



Inhaltsverzeichnis

<u>1.</u>	Einleitung	3
2.	Unterschiedliche Asphalteinlagen	4
3.	Faserrovinge für Asphaltbewehrungen	5
4.	Verbundbaustoff bewehrter Asphalt	6
5.	Schichtverbund von bewehrten bituminösen Belägen	
6.	Bituminöse Voranstriche unter der Asphaltbewehrung	9
7.	Grundlagenversuche EMPA Dübendorf CH "Wirkung von unterschiedlichen Asphalteinlagen"	10
	7.1 Belastungsversuch am 4-Punkt-Biegebalken7.2 Dynamische Dauerbelastung unter effektiver Radlast	10 12
8.	Deflektionsmessungen an kohlefaserbewehrten Belagsschichten	14
9.	Untersuchungen NPC (Netherland Pavement Consultants) "Asphaltbewehrungen gegen Ermüdungsrisse"	16
10.	Untersuchungen BRRC (Belgian Road Research Centre) "Asphaltbewehrungen gegen thermische Rissreflektion"	18
11.	Zusammenfassung	19
12.	Literaturhinweis	20

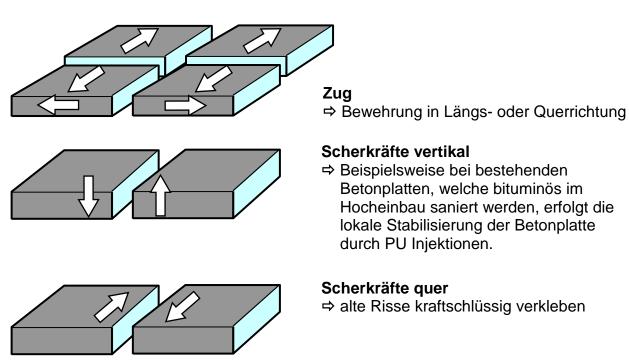


1. Einleitung

Während den letzten Jahrzehnten nahm die Verkehrsintensität massiv zu. Zusätzlich wurden die Verkehrslasten, welche auf unsere Strassenkörper wirken, erhöht. Entsprechend sind heute intensive Unterhaltsarbeiten an der Strassenanlage notwendig. Die Erneuerungsrespektive Sanierungszyklen werden immer kürzer. Unterhalt- und Erneuerungsarbeiten an Strassen behindern den Verkehrsfluss. Aus diesem Grunde sollte im Zuge der Instandstellung ein dauerhafter Strassenbelag erstellt werden, damit zukünftige Unterhaltsarbeiten minimiert werden können.

Vorbituminierte S&P Asphaltbewehrungen werden seit 1996 erfolgreich zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von bituminösen Belägen eingebaut. Die S&P-Einlagen übernehmen Zugkräfte aus dynamischen und thermischen Belastungen und reduzieren nachweislich Rissbildungen. Die S&P-Einlage aus Kohlefasern *S&P Carbophalt G* verbessert gleichzeitig den Strukturwert des bituminösen Belages. Diese Kohlefasereinlage entspricht dem Strukturwert einer 3 bis 4 cm starken Asphaltschicht. Innerorts bieten sich entsprechend interessante Sanierungsvarianten an. Beispielsweise kann ein bestehender alter Belag 3 cm tief abgefräst und mit der Kohlefaserbewehrung sowie einer 3 cm starken Belagsschicht verstärkt werden. Der Strukturwert der bewehrten Belagsschicht entspricht einer 6 bis 7 cm starken unbewehrten Asphaltschicht. Bei Fräsarbeiten von 3 cm Tiefe werden Rand- sowie Bordsteine nicht tangiert. Da nach der Instandstellung das bestehende alte Niveau beibehalten wird, sind die Schächte nicht anzuheben. Kohlefaserbewehrte Asphaltbeläge sind somit preiswerte Alternativen bei der Instandstellung von Strassenanlagen.

Um gegen zukünftige Schäden vorzubeugen, sollen gezielte Massnahmen im Zuge der Instandstellung getroffen werden. Gegen zukünftige plastische Verformungen der Asphaltschicht kann das Bitumen in der neuen Belagsschicht variiert werden. Der Einsatz eines spurrinnenbeständigen Belages als Verstärkungsmassnahme ist sinnvoll. Gegen strukturelle Verformungen, gegen Ermüdungsrisse sowie gegen Rissreflektionen aus der bestehenden alten Belagsschicht werden Zugelemente (Asphaltbewehrungen) eingesetzt. Bei der Erneuerung einer Asphaltschicht gilt es den Mechanismus in der Asphaltschicht zu berücksichtigen (*Grafik 1*) und das entsprechende Instandstellungskonzept anzuwenden.



Grafik 1: Mechanisierung in Asphaltdecke ⇒ Instandstellungsmethode

Grafik 1 zeigt deutlich, dass die Asphaltbewehrung mit weiteren Instandstellungsmethoden kombiniert werden soll.

2. Unterschiedliche Asphalteinlagen

Grundsätzlich gilt es zwischen **SAMI** (**S**tress **A**bsorbing **M**embran **I**nterlayer) Einlagen und Asphaltbewehrungen zu unterscheiden. Die beiden Systeme werden oft in Kombination angewendet.

SAMI Einlagen ⇒ Spannungen werden dank der weichen Einlage abgebaut

Zwei Möglichkeiten stehen zur Verfügung

- SAMI Vlies
- SAMLOB

Asphaltbewehrungen ⇒ Spannungen werden von Bewehrung aufgenommen

Herkömmliche Asphaltbewehrungen werden aus unterschiedlichen Faserrovingen als Gitterstruktur hergestellt. Die Gitterstruktur ist bitumenfreundlich oder kunststoffbeschichtet (z.B. SBR) und teilweise auf der Unterseite mit einem Klebstoff versehen. Mit solch herkömmlichen Gittereinlagen ist der geforderte Schichtverbund auf der Baustelle nur zu erreichen, wenn die Maschenöffnung des Gitters minimal 15 bis 20 mm beträgt und auf der Gittereinlage eine zusätzliche SAMI OB erstellt wird.

