

Besondere Aspekte des Schichtenverbundes von Belägen

Christiane Raab, Dipl.-Ing., Manfred N. Partl, Dr.-Ing., EMPA, Abteilung Straßenbau/Abdichtungen, Dübendorf

Zusammenfassung

Seit der Normung einer Prüfung zur Bestimmung des Schichtenverbunds scheint die vorher teilweise heftig geführte Diskussion zu diesem Thema in der Schweiz abgeschlossen zu sein. Daß es jedoch noch eine Menge offener Punkte besonders auch im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungswerten gibt, zeigen die in den letzten zwei Jahren an der EMPA hinsichtlich spezieller Aspekte durchgeführten Untersuchungen sowie erste Ergebnisse einer von der EMPA entwickelten Prüfmethode zur Beurteilung der Wasserempfindlichkeit des Schichtenverbundes.

1. Einleitung

Seit dem Erscheinen der Schweizer Norm SN 671961 "Bituminöses Mischgut, Bestimmung des Schichtenverbunds (nach Leutner)" im Jahre 2000 [1] sind die Diskussionen über das Thema weitgehend verstummt. Alle offenen Fragen scheinen gelöst: Die Prüfung des Schichtenverbundes mittels direkter Schubbeanspruchung wird gemäß oben genannter Norm [1] durchgeführt und die Prüfergebnisse werden anhand der Anforderungswerte der Norm SN 641601-1 „Prüfplan für den bituminösen Belagsbau“ [2] beurteilt.

Ein Blick in die Norm „Prüfplan für den bituminösen Belagsbau“ [2] zeigt allerdings, daß die hier aufgeführten Anforderungswerte (≥ 15 kN für die maximale Scherkraft zwischen Deck- und Tragschicht, bzw. ≥ 12 kN zwischen zwei Tragschichten) auf mindestens fünfzehn Jahre alten Untersuchungen an teilweise nicht mehr zeitgemäßen Belagskonzepten beruhen und in keiner Weise neuere Forschungsergebnisse berücksichtigen. Dies, obwohl noch vor Herausgabe der Norm [2] und vor dem Erscheinen des Forschungsberichtes „Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen“ [3], darauf hingewiesen wurde, daß die im Rahmen jener Forschungsarbeit durchgeführten Untersuchungen deutlich höhere Anforderungswerte ($23 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$) für den Schubverbund zwischen AB- bzw. SMA-Deckschichten und Tragschichten als zweckmäßig erscheinen lassen. Nachdem diese Aussage nun auch durch ausländische Forschungsergebnisse [4] untermauert wurde und kantonale Experten ebenfalls für eine Erhöhung der Anforderungswerte plädieren, scheint es nunmehr an der Zeit, die Anforderungswerte in den zuständigen Normungsgremien einer erneuten Überprüfung zu unterziehen. Dabei sind auch Untersuchungen des Schubverbundes tieferer Schichten (Verbund Tragschicht/Tragschicht und Tragschicht/Fundationsschicht) zu berücksichtigen, bei denen mangelnder Verbund, wie Abbildung 1.1 verdeutlicht, durchaus auch Probleme bereiten kann. In vielen Fällen liegt die Vermutung nahe, daß solche Schichtenverbundprobleme bereits beim Einbau vorprogrammiert und schließlich durch eindringendes Wasser begünstigt werden.



