

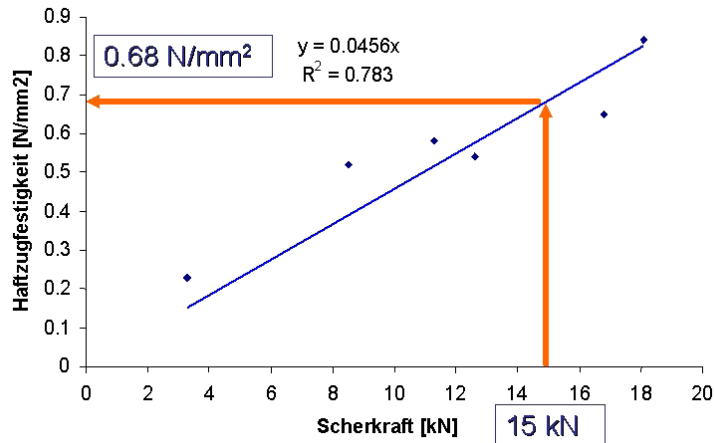
# **Kohlefaserarmierungen in Asphaltstrassen erhöhen die Lebenserwartung und reduzieren somit Unterhaltskosten**

J. Scherer, S&P Clever Reinforcement Company AG, CH-6440 Brunnen

Seit fünf Jahren werden vorbituminierte Kohlefaserarmierungen (C-Faserarmierungen) zwischen die bestehende und neue Asphaltsschicht erfolgreich verlegt. Die Kohlefasergitter weisen eine Zugkraft von 200 kN/m bei einer Dehnung von 1.5 % auf. Kohle- sowie Glasfaserarmierungen sind zu einem späteren Zeitpunkt abfräsbar. Das Applizieren der Gitter ist mit dem Abrollen von PBD-Bahnen vergleichbar. Die Gitter sind auf der Unterseite mit einer Abbrennfolie versehen und auf der Oberseite mit Quarzsand beschichtet. Durch die Hitzeeinwirkung beim Verlegen wird die Gitterstruktur aufgelöst. Das Bitumen welches die Faserstränge fixiert wird aufgeweicht. Somit liegt beim Verlegen keine starre Gitterstruktur mehr vor. Die losen Faserstränge sind beweglich und die S&P Faserarmierung kann entsprechend auch in einem Radius abgerollt werden. Damit das Verlegen der neuartigen Asphaltarmierungen auch bei hohen Sommertemperaturen möglich ist, wurde durch S&P eine spezielle Haftemulsion entwickelt. Diese Emulsion weist einen Erweichungspunkt  $> 70\text{ °C}$  auf. Wird eine marktübliche Emulsion oder ein normaler Haftkleber verwendet besteht die Gefahr, dass das Gitter infolge Erweichung des Klebers beim Befahren durch die Mischgutfahrzeuge abgehoben wird. Dies führt zu Schichtverbundstörungen. Entsprechend soll die Armierung nur mit der speziellen S&P Emulsion eingesetzt werden. Während der Einbauphase der Deckschicht wird die Gitterstruktur infolge Hitzeeinwirkung erneut aufgelöst. Die Faserstränge öffnen sich lokal und lassen die Körner des heissen Mischgutes während der Verdichtung passieren. Eine mechanische Verzahnung der neuen Belagsschicht mit dem alten Strassenbelag, durchgreifend durch die Asphaltarmierung, ist somit möglich. In der ausgehärteten Belagsschicht liegen die Faserstränge in wellenförmiger Anordnung. Dadurch entstehen Umlenkkräfte, welche zu einer ausgezeichneten Verankerung der Faserstränge im Belag führen. Ein einwandfreier Schichtverbund zwischen alter und neuer Belagsschicht ist garantiert. Der Schichtverbund ist von den zwei folgenden Komponenten abhängig: einerseits von der mechanischen Verkrallung sowie andererseits von der Klebewirkung der Haftemulsion.

## **Schichtverbund von armierten Belagsschichten**

Üblicherweise wird für unarmierte mehrschichtige Beläge ein Schichtverbund „Methode Leutner“ von  $> 15\text{ kN}$  erzielt. Dies entspricht der Haftzugfestigkeit von  $0.68\text{ N/mm}^2$ . Die Grafik 1 zeigt den Zusammenhang der Scherkraft (Leutner) und der Haftzugfestigkeit.



