

## **Langzeiterfassung des Schichtenverbunds – Relation zwischen Prüfwert nach Einbau und Langzeitverhalten**

Performances à long termes de la liaison entre les couches des revêtements bitumineux

Long term performance of the adhesion properties – relation between test value after construction and long term performance

C. Raab, Dipl.-Ing.

M. N. Partl, Dr. sc. tech., dipl. Ing. ETH

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf

Abteilung Strassenbau/Abdichtungen

**Forschungsauftrag VSS 2005/503**

## Zusammenfassung

Im Jahr 1999 wurde das Forschungsprojekt FA12/94 „Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen“ abgeschlossen. In diesem Forschungsprojekt war die direkte Scherprüfung nach Leutner als zur Bestimmung des Schichtenverbundes geeignete Methode ausgewiesen worden. Das Projekt behandelte aber nur in ganz geringem Umfang die Frage nach einem Langzeitverhalten des Schichtenverbundes, d.h. die Relation zwischen dem Prüfwert des Schichtenverbundes direkt nach Einbau und demjenigen nach einigen Jahren Nutzungsdauer. Zur eindeutigen Klärung dieser Fragestellung war ein Nachfolgeprojekt erforderlich, welches hier im Forschungsprojekt 2005/503 „Langzeiterfassung des Schichtenverbunds – Relation zwischen Prüfwert nach Einbau und Langzeitverhalten“ vorliegt.

Im Rahmen dieses Projektes wurden alle noch vorhandenen Strecken des FA 12/94 nach mittlerweile 10 oder mehr Jahren Betrieb nochmals untersucht, um so eine Langzeitaussage über den Schichtenverbund machen zu können.

Im Vergleich mit der Situation direkt nach dem Einbau konnte für die Werte der Verbundscherkraft zwischen Deckschicht und 1. Tragschicht nach einer Nutzungsdauer von 9 bis 13 Jahren eine leichte (min. 7%) bis starke (45%) Zunahme festgestellt werden.

Von allen 14 untersuchten Entnahmestellen gab es nur bei zwei Entnahmestellen eine Abnahme des Wertes der mittleren Scherkraft um 4.5% bzw. 32%. Während der Belag der einen Entnahmestelle starke Spurrinnenbildung aufwies und außerhalb der Radspur eine Zunahme der Scherkraft gegenüber dem ursprünglichen Wert verzeichnete, ließ sich für die andere Stelle, optisch kein Grund für die Abnahme der Scherkraft im Laufe der Nutzungsdauer finden.

Ein signifikanter Unterschied zwischen Scherkräften in und außerhalb der Radspur konnte nicht in allen Fällen festgestellt werden. In vielen Fällen sind die Unterschiede vernachlässigbar, im Fall der Strecken mit SMA-Deckschicht gab es Strecken, bei denen der Wert in der Radspur, andere bei denen derjenige außerhalb größer war. Einzig bei den Asphaltbetondeckschichten ergab sich mit 17% bis 39% eine wesentlich deutlichere Zunahme innerhalb der Radspur als außerhalb der Radspur, wo die Zunahme nur ca. 5% bis 10% betrug.

Sobald die Deckschicht Probleme, wie Spurrinnenbildung oder Risse aufweist oder aber im Bereich der Radspur im Vergleich mit dem Bereich außerhalb der Radspur extrem stärker beansprucht wird, ist die Scherkraft nach Nutzungsdauer insgesamt und/oder in der Radspur deutlich geringer als diejenige direkt nach dem Einbau.

## Résumé

En 1999, le projet de recherche intitulé FA 12/94 "Méthode d'évaluation de la liaison entre les couches des revêtements bitumineux" a été réalisé. Dans ce projet de recherche, l'essai de cisaillement direct selon Leutner s'est avéré être un outil utile pour faire l'évaluation de l'adhérence en cisaillement des couches intercalaires. En revanche, les questions de l'adhérence des couches à long terme, c'est-à-dire la différence entre les propriétés d'adhérence à la construction et après quelques années de trafic routier n'ont été que légèrement abordé. Par conséquent, le projet de recherche 2005/503 "Performances à long termes de la liaison entre les couches des revêtements bitumineux" a été mené afin de suivre l'évolution des valeurs d'essai après quelques années en service.

Dans le cadre de ce projet, des sections utilisées dans le projet FA 12/94, ayant supportées un trafic routier pendant 10 ans ou plus ont été de nouveau étudiées, ceci dans le but de prévoir les performances à long termes et de prédire quelles seront les propriétés d'adhérence des couches intercalaires dans le temps.

Après 9 à 13 ans de trafic, une amélioration mineure (min 7%) ou principale (de 45%) de la force de cisaillement d'adhérence entre la couche de surface et la couche de base pourrait être établi en comparaison avec la situation directement après construction.

En effet, sur 14 sections étudiées, seulement 2 sections ont montré une diminution de la force de cisaillement moyenne. Cette diminution étant compris entre 4.5% et 32%. Tandis que l'une de ces 2 sections montrait un orniérage important ainsi qu'une augmentation de la force de cisaillement en dehors du passage de roues par rapport à la valeur originale, l'autre section ne présentait pas de dommage extérieur visible.

Dans la plupart des cas, aucune différence significative entre les valeurs de cisaillement à l'intérieur et à l'extérieur du chemin de roue n'a pu être observée. Souvent, la différence était négligeable et, dans certains cas, comme pour la section avec des couches de surface de SMA, la valeur était parfois plus grande à l'extérieur, et dans d'autres cas, plus grande à l'intérieur du chemin de roue.

Seulement pour les sections avec des couches de surface en asphalte, l'augmentation, de 17% à 39% des propriétés d'adhérence dans le chemin de roue était clairement plus grande que celle à l'extérieur du chemin, qui était de 5% et à 10%.

Quand la couche de surface présente davantage de problèmes dans le chemin de roue, tels que l'orniérage ou la fissuration, comparé à en dehors du chemin de roue, les forces de cisaillement moyennes et/ou les forces de cisaillement dans le chemin de roue après le trafic sont alors plus petites que les forces de cisaillement directement après construction.

## Summary

In 1999 the research project FA 12/94 entitled "Methods to determine the Adhesion between Pavement Layers" was completed. It was found that the direct shear test according to Leutner was a useful tool for inter-layer shear adhesion assessment. The question of long term performance of the inter-layer shear adhesion, in terms of the relationship between the adhesion properties directly after construction and the adhesion properties after some years of trafficking was only touched on in a limited way in this former project. Therefore a follow-up project was conducted entitled "Long term performance of the adhesion properties - relation between test value after construction and long term performance" VSS 2005/503.

In the framework of this project all remaining sections from FA 12/94 were investigated again, after 10 or more years of trafficking in order to predict the long term performance of the adhesion properties.

After 9 to 13 years of trafficking a minor (min. 7%) or major (45%) improvement of the adhesion shear force between surface and base course could be observed compared to the situation directly after construction.

From 14 investigated sections, only 2 sections showed a decrease in the average shear force between 4.5% and 32%. While it was found that one of these two sections showed severe rutting and an increased shear force outside the wheel path compared to the original value, the other section did not reveal any surface distresses.

In most cases no significant difference between the shear values in and outside the wheel path could be determined. Often the difference was negligible. For the section with SMA surface courses in some cases the value was greater outside, in others inside the wheel path.

Only for the sections with asphalt concrete surface courses was the increase of the adhesion properties in the wheel path by 17% to 39% clearly bigger than outside where the increase was only 5% to 10%.

In cases where the surface course shows problems such as rutting or cracking or was much more distressed in the wheel path compared to outside the wheel path, the average shear forces and/or the shear forces in the wheel path after trafficking were definitely smaller than the shear forces directly after construction.

---

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ZIELSETZUNG DES FORSCHUNGSPROJEKTS .....</b>	<b>8</b>
	2.1 Zielsetzung .....	8
	2.2 Stand der Forschung .....	8
	2.3 Umsetzung in die Praxis und Perspektiven .....	8
	2.4 Vorgehen .....	9
<b>3</b>	<b>ERFAHRUNGEN IN DER PRAXIS .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>PRÜFMETHODE .....</b>	<b>13</b>
	4.1 Prüfeinrichtung .....	13
	4.2 Meßgrößen bei der Scherprüfung .....	14
	4.2.1 Scherkräfte .....	14
	4.2.2 "Schersteifigkeiten" .....	14
<b>5</b>	<b>ERNEUTE UNTERSUCHUNG VON BELÄGEN AUS FA 12/94 .....</b>	<b>15</b>
	5.1 Probenmaterial .....	15
	5.2 Bohrkernentnahme .....	16
	5.3 Mischgut- und Belagsuntersuchungen .....	17
	5.4 Resultate und Auswertung .....	18
	5.4.1 Auswertung der einzelnen Entnahmestellen .....	18
	5.4.2 Auswertung im Überblick .....	26
	5.5 Diskussion .....	29
	5.5.1 Vergleich unterschiedlicher Belagsarten: Schichtenverbund .....	29
	5.5.2 Vergleich unterschiedlicher Belagsarten: Steifigkeit .....	32
	5.5.3 Vergleich unterschiedlicher Belagsarten: Hohlraumgehalt .....	34
	5.5.4 Vergleich der Verkehrsbelastung .....	36
<b>6</b>	<b>UNTERSUCHUNG AN BOHRKERNEN AUS RUNDLAUF, PROJEKT U2000 .....</b>	<b>37</b>
	6.1 Probenmaterial .....	37
	6.2 Resultate und Auswertung .....	38
<b>7</b>	<b>SCHLUßFOLGERUNGEN .....</b>	<b>42</b>
	7.1 Beobachtung an Strecken aus FA 12/94 .....	42
	7.1.1 Einfluß der Nutzungsdauer auf die Scherkraft .....	42
	7.1.2 Einfluß der Nutzungsdauer auf die Steifigkeit .....	42
	7.1.3 Einfluß des Hohlraumgehalts .....	43
	7.1.4 Einfluß der Verkehrsbelastung .....	43
	7.2 Beobachtung am Rundlauf (U2000) .....	44
<b>8</b>	<b>UMSETZUNG UND EMPFEHLUNGEN .....</b>	<b>44</b>

---

<b>9</b>	<b>FORSCHUNGSBEDARF</b> .....	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>46</b>
<b>11</b>	<b>DANK</b> .....	<b>47</b>
<b>12</b>	<b>ANHANG: ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>48</b>
<b>13</b>	<b>ANHANG: MAXIMALE SCHERKRÄFTE UND "-STEIFIGKEITEN" (EINZELWERTE)</b> .....	<b>49</b>
<b>14</b>	<b>ANHANG: MISCHGUTKENNWERTE AUS FA 12/94</b> .....	<b>53</b>

**EINLEITUNG**

Im Jahr 1999 wurde das Forschungsprojekt FA12/94 „Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen“ [1] abgeschlossen. In diesem Forschungsprojekt war die direkte Scherprüfung nach Leutner als geeignete Methode zur Bestimmung des Schichtenverbundes ausgewiesen und für Beläge mit Deckschichten aus Asphaltbeton oder Splittmastix direkt nach Einbau ein Anforderungswert von 21 kN vorgeschlagen worden.

Das Forschungsprojekt beinhaltete somit keine Aussagen über das Langzeitverhalten von Belägen hinsichtlich des Schichtenverbunds, da dies den Projektrahmen bei weitem überschritten hätte. Immerhin weisen die wenigen (ursprünglich nicht im Forschungsumfang vorgesehenen, aber dort enthaltenen) Ergebnisse darauf hin, daß in den ersten 3 bis 5 Jahren eine Verbesserung der Schichthaftung erfolgen kann.

Um die Fragestellung des Zusammenhangs zwischen Ausgangswert und Langzeitverhalten, d.h. den Nachweis einer Relation zwischen Prüfwert und Verhalten in der Praxis, umfassend zu klären, war ein Nachfolgeprojekt erforderlich. Im Rahmen dieses Projektes sollten jene noch vorhandenen Strecken nach mittlerweile 10 oder mehr Jahren Betrieb nochmals untersucht werden, um so eine Langzeitaussage machen zu können. Zudem sollten nach Möglichkeit noch weitere befahrene Strecken (z.B. solche im Rundlauf U2000 [2]) in die Untersuchung einbezogen werden, um die Beurteilung breiter abstützen zu können.

## **1 ZIELSETZUNG DES FORSCHUNGSPROJEKTS**

### **1.1 Zielsetzung**

Ziel des Projekts war eine quantitative Ermittlung der Entwicklung des Schichtenverbunds im Laufe der Gebrauchsdauer von Straßen, um so einen Zusammenhang zwischen den Prüfergebnissen direkt nach dem Einbau (Abnahmewert) und denjenigen nach Gebrauch (nach Belastung einer Straße durch Verkehr und Klima) feststellen zu können, wobei das Verhalten sowohl im befahrenen (unter den Radspuren) als auch nicht befahrenen Teil (außerhalb der Radspuren) untersucht werden sollte. Als Methode zur Bestimmung des Schichtenverbundes sollte die direkte Scherprüfung nach Leutner verwendet werden.

### **1.2 Stand der Forschung**

Obwohl der Schichtenverbund mittlerweile größtenteils routinemäßig beim Einbau von neuen Schichten oder Belägen bestimmt wird, gibt es kaum Untersuchungen über das Langzeitverhalten. In verschiedenen Publikationen (u.a. [1], [3]) wird berichtet, daß von einer Verbesserung des Schichtenverbunds im Laufe der Zeit ausgegangen werden kann, aber die Anzahl der Untersuchungen, aus denen diese Aussagen stammen, sind recht beschränkt oder nur als Erfahrungswerte vorhanden.

### **1.3 Umsetzung in die Praxis und Perspektiven**

Die Frage, welche Aussagekraft der Prüfwert der Abscherprüfung nach Leutner im Hinblick auf das Langzeitverhalten von Belagsaufbauten besitzt, ist für Bauherren, Planer und Baufirmen von großer Wichtigkeit. Da im Rahmen des Forschungsprojekts FA12/94 „Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen“ ein sehr umfangreicher Datensatz des Ausgangszustandes ermittelt wurde, bot sich mit einem Nachfolgeprojekt die einmalige Möglichkeit, das Langzeitverhalten, d.h. die Entwicklung der Eigenschaften im Vergleich zum Ausgangswert unter den bisher auf die Straße aufgetragenen Belastungen und Randbedingungen zu ermitteln.

Die wenigen im Forschungsprojekt FA 12/94 enthaltenen Ergebnisse weisen darauf hin, daß in den ersten 3-5 Jahren eine Verbesserung des Schichtverbundes erfolgen kann. Im Forschungsprojekt sollte daher das Langzeitverhalten des Schichtenverbundes untersucht werden, indem eine Relation zwischen dem direkt nach Einbau ermittelten Prüfwert und dem Prüfwert nach einer Liege- und Beanspruchungsdauer von ca. 10 Jahren ermittelt wird.



## 1.4 Vorgehen

Im 1999 abgeschlossenen Forschungsprojekt FA 12/94 "Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen" [1] wurden insgesamt 20 Strecken ausgewählt und an den dort entnommenen Bohrkernen der Schichtenverbund bestimmt. Die Sanierungsmaßnahmen waren in den Jahren 1993 bis 1998 durchgeführt worden. Es handelte sich dabei um Strecken, an denen mindestens ein neuer Deckbelag (Teilersatz) aufgebracht oder aber ein neuer Belagsaufbau (Totalersatz) ausgeführt worden war.

Soweit diese Strecken noch vorhanden waren, wurden in der Nähe der damaligen Entnahmestelle wiederum Bohrkernentnommen. Um einerseits eine möglichst gute statistische Absicherung zu gewährleisten und andererseits den Einfluß des Verkehrs bestimmen zu können, wurden je 5 Bohrkernentnommen innerhalb und je 5 Bohrkernentnommen außerhalb der Radspuren entnommen.

Neben den im FA 12/94 enthaltenen sollten nach Möglichkeit weitere befahrene Strecken (z.B. solche im Rundlauf, U2000) miteinbezogen werden, bei denen die Ausgangswerte bestimmt wurden, um auf diese Art die Beurteilung breiter abstützen zu können.

## 2 ERFAHRUNGEN IN DER PRAXIS

Schon im Rahmen des Forschungsprojekts "Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen" [1] wurde eine erste Untersuchung zum Einfluß von Alter und Verkehr auf den Schichtenverbund durchgeführt. Bei 6 der 20 ausgewählten Strecken war es möglich, nach einer Betriebsdauer von 3 bis 5 Jahren erneut Bohrkernentnommen. Bei den Strecken handelt es sich um die Entnahmestellen 1, 2, 4, 8, 10 und 12. Dabei wiesen vier Entnahmestellen eine Splittmastixdeckschicht und je eine Entnahmestelle eine Asphaltbeton- bzw. eine Gußasphaltdeckschicht auf.

Pro Entnahmestelle wurde die maximale Scherkraft bei 20°C zwischen Deckschicht- und 1. Heißmischtragschicht an je 8 Bohrkernen bestimmt. Alle Belagsaufbauten dieses Forschungsprojekts waren nach der alten Schweizer Norm SN 640731 [6] konstruiert worden und wiesen daher keine Binderschicht auf. Die Ergebnisse sind in *Abbildung 3.1* dargestellt: Jeder Balken steht dabei für den Mittelwert der Scherkraft einer Entnahmestelle. Außerdem sind die Standardabweichungen eingezeichnet.

