



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbean- spruchung im Labormaßstab**

**Désenrobage des enrobés peu bruyants des couches de  
roulement sous sollicitation de roulement en laboratoire**

**Stripping of Low Noise Surface Courses during Labora-  
tory Scaled Wheel Tracking**

**EMPA**

**Abteilung Strassenbau/Abdichtungen**

**Christiane Raab, Dr., Dipl.-Ing.**  
**Manfred N. Partl, Prof. Dr. sc. tech., dipl. Ing. ETH**

**Forschungsauftrag VSS 2007/502 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**März 2011**

**1335**

# Impressum

## Forschungsstelle und Projektteam

**Projektleitung**  
Christiane Raab

**Mitglieder**  
Manfred N. Partl

## Federführende Fachkommission

Fachkommission 5: Bau- und Geotechnik

## Begleitkommission

**Präsident**  
Thomas Arn

**Mitglieder**  
Angst Christian  
Heinz Aeschlimann  
Danilo Besomi  
Hans-Peter Beyeler  
Bressoud Christophe  
Hansjörg Byland  
Erwin Fetz  
Dieter Fux  
Remy Gubler  
Frei Kurt  
Alex Nellen  
Yvan Ramel  
Margarita Rodriguez  
Felix Solcà  
Guido Tomaschett

## Antragsteller

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS

## Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> herunter geladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>2</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>6</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>7</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung des Forschungsprojekts</b> .....	<b>11</b>
2.1	Zielsetzung .....	11
2.2	Arbeitsplan .....	11
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung</b> .....	<b>13</b>
3.1	Allgemeines .....	13
<b>4</b>	<b>Material</b> .....	<b>15</b>
4.1	Auswahl der Strecken .....	15
4.2	Mischgut- und Belagskennwerte .....	15
4.2.1	Mischgut Entnahmestelle 1, Kanton Tessin, PA 11 .....	16
4.2.2	Mischgut Entnahmestelle 2, Kanton Wallis, PA 11 .....	18
4.2.3	Mischgut Entnahmestelle 3, Kanton Uri, PA 11 .....	19
4.2.4	Mischgut Entnahmestelle 4, Kanton Aargau, DRA 11, Einbau 1999 .....	21
4.2.5	Mischgut Entnahmestelle 5, Kanton Aargau, PA 11 .....	23
4.2.6	Mischgut Entnahmestelle 6, Kanton Bern, AC MR 6 .....	24
4.2.7	Mischgut Entnahmestelle 7, Kanton Aargau, AC MR 8 .....	26
<b>5</b>	<b>Prüfung des Strippingverhaltens im Labormaßstab mit MMLS</b> .....	<b>30</b>
5.1	Model Mobile Load Simulator MMLS3 .....	30
5.2	Untersuchung zusätzlicher Parameter .....	31
5.3	Prüfung mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 .....	34
5.4	Prüfung der Wasserdurchlässigkeit .....	35
<b>6</b>	<b>Evaluation und Durchführung einer mechanischen Prüfung</b> .....	<b>36</b>
6.1	Allgemeines .....	36
6.2	Vorbereitung der Prüfkörper .....	36
6.3	Haftzugprüfung .....	37
6.4	4-Punkt-Biegeprüfung .....	38
<b>7</b>	<b>Resultate der Untersuchungen</b> .....	<b>39</b>
7.1	Resultate der Wasserdurchlässigkeitsprüfung .....	39
7.1.1	Entnahmestelle 1, Kanton Tessin .....	39
7.1.2	Entnahmestelle 2, Kanton Wallis .....	40
7.1.3	Entnahmestelle 3, Kanton Uri .....	40
7.1.4	Entnahmestelle 4, Kanton Aargau, Einbau 1999 .....	41
7.1.5	Entnahmestelle 5, Kanton Aargau, Einbau 2005 .....	42
7.2	Resultate der Haftzugprüfung .....	43
7.2.1	Entnahmestelle 1, Kanton Tessin .....	43
7.2.2	Entnahmestelle 2, Kanton Wallis .....	44
7.2.3	Entnahmestelle 3, Kanton Uri .....	45
7.2.4	Entnahmestelle 4, Kanton Aargau .....	46
7.2.5	Entnahmestelle 5, Kanton Aargau .....	47
7.2.6	Entnahmestelle 6, Kanton Bern .....	48
7.2.7	Entnahmestelle 7, Kanton Aargau .....	49
7.2.8	Entnahmestelle 8, Kanton Zürich .....	50
7.3	Resultate der 4-Punkt-Biegeprüfung .....	51

<b>8</b>	<b>Auswertung der Untersuchungen</b> .....	<b>56</b>
8.1	Wasserdurchlässigkeitsprüfung .....	56
8.2	Haftzugprüfung .....	56
8.3	4-Punkt-Biegeprüfung .....	56
<b>9</b>	<b>Auswertung und Zusammenfassung</b> .....	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>Umsetzung der Empfehlungen</b> .....	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Weiteres Vorgehen</b> .....	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Dank</b> .....	<b>60</b>
	<b>Abkürzungen</b> .....	<b>72</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>73</b>
	<b>Projektabschluss</b> .....	<b>74</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen</b> .....	<b>77</b>



## Zusammenfassung

Zur Klärung der Frage, inwieweit Stripping (Ablösung des Bindemittels vom Gestein) aufgrund von Wassereinfluss die Standfestigkeit von lärmindernden Deckschichten (Drainasphalte und Rauasphalte) beeinflusst, werden Bohrkerne mit Hilfe eines Modell-Verkehrslastsimulators im Maßstab 1:3 (Model Mobile Load Simulator MMLS3) untersucht. Durch den Einsatz der MMLS3 sollte der beim Befahren nasser Oberflächen allenfalls auftretende Pumpeffekt simuliert werden. Die Lagerung der Bohrkerne erfolgte dabei realitätsbezogen auf einem steifen Untergrund.

Die aus 8 unterschiedlichen Strecken in der Schweiz entnommenen offenporigen Asphalte (polymermodifizierte, gummimodifizierte Bindemittel) und die Rauasphalte werden unter Wasser (kontrolliertes Niveau) mit einem Modell-Verkehrslastsimulator (100'000 Überrollungen bei einer Geschwindigkeit von ca. 10 km/h) beansprucht und anschließend mit Hilfe einer mechanischen Prüfung hinsichtlich Schädigung in der oberflächennahen Zone überprüft. Zu diesem Zweck wurden Biegefestigkeiten bei befahrener Oberfläche in der Zugzone bestimmt.

Zu Vergleichszwecken wurden zusätzlich Bohrkerne oder Belagsausschnitte ohne Wassereinwirkung mit dem Modell-Verkehrslastsimulator beansprucht und entsprechend geprüft.

Entgegen erster Vorversuche zeigten die Untersuchungen bei praxisnaher steifer Bettung nicht in jedem Fall eine Verschlechterung (Abnahme der Biegefestigkeit) von offenporigen Asphalten durch eine Wasserbeanspruchung. Insgesamt konnte nur bei einer von fünf Entnahmestellen mit offenporigem Asphalt von einer Verschlechterung der Eigenschaften nach vollständigem Abtrocknen gesprochen werden. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit legen den Schluss nahe, dass bei den neueren offenporigen, steifen Autobahnbelägen mit reduziertem Hohlraumgehalts von < 20 Vol-% und guten Drainage- und Trocknungseigenschaften, durch den Einsatz von polymermodifizierten Bindemitteln die Gefahr von Stripping und damit eines Tragfähigkeitsverlustes relativ gering ist.

Die lärmarmen AC MR Beläge, die ohnehin dichter als die PA Beläge und damit von Natur aus weniger strippinganfällig sind, erscheinen im Hinblick auf Wasserbeanspruchung ebenfalls unproblematisch. Einschränkend muss aber hier auf die geringe Anzahl der untersuchten AC MR Beläge hingewiesen werden.

## Résumé

Afin d'éclaircir dans quelle mesure le désenrobage (décollement du liant des granulats) sous l'action de l'eau influence la durabilité des couches de roulement peu bruyants (enrobés drainants et enrobés macrorugueux), des carottes ont été testées à l'aide d'un simulateur de trafic à l'échelle 1:3 (Model Mobile Load Simulator MMLS3). L'utilisation du MMLS3 devait permettre de simuler l'effet de pompage qui se produit lors du passage des roues sur une surface mouillée. Pour ces essais, les carottes ont été posées sur un support rigide, conformément à la réalité sur route.

Des carottes d'enrobés poreux (liant au bitume-polymère et au bitume-caoutchouc) et d'enrobés macrorugueux prélevées sur 8 différents tronçons de route en Suisse ont été sollicitées sous l'eau (niveau contrôlé) avec un simulateur de trafic (100'000 passages de roue à une vitesse d'environ 10 km/h et on a ensuite contrôlé l'endommagement de la zone proche de la surface à l'aide d'un essai mécanique avec lequel on a déterminé la résistance à la flexion dans la zone de traction de la surface circulée.

A titre de comparaison, on a sollicité sans action de l'eau à l'aide du simulateur et soumis au même essai des carottes et des découpes de revêtements.

Au contraire des essais préliminaires effectués, cette étude réalisée avec un appui rigide conforme à la pratique montre que l'action de l'eau ne provoque pas dans tous les cas une détérioration (diminution de la résistance à la flexion) des enrobés à pores ouverts. Au total, on ne peut parler d'une détérioration des propriétés de l'enrobé après séchage complet que pour un site de prélèvement. Les résultats de ce travail de recherche indiquent que sur le revêtement d'autoroute présentant une teneur en vide < 20 vol-% réalisés avec des enrobés poreux récents plus rigides possédant de bonnes propriétés de drainage et d'assèchement, le risque de désenrobage et ainsi d'une perte de capacité portante est relativement faible avec l'utilisation de liants de bitume-polymère.

Les revêtements phoniques AC MR, qui sont de toute façon plus compacts que les enrobés drainants et par nature moins sujets au désenrobage, semblent aussi être moins problématiques pour ce qui est de la sollicitation par l'eau. Il faut toutefois relever à titre restrictif que le nombre des revêtements AC MR examinés était restreint.



## Summary

To answer the question how stripping affects (loss of the adhesive bond between the bituminous binder film and the aggregate surface) the durability and stability of asphalt pavements with high air void contents, cores will be investigated using a 1:3 laboratory scaled vehicle simulator (Model Mobile Load Simulator MMLS3). By using the MMLS3 the pumping action which occurs when trafficking wet road surfaces will be simulated. In the test setup a stiff bedding of the cores corresponding to stiff subgrade on the motorway was chosen.

The cores from 8 different road sites in Switzerland with porous asphalt pavements (polymer modified, rubber modified binders, twin layer systems) and with Rauasphalt pavements were tested under water (controlled level) with the laboratory scaled vehicle simulator (ca. 100'000 load repetitions at a speed of 10 km/h). After that, their stability was determined by means of a mechanical test determining the damage in the zone close to the surface.

For comparison additional cores were trafficked without water and tested the same way.

As opposed to preliminary tests the investigation did not necessarily show a water induced damage (reduction of bending strength) for open porous asphalt pavements. Overall only one out of 5 open porous asphalt pavements showed a reduction in bending strength. The results suggest that the newer open porous and stiff asphalt pavements for motorways with a reduced air void content of < 20 vol-% and good drainage properties are not sensitive to stripping and that the danger of a stability loss is therefore only marginal.

The low noise Rauasphalt pavements which are anyway more dense compared to the open porous asphalt pavements and therefore less susceptible to stripping appear also to be unproblematic regarding trafficking under water. In this connection it is worth noticing that the amount of Rauasphalt pavements in this investigation was very limited.

# 1 Einleitung

Aufgrund ihrer lärmindernden Eigenschaften gewinnen hohlraumreiche Deckschichten, wie Drainbeläge, aber auch Rauasphaltdeckschichten in der Schweiz immer mehr an Bedeutung. So kommen bereits seit Jahren insbesondere auf Autobahnen und stark belasteten Hauptverkehrsstraßen immer mehr offenporige Deckschichten zum Einsatz, während innerorts Rauasphaltdeckschichten dominieren.

Sind die bezüglich Standfestigkeit und Lebensdauer gemachten Erfahrungen bei offenporigen Deckschichten (PA), durchaus ambivalent, gibt es im Hinblick auf Rauasphalte (AC MR) noch relativ wenig Erfahrungswerte. Es ist bekannt, dass intakte lärmindernde Deckschichten (PA, AC MR) eine gute Standfestigkeit besitzen. Allerdings besteht eine solche Standfestigkeit nur so lange das versteifende Korngerüst mitsamt der umgebenden Bindemittelhülle intakt und widerstandsfähig ist. Die Dauerhaftigkeit von lärmindernden Deckschichten kann dabei durch sogenanntes Stripping beeinträchtigt werden.

Stripping erfolgt, wenn zwischen Bindemittel und Gestein Wasser eindringen kann (z.B. durch einen verkehrsbedingten Pumpeffekt) und dann durch die Walkbewegung der Radbeanspruchung (Überrollbewegung) die einzelnen Körner an der Oberfläche aus dem Verband herausgelöst werden.

Wie die während der Nutzungsdauer aufgetretenen Schäden und Probleme (z.B. Drainasphaltbelag der Autobahn A1 zwischen Oftringen und Safenwil) verdeutlichen, hängt die Dauerhaftigkeit von lärmindernden Deckschichten dabei nicht allein vom Belagskonzept ab, sondern wird wesentlich auch von den verwendeten Baustoffen (insbesondere auch den Bindemitteln) beeinflusst.

Zur Klärung der Frage, inwieweit Stripping (Ablösung des Bindemittels vom Gestein) durch Wassereinfluss die Dauerhaftigkeit von lärmindernden Deckschichten beeinflusst, werden Bohrkern mit Hilfe eines Modell-Verkehrslastsimulators im Maßstab 1:3 (Model Mobile Load Simulator MMLS3) untersucht. Dies vor allem deshalb, um eine möglichst wirklichkeitsnahe Simulation des „Pumpeffekts“ zu erreichen. Die aus unterschiedlichen Strecken in der Schweiz entnommenen lärmindernden Deckschichten (PA, MR) mit polymer- bzw. gummimodifizierten Bindemitteln sollen unter Wasser (kontrolliertes Niveau) mit dem Verkehrslastsimulator (100'000 Überrollungen und einer Geschwindigkeit von ca. 10 km/h) beansprucht und anschließend durch mechanische Prüfung auf ihre Dauerhaftigkeit überprüft werden.

## 2 Zielsetzung des Forschungsprojekts

### 2.1 Zielsetzung

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, den Einfluss des Strippings auf lärmarme Deckschichten unter realem Verkehr (praxisnah simuliert durch ein rollendes Rad) für verschiedene in der Schweiz oder im europäischen Ausland verwendete offenporige Asphalte (PA) mit polymermodifizierten und/oder gummimodifizierten Bindemittel zu untersuchen und zu bewerten.

Da wegen ihrer lärmindernden Eigenschaften vermehrt auch Rauasphaltschichten (MR) eingesetzt werden, soll auch ihr Strippingverhalten im Rahmen des Projekts näher untersucht werden.

Das Projekt dient u. a. der Validierung der provisorischen Anforderung für die Wasserempfindlichkeit von offenporigen Asphalten (SN 640431-7NA) und von Rauasphalten (SN 640431-1A).

### 2.2 Arbeitsplan

Evaluation von ca. 10 Strecken mit lärmindernden Deckschichten, d.h. Drainasphalt- bzw. Rau- asphaltdeckschichten und unterschiedlichen Bindemitteln (z.B. polymer-, gummimodifiziert). Wenn möglich sollten dabei auch Prüfkörper aus Strecken die bereits in anderen Forschungen untersucht werden (z.B. Forschungsprojekt „Mechanische Eigenschaften von Drainasphalt“ [2], Langzeitprojekte [12], [13]) mit einbezogen werden.

Im einzelnen waren die folgenden Arbeitsschritte vorgesehen:

- Suche von Strecken und Entnahme von Bohrkernen oder Belagsausschnitten
- Modifikation der Prüfeinrichtung zur MMLS-Prüfung von Bohrkernen oder Belagsausschnitten unter Wasser.
- MMLS-Prüfung bei 40°C (bis zu 100'000 Überrollungen) unter Wasser und ohne Wasser (Vergleich)
- Evaluation und Durchführung einer geeigneten mechanischen Prüfung
- Auswertung und Berichterstellung

Zur Klärung der Frage, inwieweit Stripping (Ablösung des Bindemittels vom Gestein) aufgrund von Wassereinfluss zu einer Schädigung von hohlraumreichen Deckschichten führt, sollten Bohrkern oder Belagsausschnitte mit Hilfe eines Modell-Verkehrslastsimulators im Maßstab 1:3 (Model Mobile Load Simulator MMLS3) untersucht werden. Die Entnahme von Bohrkern stellt dabei eine Maßnahme dar, möglichst realistische Proben zu erhalten, während mit der MMLS der verkehrsbedingten Pumppeffekt wirklichkeitsnah simuliert werden kann.

Die aus unterschiedlichen Strecken in der Schweiz entnommenen lärmindernden Deckschichten (PA und MR) sollten unter Wasser (kontrolliertes Niveau) bei einer Temperatur von 40°C mit dem Modell-Verkehrslastsimulator MMLS3 mit 100'000 Überrollungen und einer Geschwindigkeit von ca. 10 km/h beansprucht und anschließend mit

Hilfe einer mechanischen Prüfung auf ihre Standfestigkeit überprüft werden. Zu Vergleichszwecken sollten zusätzlich Bohrkerne ohne Wassereinwirkung mit dem Modell-Verkehrslastsimulator beansprucht und dann auf die gleiche Weise geprüft werden.

Der Verkehrslastsimulator MMLS3 ist an der Empa vorhanden, jedoch musste eine Prüfeinrichtung gebaut werden, die das Testen von Bohrkernen oder Belagsausschnitten mit Wasser erlaubte.

Im Anschluss an die Beanspruchung mit dem Verkehrslastsimulator sollten die lärmindernden Deckschichten durch mechanische Prüfung auf ihre Dauerhaftigkeit überprüft werden. Hier wurde in erster Näherung an einen in [3] beschriebenen 3-Punkt Biegeversuch gedacht. Im Laufe des Forschungsprojektes sollten aber auch andere Ansätze untersucht werden.

## 3 Stand der Forschung

### 3.1 Allgemeines

Die Forschung im Bereich lärmindernder Deckschichten konzentrierte sich bisher weitgehend auf die Untersuchung der akustischen Eigenschaften einerseits und auf die Ermittlung mechanischer Eigenschaften andererseits. Dabei lag das Schwergewicht auf der Untersuchung von offenporigen Deckschichten (Drainasphalten), während das Verhalten von Rauasphalten bisher relativ wenig erforscht ist.

So wurden in einem praxisnahen Forschungsprojekt [1] dauerhafte lärmarme Beläge für den Innerortsbereich untersucht. Im Rahmen dieses Projekts wurden zwischen 2004 und 2005 zwölf lärmarme Testbeläge mit unterschiedlichen Rezepturen auf Pilotstrecken in verschiedenen Innerortsgebieten eingebaut. An allen Testbelägen wurden physikalische und akustische Messungen durchgeführt und ausgewertet. Aus dem Schlussbericht [15], der die Ergebnisse weiterer periodischer Beurteilungen der Beläge auf ihre akustischen Eigenschaften bis ins Jahr 2007 zusammenfasst, geht hervor, dass die akustischen Belagsgüte-Anfangswerte von  $-3$  dBA für den Mischverkehr bei praktisch allen neu eingebauten Teststrecken erreicht bzw. zum Teil deutlich übertroffen werden konnten. Dagegen ließ der geforderten Belagsgüte-Endwert nach 12–15 Jahren von mindestens  $-1$  dBA nach nur 3-jährigem Beobachtungszeitraum nur erste, aber noch keine schlüssigen Aussagen zu. Erwartungsgemäß waren die untersuchten PA-Beläge (auch innerorts) den dichten Belägen aus akustischer Sicht deutlich überlegen. Diese Beläge stellten aber hohe Anforderungen an den Einbau als dichte/semidichte Beläge. Sie reagierten empfindlich auf Scherbeanspruchungen (Ketten, Kreuzungen, intensive Ein- und Ausfahrten, Kreisel), wiesen daher ein erhöhtes Risiko in Bezug auf die Nutzungsdauer auf (Kornverluste) und bedurften eines speziellen Unterhalts (Winterdienst, Reinigung).

Eine weitere Forschungsarbeit von Empa und Lavoc [2] befasste sich mit der Bestimmung mechanischer Eigenschaften von Drainasphaltbelägen, wobei hier u.a. erste Normungsgrundlagen erarbeitet werden sollten. Auch wenn im Rahmen dieses Projektes u.a. Fragen der Wasserempfindlichkeit behandelt wurden, ist der Fragenkomplex des Strippings hervorgerufenen durch Wasser nicht beinhaltet. Insbesondere wurde der performance relevante Einfluss einer kombinierten mechanisch-hygrischen Belastung bei der Überrollung mit einem Reifen mit entsprechender dynamischer Pumpwirkung nicht thematisiert.

Erste eigene Erkenntnisse zum Stripping eines Drainasphaltbelags konnten im Zusammenhang einer von der Empa an der Universität von Stellenbosch (Südafrika) durchgeführten Forschungsarbeit [3] gewonnen werden. Hier konnte einerseits bestätigt werden, dass die Dauerhaftigkeit durch Wasser negativ beeinflusst werden kann und andererseits, dass die für die Untersuchung gewählte Prüfmethode mit Hilfe eines Modell-Verkehrslastsimulators (MMLS) geeignet ist, die Verhältnisse des realen Verkehrs zu simulieren und die Wirkung von Strippingeffekten aufzuzeigen. Die Methode wurde in Südafrika auch in einem Testprotokoll dokumentiert und beschrieben [16].

Weiterhin konnte in einem Projekt der Empa [17] zur Untersuchung der Wirksamkeit von Asphaltarmierungen, der Strippingeffekt bei offenporigem Belag unter MMLS Beanspruchung nachgewiesen werden (siehe auch Abbildung 3.1).



*Abb. 3.1 Stripping eines offenporigen Asphaltprüfkörpers infolge der Untersuchung mit dem mobilen Modell-Verkehrslastsimulator MMLS*

## 4 Material

### 4.1 Auswahl der Strecken

In einer Umfrage an die Schweizer Kantone wurden Strecken auf Autobahnen oder stark beanspruchten Kantonsstraßen mit Deckschichten aus offenporigem Asphalt (DRA bzw. PA) oder lärminderndem Rauasphalt (AC-MR) gesucht. Die Strecken sollten neu oder aber maximal 2 bis 3 Jahre alt und in gutem Zustand sein. Insgesamt waren in den Kantonen Aargau, Bern, Tessin, Uri, Wallis und Zürich Strecken vorhanden, die diese Anforderungen erfüllten und aus denen Bohrkerne entnommen werden konnten.

