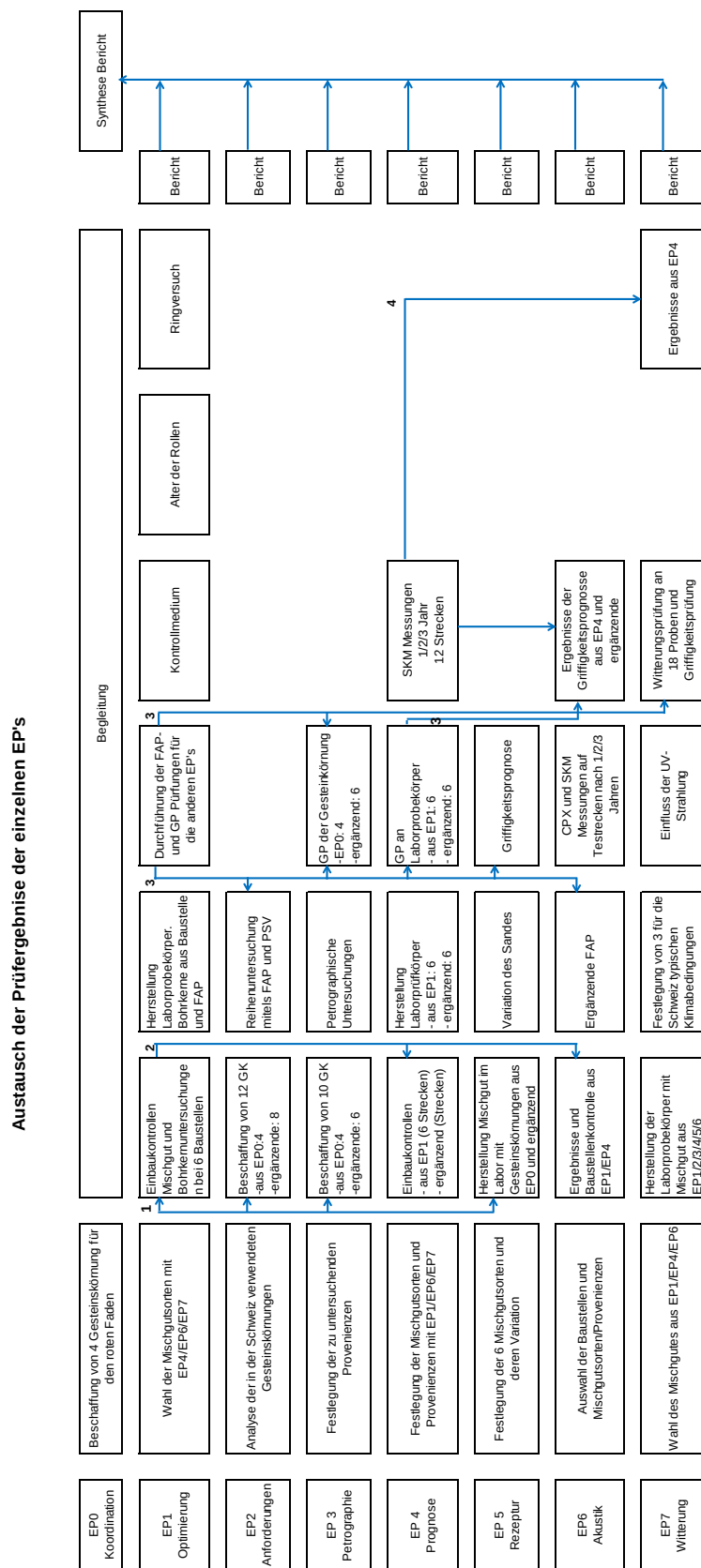


Abb. 6.42 Austausch der Prüfergebnisse der einzelnen EP's

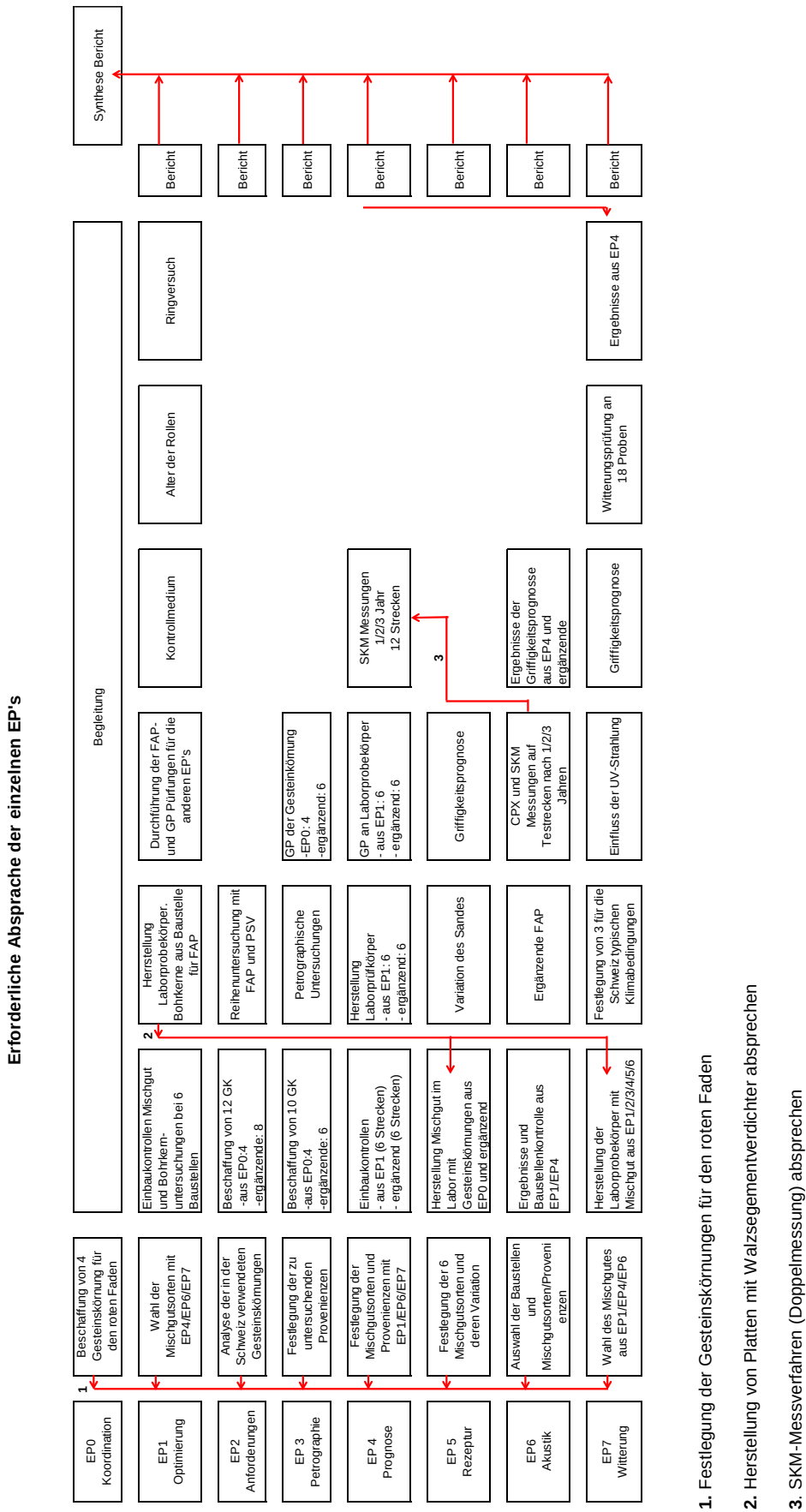