Abbildung 1.1: Schichtenverbundprobleme zwischen Heißmischtragschicht und Heißmischfundationsschicht bei einem frisch eingebauten Autobahnbelag

Anforderungswerte an den Schichtenverbund fehlen bisher ebenfalls sowohl für offenporige Asphaltbeläge als auch für kombinierte Beläge in Form von Asphaltüberzügen auf alten Betonstraßen, wie sie im Zusammenhang mit Instandsetzungsmaßnahmen Verwendung finden. Hier kommen vermehrt auch sogenannte spannungsabsorbierende Zwischenschichten (SAMI nach Schweizer Norm 640732 [5]) zur Anwendung, welche die „bottom up“ Bildung von Reflexionsrissen in den neu eingebauten Asphaltüberzügen durch Spannungskonzentrationen an den Risßspitzen bestehender unterer Schichten mittels plastischer Verformung oder rißüberbrückender Einlagen (z.B. Vlies) verringern und gleichzeitig ein Eindringen von Wasser in die Unterlage verhindern sollen, wobei die quantitativen Auswirkungen auf den Verbund aber in der Regel nicht bekannt sind.

Im folgenden werden einige diesbezügliche Untersuchungen der EMPA dargestellt. Die aufgeführten Forschungsergebnisse erheben dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern dienen vielmehr zur Verdeutlichung, daß das Thema „Schichtenverbund“ keineswegs als abgeschlossen anzusehen ist.

2. Untersuchung des Schubverbundes zwischen oberer und unterer Tragschicht

Nachdem die EMPA auch von kantonaler Seite bezüglich der niedrigen Anforderungswerte der Norm für die maximale Scherkraft im direkten Schubversuch nach Leutner angesprochen wurde und in [3] mit $23\text{kN} \pm 1\text{kN}$ zwischen Asphaltbeton- bzw. Splittmastixdeckschichten und Tragschichten höhere Anforderungswerte vorgeschlagen wurden, wurde von der EMPA unmittelbar im Anschluß an die in [3] dokumentierten Prüfungen eine eingehende Untersuchung des Schubverbundes zwischen oberen und unteren Tragschichten durchgeführt. Dabei wurde der Schichtenverbund zwischen zwei Tragschichten an 16 verschiedenen Entnahmestellen ermittelt. Wie bei der in [3] durchgeführten Untersuchung stammten die Bohrkerne aus den von den Kantonen Aargau, Basel Land, Basel Stadt,

Jura, Solothurn, St. Gallen, Wallis und Zürich für den Forschungsauftrag „Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds“ [3] zur Verfügung gestellten Strecken, wodurch eine relativ große für die Praxis relevante Variationsbreite von Tragschichten berücksichtigt wurde. Allerdings lagen in vielen Fällen keine Angaben über die genaue Zusammensetzung der Schichten vor, zumal es sich teilweise auch um ältere (Beläge nach alter Schweizer Norm SN 640 431, Ausgaben vor 1988), nicht definierte Belagssorten handelte. Allgemein waren drei Aufbauten zu unterscheiden: 1. Aufbau neu/neu (Neubau), 2. Aufbau: neu/alt (Teilersatz) und 3. Aufbau alt/alt. Die Scherkraft zwischen oberer und unterer Tragschicht wurde an jeweils mindestens 7 Prüfkörpern nach dem in [1] beschriebenen Prüfverfahren und der dort festgelegten Temperatur von 20°C bestimmt. Die Ergebnisse (Mittelwerte der maximalen Scherkraft [kN] aus mindestens 6 Bohrkernen) der Untersuchung zeigt Tabelle 2.1.

Entnahmestelle Nr.	Material		maximale Scherkraft [kN] (Mittelwert N≥7)
	obere Tragschicht	untere Tragschicht	
1	HMT (alt, undef.)	HMT (alt, undef.)	21.4
2	HMT (alt, undef.)	HMT (alt, undef.)	26.8
3	HMT (alt, undef.)	HMT (alt, undef.)	27.1
4	HMT (alt, undef.)	HMT (alt, undef.)	12.3
5	HMT 32	HMT (alt, undef.)	32.3
6	HMT 32	HMT 32 (alt)	25.8
7	HMT 22	HMT 30 (alt)	19.0
8	HMT 32	HMT (alt, undef.)	10.7
9	CSHM22	HMT 32	30.4
10	HMT 32	HMT 32	23.9
11	HMT 22	HMT 32	16.1
12	HMT 22	HMT 32	29.3
13	HMT 22	HMT 22	17.3
14	HMT 22	HMT 32	7.3
15	HMT 22	HMT 32	36.0
16	HMT 16	HMT 22	33.2
Mittelwert			23.1
Standardabweichung			8.6