S&P Bewehrungen mit Gitterstruktur werden für den Transport zur Baustelle durch Bitumentränkung stabilisiert. Beim Abrollen der Gitter sowie beim bituminösen Belagseinbau wird die Gitterstruktur durch Hitzeeinwirkung frei beweglich. Die Kohlefaser- respektive Glasfaserstränge liegen nun verschiebungsfrei vor. Beim Belagseinbau und Verdichten können sich nun die Zuschlagskörner des Mischgutes ungehindert und somit intensiv mit dem bestehenden Belag verzahnen. Dank der S&P Technik "Öffnen der Knoten unter Hitzeeinwirkung" wird der normierte Schichtverbund nach Leutner > 12 resp. 15 kN (150 mm Bohrkern), der bewehrten Asphaltschicht mehr als erreicht.

Bewehrung / Vlies Einlagen

Bei Kombinationsprodukten wird zusätzlich zur Bewehrung ein Gittervlies eingelegt. Grundsätzlich kann die Gitterbewehrung mit unterschiedlichen Vliesvarianten kombiniert werden:

- Schmelzvlies (Grammatur 20 bis 80 g/m²)
 Das Schmelzvlies wird beim Einbau durch Hitzeeinwirkung verflüchtigt. Das Schmelzvlies dient im Kombiprodukt als Applikationshilfe für das Asphaltgitter.
- Abdeckvlies (Grammatur 20 bis 80 g/m²)
 Das Abdeckvlies dient als Einbauhilfe. Die Bitumenaufnahmefähigkeit des Vlieses ist zu gering um eine SAMI Funktion zu garantieren. Das Abdeckvlies dient im Kombiprodukt als Applikationshilfe für das Asphaltgitter.



SAMI Vlies (Grammatur 90 bis 140 g/m²)
 Die Bitumenaufnahmefähigkeit eines SAMI Vlies beträgt 0.8 bis 1.3 kg/m² (effektive Bitumenmenge). Das bitumengetränkte Vlies wirkt als spannungsabbauende Zwischenschicht.

Die Praxis hat gezeigt, dass mit diesen Kombinationsprodukten der geforderte Schichtverbund Methode nach Leutner oft nicht erreicht wird. In diversen Veröffentlichungen wird auf diesen Umstand hingewiesen. Da eine Asphaltbewehrung nur in einwandfreiem Verbund die Wirkung entfalten kann, werden solche Kombinationsprodukte in vielen Ländern nicht mehr eingesetzt.

Bei bituminösen Hocheinbauten auf alten Betonstrassen ist eine SAMI Abdichtung sowie eine Bewehrung gefordert. In diesen Fällen empfiehlt es sich, eine Asphaltbewehrung mit einer SAMI OB zu kombinieren. Der geforderte Schichtverbund nach Leutner kann mit dieser Kombination erreicht werden.

3. Faserrovinge für Asphaltbewehrungen

Unterschiedliche Faserrovinge stehen zur Verfügung um Asphaltbewehrungen zu erstellen. In *Tabelle 1* werden mögliche Faserrovinge aufgelistet.

Faserroving	E-Modul (N/mm²)	Bruchdehnung (%)	Abfräsen von Belagsschichten
Kohlefaser (C-Faser)	≥ 240′000	1.75	ist möglich
Aramidfaser (A-Faser)	~ 120′000	2.5	kann problematisch sein
Glasfaser (G-Faser)	≥ 73′000	≤ 4.5	ist möglich
Polyesterfaser (PES-Faser)	~ 15′000	~ 12.0	kann problematisch sein
Stahl (Vergleich)	210′000	> 5.0	kann problematisch sein

Tabelle 1

Tabelle 1 zeigt weiter, dass sich die Kohle- und Glasfasern grundsätzlich eignen um Asphaltbewehrungen einzubauen und später wieder abzufräsen. Beide Faserrovinge weisen eine tiefe Bruchdehnung auf und haben entsprechend einen hohen Bewehrungseffekt. Beim Abfräsen zeigen sich Faserstränge von max. 1 bis 8 cm Länge. Die Wiederverwertung im Mischwerk wird somit nicht beeinträchtig.



Bei den vorbituminierten S&P Asphaltbewehrungen werden die Faserrovinge je nach Anforderungsprofilen optimiert (*Tabelle 2*).

Produktebezeichnung	Faserroving (Längsrichtung)	Faserroving (Querrichtung)
S&P Carbophalt G	G-Faser	C-Faser
S&P Glasphalt G	G-Faser	G-Faser

Tabelle 2

Damit ein realistischer Vergleich der Zugkraft von unterschiedlichen Asphaltbewehrungen möglich ist, soll in jedem Falle die Zugkraft bei der identischen Dehnung verglichen werden. Die Zugkräfte in Abhängigkeit der Dehnung für die vorbituminierten S&P Asphaltbewehrungen sind aus den technischen Datenblättern zu entnehmen.

Die laufende Qualitätssicherung durch die EMPA Dübendorf/CH bestätigen die empfohlenen Zugkräfte.

4. Verbundbaustoff bewehrter Asphalt

Der im Bauwesen bekannteste Verbundbaustoff ist Stahlbeton. Im Stahlbeton wird das Zugelement (Bewehrungsstahl) verbindungssteif in die Matrix (Beton) eingelegt. In Tabelle 3 werden die E-Moduli im Verbundbaustoff Stahlbeton verglichen.