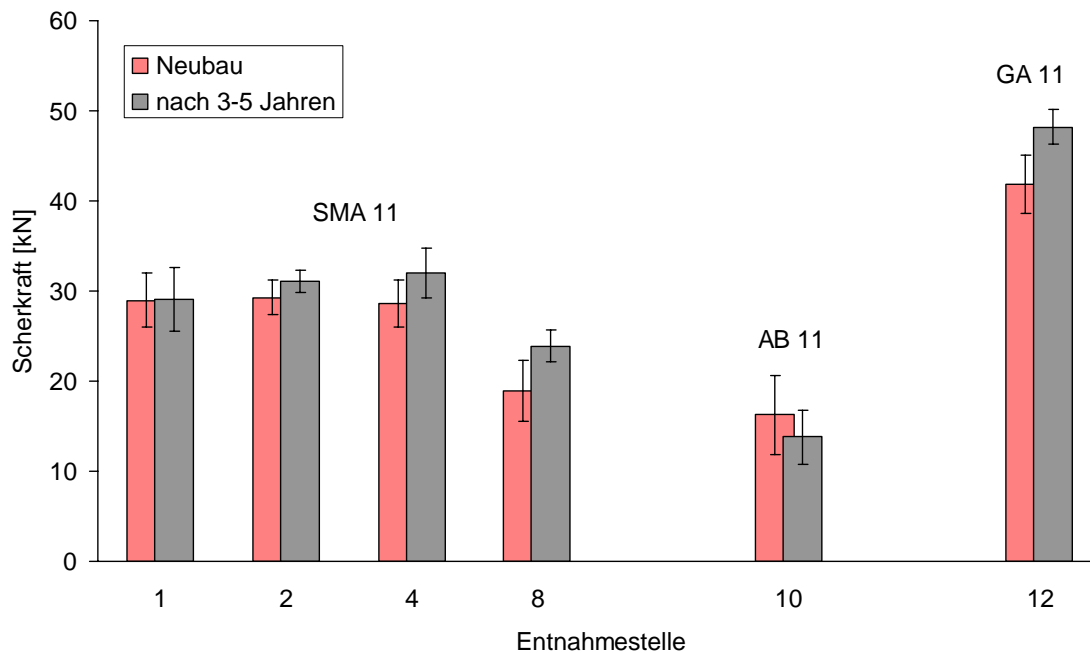


Abbildung 3.1: Vergleich der maximalen Scherkräfte zwischen Deck- und Tragschicht direkt nach dem Einbau und nach 3 bis 5 Jahren, Diagramm analog [1]

Mit Ausnahme von Entnahmestelle 10, die eine Asphaltbetondeckschicht besitzt, zeigen alle Entnahmestellen die Tendenz zu einer leichten Verbesserung der maximalen Scherkraft zwischen Deck- und Tragschicht im Laufe der Zeit. Bei einigen Entnahmestellen änderte sich die maximale Scherkraft nur um wenige kN, während bei anderen Entnahmestellen eine Zunahme der Scherkraft um ca. 10% festgestellt werden konnte.

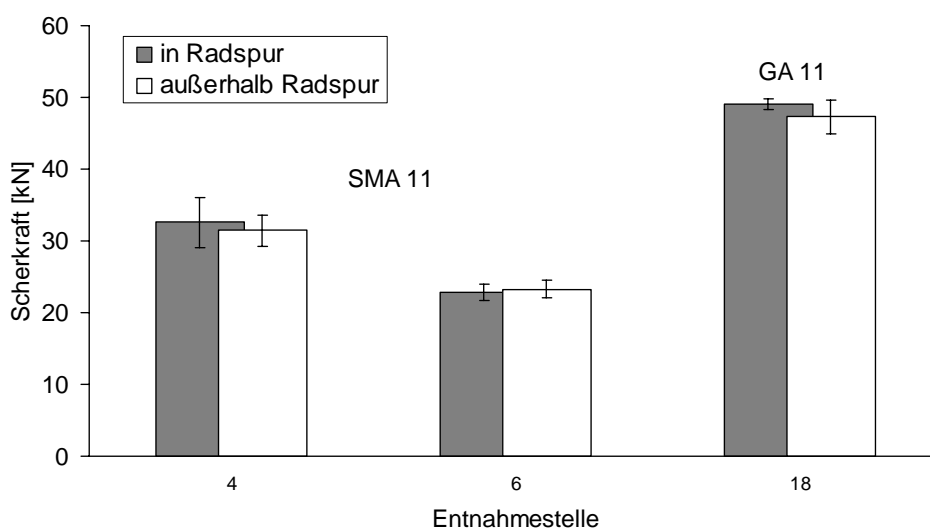
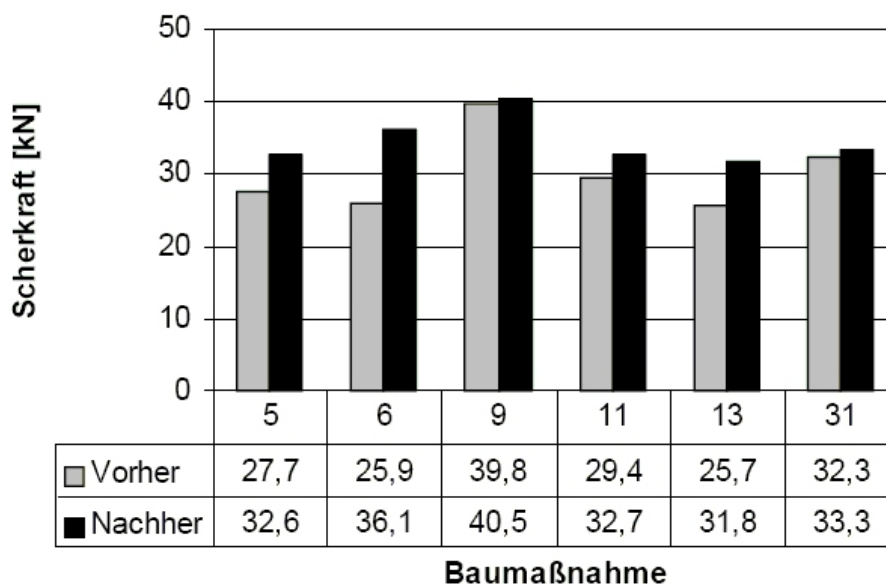


Abbildung 3.2: Vergleich der maximalen Scherkräfte nach 3 bis 5 Jahren zwischen Deck- und Tragschicht in und außerhalb der Radspur

Eine Untersuchung, die einen Vergleich zwischen den Scherkräften innerhalb und außerhalb der Radspur zum Ziel hatte, lieferte wie in *Abbildung 3.2* ersichtlich, keinen eindeutigen Trend.

Auch in ihrer Dissertation [4] weist U. Stöckert nach, daß sich der Schichtenverbund zwischen Deck- und Binderschicht 1 Jahr nach der Verkehrsübergabe verbessert. Von ursprünglich 30 untersuchten Strecken (im Bericht als Baumaßnahmen bezeichnet) konnte bei 6 Strecken ein Jahr nach Verkehrsübergabe eine erneute Untersuchung des Schichtenverbunds nach Leutner zwischen Deck- und Asphaltbinderschicht durchgeführt werden. Wie aus [4] ersichtlich, handelt es sich bei diesen 6 Entnahmestellen, um 5 Splittmastixasphaltdeckschichten und eine Asphaltbetondeckschicht sowie um Asphaltbinderschichten ABI 0/16 oder ABI 0/22. Die in *Abbildung 3.3* aufgeführten Untersuchungsergebnisse zeigen für alle Entnahmestellen eine Erhöhung der bei 20°C bestimmten maximalen Scherkräfte, die umso geringer ausfällt, je höher die Anfangswerte der Scherkraft sind.



*Abbildung 3.3:* Vergleich der maximalen Scherkräfte direkt nach Einbau und 1 Jahr nach Verkehrsübergabe, *Abbildung* aus [4]

Die folgenden, ebenfalls [4] entnommenen *Abbildungen* zeigen die in zwei Profilen (vgl. [4]) ermittelten Scherkräfte vor der und 1 Jahr nach der Verkehrsübergabe, getrennt betrachtet nach rechter Radspur (*Abbildung 3.4*) und Fahrstreifenmitte (*Abbildung 3.5*), exemplarisch für die Baumaßnahme 5 mit einer Splittmastixasphaltdeckschicht und einer Asphaltbinderschicht 0/22S.

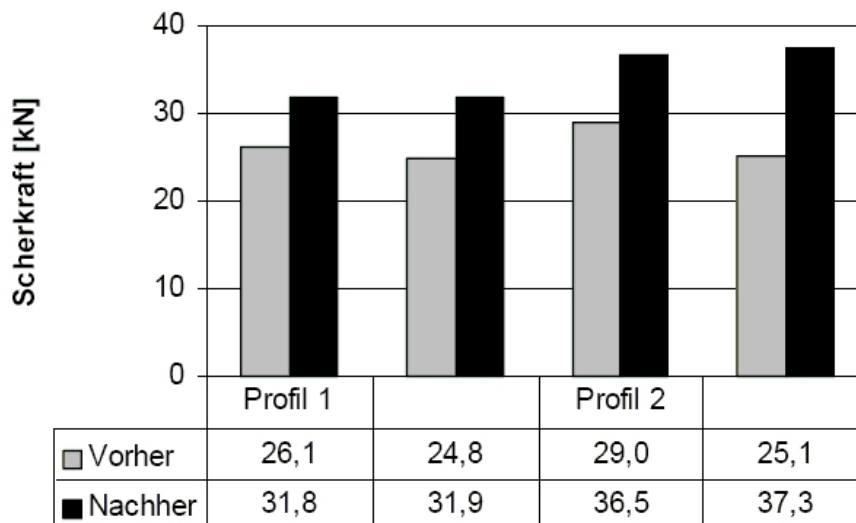


Abbildung 3.4: Vergleich der maximalen Scherkräfte in der rechten Radspur für Baumaßnahme 5 direkt nach Einbau und 1 Jahr nach Verkehrsübergabe, Abbildung aus [4]

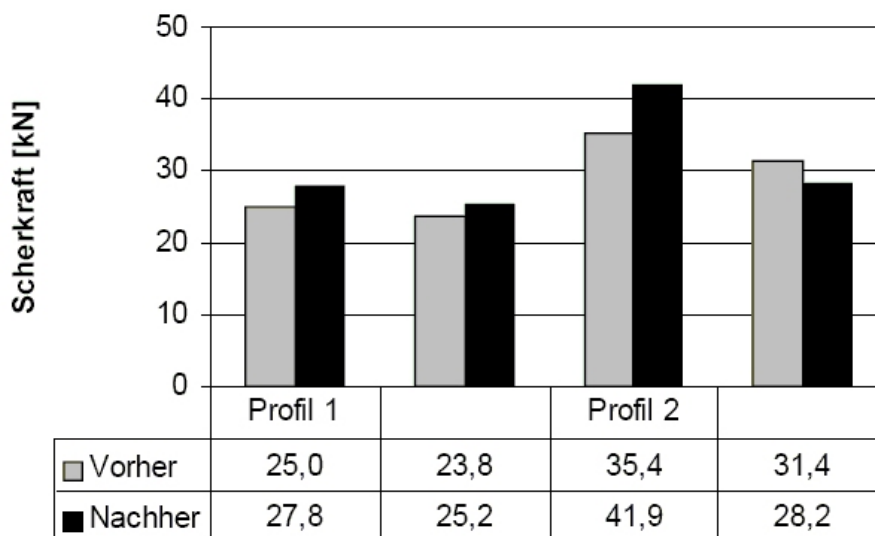


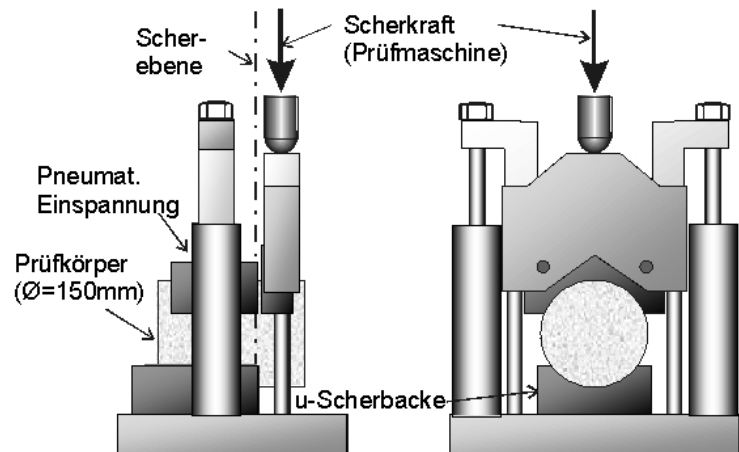
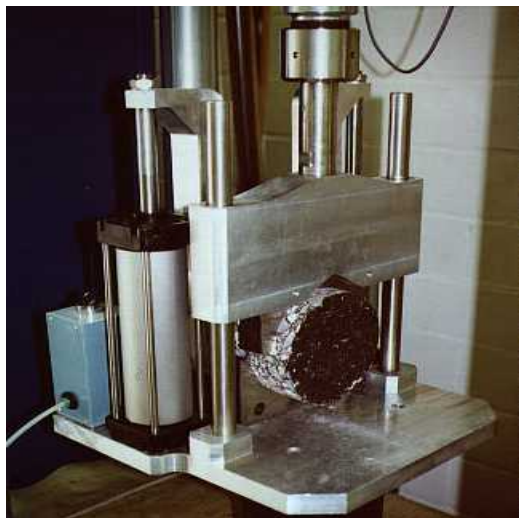
Abbildung 3.5: Vergleich der maximalen Scherkräfte in Fahrstreifenmitte für Baumaßnahme 5 direkt nach Einbau und 1 Jahr nach Verkehrsübergabe, Abbildung aus [4]

Die in der rechten Radspur entnommenen Bohrkern zeigen einen Zuwachs der maximalen Scherkraft um 7 kN bis 12 kN. Die in der Fahrbahnmitte ermittelten Scherkräfte sind dagegen vor und nach der Verkehrsübergabe nahezu gleich. Stöckert führt weiter aus, daß auch bei 5 weiteren Entnahmestellen beobachtet werden konnte, daß die Scherkraft in Fahrstreifenmitte weniger ansteigt als diejenige in der Radspur.

### 3 PRÜFMETHODE

#### 3.1 Prüfeinrichtung

Wie auch schon im Forschungsprojekt "Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen" [1] wurde zur Durchführung der Prüfungen die direkte Scherprüfung nach Leutner [5] mit der von der EMPA modifizierte Schereinrichtung verwendet. Die modifizierte EMPA-Prüfeinrichtung ist in eine servohydraulische Prüfmaschine (z.B. eine konventionelle Marshallpresse) integrierbar und erlaubt die Prüfung von Bohrkernen mit einem Durchmesser zwischen  $d = 148 \text{ mm}$  und  $156 \text{ mm}$ , wobei die beiden u-förmigen Scherbackeneinsätze dem Bohrkern Durchmesser im Millimeterabstand angepaßt werden können (vgl. *Abbildung 4.1.1*).



*Abbildung 4.1.1:* EMPA-Scherprüfform

Wie aus *Abbildung 4.1.1* und den in [1] dargestellten Konstruktionsskizzen ersichtlich, liegt bei der Prüfung das eine Ende des Bohrkerns bis zur gewählten Scherebene auf einer u-förmigen Auflagefläche und wird von einer pneumatischen Einspannovruchtung mit definiertem Druck angepreßt, während das andere Ende des Prüfkörpers nicht gehalten wird. Die Scherkraft wird vom Kolben über den an einem Joch befestigten Scherbackeneinsatz weggesteuert mit einer Geschwindigkeit von  $50 \text{ mm/min}$  in die Scherebene eingeleitet. Dabei wird der Prüfkörper bis zum Bruch belastet. Eine Normalkraft in Achsrichtung des Prüfkörpers wird nicht aufgebracht.

## 3.2 Meßgrößen bei der Scherprüfung

### 3.2.1 Scherkräfte

Für alle Bohrkern einer Entnahmestelle wurde die maximale Scherkraft zwischen Deck- und Tragschicht bei 20°C ermittelt.