Tabelle 2.1: Maximale Scherkraft [kN] in der Schichtgrenze zwischen oberer und unterer Tragschicht bei 20°C

Bildet man den Mittelwert über alle Entnahmestellen, ergibt sich eine mittlere maximale Scherkraft von 23.1kN ± 8.1. Bei einer Klassierung der Entnahmestellen, je nachdem, ob es sich um einen bereits längere Zeit bestehenden Belag (alt/alt), einen Teilersatz (neu auf alt) oder einen Neubau (neu/neu)

handelt, ergeben sich folgende Mittelwerte (siehe Tabelle 2.2): Wie in Tabelle 2.2 ersichtlich, lässt lässt sich kein dabei signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Klassen (Fällen) feststellen.

Entnahmestelle Nr.	Material		maximale Scherkraft [kN] (Mittelwert)	Standardabweichung [kN]
	obere Tragschicht	untere Tragschicht		
1 bis 4	alt	alt	23.6	6.2
5 bis 8	alt	neu	22.0	9.3
9 bis 16	neu	neu	24.2	9.9

Tabelle 2.2: Maximale Scherkräfte [kN] in der Schichtgrenze zwischen oberen und unteren Tragschichten bei 20°C

In Abbildung 2.1 ist eine Klassenhäufigkeitsverteilung der Mittelwerte und Einzelwerte dargestellt. Der in der Kurve der Einzelwerte sichtbare Rückgang der Häufigkeit ist in der Kurve der Einzelwerte nicht zu erkennen und lässt sich mit der geringen Anzahl an Werten erklären.

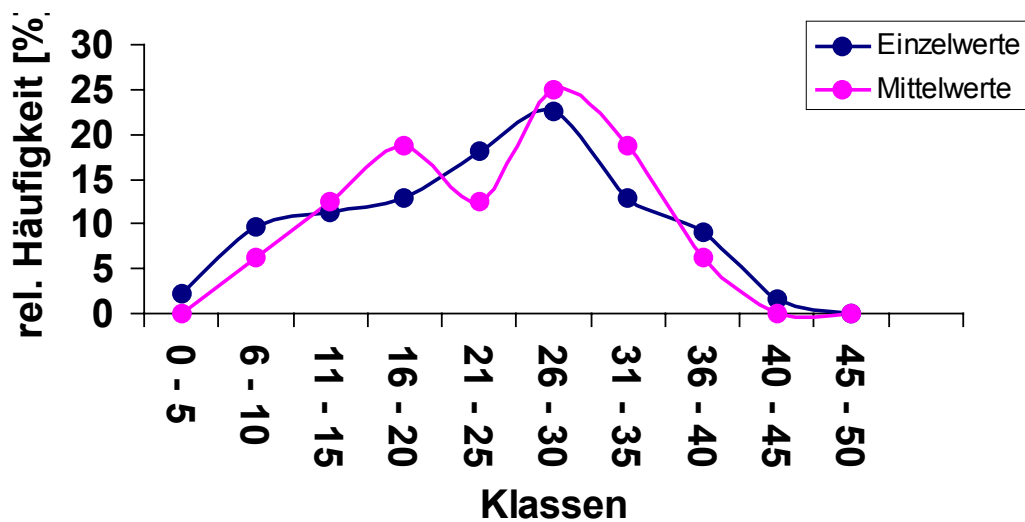


Abbildung 2.1: Häufigkeitsverteilung der Einzel und Mittelwerte der max. Scherkräfte zwischen oberer und unterer Tragschicht (16 Entnahmestellen)