E-Modul Matrix	E-Modul Zugelement	Verhältnis E-Moduli Matrix ÷ Zugelement
Beton	Stahl	Stahlbeton
25 – 30 kN/mm²	205 kN/mm²	~1:7

Tabelle 3: Verhältnis E-Moduli Matrix / Zugelement im Stahlbeton

Der E-Modul eines Fasergitters ist in jedem Fall tiefer als der theoretische E-Modul der Faser. Durch die Herstellung des Gitters, sind die Fasern nicht optimal angeordnet. Entsprechend ist für den Vergleich im Verbundbaustoff bewehrter Asphalt der theoretische E-Modul der Faser um einen Reduktionsfaktor abzumindern (*Tabelle 4*).

Empfohlener Reduktionsfaktor = **1.5**

	E-Modul Faser	E-Modul Fasergitter
Kohlefaser (C)	240 kN/mm²	160 kN/mm²
Glasfaser (G)	73 kN/mm²	49 kN/mm²
Polyesterfaser (PES)	15 kN/mm²	10 kN/mm²

Tabelle 4: Abgeminderte Faser E-Moduli

In *Tabelle 5* werden die relevanten E-Moduli von unterschiedlich bewehrten Asphaltbelägen verglichen. Der E-Modul einer Asphaltschicht beträgt je nach Umgebungstemperatur zwischen 3 und 15 kN/mm².

Mit dem abgeminderten E-Modul kann nun die Vergleichstabelle erstellt werden.

E-Modul Matrix	E-Modul Fasergitter	Verhältnis E-Moduli Matrix ÷ Fasergitter
Asphaltbelag (6 kN/mm²)	Carbongitter (160 kN/mm²) Glasgitter (49 kN/mm²) Polyestergitter (10 kN/mm²)	~ 1 : 26 ~ 1 : 8 ~ 1 : 2

Tabelle 5: Verhältnis E-Moduli Matrix / Fasergitter im bewehrten Asphalt

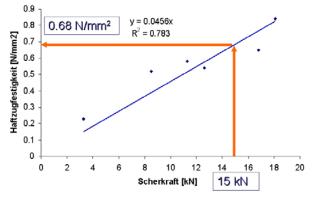
Die obige Tabelle zeigt klar, dass das Carbon- und das Glasgitter als Zugbewehrung wirksam ist. Das Carbongitter erhöht zudem den Risswiderstand in der Asphaltschicht enorm. Voraussetzung ist ein einwandfreier Schichtverbund. Der Schichtverbund ist mittels Bohrkernen zu überprüfen. Im Vergleich weisen Polyestergitter bewehrte Asphaltbeläge nur eine geringe Wirksamkeit auf.

5. Schichtverbund von bewehrten bituminösen Belägen

Eine Bewehrung funktioniert nur, wenn diese im einwandfreien Schichtverbund mit der Matrix steht. Die Zugkräfte aus der Bewehrung werden über den Schichtverbund in die ober- und unterliegende Asphaltschicht eingeleitet. In verschiedenen EU-Richtlinien, respektive Strassenbaunormen wird zwischen der alten und neuen bituminösen Belagsschicht eine Scherkraft > 12 kN beziehungsweise > 15 kN (Methode Leutner, Ø 150 mm Bohrkern) gefordert (*Bild 1*). In einigen Ländern wird nicht die Scherkraft, sondern die Haftzugfestigkeit geprüft. *Grafik 2* zeigt den Zusammenhang zwischen Scherkraft und Haftzugfestigkeit.



Bild 1: Leutner Testanordnung



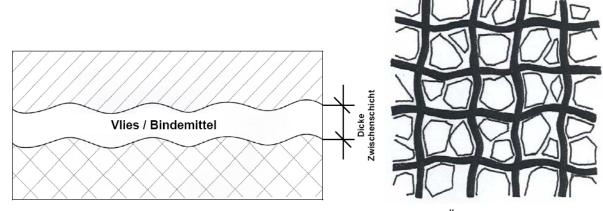
Grafik 2: Schichtverbund/Haftzugfestigkeit (EMPA CH)

Der Schichtverbund besteht grundsätzlich aus zwei Komponenten:

Schichtverbund = Anteil mechanische Verzahnung + Anteil Klebewirkung

Bei SAMI Vlieseinlagen bildet das Vlies den Bindemittelträger. Die SAMI Vlieseinlage liegt als relativ dicke Zwischenschicht zwischen den Belagsschichten vor. Dadurch wird die mechanische Verzahnung der Körner des neuen Mischgutes mit dem alten Traggrund verhindert (*Grafik 3*).

Bei den vorbituminierten S&P Asphaltbewehrungen hingegen ist keine Zwischenschicht vorhanden. Die Faserstränge öffnen sich unter Hitzeeinwirkung beim Abrollen. Entsprechend ist das Abrollen in Strassenkurven möglich. Auch beim bituminösen Belagseinbau bei einer Temperatur von 130 bis 150 °C wird die Gitterstruktur erneut aufgelöst. Die verschiebungsfreien S&P Faserstränge aus Kohleoder Glasfasern geben dem Druck der Körner des Mischgutes nach. Beim Verdichten greifen die Grosskörner zwischen den S&P Fasersträngen durch und verkrallen sich ungehindert mit dem Traggrund (*Grafik 4*). Die Faserstränge der S&P Asphaltbewehrung sind beim Verdichten des Mischgutes auch in Längsrichtung verschiebbar. Sie passen sich entsprechend den Unebenheiten des Traggrundes an.