Aus dem Scherkraft-Scherweg-Diagramm kann die maximale Scherkraft  $F_{\max}$  ermittelt und die mittlere nominelle Scherspannung  $\tau_{\text{nom}}$  über die Fläche des Prüfkörpers mit dem Durchmesser  $d$  nach Gleichung 1 berechnet werden:

$$\tau_{\text{nom}} = \frac{4F_{\max}}{d^2\pi} \dots\dots\dots(\text{Gleichung 1})$$

### 3.2.2 "Schersteifigkeiten"

Aus den mit Hilfe eines Datenerfassungsgerätes im Versuch aufgezeichneten Scherkraft-Scherweg-Diagrammen kann zudem die "Schersteifigkeit"  $S_{\max}$  bestimmt werden und zwar als maximale Steigung der Scherkraft-Scherweg-Kurve mit Hilfe einer linearen Regressionsrechnung im Bereich der maximalen Steigung nach Gleichung 2 (siehe *Abbildung 4.2.2*).

$$S_{\max} = \left( \frac{\Delta F}{\Delta w} \right)_{\max} \dots\dots\dots(\text{Gleichung 2})$$

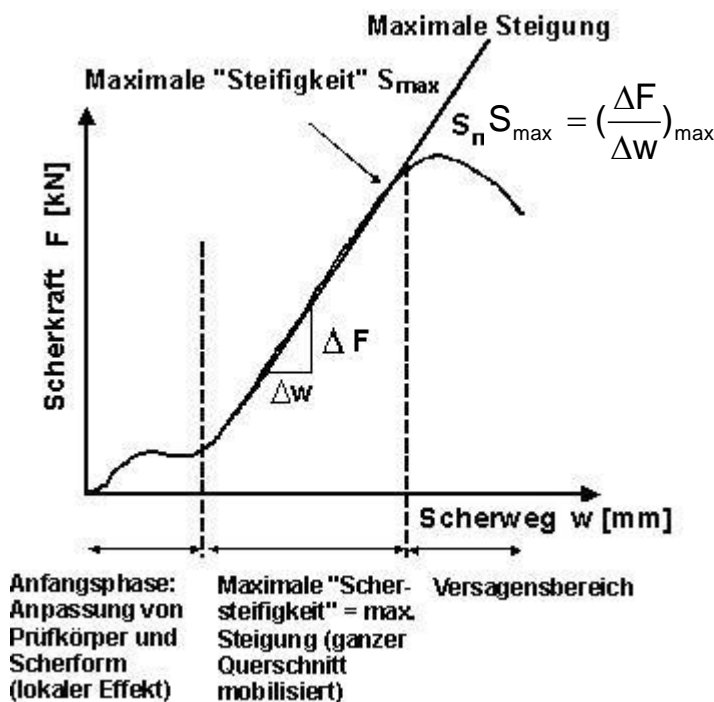
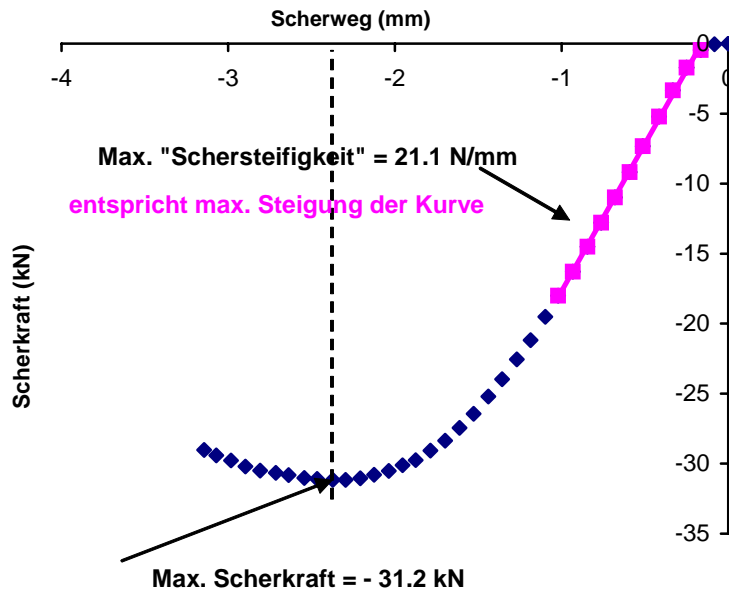


Abbildung 4.2.2: Ermittlung der maximalen "Schersteifigkeit"

In *Abbildung 4.2.3* ist an einem Beispiel schematisch die Bestimmung der maximalen Scherkraft und der maximalen "Schersteifigkeit" aus dem Scherkraft-Scherweg-Diagramm dargestellt.



*Abbildung 4.2.3:* Bestimmung von maximaler Scherkraft und maximaler "Schersteifigkeit"

## 4 ERNEUTE UNTERSUCHUNG VON BELÄGEN AUS FA 12/94

### 4.1 Probenmaterial

Im Rahmen des hier vorliegenden Projekts wurden jene im Forschungsprojekt FA12/94 "Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen" [1] noch vorhandenen Strecken nach mittlerweile 10 bis 13 Jahren Betrieb nochmals untersucht.

Die im FA 12/94 untersuchten Bohrkerne stammten aus Belägen, die in den Jahren 1993 bis 1996 in verschiedenen Schweizer Kantonen eingebaut wurden. Die Beläge wurden von den Kantonen Aargau, Basel Stadt, Solothurn, St. Gallen, Wallis und Zürich zur Verfügung gestellt. In allen Fällen handelte es sich um Neubaustrecken oder Strecken, bei denen ein Teilersatz durchgeführt wurde, was in der Regel dem Einbau einer neuen Deckschicht entsprach.

Eine in den Jahren 2005 und 2006 durchgeführte Umfrage ergab, daß von den ursprünglich 20 untersuchten Strecken immerhin noch 14 vorhanden waren und damit für eine erneute Bohrkernentnahme zur Verfügung standen. Besonders erfreulich war dabei die Tatsache, daß neben 7 Splittmastixasphalt (SMA) und 4 Asphaltbetonentnahmestellen (AB, neu: Asphalt concrete AC) auch noch je eine Entnahmestelle mit Hot Rolled Asphalt- (HR), Gußasphalt- (GA,

neu: Mastixasphalt MA) und Drainasphaltdeckschicht (DRA, neu: Porous Asphalt PA) vorhanden war.

Tabelle 5.1.1 zeigt alle Bohrkernentnahmestellen mit den dort eingebauten Belagssorten im Überblick. Da alle Belagsaufbauten vor dem Jahr 2001 durchgeführt worden waren, wurden in der Tabelle die Bezeichnungen gemäß der damals gültigen Schweizer Norm [6] beibehalten:

Tabelle 5.1.1: Bohrkernentnahmestellen, Bezeichnungen: SMA Splittmastix, AB Asphaltbeton, HR Hot Rolled Asphalt, GA Gußasphalt (neu: MA), DRA Drainasphalt (neu: PA) und HMT Heißmischtragschicht (neu: AC T)

Entnahmestelle	Mischgut		Kennwerte Deckschicht	
	Deckschicht	1. Tragschicht	Dicke [mm]	Einbau
2	SMA 11	HMT 32	35.0	1993
3	SMA 11	HMT 32	30.0	1994
5	SMA 11	HMT 22	40.0	1996
6	SMA 11	HMT 16	60.0	1993
7	SMA 11	HMT 22	30.0	1994
8	SMA 11	HMT 32	41.0	1996
14	SMA 11	HMT 22	40.0	1997
10	AB 11	HMT 32	29.0	1995
15	AB 11	HMT 32	45.0	1997
18	AB 16	unbekannt	48.0	1997
19	AB 16	unbekannt	50.0	1997
11	HR 16	HMT 22	44.0	1993
12	GA 11	GA 16	43.0	1996
13	DRA 11	AB 16	45.0	1994

## 4.2 Bohrkernentnahme

Die Bohrkernentnahme wurde in der Nähe der damaligen Entnahmestelle entweder durch die Empa oder ein vom Kanton beauftragtes Labor durchgeführt. In den meisten Fällen war die ursprüngliche Entnahmestelle in der Normalfahrspur noch gut sichtbar und die erneute Entnahme konnte in wenigen Metern Entfernung erfolgen.

Um einerseits eine möglichst gute statistische Absicherung zu gewährleisten und andererseits den Einfluß des Verkehrs bestimmen zu können, wurden je 5 Bohrkern innerhalb und je 5



Bohrkerne außerhalb der Radspuren entnommen. Alle Entnahme erfolgtem zwischen April 2006 und Februar 2007.

Abbildung 5.2.1 zeigt beispielhaft die ursprüngliche und die erneute Entnahmestelle.

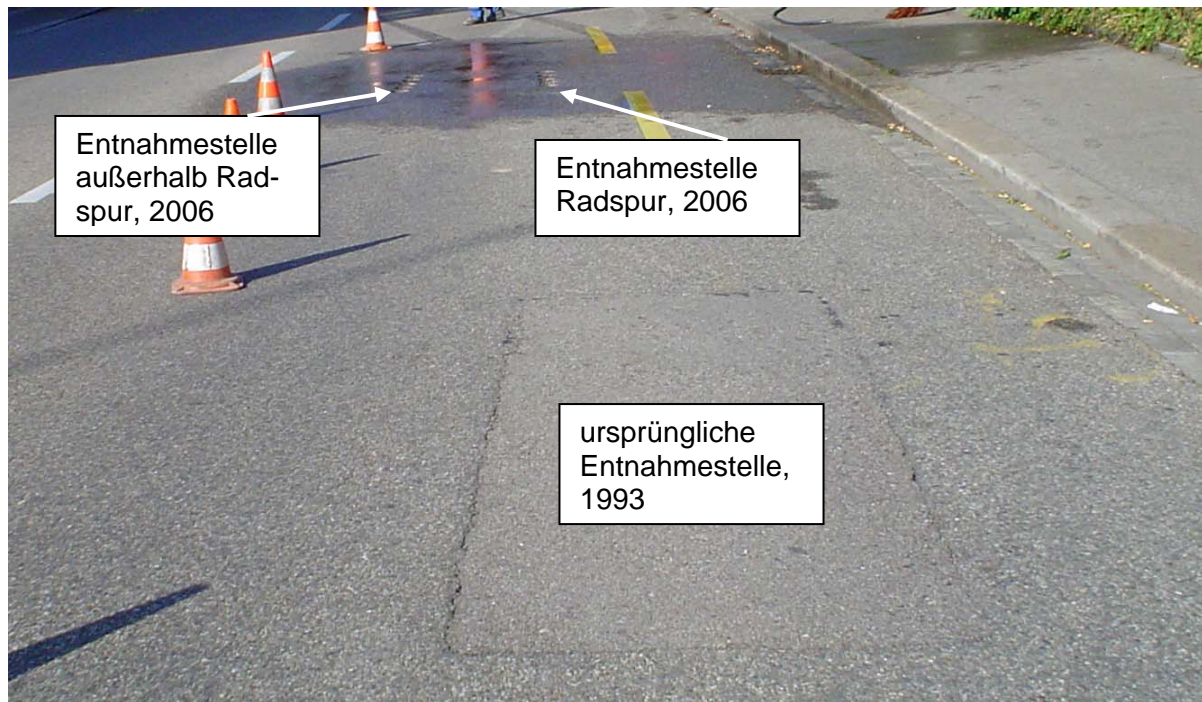


Abbildung 5.2.1: Beispielhafte Bohrkernentnahme, Entnahmestelle 2, Entnahme 1993 bzw. 2006

### 4.3 Mischgut- und Belagsuntersuchungen

An allen Bohrkernentnahmestellen waren beim Einbau der Deckschicht (teilweise auch der Heißmischtragschichten) Mischgutproben für die Laboruntersuchung entnommen worden. Außerdem wurden jeweils zwei der entnommenen Bohrkern für Belagsuntersuchungen verwendet. Die in den Mischgut- und Belagsuntersuchung ermittelten Kennwerte finden sich im FA 12/94 und sind im Anhang nochmals aufgeführt.

Zur Bestimmung des Einflusses der Nachverdichtung auf den Wert des Schichtenverbundes wurden nach der erneuten Entnahme an allen entnommenen Bohrkernen die Raumdichte ermittelt. Zwecks besserer Vergleichbarkeit mit den ursprünglich ermittelten Werten wurde dabei nicht die seit Januar 2005 in der Schweiz gültige Norm [8] verwendet, vielmehr wurde die Raumdichtebestimmung gemäß der alten Rohdichtebestimmung nach SN 671 967 [7] durchgeführt.

## 4.4 Resultate und Auswertung

Im Folgenden werden die Resultate und Erkenntnisse für jede einzelne Entnahmestelle kurz erläutert.

### 4.4.1 Auswertung der einzelnen Entnahmestellen

#### Entnahmestelle 2

Bei dieser Entnahmestelle handelt es sich um eine innerstädtische Straße mit einer Splittmastixasphaltdeckschicht. Die Entnahmestelle befindet sich in der Nähe einer Bushaltestelle und die Fahrspur wird außer von PKWs auch regelmäßig von Bussen befahren.

Die erneute Entnahme lag wenige Meter von der ersten, ursprünglichen Entnahmestelle entfernt. Die Belagserneuerung war 1993 durchgeführt worden, die erneute Entnahme erfolgte damit nach 13 Jahren Liegedauer.

Die Werte der Scherkraft haben sich nach 13 Jahren nur unwesentlich verändert. Betrag der Mittelwert des unbelasteten Belages 29 kN, so ergab die erneute Untersuchung einen Mittelwert von 31.9 kN, bzw. 28.5 kN für die Radspur und 33.0 kN außerhalb der Radspur.

Der Wert der Schersteifigkeit hat dagegen von ursprünglich 16 kN/mm auf 22.5 kN/mm zugenommen, wobei mit Werten von 22.8 kN/mm bzw. 22.2 kN/mm keine Unterschiede zwischen den belasteten (Radspur) und den unbelasteten Bereichen (außerhalb Radspur) festgestellt werden konnten.

#### Entnahmestelle 3

Entnahmestelle 3 liegt an einer stark insbesondere von Schwerverkehr befahrenen städtischen Zubringerachse. Sie besitzt ebenfalls eine Splittmastixasphaltdeckschicht. Da der Ort der ursprünglichen Entnahme bereits ersetzt worden war, wurde die erneute Entnahme etwa 200 m von der ersten Entnahmestelle entfernt durchgeführt. Die Belagserneuerung war 1994 erfolgt, und der mittlerweile 12 Jahre alte Belag zeigte die Tendenz zur Spurrinnenbildung.

Die Werte der Scherkraft haben sich nach 12 Jahren insgesamt, d.h. auf den Mittelwert bezogen, nur unwesentlich verändert: Betrag der Mittelwert des unbelasteten Belages 28.8 kN ergab die erneute Untersuchung einen Mittelwert von 27.5 kN. Erwähnenswert sind aber die Unterschiede zwischen belasteten (Radspur) und unbelasteten Bereichen, mit einem Wert von 18.5 kN in der Radspur und einem Wert von 33.0 kN außerhalb der Radspur.

Die Schersteifigkeit hat sich leicht erhöht, d.h. von ursprünglich 18.9 kN/mm auf 20.9 kN/mm zugenommen, wobei die Unterschiede zwischen dem belasteten (Radspur) mit 18.5 kN/mm und dem unbelasteten Bereichen mit 23.3 kN/mm (außerhalb Radspur) ins Auge fallen.

#### Entnahmestelle 5

Die Entnahmestelle liegt auf der A3 (Fahrrichtung Zürich). Die Entnahme im Jahr 2006 lag unmittelbar vor der ursprünglichen Entnahmestelle des Jahres 1996. In diesem Jahr war auch der Einbau des SMA-Belages erfolgt, zum Zeitpunkt der ersten Entnahme war die neu erbaute Autobahn A3 noch nicht für den Verkehr freigegeben.

Der Schichtenverbund hat sich im Laufe von 10 Jahren von anfänglich 25 kN (Mittelwert) auf 34.8 kN (Mittelwert, gesamt), bzw. 33.5 kN in der Radspur und 35.6 kN außerhalb der Radspur verbessert. Die Unterschiede zwischen dem befahrenen und dem unbefahrenen Bereich sind dabei relativ gering.

Die Schersteifigkeit hat sich von 16.8 kN/mm auf 28.3 kN/mm (Mittelwert, gesamt) erhöht. Dabei sind die Unterschiede zwischen den belasteten (Radspur) mit 28.5 kN/mm und den unbelasteten Bereichen mit 28.1 kN/mm (außerhalb Radspur) relativ gering.

#### Entnahmestelle 6

Die Entnahmestelle liegt auf der A1 (Fahrrichtung St. Gallen) an einer Stelle an der mehrere Spuren zusammengeführt werden, und sie weist eine sehr hohe Verkehrsdichte auf. Der Deckbelag ist ein Splittmastixasphalt. Die Entnahme im Februar 2007 befand sich auf der mittleren Spur unmittelbar neben der ursprünglichen Entnahmestelle aus dem Jahr 1993 auf der benachbarten rechten Spur.

Der Schichtenverbund hat sich im Laufe von ca. 13 Jahren von anfänglich 23 kN (Mittelwert) auf 15.67 kN (Mittelwert, gesamt), bzw. 14.37 kN in der Radspur und 16.69 kN außerhalb der Radspur verschlechtert. Die Unterschiede zwischen dem befahrenen und dem unbefahrenen Bereich sind dabei relativ gering und werden maßgeblich durch einen Ausreißer nach unten bzw. oben beeinflusst. Ohne Berücksichtigung dieser Ausreißer erhält man einen Wert von 15.78 kN in bzw. von 15.55 kN außerhalb der Radspur.

Die Schersteifigkeit hat sich im Laufe der Zeit von leicht von 10.8 kN/mm auf 12.50 kN/mm (Mittelwert, gesamt) erhöht. Dabei sind die Unterschiede zwischen den belasteten (Radspur) mit 11.93 kN/mm und den unbelasteten Bereichen mit 13.08 kN/mm (außerhalb Radspur) relativ gering.

#### Entnahmestelle 7

Die Entnahmestelle befindet sich auf der A9 (Fahrtrichtung Sierre) und besitzt eine Splittmastix-asphaltdeckschicht. Die erneute Entnahme erfolgte wenige Meter von der ersten, ursprünglichen Entnahmestelle entfernt. Die Belagserneuerung war 1994 durchgeführt worden, der damalige DTV betrug 12'500, für das Jahr 2005 wurde ein DTV von 19'800 ermittelt.

Die Werte der Scherkraft haben sich nach 12 Jahren von 19.9 kN mit einem Mittelwert von 36.5 kN deutlich verbessert, wobei die Unterschiede zwischen belasteten (Radspur) mit 36.2 kN und unbelasteten Bereichen mit 36.5 kN praktisch identisch sind.

Die Schersteifigkeit hat sich von 14.1 kN/mm auf 20.8 kN/mm (Mittelwert, gesamt) erhöht. Dabei sind die Unterschiede zwischen den belasteten (Radspur) mit einem Wert von 19.7 kN/mm und den unbelasteten Bereichen (außerhalb Radspur) mit einem Wert von 21.6 kN/mm relativ gering.

#### Entnahmestelle 8

Die Entnahmestelle befindet sich auf einem Autobahnzubringer und besitzt eine Splittmastix-asphaltdeckschicht. Die erneute Entnahme erfolgte wenige Meter von der ursprünglichen Entnahmestelle entfernt. Die Belagserneuerung war 1996 durchgeführt worden. Da sich die Entnahmestelle im Bereich einer Kurve befindet, war es schwierig, die „Radspur“ eindeutig festzulegen.

Die Werte der Scherkraft haben sich nach 10 Jahren von 18.9 kN auf einen Wert von 26.2 kN (Mittelwert) verbessert, wobei die Unterschiede zwischen belasteten (Radspur) Bereich mit einem Wert von 26.5 kN und unbelasteten Bereich mit einem Wert von 26.2 kN sehr gering sind.