Zusätzlich konnten Bohrkerne aus Belagsausschnitten untersucht werden, die im Rahmen von Langzeituntersuchungen im Kanton Aargau [12], [13] in früheren Jahren im unbelasteten Zustand (vor der Verkehrsfreigabe) entnommen und teilweise auch im Forschungsprojekt „Mechanische Eigenschaften von Drainasphalt“ [2] untersucht worden waren.

Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die untersuchten Strecken und Beläge. Insgesamt wurden 5 offenporige PA-Beläge und 3 AC MR Beläge untersucht. Das Alter der Strecken lag dabei zwischen 2 und 21 Monaten. Die im Rahmen der Langzeituntersuchungen im Kanton Aargau im Jahr 1999 und 2005 entnommenen Beläge waren hingegen bei der Entnahme neu, d.h. überhaupt nicht vom Verkehr beansprucht.

Tab. 4.1 Entnahmestellen und Beläge

Entnahmestelle Nr.	Kanton	Deckschicht	Einbau/Entnahme	2. Schicht	Einbau/Entnahme
1	Tessin	PA11	Sept 07/April 08	AC B 22 H	Sept 07/April 08
2	Wallis	PA 11	Juli 08/Sept 08	AB 25 u	August 80/Sept 08
3	Uri	PA 11	Sept 06/Juni 08	AC B 22 H	April 06/Juni 08
4	Aargau	PA11 (DRA)	Juli 99/August 99	HMT 22 H	Juni 99/August 99
5	Aargau	PA11	August 05/Aug 05	HMT 22 H	Juni 99/Aug 99
6	Bern	AC MR 6	Oktober 07/Juli 08	AC B 22 H	August 07/Juli 08
7	Aargau	AC MR 8	August 07/Mai 08	AC B 22 H	August 07/Mai 08
8	Zürich	AC MR 8	Sept 08/Nov 09	AC B 22 H	Sept 08/Nov 09

### 4.2 Mischgut- und Belagskennwerte

Die Angaben über Mischgut, Bindemittel und die maßgebenden Werte der Mischgutuntersuchung (lärmindernde Deckschichten und darunter liegende Binder- bzw. Tragschichten) wurden von den jeweiligen Bauherren (Kantonen, ASTRA) zur Verfügung gestellt und sind in den Tabellen 4.2.1 bis 4.2.13 zusammengefasst.

Da die für die Beanspruchung mit der MMLS verwendeten Bohrkerne auf eine Höhe von 90 mm zugeschnitten wurden, sind neben den Kennwerten des Deckbelags auch diejenigen der Binder- bzw. Tragschicht aufgeführt.

#### 4.2.1 Mischgut Entnahmestelle 1, Kanton Tessin, PA 11

Tab. 4.2.1 Mischgut PA 11, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Comibit, Sigirino	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	18. September 2007/10. April 2008	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	155°C	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	PA 11 keine	
Provenienz der Mineralstoffe	0/11mm Franto, Saltrio, Gasperini	
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	16.0	100.0
	11.2	97.5
	8.0	37.7
	5.6	20.7
	4.0	17.9
	2.0	13.1
	1.0	9.8
	0.5	7.8
	0.25	6.4
	0.125	5.1
	0.063	4.1
Marshallwerte		
Raumdicke	2509	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdicke	2012	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	18.9	[Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	31.8	[%]
Belagskennwerte		
Belagsdicke	44	[mm]
Raumdicke	2039	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	18.7	[Vol-%]
Verdichtungsgrad	101.4	[%]
Bindemittelsorte	PmB E	
-dosierung	4.60	[Masse-%]

Tab. 4.2.2 Mischgut Mischgut AC B 22, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Comibit, Sigrino	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	18. September 2007/10. April 2008	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	155°C	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AC B 22 H keine	
Provenienz der Mineralstoffe	0/2mm Franto und Saltrio, 2/22mm Saltrio	
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	31.5	100.0
	22.4	98.2
	16.0	80.5
	11.2	66.4
	8.0	56.6
	5.6	46.6
	4.0	39.8
	2.0	30.4
	1.0	21.1
	0.5	16.1
	0.25	12.9
	0.125	10.3
	0.063	8.7
Marshallwerte		
Raumdicke	2512	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdicke	2386	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	5.0	[Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	66.9	[%]
Stabilität	18.1	[kN]
Fließen	3.3	[mm]
Belagskennwerte		
Belagsdicke	92	[mm]
Raumdicke	2382	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	4.2	[Vol-%]
Verdichtungsgrad	100.2	[%]
Bindemittelsorte	PmB C 30/50-58	
-dosierung	4.60	[Masse-%]

## 4.2.2 Mischgut Entnahmestelle 2, Kanton Wallis, PA 11

Tab. 4.2.3 Mischgut PA 11, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Ertec/MCR	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	30. Juli 2008/18. September 2008	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	158°C	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	PA 11 keine	
Provenienz der Mineralstoffe	0/11mm Franto, Saltrio, Gasperini	
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	16.0	100.0
	11.2	97.7
	8.0	33.8
	5.6	19.0
	4.0	17.4
	2.0	13.7
	1.0	10.5
	0.5	9.0
	0.25	7.9
	0.125	6.9
	0.063	5.5
Marshallwerte		
Raumdichte	2509	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdichte	2012	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	18.9	[Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	44.5	[%]
Belagskennwerte		
Belagsdicke	40	[mm]
Raumdichte	2045	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	17...20	[Vol-%]
Verdichtungsgrad	-	[%]
Bindemittelsorte -dosierung	PmB E 85: Styrelf 6.1 [Masse-%]	

Tab. 4.2.4 Mischgut AB 25 us (alte Norm), erhaltene Angaben

Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	Sommer 1980/18. September 2008	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AB 25u (alte Norm) keine	
Provenienz der Mineralstoffe	0/11mm Franto, Saltrio, Gasperini	
Belagskennwerte		
Belagsdicke	55	[mm]
Bindemittelsorte	B 60/70	

### 4.2.3 Mischgut Entnahmestelle 3, Kanton Uri, PA 11

Tab. 4.2.5 Mischgut PA 11, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Anlage Niederhofen
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	17. September 2006/18. Juni 2008
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	152°C
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	PA 11 keine
Provenienz der Mineralstoffe	0/11mm
Korngrößenverteilung	[mm] Durchgang [%] 16.0 100.0 11.2 96.8 8.0 34.6 5.6 19.8 4.0 18.4 2.0 11.4 1.0 9.0 0.5 7.4 0.25 6.2 0.125 4.9 0.009 4.0
Marshallwerte	
Raumdichte	2483 [kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdichte	1970 [kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	20.7 [Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	30.9 [%]
Belagskennwerte	
Belagsdicke	40 [mm]
Raumdichte	2045 [kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	17...20 [Vol-%]
Verdichtungsgrad	- [%]
Bindemittelsorte -dosierung	PmB E 85: Styrelf 6.1 [Masse-%]

Tab. 4.2.6 Mischgut Mischgut AC B 22, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Anlage Niederhofen																												
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	4. April 2006/18. Juni 2008																												
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	154°C																												
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AC B 22 H Keine Angaben																												
Provenienz der Mineralstoffe	0/2mm Franto und Saltrio, 2/22mm Saltrio																												
Korngrößenverteilung	<table border="1"> <thead> <tr> <th>[mm]</th> <th>Durchgang [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31.5</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>22.4</td><td>98.4</td></tr> <tr><td>16.0</td><td>77.1</td></tr> <tr><td>11.2</td><td>64.0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>53.7</td></tr> <tr><td>5.6</td><td>43.2</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>35.6</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>25.2</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>20.1</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>16.3</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>13.1</td></tr> <tr><td>0.125</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>0.009</td><td>8.4</td></tr> </tbody> </table>	[mm]	Durchgang [%]	31.5	100.0	22.4	98.4	16.0	77.1	11.2	64.0	8.0	53.7	5.6	43.2	4.0	35.6	2.0	25.2	1.0	20.1	0.5	16.3	0.25	13.1	0.125	10.5	0.009	8.4
[mm]	Durchgang [%]																												
31.5	100.0																												
22.4	98.4																												
16.0	77.1																												
11.2	64.0																												
8.0	53.7																												
5.6	43.2																												
4.0	35.6																												
2.0	25.2																												
1.0	20.1																												
0.5	16.3																												
0.25	13.1																												
0.125	10.5																												
0.009	8.4																												
Marshallwerte																													
Raumdicke	2452 [kg/m <sup>3</sup> ]																												
Rohdicke	2353 [kg/m <sup>3</sup> ]																												
Hohlraumgehalt	4.0 [Vol-%]																												
Hohlraumfüllungsgrad	74.3 [%]																												
Stabilität	16.2 [kN]																												
Fließen	5.8 [mm]																												
Belagskennwerte																													
Belagsdicke	80 [mm]																												
Raumdicke	keine Angabe																												
Hohlraumgehalt	keine Angabe																												
Verdichtungsgrad	- [%]																												
Bindemittelsorte -dosierung	Multihalte 20/30 5.13 [Masse-%]																												

#### 4.2.4 Mischgut Entnahmestelle 4, Kanton Aargau, DRA 11, Einbau 1999

Tab. 4.2.7 Mischgut DRA 11, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Belagswerk A1, Kölliken	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	10. Juli 1999/13. August 1999	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	160°C	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	DRA 11 S (nach alter Norm SN 640431 [14]) NAF 501	
Provenienz der Mineralstoffe	0/11mm	
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	16.0	100.0
	11.2	96.8
	8.0	34.6
	5.6	19.8
	4.0	18.4
	2.0	11.4
	1.0	9.0
	0.5	7.4
	0.25	6.2
	0.125	4.9
	0.009	4.0
Marshallwerte		
Raumdichte	2483 [kg/m <sup>3</sup> ]	
Rohdichte	1970 [kg/m <sup>3</sup> ]	
Hohlraumgehalt	20.7 [Vol-%]	
Hohlraumfüllungsgrad	30.9 [%]	
Belagskennwerte		
Belagsdicke	40 [mm]	
Raumdichte	2045 [kg/m <sup>3</sup> ]	
Hohlraumgehalt	17...20 [Vol-%]	
Verdichtungsgrad	- [%]	
Bindemittelsorte -dosierung	PmB E 85: Styrelf 6.1 [Masse-%]	

Tab. 4.2.8 Mischgut Mischgut HMT 22 S, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Belagswerk A1, Kölliken	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	29. Juni 1999/13. August 1999	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	160°C	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	HMT 22 H keine	
Provenienz der Mineralstoffe		
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	31.5	100.0
	22.4	97.3
	16.0	88.3
	11.2	74.3
	8.0	62.4
	5.6	50.9
	4.0	44.6
	2.0	31.9
	1.0	22.7
	0.5	17.2
	0.25	12.6
	0.125	9.2
	0.009	7.9
Marshallwerte		
Raumdichte	2337	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdichte	2427	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	3.7	[Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	70.0	[%]
Stabilität	13.9	[kN]
Fließen	5.5	[mm]
Belagskennwerte		
Belagsdicke	80	[mm]
Raumdichte	2387	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	5.0	[Vol-%]
Verdichtungsgrad	101.5	[%]
Bindemittelsorte	Mixelf 20/30	
-dosierung	4.8	[Masse-%]
Löslicher Bindemittelgehalt	5.1	[Masse-%]

#### 4.2.5 Mischgut Entnahmestelle 5, Kanton Aargau, PA 11

Tab. 4.2.9 Mischgut PA 11, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	ARGOBIT AG Schafisheim	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	9. August 2005/11. August 2005	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	160°C	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	PA 11 keine	
Provenienz der Mineralstoffe	0/11mm	
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	16.0	100.0
	11.2	93.3
	8.0	33.9
	5.6	20.3
	4.0	17.6
	2.0	11.5
	1.0	8.9
	0.5	7.4
	0.25	6.3
	0.125	5.2
	0.063	4.3
Marshallwerte		
Raumdichte	2041	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdichte	2497	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	18.3	[Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	33	[%]
Belagskennwerte		
Belagsdicke	45	[mm]
Raumdichte	2304	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	18.6	[Vol-%]
Bindemittelsorte	PmB E 70/100	
-dosierung	4.8	[Masse-%]

Da es sich hier um den Ersatz der Deckschicht handelt, blieb der darunterliegende HMT 22 erhalten, d.h. es gelten die in Tabelle 4.2.8 enthaltenen Angaben.

#### 4.2.6 Mischgut Entnahmestelle 6, Kanton Bern, AC MR 6

Tab. 4.2.10 Mischgut AC MR 6, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Belagswerk Hans Weibel AG, Oberwangen	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	10. Oktober 2007/16. Juli 2008	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	Keine Angaben	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AC MR 6 keine	
Provenienz der Mineralstoffe	Filler FAMSA, Choex Brechsand 0/4mm FAMSA, Choex Splitt 4/8mm FAMSA, Choex	
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	11.2	100.0
	8.0	94.0
	5.6	61.0
	4.0	35.0
	2.0	22.0
	1.0	17.0
	0.5	14.0
	0.25	12.0
	0.125	10.0
	0.063	8.0
Marshallwerte		
Raumdicke	2280	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdicke	2460	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	7.5	[Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	64	[%]
Belagskennwerte		
Belagsdicke	35	[mm]
Raumdicke	2273	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	9.5	[Vol-%]
Bindemittelsorte	PmB 45/80-65 (CH-E)	
-dosierung	6.0	[Masse-%]
Löslicher Bindemittelgehalt	5.9	[Masse-%]

Tab. 4.2.11 Mischgut Mischgut HMT 22 S, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Aufbereitungsanlage BERAG, Rubigen																												
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	31. August 2007/16. Juli 2008																												
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	160°C																												
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AC B 22 H keine																												
Provenienz der Mineralstoffe	Berner Gruben Recyclinggranulat: 30 [Masse-%]																												
Korngrößenverteilung	<table border="1"> <thead> <tr> <th>[mm]</th> <th>Durchgang [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31.5</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>22.4</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>16.0</td><td>82.0</td></tr> <tr><td>11.2</td><td>70.0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>58.0</td></tr> <tr><td>5.6</td><td>50.9</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>43.0</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>31.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>21.5</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>16.5</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>12.5</td></tr> <tr><td>0.125</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>0.009</td><td>6.5</td></tr> </tbody> </table>	[mm]	Durchgang [%]	31.5	100.0	22.4	100.0	16.0	82.0	11.2	70.0	8.0	58.0	5.6	50.9	4.0	43.0	2.0	31.0	1.0	21.5	0.5	16.5	0.25	12.5	0.125	8.5	0.009	6.5
[mm]	Durchgang [%]																												
31.5	100.0																												
22.4	100.0																												
16.0	82.0																												
11.2	70.0																												
8.0	58.0																												
5.6	50.9																												
4.0	43.0																												
2.0	31.0																												
1.0	21.5																												
0.5	16.5																												
0.25	12.5																												
0.125	8.5																												
0.009	6.5																												
Marshallwerte																													
Raumdichte	2507 [kg/m <sup>3</sup> ]																												
Rohdichte	2403 [kg/m <sup>3</sup> ]																												
Hohlraumgehalt	4.2 [Vol-%]																												
Hohlraumfüllungsgrad	71.3 [%]																												
Stabilität	17.9 [kN]																												
Fließen	2.3 [mm]																												
Belagskennwerte																													
Belagsdicke	75 [mm]																												
Raumdichte	2518 [kg/m <sup>3</sup> ]																												
Hohlraumgehalt	6.0 [Vol-%]																												
Verdichtungsgrad	keine Angabe																												
Bindemittelsorte	Cariphalt 45 RC																												
-dosierung	4.5 [Masse-%]																												
Löslicher Bindemittelgehalt	4.3 [Masse-%]																												

#### 4.2.7 Mischgut Entnahmestelle 7, Kanton Aargau, AC MR 8

Tab. 4.2.12 Mischgut AC MR 8, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	ARGOBIT AG Schafisheim	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	25. August 2007/Mai 2008	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	163°C	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AC MR 8 TecRoad/Kalkhydrat	
Provenienz der Mineralstoffe		
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	11.2	100.0
	8.0	97.8
	5.6	57.9
	4.0	37.3
	2.0	25.5
	1.0	18.4
	0.5	14.1
	0.25	11.3
	0.125	9.0
	0.063	7.1
Marshallwerte		
Raumdichte	2424	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdichte	2267	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	6.5	[Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	66	[%]
Stabilität	10.1	[kN]
Fließen	3.1	[mm]
Belagskennwerte		
Belagsdicke	35	[mm]
Raumdichte	2420	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	8.0	[Vol-%]
Bindemittelsorte	50/70 mit TecRoad/Kalkhydrat	
-dosierung	keine Angabe	
Löslicher Bindemittelgehalt	5.73	[Masse-%]

Tab. 4.2.13 Mischgut Mischgut AC B 22 H, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	ARGOBIT AG Schafisheim	
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	25. August 2007/Mai 2008	
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	156°C	
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AC B 22 H keine	
Provenienz der Mineralstoffe		
Korngrößenverteilung	[mm]	Durchgang [%]
	31.5	100.0
	22.4	98.0
	16.0	82.2
	11.2	69.0
	8.0	56.4
	5.6	46.1
	4.0	39.2
	2.0	26.6
	1.0	19.5
	0.5	15.2
	0.25	11.7
	0.125	8.9
	0.009	6.8
Marshallwerte		
Raumdichte	2528	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdichte	2408	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	4.7	[Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	66.0	[%]
Stabilität	16.6	[kN]
Fließen	3.5	[mm]
Belagskennwerte		
Belagsdicke	85	[mm]
Raumdichte	2524	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	4.0	[Vol-%]
Verdichtungsgrad	101.8	[%]
Bindemittelsorte	PmB-C 30/50	
-dosierung	keine Angabe	
Löslicher Bindemittelgehalt	3.89	[Masse-%]

#### 4.2.8 Mischgut Entnahmestelle 8, Kanton Zürich, AC MR 8

Tab. 4.2.14 Mischgut AC MR 8, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Birmensdorf
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	September 2008/November 2009
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	155°C
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AC MR 8 VIATOP+ Kalkhydrat
Provenienz der Mineralstoffe	Grobe Gesteinskörnung: 4/8 Gasperini Feine Gesteinskörnung: Hard AG Füller: Eigenfüller
Korngrößenverteilung	[mm] Durchgang [%] 11.2 100.0 8.0 98.0 5.6 69.0 4.0 39.5 2.0 27.5 1.0 23.5 0.5 19.0 0.25 16.0 0.125 12.5 0.063 10.0
Marshallwerte	
Raumdichte	2299 [kg/m <sup>3</sup> ]
Rohdichte	2459 [kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	6.5 [Vol-%]
Hohlraumfüllungsgrad	67.4 [%]
Stabilität	10.1
Fließen	3.1
Belagskennwerte	
Belagsdicke	30 [mm]
Raumdichte	- [kg/m <sup>3</sup> ]
Hohlraumgehalt	6.5 [Vol-%]
Bindemittelsorte	mB-E 45/80-65 CH
-dosierung	6.20 [Masse-%]
Löslicher Bindemittelgehalt	6.00 [Masse-%]

Tab. 4.2.15 Mischgut Mischgut AC B 22 H, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischguts	Birmensdorf																												
Einbaudatum/Bohrkern bzw. Belagsentnahmedatum	September 2008/November 2009																												
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	155°C																												
Mischgutsorte und -typ Zusätze:	AC B 22 H keine																												
Provenienz der Mineralstoffe	Grobe Gesteinskörnung: Kies AG Wil Füller: Eigenfüller																												
Korngrößenverteilung	<table border="1"> <thead> <tr> <th>[mm]</th> <th>Durchgang [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31.5</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>22.4</td><td>98.0</td></tr> <tr><td>16.0</td><td>84.0</td></tr> <tr><td>11.2</td><td>71.0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>62.0</td></tr> <tr><td>5.6</td><td>53.0</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>44.0</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>32.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>21.5</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>12.0</td></tr> <tr><td>0.125</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>0.009</td><td>7.0</td></tr> </tbody> </table>	[mm]	Durchgang [%]	31.5	100.0	22.4	98.0	16.0	84.0	11.2	71.0	8.0	62.0	5.6	53.0	4.0	44.0	2.0	32.0	1.0	21.5	0.5	15.0	0.25	12.0	0.125	9.5	0.009	7.0
[mm]	Durchgang [%]																												
31.5	100.0																												
22.4	98.0																												
16.0	84.0																												
11.2	71.0																												
8.0	62.0																												
5.6	53.0																												
4.0	44.0																												
2.0	32.0																												
1.0	21.5																												
0.5	15.0																												
0.25	12.0																												
0.125	9.5																												
0.009	7.0																												
Marshallwerte																													
Raumdicke	2387 [kg/m <sup>3</sup> ]																												
Rohdicke	2525 [kg/m <sup>3</sup> ]																												
Hohlraumgehalt	5.5 [Vol-%]																												
Hohlraumfüllungsgrad	65.6 [%]																												
Stabilität	15.0 [kN]																												
Fließen	4.5 [mm]																												
Belagskennwerte																													
Belagsdicke	80 [mm]																												
Raumdicke	- [kg/m <sup>3</sup> ]																												
Hohlraumgehalt	4.3 [Vol-%]																												
Bindemittelsorte	PmB-E 10/30-70																												
-dosierung	4.60 [Masse-%]																												
Löslicher Bindemittelgehalt	4.50 [Masse-%]																												

## 5 Prüfung des Strippingverhaltens im Labormaßstab mit MMLS

Zur Klärung der Frage, inwieweit Stripping (Ablösung des Bindemittels vom Gestein) aufgrund von Wassereinfluß die Standfestigkeit von hohlraumreichen Deckschichten beeinflusst, wurden Bohrkerne bzw. Belagsausschnitte mit Hilfe eines Modell-Verkehrslastsimulators im Maßstab 1:3 (Model Mobile Load Simulator MMLS3) untersucht. Zu Vergleichszwecken wurden einerseits Bohrkerne unter Wasser bei einer Prüftemperatur von 40°C und zum anderen Bohrkerne ohne Wasser bei der gleichen Temperatur mit dem Model Mobile Load Simulator MMLS3 überrollt. Tabelle 5.1.1 zeigt den Prüfplan für alle Entnahmestellen.