Grafik 3: SAMI Vlieseinlage

Grafik 4: Öffnen der Faserstränge

Bei traditionellen, fest verknoteten Asphaltgittern verhindert die fixe Gitterstruktur das Durchgreifen von Grosskörnern des Mischgutes. Traditionelle Gitter neigen entsprechend beim Belagsüberbau zu Wellenbildung. Der geforderte Schichtverbund wird bei traditionellen Gittern nur dann erreicht, wenn auf dem Gitter eine zusätzliche SAMI OB appliziert wird. Der vorumhüllte Split (4 bis 8 mm) der SAMI OB garantiert die Verkrallung und somit die mechanische Verbundkomponente. *Tabelle 6* zeigt, dass vorbituminierte S&P Asphaltgitter, welche ohne zusätzliche SAMI OB verlegt werden, aus finanzieller Sicht sehr interessant sind.

Im Rahmen des Forschungsprojektes ASTRA 2011/011_OBF " Einsatz von Asphalteinlagen im Erhaltungsmanagement von Trag- und Deckschichten", wurde durch die EMPA Dübendorf CH nachgewiesen, dass die vorbituminierten S&P Produkte *Carbophalt G* und *Glasphalt G* die normierten Scherkräfte für den Schichtverbund mehr als erreichen. Diese Ergebnisse werden auch an diversen ausgeführten Objekten bestätigt.

SAMI OB	Traditionelles Gitter nicht vorbituminiert	SAMI VIIes
1.6 - 1.8 kg/m ² polymermod. Bitumen abgestreut mit 12 - 15 l/m ² Split 4/8 mm vorumhüllt	aus PP, PES, Glas	120 - 140 g/m ² Polypropylenvlies mit 1.5 - 1.7 kg Bitumen- Emulsion 70%
Kosten fertig verlegt: 8.50 – 9.50 CHF/m ²	Kosten fertig verlegt: 7.00 – 8.00 CHF/m ²	Kosten fertig verlegt: 3.50 – 4.50 CHF/m ²
Schichtverbund: i.O.	Schichtverbund: reduziert	Schichtverbund: reduziert

Kombination SAMI OB + traditionelles Gitter

Kosten fertig verlegt: 15.50 – 17.50 CHF/m² ⇒ Schichtverbund: i.O.

Kombination SAMI Vlies + traditionelles Gitter

⇒ Schichtverbund: reduziert

Vorbituminierte S&P Gitter aus Glasfasern Kosten fertig verlegt: 11.50 – 13.50 CHF/m² (preiswerter als traditionelles Gitter mit SAMI OB)

⇒ Schichtverbund: i.O.

Tabelle 6: Kosten/Nutzenvergleich unterschiedliche Bewehrungen (Objektgrösse 10'000 m²)

6. Bituminöse Voranstriche unter der Asphaltbewehrung

An **heissen Sommertagen** ist unter den vorbituminierten S&P Asphaltbewehrungen eine Haftemulsion mit erhöhtem Erweichungspunkt erforderlich. *Tabelle 7* zeigt die technischen Kennwerte dieser Emulsion.

> 0.2	Erweichungspunkt (SN EN 1427) > 53 °C
	> 03 C

Tabelle 7: technische Kennwerte Haftemulsion

Ein bituminöser Voranstrich, welcher das vorgeschriebene Anforderungsprofil (*Tabelle 7*) erfüllt, eignet sich bei hohen Tagestemperaturen. Bei einer grossflächigen Applikation wird die Haftemulsion idealerweise aufgeheizt und bei einer Temperatur von 50 bis 60 °C appliziert.

In der Ausschreibung sollten die technischen Daten des Voranstriches zwingend festgelegt werden.

Die Voranstrichmenge variiert je nach Rauhigkeit des Traggrundes zwischen 250 und 300 g/m² Emulsion. Der Höchstwert in Kombination mit einer vorbituminierten Asphaltbewehrung von 300 g/m² darf nicht überschritten werden. Die Asphaltbewehrung darf nur auf trockener (gebrochener) Emulsion verlegt werden. Wird die Gittereinlage an Schattenlagen resp. **kühlen Herbsttagen** appliziert, stellt sich die Problematik des Aufweichens der Haftemulsion nicht.



7. Grundlagenversuche EMPA Dübendorf CH "Wirkung von unterschiedlichen Asphalteinlagen"

7.1 Belastungsversuch am 4-Punkt-Biegebalken

An der EMPA Dübendorf CH wurden unterschiedlich bewehrte Asphaltschichten am 4-Punkt-Biegebalken untersucht. Zwei typische Bruchbilder werden gezeigt.



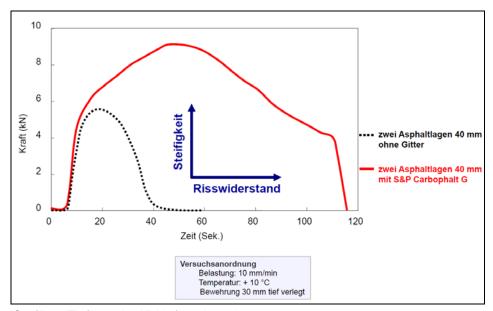
Bild 2: Referenzprobe ohne Einlage



Bild 3: Probe mit S&P Carbophalt G 200 kN als Einlage

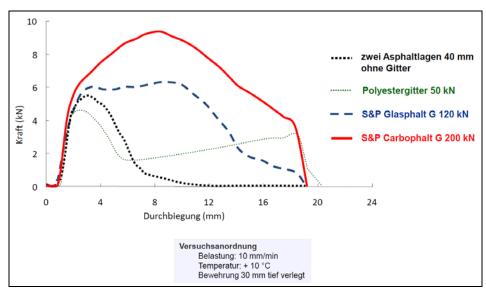
Während bei der unbewehrten Asphaltschicht (*Bild 2*) ein Riss in Mitte der Referenzprobe zum Bruch führt, stellt sich bei der kohlefaserbewehrten Asphaltschicht (*Bild 3*) eine optimale Spannungsumlagerung und Rissverteilung ein.