Die Schersteifigkeit hat sich von 8.9 kN/mm auf 16.4 kN/mm (Mittelwert, gesamt) erhöht. Dabei sind die Unterschiede zwischen den belasteten (Radspur) mit einem Wert von 17.3 kN/mm und dem unbelasteten Bereichen mit einem Wert von 16.2 kN/mm (außerhalb Radspur) relativ gering.

### Entnahmestelle 10

Die Entnahmestelle befindet sich auf der stark belasteten Autobahn A1 (Richtung Bern-Zürich) und besitzt eine Asphaltbetondeckschicht. Die erneute Entnahme erfolgte wenige Meter von der ursprünglichen Entnahmestelle entfernt. Die Belagserneuerung war 1995 durchgeführt worden.

Die Werte der Scherkraft haben sich nach 11 Jahren von 16.3 kN auf 21.2 kN (Mittelwert) verbessert, wobei die Unterschiede zwischen belasteten (Radspur) mit einem Wert von 27.0 kN und unbelasteten Bereichen mit einem Wert von 15.0 kN bemerkenswert sind.

Die Schersteifigkeit hat sich von 8.5 kN/mm auf 18.5 kN/mm (Mittelwert, gesamt) erhöht. Dabei sind die Unterschiede zwischen den belasteten (Radspur) mit 19.1 kN/mm und den unbelasteten Bereichen mit 17.9 kN/mm (außerhalb Radspur) relativ gering.

### Entnahmestelle 11

Die Entnahmestelle 11 wurde bereits 1993 eingebaut. Sie befindet sich auf einer Kantonsstraße und besitzt eine Hot Rolled Asphalt Deckschicht. Die Besonderheit der Entnahmestelle (vgl. auch *Abbildung 5.4.1*) liegt darin, daß sie sich unmittelbar hinter einer Einmündung und der unbelastete Bereich sich in einer völlig unbefahrenen Sperrfläche befindet.

Innerhalb von 13 Jahren hat sich die die Scherkraft gesamthaft (Mittelwert) von 30.9 kN auf 35.2 kN erhöht, wobei im hier völlig unbelastete Bereich ein sehr hoher Wert von 44.2 kN und in der Radspur mit 27.9 kN ein Wert erreicht wird, der niedriger ist als der Ausgangswert.

Die Schersteifigkeit hat sich von 13.8 kN/mm auf 21.9 kN/mm (Mittelwert, gesamt) erhöht. Dabei wurde im belasteten Bereich (Radspur) ein Wert von 18.9 kN/mm und im unbelasteten Bereich ein Wert von 24.8 kN/mm (außerhalb Radspur) ermittelt.



Abbildung 5.4.1: Situation Entnahmestelle 11

#### Entnahmestelle 12

Die Entnahmestelle mit einer Gußasphaltdeckschicht liegt auf der A3 (Fahrtrichtung Zürich) in unmittelbarer Nähe der ursprünglichen Entnahmestelle. Der Einbau und die erste Entnahme des Belages waren 1996 vor der Eröffnung der neu erbauten Autobahn erfolgt.

Der Wert der Schichthaftung nach Leutner hat sich gegenüber einem Ausgangswert von 41.8 kN (Mittelwert) nur leicht auf 44.9 kN verbessert, wobei ein Wert von 44.7 kN in der Radspur und ein Wert von 45.2 kN außerhalb der Radspur ermittelt wurde.

Die Schersteifigkeit hat sich von 16.8 kN/mm auf 24.7 kN/mm (Mittelwert, gesamt) erhöht. Dabei wird im belasteten Bereich (Radspur) ein Wert von 22.1 kN/mm und im unbelasteten Bereich ein Wert von 26.8 kN/mm (außerhalb Radspur) ermittelt.

#### Entnahmestelle 13

Die Entnahmestelle mit einer Drainasphaltdeckschicht befindet sich auf der A9 (Fahrtrichtung Bex). Die erneute Entnahme erfolgte wenige Meter von der ersten, ursprünglichen Entnahmestelle entfernt. Die Belagserneuerung war 1994 durchgeführt worden, der damalige DTV betrug 24'200, für das Jahr 2005 wurde ein DTV von 31'500 ermittelt.

Die ursprünglich sehr niedrigen Werte der Scherkraft von 8.0 kN haben sich nach 12 Jahren mit einem Mittelwert von 11.9 kN etwas verbessert. Dabei sind die Unterschiede zwischen den belasteten (Radspur) mit einem Wert von 14.7 kN/mm und den unbelasteten Bereichen mit einem Wert von 14.4 kN/mm (außerhalb Radspur) vernachlässigbar.

Die Schersteifigkeit hat sich von 5.1 kN/mm auf 14.6 kN/mm (Mittelwert, gesamt) erhöht. Bei dieser Entnahmestelle ergaben sich für den belasteten Bereich (Radspur) mit 10.7 kN/mm niedrigere Werte als für den unbelasteten Bereich, wo ein Wert von 13.1 kN/mm ermittelt wurde.

#### Entnahmestelle 14

Die Entnahmestelle befindet auf der A13 (Fahrtrichtung St. Margarethen) und sitzt eine Splittmastixasphaltschicht. Die erneute Entnahme erfolgte in unmittelbarer Nähe der ersten Entnahmestelle. Die Belagserneuerung war im Jahr 1997 ausgeführt worden. Aus organisatorischen Gründen mußte die erneute Bohrkernentnahme auf der Überholspur erfolgen.

Die Werte der Scherkraft haben sich im Laufe der Jahre von 30.2 kN auf 35.3 kN (Mittelwert) verbessert, wobei die Unterschiede zwischen dem belastete Bereich (Radspur) mit einem Wert von 36.3 kN und dem unbelasteten Bereich mit einem Wert von 34.3 kN relativ gering sind.

Da die Schersteifigkeit bei der ersten Entnahme nicht bestimmt wurde, ist hier ein Vergleich nicht möglich. Der Mittelwert der Schersteifigkeit beträgt 25.3 kN/mm, die Schersteifigkeit in der Radspur ist mit einem Wert von 28.5 kN/mm etwas höher als diejenige außerhalb der Radspur, wo ein Wert von 22.0 kN/mm ermittelt wurde.

#### Entnahmestelle 15

Entnahmestelle 15 mit einer Asphaltbetondeckschicht liegt auf der stark befahrenen Autobahn A1 (Fahrtrichtung Bern). Die erneute Entnahme erfolgte in unmittelbarer Nähe der ersten Entnahmestelle. Die Belagserneuerung war im Jahr 1997 ausgeführt worden. Die erneute Entnahme konnte gerade noch vor der Sanierung der Deckschicht durchgeführt werden.

Wie *Abbildung 5.4.2* zeigt, wies der Belag besonders im Bereich der Radspuren deutliche Risse und Kornausbrüche auf. Die erneute Bohrkernentnahme bereitete daher große Schwierigkeit, da der Belag, wie in *Abbildung 5.4.3* zu sehen, bereits bei der Probenahme völlig zerbröckelte.



Der Wert der Scherkraft hat im Laufe der Jahre im Mittel von 22.9 kN auf 24.6 kN zugenommen. Betrachtet man an dieser Entnahmestelle die Werte im befahrenen und damit schadhaften Bereich (Radspur) erhält man einen Wert von nur 17.8 kN gegenüber einem Wert von 34.3 kN im unbefahrenen, weniger geschädigten Bereich.

Die Schersteifigkeit hat von 11.6 kN/mm auf 23.2 kN/mm (Mittelwert, gesamt) zugenommen. Auch hier zeigt sich, daß die Werte im befahrenen Bereich mit 21.1 kN/mm leicht niedriger sind als im unbefahrenen Bereich (25.1 kN/mm).



Abbildung 5.4.2: Belag A1 mit Rissen und Ausbrüchen, besonders im Bereich der Radspuren



Abbildung 5.4.3: Während der Bohrkernentnahme zerbröckelter Belag



### Entnahmestelle 18

Die Entnahmestelle befindet sich auf einer richtungsgetretenen Hauptstraße in der Nähe der Verzweigung Buchs, Schaan und besitzt eine Asphaltbetondeckschicht. Die erneute Entnahme erfolgte in unmittelbarer Nähe der ersten Entnahmestelle. Die Belagserneuerung war im Jahr 1997 ausgeführt worden.

Die Werte der Scherkraft haben sich im Laufe der Jahre von 29.1 kN auf 33.0 kN (Mittelwert) verbessert, wobei kleinere Unterschiede zwischen belasteten (Radspur) mit 35.2 kN und unbelasteten Bereichen mit 30.8 kN bestehen.

Die Schersteifigkeit hat von 19.0 kN/mm auf 22.5 kN/mm (Mittelwert, gesamt) zugenommen. Auch hier zeigt sich, daß die Werte im befahrenen Bereich mit 24.1 kN/mm leicht höher sind als im unbefahrenen Bereich mit 21.0 kN/mm.

### Entnahmestelle 19

Die Entnahmestelle mit einer Asphaltbetondeckschicht liegt auf einer Autobahnauffahrt. Die erneute Entnahme erfolgte in unmittelbarer Nähe der ersten Entnahmestelle. Die Belagserneuerung war im Jahr 1997 ausgeführt worden. Da sich die Entnahmestelle im Bereich einer Kurve befindet, war es schwierig eine „Radspur“ eindeutig festzulegen.

Die Werte der Scherkraft haben sich im Laufe der Jahre von 27.5 kN auf 32.6 kN (Mittelwert) verbessert, wobei im belasteten Bereich (Radspur) ein Wert von 34.8 kN und im unbelasteten Bereich ein Wert von 30.5 kN ermittelt wurde.

Die Schersteifigkeit hat von 17.4 kN/mm auf 24.2 kN/mm (Mittelwert, gesamt) zugenommen. Auch hier zeigt sich, daß die Werte im befahrenen Bereich mit 25.5 kN/mm leicht höher sind als im unbefahrenen Bereich mit 21.2 kN/mm.

#### **4.4.2 Auswertung im Überblick**

*Tabelle 5.4.1* zeigt die Resultate der bei 20°C bestimmten maximalen Scherkräfte und Schersteifigkeiten im Überblick, wobei die Entnahmestellen sowohl nach der Mischgutsorte der Deckschicht als auch der Tragschicht geordnet sind. Dabei wurden die bereits für das Forschungsprojekt FA 12/94 ermittelten Daten mit „vorher“, die später, d.h. nach Verkehrsbeanspruchung, ermittelten Daten mit „nachher“ bezeichnet.

Bei allen Daten des FA 12/94 handelt es sich um Mittelwerte aus mindestens 6 Prüfkörpern. Die nach Verkehrseinwirkung ermittelten Werte sind Mittelwerte aus jeweils 5 Prüfkörpern in der Radspur und 5 Prüfkörpern außerhalb der Radspur. Zusätzlich wurde noch der Mittelwert aller 10 Prüfkörper ohne Berücksichtigung ihrer Lage auf der Straße berechnet; er wird mit „gesamt“ bezeichnet. Die Werte der Standardabweichungen sind im Anhang aufgeführt.

*Tabelle 5.4.2* zeigt die Resultate der Hohlraumgehaltsuntersuchungen. Der Hohlraumgehalt bzw. die Raumdichte wurde zwecks besserer Vergleichbarkeit mit den ursprünglich ermittelten Werten wie auch bereits bei der ersten Bohrkernentnahme nach alter Schweizer Norm [7] und nicht nach der seit Januar 2005 in der Schweiz gültigen Norm [8] durchgeführt.

Der Wert der Rohdichte (ehemals Dichte nach alter Schweizer Norm [9]) wurde nicht neu ermittelt, vielmehr wurde der bei der ersten Entnahme ermittelte Wert aus der Mischgutuntersuchung verwendet.

Beim Vergleich der Hohlraumgehalte „vorher“ (erste Entnahme direkt nach Einbau) und „nachher“ (Entnahme nach einer Liegedauer von ca. 10 Jahren) muß im Auge behalten werden, daß die Werte des Hohlraumgehaltes bei der ersten Entnahme jeweils nur an zwei Bohrkernen bestimmt wurden, während der Wert des Hohlraumgehaltes „nachher“ dem Mittelwert aller 10 Bohrkern bzw. den Mittelwerten für jeweils 5 Bohrkern (in und außerhalb der Radspur) entspricht.

Tabelle 5.4.1: Maximale Scherkräfte und "Schersteifigkeiten" bei 20°C für alle noch vorhandenen Entnahmestellen aus FA 12/94

Ent- nahme- stelle Nr.	Material		Maximale Scherkraft [kN] bei 20°C		"Steifigkeit" [kN/mm] bei 20°C	
	Deck- schicht (DS)	1.Trag- schicht (HMT)	vorher gesamt	nachher Radspur Mitte gesamt	vorher gesamt	nachher Radspur Mitte gesamt
2	SMA 11	HMT 32	29.0	28.5 33.0 31.9	16.1	22.8 22.2 22.5
3	SMA 11	HMT 32	28.8	18.5 33.0 27.5	18.9	18.5 23.3 20.9
8	SMA 11	HMT 32	18.9	26.5 26.0 26.2	8.9	17.3 16.2 16.4
5	SMA 11	HMT 22	25.0	33.5 35.6 34.8	16.5	28.5 28.1 28.3
7	SMA 11	HMT 22	19.9	36.2 36.5 36.5	14.1	19.7 21.6 20.8
14	SMA 11	HMT 22	30.2	36.3 34.3 35.3	-	28.5 22.0 25.3
6	SMA 11	HMT 16	23.0	14.37 16.96 15.97	10.8	11.92 13.08 12.50
10	AB 11	HMT 32	16.3	26.9 15.5 21.2	8.5	19.1 17.9 18.5
15	AB 11	HMT32	22.9	14.8 34.3 24.6	11.6	21.2 25.1 23.2
18	AB 16	unbek.	29.1	35.2 30.8 33.0	19.0	24.1 21.0 22.5
19	AB 16	unbek.	27.5	34.8 30.5 32.6	17.4	25.5 21.2 24.2
11	HR 16	HMT 22	30.9	27.9 44.2 35.2	13.5	18.9 24.9 21.9
12	GA 11	GA 16	41.8	44.7 45.3 44.9	16.6	22.1 26.8 24.7
13	DRA 11	AB 16	8.0	14.7 14.4 14.6	5.1	10.7 13.1 11.9

*Tabelle 5.4.2:* Hohlraumgehalt für alle noch vorhandenen Entnahmestellen aus FA 12/94 direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer

Ent- nahme- stelle Nr.	Material		Hohlraumgehalt Vol-%		Hohlraumgehalt Vol-%	
	Deck- schicht (DS)	1.Trag- schicht (HMT)	vorher gesamt	nachher Radspur Mitte gesamt	vorher gesamt	nachher Radspur Mitte gesamt
2	SMA 11	HMT 32	3.5	3.5	5.4	2.8
3	SMA 11	HMT 32	3.4	3.3	3.3	2.4
8	SMA 11	HMT 32	3.1	3.9	5.1	3.1
5	SMA 11	HMT 22	2.5	3.9	4.3	3.2
7	SMA 11	HMT 22	3.4	3.0	3.8	3.3
14	SMA 11	HMT 22	4.0	4.0	4.5	5.1
6	SMA 11	HMT 16	3.4	5.9	3.5	5.4
10	AB 11	HMT 32	4.3	6.0	4.9	3.0
15	AB 11	HMT32	3.2	5.4	5.4	4.1
18	AB 16	unbek.	2.4	3.8	-	3.4
19	AB 16	unbek.	3.4	4.2	-	5.5
11	HR 16	HMT 22	3.5	3.3	4.3	5.5
12	GA 11	GA 16	-	0.8	-	2.3
13	DRA 11	AB 16	-	-	-	7.9

## 4.5 Diskussion

### 4.5.1 Vergleich unterschiedlicher Belagsarten: Schichtenverbund

#### SMA-Deckschichten

Abbildung 5.5.1 zeigt den Vergleich der Scherkräfte bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr (min. 9 Jahre) aller untersuchten Entnahmestellen mit Splittmastixdeckschicht.

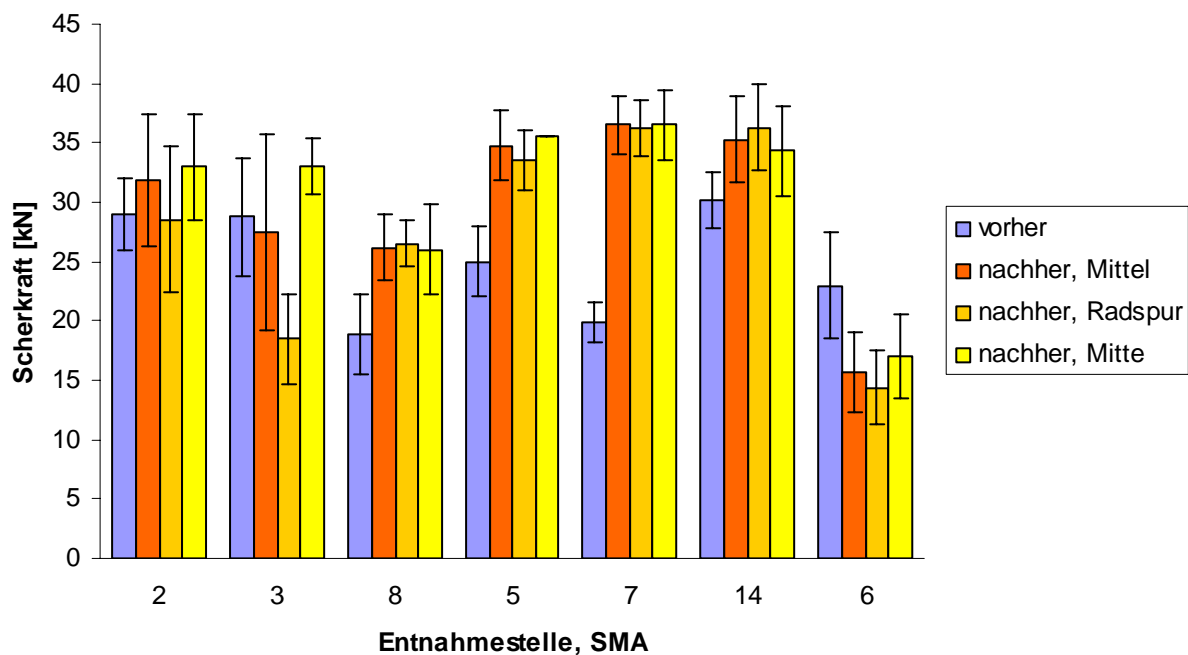


Abbildung 5.5.1: Vergleich der Scherkräfte bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr für alle Entnahmestellen mit Splittmastixasphaltdeckschicht

Alle untersuchten Belagsaufbauten mit SMA-Deckschicht besitzen eine Liegedauer von 9 bis 13 Jahren und können daher gut miteinander verglichen werden. Insgesamt weisen alle untersuchten Strecken, abgesehen von einer Strecke (Entnahmestelle 3), die Spurrinnenbildung zeigte, eine weitgehend intakte Belagsoberfläche auf.