Abb. 6.43 Erforderliche Absprache der einzelnen EP's

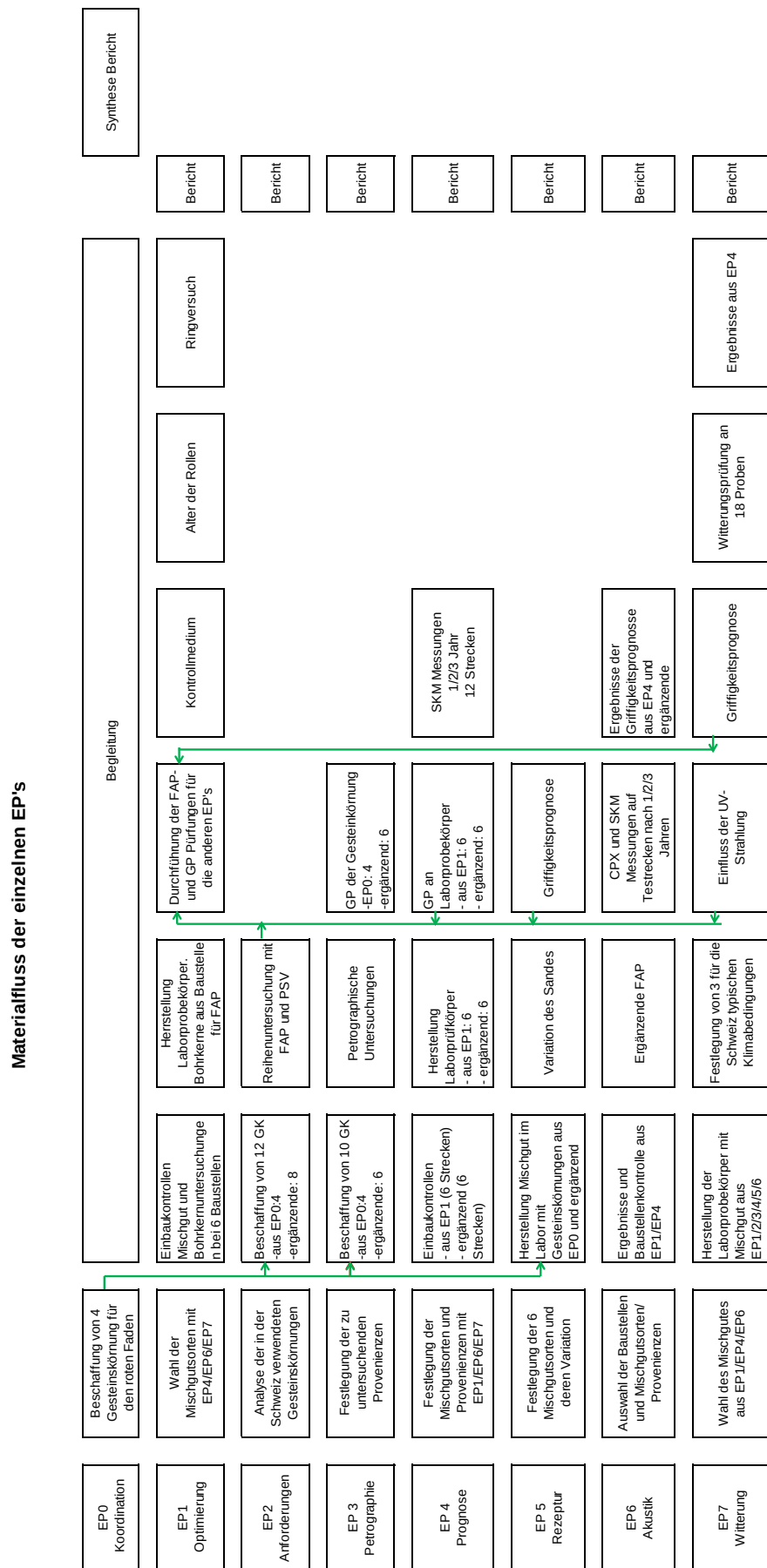


Abb. 6.44 Materialfluss der einzelnen EP's

Anhänge

I	Anhang	65
---	--------------	----

I Anhang

Liste der Interviewpartner, die zu den Themen von Poligrip befragt wurden.