Tab. 5.1 Prüfplan für MMLS

Entnahmestelle Nr.	MMLS trocken	MMLS nass
1	TI 1-6	TI 7-12
2	VS 1-6	VS 7-12
3	UR 1-6	UR 7-12
4	AG 1-1 – 1-6	AG 1-7 – 1-12
5	AG 2-1 – 2-6	AG 2-7 – 2-12
6	BE 1-6	BE 7-12
7	AG 1-6	AG 7-12
8	ZH 1-6	ZH 7-12

Zur Verhinderung einer Schädigung des mobilen Verkehrslastsimulators MMLS, aber auch um die in der Realität rasch erfolgende oberflächliche Drainage zu simulieren, wurden die Prüfkörper nicht wie im an der Universität Stellenbosch durchgeführten Forschungsprojekt [3] direkt in ein vollgefülltes Wasserbad gestellt, sondern in ein wasser-durchlässiges Mörtelbett mit einem etwa 5 mm unter der Belagsoberfläche liegenden Wasserspiegel gesetzt, wobei sichergestellt wurde, dass der in der Praxis am stärksten durch Schub beanspruchte Bereich feucht gehalten wurde. Zudem wurde die steife Betung der Autobahnbeläge durch entsprechende Lagerung simuliert.

### 5.1 Model Mobile Load Simulator MMLS3

Der mobile Verkehrssimulator MMLS3 (Model Mobil Load Simulator) im Labormaßstab 1:3 (Abbildung 5.1.1) ist ein Gerät zur beschleunigten Untersuchung des Belagsverhaltens von Straßenbelägen (Accelerated Pavement Testing device, APT), daß an der Universität Stellenbosch von Prof. Hugo entwickelt wurde. Seine Beanspruchung wird von vier Einzelrädern aufgebracht. Diese Räder sind mit einem Durchmesser von 300 mm kleiner als herkömmliche Lastwagenreifen. Die Maschine ist 2.4 m lang, 0.6 m breit, besitzt eine Höhe von 1.2 m und ermöglicht das Aufbringen von ca. 7200 Lastwechseln pro Stunde. Jedes der Räder bringt dabei eine Last von bis zu 2.7 kN auf, wobei der Reifendruck 800 kPa beträgt. Der Abstand zwischen den Rädern beläuft sich auf 1.05 m und die MMLS3 ist für eine Geschwindigkeit von 2.6 m/s ausgelegt, was einer Belastungsfrequenz von ca. 4 Hz für eine gemessene Profillänge von 0.11 m entspricht (siehe auch Systemskizze in Abbildung 5.1.2). Die Maschine kann zur beschleunigten Prüfung in situ und im Labor eingesetzt werden, wobei die mechanischen Eigen-

schaften unter einer Radlast und insbesondere der Widerstand gegen bleibende Verformungen von Deckschichten bestimmt werden kann [11].



Abb. 5.1.1 Mobiler Verkehrslastsimulators MMLS3 im Maßstab 1:3

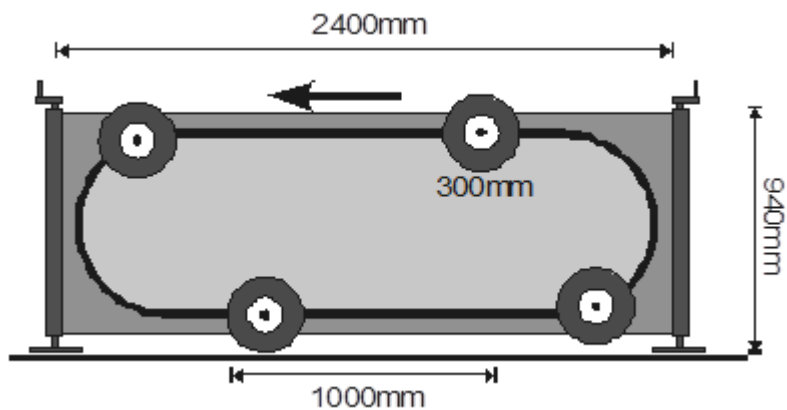


Abb. 5.1.2 Funktionsweise der MMLS3, schematische Darstellung

## 5.2 Untersuchung zusätzlicher Parameter

Für die Prüfung wurden je sechs der entnommenen Bohrkern mit einem Durchmesser von 220 mm seitlich um jeweils 35 mm und auf eine Höhe von ca. 90 mm abgeschnitten, aneinandergesetzt, mit Hilfe zweier Gepäckbänder aus Polyester fixiert und mittig in einem Stahlrahmen in ein Mörtelbett gesetzt (Abbildung 5.2.1). In der Abbildung ist deutlich die Beanspruchung der Oberfläche durch die MMLS3 sichtbar.

Die Prüfkörper wurden, wie auch im Forschungsprojekt [3], realitätsbezogen in einem in der Schweiz üblichen steifen Aufbau auf einem Betonuntergrund und nicht wie im Empa-Projekt [17] auf eine Moosgummiunterlage gebettet.

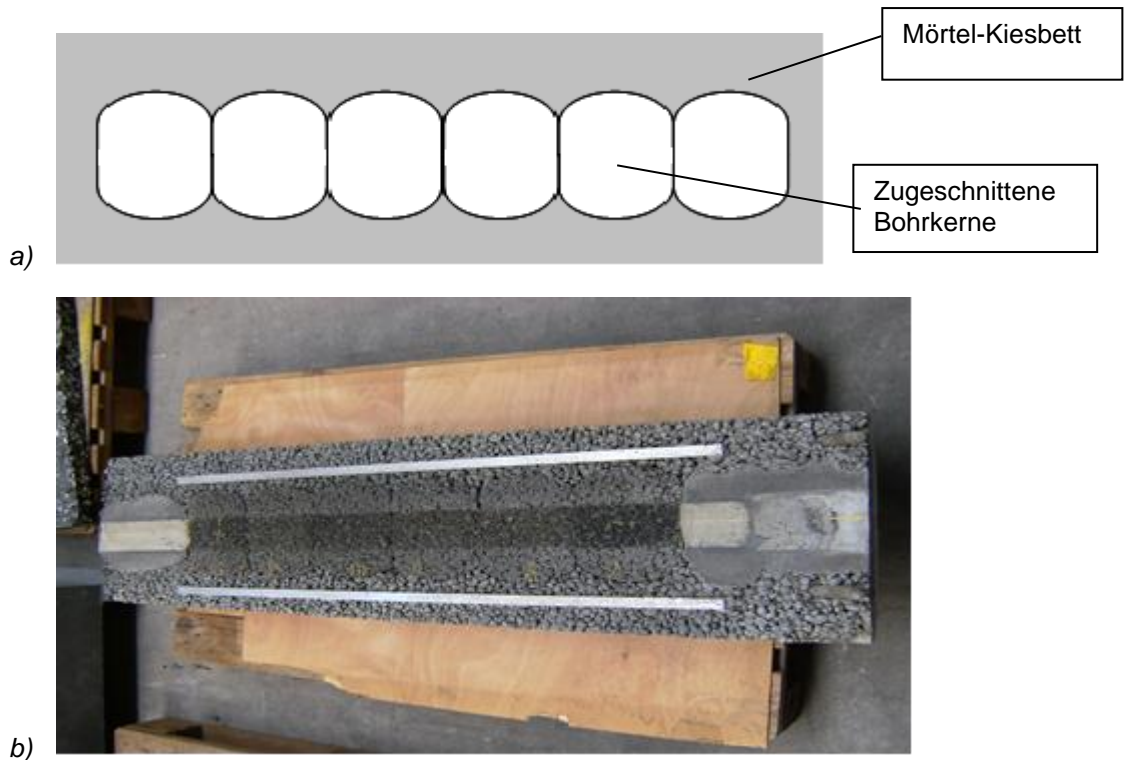


Abb. 5.2.1 Prüfkörper, aus 6 zugeschnittenen Bohrkernen der Breite 150 mm  
 a) Schemazeichnung, b) In Mörtelbett eingesetzte Prüfkörper nach der Prüfung



Abb. 5.2.2 Prüfkörper, aus 6 zugeschnittenen Bohrkernen der Breite 150 mm

Um eine ausgeglichene Temperaturverteilung und eine bessere Wasserzirkulation zu erreichen wurden seitlich zwei gelochte Röhren angebracht und mit Mörtel befestigt (siehe Abbildung 5.2.2). Der Stahlrahmen wurde mit einem offenporigen, wasserdurchlässigen Mörtel - Kiesgemisches (8-11 mm Korn für Mineralstoffgerüst) ausgegossen. Nach Erhärten des Mörtel – Kiesgemisches wurde der Stahlrahmen wieder entfernt und der Aufbau in der Prüfwanne zentriert.

Die speziell für die Prüfung unter Wasser angefertigte Prüfwanne bestand aus einem mit Teichfolie ausgelegten Holzrahmen, der Abmessungen 3100 mm x 1600 mm x 150 mm. Die Abmessungen der Prüfwanne wurden so groß gewählt, daß die MMLS3

mitsamt dem als Unterbau dienenden Stahlrahmen einer Länge von ca. 2600 mm und einer Breite von ca. 1000 mm gut in die Wanne passte. Der Unterbau der MMLS3 bestand dabei aus einem Stahlrahmen, an dessen Enden ca. 300 mm breite Betonsockel als Aufstandsfläche für die Maschine dienten (siehe auch Abbildung 5.2.3).

Für die Prüfung unter Wasser wurde die Prüfwanne bis zur Oberkante des Prüfaufbaus (Oberkante der Prüfkörper) mit Wasser gefüllt. Dieses Wasser wurde bei der gewählten Testtemperatur von 40°C vorgeheizt und mit Hilfe eines Pumpensystems zirkuliert. Um die Wassertemperatur möglichst konstant zu halten, wurde die Prüfwanne in einem

Container mit den Abmessungen 5000 mm x 3000 mm x 2400 mm aufgebaut (siehe Abbildung 5.2.4). Die Temperatur wurde mit Hilfe von Temperaturfühler ständig kontrolliert und konnte über den Prüfverlauf bei  $40 \pm 2$  °C konstant gehalten werden.

Das im vorstehend beschriebene Vorgehen entspricht dabei weitgehend dem von Prof. Hugo von der Universität Stellenbosch vorgeschlagenem Versuchsprotokoll [16], [3]. Es ist aber festzuhalten, dass diese Anordnung mit den relativ hohen Bohrkernen zwar praxisnah ist, jedoch hinsichtlich Pumpeffekt wegen der relativ großen Steifigkeit nur hinsichtlich vertikaler Federung und nicht hinsichtlich Biegung kritisch ist.

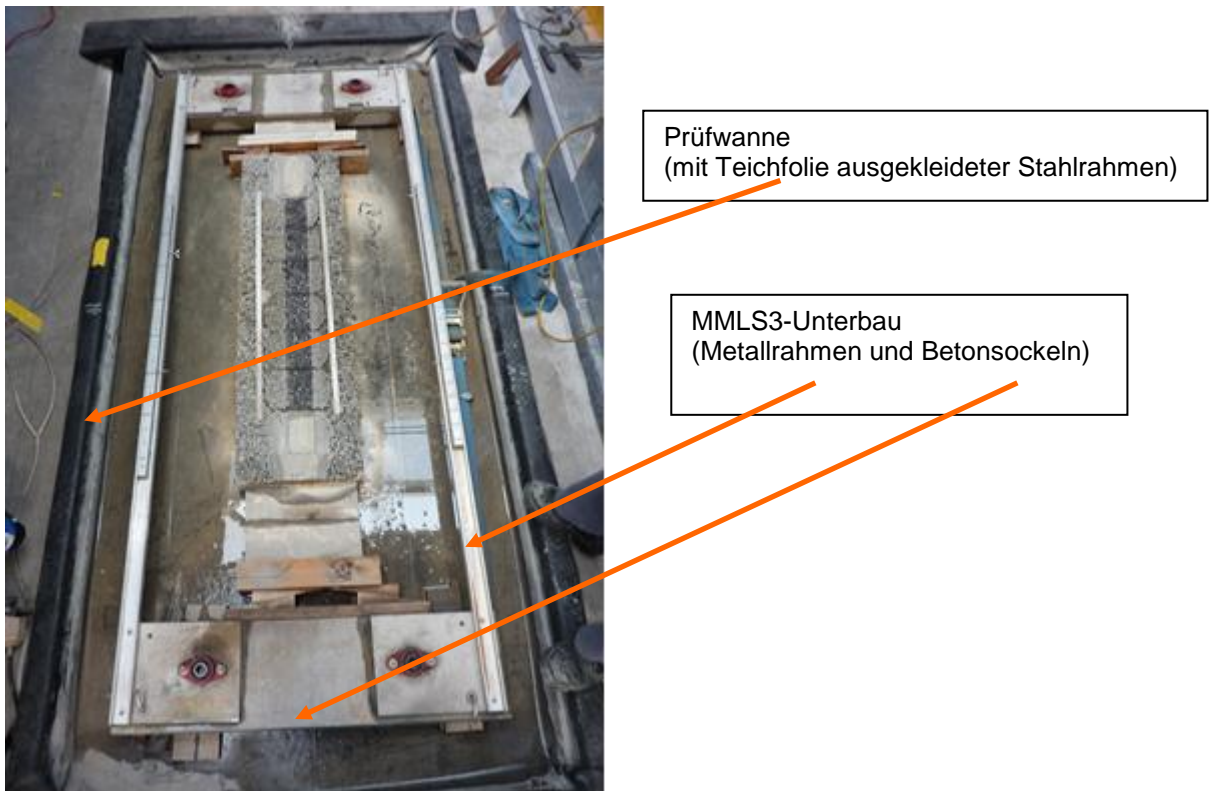


Abb. 5.2.3 Prüfaufbau: Eingegossene Prüfkörper, MMLS-Unterbau (Stahlrahmen) und Prüfwanne



Abb. 5.2.4 Container zur Temperierung während der Prüfung mit Verkehrslastsimulator

### 5.3 Prüfung mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3

Nach dem Einbau wurden die Prüfkörper mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 trocken oder naß überrollt und die Spurrinnenprofile in Bohrkernmitte mit Hilfe eines Profilometers (siehe Abbildung 5.3.1) nach je 2 500, 5 000, 10 000, 25 000, 50 000 und 100 000 Überrollungen bestimmt. Nach Erfahrungen an der Universität Stellenbosch wurden die Prüfkörper zuerst mit 125 Überrollungen eingebettet und dies als „Nullmessung“ festgesetzt.



Abb. 5.2.5 Profilometer zur Bestimmung der Spurrinnentiefe

## 5.4 Prüfung der Wasserdurchlässigkeit

Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit der offenporigen Prüfkörper (nur PA bzw. DRA, nicht AC MR Prüfkörper) wurde jeweils vor und nach der Prüfung mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 ein Wasserdurchflusstest durchgeführt. Dieser im folgenden beschriebene Test wird in Anlehnung an die Prüfung der „Vertikalen Wasserdurchlässigkeit“, wie sie in der EN 12697-19 beschrieben ist, durchgeführt, ist aber keine Normprüfung. Die Prüfung beansprucht daher auch keine absolute Aussage über die Wasserdurchlässigkeit der offenporigen Schichten, sondern dient vielmehr dem Vergleich zwischen der Wasserdurchlässigkeit vor und nach Beanspruchung durch den Verkehrslastsimulator MMLS3, wobei ein Vergleich zwischen überrollter und nicht überrollter Zone hier nicht möglich war.

Abbildung 5.4.1 zeigt den Aufbau für die Wasserdurchlässigkeitsprüfung. Für die Prüfung wurde der zugeschnittene Bohrkern in eine Plastikwanne gestellt. Ein mit Messmarken versehener Plexiglaszylinder mit einem Innendurchmesser von 140 mm wurde mittig auf den Bohrkern gestellt und mit einer Kitt- (Knet)-masse so befestigt, dass weder seitlich noch auf der äußeren Oberfläche des Bohrkerns Wasser entweichen konnte. Nun wurde mit Hilfe eines Schlauchs Wasser (ca. 20°C) bis zur 300 ml Marke eingefüllt. Mit einer Stoppuhr wurde die Zeit gemessen, in der der eingefüllte Wasserspiegel von der 250 ml auf die 50 ml Messmarke absank. Für jeden einzelnen Bohrkern wurde die Messung 6 Mal wiederholt und der Mittelwert aller Messungen berechnet.



Abb. 5.2.6 Wasserdurchlässigkeitsprüfung

## 6 Evaluation und Durchführung einer mechanischen Prüfung

### 6.1 Allgemeines

Bereits bei der Durchführung einer Forschungsarbeit an der Universität von Stellenbosch (Südafrika) im Jahr 2003 konnten erste Erkenntnisse zum Stripping von Belägen gewonnen werden [3]. In diesem Forschungsprojekt wurden Bohrkerne mit dem mobilen Verkehrslastsimulator MMLS 3 überrollt und dann einer mechanischen Prüfung in Form einer 3-Punkt Biegung unterzogen.

Die in einem ersten Versuch angestrebte Übernahme des damals benutzten 3-Punkt Biegeversuchs in modifizierter Form (Anpassung an Prüfkörperabmessungen und Belastungen) scheiterte. Nach weiteren Modifikationen des Prüfaufbaus und der Belastungskonfiguration, erwies sich eine 4-Punkt-Biegeprüfung als sinnvoll.

Da die Möglichkeit bestand, dass die Haftung zwischen Deck- und Tragschicht durch die Wassereinwirkung bzw. durch die Beanspruchung mit dem Verkehrslastsimulator beeinträchtigt werden könnte, wurde zusätzlich eine Haftzugprüfung durchgeführt. Mit dieser Prüfung sollten nicht nur die Unterschiede zwischen nasser und trockener Beanspruchung sondern ebenfalls Unterschiede innerhalb und außerhalb der Radspur des Verkehrslastsimulators untersucht werden.

Die Abscherprüfung nach Leutner konnte wegen der beschränkten Anzahl Bohrkerne und wegen allfälliger Unterschiede zwischen überrollte und nicht überrollte Zone nicht durchgeführt werden. Der Prüfkörperdurchmesser bei der Haftzugprüfung betrug 50 mm.

### 6.2 Vorbereitung der Prüfkörper

Nach der Prüfung mit dem mobilen Verkehrslastsimulator MMLS 3 wurden die Prüfkörper aus dem Mörtelbett ausgebaut und zugeschnitten:

- Für die mechanische Prüfung (4-Punkt-Biegung) wurden die oberen 20 mm jedes Prüfkörpers abgeschnitten und seitlich auf eine Breite von 120 mm zugeschnitten (siehe Abbildung 6.2.1). Die genauen Abmessungen wurden an verschiedenen Punkten des Prüfkörpers bestimmt und für die Berechnung gemittelt.
- Für die Haftzugprüfung wurde der verbleibende untere Teil der Prüfkörper verwendet, wobei pro Prüfkörper je 3 Haftzugprüfungen (2 außerhalb der Radspur, 1 innerhalb der Radspur) wie in Abbildung 6.3.1 dargestellt durchgeführt wurden.

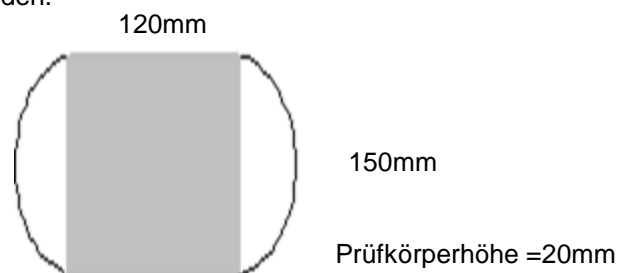
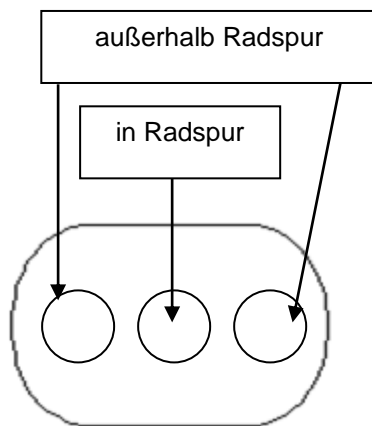


Abb. 6.2.1 Zugeschnittener Prüfkörper für 4-Punkt-Biegung

### 6.3 Haftzugprüfung

Da es für die Haftzugprüfung bisher in der Schweiz noch keine Norm oder Vorschrift gibt, wurde die Prüfung in Anlehnung an die deutsche technische Prüfvorschrift ZTV-SIB 90 [7] durchgeführt: Die Belastungsgeschwindigkeit betrug dabei 300 N/s und es wurde eine Vorlast von 100 N aufgebracht.

Für die Prüfung wurden pro Prüfkörper 3 Bohrungen (2 außerhalb der Radspur, 1 innerhalb der Radspur) mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Tiefe entsprechend der Dicke der Deckschicht plus 10 mm durchgeführt. Nach Säubern und Trocknen der Bohrstellen wurden Prüfstempel aus Stahl mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Dicke von 30 mm mit Hilfe eines Zweikomponentenklebers aufgeklebt. Die Prüfung des Haftzuges erfolgte nach Aushärten des Klebstoffs in einem temperierten Raum bei einer Lufttemperatur von 20°C (siehe Abbildung 4.6.1).



a)



b)

Abb. 6.3.1 Anordnung bei Haftzugprüfung: a) Schematische Darstellung, b) Foto



Abb. 6.3.2 Einrichtung der Haftzugprüfung

## 6.4 4-Punkt-Biegeprüfung

Abbildung 6.4.1 zeigt den Prüfaufbau für die Vier-Punkt-Biegung. Die Prüfkörper wurden nach dem Zuschneiden mit der durch den Verkehrslastsimulator beanspruchten Seite nach unten in die Prüfeinrichtung gelegt, so dass die beanspruchte Oberfläche einer Zugbeanspruchung unterworfen wurde. Diese Vorgehensweise erlaubte somit, durch Strippingeffekte hervorgerufene Oberflächenschäden und ihren Einfluss hinsichtlich einer allfälligen Schwächung der Biegefestigkeit zu bestimmen.

Der Vier-Punkt-Biegeversuch wurde folgendermaßen durchgeführt: Die Prüfung erfolgte bei einer Temperatur von 25°C und einer Frequenz von 10 Hz. Zuerst wurde eine Sinuslast mit einer Amplitude von 0.3 kN (0.1...0.4 kN) 100 Mal aufgebracht, um den Prüfkörper auf diese Art einzuschwingen. Danach wurde die Kraft mit einer Geschwindigkeit von 4 mm/min bis zum Bruch des Prüfkörpers gesteigert. Die Bruchkraft wurde gemessen und die Bruchkurve aufgezeichnet. Unter Vernachlässigung des Einflusses der Querkraft wurde die nominale Bruchspannung mit der für einen ebenen Balken geltenden Gleichung

$$\sigma = M/W \quad (\text{Gleichung 1})$$

berechnet. Wobei das Biegemoment  $M$  mit

$$M = Pl/3 \quad (\text{Gleichung 2})$$

und das Widerstandsmoment  $W$  mit

$$W = bh^2/6 \quad (\text{Gleichung 3})$$

berechnet wurden.

Da ein Versagen aufgrund von Stripping am ehesten durch das Bruchverhalten beschrieben werden kann, wurde auf die Bestimmung anderer Kraft-Verformungskurvenparameter, wie z.B. der Steifigkeit, d.h. der maximalen Steigung der Kurve, verzichtet.