Die Ergebnisse zeigen, daß der in [2] angegebene Anforderungswert von ≥ 12 kN für die maximale mittlere Scherkraft zwischen Tragschichten sicher zu tief angesetzt ist. Im Rahmen der Untersuchung wurde dieser Anforderungswert nur in zwei Fällen (10.7 kN und 7.3 kN) bzw. bei 6.3% der Entnahmestellen unterschritten. Die maximalen Scherkräfte von mehr als 80% der Entnahmestellen liegen höher als 16 kN und 56% der Entnahmestellen weisen Werte auf, die sogar über 20 kN liegen (vgl. Abbildung 2.1).

3. Schichtenverbund bei kombinierten Belägen

Unter dem Begriff „kombinierte Beläge“ sind Beläge zu verstehen, bei denen eine Schicht aus Beton und eine andere Schicht aus Asphalt besteht. Bei der Überdeckung von Betonstraßen mit Asphaltüberzügen kommen in den letzten Jahren vermehrt Verfahren zum Einsatz, bei denen der

Einbau von sogenannten spannungsabsorbierenden Membranen (SAMI) die Spannungsübertragung zwischen bestehendem und neuem Aufbau verringern sollen. Dabei ist bisher wenig erforscht, wie sich der Einbau solcher spannungsabsorbierender Zwischenschichten auf den Verbund zwischen den Schichten auswirkt und Erfahrung mit dem Einbau von Geotextilien lassen vermuten, daß solche Maßnahmen sich in bezug auf den Schichtenverbund nicht unbedingt günstig auswirken.

In einer vom ASTRA und dem Tiefbauamt des Kantons Bern durchgeführten Untersuchung [6] wurde auf einer Autobahnversuchsstrecke der dreißigjährige zweischichtige Betonbelag mit einem Asphaltbelag (Splittmastixasphalt SMA 11 und Asphaltbeton AB11) überdeckt, wobei drei unterschiedliche rißhemmende Zwischenschichten mit

- Glasfasereineinlage
- Stahlgeflechteinlage
- Oberflächenbehandlung

verwendet wurden.

Bei der Glasfasereineinlage wird in einem ersten Schritt Haftvermittler heiß aufgespritzt. Anschließend wird die Glasfasereineinlage bahweise maschinell abgerollt und mit einer Bürste angedrückt. Danach erfolgt der Einbau eines ca. 4 cm dicken Splittmastixbelages.

Das zweite System besteht aus einem Stahlgeflecht und einer Slurry aus Kaltmikrobelag. Das Stahlgeflecht wird direkt auf den Betonbelag gelegt, am Rollenanfang auf den Betonbelag genagelt und mit einer Radwalze flachgewalzt. Anschließend wird das flachgewalzte Geflecht mit einer ca. 0.5 bis 1 cm dicken Slurry (Kaltmikrobelag) eingeschlemmt. Nach dem Erhärten dieser Slurry wird eine ca. 4.5 cm dicke Splittmastixasphaltdeckschicht aufgebracht.

Für die Oberflächenbehandlung wird Haftvermittler heiß aufgespritzt, mit vorumhüllten Splitt abgestreut und anschließend eingewalzt. Nach Absaugen des überschüssigen Splitts erfolgt der Einbau einer ca. 4 cm dicken Asphaltbetondeckschicht.

Je nach System kann sich bei solchen Zwischenschichten die Untersuchung des Verbundes nicht nur hinsichtlich Schub sondern auch hinsichtlich Haftzug als zweckmäßig erweisen. Dies insbesondere in Situationen, wo nicht nur mit Schubbeanspruchungen sondern auch mit Blasenbildungsphänomenen und damit mit Zugbeanspruchungen senkrecht zur Schichtebene zu rechnen ist. Im konkreten Fall erfolgte die Prüfung des Schichtenverbundes mit Hilfe des direkten Schubversuchs, wie in der Norm [1] vorgeschrieben, an jeweils 4 Bohrkernen mit einem Durchmesser von 150 mm und bei einer Temperatur von 20°C. Eine Ausnahme bildet das System mit Stahlgeflechteinlage bei dem nur 3 Bohrkern untersucht werden konnten (siehe auch Tabelle 3.1).