Interview-Partner	Anlass
Dr.-Ing. Christian Schulze Institut für Strassenwesen RWTH Aachen	Sitzung der AK 6.1.1 des FGSV
Dipl.-Min, Markus Zimmermann Baustoffprüfinstitut mbH D-78467 Konstanz	Sitzung der AK 6.1.1 des FGSV, Besuch in Konstanz
Dipl. Bernd Düdenhöfer Asphalta Prüf- und For- schungslaboratorium D-14055 Berlin	Sitzung der AK 6.1.1 des FGSV, Besuch in Berlin
Dr.-Ing. Dirk Jansen BASt D-51427 Bergisch Gladbach	Sitzung der AK 6.1.1 des FGSV
Dr.-Ing. Hannes Kugler TPA Wien	Sitzung der AK 6.1.1 des FGSV, VSS DACH-Tagung Luzern 2013
Dr.-Ing. Verena Rosauer D-64287 Darmstadt	Sitzung der AK 6.1.1 des FGSV
Dr. Alain Dunford TRL, Highway Agency Grossbritannien	CEN FAP-Workshop in Utrecht 2013
P.M. Kuijper Rijkswaterstaat, Ministry of Transport, Public Works and Water Management	CEN FAP- Workshop in Utrecht 2013
Jan van der Zwan Rijkswaterstaat, Ministry of Transport, Public Works and Water Management	CEN FAP- Workshop in Utrecht 2013
Jean-Luc Delorne LREP Frankreich	CEN FAP- Workshop in Utrecht 2013
Dr. Stefan Böhm TU Darmstadt D-64287 Darmstadt	Sitzung der AK 6.1.1 des FGSV
Dr. Erhard Westiner cbm TU München D-81245 München	Sitzung der AK 6.1.1 des FGSV, VSS DACH-Tagung Luzern 2013
Dipl. Ing. Frank Bommert BASt D-51427 Bergisch Gladbach	CEN FAP- Workshop in Utrecht 2013
Dipl.Ing. Rudi Bull-Wasser BASt D-51427 Bergisch Gladbach	CEN FAP- Workshop in Utrecht 2013
Jaroslava Daskova TU Born Tschechien	CEN FAP- Workshop in Utrecht 2013
Maarten Jacobs BAM Roads Niederlande	CEN FAP- Workshop in Utrecht 2013

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
AC MR	Rauasphalt
BAST	Bundesanstalt für Strassenwesen (Bergisch-Gladbach, D)
BS	British Standard
CEN	Comité Européen de Normalisation
EDX	Energy dispersive X-ray
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Dübendorf
EOS	Elektrooffenschlacke
EPGV	Erfurter Griffigkeitsprognose
FAP	Friction after Polishing, (neue CEN Bezeichnung für Prüfung nach Wehner-Schulze-Verfahren)
FGSV	Forschungsgesellschaft für Strassenwesen (Köln, D)
LW	Lastwagen
OPA	Offenporiger Asphalt (Deutsche Bauweise)
PA	Offenporiger Asphalt
PSV	Polished Stone Value (Polierwiderstand einer Gesteinskörnung)
PWS	Polierwert ermittelt mit dem Wehner-Schulze-Verfahren
REM	Rasterelektronenmikroskop
SDA	Semidichter Asphalt (Schweizer Bauweise)
SKM	Seitenkraftmessung. Messverfahren zur Bestimmung der Strassengriffigkeit
SMA	Splittmastixasphalt
SRT	Skid Resistance Tester. Gerät zur Ermittlung der Strassengriffigkeit
WS-Verfahren	Griffigkeitsprüfung nach dem Wehner-Schulze-Verfahren