Mit Ausnahme dieser Strecke und der Entnahmestelle 6 konnte in allen Fällen eine leichte (9% bis 14%) bis deutliche (28% bis 45%) Verbesserung des Schichtenverbunds festgestellt werden. Auffallend ist, daß Entnahmestelle 3 außerhalb der Radspur sehr hohe 12.7% über dem ursprünglichen Wert liegende Scherkräfte aufweist. Entnahmestelle 6 ist die einzige Stelle, bei der eine Verschlechterung des Schichtenverbundes (ca. 31%) im Laufe der Zeit festgestellt wurde. Bei dieser Entnahmestelle sind die Unterschiede in und außerhalb der Radspur nicht von Bedeutung und werden durch jeweils einen Ausreißer (Mitte: Ausreißer: höherer Wert, Radspur: Ausreißer: niedrigerer Wert) beeinflusst.

Bei der überwiegenden Mehrheit der Strecken (4 Strecken) ergab sich nur ein geringer Unterschied zwischen dem Wert des Schichtenverbunds im befahrenen Bereich (Radspur) und dem unbefahrenen Bereich, wobei bei 2 Strecken in der Radspur, bei den beiden anderen Strecken außerhalb der Radspur höhere Werte gemessen wurden. Eine, besonders vom Busverkehr belastete innerstädtische Strecke (Entnahmestelle 2), zeigte im Bereich der Radspur einen um ca. 5 kN schlechteren Wert als außerhalb der Radspur.

Die für die Splittmastixdeckschichten ermittelten Daten zeigen, wie auch in einem deutschen Forschungsauftrag [10] festgestellt wurde, daß in der Radspur nicht zwingend eine Verbesserung des Schichtenverbundes erwartet werden kann, ja dass in vielen Fällen sogar das Gegenteil zutrifft.

### AB-Deckschichten

Abbildung 5.5.2 zeigt den Vergleich der Scherkräfte bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr (min. 9 Jahre) aller untersuchten Entnahmestellen mit Asphaltbetondeckschicht.

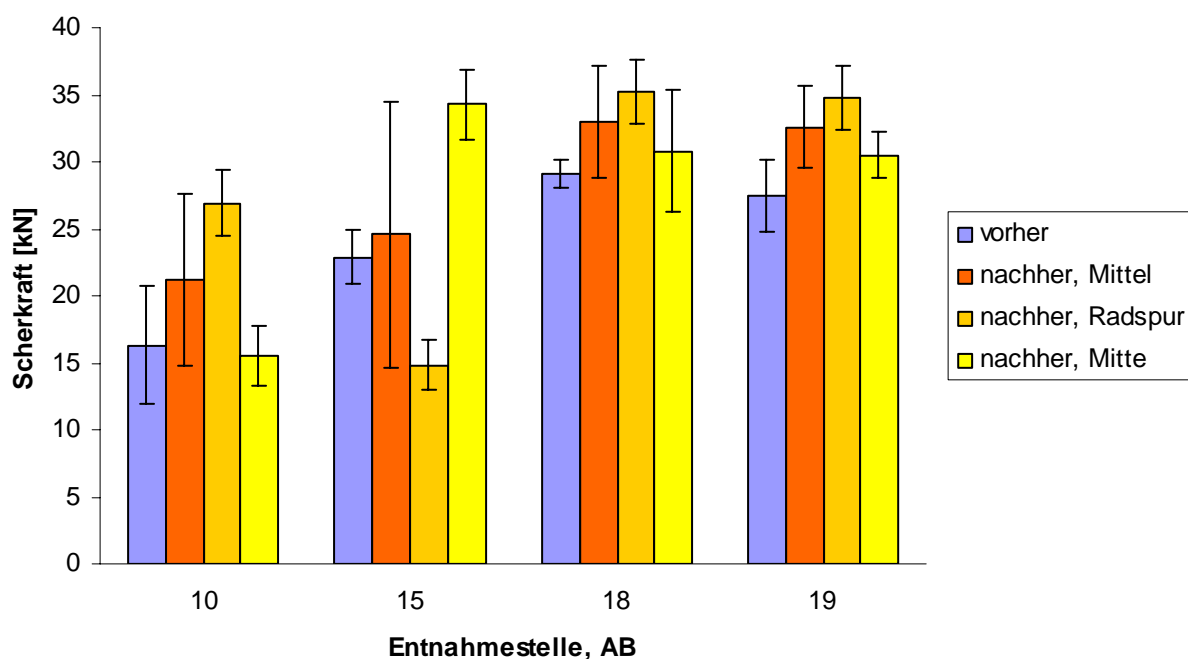


Abbildung 5.5.2: Vergleich der Scherkräfte bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr für alle Entnahmestellen mit Asphaltbetondeckschicht

Alle untersuchten Belagsaufbauten mit AB-Deckschicht besitzen eine Liegedauer von 9 bis 11 Jahren und können daher gut miteinander verglichen werden. Insgesamt weisen alle untersuchten Strecken, abgesehen von einer Strecke (Entnahmestelle 15), die deutliche Risse und

Kornausbrüche zeigte, eine weitgehend intakte Belagsoberfläche auf. Für alle untersuchten Strecken Asphaltbetondeckschicht konnte eine Verbesserung des Schichtenverbundes von knapp 7% bis 23% nach längerer Liegedauer unter Verkehr festgestellt werden. Bei der oben erwähnten Entnahmestelle 15 mit den Kornausbrüchen und Rissen lag der in der Radspur gemessene Wert der Scherkraft daher mit 35% deutlich unter dem direkt nach Einbau bestimmten Wert, während außerhalb der Radspur ein fast 33% höherer Wert als direkt nach dem Einbau ermittelt wurde. Bei allen anderen Entnahmestellen war im Unterschied zu den Entnahmestellen mit SMA-Deckschicht die Zunahme des in der Radspur gemessenen Wertes mit 17% bis 39% wesentlich deutlicher als diejenige außerhalb der Radspur, wo die Zunahme nur ca. 5% bis 10% betrug.

### Übrige-Deckschichten

Abbildung 5.5.3 zeigt den Vergleich der Scherkräfte bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr (min. 9 Jahre) für die untersuchten Entnahmestellen mit Hot Rolled Asphalt-, Gußasphalt- und Drainasphaltdeckschicht.

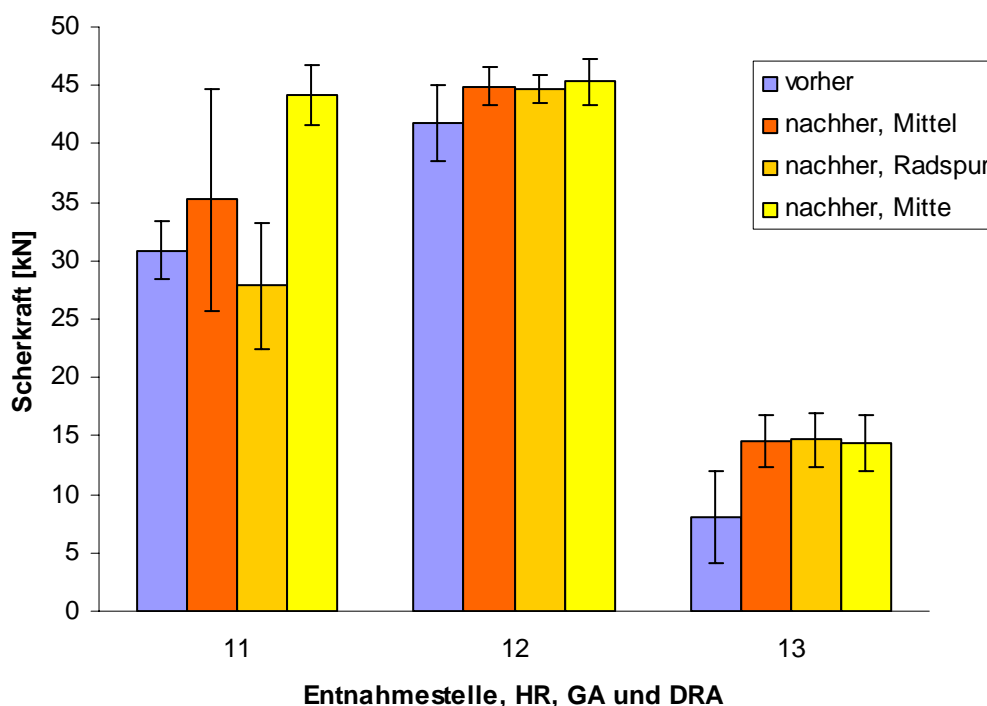


Abbildung 5.5.3: Vergleich der Scherkräfte bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr für alle Entnahmestellen mit Hot Rolled Asphalt-, Gussasphalt- und Drainasphaltdeckschicht.

Die untersuchten Belagsaufbauten besitzen eine Liegedauer von 13, 12 und 10 Jahren und weisen alle eine intakte Belagsoberfläche auf. Insgesamt ergibt sich für alle drei Entnahme-

stellen eine Verbesserung des Schichtenverbundes um 12.2%, 6.9% und 45.2%. Im Fall der Gußasphalt und der Drainasphaltentnahmestelle gibt es praktisch keinen Unterschied zwischen den in der Radspur und den außerhalb der Radspur ermittelten Werten. Für die Entnahmestelle mit Hot Rolled Asphalt liegt der Wert des Schichtenverbundes außerhalb der Radspur 30% über dem ursprünglichen Wert, während in der Radspur eine Verbesserung um knapp 10% gemessen wurde.

#### 4.5.2 Vergleich unterschiedlicher Belagsarten: Steifigkeit

##### SMA-Deckschichten

Abbildung 5.5.4 zeigt den Vergleich der Steifigkeiten bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr (min. 9 Jahre) aller untersuchten Entnahmestellen mit Splittmastixdeckschicht. (Für Entnahmestelle 14 wurde kein Ausgangswert bestimmt).

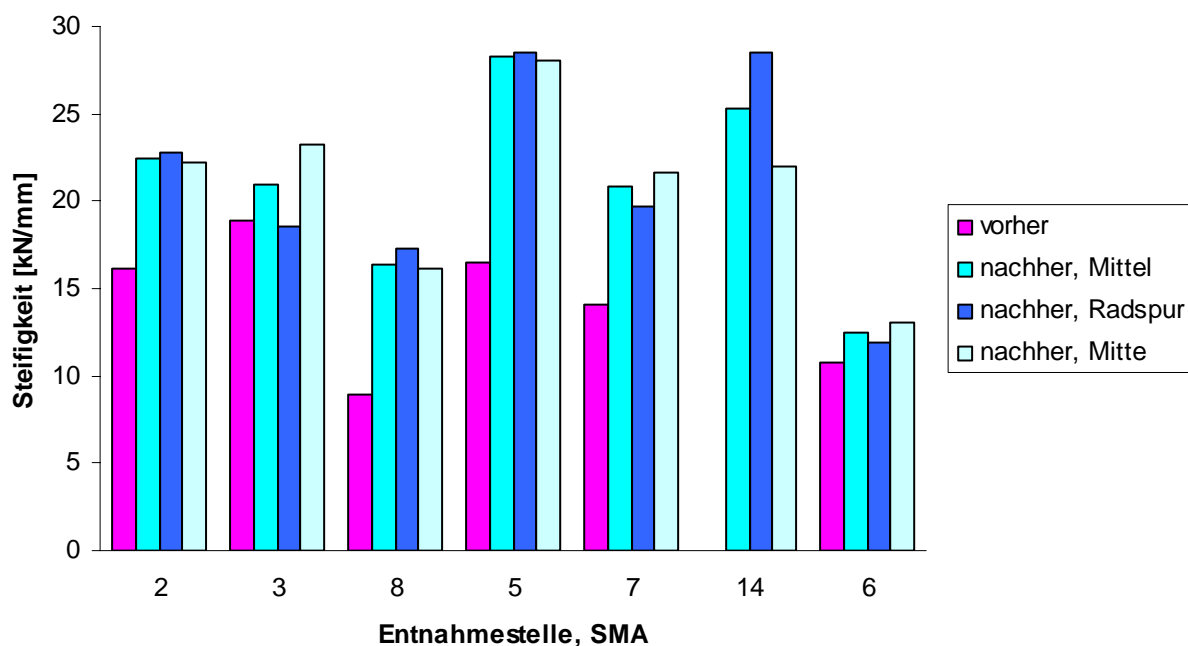


Abbildung 5.5.4: Vergleich der Steifigkeiten bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr für alle Entnahmestellen mit Splittmastixasphaltdeckschicht

Wie aus der Abbildung eindeutig hervorgeht, nimmt der Wert der Steifigkeit im Laufe der Jahre deutlich, d.h. um 9% bis 45% zu. Inwieweit sich die Lage der Bohrkerne – in oder außerhalb der Radspur - auf die Steifigkeit auswirkt, läßt sich nicht sagen, da teilweise die Steifigkeit in der Radspur, teilweise jene außerhalb der Radspur größer ist.

Bemerkenswert ist, daß die Steifigkeitszunahme der Entnahmestellen 3 und 6, bei denen der Wert der Scherkraft in der Radspur bzw. insgesamt im Laufe der Zeit niedriger geworden ist, am geringsten ist.



### AB-Deckschichten

Abbildung 5.5.5 zeigt den Vergleich der Scherkräfte bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr (min. 10 Jahre) aller untersuchten Entnahmestellen mit Asphaltbetondeckschicht.

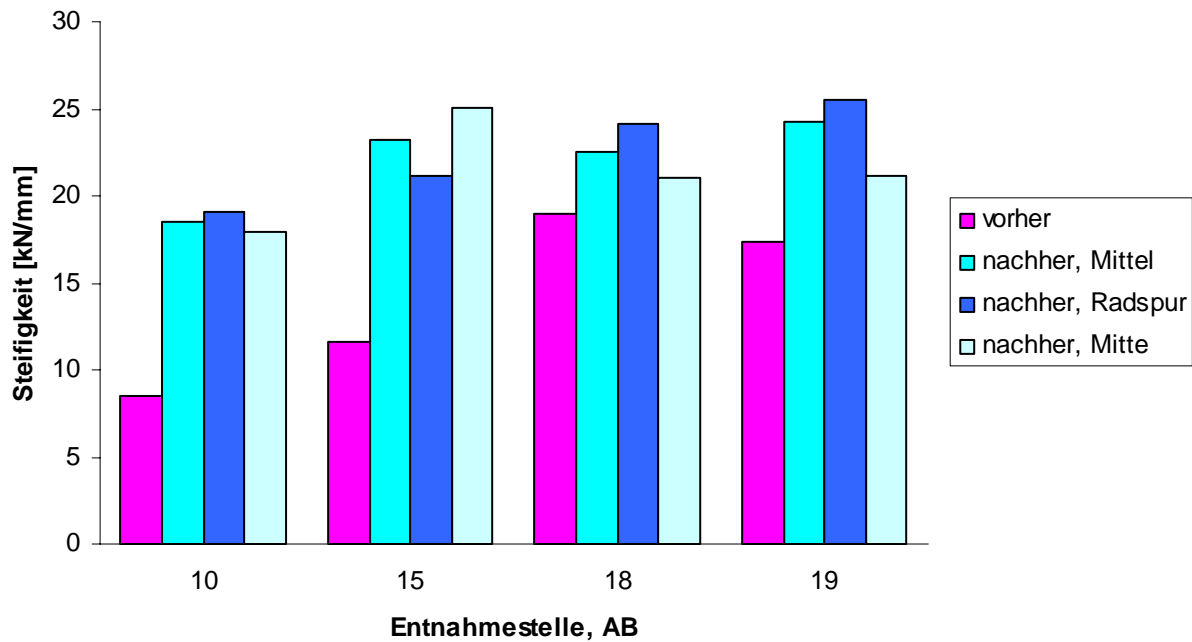


Abbildung 5.5.5: Vergleich der Steifigkeiten bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr für alle Entnahmestellen mit Asphaltbetondeckschicht

Ebenso wie für die Splittmastixasphaltdeckschichten, gilt auch für die Asphaltbetondeckschichten die Aussage, daß die Steifigkeit nach längerer Liegedauer eindeutig zunimmt. Insgesamt werden Zunahmen zwischen 15% und mehr als 54% gemessen. Eine Unterscheidung zwischen in und außerhalb der Radspur ist dabei nicht möglich.

### Übrige-Deckschichten

Abbildung 5.5.6 zeigt den Vergleich der Steifigkeiten bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr (min. 9 Jahre) für die untersuchten Entnahmestellen mit Hot Rolled Asphalt-, Gußasphalt- und Drainasphaltdeckschicht.