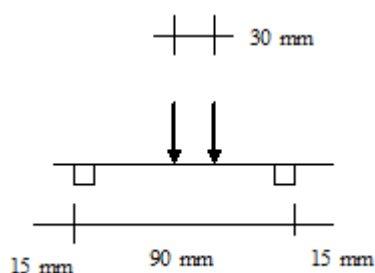


Abb. 6.4. 1 4-Punkt-Biegeeinrichtung, Schemat. Darstellung der Abmessungen und Foto

## 7 Resultate der Untersuchungen

### 7.1 Resultate der Wasserdurchlässigkeitsprüfung

Die Resultate der Wasserdurchlässigkeitsprüfung der offenporigen Beläge vor und nach trockener und nasser Beanspruchung sind für alle Entnahmestellen in den Abbildungen 7.1.1 bis 7.1.5 dargestellt. Die Balken stellen die Mittelwerte dar. Alle Einzelwerte sind im Anhang in den Tabellen I.1.1 - I.5.2 aufgeführt.

#### 7.1.1 Entnahmestelle 1, Kanton Tessin

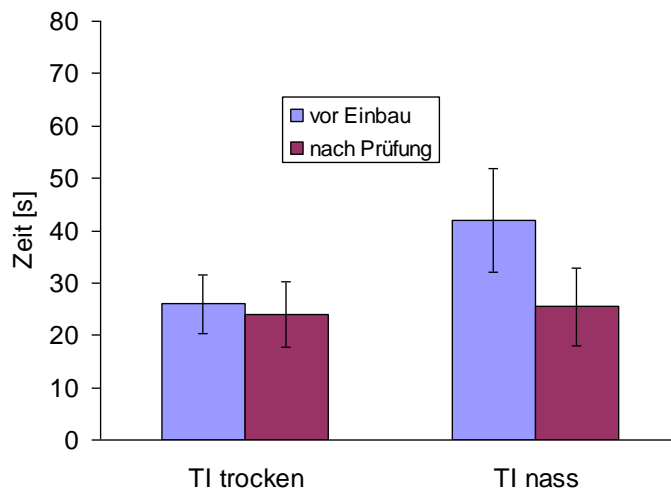


Abb. 7.1.1 Wasserdurchlässigkeitsprüfung Entnahmestelle 1, Kanton Tessin

Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit bietet ein ziemlich uneinheitliches Bild. Im Fall der trocken beanspruchten Prüfkörper liegen die Durchflusszeiten vor der Prüfung zwischen 18 und 34 s. Bei 4 Prüfkörpern nimmt die Durchflusszeit nach trockener Beanspruchung dann um 2 bis 7 s zu, während bei 2 Prüfkörpern sich die Durchflusszeit deutlich um 12 bzw. 15 s verringert.

Im Fall der nass beanspruchten Prüfkörper liegen die Durchflusszeiten vor der Beanspruchung mit 30 bis 58 s deutlich höher, wobei es in allen Fällen nach der Beanspruchung zu einer Abnahme der Durchflusszeiten zwischen 2 und 35 s kommt.

Ein Blick auf die Mittelwerte zeigt für die trocken beanspruchten Prüfkörper praktisch keinen Unterschied, während die bei den nass beanspruchten Prüfkörpern, die Wasserbeanspruchung zu einer „Verstopfung“ der Luftporen und damit zu längeren Durchflusszeiten führt.

Insgesamt sind die Prüfkörper derselben Entnahmestelle und damit desselben Belags sehr unterschiedlich, was in den unterschiedlichen Mittelwerten „vor Einbau“ zum Ausdruck kommt.

### 7.1.2 Entnahmestelle 2, Kanton Wallis

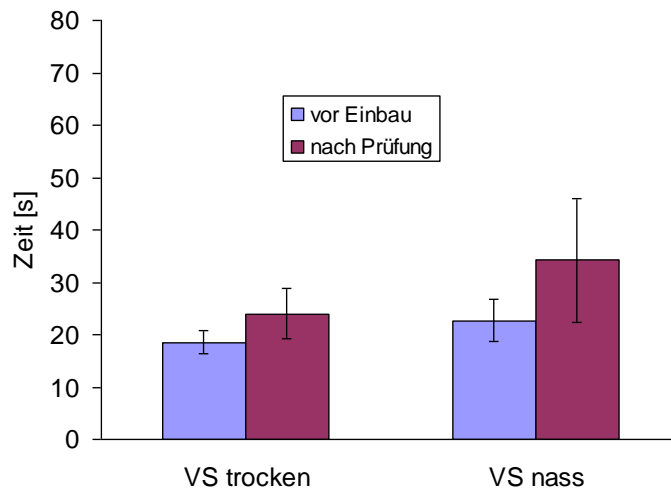


Abb. 7.1.2 Wasserdurchlässigkeitsprüfung Entnahmestelle 2, Kanton Wallis

Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit führt hier mit einer Ausnahme sowohl im Fall der trockenen als auch der nassen Beanspruchung zu einer Zunahme der Durchflusszeiten. Im Fall der trockenen beanspruchten Prüfkörper liegen die Durchflusszeiten vor der Prüfung zwischen 16 und 22 s und nehmen dann um 1 bis 13 s zu.

Im Fall der nass beanspruchten Prüfkörper liegen die Durchflusszeiten vor der Beanspruchung zwischen 18 und 28 s und nehmen dann um 2 bis 24 s zu. Bei einem Bohrkern sinkt die Zeit von 21 auf 19 s, d.h. sie bleibt im Rahmen der Messgenauigkeit praktisch gleich.

Die Bohrkern dieser Entnahmestelle sind aufgrund der mittleren Durchflusszeit vor der Prüfung relativ einheitlich. Die Zunahme der Durchflusszeit ist bei der trockenen Prüfung unerheblich, bei der nassen Prüfung mit mehr als 10 s deutlicher, weist aber eine große Streuung (Standardabweichung) auf.

### 7.1.3 Entnahmestelle 3, Kanton Uri

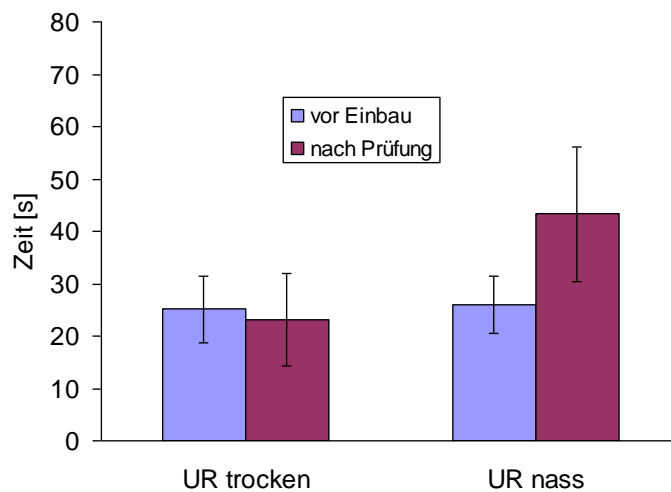


Abb. 7.1.3 Wasserdurchlässigkeitsprüfung Entnahmestelle 3, Kanton Uri

Für die Entnahmestelle Uri ergibt sich ein zweigeteiltes Bild. Im Fall der trockenen Prüfung liegen die Durchflusszeiten vor der Beanspruchung zwischen 18 und 32 s. Ein Prüfkörper zeigt einen so hohen Durchfluss, dass davon ausgegangen werden muss, dass es sich hierbei nicht um offenporigen Belag handelt, was auch optisch ersichtlich war. Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit führt hier im Fall der trockenen Beanspruchung bei 2 Prüfkörpern zu einer Abnahme um 6 bzw. 11 s, bei einem Prüfkörper bleibt sie mit 19 s gleich und bei zwei weiteren Prüfkörpern kommt es zu einer Zunahme von 4 bzw. 3 s.

Im Fall der nass beanspruchten Prüfkörper liegen die Durchflusszeiten vor der Beanspruchung zwischen 20 und 35 s und nehmen dann im Mittel um 4 bis 28 s zu.

Auch bei den Prüfkörpern der Entnahmestelle 3 sind die Mittelwerte der Durchflusszeiten vor der Prüfung praktisch identisch. Nach der trocken Prüfung ist die Änderung (Zunahme) vernachlässigbar während nach der nassen Prüfung die Durchflusszeit um ca. 20 s zunimmt, wobei die Streuung der einzelnen Messwerte wieder recht groß ist.

#### 7.1.4 Entnahmestelle 4, Kanton Aargau, Einbau 1999

Bei der nassen Beanspruchung wurde die Wasserdurchlässigkeitsprüfung vorher nicht durchgeführt.

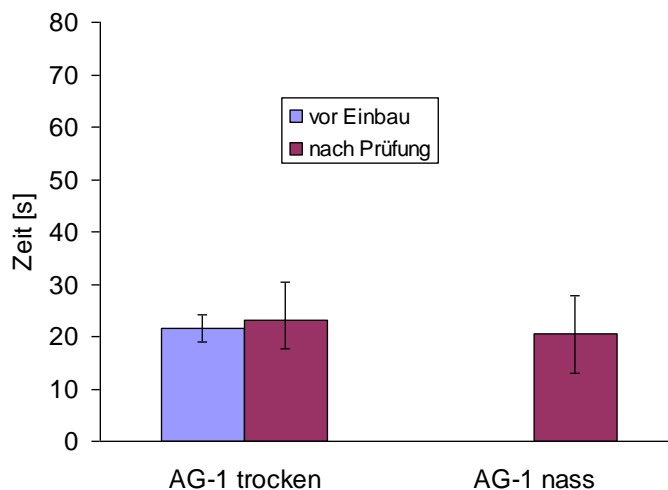


Abb. 7.1.4 Wasserdurchlässigkeitsprüfung Entnahmestelle 4, Kanton Aargau

Da die Durchflussmessungen hier in Fall der nass beanspruchten Prüfkörper vor der Beanspruchung nicht durchgeführt worden, können nur die trocken beanspruchten Prüfkörper ausgewertet werden. Hier liegen die Durchflusszeiten vor der Beanspruchung recht einheitlich zwischen 18 und 25 s.

Nach der Beanspruchung kommt es bei 4 Prüfkörpern im Mittel zu seiner Zunahme zwischen 1 und 10 s, während 2 Prüfkörper eine Abnahme von 2 bzw. 6 s zeigen. Durchflussmessungen liegen für die nassen Prüfkörper nach der Beanspruchung zwischen 10 und 30 s.

Ein Vergleich der Mittelwerte vor der Prüfung ist im Fall dieser Entnahmestelle nicht möglich, da im Fall der nassen Beanspruchung keine Werte gemessen wurden. Die Zunahme des Mittelwerts nach trockener Beanspruchung ist aber vernachlässigbar. Die Mittelwerte nach trocken und nasser Beanspruchung weisen einen ähnlichen Wert auf, so dass davon ausgegangen werden kann, dass im Fall dieser Entnahmestelle keine große Änderung der Luftporen stattgefunden hat.

### 7.1.5 Entnahmestelle 5, Kanton Aargau, Einbau 2005

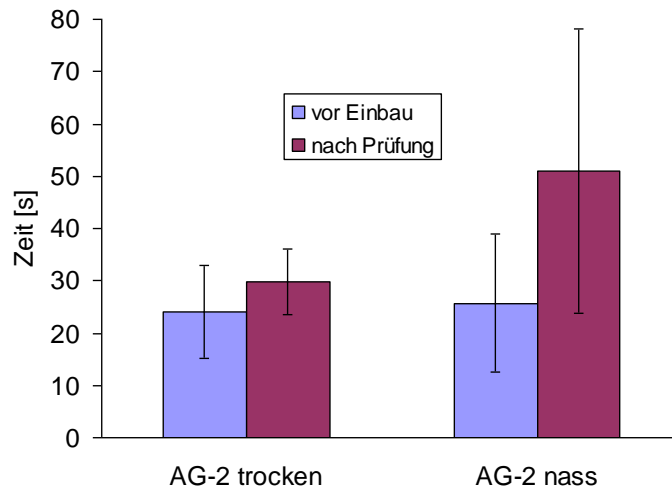


Abb. 7.1.5 Wasserdurchlässigkeitsprüfung Entnahmestelle 5, Kanton Aargau

Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit führt für diese Entnahmestelle mit einer Ausnahme sowohl im Fall der trockenen als auch der nassen Beanspruchung zu einer Zunahme Durchflusszeiten. Im Fall der trockenen Prüfung liegen die Durchflusszeiten vor der Beanspruchung zwischen 13 und 39 s und nehmen um 1 bis 5 s nach der Beanspruchung zu. Bei einem Prüfkörper tritt eine extrem hohe Zunahme von 30 s auf, während bei einem Prüfkörper sinkt die Durchflusszeit von 26 s auf 16 s.

Im Fall der nass beanspruchten Prüfkörper liegen die Durchflusszeiten vor der Beanspruchung zwischen 14 und 31 s und nehmen nach der Beanspruchung im Mittel um 3 bis 27 s zu, bei einem Bohrkern sogar um 76 s.

Bei Entnahmestelle 5 sind die Durchflusszeiten vor der Prüfung im Mittel sehr einheitlich. Die Zunahme der Durchflusszeiten nach der trockenen Prüfung ist wieder unerheblich. Nach nassen Prüfung gibt es aufgrund eines einzelnen Wertes eine deutlich Zunahme, aber mit großer Standardabweichung.

## 7.2 Resultate der Haftzugprüfung

Die Resultate der Haftzugprüfung der einzelnen Entnahmestellen nach trocken und nasser Beanspruchung außerhalb und innerhalb der mit der MMLS3 überrollten Zone sind in den Abbildungen 7.2.1 bis 7.2.16 dargestellt. Alle Einzelwerte sind im Anhang in den Tabellen 14.3.1 - 14.3.8 aufgeführt.

### 7.2.1 Entnahmestelle 1, Kanton Tessin

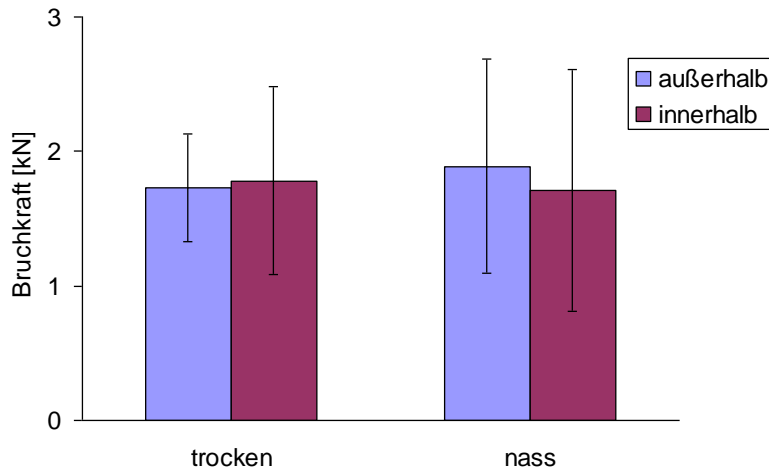


Abb. 7.2.1 Haftzugprüfung Entnahmestelle 1, Kanton Tessin

Alle Prüfkörper waren in der Deckschicht gebrochen. Abbildung 7.2.2 zeigt beispielhaft die Bruchbilder eines trocken geprüften Bohrkerns.

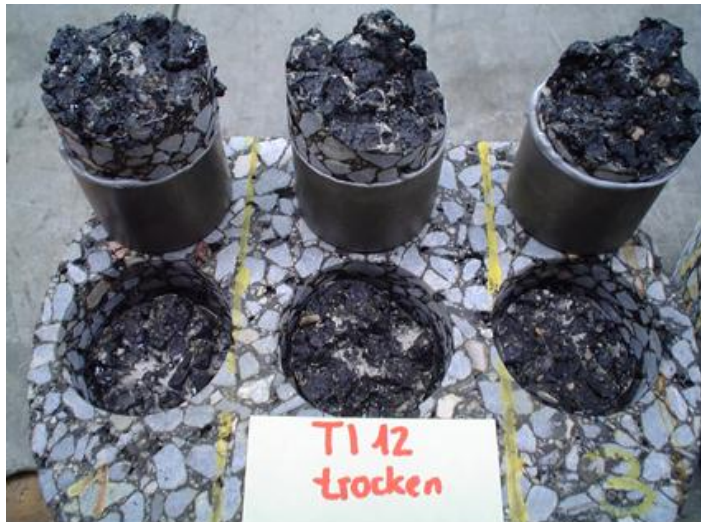


Abb. 7.2.2 Bruchbilder der Haftzugprüfung an einem trocken beanspruchten Bohrkern

Die Haftzugprüfung zeigt bei den trockenen geprüften Proben keinen Unterschied zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Bei den nass geprüften Proben ist die Haftzugkraft außerhalb der Radspur mit 0.18 kN vernachlässigbar niedriger als diejenige in der Radspur. Ein Vergleich der nassen und trocken geprüften Proben ergibt keinen Unterschied für die Werte innerhalb der Radspur und außerhalb der Radspur einen mit 0.16 kN ebenfalls vernachlässigbar höheren Wert für die nass geprüften Proben.

## 7.2.2 Entnahmestelle 2, Kanton Wallis

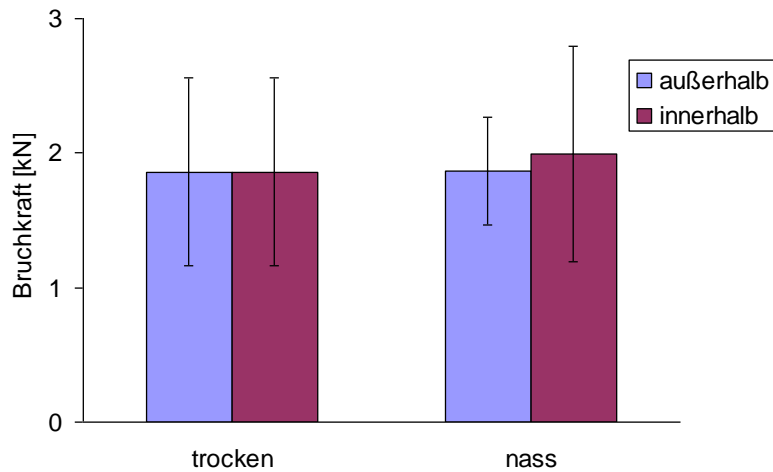


Abb. 7.2.3 Haftzugprüfung Entnahmestelle 2, Kanton Wallis

Die trocken beanspruchten Prüfkörper sind mehrheitlich in der Schichtgrenze bzw. teilweise in der Schichtgrenze (70-90% in der Schichtgrenze) gebrochen. Ein kleiner Teil war in der Deckschicht bzw. größtenteils in der Deckschicht (10-30%) gebrochen. Abbildung 7.2.4 zeigt beispielhaft die Bruchbilder eines trocken geprüften Bohrkerns. Die nass beanspruchten Prüfkörper sind in der Schichtgrenze, bei 3 Prüfkörpern liegen die Bruchstellen 10-30% in der Schicht.

Die Haftzugprüfung zeigt bei den trocken geprüften Proben keinen Unterschied zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Bei den nass geprüften Proben ist die Haftzugkraft außerhalb der Radspur mit 0.12 kN vernachlässigbar höher als diejenige in der Radspur. Ein Vergleich der nassen und trocken geprüften Proben ergibt keinen Unterschied für die Werte außerhalb der Radspur und innerhalb der Radspur einen mit 0.13 kN ebenfalls vernachlässigbar höheren Wert für die nass geprüften Proben.

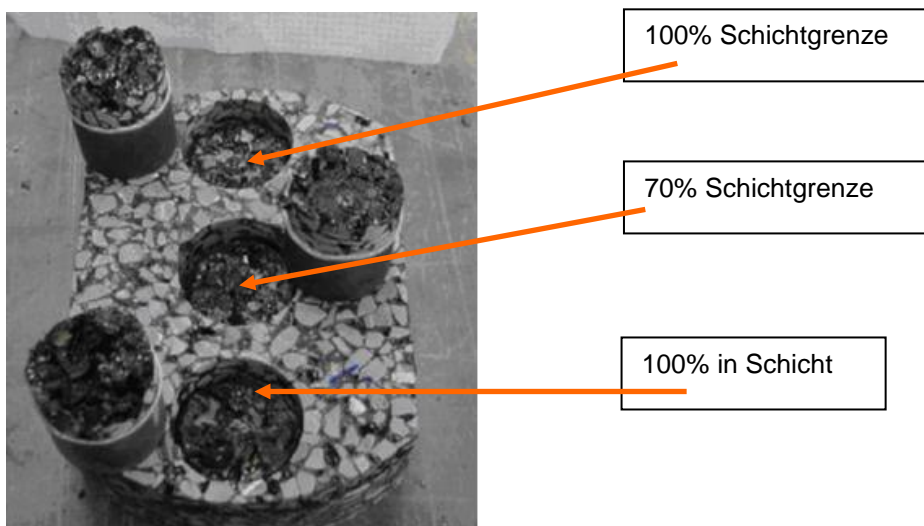


Abb. 7.2.4 Bruchbilder der Haftzugprüfung an einem trocken beanspruchten Bohrkern

### 7.2.3 Entnahmestelle 3, Kanton Uri

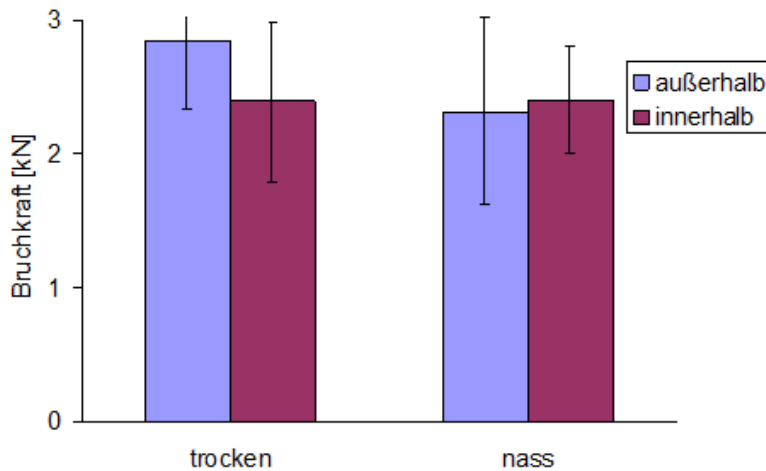


Abb. 7.2.5 Haftzugprüfung Entnahmestelle 3, Kanton Uri

Die trocken beanspruchten Prüfkörper sind mehrheitlich in der Deckschicht bzw. teilweise in der Deckschicht (70-90%) gebrochen. Ein kleiner Teil waren teilweise in der Schichtgrenze (50-70%) gebrochen. Abbildung 7.2.6 zeigt beispielhaft die Bruchbilder eines trocken geprüften Bohrkerns.