Literaturverzeichnis

- [1] SN EN 13043 Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Strassen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen
- [2] Wehner, B.: Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen und Verkehrssicherheit. Strasse und Autobahn, Nr. 8/1965, Bad Godesberg, S. 266-268
- [3] PrEN 12697-49 Einführendes ElementAsphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 49: Teil 49: Messung im Labor der Griffigkeit nach Polierung
- [4] Pestalozzi, H., Grolimund H.-J., Angst, C., Lärmarme Strassenbeläge innerorts; Statusbericht, BUWAL/ASTRA, 2004, Bern
- [5] Angst, C., Beltzung, F., Bosshard, H.-J., Pestalozzi, H. Lärmarme Strassenbeläge innerorts, Schlussbericht 2007 www.umwelt-schweiz.ch/div-6002-d (2008)
- [6] Huschek, S.: Die Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze, 64. Jahrgang, Bitumen 2002
- [7] V. Loeben, W.-H.: Überprüfung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen der Fahrbahntextur und dem erzielbaren Bremsweg. Dissertation, Fakultät für Bauingenieur, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)
- [8] Kirchmaier, L.: Einfluss feiner Gesteinskörnung auf die Griffigkeit von Deckschichten im Strassenbau; Dissertation TU Wien, 2011
- [9] Zipkes, E.: Die Reibungskennziffer als Kriterium zur Beurteilung von Strassenbelägen, Mitteilung aus dem Institut für Strassen, Eisenbahn- und Felsbau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich, Heft 2, 1944
- [10] Zipkes, E.: Über das Wirken von Adhäsion und Verzahnung zwischen Reifen und Fahrbahn. Strasse und Verkehr, Heft 1, 1963, Zürich, S. 37 – 44
- [11] Schrenk, Ch.; Analyse des Unfallgeschehens bei Nässe auf Landstrassen im Zusammenhang mit der Fahrbahngriffigkeit, Masterarbeit für das Fachgebiet Verkehrswesen, Institut für Verkehrswesen, Departement für Raum, Landschaft und Infrastruktur, Universität für Bodenkultur Wien 2012
- [12] [SN 640 511a] Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche
- [13] Tang, Z.: Polissage adhérence des chaussées routières, these doctorale, Laboratoire Central des Ponts et Chaussée, Centre de Nantes
- [14] Zpkas, E.: Griffigkeit- Bremsspur – Kraftübertragung; Mitteilung Nr. 56, Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau an der Eidgenössischen Hochschule Zürich, Juli 1984
- [15] Huschek, S., Dames, J., Lindner, J.: Ermittlung der Endpolierwerte von im Strassenbau verwendeten Gesteinen. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Band 574, Bonn, 1989
- [16] Pfeifer, A.; Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstrassen. Der Einfluss der Polierresistenz feiner Gesteinskörnung auf das Griffigkeitsverhalten von Asphaltdeckschichten. Dissertation, Technische Universität Wien, 2004
- [17] Bühlmann, F.: Einfluss der Witterung auf die Griffigkeit von Fahrbahnen. Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilung Nr. 55, 1985
- [18] Huschek, S.: Bewertung der Strassengriffigkeit bei Nässe, Strasse und Autobahn, Heft 3, Bonn 1995
- [19] Rohleder, M., Kunz, K., Wasser, B., Pullwitt, E., Müller, I., Ripke, O., Zöller, M., Pöpel-Decker, M.; Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA) Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen (BAST), Strassenbau, Heft 64, 2010
- [20] Massad, E.: Relationship of aggregate texture to asphalt pavement skid resistance using image analysis of aggregate shape. Final report for highway IDEA Project 114. Transportation research board of the national academies, 2007
- [21] EN 1097-1 EN zur Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiss von Gesteinskörnungen
- [22] Wang, D.: Schaffung des Bewertungshintergrundes zur Charakterisierung des Polierverhaltens der einzelnen, gesteinsbildenden Minerale zur Untersuchung des Griffigkeitsverhaltens der Mineralaggregate in Abhängigkeit von den Polierbedingungen
- [23] Humm, W., Junker, J., Neubauer, O.: Polierwiderstand von Mineralstoffen, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. Forschungsarbeit 10/86, 1989