Grafik 5 zeigt, dass der Bruchwiderstand (Strukturwert) sowie der Risswiderstand der bewehrten Belagsschicht durch die Kohlefaserbewehrung massgeblich erhöht werden.



Grafik 5: Einfluss der Kohlefaserbewehrung

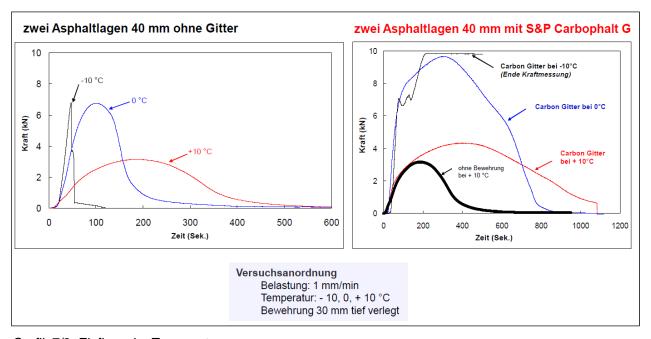
In *Grafik 6* wird ein Polyestergitter mit den vorbituminierten S&P Kohle- resp. Glasfasergitter verglichen. Das Polyestergitter mit einem E-Modul von ~10 kN/mm² dehnt beim Versuch unter der Krafteinwirkung weg und ist somit nicht in der Lage auf den Asphalt einwirkende Zugkräfte zu übernehmen. Das vorbituminierte Glasfasergitter *S&P Glasphalt G* mit einem E-Modul von ~ 49 kN/mm² übernimmt Zugkräfte in der Asphaltschicht und eignet sich somit grundsätzlich um Risse in der Asphaltschicht zu reduzieren. Mit dem vorbituminierten Kohlefasergitter *S&P Carbophalt G* kann zusätzlich die Bruchlast gesteigert werden. Die Kohlefasereinlage mit einem E-Modul von ~ 160 kN/mm² erhöht den Strukturwert der verstärkten Asphaltschicht und wirkt massgeblich zur Verbesserung des Risswiderstandes.



Grafik 6: Kohlefaserbewehrung im Vergleich zu anderen Einlagen

In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss der Temperaturen bei – 10 °C, 0 °C sowie + 10 °C von einer unbewehrten resp. einer kohlefaserbewehrten Asphaltschicht verglichen.

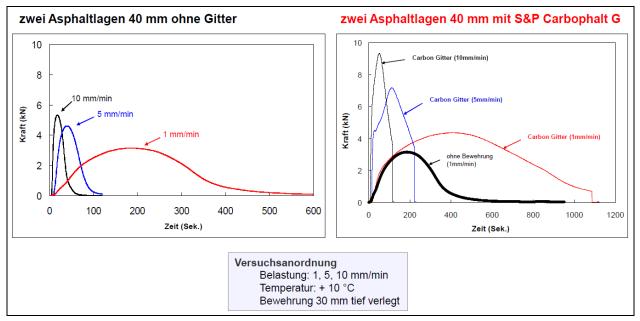
Grafik 7/8 zeigt, dass die Kohlefaserbewehrung *S&P Carbophalt G* den Risswiderstand sowie die Bruchlast in allen Temperaturbereichen massgeblich erhöht.



Grafik 7/8: Einfluss der Temperatur

In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss von weggesteuerten Belastungen (1 mm/min, 5 mm/min sowie 10 mm/min) zwischen einer unbewehrten resp. einer kohlefaserbewehrten Asphaltschicht verglichen.

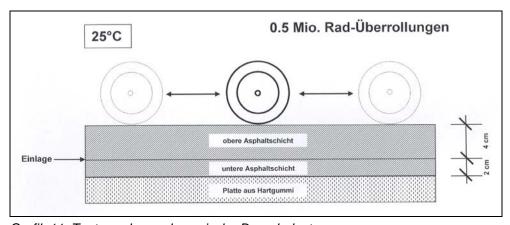
Grafik 9/10 zeigt, dass die Kohlefaserbewehrung *S&P Carbophalt G* den Bruch- sowie Risswiderstand in allen Lastbereichen massgeblich erhöht.



Grafik 9/10: Einfluss der weggesteuerten Belastung

7.2 Dynamische Dauerbelastung unter effektiver Radlast

An der EMPA Dübendorf CH wurden zweischichtige kohlefaserbewehrte und unbewehrte Belagskörper unter Dauerbelastung (*Grafik 11/Tabelle 8*) verglichen. Zur Simulation der Nachgiebigkeit des Untergrundes wurden die Probekörper auf eine Gummiunterlage appliziert und im Spurrinnengerät mit 0.5 Mio. Radüberrolllungen bei einer Temperatur von 25 °C belastet.



Grafik 11: Testanordnung dynamische Dauerbelastung

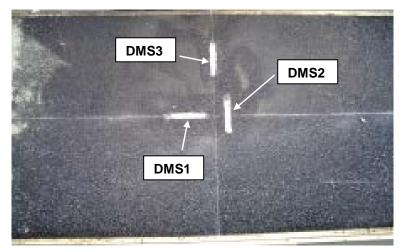


Bild 4: Anordnung der Dehnmessstreiffen

Prüfkörper K1:	zweischichtiger Belag ohne Asphaltbewehrung
Prüfkörper K5:	zweischichtiger Belag S&P Carbophalt G in 4 cm Tiefe verlegt
	(Traggrund gefräst)

Tabelle 8: Übersicht Prüfkörper

Die Prüfkörper (*Tabelle 8*) wurden auf der Unterseite mit Dehnmessstreifen in Längs- und Querrichtung versehen (*Bild 4*). Die Resultate der experimentellen Untersuchungen wurden durch die EMPA Dübendorf CH mit einer Finite-Elementberechnung modelliert. Modellierung und experimentelle Untersuchungen zeigten vergleichbare Resultate.