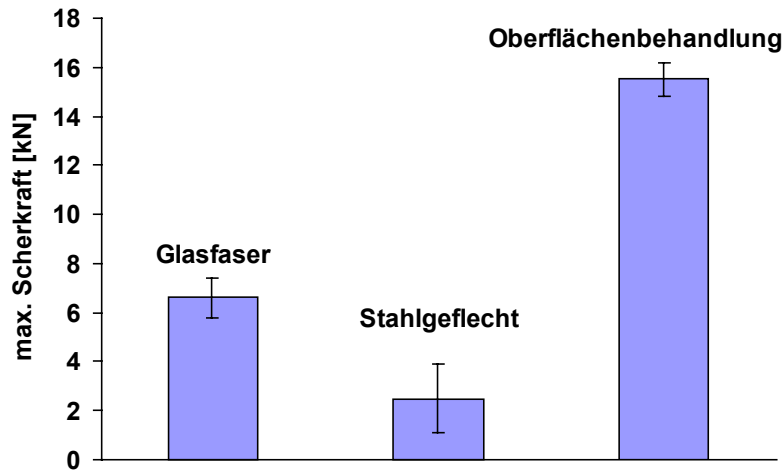


Abbildung 3.1 Ergebnisse der Abscherprüfung bei 20°C

Die Ergebnisse der direkten Schubprüfung, wie sie in Abbildung 3.1 dargestellt sind, zeigen deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen. Die Bohrkerne mit Stahlgeflechteinlage erreichen nur maximale Scherkräfte zwischen 1.3 kN und 4.1 kN (Mittelwert: 2.5 kN,) und weisen eine relativ starke Streuung auf (Standardabweichung 1.4 kN), die vor allem auf das ungünstige Verhältnis von Maschenweite und Bohrkern Durchmesser zurückzuführen ist, was auch in Abbildung 3.2 gut sichtbar wird. Die Bohrkerne mit Glasfasereinlage erreichen Werte zwischen 7.7 kN, und 6.1 kN (Mittelwert: 6.6 kN Standardabweichung 0.8 kN), während die Bohrkerne mit Oberflächenbehandlung immerhin Werte zwischen 14.4 kN und 15.8 kN (Mittelwert: 15.4 kN, Standardabweichung 0.7 kN) erzielen. Auch wenn wie die in [3] dargestellten Untersuchungen zu gleichen Anforderungswerte für den Schichtenverbund zwischen Asphaltbeton- bzw. Splittmastixasphaltdeckschichten und Tragschichten führen, muß aber an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß die drei Systeme im Hinblick auf die aufgebrauchte Deckschicht (Splittmastix im Fall von Glasfaser- und Stahlgeflechteinlage, Asphaltbeton im Fall der Oberflächenbehandlung nicht völlig gleich waren.