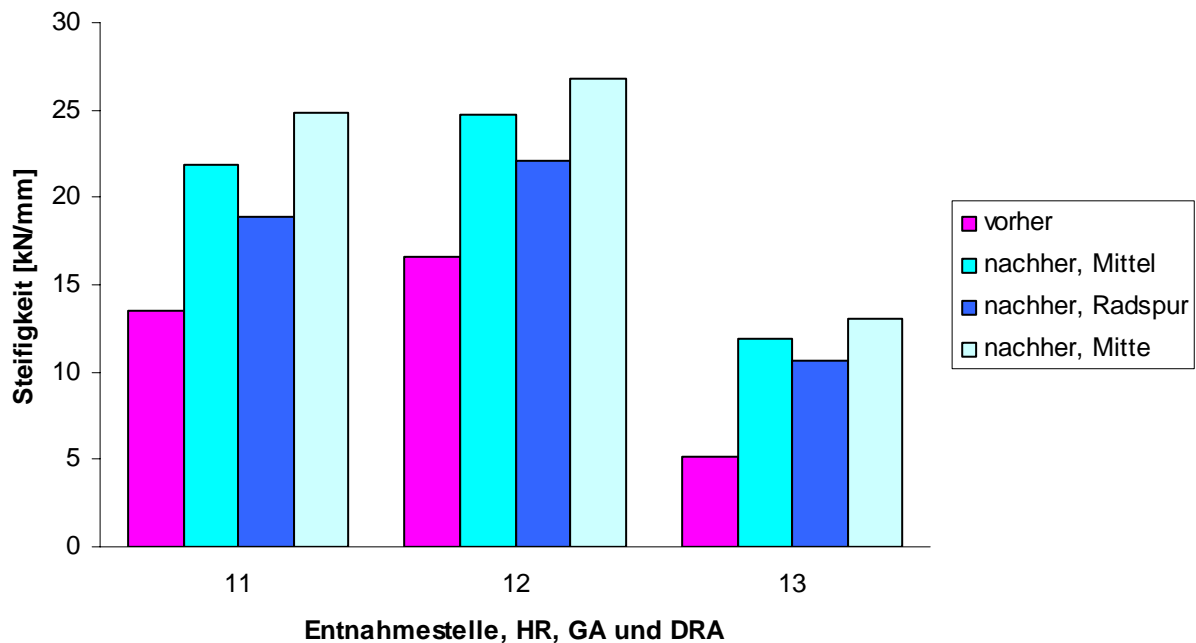


Abbildung 5.5.6: Vergleich der Steifigkeiten bei 20°C direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr für alle Entnahmestellen mit Hot Rolled Asphalt-, Gußasphalt- und Drainasphaltdeckschicht.

Auch hier zeigt sich die bereits bei den anderen Entnahmestellen festgestellte Zunahme der Steifigkeit im Laufe der Zeit. Die Zunahmen betragen 38%, 33% und 57%. Bei allen Entnahmestellen ist die Zunahme außerhalb der Radspur größer als diejenige in der Radspur.

#### 4.5.3 Vergleich unterschiedlicher Belagsarten: Hohlraumgehalt

In Abbildung 5.5.7 sind die ermittelten Hohlraumgehalte direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr für die untersuchten Entnahmestellen dargestellt.

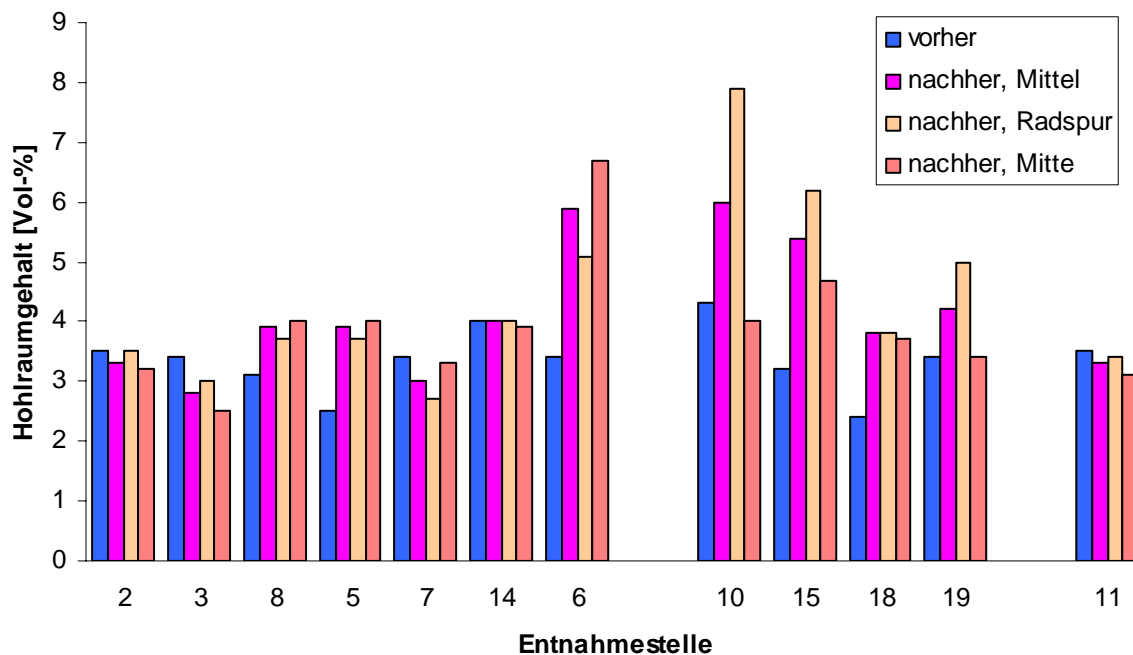


Abbildung 5.5.7: Vergleich der Hohlraumgehalte direkt nach Einbau und nach längerer Liegedauer unter Verkehr für alle Entnahmestellen

Entgegen der Erwartung ist der ermittelte Hohlraumgehalt bei 7 Entnahmestellen (Entnahmestellen 8, 5, 6, 10, 15, 18 und 19) höher als vor einer Verkehrsbeanspruchung. Nur bei 4 der untersuchten Entnahmestellen (Entnahmestellen 2, 3, 7, und 11) hat wartungsgemäß eine Verdichtung durch den Verkehr stattgefunden, während bei einer weiteren Entnahmestelle (Entnahmestelle 14) sich der Hohlraumgehalt praktisch nicht verändert hat.

Wie bereits in *Kapitel 5.4* beschrieben, wurden die Werte des Hohlraumgehaltes bei der ersten Entnahme jeweils nur an zwei Bohrkernen bestimmt und ihre absolute Gültigkeit muß daher in Zweifel gezogen werden.

Weiterhin ist erstaunlich, daß nur bei einem kleinen Teil aller Entnahmestellen die Werte in der Radspur niedriger sind als diejenigen außerhalb der Radspur. Auch diese Feststellung läßt sich nur teilweise dadurch erklären, daß es Überschneidungen zwischen beiden Bereichen gibt. Selbst bei Entnahmestelle 11, wo die Entnahmestelle „Mitte“ bzw. außerhalb der Radspur eindeutig im unbefahrenen Bereich lag, ergeben sich trotzdem in der Radspur höhere Werte.

#### 4.5.4 Vergleich der Verkehrsbelastung

Table 5.5.1 gibt einen Überblick über die Verkehrsbelastung der einzelnen Entnahmestellen. Die Angaben sind den Schweizerischen Verkehrszählungen 2005 und 1995 entnommen [11], [12]. Da einige der Straßen weder auf Autobahnen lagen, noch sich in der Nähe von Zählstellen befanden, konnten hier keine Angaben über die Verkehrsbelastung gemacht werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, daß die Belastungen der entsprechenden Strecken nicht übermäßig hoch waren.

Table 5.5.1 gibt den Wert des durchschnittlichen Tagesverkehrs in Fahrzeugen pro Tag DTV und den Anteil an schweren Sachtransportfahrzeugen, d.h. an Lastwagen (Gesamtgewicht > 3.5t) sowie Lasten- und Sattelschleppern (Gesamtgewicht > 3.5t) in % an.

Table 5.5.1: Verkehrsbelastung der einzelnen Entnahmestellen

Entnahmestelle	DTV 2005 (DTV Baujahr bzw. 1995)	Anteil der schweren Sachtransportfahrzeuge (Lastwagen und Sattelschlepper) [%]	Bemerkung
2	-	Hohe Busbelastung	Keine Angabe
3	18'350 (15'700)	9.8	Angabe: Zählstelle 108 Grenzübergang A35
5	32'700 (keine Angabe)	7.6	A3 wurde erst 1995 eröffnet
6	94'990 (70'760)	4.4	
7	19'800 (12'500 Bau)	4.4	
8	31'450 (18'100)	5.5	Angabe: Zählstelle ASTRA 139
14	28'050 (17'400)	5.8	
10	77'890 (65'800)	11.1	
15	64'230 (50'700)	8.2	
18	-	-	Keine Angabe
19	-	-	Keine Angabe
11	6'800 (6'000)	2.6	Angabe: Zählstelle AG 19 Aarau W.
12	32'700 (keine Angabe)	7.6	A3 wurde erst 1995 eröffnet
13	31'500 (24'200 Bau)	4.6	

## 5 UNTERSUCHUNG AN BOHRKERNEN AUS RUNDLAUF, PROJEKT U2000

### 5.1 Probenmaterial

Im Rahmen des Projektes U2000 [2] wurden unterschiedliche Materialien auf der Rundlaufanlage eingebaut und über einen gewissen Zeitraum beansprucht. Auch wenn von den hier eingebauten Materialien keine Ausgangswerte des Schichtenverbundes ermittelt worden waren, so eignete sich das Material wegen der hier vorliegenden kanalisiertem Verkehrsführung sehr gut zur Untersuchung der Unterschiede des Schichtenverbundes zwischen belasteten (Radspur) und unbelasteten Bereichen.

Das Material wurde in fünf Feldern mit einer Länge von je ca. 20 m eingebaut. Die Aufteilung der Felder ist in *Abbildung 6.1.1* dargestellt, der Belagsaufbau der Felder ist in *Tabelle 6.1.1* angegeben.

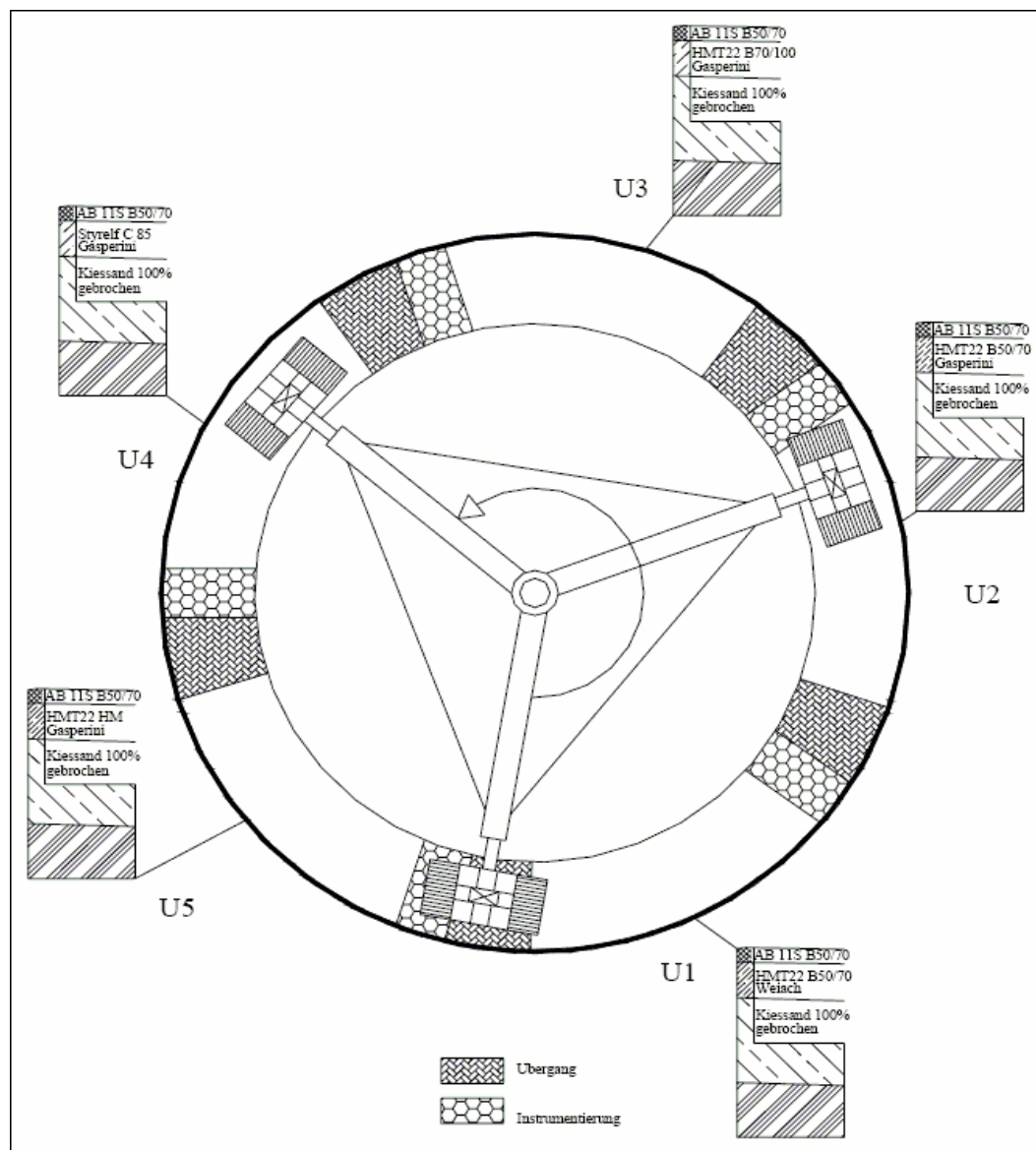


Abbildung 6.1.1: Skizze: Aufteilung der fünf Versuchsfelder auf der Rundlaufanlage

Tabelle 6.1.1: Belagsaufbau der Felder Rundlauf, U2000 [2]

Felder	Mischgut	
	Deckschicht	1. Tragschicht
U1	AB 11S B50/70	HMT 22S B50/70
U2	AB 11S B50/70	HMT 22S B50/70
U3	AB 11S B50/70	HMT 22S B70/100
U4	AB 11S B50/70	HMT 22S Styrelf C85
U5	AB 11S B50/70	HMT 22S EME 2

Wie in der Tabelle ersichtlich, sind alle Deckschichten aus Asphaltbeton AB 11 (heute: AC 11) weitgehend identisch, sie unterscheiden sich nur durch die verwendete Kiessorte (Feld 1: Weiach, Felder 2 bis 5: Gasperini). Die Heißmischfundationsschichten HMT (heute AC T) unterscheiden sich aufgrund des Bindemittels, hier wurden ebenfalls für Feld 1 Mineralstoffe aus Weiach verwendet. Außerdem handelt es sich in Feld 5 um eine Tragschicht mit erhöhtem Modul EME.

Genauere Angaben über Mischgutzusammensetzung und Verkehrsbeanspruchung sind im Bericht [2] enthalten.

## 5.2 Resultate und Auswertung

Tabelle 6.2.1 und Abbildung 6.2.1 zeigen die maximalen Scherkräfte bei 20°C für alle Rundlauffelder.

Mit Mittelwerten zwischen 36.6 kN und 45 kN werden insgesamt sehr hohe Scherkräfte gemessen, wobei angemerkt werden muß, daß die Prüfung der Bohrkerns nicht direkt nach der Entnahme, sondern nach mehr als einem Jahr Lagerung erfolgte.

Ein Vergleich der einzelnen Felder zeigt, daß die Resultate für Feld 1 und Feld 2, die abgesehen vom Mineralstoff eine identische Zusammensetzung besitzen, mit 38 kN und 36 kN sehr gut übereinstimmen. Feld 3 mit dem etwas weicherem Bindemittel in der Tragschicht ergibt mit knapp 42 kN einen leicht höheren Wert, der auch dem für Feld 5 ermittelten Wert von 43 kN entspricht. Den höchsten Wert von 45 kN erhält man mit dem polymermodifizierten Bindemittel aus Feld 4.

Insgesamt zeigt diese Untersuchung gut den zu erwartenden Unterschied von höheren Scherkräften in und niedrigeren Scherkräften außerhalb der Radspur.