Grafik 1:  
Zusammenhang Scherkraft/Haftzugfestigkeit

Wurde die alte bestehende Belagsschicht vor der Erneuerung gefräst ist eine bessere mechanische Verkrallung möglich. Die Scherkraft für Aufbauten auf einen gefrästen Traggrund beträgt somit 17-25 kN. Die geforderten Minimalwerte für die Scherkraft resp. Haftzugfestigkeit werden mittelfristig in die EU- resp. Landesnorm einfließen.

Erfahrungen in der Praxis zeigen, dass für S&P armierte Asphaltsschichten ein identischer Schichtverbund wie für unarmierte Asphaltsschichten vorgefunden wird. Spannungen aus der Asphaltsschicht werden über den Schichtverbund in die Asphaltarmierung eingeleitet. Dadurch ist die Reduktion der Dehnung sowie Spannung im Asphalt selbst möglich.

An der EMPA CH wurden S&P C-Faser armierte und unarmierte Walzasphaltsschichten unter dynamischer Dauerbelastung geprüft. Der Schichtverbund wurde vor und nach den 0.5 Mio. Belastungszyklen geprüft. Die Resultate zeigen deutlich, dass die Wirkung der Asphaltarmierung nur bei einem einwandfreien Schichtverbund entfaltet werden konnte. Die besten Ergebnisse wurden für C-Faser bewehrte Beläge gefunden, welche auf gefräste Traggründe appliziert wurden.

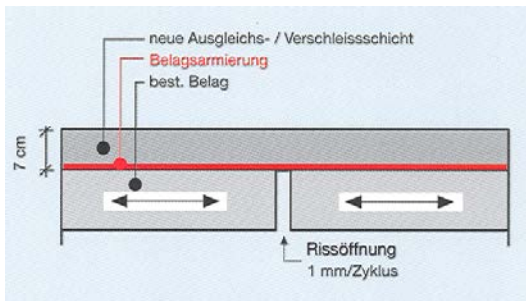
### Asphaltarmierungen gegen thermische Rissreflektion

Bestehende Risse in der alten Belagsschicht reflektieren infolge der täglichen Temperaturschwankungen während den Wintermonaten durch die neue Asphaltsschicht. Mit den S&P Armierungen werden bestehende Risse vor dem bituminösen Hocheinbau abgedeckt (Bild 1).

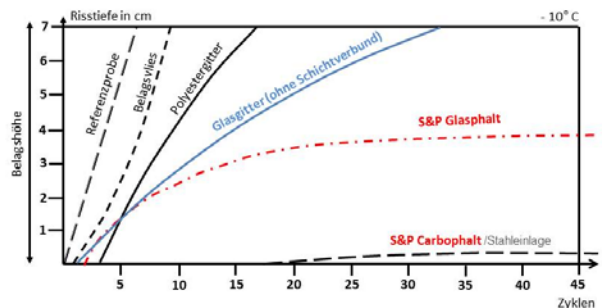


Bild 1: S&P Carbophalt G wird maschinell appliziert

Durch das Belgische Road Research Center wurden unterschiedliche Asphaltarmierungen getestet. Grafik 2 zeigt den Versuchsaufbau. Eine alte gerissene Belagsschicht (Riss wird durch einfräsen simuliert) wird 7 cm stark überbaut. Unterschiedliche Asphaltarmierungen wurden zwischen alte und neue Asphaltsschicht eingelegt. Die Rissöffnung infolge Temperaturschwankungen wurde mit einer Flüssigkeit, welche gefriert und wieder auftaut, simuliert. Die Resultate (Grafik 3) zeigen, dass mit den S&P Gitter (S&P Glasphalt / S&P Carbophalt), welche einwandfrei im Schichtverbund verlegt wurden, die Rissreflektion verhindert werden kann. Herkömmliche Gitter aus Polyester mit einer Zugkraft von 50 kN/m bei 12 % Dehnung sowie Vlieseinlagen konnten die Rissreflektion nicht verhindern.