- [24] Cao, Q., Nataadmadja, A., Wilson, D.: Correlation between laboratory and field performance of greywacke aggregates. 3rd International Surface Friction Conference, Sofer Road Surfaces – Saving Lives, Gold Coast, Australia
- [25] Huschek, S.: Die Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze, 64. Jahrgang, Bitumen 2002
- [26] V. Loeben, W.-H.: Überprüfung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen der Fahrbahntextur und dem erzielbaren Bremsweg. Dissertation, Fakultät für Bauingenieur, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)
- [27] Kirchmaier, L.: Einfluss feiner Gesteinskörnung auf die Griffigkeit von Deckschichten im Strassenbau; Dissertation TU Wien, 2011
- [28] British Standart, BS 812: Part 3: 1975- Testing aggregates. Methods for deformation of mechanical properties
- [29] SN 640 512-4b Oberflächeneigenschaften von Strassen und Flugplätzen, Prüfverfahren-Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest
- [30] Humm, W., Junker, J., Neubauer, O.: Polierwiderstand von Mineralstoffen, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. Forschungsarbeit 10/86, 1989
- [31] Dunford, A., Roe, P.G; Use oft he Wehner-Schulze machine to explore better use of aggregates with low polish resistance, 1: Capabilities of the Wehner-Schulze maschine, published project report ppr604, transport research laboratory, 2012
- [32] Rauschenbach, V., Borek, J.; Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben 14937 BR/1 „ Griffigkeit ausgewählter Beobachtungstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit von der Zeit“, Zentrum für angewandte Forschung und Technik e.V. an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, 2010
- [33] Kuijper, P.M.: Validation of the Wehner/Schulzetest. Centre for Transport and Navigation, Delft, 2010
- [34] Standaard RAW Bepalingen 2005, ISBN 90 6628 4439
- [35] Allen, B., Phillips, P., Woodward, D., Woodside, A.: Prediction of UK surfacing skid resistance using Wehner-Schulze and PSV
- [36] Lindner, J., Dudenhöfer, B., Li, A.: Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze, Durchführung von Ringversuchen zur Ermittlung der Präzision unter Vergleichsbedingungen. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FGSV-Nr. 3/2007, Berlin, 2007
- [37] Arampamoorthy, H., Patrik, J.; Potential of the Wehner-Schulze test to predict the on-road friction performance of aggregate, NZ Transport Agency research report 433
- [38] Kuijper, P.M., Development of skid resistance in relation to quality of coarse aggregate. The development of instruments for risk control relating to the development of skid resistance (Track 1), Rijkswaterstaat, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2010
- [39] Richter, E., Liedloff, F., Schubert, M.: EGPV: Ein neues Prognoseverfahren für die Griffigkeit von Verkehrsflächen, Bitumen, 66. Jahrgang, Heft 4 Dezember 2004
- [40] Wöhrner T., Böhnisch, S.: Untersuchungen zur Quantifizierung von Geräten zur Prognose von Griffigkeitswerten – Vorversuche. Schlussbericht zum Forschungsauftrag FGSV-Nr. 4/200, München
- [41] Do, M-T.: Laboratory test methods for polishing asphalt surfaces and predicting their skid resistance, Transportation Research Board 92nd Annual Meeting, Washington
- [42] Ueckermann, A., Wang, D. Oeser, M., Steinauer B., Auf dem Weg zur Berührungslosen Griffigkeitsmessung, Teil 1: Literaturübersicht und Grundlagen, Strasse und Autobahn Heft 9, 2013 S.661 – 669
- [43] Dunford, A.: Measuring skid resistance without contact, transport research laboratory, 2010
- [44] Jansen, D., Pöppel-Decker.: Griffigkeitsentwicklung an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumassnahmen, Bericht der Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt), Strassenbau, Heft 72 S

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 22.11.2013

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2011/401
Projekttitel: POLIGRIP" – Polierwiderstand und Griffigkeit von bituminösen Deckschichten
Enddatum:

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Eigenschaft von Gesteinskörnungen hinsichtlich ihrer Polierbarkeit durch den Verkehr hat eine hohe sicherheitstechnische Relevanz. Polierte Oberflächen weisen eine schlechtere Griffigkeit auf und beeinflussen somit das Unfallgeschehen negativ. Bis heute wird in der Schweiz die Polierbarkeit mit dem Polished Stone Verfahren (PSV) untersucht. Diese Prüfung wird, repräsentativ für die Herkunft einer Gesteinskörnung, an einer einzigen Korngrösse bestimmt. Aus der Prüfung der Polierbarkeit einer einzelnen Korngrösse wird – mangels besserem Verfahren – eine Aussage über die Griffigkeit eines Strassenbelages erwartet. Dass diese Herleitung bei weitem nicht in allen Fällen zu-trifft, ist auf die Vielzahl der Nachteile der PSV-Methode zurück zu führen.

Der vorliegende Bericht zum Initialprojekt umfasst einen Sachstandsbericht in welchem der heutige Stand des Wissens dargelegt wird. Dieser Bericht wurde aufgrund einer um-fassenden Literaturstudie zum Thema einerseits, sowie auf der Basis vieler Gespräche mit Experten aus europäischen Ländern andererseits verfasst. Die Teilnahme an diversen Workshops sowie die Einsitznahme in einen Arbeitskreis der deutschen Forschungs-gesellschaft für das Strassenwesen FGSV ermöglichten es in direkten Gesprächen einzelne Themen zu vertiefen.