Tabelle 6.2.1: Maximale Scherkräfte bei 20°C für alle Rundlauffelder [2]

Feld Nr.	Material		Maximale Scherkraft [kN] bei 20°C
	Deck-schicht (DS)	1.Trag-schicht (HMT)	
U1	AB 11	HMT 22	Radspur Mitte gesamt 43.0 35.0 38.6
U2	AB 11	HMT 22	44.1 30.6 36.6
U3	AB 11	HMT 22	47.5 37.4 41.9
U4	AB 11	HMT 22	49.6 41.5 45.1
U5	AB 11	HMT 22	43.5 43.0 43.3

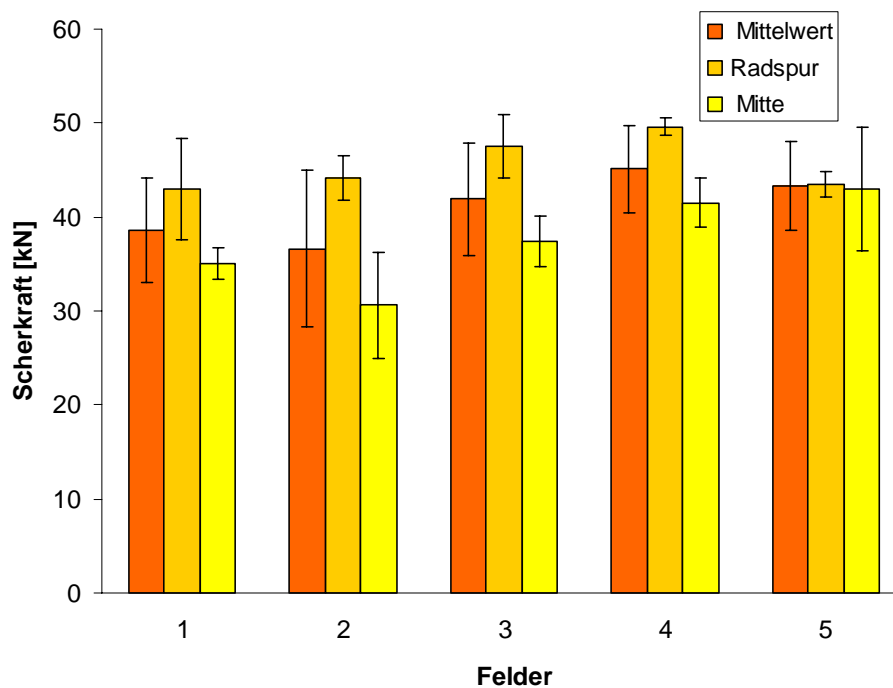
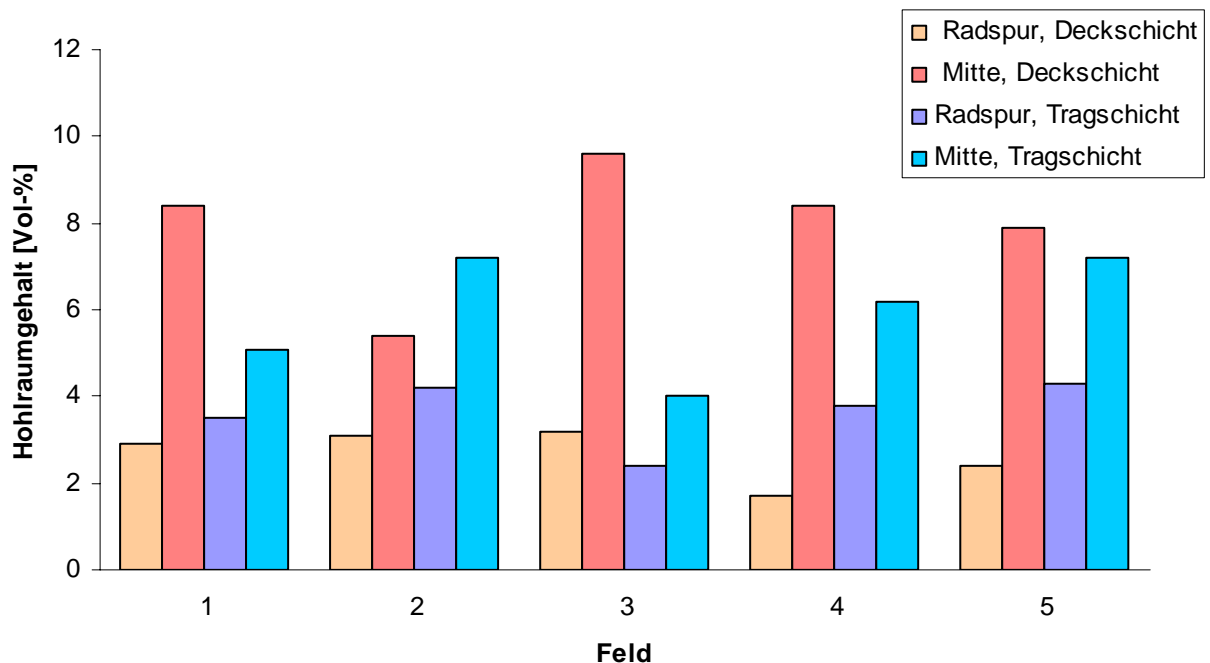


Abbildung 6.2.1: Maximale Scherkräfte bei 20°C für alle Rundlauffelder

In *Tabelle 6.2.2* und *Abbildung 6.2.2* ist der mittlere Hohlraumgehalt der ersten und zweiten Schicht für alle Rundlauffelder dargestellt.

*Tabelle 6.2.2:* Mittlerer Hohlraumgehalt für alle Rundlauffelder [2]

Feld Nr.	Material		Hohlraumgehalt [Vol-%] Deckschicht	Hohlraumgehalt [Vol-%] 1. Tragschicht
	Deck- schicht (DS)	1.Trag- schicht (HMT)	Radspur Mitte	Radspur Mitte
U1	AB 11	HMT 22	2.9 8.4	3.5 5.1
U2	AB 11	HMT 22	3.1 5.4	4.2 7.1
U3	AB 11	HMT 22	3.2 9.6	2.4 4.0
U4	AB 11	HMT 22	1.7 8.4	3.8 6.2
U5	AB 11	HMT 22	2.4 7.9	4.3 7.2



*Abbildung 6.2.2:* Mittlerer Hohlraumgehalt für alle Rundlauffelder [2]

Der Hohlraumgehalt ergibt für beide Schichten (Deck- und Tragschicht) deutlich niedrigere Werte in der Radspur im Vergleich mit außerhalb der Radspur und damit gut die erwartete



Nachverdichtung durch den Verkehr. Wobei allerdings angemerkt werden muß, daß die Verdichtung im Rundlauf keine einfache Aufgabe darstellt und insbesondere die Randbereiche, aus denen die im unbelasteten Bereich (d.h. außerhalb der Radspur) entnommenen Bohrkerne stammen, eine schlechtere Verdichtung aufweisen.

## **6 SCHLUßFOLGERUNGEN**

### **6.1 Beobachtung an Strecken aus FA 12/94**

#### **6.1.1 Einfluß der Nutzungsdauer auf die Scherkraft**

Im Vergleich mit der Situation direkt nach dem Einbau konnte für die Werte der Verbundscherkraft zwischen Deckschicht und 1. Tragschicht nach einer Nutzungsdauer von 9 bis 13 Jahren eine leichte (min. 7%) bis starke (45%) Zunahme festgestellt werden.

Von allen 14 untersuchten Entnahmestellen gab es nur bei zwei Entnahmestellen eine Abnahme des Wertes der mittleren Scherkraft um 4.5% bzw. 32%. Während der Belag der einen Entnahmestelle (Entnahmestelle 3) starke Spurrinnenbildung aufwies und außerhalb der Radspur eine Zunahme der Scherkraft gegenüber dem ursprünglichen Wert verzeichnete, ließ sich für die andere Stelle (Entnahmestelle 6), optisch kein Grund für die Abnahme der Scherkraft im Laufe der Nutzungsdauer finden.

Ein signifikanter Unterschied zwischen Scherkräften in und außerhalb der Radspur konnte nicht in allen Fällen festgestellt werden. In vielen Fällen sind die Unterschiede vernachlässigbar, im Fall der Strecken mit SMA-Deckschicht gab es Strecken, bei denen der Wert in der Radspur, andere bei denen derjenige außerhalb größer war. Einzig bei den Asphaltbetondeckschichten ergab sich mit 17% bis 39% eine wesentlich deutlichere Zunahme innerhalb der Radspur als außerhalb der Radspur, wo die Zunahme nur ca. 5% bis 10% betrug.

Sobald die Deckschicht Probleme, wie Spurrinnenbildung oder Risse aufweist oder aber im Bereich der Radspur im Vergleich mit dem Bereich außerhalb der Radspur extrem stärker beansprucht wird, ist die Scherkraft nach Nutzungsdauer insgesamt und/oder in der Radspur deutlich geringer als diejenige direkt nach dem Einbau.

#### **6.1.2 Einfluß der Nutzungsdauer auf die Steifigkeit**

Bei allen untersuchten Strecken nimmt die Steifigkeit im Verlauf der Nutzungsdauer von 9 bis 13 Jahren zwischen 15% und 57% zu. Ein signifikanter Unterschied zwischen der Zunahme der Steifigkeit innerhalb und außerhalb der Radspur konnte nicht festgestellt werden, d.h. in einigen Fällen ist die Schersteifigkeit innerhalb höher als außerhalb; manchmal ist der Unterschied vernachlässigbar. Wieder gilt aber auch für die Steifigkeit, daß bei Problemen der Deckschicht, wie Spurrinnenbildung oder Risse, die Steifigkeit im Bereich der Radspur niedriger ist, als diejenige außerhalb der Radspur.

Interessant ist weiterhin, daß die Steifigkeitszunahme der beiden Entnahmestellen, bei denen der Wert der Scherkraft in der Radspur bzw. insgesamt im Laufe der Zeit niedriger geworden ist, am geringsten ist.

### **6.1.3 Einfluß des Hohlraumgehalts**

Nicht zuletzt aufgrund der geschilderten Schwierigkeit mit der Auswertung des vergleichenden Hohlraumgehalts (Bestimmung des Hohlraumgehaltes direkt nach Einbau basiert auf nur zwei Werten), kann die durch den Verkehr stattfindende Nachverdichtung nicht eindeutig festgestellt werden. Auch ein Vergleich des in der Radspur und außerhalb der Radspur bestimmten Hohlraumgehaltes widerlegt mit teilweise größeren Werten außerhalb der Radspur sogar die Annahme einer stärkeren Nachverdichtung in der Radspur. Eine Feststellung, die sich nur teilweise durch eine Überschneidungen zwischen beiden Bereichen erklären läßt, da selbst bei einer Entnahmestelle, bei der der Bereich außerhalb der Radspur eindeutig im unbefahrenen Bereich lag, sich trotzdem in der Radspur höhere Werte ergaben.

### **6.1.4 Einfluß der Verkehrsbelastung**

Wie die Aufstellung der Verkehrsbelastung (siehe Kapitel 5.54) zeigt, ist die Belastung der einzelnen Strecken sehr unterschiedlich. Ebenso unterschiedlich ist der Anteil an schweren Sachtransportfahrzeugen (Lastwagen, Last- und Sattelschlepper) mit Werten zwischen 2.6 und 11%.

Besonders stark belastet sind Entnahmestellen 6, 10 und 15, wobei die am stärksten vom Schwerverkehr belastete Stelle Entnahmestelle 10 ist. Eine Betrachtung der 3 Stellen macht deutlich, daß die hohen Schwerverkehrsbelastungen schon zu Problemen mit dem Schichtenverbund führen können. Entnahmestelle 15 weist deutliche Belagsschäden und in der Radspur deutlich verminderte Scherkräfte auf. Auch Entnahmestelle 10 hat außerhalb der Radspur niedrigere Scherkräfte als direkt nach Einbau. Entnahmestelle 6 ist die einzige Stelle, bei der eine Abnahme der Scherkraft gegenüber dem Wert direkt nach Einbau festgestellt wurde, obwohl die Belagsoberfläche äußerlich intakt zu sein schien.

Auch Entnahmestelle 3, bei welcher Spurrinnenbildung und eine Abnahme des Schichtenverbundes in der Radspur gegenüber dem ursprünglichen Wert festgestellt wurde, besitzt für eine städtische Straße einen sehr hohen Schwerverkehrsanteil. Entnahmestelle 2, für die keine Angabe gemacht werden konnte, befindet sich in der Nähe einer Bushaltestelle und wird durch den Bus stark belastet.

## 6.2 Beobachtung am Rundlauf (U2000)

Abgesehen von einem Feld, in dem praktisch kein Unterschied festzustellen war, zeigt diese Untersuchung gut den zu erwartenden Unterschied von höheren Scherkräften in und niedrigeren Scherkräften außerhalb der Radspur. Auch die Bestimmung des Hohlraumgehalts ergibt für beide Schichten (Deck- und Tragschicht) deutlich niedrigere Werte in der Radspur im Vergleich mit außerhalb der Radspur und zeigt damit gut die erwartete Nachverdichtung durch den Verkehr.

## 7 UMSETZUNG UND EMPFEHLUNGEN

Grundsätzlich werden die bisherigen Normen und die darin enthaltenen Anforderungen im Hinblick auf den Schichtenverbund durch die Ergebnisse der Forschung bestätigt.

Der Schichtenverbund eines intakten Belages verbessert sich in der Regel im Laufe von etwa 10 Jahren zwischen 10% und ca. 30%. Grundsätzlich ist der Prozentsatz der Verbesserung der Scherkraft aber auch abhängig vom Ausgangswert. Insbesondere bei hohen Anfangsscherkräften können nur geringe (siehe Entnahmestelle 12 mit Gußasphalt/Mastixasphalt mit nur 6.9% Zunahme) bzw. bei niedrigen Ausgangswerten (siehe Entnahmestelle 13 mit Drainasphalt/Offenporigem Asphalt mit 45% Zunahme) sehr hohe Zunahmen erreicht werden.

Die Umsetzung der Erkenntnisse sollte in den Normenkommissionen diskutiert und das positive Langzeitverhalten kann eventuell auch bei der Festlegung von Anforderungswerten berücksichtigt werden, wobei hier, wie unten in Kapitel 9 ausgeführt, sicher noch Forschungsbedarf besteht.

Die Ergebnisse der Forschung legen nahe, daß im Fall der Planung von Unterhaltsarbeiten, z.B. bei der Sanierung von Belägen mit Oberflächenbehandlungen oder Dünnschichtbelägen, der Schichtenverbund vorgängig untersucht werden sollte, um sicherzustellen, daß das Belagspaket noch ausreichende Ermüdungsfestigkeit besitzt. Dies gilt besonders, wenn die zu sanierenden Beläge bereits Schädigungen aufweisen. Dabei kann ein Unterschied von ca. 40% zwischen dem Wert in der Radspur und demjenigen außerhalb der Radspur als Warnwert und Hinweis auf eine mögliche Schädigung des Belags betrachtet werden.

## 8 FORSCHUNGSBEDARF

Auch wenn sich eine grundsätzliche Verbesserung des Schichtenverbundes im Laufe der Zeit gezeigt hat, bleibt doch die Frage nach Grenzwerten, d.h. wie hoch muß der Anfangswert sein, damit es zu einer Verbesserung kommt, für bestimmte Belagssorten unbeantwortet. Gerade das Beispiel der überproportionalen Zunahme der Scherkräfte im Fall der Entnahmestelle 13 mit DRA (PA) zeigt, was bei gutem Belagsverhalten möglich ist, wirft aber die Frage auf, was im umgekehrten Falle passieren kann.

Weiterhin wurden im Projekt Strecken auf Autobahnen und sehr hoch belasteten Straßen untersucht. Wie sich die Situation auf Gemeinde- und Kantonsstraßen mit geringerer Belastung und dünnerem Aufbau darstellt, ist dagegen noch nicht erforscht.

In weiteren Forschungsprojekten könnten die Untersuchungen für spezielle Beläge erweitert werden: So sind sicher offenporige Beläge wie Drainasphalt oder Rauasphalte noch zu wenig erforscht (in der Untersuchung ist nur ein offenporiger Belag enthalten) und auch zur Bestimmung des Langzeitverhaltens von Belägen mit Zwischenschichten (SAMI-Schichten) ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

Die im Forschungsprojekt untersuchten Strecken befanden sich weitgehend auf geraden Streckenabschnitten, wie sich das Langzeitverhalten für Strecken mit Steigung oder Gefälle, in Kurven oder Kreiseln, d.h. für besonders schubgefährdete Bereiche, darstellt, ist eine Frage, die zukünftige Forschungsprojekte beantworten müssen.

## 9 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] C. Raab, M.N. Partl, Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen. Bericht Nr. 442, (1999)
- [2] C. Rabaiotti, M. Caprez, Unterhalt 2000, Forschungspaket 4: Dauerhafte Beläge, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen. März 2006, FA 2000/422.
- [3] U. Stöckert: Schichtenverbund – Prüfung und Bewertungshintergrund, Fachartikel in Straße + Autobahn, 11/2001, (2001)
- [4] U. Stöckert: Ein Beitrag zur Festlegung von Grenzwerten für den Schichtenverbund im Asphaltstraßenbau, Dissertation, TU Darmstadt, (2002)
- [5] R. Leutner: *Untersuchungen des Schichtenverbunds beim bituminösen Oberbau*. Fachartikel. Bitumen 3/1979
- [6] Schweizer Norm SN 640 431b: *Asphaltbetonbeläge, Konzeption, Anforderungen, Ausführungen*. Verein Schweizerischer Straßenfachleute VSS, Zürich, 1997
- [7] Schweizer Norm SN 671 967a: Bituminöses Mischgut, Rohdichte, Berechnen des Hohlraumgehalts, Verein Schweizerischer Straßenfachleute VSS, Zürich, 1971
- [8] Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphaltprobekörpern. SN EN 12967-6.
- [9] Schweizer Norm SN 671 965a: Bituminöses Mischgut, Dichte, Verein Schweizerischer Straßenfachleute VSS, Zürich, 1971.
- [10] S. Böhm, V. Root, T. Wolf, Einfluß des Schichtenverbundes auf die Nutzungsdauer von Asphaltbefestigungen, Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Straße und Autobahn, Heft 7/2006.
- [11] Schweizerische Straßenverkehrszählung 2005, Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Straßen ASTRA , Bundesamt für Statistik BFS, Bern, 2006
- [12] Schweizerische Straßenverkehrszählung 1995, Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Straßenbau, Bundesamt für Statistik BFS, Bern, 1996

## 10 DANK

Allen Mitarbeitern der Abteilung *Straßenbau/Abdichtungen*, insbesondere Herrn R. Takacs, Herrn C. Meierhofer, Herrn M. Erb und Herrn H. Kienast, die bei der Durchführung der Untersuchungen, den Bohrkernentnahmen, aber auch mit Ideen und Ratschlägen geholfen haben, sei hier herzlich gedankt. Unser besonderer Dank gilt allen Mitarbeitern der Schweizer Kantone Aargau, Basel Stadt, Solothurn, St. Gallen, Wallis und Zürich, die diese Forschungsarbeit mit großer Hilfsbereitschaft und Entgegenkommen unterstützt und somit erst ermöglicht haben. Dem schweizerischen Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS und dem Bundesamt für Straßen ASTRA danken wir sehr für die finanzielle Unterstützung.