Die naß beanspruchten Prüfkörper sind mit zwei Ausnahmen alle in der Deckschicht oder 50%-80% in der Schicht gebrochen.

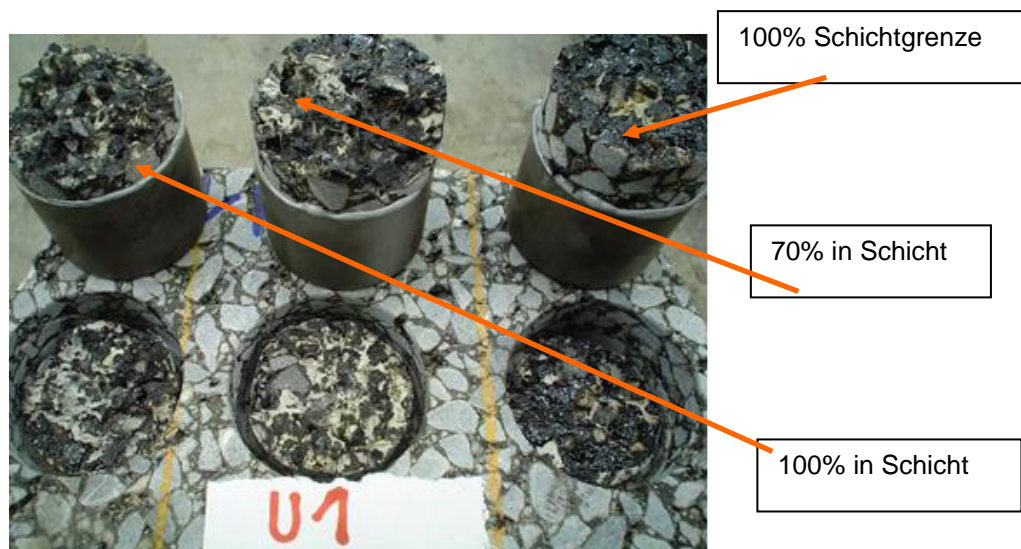


Abb. 7.2.6 Bruchbilder der Haftzugprüfung an einem trocken beanspruchten Bohrkern

Die Haftzugprüfung zeigt bei den naß geprüften Proben einen vernachlässigbaren Unterschied von weniger als 0.1 kN zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Bei den trocken geprüften Proben ist die Haftzugkraft außerhalb der Radspur mit 0.45 kN vernachlässigbar höher als diejenige in der Radspur. Ein Vergleich der nassen und trocken geprüften Proben ergibt keinen Unterschied für die Werte innerhalb der Radspur und außerhalb der Radspur einen mit 0.52 kN ebenfalls im Vergleich zur Standardabweichung von 0.6 kN vernachlässigbar höheren Wert für die naß geprüften Proben.

## 7.2.4 Entnahmestelle 4, Kanton Aargau

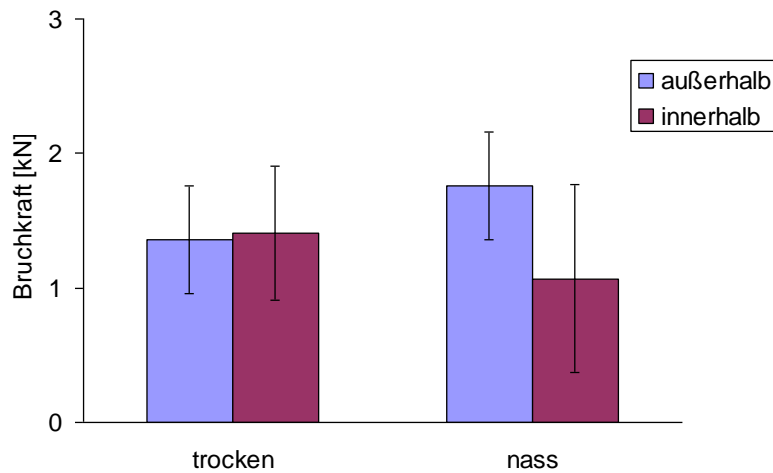


Abb. 7.2.7 Haftzugprüfung Entnahmestelle 4, Kanton Aargau

Die nass beanspruchten Prüfkörper sind mehrheitlich in der Deckschicht bzw. teilweise in der Deckschicht (30%) gebrochen. Die trocken geprüften Prüfkörper sind alle in der Schicht gebrochen. Abbildung 7.2.8 zeigt beispielhaft die Bruchbilder eines nass geprüften Bohrkerns.

Die Haftzugprüfung zeigt bei den trocken geprüften Proben einen vernachlässigbaren Unterschied zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Bei den nass geprüften Proben ist die Haftzugkraft außerhalb der Radspur mit 0.7 kN höher als diejenige in der Radspur. Ein Vergleich der trockenen und nassen geprüften Proben ergibt innerhalb der Radspur um 0.34 kN höhere Werte für die trocken und außerhalb der Radspur um 0.4 kN höheren Wert für die nass geprüften Proben.

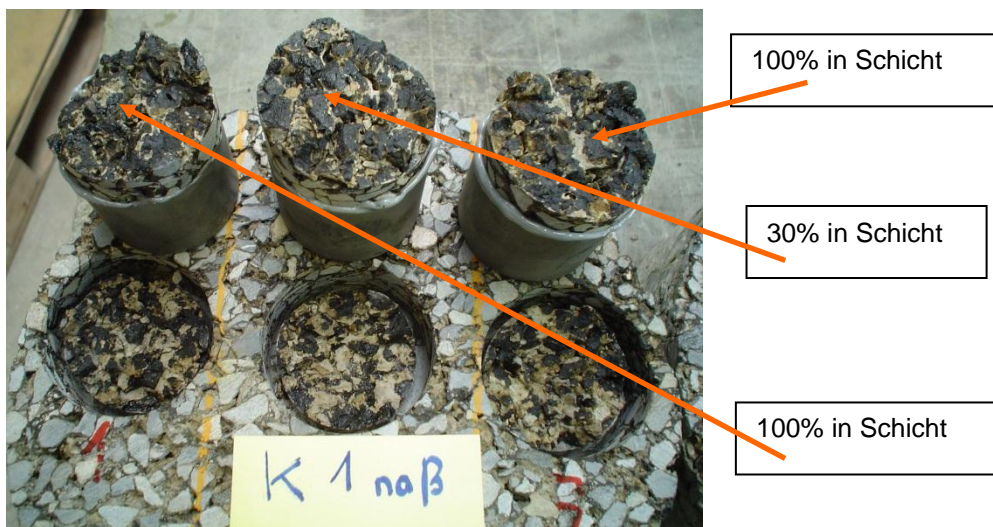


Abb. 7.2.8 Bruchbilder der Haftzugprüfung an einem nass beanspruchten Bohrkern

## 7.2.5 Entnahmestelle 5, Kanton Aargau

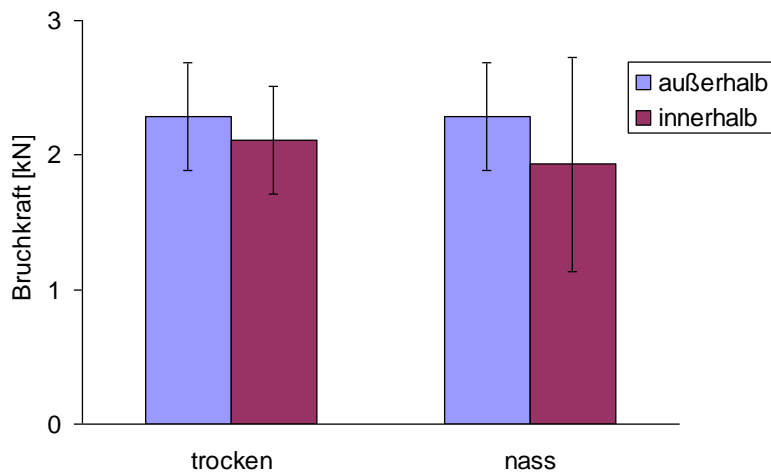


Abb. 7.2.9 Haftzugprüfung Entnahmestelle 5, Kanton Aargau

Die trocken beanspruchten Prüfkörper sind mehrheitlich in der Deckschicht bzw. teilweise in der Deckschicht (70-90%) gebrochen. Abbildung 7.2.10 zeigt beispielhaft die Bruchbilder eines trocken geprüften Bohrkerns. Auch die nass beanspruchten Prüfkörper sind mehrheitlich in der Deckschicht bzw. teilweise in der Deckschicht (80-90%) gebrochen.

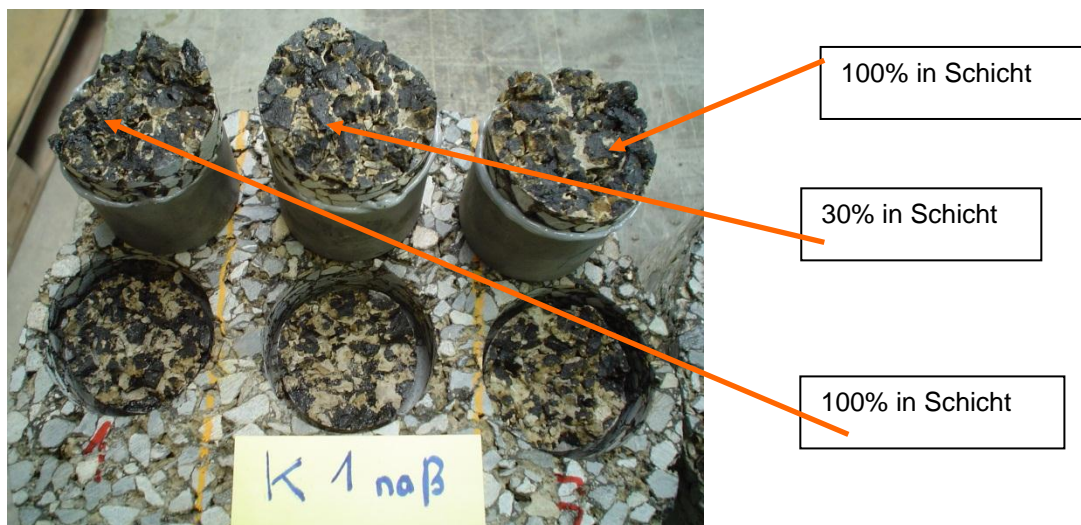


Abb. 7.2.10 Bruchbilder der Haftzugprüfung an einem nass beanspruchten Bohrkern

Die Haftzugprüfung zeigt bei den nass geprüften Proben einen vernachlässigbaren Unterschied von weniger als 0.1 kN zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Bei den trocken geprüften Proben ist die Haftzugkraft außerhalb der Radspur mit 0.45 kN vernachlässigbar höher als diejenige in der Radspur. Ein Vergleich der nassen und trocken geprüften Proben ergibt keinen Unterschied für die Werte innerhalb der Radspur und außerhalb der Radspur einen mit 0.52 kN ebenfalls im Vergleich zur Standardabweichung von 0.6 kN vernachlässigbar höheren Wert für die nass geprüften Proben.

## 7.2.6 Entnahmestelle 6, Kanton Bern

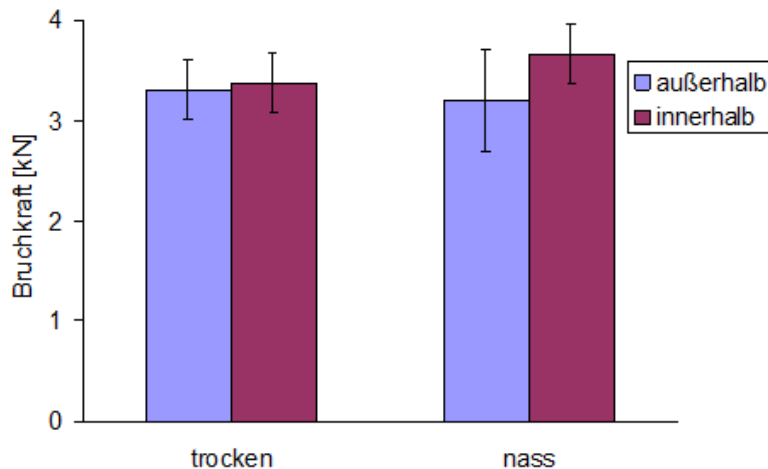


Abb. 7.2.11 Haftzugprüfung Entnahmestelle 6, Kanton Bern

Die trocken beanspruchten Prüfkörper sind mehrheitlich in der Schichtgrenze gebrochen. Bei einem Prüfkörper liegen die Bruchlinien aller 3 Proben 50% in der Schichtgrenze und 50% in der Schicht. Bei 2 weiteren Proben (außerhalb Radspur) liegt die Bruchlinie zu 70% in der Schicht. Die naß beanspruchten Prüfkörper sind fast alle in der Deckschicht gebrochen. Zwei Proben zeigen Bruchlinien, die 10% in der Schicht liegen. Abbildung 7.2.12 zeigt beispielhaft die Bruchbilder eines trocken geprüften Bohrkerns.

Die Haftzugprüfung zeigt bei den trocken geprüften Proben einen vernachlässigbaren Unterschied von weniger als 0.1 kN zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Bei den naß geprüften Proben ist die Haftzugkraft außerhalb der Radspur um 0.28 kN vernachlässigbar niedriger als diejenige in der Radspur. Ein Vergleich der nassen und trocken geprüften Proben ergibt einen vernachlässigbaren Unterschied von 0.07 kN für die Werte außerhalb der Radspur und innerhalb der Radspur einen mit 0.46 kN ebenfalls höheren Wert für die naß geprüften Proben.

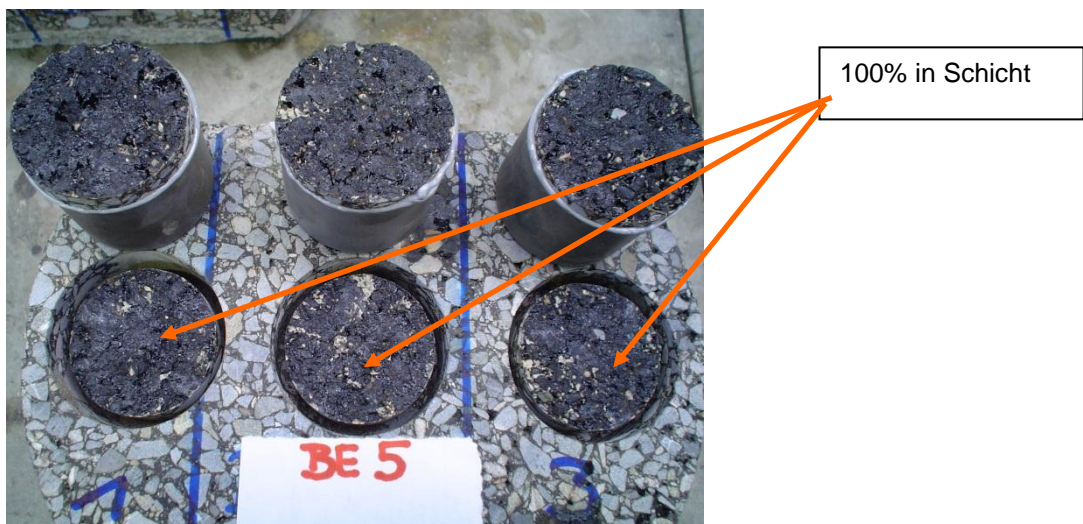


Abb. 7.2.12 Bruchbilder der Haftzugprüfung an einem naß beanspruchten Bohrkern

## 7.2.7 Entnahmestelle 7, Kanton Aargau

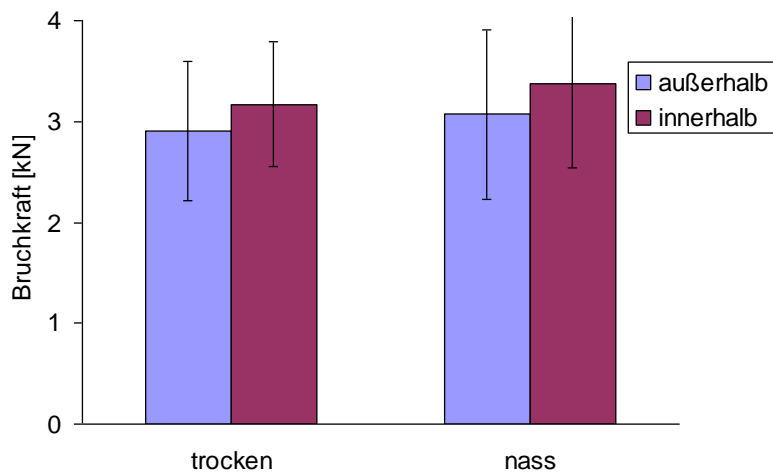


Abb. 7.2.13 Haftzugprüfung Entnahmestelle 7, Kanton Aargau

Die trocken beanspruchten Prüfkörper sind mit wenigen Ausnahmen alle in der Deckschicht gebrochen. Ähnliches gilt für die nass beanspruchten Prüfkörper. Abbildung 7.2.14 zeigt beispielhaft die Bruchbilder eines trocken geprüften Bohrkerns.

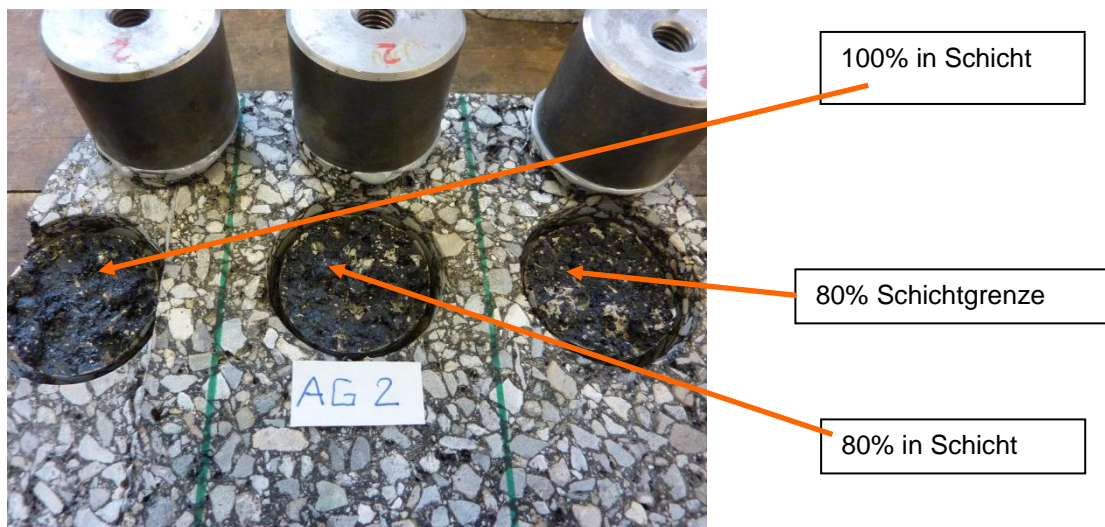


Abb. 7.2.14 Bruchbilder der Haftzugprüfung an einem trocken beanspruchten Bohrkern

Die Haftzugprüfung zeigt bei den trocken und nass geprüften Proben einen vernachlässigbaren Unterschied von 0.17 kN bzw. 0.21 kN zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Ein Vergleich der nassen und trocken geprüften Proben ergibt innerhalb und außerhalb der Radspur um 0.31 kN bzw. 0.27 kN höhere Werte für die nass geprüften Proben.

## 7.2.8 Entnahmestelle 8, Kanton Zürich

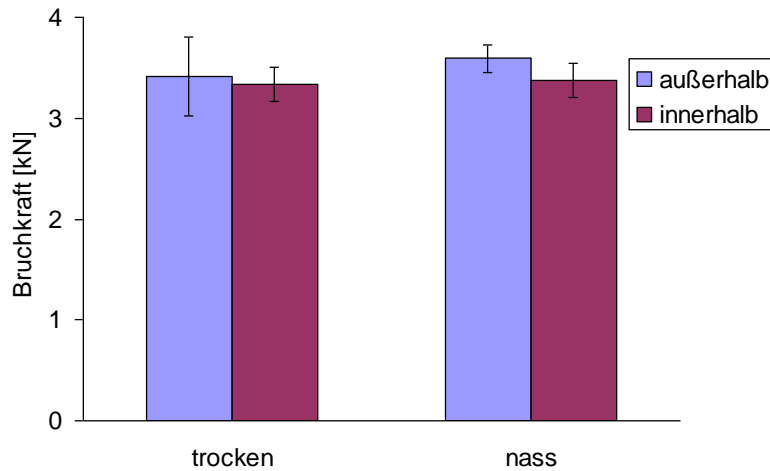


Abb. 7.2.15 Haftzugprüfung Entnahmestelle 7, Kanton Aargau

Die Haftzugprüfung zeigt bei den trocken geprüften Proben einen Unterschied von 0.18 kN zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Bei den nass geprüften Proben ist die Haftzugkraft außerhalb der Radspur um 0.03 kN vernachlässigbar niedriger als diejenige in der Radspur. Ein Vergleich der nassen und trocken geprüften Proben ergibt einen vernachlässigbaren Unterschied von 0.07 kN für die Werte außerhalb der Radspur und innerhalb der Radspur mit 0.22 kN höheren Wert für die trocken geprüften Proben.

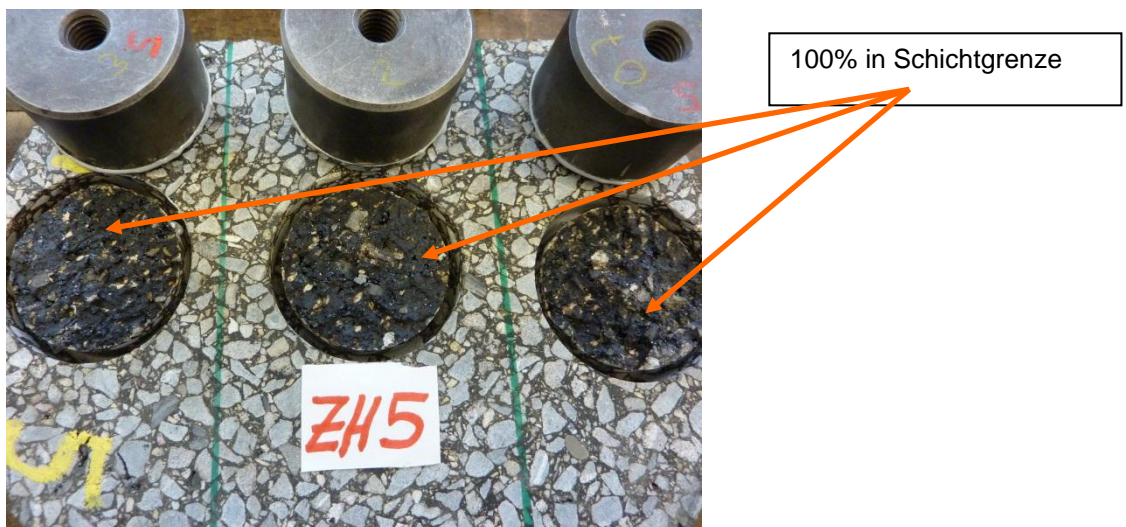


Abb. 7.2.14 Bruchbilder der Haftzugprüfung an einem trocken beanspruchten Bohrkern

Die Haftzugprüfung zeigt bei den trocken geprüften Proben einen Unterschied von 0.18 kN zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Bei den nass geprüften Proben ist die Haftzugkraft außerhalb der Radspur um 0.03 kN vernachlässigbar niedriger als diejenige in der Radspur. Ein Vergleich der nassen und trocken geprüften Proben ergibt einen vernachlässigbaren Unterschied von 0.07 kN für die Werte außerhalb der Radspur und innerhalb der Radspur mit 0.22 kN höheren Wert für die trocken geprüften Proben.