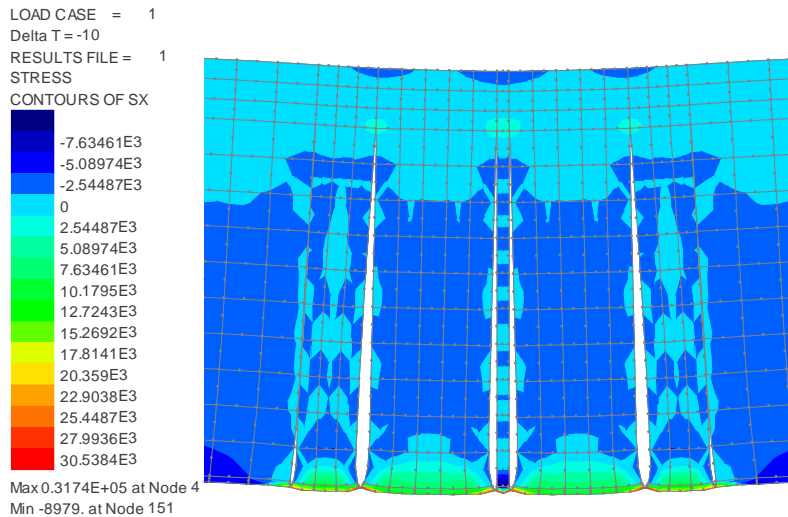


Grafik 2: Versuchsaufbau Road Research Center, B



Grafik 3: Versuchsergebnisse Road Research Center, B

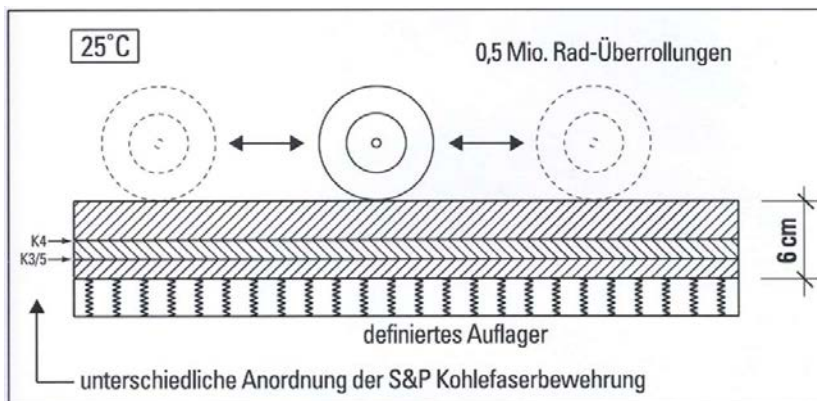
Mit dem Finit Element Programm Lusas wurde die Versuchsanordnung modelliert. Die Modellierung am unarmierten Modell bestätigt, dass die Spannungen in der Asphaltsschicht bis  $46.8 \text{ N/mm}^2$  ansteigen. Asphalt kann jedoch maximal eine Spannung von  $3.5 \text{ N/mm}^2$  aufnehmen. Entsprechend wird in der unarmierten Belagsschicht der Riss an der Oberfläche reflektieren. Die Modellierung am armierten Modell (Bild 2) zeigt, dass sich am Rissufer eine leichte Ablösung bildet. Dadurch können die Kräfte in die Armierung eingeleitet werden. Im armierten Modell betragen die Spannungen im Überasphalt weniger als  $3.5 \text{ N/mm}^2$ . Entsprechend kann die Rissreflektion gestoppt werden. Die Modellierung zeigt auf, dass die Spannungsreduktion in der neuen Asphaltsschicht infolge der C-Faserarmierung bei der Versuchstemperatur von  $-10^\circ \text{ C}$  um **25-40 %** reduziert werden konnte.



**Bild 2:** Resultierende Spannungen im Überasphalt im Modell mit sechs vertikalen Rissen (Risslänge 0.06 m) aufgrund der Ausdehnung des im Riss (bestehender Asphalt) eingeschlossenen Wassers. Die maximale Zugspannung an den Rissspitzen beträgt  $\sigma_x = 3.4 \text{ N/mm}^2$ .

## Kohlefaserarmierungen gegen Ermüdungsrisse

An der EMPA CH wurden zweischichtige C-armierte und unarmierte Belagskörper unter Dauerbelastung (Grafik 4) verglichen. Zur Simulation der Nachgiebigkeit des Untergrundes wurden die Probekörper auf eine Gummiunterlage appliziert und im Spurrinnengerät mit 0.5 Mio. Radüberrollungen bei einer Temperatur von 25° C belastet. Das C-Fasergitter wurde an unterschiedlichen Positionen eingebaut.