Die Dehnungen quer zur Radlast auf der Unterseite der Asphaltschicht wurden infolge der Kohlefaserbewehrung S&P Carbophalt G um 25 bis 40 % je nach Belagstyp reduziert.

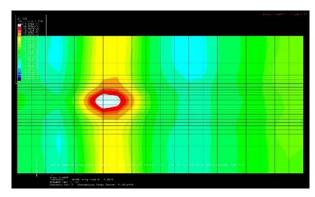


Bild 5: ohne Kohlefaserbewehrung

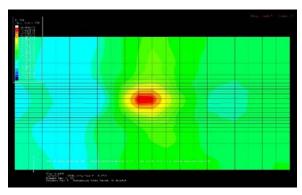
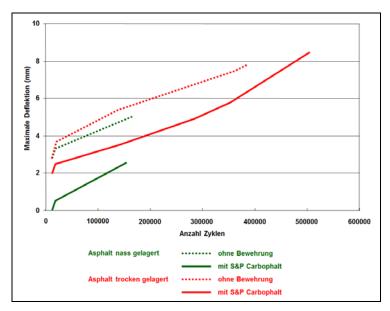


Bild 6: mit Kohlefaserbewehrung

Bilder 5 und 6 zeigen die Druckspannungen vor und hinter der Radbelastung beim Überfahren sowie die Zugspannungen unter der Radbelastung. Bei der kohlefaserbewehrten Belagsprobe werden Spannungen in die Bewehrung eingeleitet und durch diese absorbiert. Somit erfährt die Asphaltschicht reduzierte Spannungen.



Grafik 12: Deflektionen

Die *Graphik 12* zeigt die maximale Deflektion der verschiedenen Prüfkörper in Abhängigkeit der Lastzyklen. Dabei geht hervor, dass die gemessenen Deflektionen bei trocken oder nass gelagerten Asphaltschichten mit einer S&P Kohlefaserbewehrung deutlich geringer sind.

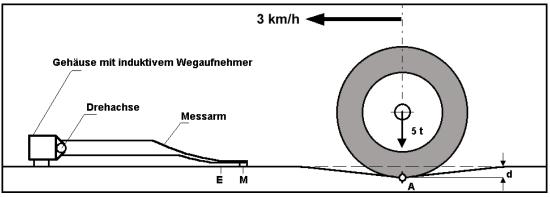
8. Deflektionsmessungen an kohlefaserbewehrten Belagsschichten

Im Herbst 2003 wurde die Tragfähigkeit der Hauptstrasse Andermatt-Hospental CH vor und nach dem mit kohlefaserbewehrten, bituminösen Hocheinbau mit 4 cm AB16 geprüft. Die Messung erfolgte mit dem Lacroix-Deflektographen mit einer Hinterachslast von 10 t.





Bilder 7/8: Lacroix Messwagen und Messbalken in Aufnahmestellung

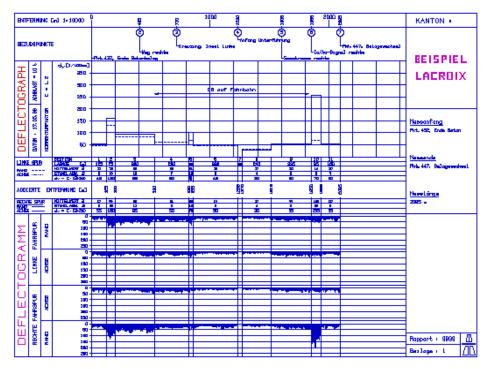


Grafik 13: Messprinzip dynamische Muldenaufzeichnung



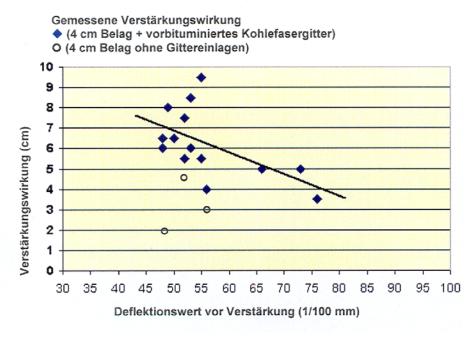
Über die gesamte Streckenlänge von 2 x 1.9 km = 3.8 km wurden im Abstand von 5.5 Meter Muldenmessungen vorgenommen. Das Messprinzip ist in *Grafik 13* dargestellt.

Bei der Auswertung der Resultate wurde die gemessene Strecke in homogene Abschnitte aufgeteilt. Diese Teilstücke wurden mit Angaben der entsprechenden charakteristischen Deflektion dv (1/100 mm) auf eine grafische Darstellung übertragen (*Grafik 14*).



Grafik 14: Ausschnitt der graphischen Darstellung der Messresultate

In verschiedenen Teilstrecken wurde *S&P Carbophalt G* als Zwischenlage unter die 4 cm starke neue Asphaltschicht eingebaut. Die theoretisch zu erwartende Reduktion der dv-Werte infolge einer Verstärkung im Hocheinbau von 4 cm Belag (ohne Gittereinlage) dient als Grundlage für die Bemessung der Verstärkungswirkung der *S&P* Kohlefasereinlage. *Grafik 15* zeigt die gemessene Verstärkungswirkung von 4 cm Belagsschicht und der *S&P* Kohlefaserbewehrung im Bereich der Strassenaxe.