## 7.3 Resultate der 4-Punkt-Biegeprüfung

Abbildungen 7.3.1 bis 7.3.8 zeigen die gemittelten Bruchlastkurven für die trocken und nass beanspruchten 4-Punkt-Biegeprüfkörper. Die Einzelwerte der 4-Punkt-Biegeprüfung nach trockener und nasser Beanspruchung sind in den Tabellen 7.3.1 bis 7.3.8 im Anhang aufgeführt.

### 7.3.1 Entnahmestelle 1, Kanton Tessin

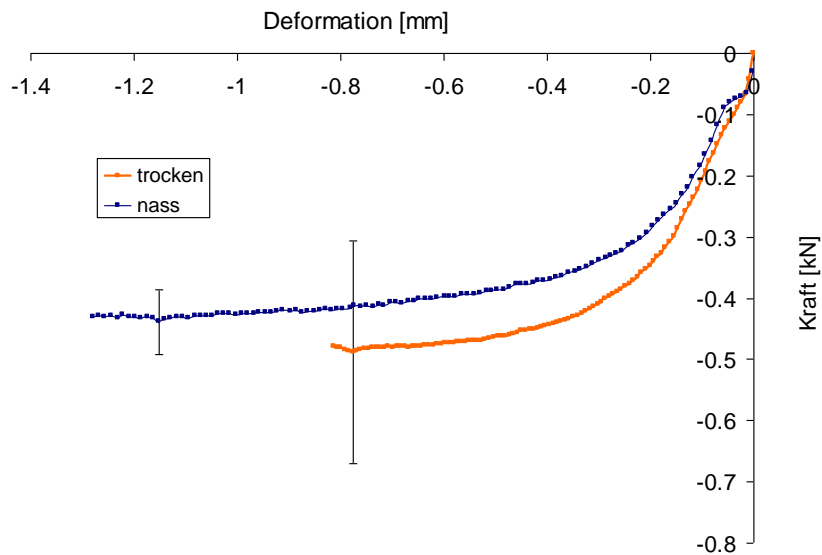


Abb. 7.3.1 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 1, Kanton Tessin

Für die Entnahmestelle 1, Kanton Tessin ergeben sich im Fall der trockenen Beanspruchung um ca.  $0.16 \text{ N/mm}^2$  höhere Biegespannungen gegenüber der nassen Beanspruchung, wobei die Kurven eine ähnliche Steigung aufweisen.

### 7.3.2 Entnahmestelle 2, Kanton Wallis

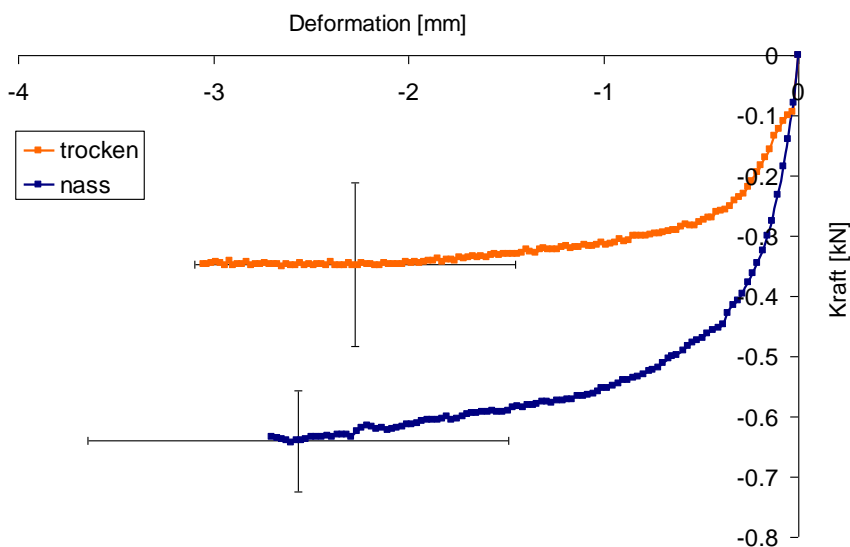


Abb. 7.3.2 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 2, Kanton Wallis

Für die Entnahmestelle 2, Kanton Wallis ergeben sich im Fall der trockenen Beanspruchung um ca.  $0.4 \text{ N/mm}^2$  niedrigere Biegespannungen gegenüber der nassen Beanspruchung. Hier ist auch der Verlauf der Bruchkurven sehr unterschiedlich, wobei die nass beanspruchte Kurve eine deutlich höhere Steigung aufweist.

### 7.3.3 Entnahmestelle 3, Kanton Uri

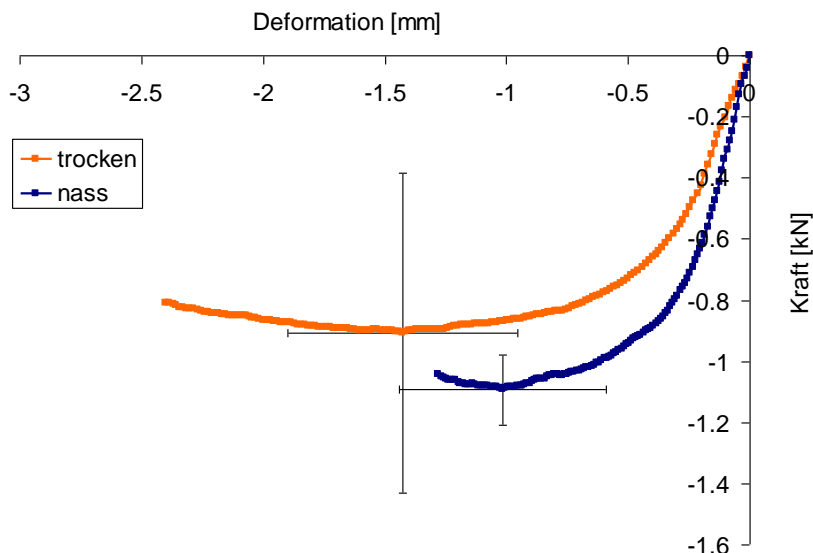


Abb. 7.3.3 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 3, Kanton Uri

Auch im Fall der Entnahmestelle 3, Kanton Uri liegen bei trockener Beanspruchung die Biegespannungen um ca.  $0.6 \text{ N/mm}^2$  niedriger als bei nasser Beanspruchung, wobei der Verlauf der beiden Bruchkurven wie im Fall der Entnahmestelle 1 wieder relativ ähnlich ist.

### 7.3.4 Entnahmestelle 4, Kanton Aargau

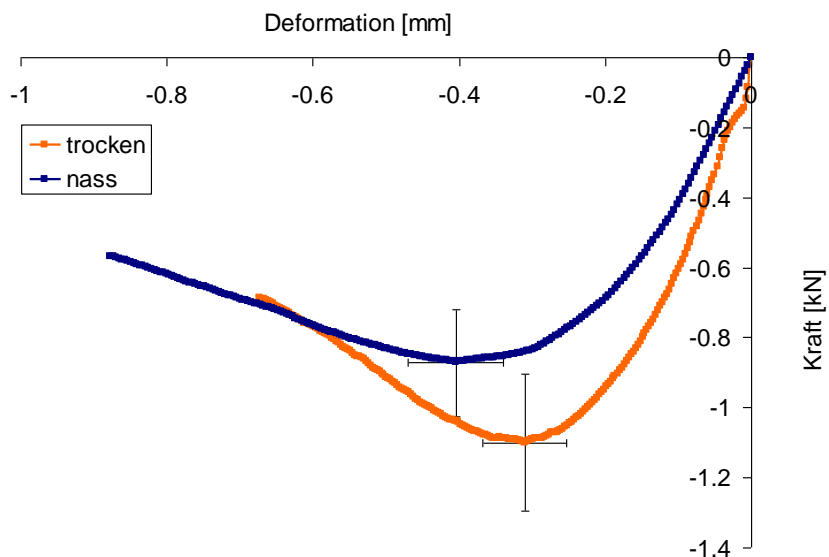


Abb. 7.3.4 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 4, Kanton Aargau

Für die Entnahmestelle 4, Kanton Aargau, DRA 1999 ergeben sich im Fall der trockenen Beanspruchung um ca.  $0.43 \text{ N/mm}^2$  höhere Biegespannungen gegenüber der nassen Beanspruchung. Die Bruchkurve der nassen Prüfkörper besitzt dabei eine größere Steigung und ein deutlicher ausgeprägtes Maximum.

### 7.3.5 Entnahmestelle 5, Kanton Aargau

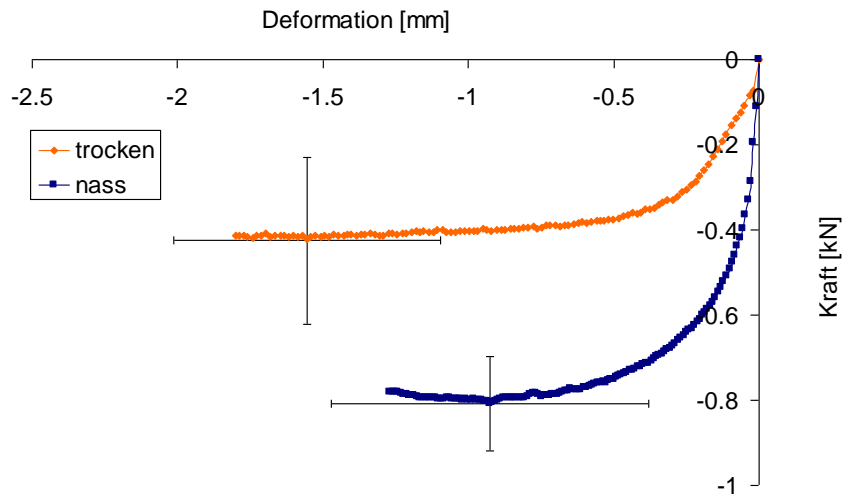


Abb. 7.3.5 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 5, Kanton Aargau

Für die Entnahmestelle 5, Kanton Aargau, PA 2005, ergeben sich im Fall der trockenen Beanspruchung um ca.  $0.9 \text{ N/mm}^2$  niedrigere Biegespannungen gegenüber der nassen Beanspruchung. In diesem Fall weist die Bruchkurve der trockenen Prüfkörper eine größere Steigung auf und ihr Verlauf ist duktiler, d.h. das Maximum wird später erreicht.

### 7.3.6 Entnahmestelle 6, Kanton Bern

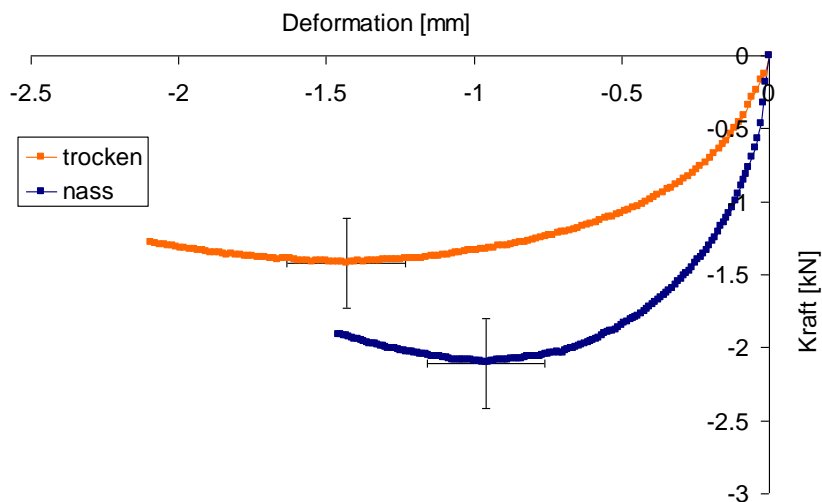


Abb. 7.3.6 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 6, Kanton Bern

Für die Entnahmestelle 6, Kanton Bern ergeben sich im Fall der trockenen Beanspruchung um ca.  $1.6 \text{ N/mm}^2$  niedrigere Biegespannungen gegenüber der nassen Beanspruchung. Auch hier ist die Steigung der Bruchkurve der nassen Prüfkörper deutlich größer, insgesamt sind beide Bruchkurvenverläufe jedoch ähnlich.

### 7.3.7 Entnahmestelle 7, Kanton Aargau

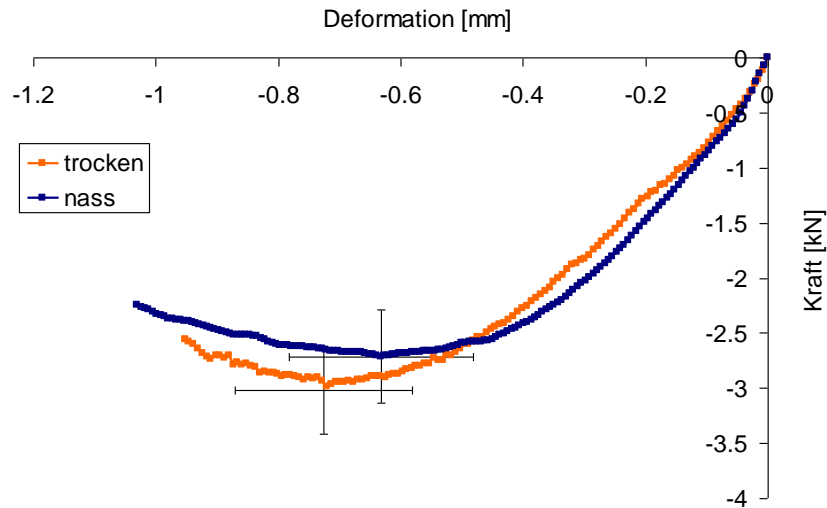


Abb. 7.3.7 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 7, Kanton Aargau

Für die Entnahmestelle 7, Kanton Aargau AC MR ergeben sich im Fall der trockenen Beanspruchung um ca.  $0.7 \text{ N/mm}^2$  höhere Biegespannungen gegenüber der nassen Beanspruchung. Beide Bruchkurven weisen dabei einen fast identischen Verlauf auf.

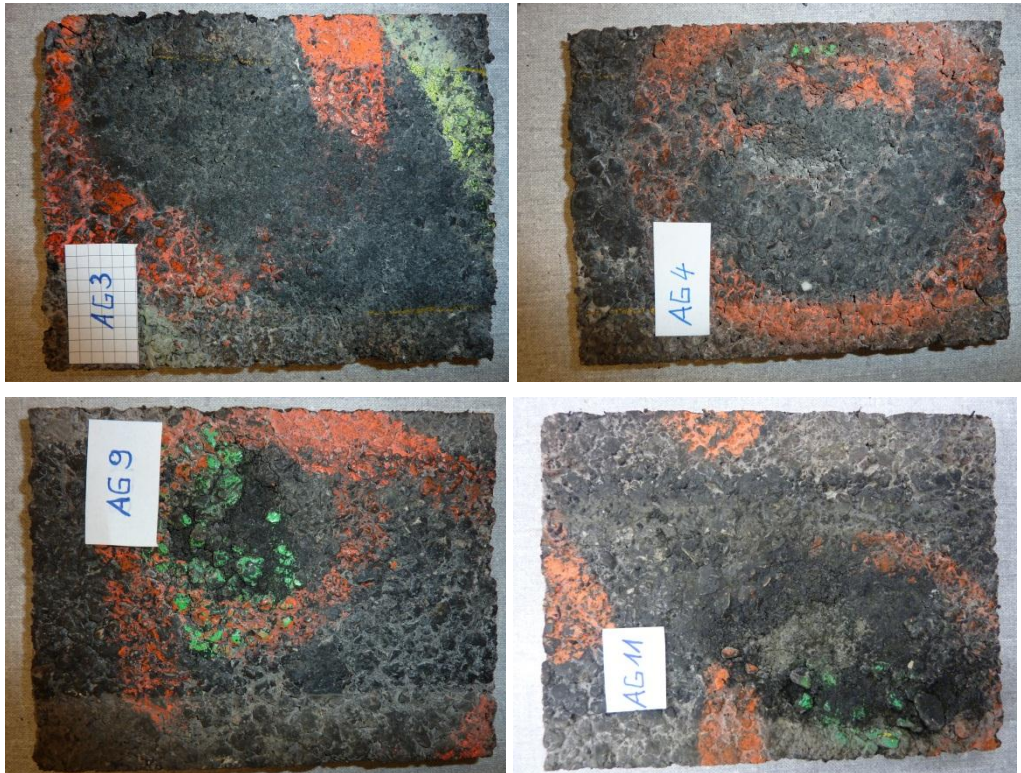


Abb. 7.3.8 4-Punkt-Biegeprüfkörper mit Gummieinschlüssen

### 7.3.8 Entnahmestelle 8, Kanton Zürich

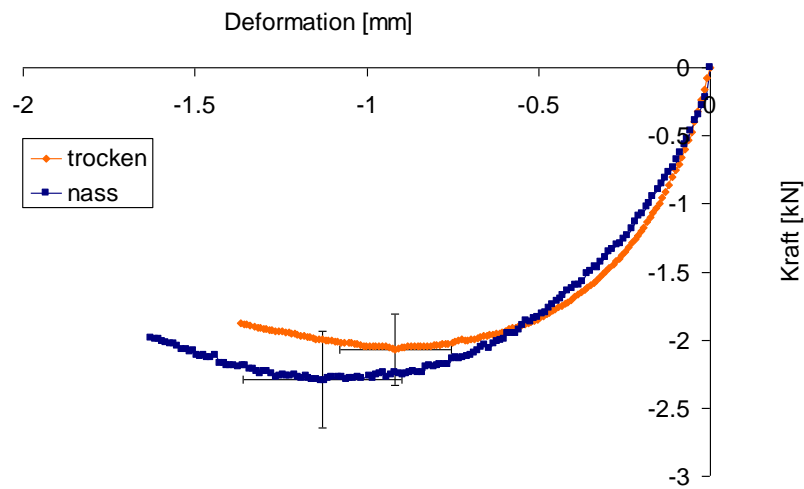


Abb. 7.3.9 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 8, Kanton Zürich

Für die Entnahmestelle 8, Kanton Zürich ergeben sich im Fall der trockenen Beanspruchung um ca.  $0.18 \text{ N/mm}^2$  niedrigere Biegespannungen gegenüber der nassen Beanspruchung. Beide Bruchkurven zeigen dabei wiederum einen fast identischen Verlauf.

## 8 Auswertung der Untersuchungen

### 8.1 Wasserdurchlässigkeitsprüfung

Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit führt insgesamt zu keiner allgemeinen Aussage bzw. Unterscheidung zwischen den trocken und nass beanspruchten Prüfkörpern. Es lässt sich auch nicht nachweisen, warum sich die Durchflusszeiten der Prüfkörper nach einer Beanspruchung ändern. Insgesamt konnten nach der Beanspruchung weder Kornausbrüche noch sonstige Beschädigungen an den Prüfkörperoberflächen festgestellt werden. Auch vor einer Beanspruchung sind die mittleren Durchflusszeiten zwischen einzelnen Prüfkörpern einer Entnahmestelle oft unterschiedlicher als zwischen den einzelnen Entnahmestellen.

### 8.2 Haftzugprüfung

Die Haftzugprüfung führt insgesamt zu keiner allgemeinen Aussage bzw. Unterscheidung zwischen den trocken und nass vorbeanspruchten Prüfkörpern bzw. zwischen den innerhalb und außerhalb der Radspur beanspruchten Proben. Größtenteils sind die Unterschiede geringer als die Standardabweichung innerhalb einer Prüfserie.

### 8.3 4-Punkt-Biegeprüfung

Abbildung 8.3.1 zeigt eine Übersicht über die Bruchkräfte der 4-Punkt Biegeprüfung aller trocken und nass mit der MMLS vorbeanspruchten Prüfkörper.

Von 5 untersuchten offenporigen Belägen zeigen 2 Beläge nach nasser und 3 Beläge nach trockener Beanspruchung eine tiefere Biegefestigkeit, wobei im ersten Fall bei einem Belag der Unterschied kleiner als die Standardabweichung und somit vernachlässigbar ist.

Im Fall der untersuchten lärmarmen AC MR Beläge ist die Biegefestigkeit bei zwei Belägen jeweils nach nasser Beanspruchung besser, wobei in einem Fall der Unterschied wiederum vernachlässigt werden kann, da er deutlich geringer als die Standardabweichung ist. Beim dritten AC MR Belag ist die Biegezugfestigkeit nach nasser Beanspruchung niedriger, der Unterschied liegt aber ebenfalls im Bereich der Standardabweichung.

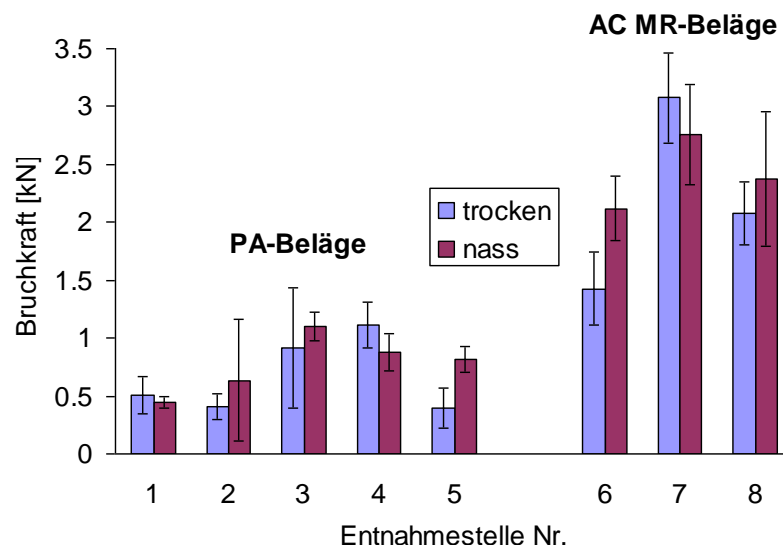


Abb. 8.3.1 Bruchkräfte der trocken und nass geprüften Bohrkerne

## 9 Auswertung und Zusammenfassung

Entgegen erster Vorversuche zeigen die Untersuchungen nicht in jedem Fall eine Verschlechterung (Abnahme der Biegefestigkeit) von offenporigen Asphalten durch eine Wasserbeanspruchung. Insgesamt kann nur bei einer von fünf Entnahmestellen mit offenporigem Asphalt von einer Verschlechterung gesprochen werden. Eine solche Verschlechterung zeigte sich im Fall des alten DRA (1999) der Entnahmestelle 4, der noch mit Trinidad Asphaltzusatz und einem höheren Hohlraumgehalt von 25 Vol-% hergestellt worden war. Die für die Entnahmestelle 1 festgestellte Verschlechterung war kleiner als die Standardabweichung und die Biegefestigkeiten mit und ohne Wasserbeanspruchung somit praktisch gleich.