**Grafik 4:** Versuchsanordnung EMPA Dübendorf/CH

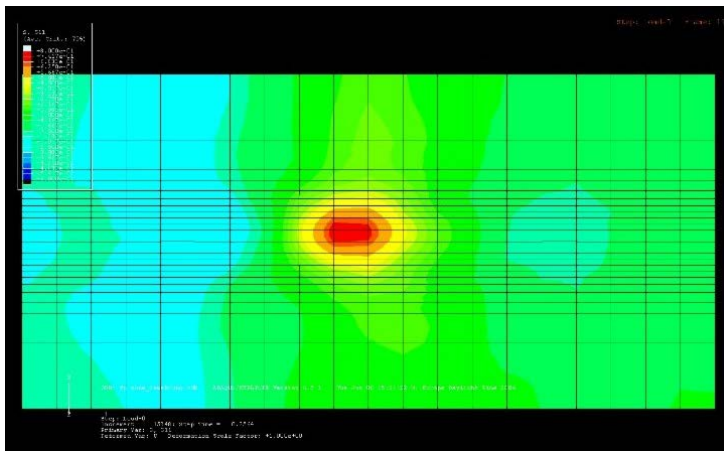
- Prüfkörper K1:** zweischichtiger Belag ohne Asphaltarmierung
- Prüfkörper K3:** zweischichtiger Belag S&P Carbophalt in 4 cm Tiefe verlegt
- Prüfkörper K4:** zweischichtiger Belag S&P Carbophalt in 3 cm Tiefe verlegt
- Prüfkörper K5:** zweischichtiger Belag S&P Carbophalt in 4 cm Tiefe verlegt  
Traggrund gefräst

Die Prüfkörper wurden mit Dehnmessstreifen versehen. Die Resultate der experimentellen Untersuchungen wurden durch die EMPA CH mit einer Finite Elementberechnung modelliert.

Resultate experimentelle Untersuchungen:

Prüfkörper	Lage der Kohlefaserarmierung	Mittlere Deformation im DMS (Unterseite Spurrinne)	Reduktion der Deformation in %
K1	Ohne	0.04325	100
<b>K3</b>	<b>4 cm Tiefe</b>	<b>0.02509</b>	<b>- 24</b>
K4	3 cm Tiefe	0.02867	- 13
<b>K5</b>	<b>4 cm Tiefe (gefräst)</b>	<b>0.02203</b>	<b>- 33</b>

Resultate numerische Untersuchungen (Modell mit Kohlefaserarmierung):



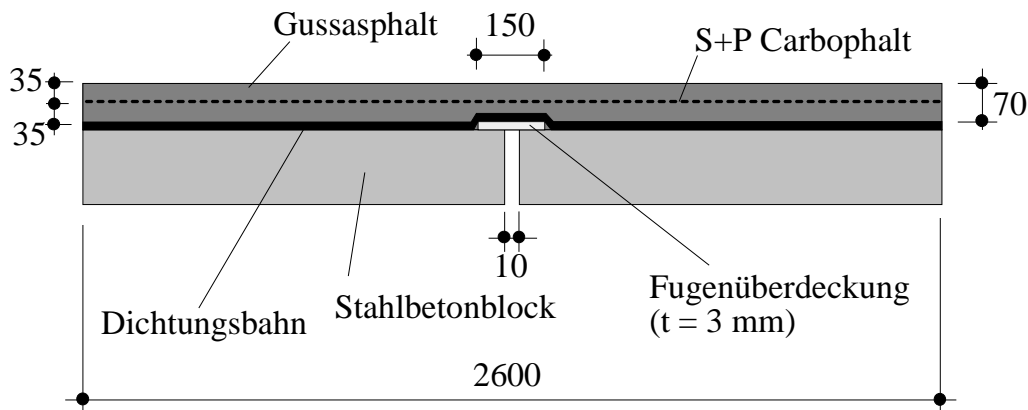
Erläuterung:

Im bewehrten Asphaltkörper (steiferes System), werden die Zugspannungen konzentriert durch die Kohlefaserarmierung aufgenommen.

- Die numerischen Untersuchungen stimmten quantitativ mit den experimentellen Untersuchungen überein.
- Die Dehnungen in der Asphaltdecke wurden dank der S&P C-Faserarmierung (Prüfkörper K3/5) um **24 respektive 33 %** reduziert.
- Das Anfräsen der unterliegenden Belagschicht verbesserte den Schichtverbund. Es wurde aufgezeigt, dass beim erhöhten Schichtverbund die Wirkungsweise der C-Fasereinlage verbessert wird.

### Die C-Faserarmierung reduziert thermische Rissreflektion im Gussasphalt

An der EMPA CH wurde ein zweilagig eingebauter Gussasphalt über eine Betonfuge appliziert (Grafik 5). Ein Prüfling wurde mit der S&P C-Faserarmierung armiert, der zweite Prüfling war unarmiert.



Prüfkörperbreite: 500 mm.