Der Sachstandsbericht legt dar, dass zurzeit ein bedeutender Forschungsbedarf besteht und gruppiert die offenen Fragen in drei Hauptgebiete:

- Prüftechnik
- Anforderungen
- Basiswissen

Die möglichen Forschungsfelder wurden aus diesen offenen Fragen abgeleitet und in einem Forschungspaket mit insgesamt 8 Einzelprojekte beschrieben. Für jedes Einzelprojekt wurde ein Kostenrahmen geschätzt und das Pflichtenheft derart festgelegt, dass es zur Ausschreibung der Arbeiten verwendet werden kann. Zudem wurden die Abhängigkeiten zwischen den Einzelprojekten und der Informationsfluss beschrieben

EP0 Projektleitung: Führung und Controlling des Forschungspaketes
EP1 Prüfverfahren: Präzisierungen zum Verfahren und dessen Kalibrierung
EP2 Anforderungen: Grundlagen für die Festlegung von Anforderungen
EP3 Petrographie: Einfluss von Petrographie und Mineralogie auf das Polieren
EP4 Prognose: Griffigkeitsprognose im Labor; Validierung und Anforderungen
EP5 Mixdesign: Optimierung der Mischgutrezepte hinsichtlich der Griffigkeit
EP6 Akustik: Beeinflusst der Polierwiderstand die akustischen Eigenschaften?
EP7 Witterung: Witterungseinflüsse auf die Entwicklung der Griffigkeit

Der Bericht zum Initialprojekt bildet eine Momentaufnahme zum Stand der europäischen Arbeiten in einem sich rasch entwickelnden Fachgebiet ab. Falls der Wille besteht, die dargelegten Arbeiten in Angriff zu nehmen, sollte dies möglichst bald erfolgen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Der verfasste Sachstandbericht gibt einen guten Überblick über den heutigen Stand des Wissens und der laufenden Arbeiten in verschiedenen europäischen Ländern. Daraus konnte ein Forschungspaket formuliert, die einzelnen Einzelprojekte detailliert festgelegt und deren Abhängigkeiten aufgezeigt werden. Zur Vorbereitung des Forschungspaketes wurden die Ausschreibungstexte verfasst und die ARAMIS-Formulare Nr2 soweit möglich ausgefüllt.

Folgerungen und Empfehlungen:

Das vorbereitete Forschungspaket basiert auf dem aktuellen Stand des Wissens in einem sich rasch bewegenden Fachgebiet. Es ist daher von grosser Bedeutung, dass die Arbeiten unverzüglich weitergeführt werden und das Forschungspaket ausgeschrieben wird.

Publikationen:

Vorträge und Präsentationen:

DACH-Veranstaltung vom 14/15. März in 2013 Luzern

Sitzung AK 6.1.1 "Polierresistenz und Polierprüfung" FGSV vom 6/7.3.2012 in Berlin (D)

Sitzung AK 6.1.1 "Polierresistenz und Polierprüfung" FGSV vom 24/25.9.2013 in Weilheim(D)

CEN-Workshop " 4th Workshop FAP" vom 3.9.2013 in Utrecht (NL).

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Angst

Vorname: Christian

Amt, Firma, Institut: IMP Baufest AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Der Sachstandsbericht ist schlüssig und basiert nicht nur auf einer Literaturstudie, sondern auch auf direkte Kontakte mit ausländischen Fachleuten und der Teilnahme an mehreren Workshops.
Das Projekt POLIGRIP hat die festgelegten Ziele vollumfänglich und innerhalb der definierten Fristen erfüllt.

Umsetzung:

Zur Umsetzung des vorgeschlagenen Forschungspaketes müssen die entsprechenden Gremien der VSS die eingebrachten Forschungsideen (ARAMIS-Formular N1) für die Einzelprojekte weiterbearbeiten.

weitergehender Forschungsbedarf:

Die abgeschlossene Arbeit war ein Initialprojekt zur Definition des Forschungsbedarfs. Daher besteht weitergehender Forschungsbedarf.

Einfluss auf Normenwerk:

Das abgeschlossene Initialprojekt hat keinen Einfluss das Normenwerk.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Hammerschlag

Vorname: Jean-Gabriel

Amt, Firma, Institut: Holcim (Schweiz) AG, Technical Expert Center

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschiebung von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebsparkeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrsstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbaumasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009