Im Fall aller anderen PA-Entnahmestellen ist die Biegefestigkeit nach Wasserbeanspruchung dagegen höher als ohne Wasserbeanspruchung. Im Fall der Entnahmestelle 3 gibt es im Rahmen der Standardabweichung wiederum praktisch keinen Unterschied zwischen den Ergebnissen der trocken und nass beanspruchten Prüfkörper, aber für die Entnahmestellen 2 und 5 ist die Biegefestigkeit nach Wasserbeanspruchung deutlich höher.

Die Haftzug- und Biegeprüfungen im lufttrockenen Zustand nach vorgängiger MMLS Überrollbeanspruchung im nassen und trockenen Zustand mit der gewählten realitätsbezogen steifen Lagerung zeigen, dass die vorgängige Wasserbeanspruchung generell keinen dauerhaften negativen Einfluss auf die Standfestigkeit der PA-Beläge hat. Dies spricht für die positive Trocknungs- und Drainagewirkung des PA. Die Tatsache, dass die Wasserlagerung generell eine Versteifung mit gleichzeitiger Erhöhung der Festigkeit verursachte, könnte verschiedene Gründe haben. Einerseits könnte das Einschwemmen von Kalkwasser aus dem seitlichen Stützbeton zu einer Verbesserung der Adhäsionseigenschaften geführt haben, was bedeuten würde, dass eine periodische Kalkwasserbehandlung sich positiv auf PA auswirken könnte. Andererseits könnte aber auch durch die Feuchteeinwirkung ein kurzfristiges „Erweichen“ des Bindemittels erfolgt sein, welches bindemittelseitige Oberflächenschäden (z.B. Mikrorisse) etwas ausgleicht, und sich daher nach dem Abtrocknen günstig auswirkte. Um die Ursachen und Effekte abzuklären, wären weitere Untersuchungen notwendig. Festzustehen scheint jedoch, dass die mechanischen Eigenschaften von steifen Oberbauten mit polymermodifiziertem PA nach dem neuerlichen Abtrocknen trotz Überrollbeanspruchung bei weitgehender Wassertränkung praktisch erhalten bleiben.

Für die drei untersuchten lärmarmen AC MR Beläge konnte ebenfalls nur in einem Fall eine Abnahme der Biegefestigkeit durch die Wasserbeanspruchung nachgewiesen werden. Hierbei handelte es sich um einen mit Gummi und Kalkhydrat modifizierten Belag. Da dieser Belag wie im Kapitel 7.3.7 beschrieben, eine nicht optimale Vermischung und infolge dessen Gummieinschlüsse aufwies, kann trotz der Nichtberücksichtigung der Prüfkörper mit oberflächlich sichtbaren Gummieinschlüssen nicht ausgeschlossen werden, dass das schlechte Abschneiden auf eine ungenügende Vermischung zurückzuführen ist. Möglich ist aber auch, dass die Wasserempfindlichkeit durch die Gummi- bzw. Gummi-Kalkhydratmodifikation selbst verursacht wurde. Insgesamt ist aber eine abschließende Beurteilung aufgrund nur einer Entnahmestelle grundsätzlich nicht möglich.

## 10 Umsetzung der Empfehlungen

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit legen den Schluss nahe, dass bei den neueren offenporigen, steifen Autobahnbelägen mit reduziertem Hohlraumgehalts von < 20 Vol-% und guten Drainage- und Trocknungseigenschaften, durch den Einsatz von polymermodifizierten Bindemitteln die Gefahr von Stripping und damit eines Tragfähigkeitsverlustes relativ gering ist.

Die lärmarmen AC MR Beläge, die ohnehin dichter als die offenporigen PA-Beläge und damit von Natur aus weniger strippinganfällig sind, erscheinen im Hinblick auf Wasserbeanspruchung ebenfalls unproblematisch. Bei dem AC MR-Belag mit ungünstigem Verhalten können aber weder die offensichtlich ungenügende Vermischung noch die spezielle Gummi-Kalkhydrat Modifikation eindeutig für die Verschlechterung der Biegefestigkeit durch Wasser verantwortlich gemacht werden. Einschränkend muss auch auf die insgesamt geringe Anzahl der untersuchten AC MR Beläge hingewiesen werden.

## 11 Weiteres Vorgehen

Wie sich bei der Suche nach Entnahmestellen herausstellte, waren die in der Schweiz verfügbaren Beläge relativ ähnlich, besonders im Hinblick auf Konzeption und Bindemiteleigenschaften. Diese Feststellung gilt auch für die untersuchten lärmarmen AC MR Beläge. Weiterer Forschungsbedarf besteht im Hinblick auf die Verwendung von anderen Bindemitteln, z.B. auch weiterer gummimodifizierter Bindemittel. In diesem Zusammenhang sollte auch die Zugabe von Kalkhydrat bei offenporigen Belägen noch einmal näher untersucht werden.

Da die Anzahl der untersuchten AC MR Beläge auch relativ gering war, besteht hier ebenfalls weiterer Forschungsbedarf. In diesem Zusammenhang sollte auch der Frage nachgegangen werden, wie sich der höhere Hohlraumgehalt (> 10 Vol-%) der neuen AC MR Beläge auswirkt, d.h. ob diese Beläge im Hinblick auf Stripping nicht doch kritisch sind.

Hinsichtlich des Versuchsaufbau und der Durchführung müssen verschiedene Punkte erneut diskutiert und überdacht werden.

Der im Forschungsprojekt FA 2007/502 gewählter Versuchsaufbau ist nicht in allen Punkten identisch mit dem an der Universität Stellenbosch [3] durchgeführten. Um eine Schädigung des mobilen Verkehrslastsimulators MMLS zu verhindern, aber auch um die in der Realität rasch erfolgende oberflächliche Drainage zu simulieren, wurden die Prüfkörper nicht direkt in ein vollgefülltes Wasserbad gestellt, sondern in ein wasserdurchlässiges Mörtelbett mit einem etwa 5 mm unter der Belagsoberfläche liegenden Wasserspiegel gesetzt. Zudem waren Proben wie in einem tatsächlich in der Schweiz üblichen steifen Aufbau realitätsbezogen steif gebettet. Bei diesem Versuchsaufbau kann nicht ausgeschlossen werden, dass einerseits der Pumpeffekt durch das starre Mörtelbett behindert wird und dass andererseits, auch wenn die Durchflussmessungen nicht unbedingt darauf schließen lassen, ein Auswaschen von Kalk zu einer Stabilisierung der wasserbeanspruchten Prüfkörper führen könnte. Letztere würde das mit der Zeit mögliche Verstopfen der Poren simulieren.

Weiterhin stellt sich die Frage, ob der gewählte Prüfaufbau tatsächlich den auf der Straße entstehenden Pumpeffekt, der letztendlich verantwortlich für das Stripping ist, in geeigneter Weise simuliert und beschleunigt werden kann. Im oben erwähnten Empa Projekt [17] war zur Simulation der Nachgiebigkeit des Untergrundes und des dadurch verursachten Pumpeffektes unter dem Prüfkörper eine 12 mm dicke Moosgummi-Unterlage angeordnet wurden. Für weitere Untersuchungen des Stripping Widerstandes infolge Pumpeffekt sollte daher der Versuchsaufbau demjenigen des Empa Berichts [17] angepasst werden.

## 12 Dank

In erster Linie möchten wir uns bei dem Bundesamt für Straßen ASTRA und dem schweizerischen Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS bedanken, welche mit ihrer Unterstützung die Durchführung dieser Arbeit erst ermöglicht haben.

Unser besonderer Dank gilt allen Vertretern der Kantone Aargau, Bern, Tessin, Uri, Wallis und Zürich, den Verantwortlichen der ASTRA Filialen, namentlich Herrn S. Aebersold, Herrn U. Arnold, Herrn W. Eichenberger, Herrn M. Fioroni, Herrn C. Paganì, Herrn W. Reck, Herrn U. Schellenberg, Herrn W. Wanzenried, Herrn R. Zbinden, sowie Herrn H.P. Beyeler vom Bundesamt für Straßen, die diese Forschungsarbeit mit großer Hilfsbereitschaft und Entgegenkommen begleitet und unterstützt haben und ohne deren Unterstützung die Evaluation von Strecken und die Entnahme von Bohrkernen nicht möglich gewesen wäre.

Ebenfalls würdigen möchten wir alle beteiligten Mitarbeiter der Abteilung Straßenbau/Abdichtungen, insbesondere die Herren H. Kienast, M. Erb, R. Takacs, S. Küntzel und C. Meierhofer.

# I Resultate der Wasserdurchlässigkeitsprüfung

Tab. I.1.1 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 1 – trocken beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	TI 1	TI 2	TI 3	TI 4	TI 5	TI 6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	26	25	29	35	18	23
2	26	25	29	34	18	23
3	26	25	30	34	18	23
4	26	25	30	34	18	23
5	26	25	30	33	17	23
6	26	25	30	33	17	23
Mittelwert	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>34</b>	<b>18</b>	<b>23</b>
Standardabw.	0.0	0.0	0.5	0.8	0.5	0.0
<b>Nach Prüfung</b>	TI 1	TI 2	TI 3	TI 4	TI 5	TI 6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	33	30	18	44	21	25
2	33	30	18	43	20	25
3	33	30	18	43	20	24
4	33	29	18	42	20	24
5	33	29	18	43	20	24
6	33	29	18	43	20	24
Mittelwert	<b>33</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>43</b>	<b>20</b>	<b>24</b>
Standardabw.	0.0	0.5	0.0	0.6	0.4	0.5

Tab. I.1.2 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 1 – nass beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	TI 7	TI 8	TI 9	TI 10	TI 11	TI 12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	41	30	48	44	59	34
2	40	30	47	43	58	34
3	40	30	47	43	58	34
4	39	30	46	42	58	34
5	39	30	46	43	57	34
6	40	30	46	43	58	34
Mittelwert	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>47</b>	<b>43</b>	<b>58</b>	<b>34</b>
Standardabw.	0.8	0.0	0.8	0.6	0.6	0.0
<b>Nach Prüfung</b>	TI 7	TI 8	TI 9	TI 10	TI 11	TI 12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	39	23	34	22	24	20
2	39	22	32	21	23	20
3	37	22	31	20	23	19
4	37	22	31	20	23	19
5	37	21	30	20	23	19
6	38	22	30	19	23	18
Mittelwert	<b>38</b>	<b>22</b>	<b>31</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>19</b>
Standardabw.	1.0	0.6	1.5	1.0	0.4	0.8

Tab. I.2.1 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 2 – trocken beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	VS 1	VS 2	VS 3	VS 4	VS 5	VS 6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	22	19	17	19	17	18
2	22	19	17	19	16	17
3	22	20	17	20	16	17
4	22	20	17	20	16	17
5	22	19	16	19	16	17
6	22	20	17	19	17	18
Mittelwert	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
Standardabw.	0.0	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
<b>Nach Prüfung</b>	VS 1	VS 2	VS 3	VS 4	VS 5	VS 6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	28	25	30	20	18	24
2	29	24	30	20	18	24
3	29	25	31	20	17	23
4	28	25	31	20	17	24
5	28	24	30	20	17	24
6	27	24	30	20	17	23
Mittelwert	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>24</b>
Standardabw.	0.8	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5

Tab. I.2.2 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 2 – nass beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	VS 7	VS 8	VS 9	VS 10	VS 11	VS 12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	26	21	18	20	29	24
2	26	20	19	20	28	24
3	26	21	18	19	28	23
4	26	21	18	19	27	24
5	25	20	18	19	28	24
6	25	20	18	19	28	23
Mittelwert	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>28</b>	<b>24</b>
Standardabw.	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5
<b>Nach Prüfung</b>	VS 7	VS 8	VS 9	VS 10	VS 11	VS 12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	48	23	40	22	36	52
2	45	21	37	21	36	48
3	45	20	36	21	36	47
4	43	17	36	20	35	47
5	41	16	35	20	35	47
6	41	15	35	20	35	46
Mittelwert	<b>44</b>	<b>19</b>	<b>37</b>	<b>21</b>	<b>36</b>	<b>48</b>
Standardabw.	2.7	3.1	1.9	0.8	0.5	2.1

Tab. I.3.1 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 3 – trocken beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	UR 1	UR 2	UR 3	UR 4	UR 5	UR 6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	31	32	19	26	18	4 Minuten
2	31	32	18	26	18	
3	31	31	19	26	18	
4	30	31	19	26	19	
5	30	32	18	26	18	
6	31	32	18	26	18	
Mittelwert	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	
Standardabw.	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	
<b>Nach Prüfung</b>	UR 1	UR 2	UR 3	UR 4	UR 5	UR 6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	20	36	20	29	12	8 min 48s
2	21	36	19	29	12	
3	20	36	19	28	12	
4	20	36	19	29	12	
5	19	36	19	29	12	
6	19	36	19	29	12	
Mittelwert	<b>20</b>	<b>36</b>	<b>19</b>	<b>29</b>	<b>12</b>	
Standardabw.	0.8	0.0	0.4	0.4	0.0	

Tab. I.3.2 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 3 – nass beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	VS 7	VS 8	VS 9	VS 10	VS 11	VS 12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	34	25	22	31	24	20
2	35	24	22	30	24	20
3	35	24	22	30	24	21
4	34	25	22	31	23	21
5	35	25	22	30	23	20
6	35	24	21	30	23	20
Mittelwert	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>20</b>
Standardabw.	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
<b>Nach Prüfung</b>	VS 7	VS 8	VS 9	VS 10	VS 11	VS 12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	64	48	31	46	28	47
2	63	48	30	46	28	46
3	63	48	30	45	28	45
4	62	48	30	45	28	45
5	62	47	30	45	28	45
6	62	47	30	45	28	45
Mittelwert	<b>63</b>	<b>48</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>28</b>	<b>46</b>
Standardabw.	0.8	0.5	0.4	0.5	0.0	0.8

Tab. I.4.1 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 4 – trocken beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	AG 1-1	AG 1-2	AG 1-3	AG 1-4	AG 1-5	AG 1-6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	23	25	20	18	20	24
2	22	25	20	18	20	24
3	22	25	20	18	19	24
4	22	25	20	18	20	23
5	22	25	20	17	19	23
6	22	25	20	17	19	23
Mittelwert	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>24</b>
Standardabw.	0.4	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5
<b>Nach Prüfung</b>	AG 1-1	AG 1-2	AG 1-3	AG 1-4	AG 1-5	AG 1-6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	224	24	31	21	14	27
2	23	23	30	21	14	27
3	23	23	30	21	14	27
4	23	23	30	21	14	27
5	23	23	29	21	14	27
6	23	23	29	21	13	27
Mittelwert	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>14</b>	<b>27</b>
Standardabw.	0.4	0.4	0.8	0.0	0.1	0.0

Tab. I.4.2 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 2 – nass beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	AG 1-7	AG 1-8	AG 1-9	AG 1-10	AG 1-11	AG 1-12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Mittelwert						
Standardabw.						
<b>Nach Prüfung</b>	AG 1-7	AG 1-8	AG 1-9	AG 1-10	AG 1-11	AG 1-12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	28	22	15	10	22	29
2	28	20	15	10	22	30
3	27	20	14	10	21	29
4	27	20	15	9	21	30
5	27	20	15	10	21	30
6	26	20	14	10	20	29
Mittelwert	<b>27</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>21</b>	<b>30</b>
Standardabw.	0.8	0.8	0.5	0.4	0.8	0.5

Tab. I.5.1 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 4 – trocken beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	AG 2-1	AG 2-2	AG 2-3	AG 2-4	AG 2-5	AG 2-6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	26	18	13	21	26	38
2	27	18	14	21	26	39
3	26	18	13	20	27	39
4	26	17	12	20	27	39
5	26	18	13	21	27	38
6	26	18	13	20	27	38
Mittelwert	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>21</b>	<b>27</b>	<b>39</b>
Standardabw.	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5
<b>Nach Prüfung</b>	AG 2-1	AG 2-2	AG 2-3	AG 2-4	AG 2-5	AG 2-6
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	17	47	19	21	30	42
2	16	47	19	22	31	43
3	16	48	19	22	31	43
4	16	48	19	23	31	43
5	16	48	19	23	30	42
6	16	48	19	23	30	43
Mittelwert	<b>16</b>	<b>48</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>31</b>	<b>43</b>
Standardabw.	0.4	0.5	0.0	0.8	0.5	0.5

Tab. I.5.2 Wasserdurchflussmenge Entnahmestelle 2 – nass beansprucht

<b>Vor Einbau</b>	AG 2-7	AG 2-8	AG 2-9	AG 2-10	AG 2-11	AG 2-12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	14	25	30	32	26	27
2	14	25	30	32	26	27
3	14	25	31	31	26	27
4	13	25	31	31	25	27
5	13	25	31	31	26	27
6	14	25	31	31	26	27
Mittelwert	<b>14</b>	<b>25</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>27</b>
Standardabw.	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0
<b>Nach Prüfung</b>	AG 2-7	AG 2-8	AG 2-9	AG 2-10	AG 2-11	AG 2-12
Anzahl Tests	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]
1	43	35	35	104	47	47
2	41	34	34	108	45	45
3	41	34	35	108	44	45
4	40	33	33	108	44	45
5	40	33	33	108	44	44
6	40	33	33	108	44	44
Mittelwert	<b>41</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>107</b>	<b>45</b>	<b>45</b>
Standardabw.	1.2	0.8	0.8	1.6	1.2	1.1

## II Resultate der Haftzugprüfung

Tab. II.1 Haftzugprüfung Entnahmestelle 1

Anzahl Tests	trocken			nass		
	außerhalb Radspur	In Radspur		außerhalb Radspur	In Radspur	
	Kraft [kN]			Kraft [kN]		
1	2.03	2.30	2.28	0.71	2.21	2.06
2	1.22	1.43	1.46	2.35	2.28	0.19
3	1.85	1.07	1.62	2.41	2.30	2.18
4	2.20	1.51	2.35	2.49	2.45	2.25
5	1.50	1.38	0.68	2.59	0.47	2.57
6	1.96	2.30	2.28	1.30	1.06	0.88
Mittelwert	1.79	1.67		1.98	1.80	
<b>Mittelwert</b>	<b>1.73</b>		<b>1.78</b>	<b>1.89</b>		<b>1.71</b>
Standardabw.	0.4	0.3		0.8	0.8	
Standardabw.	0.4		0.7	0.8		0.8

Tab. II.2 Haftzugprüfung Entnahmestelle 2

Anzahl Tests	trocken			nass		
	außerhalb Radspur	In Radspur		außerhalb Radspur	In Radspur	
	Kraft [kN]			Kraft [kN]		
1	2.37	3.13	2.11	1.58	0.70	0.81
2	1.63	1.54	1.33	4.66	1.68	2.02
3	0.47	1.59	1.90	1.50	1.52	1.95
4	1.62	2.52	1.67	1.55	1.74	1.50
5	2.29	2.10	2.38	2.74	2.06	2.89
6	2.11	1.49	1.75	2.97	2.72	2.77
Mittelwert	1.75	2.06		2.00	1.74	
<b>Mittelwert</b>	<b>1.86</b>		<b>1.86</b>	<b>1.87</b>		<b>1.99</b>
Standardabw.	0.7	0.7		0.6	0.7	
Standardabw.	0.7		0.4	0.7		0.8

Tab. II.3 Haftzugprüfung Entnahmestelle 3

	trocken			nass		
	außerhalb Radspur		In Radspur	außerhalb Radspur		In Radspur
Anzahl Tests	Kraft [kN]			Kraft [kN]		
1	2.98	2.78	2.95	1.86	1.79	2.44
2	2.64	2.55	1.35	1.79	2.01	2.20
3	3.26	2.25	2.12	2.68	2.89	1.72
4	2.15	3.11	2.32	3.29	3.00	2.89
5	2.86	2.46	2.09	2.65	2.44	2.59
6	3.45	3.54	3.50	2.15	1.27	2.56
Mittelwert	2.89	2.78		2.40	2.23	
<b>Mittelwert</b>	<b>2.84</b>		<b>2.39</b>	<b>2.32</b>		<b>2.40</b>
Standardabw.	0.5	0.5		0.6	0.7	
Standardabw.	0.5		0.7	0.7		0.4

Tab. II.4 Haftzugprüfung Entnahmestelle 4

	trocken			nass		
	außerhalb Radspur		In Radspur	außerhalb Radspur		In Radspur
Anzahl Tests	Kraft [kN]			Kraft [kN]		
1	1.64	1.35	0.82	2.03	2.27	1.00
2	1.56	1.97	1.49	2.28	1.59	0.90
3	1.85	0.90	1.69	1.96	1.78	1.52
4	0.90	1.59	1.05	1.77	1.04	1.76
5	1.20	1.14	1.91	0.99	1.14	0.73
6	1.20	1.01	1.48	2.40	1.82	1.48
Mittelwert	1.39	1.33		1.91	1.61	
<b>Mittelwert</b>	<b>2.29</b>		<b>1.41</b>	<b>1.76</b>		<b>1.07</b>
Standardabw.	0.5	0.4		0.5	0.5	
Standardabw.	0.4		0.4	0.5		0.7

Tab. II.5 Haftzugprüfung Entnahmestelle 5

	trocken			nass		
	außerhalb Radspur		In Radspur	außerhalb Radspur		In Radspur
Anzahl Tests	Kraft [kN]			Kraft [kN]		
1	2.75	2.28	2.10	2.72	2.99	2.64
2	1.88	2.29	1.81	2.28	2.28	1.92
3	2.25	1.44	2.47	2.43	2.07	1.92
4	1.89	2.26	1.66	2.08	2.95	2.79
5	2.82	2.62	2.61	1.76	1.90	1.65
6	2.83	2.19	2.00	2.18	1.75	0.65
Mittelwert	2.40	2.18	2.11	2.24	2.32	
<b>Mittelwert</b>	<b>2.29</b>		<b>2.11</b>	<b>2.29</b>		<b>1.83</b>
Standardabw.	0.5	0.4		0.3	0.5	
Standardabw.	0.5		0.4	0.4		0.8