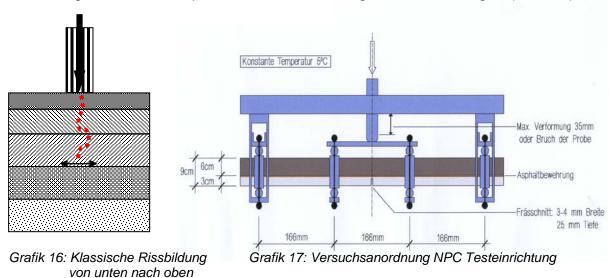
Grafik 15: Lacroix Ergebnisse

Die Wirkung der Kohlefaserbewehrung entspricht einer 3 bis 4 cm starken äquivalenten Belagsschicht. Die eindeutige Wirkung der S&P Kohlefaserbewehrung auf die Tragfähigkeit konnte nachgewiesen werden.

Mit dieser in Situ durchgeführten Messkampagne wird die von der EMPA Dübendorf CH gezeigte Wirkung der S&P Kohlefaserbewehrung bestätigt.

9. Untersuchungen NPC (Netherland Pavement Consultants) "Asphaltbewehrung gegen Ermüdungsrisse"

Ermüdungsrisse in der Asphaltschicht finden infolge Lasteinwirkungen (Radlast) statt.



Die Art des Ermüdungsrisses ist vom Reifentyp sowie vom Reifendruck abhängig. Die klassische Risspenetration findet von unten nach oben statt (*Grafik 16*). Die neuen Reifentypen und die hohen Belastungszyklen haben jedoch die Risspenetration umgekehrt. Bei NPC wurde anlässlich einer Versuchsreihe die Wirkung von unterschiedlichen Asphalteinlagen gegen Ermüdungsrisse unter Dauerbelastung am 4-Punkt-Biegebalken verglichen.

Eine zweischichtige Asphaltprobe von 9 cm Gesamtstärke (3 cm + 6 cm) wird in einem 4-Punkt-Biegebalken mit einer Spannweite von 500 mm zyklisch belastet (*Grafik 17*). Während der Prüfung wird die Umgebungstemperatur bei 5 °C konstant gehalten. Die Radlast der Fahrzeuge wird als zyklische Belastung bei einer Frequenz von 29.3 Hz im Kraftbereich 50 bis 4'500 N simuliert. Der gewählte Lastbereich simuliert im Strassenbau typische Radlasten. Die Durchbiegung des Probebalkens bis zum Bruch der Asphaltprobe respektive bis zu einer nicht reversiblen Verformung von 35 mm des Prüfkörpers wird in Abhängigkeit der Belastungszyklen aufgezeigt.

Die Entstehung eines Ermüdungsrisses infolge der Dauerbelastung wird protokolliert. Der Ausgangspunkt des Ermüdungsrisses wird als Frässchnitt in die unterliegende Belagsschicht vorgegeben.

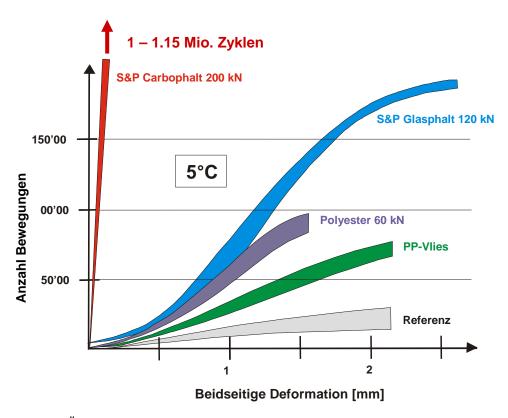
Im Versuch wurde die unbewehrte zweischichtige Asphaltprobe mit unterschiedlich bewehrten Asphaltproben der identischen Dicke verglichen (*Tabelle 9*). Die Asphaltbewehrungen sowie Vlieseinlagen wurden gemäss Herstellerangabe zwischen den zwei Belagsschichten eingebaut.

1	Referenzprobe	Ohne Belagsbewehrung
2	Belagsvlies	Polypropylen-Vlies 140 g/m²
3	Belagsgitter PES	Polyestergitter 60 kN/m (Längs- und Querrichtung)
4	Vorbituminiertes Glasgitter S&P Glasphalt G	Glasgitter 120/120 kN/m (Längs- und Querrichtung)
5	Vorbituminiertes C-/G-Fasergitter S&P Carbophalt G	Glasfaser 120 kN/m (Längsrichtung) Kohlefaser 200 kN/m (Querrichtung)

Tabelle 9: Übersicht Testkörper

Versuchsergebnisse:

Im Versuch wird eine verzögernde Wirkung der Asphaltbewehrung auf die Rissfortpflanzung aufgezeigt (*Grafik 18*). Das Durchschlagen des Risses durch die neue Asphaltschicht führt schlussendlich zu nicht reversiblen Verformungen respektive zum Bruch der Asphaltprobe. Das Resultat gibt somit Auskunft über den Widerstand gegen Ermüdung unter Dauerlast des Asphaltbelages.



Grafik 18: Übersicht Versuchsresultate

Den Asphaltproben, bewehrt mit *S&P Carbophalt G,* wurden exzellente Eigenschaften gegen eine allfällige Rissfortpflanzung unter Dauerlast attestiert.

10. Untersuchungen BRRC (Belgian Road Research Centre)

"Asphaltbewehrungen gegen thermische Rissreflektion"

Bestehende Risse in der alten Belagsschicht reflektieren infolge der täglichen Temperaturschwankungen während den Wintermonaten durch die neue Asphaltschicht. Mit den S&P Bewehrungen werden Spannungen übernommen und somit Risse minimiert (*Bild 9*).