---

Dübendorf, 24. Juli 2007

EMPA Dübendorf  
Straßenbau/Abdichtungen

Die Projektleiterin

C. Raab

Der Abteilungsleiter

Dr. M. N. Partl

## 11 ANHANG: ABKÜRZUNGEN

In diesem Bericht verwendete Abkürzungen:

A	Fläche
AB	Asphaltbeton (neu: AC)
AC	Asphalt Concrete
AC T	Asphalt Concrete Tragschicht
ASTRA	Bundesamt für Straßen (CH)
d	Durchmesser, Plattendicke
DS	Deckschicht
DRA	Drainasphalt (neu: PA)
FA	Forschungsauftrag
$F_{max}$	Maximalkraft
F	Kraft
GA	Gußasphalt (neu: MA)
h	Höhe
HMT	Heißmischtragschicht (neu: AC T)
HR	Hot Rolled Asphalt
LPDS	Lagen- Paralleler-Direkter-Schub
MA	Mastix Asphalt (Gußasphalt)
QS	Qualitätssicherung
PA	Porous Asphalt (offenporiger Asphalt, Drainasphalt)
r	Radius
s	Standardabweichung
$S_{max}$	max. "Schersteifigkeit"
SAMI	Stress Absorbing Membrane Interlayer
SMA	Splittmastixasphalt
SN	Schweizer Norm (CH)
SOP	Standard Operating Procedure
TS	Tragschicht
$\tau$	Schubspannung
U2000	Unterhalt 2000, Forschungspaket
VSS	Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute



**12 ANHANG: MAXIMALE SCHERKRÄFTE UND "-STEIFIGKEITEN" (EINZELWERTE)**

Tabelle 13.1: Maximale Scherkräfte der Entnahmestellen 2 bis 7 bei 20°C

Entnahmestelle Nr.		2	3	5	6	7
Material	Deckschichtsorte Tragschichtsorte	SMA 11 HMT 32	SMA 11 HMT 32	SMA 11 HMT 22	SMA 11 HMT 16	SMA 11 AB 16 (alte Norm)
Scherkräfte [kN]		Radspur Mitte	Radspur Mitte	Radspur Mitte	Radspur Mitte	Radspur Mitte
		27.73 23.70 24.80 39.10 27.00  38.17 35.03 29.50 27.13 34.30	21.13 16.10 17.47 23.57 14.10  30.20 32.17 35.40 35.40 31.80	36.57 30.57 35.53 33.43 31.53  36.00 39.03 36.60 35.83 30.43	15.84 15.27 15.61 8.76 16.38  17.48 13.21 14.93 16.56 22.62	39.11 35.20 33.60 34.80 38.23  41.37 36.47 36.10 34.90 33.67
Steifigkeit [kN/mm]		Radspur Mitte	Radspur Mitte	Radspur Mitte	Radspur Mitte	Radspur Mitte
		24.34 22.55 20.45 18.38 21.62  27.64 22.55 20.45 18.38 21.62	20.13 17.59 17.90 20.08 16.78  22.33 26.88 20.76 21.32 25.43	28.88 31.25 26.48 25.53 30.13  34.00 27.25 25.94 29.74 23.66	13.51 13.83 13.99 6.86 11.41  14.79 9.77 10.76 11.55 18.55	19.70 19.90 19.39 19.57 20.06  23.29 21.51 21.23 20.79 21.06

Tabelle 13.2: Maximale Scherkräfte der Entnahmestellen 8 bis 12 bei 20°C

Entnahmestelle Nr.		8	10	11	12	13
Material	Deckschichtsorte Tragschichtsorte	SMA 11 HMT 32	AB 11 HMT32	HR16 HMT 22	GA 11 GA 16	DRA 11 HMT 16
Scherkräfte [kN]		Radspur Mitte 28.81 23.68 25.82 27.58 26.58  32.37 24.63 22.57 24.56 25.82	Radspur Mitte 28.60 27.79 28.69 26.70 22.77  13.46 12.90 17.09 17.71 16.53	Radspur Mitte 23.60 36.10 30.43 26.23 23.23  43.27 45.27 47.13 41.23 44.50	Radspur Mitte 43.33 46.10 44.90 43.50 45.63  41.86 45.26 47.00 46.20 45.63	Radspur Mitte 12.35 15.57 12.28 15.88 17.55  13.78 17.44 10.68 15.15 14.79
Steifigkeit [kN/mm]		Radspur Mitte  19.92 19.39 19.57 20.06  16.65 16.18 14.83 16.09 13.12	Radspur Mitte 20.06 19.40 19.09 19.38 17.81  19.05 18.22 18.16 16.72 14.49	Radspur Mitte 13.51 19.54 20.63 23.34 16.85  27.98 29.94 22.07 21.77 22.90	Radspur Mitte 18.85 16.30 19.46 26.55 25.85  27.42 26.56 24.65 27.13 28.16	Radspur Mitte 8.94 15.36 9.69 10.46 9.17  13.51 15.69 13.81 11.72 10.53

Tabelle 13.3: Maximale Scherkräfte und Steifigkeiten der Entnahmestellen 14 bis 19 bei 20°C

Entnahmestelle Nr.		14	15	18	19
Material	Deckschichtsorte Tragschichtsorte	SMA 11 HMT 22	AB 11 HMT 32	AB 16 unbekannt	AB 16 unbekannt
Scherkräfte [kN]		Radspur Mitte 34.79 38.12 41.66 33.31 33.37  28.96 33.81 38.19 32.74 37.81	Radspur Mitte 12.19 13.37 16.26 17.24 15.17  32.64 30.73 35.04 37.56 35.32	Radspur Mitte 39.09 35.28 34.36 34.53 32.52  30.44 28.43 38.73 27.68 28.46	Radspur Mitte 38.19 33.93 35.57 34.58 31.72  30.20 31.10 32.61 27.82 30.61
		14	15	18	19
Steifigkeit [kN/mm]		Radspur Mitte 30.16 29.27 32.51 27.70 22.92  18.19 21.50 26.41 19.37 25.64	Radspur Mitte 15.13 18.20 18.33 32.90 21.68  25.68 19.32 21.93 28.54 30.99	Radspur Mitte 24.39 24.29 26.10 25.87 19.75  17.61 21.26 23.85 21.49 20.59	Radspur Mitte 21.58 27.86 25.60 26.61 25.38  22.27 23.89 19.94 20.38 19.40

Tabelle 13.4: Maximale Scherkräfte der Rundlauffelder bei 20°C

Feld Nr.	Material		Scherkraft [kN]
	Deckschicht	1.Tragschicht	Radspur Mitte
U1	AB 11	HMT 22	38.87
			37.93
			48.13
			47.17
			35.57
			35.13
			36.20
			35.97
U2	AB 11	HMT 22	32.03
			43.20
			47.60
			42.23
			43.50
			32.13
			26.87
			39.90
U3	AB 11	HMT 22	26.50
			27.37
			50.00
			49.10
			48.50
			42.50
			39.70
			38.23
U4	AB 11	HMT 22	32.73
			38.47
			37.90
			48.40
			50.20
			50.40
			49.20
			42.00
U5	AB 11	HMT 22	43.20
			44.40
			39.60
			38.10
			42.11
			45.13
			42.83
			43.79
			48.13
			33.33
			49.10
			45.10
			39.30

**13 ANHANG: MISCHGUTKENNWERTE AUS FA 12/94**

Tabelle 14.1: Mischgut- und Belagskennwerte der Entnahmestellen 2 bis 7

Entnahmestelle Nr.		2	3	5	6	7
<b>Mischgutsorte</b>	<b>Deckschicht</b>	<b>SMA 11 S</b>	<b>SMA 11 S</b>	<b>SMA 11 S</b>	<b>SMA 11 S</b>	<b>SMA11</b>
Bindemittel	Bindemittelsorte Zusätze Bindemittelgehalt [Masse-%]	B 80/100 NAF 501 6.25	B 80/100 NAF 501 6.00	B 80/100 Trinidad 6.82	Betaplast 5.72	B 80/100 NAF 501 6.07
Eingebaute Belagsschicht	Dicke [mm] Hohlraumgehalt [Vol-%]	35 5.7	30 7.8	40 3.5	60 2.5	30 4.9
Mineralstoffe	Siebdurchgang [Masse-%]					
	16.0	100	100	100	100	100
	11.2	89.6	96.1	97.8	94.1	93.8
	8.0	66.5	66.9	65.4	64.8	61.7
	5.6	35.6	40.3	36.2	30.8	30.4
	4.0	28.6	34.1	30.6	24.6	26.8
	2.8	24.8	29.5	28.6	22.2	25.6
	2.0	21.9	25.6	26.6	20.9	22.8
	1.0	17.3	19.3	21.6	19.0	17.3
	0.5	14.1	15.6	18.3	17.5	13.7
	0.25	11.8	12.2	15.5	16.3	11.3
	0.125	9.1	9.4	13.1	15.0	8.8
	0.009	7.9	8.4	11.4	13.9	7.4
Marshall-Prüfung	Stabilität [kN] Fließen [mm] Hohlraumgehalt [Vol-%]	10.3 5.1 3.5	6.8 3.0 3.4	10.1 3.2 2.5	8.0 1.9 3.4	8.7 2.8 3.4
Haftvermittler	Sorte Dosierung	Eufix	Haftvermittler	Emulsion 150 bis 300 g/m <sup>2</sup>		Webacid 50K 220 g/m <sup>2</sup>
<b>Mischgutsorte</b>	<b>Tragschicht</b>	<b>HMT 32 S</b>	<b>HMT 32 S</b>	<b>HMT 22 S</b>	<b>HMT 16 S</b>	<b>HMT 22 S</b>
Bindemittel	Bindemittelsorte Bindemittelgehalt [Masse-%]	B 60/70 3.80	B 80/100 4.20	B 55/70 4.28	B 60/70 4.92	B 60/70 4.06
Eingebaute Belagsschicht	Dicke [mm] Hohlraumgehalt [Vol-%]	55 -	85 3.8	150 4.3	70 2.1	78 3.9
Mineralstoffe	Siebdurchgang [Masse-%]					
	31.5	100	100	100	100	100
	22.4	82.0	90.3	98.5	100	97.3
	16.0	64.0	72.7	81.5	94.5	87.4
	11.2	53.0	59.9	62.8	79.5	72.9
	8.0	44.0	50.0	51.8	70.4	59.8
		36.0	43.0	45.1	60.8	47.0

	5.6	32.0	37.4	38.4	-	-
	4.0	28.0	31.4	33.3	41.2	30.6
	2.8	25.0	26.2	29.3	33.5	25.2
	2.0	19.0	20.4	21.9	22.6	17.4
	1.0	14.0	16.8	16.9	16.6	13.5
	0.5	10.0	11.6	13.1	12.2	10.8
	0.25	7.0	7.4	10.1	9.1	8.0
	0.125	6.0	6.3	8.8	8.0	6.7
	0.009					
Marshall-Prüfung	Stabilität [kN]	>10	11.5	16.3	17.2	20.4
	Fließen [mm]	<3.5	3.0	5.3	3.7	2.8
	Hohlraumgehalt [Vol-%]	5.4	3.3	4.3	3.5	3.8

Tabelle 14.2: Mischgut- und Belagskennwerte der Entnahmestellen 8 bis 13

Entnahmestelle Nr.		8	10	11	12	13
<b>Mischgutsorte</b>	<b>Deckschicht</b>	<b>SMA 11 S</b>	<b>AB 11 S</b>	<b>HR 16</b>	<b>GA 11</b>	<b>DRA 11</b>
Bindemittel	Bindemittelsorte Zusätze Bindemittelgehalt [Masse-%]	B 55/70 Zeobit 6.38	EL 70 5.48	B 50/60 Trinidad 7.78	B 40/50 Trinidad 7.16	Vectra EL 80 4.46
Eingebaute Belagsschicht	Dicke [mm] Hohlraumgehalt [Vol-%]	41 6.7	29 9.7	44 2.6	43 1.2	45 22.6
Mineralstoffe	Siebdurchgang [Masse-%]	100	100	100	100	100
	16.0	97.1	97.6	97.5	95.3	94.7
	11.2	70.5	82.1	85.6	86.8	63.6
	8.0	39.7	63.9	79.0	74.6	36.5
	5.6	32.0	54.5	66.8	67.6	17.8
	4.0	27.3	46.0	64.8	62.1	8.9
	2.8	23.3	37.3	63.0	55.7	6.9
	2.0	17.7	24.3	60.0	44.8	5.4
	1.0	14.3	16.8	55.0	38.0	4.3
	0.5	12.2	11.6	32.6	32.7	3.4
	0.25	10.5	8.3	12.4	28.2	2.5
	0.125	9.5	7.1	9.9	25.6	2.0
	0.009					
Marshall-Prüfung	Stabilität [kN] Fließen [mm] Hohlraumgehalt [Vol-%]	10.4 2.5 3.1	16.1 2.8 4.3	12.1 3.1 3.5		7.3 2.1 9.5
Prüfung der Stempeldringtiefe	Eindringtiefe nach 0.5h [mm] Eindringtiefe nach 1.0h [mm] Zunahme Eindringtiefe [mm]				1.7 2.0 0.3	
Haftvermittler	Sorte Dosierung		CTW Weba-cid 200g/m <sup>2</sup>	Emulsion 150 bis 300g/m <sup>2</sup>	Kein Haftvermittler	Elastomeremulsion Vectracid
<b>Mischgutsorte</b>	<b>Tragschicht</b>	<b>HMT 32 s</b>	<b>HMT 32 S</b>	<b>HMT 22 S</b>	<b>GA 16 S</b>	<b>AB 16</b>
Bindemittel	Bindemittelsorte Bindemittelgehalt [Masse-%]	B 55/70 3.5	B 55/70 4.03	60/70 4.29	PmB 45 6.67	Keine Angaben
Eingebaute Belagsschicht	Dicke [mm] Hohlraumgehalt [Vol-%]	95 4.0	100 6.2	45 9.2	47 1.8	Keine Angaben

Mineralstoffe	Siebdurchgang [Masse-%]	96.4	97.4	98.4	100	Keine Angaben
	31.5	79.9	85.1	77.3	100	
	22.4	63.9	72.9	71.8	82.4	
	16.0	54.2	61.7	60.4	73.9	
	11.2	44.3	51.8	48.7	63.0	
	8.0	35.6	44.0	42.5	56.8	
	5.6	31.9	38.7	36.0	52.2	
	4.0	29.3	32.8	30.2	47.2	
	2.8	24.7	26.8	21.8	39.8	
	2.0	16.8	18.0	16.4	35.0	
	1.0	12.1	13.0	12.7	31.7	
	0.5	9.0	9.6	9.9	26.2	
	0.25	6.8	7.2	8.6	25.9	
	0.125	6.0	6.3			
	0.009					
Marshall-Prüfung	Stabilität [kN]	14.5	18.4	13.0		
	Fließen [mm]	2.0	2.5	3.1		
	Hohlraumgehalt [Vol-%]	5.1	4.9	4.3		

Tabelle 14.3: Mischgut- und Belagskennwerte der Entnahmestellen 14 bis 19

Entnahmestelle Nr.		14	15	18	19	
<b>Mischgutsorte</b>	<b>Deckschicht</b>	<b>SMA 11 S</b>	<b>AB 11 S</b>	<b>AB 16 S</b>	<b>AB 16 S</b>	
Bindemittel	Bindemittelsorte Zusätze Bindemittelgehalt [Masse-%]	Olexobit SMA 5.96	Practiplas t 5.93	Olexobit 66 4.89	Olexobit 65 4.78	
Eingebaute Belagsschicht	Dicke [mm] Hohlraumgehalt [Vol-%]	40 4.0	45 5.8	50 3.6	50 4.9	
Mineralstoffe	Siebdurchgang [Masse-%]	100	100	97.6	97.6	
	16.0	84.6	98.8	79.9	83.3	
	11.2	56.4	86.2	67.8	73.5	
	8.0	35.3	67.6	56.5	63.6	
	5.6	27.0	58.0	47.8	53.0	
	4.0	21.8	48.3	39.1	42.0	
	2.8	18.7	38.1	31.8	33.2	
	2.0	14.2	24.8	21.0	21.7	
	1.0	11.6	17.2	14.8	15.1	
	0.5	10.2	12.2	10.7	11.0	
	0.25	9.1	8.8	8.3	8.6	
	0.125	8.4	8.5	7.7	7.7	
	0.009					
	Marshall-Prüfung	Stabilität [kN]	11.0	15.2	15.5	15.7
		Fließen [mm]	3.8	2.3	3.7	2.9
Hohlraumgehalt [Vol-%]		4.1	3.2	2.4	3.4	
Haftvermittler	Sorte Dosierung		CTW Webacid 200g/m <sup>2</sup>	BITUCOL- R 200g/m <sup>2</sup>	Slomex Lack- bitumen 200g/m <sup>2</sup>	
<b>Mischgutsorte</b>	<b>Tragschicht</b>	<b>HMT 22 S</b>	<b>HMT 32 S</b>	<b>unbekannt (alte Norm)</b>	<b>unbekannt (alte Norm)</b>	
Bindemittel	Bindemittelsorte	BP	B 55/70	Keine	Keine	

	Bindemittelgehalt [Masse-%]	Structur 4.04		Angaben	Angaben
Eingebaute Belagsschicht	Dicke [mm]	70	95	Keine Angaben	Keine Angaben
	Hohlraumgehalt [Vol-%]	4.5	4.3	Keine Angaben	Keine Angaben
Mineralstoffe	Siebdurchgang [Masse-%]	100	97.2	Keine Angaben	Keine Angaben
		31.5	85.0		
		22.4	72.6		
		16.0	57.2		
		11.2	50.8		
		8.0	42.8		
		5.6	37.1		
		4.0	31.3		
		2.8	25.3		
		2.0	16.6		
		1.0	11.9		
		0.5	8.4		
		0.25	6.0		
		0.125	5.2		
Marshall-Prüfung	Stabilität [kN]	26.2	14.2	Keine Angaben	Keine Angaben
	Fließen [mm]	2.7	2.4		
	Hohlraumgehalt [Vol-%]	3.8	5.4		