Tab. II.6 Haftzugprüfung Entnahmestelle 6

	trocken			nass		
	außerhalb Radspur		In Radspur	außerhalb Radspur		In Radspur
Anzahl Tests	Kraft [kN]			Kraft [kN]		
1	3.47	3.73	3.57	3.58	3.23	3.90
2	2.34	3.46	2.57	4.46	3.63	4.00
3	3.15	3.55	3.42	2.94	3.36	3.38
4	3.51	3.25	3.63	3.16	3.15	3.29
5	3.29	3.24	2.67	3.48	3.74	3.80
6	3.31	3.37	3.31	3.34	3.43	3.57
Mittelwert	3.18	3.43		3.58	3.23	3.90
<b>Mittelwert</b>	<b>3.31</b>		<b>3.20</b>	<b>3.38</b>		<b>3.66</b>
Standardabw.	0.4	0.2		0.4	0.2	
Standardabw.	0.3		0.5	0.3		0.3

Tab. II.7 Haftzugprüfung Entnahmestelle 7

	trocken			nass		
	außerhalb Radspur		In Radspur	außerhalb Radspur		In Radspur
Anzahl Tests	Kraft [kN]			Kraft [kN]		
1	1.70	3.12	3.80	3.24	3.56	3.38
2	3.28	2.02	2.95	1.70	2.26	2.66
3	1.97	3.06	1.45	2.62	3.41	3.09
4	2.33	3.47	3.30	3.48	3.46	3.18
5	3.59	3.27	3.37	3.33	3.62	3.37
6	3.56	3.42	3.52	3.79	3.11	3.35
Mittelwert	2.74	3.06		3.03	3.24	
<b>Mittelwert</b>	<b>2.90</b>		<b>3.07</b>	<b>3.17</b>		<b>3.38</b>
Standardabw.	0.8	0.5		0.2	0.2	
Standardabw.	0.7		0.8	0.2		0.5

Tab. II.8 Haftzugprüfung Entnahmestelle 8

	trocken			nass		
	außerhalb Radspur		In Radspur	außerhalb Radspur		In Radspur
Anzahl Tests	Kraft [kN]			Kraft [kN]		
1	2.50	3.47	3.39	3.52	3.02	3.23
2	3.59	2.80	3.72	3.61	3.47	3.21
3	3.64	3.37	3.71	3.43	3.25	3.59
4	3.86	3.52	3.56	3.17	3.52	3.54
5	3.71	3.57	3.69	3.30	3.17	3.22
6	3.34	3.55	3.48	3.31	3.34	3.41
Mittelwert	3.44	3.38		3.39	3.30	
<b>Mittelwert</b>	<b>3.41</b>		<b>3.59</b>	<b>3.34</b>		<b>3.37</b>
Standardabw.	0.5	0.3		0.2	0.2	
Standardabw.	0.4		0.1	0.2		

### III Resultate der 4-Punkt-Biegeprüfung

Tab.III.1 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 1

Anzahl Tests	trocken		nass	
	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0.307	1.02	0.373	1.15
2	0.732	1.72	0.526	1.42
3	0.363	1.24	0.471	1.43
4	0.552	1.64	0.425	1.22
5	0.464	1.24	0.436	1.39
6	0.627	2.00	0.425	1.25
<b>Mittelwert</b>	<b>0.508</b>	<b>1.48</b>	<b>0.443</b>	<b>1.31</b>
Standardabw.	0.16	0.37	0.05	0.12

Tab.III.2 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 2

Anzahl Tests	trocken		nass	
	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0.526	1.20	0.598	1.57
2	0.379	0.92	0.647	1.58
3	0.307	0.79	0.745	1.87
4	0.513	2.11	0.634	1.66
5	0.307	0.99	0.676	1.75
6			0.516	1.40
<b>Mittelwert</b>	<b>0.406</b>	<b>1.20</b>	<b>0.636</b>	<b>1.64</b>
Standardabw.	0.11	0.53	0.08	0.16

Tab.III.3 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 3

Anzahl Tests	trocken		nass	
	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0.788	2.24	1.059	2.84
2	0.797	2.03	1.000	2.85
3	06.21	1.78	1.166	3.16
4	0.588	1.54	1.268	3.55
5	0.729	2.07	0.961	2.71
6	1.971	4.85	1.160	3.14
<b>Mittelwert</b>	<b>0.916</b>	<b>2.41</b>	<b>1.102</b>	<b>3.04</b>
Standardabw.	0.52	1.22	0.12	0.30

Tab.III.4 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 4

Anzahl Tests	trocken		nass	
	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1.330	3.31	0.837	2.49
2	1.288	3.23	0.637	1.98
3	1.091	2.84	1.065	2.67
4	1.141	3.09	0.935	2.49
5	0.788	2.09	0.801	2.30
6	1.023	2.78	1.016	2.85
<b>Mittelwert</b>	<b>1.110</b>	<b>2.89</b>	<b>0.882</b>	<b>2.45</b>
Standardabw.	0.20	0.45	0.16	0.3

Tab.III.5 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 5

Anzahl Tests	trocken		nass	
	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]
1			0.807	2.28
2	0.533	1.44	0.951	2.59
3	0.304	1.08	0.866	2.34
4	0.311	1.42	0.843	2.45
5	0.438	1.48	0.814	2.16
6	0.706	1.89	0.618	1.86
<b>Mittelwert</b>	<b>0.397</b>	<b>1.35</b>	<b>0.817</b>	<b>2.27</b>
Standardabw.	0.17	0.29	0.11	0.26

Tab.III.6 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 6

Anzahl Tests	trocken		nass	
	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1.614	4.61	1.794	5.20
2	1.490	3.93	1.862	5.08
3	1.860	4.85	2.006	5.48
4	1.042	3.18	2.539	6.66
5	1.124	3.57	2.196	6.02
6	1.438	4.64	2.310	6.22
<b>Mittelwert</b>	<b>1.428</b>	<b>4.13</b>	<b>2.118</b>	<b>5.78</b>
Standardabw.	0.31	0.67	0.28	0.62

Tab.III.7 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 7

Anzahl Tests	trocken		nass	
	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]
1	3.482	8.08	2.628	6.43
2	2.576	6.68	2.226	5.63
3	(1.242)	(3.47)	(1.422)	(3.90)
4	(1.697)	(4.86)	2.959	7.53
5	2.995	7.80	(1.308)	(3.63)
6	3.250	7.75	3.230	7.86
<b>Mittelwert</b>	<b>3.076</b>	<b>7.58</b>	<b>2.761</b>	<b>6.83</b>
Standardabw.	0.39	0.62	0.43	1.02

Tab.III.8 4-Punkt-Biegeprüfung Entnahmestelle 8

Anzahl Tests	trocken		nass	
	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]
1	2.279	5.70	2.18	6.15
2	2.449	6.25	2.586	6.01
3	1.981	4.96	2.579	6.09
4	2.177	5.88	1.883	5.10
5	1.828	4.90	2.099	5.19
6	1.769	4.64	2.269	4.84
<b>Mittelwert</b>	<b>2.081</b>	<b>5.40</b>	<b>2.372</b>	<b>5.56</b>
Standardabw.	0.27	0.64	0.35	0.58

## Abkürzungen

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
A	Fläche
AC	Asphaltbeton für Deckschicht
AC B	Asphaltbeton für Binderschichten
AC MR	Asphaltbeton für Rauasphaltschichten
AC T	Asphaltbeton für Tragschichten
ASTRA	Bundesamt für Straßen (CH)
d	Durchmesser
DIN	Deutsche Industrienorm
DS	Deckschicht
DRA	Drainasphaltdeckschicht nach alter Schweizer Norm
$F_{\max}$	Maximalkraft
h	Höhe
HMT	Heißmischtragschicht nach alter Schweizer Norm 640431
M	Moment
MMLS	Model Mobil Load Simulator
PA	Offenporiger Asphalt
r	Radius
SN	Schweizer Norm
W	Widerstandsmoment
ZTV	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien (D)

## Literaturverzeichnis

- [1] Angst, C., Beltzung, F., Bosshard, D., Clavien, C., Grolimund, H.-J., Pestalozzi, H., 2006. Lärmarme Straßenbeläge innerorts. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Straßen ASTRA und Bundesamt für Umwelt BUFA, Jahresbericht 2005
- [2] Poulidakos, L.D., Pittet, M., Junod, A., Simond, E., Gubler, R., Partl M.N., Dumont, G., 2006. Mechanische Eigenschaften von Drainasphalt. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, Bericht Nr. 1185
- [3] Raab, C., Partl, M.N., Jenkins, K., Hugo, F., 2005. Determination of Rutting and Water Susceptibility of Selected Pavement Materials using MMLS3. 7th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, BCRA'05, Trondheim, 27.-29. June 2005
- [4] Smit, A. de F., Walubita, L., Jenkins, K. and Hugo, F., 2002.: The Model Mobile Load Simulator as a tool for evaluating Asphalt Performance under Wet Trafficking. CD-Rom of Proceedings of the Ninth International Conference on Asphalt Pavements Copenhagen, Denmark
- [5] Hugo, F. 2007. Comparative Scaled MMLS3 Tests versus Full-Scale MLS10 Tests, TRB, Washington DC 2007
- [6] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien ZTV-SIB 90, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1997
- [7] MLS Test Systems, 2002. MMLS3 Traffic Simulator Operator's Manual, MLS Test Systems, Stellenbosch, South Africa
- [8] EN 12697-30: 2004 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 30: Probenvorbereitung, Marshall-Verdichtungsgerät
- [9] EN 12697-35:2004+A1:2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 35: Labormischung
- [10] Raab, C., Partl, M. N., 2004. Einfluß und Wirkung von Dnnschichtbelgen auf die In-Situ-Eigenschaften von Asphaltoberbauten. Bundesamt für Strassen. Bericht Nr.1075
- [11] Hugo, F. 1996. Executive Summary report on the Production of the Prototype Texas Mobile Load Simulation. Research Report 1978-2F, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, Texas, USA
- [12] Raab, C. 2000. A1, Langzeit In-Situ-Messung von Verkehrsbeanspruchungen auf der A1, Rothrist-Lenzburg, DRA, 1. Teilbericht: Einbau der Meßeinrichtung und Erfassung des Zustands nach Einbau. EMPA-Bericht Nr. 404098/1
- [13] Raab, C. 2000. A1, Langzeit In-Situ-Messung von Verkehrsbeanspruchungen auf der A1, Rothrist-Lenzburg, DRA, 2. Teilbericht: Erfassung des Zustandes 1 Jahr nach Einbau. EMPA-Bericht Nr. 404098/1
- [14] Schweizer Norm SN 640 431b: Asphaltbetonbelge, Konzeption, Anforderungen, Ausführungen. Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 1997
- [15] Angst, C., Beltzung, F., Bosshard, D., Grolimund, H.-J., Pestalozzi, H., 2008., Lärmarme Straßenbeläge innerorts. Schlussbericht 2007, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Straßen ASTRA und Bundesamt für Umwelt BUFA
- [16] D DPG1 – MMLS3 Rutting and Moisture Damage, DPG1 – Method for evaluation of permanent deformation and susceptibility to moisture damage of bituminous road paving mixtures using the Model Mobile Load Simulator (MMLS3), <http://sabita.co.za>, >Technical >Reports
- [17] Sokolov, K. 2007. Laboruntersuchungen an unterschiedlich verstärkten Asphalt-schichten. Tagung Asphaltverstrkungen mit Einlagen. Erfahrungen und Perspektiven, 15 Mai 2007, Dübendorf

# Projektabschluss

## Formular 3 ARAMIS SBT als PDF



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

### ARAMIS SBT

#### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 10. März 2011

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2007/502

Projekttitel: Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormaßstab

Enddatum: 17. März 2011

#### Texte:

Zusammenfassung der Projektergebnisse: Die Ergebnisse der Forschungsarbeit legen den Schluss nahe, dass bei den neueren offenporigen, steifen Autobahnbelägen mit reduziertem Hohlraumgehalt von < 20 Vol-% und guten Drainage- und Trocknungseigenschaften, durch den Einsatz von polymermodifizierten Bindemitteln die Gefahr von Stripping und damit eines Tragfähigkeitsverlustes relativ gering ist.

Die lärmarmen AC MR Beläge, die ohnehin dichter als die offenporigen PA Beläge und damit von Natur aus weniger strippinganfällig sind, erscheinen im Hinblick auf Wasserbeanspruchung ebenfalls unproblematisch. Einschränkend muss aber hier auf die geringe Anzahl der untersuchten AC MR Beläge hingewiesen werden.

Zielerreichung: Das im Forschungsprojekt angestrebte und in den folgenden Arbeitsschritten

- Suche von Strecken und Entnahme von Bohrkernen oder Belagsausschnitten
- Modifikation der Prüfeinrichtung zur MMLS-Prüfung von Bohrkernen oder Belagsausschnitten unter Wasser.
- MMLS-Prüfung bei 40°C (bis zu 100'000 Überrollungen) unter Wasser und ohne Wasser (Vergleich)
- Evaluation und Durchführung einer geeigneten mechanischen Prüfung
- Auswertung und Berichterstellung

zusammengefasstes Ziel konnte vollumfänglich erreicht werden.

Im Rahmen des Projekts konnten allerdings nur in der Schweiz vorhandene Beläge untersucht werden, d.h. dass sich die vorgesehene Einbeziehung ausländischer Entnahmestellen leider nicht realisieren ließ.

Folgerungen und Empfehlungen: Die Haftzug- und Biegeprüfungen im lufttrockenen Zustand nach vorgängiger MMLS Überrollbeanspruchung im nassen und trockenen Zustand mit der gewählten realitätsbezogenen steifen Lagerung zeigen, dass die vorgängige Wasserbeanspruchung generell keinen dauerhaften negativen Einfluss auf die Standfestigkeit der PA-Beläge hat. Dies spricht für die positive Trocknungs- und Drainagewirkung des PA. Die Tatsache, dass die Wasserlagerung generell eine Versteifung mit gleichzeitiger Erhöhung der Festigkeit verursachte, könnte verschiedene Gründe haben. Einerseits

könnte das Einschwemmen von Kalkwasser aus dem seitlichen Stützbeton zu einer Verbesserung der Adhäsionseigenschaften geführt haben, was bedeuten würde, dass eine periodische Kalkwasserbehandlung sich positiv auf PA auswirken könnte. Andererseits könnte aber auch durch die Feuchteeinwirkung ein kurzfristiges „Erweichen“ des Bindemittels erfolgt sein, welches bindmittelseitige Oberflächenschäden (z.B. Mikrorisse) etwas ausgleicht, und sich daher nach dem Abtrocknen günstig auswirkte. Um die Ursachen und Effekte abzuklären, wären weitere Untersuchungen notwendig. Festzustehen scheint jedoch, dass die mechanischen Eigenschaften von steifen Oberbauten mit polymermodifiziertem PA nach dem neuerlichen Abtrocknen trotz Überrollbeanspruchung bei weitgehender Wassertränkung praktisch erhalten bleiben.

Publikationen:

Neben der Publikation des Forschungsberichts und einer Zusammenfassung in „Straße und Verkehr“ wird ein Beitrag für eine internationale Konferenz angestrebt.

**Beurteilung der Begleitkommission:**

*Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.*

Beurteilung:

Das Projekt zeigt, dass entgegen ursprünglicher Befürchtungen die momentan in der Schweiz eingesetzten offenporigen Autobahnbeläge und die lärmarmen AC MR Beläge grundsätzlich wenig strippinganfällig sind. Der im Projekt gewählte Prüfaufbau entsprach dem in der Schweiz üblichen steifen Aufbau. Bei diesem Versuchsaufbau kann nicht ausgeschlossen werden, dass einerseits der Pumpeffekt durch das starre Mörtelbett behindert wird und dass andererseits, auch wenn die Durchflussmessungen nicht unbedingt darauf schließen lassen, ein Auswaschen von Kalk zu einer Stabilisierung der wasserbeanspruchten Prüfkörper führen könnte.

Umsetzung:

Da das Forschungsprojekt die Strippingresistenz der momentan vorhandenen Schweizer Beläge zeigt, besteht kein Handlungsbedarf. Allerdings müssen neue Belagskonzepte und Bindemittel wieder untersucht werden.

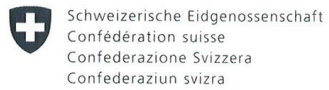
weitergehender  
Forschungsbedarf:

Wie sich bei der Suche nach Entnahmestellen herausstellte, waren die in der Schweiz verfügbaren Beläge relativ ähnlich, besonders im Hinblick auf Konzeption und Bindemittelleigenschaften. Diese Feststellung gilt auch für die untersuchten lärmarmen AC MR Beläge. Weiterer Forschungsbedarf besteht im Hinblick auf die Verwendung von anderen Bindemitteln, z. B. weitere gummodifizierte Bindemittel. In diesem Zusammenhang sollte auch die Zugabe von Kalkhydrat bei offenporigen Belägen noch einmal näher untersucht werden.

Da die Anzahl der untersuchten AC MR Beläge auch relativ gering war, besteht hier ebenfalls weiterer Forschungsbedarf. In diesem Zusammenhang sollte auch der Frage nachgegangen werden, wie sich der höhere Hohlraumgehalt (> 10 Vol-%) der neuen AC MR Beläge auswirkt, d.h. ob diese Beläge im Hinblick auf Stripping nicht doch kritisch sind.

Einfluss auf  
Normenwerk:

Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse der Forschungsarbeit, dass für die momentan in der Schweiz eingesetzten offenporigen Autobahnbeläge und die lärmarmen AC MR Beläge mit einem Hohlraumgehalt <10Vol-% keine Anforderungen hinsichtlich Stripping notwendig sind und bestätigen damit das Normenwerk. Im Hinblick auf das Normenwerk müsste wie unter dem Punkt weitergehender Forschungsbedarf beschrieben, aber vermehrt der Frage nach der Verwendung anderer Bindemittel und der Wasserempfindlichkeit der neuen AC MR Beläge mit höherem Hohlraumgehalt nachgegangen werden.

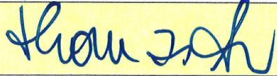


Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

**Präsident Begleitkommission:**

Name:	Arn	Vorname:	Thomas
Amt, Firma, Institut:	Lombardi SA		
Strasse, Nr.:	Via R. Simen 19		
PLZ:	6648	Email:	thomas.arn@lombardi.ch
Ort:	Minusio	Telefon:	091 735 3110
Kanton, Land:	Tessin, Schweiz	Fax:	091 743 9737

**Unterschrift Präsident Begleitkommission:**



## Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern <i>Comportement d'adhérence des unités de précontrainte à torons</i> <i>Bond behaviour of strand tendons for post-tensioning</i>	2009
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faser-feinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton <i>Béton filtré ultra-performant pour augmenter l'efficacité de la maintenance des ouvrages d'art en béton armé</i> <i>Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete for increasing efficiency of the maintenance of reinforced concrete road structures</i>	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle <i>Développement d'une centrale de cogénération à base d'huile végétale avec propre moulin à huile</i> <i>Development of a vegetable oil block heat and power plant with own oil mill</i>	2010
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP) Schweizer-Beitrag zum Russpartikel-Messprogramm für schwere Motorwagen (HD-PMP) Contribution de la Suisse au Programme de Mesure des Particules pour voitures automobiles lourdes (HD-PMP)	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages? - (Performance-orientierte Methoden) <i>Relation between binder properties and damage characteristics of pavements?</i> <i>(Performance orientated methods)</i>	2010
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Schadensprozesse und Zustandsverläufe <i>Processus de dégradation et lois d'évolution</i> <i>Pavement damage processes and performance curves</i>	2008
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen <i>Génération de trafic par des installations de stationnement</i> <i>Traffic generation of parking facilities</i>	2009
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesyste (SGPS) <i>Système de prévision de chaussées glissantes</i> <i>Forecasting Expert System for Road Slipperiness</i>	2010

1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung <i>Espace de rues sans obstacles- Exgenes des personnes avec handicap</i> <i>Obstacle free traffic areas-Demands of people with disabilities</i>	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen <i>Modernisation des feux de signalisation</i> <i>Modernisation of traffic control systems</i>	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall <i>Influence du courant d'air longitudinal dans les tunnels routiers en cas d'incendie</i> <i>Influencing the longitudinal airflow in road tunnels in case of fire</i>	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch <i>Surveillance acoustique d'un pont de béton précontraint et évaluation de l'état pendant sa démolition</i> <i>Acoustic monitoring of a prestressed concrete bridge</i>	2010
621	AGB 2005/105	<b>Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen</b> -Kunstabauten Szenarien der Gefahrenentwicklung <i>Scénarios de l'évolution des dangers</i> <i>Scenarios of hazard development</i>	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht <i>Influence of In-Vehicle Information Systems on Driver Behaviour and Road Safety</i> <i>Report part of traffic psychology</i> <i>Influence des systèmes d'information embarqués sur le comportement de conduite et la sécurité routière</i> <i>Rapport partiel de la psychologie de circulation</i>	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers <i>Entwurf und Gestaltung von Unter- und Überführungen für Fussgänger und leichte Zweiräder</i> <i>Conception and disposition of lower and upper crossings for pedestrians and cyclists</i>	2008
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt <i>Développement des mélanges bitumineux optimaux et sélection des liants appropriés;</i> <i>D-A-CH - projet initial</i> <i>Development of Optimal Bituminous Mixtures and Selection of Appropriate Binders;</i> <i>D-A-CH - Initiation Project</i>	2008

1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung <i>Profit et coûts, bilans écologiques des systèmes d'évacuation de l'eau de ruissellement des routes</i> <i>Cost and Benefits, ecological balances of different concepts of management and treatment of road run-</i>	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten <i>Banque de données pour taux de génération de trafic</i> <i>Database for trip generation rates</i>	2008
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen <i>Modélisation d'objets et de processus pour le système d'information routier</i> <i>Modeling of objects and processes for the road information system</i>	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen <i>Impact of traffic calming measures on noise immissions</i> <i>Impacts des mesures de modération du trafic sur les</i>	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen <i>Functional requirements for traffic collection systems relating to traffic lights</i> <i>Exigences fonctionnelles en matière de systèmes de détection du trafic en rapport avec les installations de feux de circulation</i>	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen <i>Profil géométrique type pour tous les types de véhicules</i> <i>Standard profile of cross sections for all vehicle types</i>	2010
1321	VSS 2008/501	<i>Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts</i> <i>Validierung des CRS-Oedometers mittels intakter Proben</i> <i>Validation of Constant Rate of Strain oedometer on intact samples</i>	2010
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit <i>Coûts horaires du trafic des personnes: Dépendance de la perception et de la distance</i> <i>Willingness to pay in passenger transportation: Perception and distance dependence</i>	2008