Grafik 5: Prüfkörper-Skizze (Längsschnitt) (Masse in mm)

Die Betonfuge wurde periodisch geöffnet und geschlossen um die Temperaturzyklen zu simulieren. Die Spannungen im Gussasphalt wurden mit Dehnmessstreifen gemessen. Die C-Faserarmierung erhöhte die Anfangssteifigkeit der Gussasphaltschicht um 25 – 30 %. Faktisch konnten somit bei der Prüftemperatur von  $-5^{\circ}\text{C}$  dank der C-Faserarmierungen **25 – 30 %** höhere Spannungen absorbiert werden.

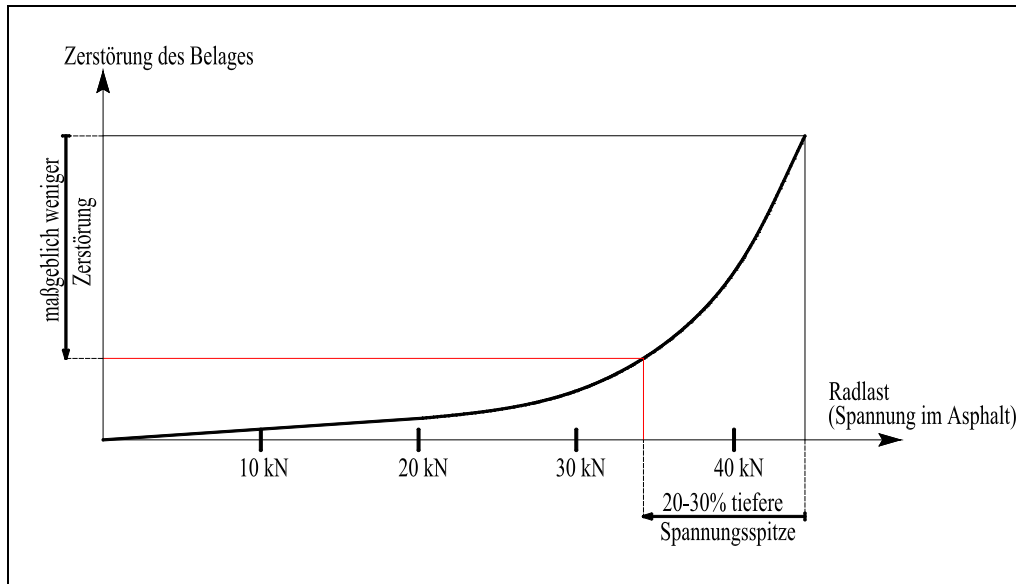
## Zusammenfassung

Zusammenstellung der Ergebnisse:

	Reduktion dank Einlage von S&P Carbophalt	Temperatur
Kältetest am Walzasphalt (Road Research Center, B)	25 – 40 % Spannungsreduktion	$-10^{\circ}\text{C}$
Kältetest am Gussasphalt (EMPA CH)	25 – 30 % Dehnungsreduktion	$-5^{\circ}\text{C}$
Dauerbelastung am Walzasphalt (EMPA CH)	24 - 33 % Dehnungsreduktion	$+25^{\circ}\text{C}$

Experimentelle Ergebnisse sowie die numerischen Modellierungen an unterschiedlichen Prüfinstituten zeigen, dass dank der S&P C-Faserarmierung die Spannungen resp. Dehnungen in Walz- resp. Gussasphaltschichten 25 – 40 % reduziert werden können. Diese Spannungs- resp. Dehnungsreduktionen wurden bei üblichen Temperaturschwankungen ( $-5^{\circ}$  bis  $+25^{\circ}\text{C}$ ) vorgefunden.

Grafik 6 zeigt, dass die Zerstörung des bituminösen Belages in Abhängigkeit der Radbelastung steigt. Die S&P C-Faserarmierung kann die Spannungsspitzen infolge von hohen Radlasten reduzieren und die Zerstörung des Belages dadurch massgeblich reduzieren. Dies manifestiert sich in höherer Dauerhaftigkeit, längeren Erneuerungszyklen sowie weniger Unterhaltsarbeiten. Dank weniger Verkehrstaus entstehen zusätzlich volkswirtschaftliche Vorteile. Diese Kosten sind aber schwer zu erfassen, jedoch mit Sicherheit bedeutend.



Grafik 6: Einfluss der Radlast auf die Zerstörung der bituminösen Beläge

#### Literaturhinweis:

- Prüfberichte Netherlands Pavement Consultants, NL
- Prüfberichte Belgian Road Research Centre, B
- EMPA Fachtagung Asphaltverstärkungen mit Einlagen, Mai 2007
- Modellierung Ingenieurbüro Heierli AG, Zürich