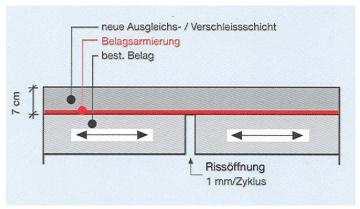
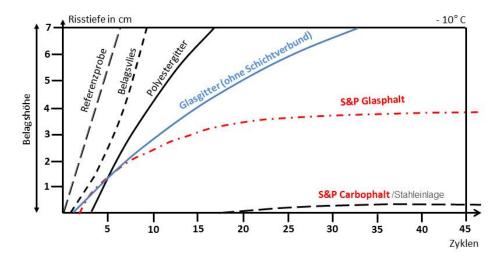


Bild 9: Einbau S&P Carbophalt G

Grafik 19: Versuchsaufbau Road Research Center

Durch das Belgische Road Research Center wurden unterschiedliche Asphaltbewehrungen getestet. *Grafik 19* zeigt den Versuchsaufbau. Eine alte gerissene Belagsschicht (Riss wird durch einfräsen simuliert) wird 7 cm stark überbaut. Unterschiedliche Asphaltbewehrungen wurden zwischen alte und neue Asphaltschicht eingelegt. Die Rissöffnung infolge Temperaturschwankungen wurde mit einer Flüssigkeit, welche gefriert und wieder auftaut, simuliert. Die Resultate (*Grafik 20*) zeigen, dass mit *S&P Glasphalt G* und *S&P Carbophalt G*, welche einwandfrei im Schichtverbund verlegt wurden, die Rissreflektion verhindert werden kann.

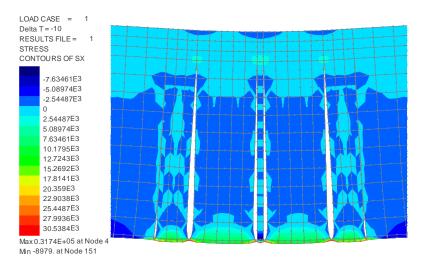


Grafik 20: Versuchsresultate Road Research Center

Mit dem Finite-Elemente Programm Lusas wurde die Versuchsanordnung modelliert. Die Modellierung am unbewehrten Modell bestätigt, dass die Spannungen in der Asphaltschicht bis 46.8 N/mm² ansteigen. Asphalt kann jedoch maximal eine Spannung von 3.5 N/mm² aufnehmen. Entsprechend wird in der unbewehrten Belagsschicht der Riss an der Oberfläche reflektieren. Die Modellierung am bewehrten Modell (*Grafik 21*) zeigt, dass sich am Rissufer eine leichte Ablösung bildet. Dadurch können die Kräfte in die Bewehrung eingeleitet werden.



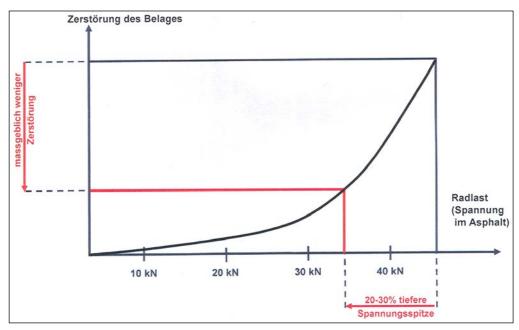
Im Modell betrugen die Spannungen im Überasphalt weniger als 3.5 N/mm². Entsprechend kann die Rissreflektion gestoppt werden. Die Modellierung zeigt auf, dass die Spannungsreduktion in der neuen Asphaltschicht infolge der Kohlefaserbewehrung bei der Versuchstemperatur von -10° C um **25 bis 40** % reduziert werden konnte.



Grafik 21: Resultierende Spannungen im Überasphalt im Modell mit sechs vertikalen Rissen (Risslänge 0.06 m) aufgrund der Ausdehnung des im Riss eingeschlossenen Wassers.

11. Zusammenfassung

Die vorbituminierte Kohlefaserbewehrung bewirkt in allen getesteten Temperatur- und Lastbereichen eine Dehnungs- und somit eine Spannungsreduktion bis zu 30 % in der Asphaltschicht. Kohlefaserbewehrungen wie auch Glasfaserbewehrungen werden zur Rissminderung in der Asphaltschicht eingesetzt. Beide Bewehrungen erhöhen die Dauerhaftigkeit. Die Bewehrung mit Kohlefasern erhöht zusätzlich den Strukturwert.



Grafik 22: Einfluss der Radlast auf die Zerstörung des Belages

Grafik 22 zeigt, dass die Zerstörung des bituminösen Belages in Abhängigkeit der Radbelastung steigt. Die Kohlefaserbewehrung reduziert die Spannungsspitzen durch hohe Radlasten, welche auf die Asphaltschicht einwirken. Die Zerstörung des Belages wird dadurch massgeblich reduziert. Dies manifestiert sich in höherer Dauerhaftigkeit, längeren Erneuerungszyklen sowie weniger Unterhaltsarbeiten. Dank weniger Baustellen entstehen zusätzlich volkswirtschaftliche Vorteile. Die Kostenvorteile von bewehrten Asphaltschichten sind unter Berücksichtigung aller Aspekte von Bedeutung.

12. Literaturhinweis

- Diverse Prüfberichte EMPA, Dübendorf, Schweiz
- Untersuchungsbericht Netherlands Pavement Consultants bv, NPC Nr. 018463
- Prüfbericht Centre de recherches routières Bruxelles Belgique, EP 61530
- Prüfbericht Consultest, Ohringen, Schweiz, 1119-02
- Prüfbericht SACR, Herbst 2003
- Modellierung Dr. Andrew Faeh, Ingenieurbureau Heierli AG, Zürich, Schweiz