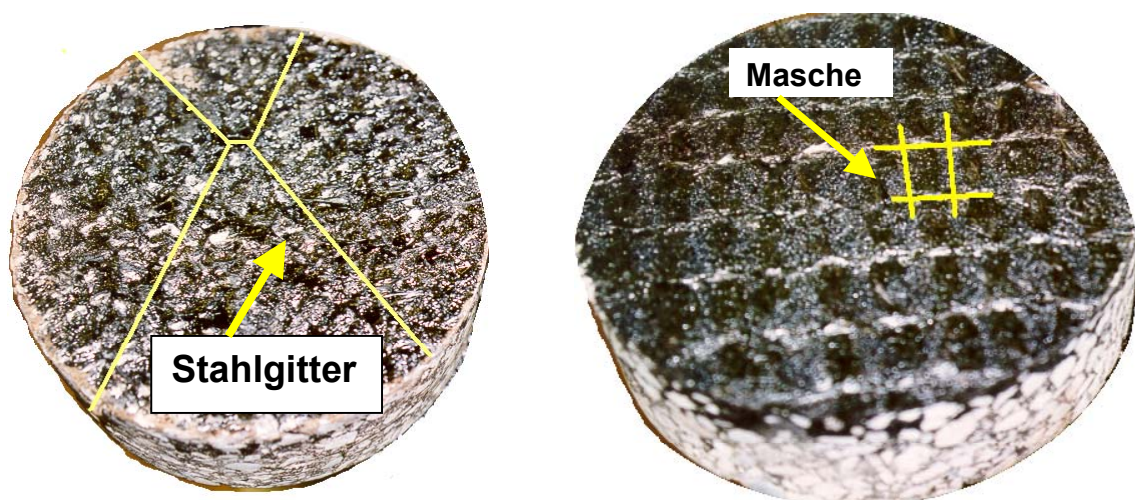


Abbildung 3.2: Oberfläche der Bohrkerne nach der Abscherprüfung, links Stahlgeflechteinlage, rechts Glasfasereinlage

Wie aus der Untersuchung hervorgeht, ist in bezug auf den Schichtenverbund die Verwendung von Glasfaser- und Stahlgeflechteinlagen als kritisch zu beurteilen und muß auf jeden Fall in situ gut beobachtet werden.

4. Einfluß von Wasser auf den Schichtenverbund von Asphaltbelägen

In einer weiteren im Sommer 2001 an der EMPA durchgeführten Studie [8] sollte der Einfluß von Wasser auf den Schichtenverbund von Asphaltbelägen mit einem speziellen von der EMPA entwickelten Prüfverfahren näher untersucht werden.

Die Untersuchung wurde an Bohrkernen durchgeführt, die aus einem dreischichtigen Belagsausschnitt entnommen worden waren. Da es sich um einen ca. 20 Jahre alten Belagsausschnitt handelte, war die Zusammensetzung der Asphaltsschichten nicht bekannt. Nachdem sich herausstellte, daß der Schichtenverbund zwischen der Deckschicht und der mittleren Schicht sehr schlecht war, wurde die Scherkraft zwischen der mittleren und der unteren Schicht ermittelt. Um das Eindringen von Wasser zwischen die Schichten sicherzustellen, wurde bis zur Schichtgrenze einseitig ein Loch von 25 mm Durchmesser in den Bohrkern gebohrt und ein Röhrchen eingeklebt, welches anschließend mit Hilfe von Schläuchen an eine Pumpe angeschlossen wurde. Abbildung 4.1 zeigt den Versuchsaufbau für sechs Bohrkern:

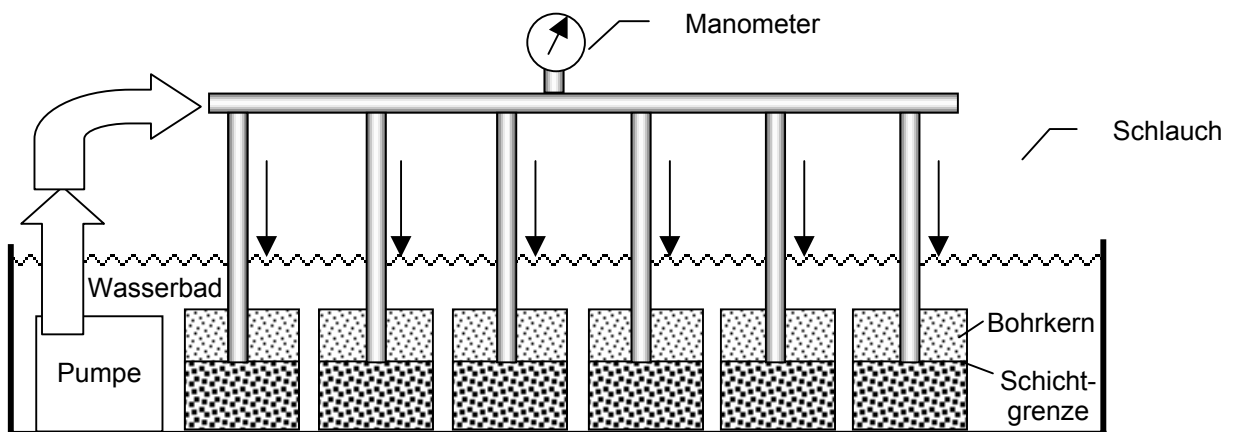


Abbildung 4.1: Versuchsaufbau

Die Bohrkern wurden in ein 40°C warmes Wasserbad gestellt und ca. 2 Stunden lang temperiert. Anschließend wurde ein Wasserdruck aufgebracht, der während einer festgelegten Zeitdauer beibehalten wurde (vgl. auch Tabelle 4.1). Danach wurden die Bohrkern zur Bestimmung der maximalen Scherkraft [kN] mindestens 8 Stunden bei 20°C in einem weiteren Wasserbad temperiert.

Die Ergebnisse aus fünf verschiedenen Testreihen, mit jeweils wechselnden Drücken, Temperaturen und Zeitdauern der Wassereinwirkung sind in Tabelle 4.1 und Abbildung 4.2 dargestellt.

Testserie Nr.	Bohrkern Nr.	Temperatur [° C]	in Wasser	Druck [bar]	Zeit [h]	Scherkraft [kN]
1	53	Raumtemp.	nein	0	0	25.15
1	64	Raumtemp.	nein	0	0	29.21
1	52	Raumtemp.	nein	0	0	26.37
2	51	40	ja	0.5	5.5	22.19
2	59	40	ja	0.5	5.5	22.76
2	26	40	ja	0.5	5.5	24.15
2	27	40	ja	0.5	5.5	21.53
3	43	40	ja	0.55	8	19.05
3	48	40	ja	0.55	8	21.2
3	49	40	ja	0.55	8	22.14
3	4	40	ja	0.55	8	19.51
4	36	40	ja	0.5	8	20.39
4	5	40	ja	0.5	8	19.15
4	1	40	ja	0.5	8	19.08
4	6	40	ja	0.5	8	21.05
5	42	40	ja	0	75	14.54
5	41	40	ja	0	75	18.95
5	34	40	ja	0	75	23.98
5	45	40	ja	0	75	21.25
5	2	40	ja	0	75	19.21

Tabelle 4. 1: Untersuchungsergebnisse und Bedingungen

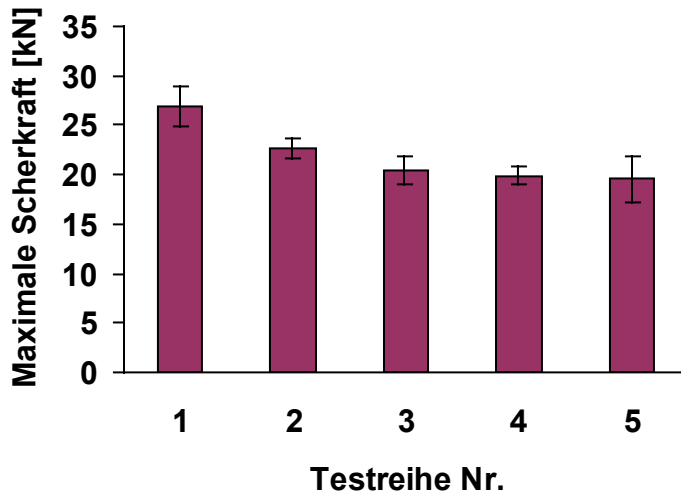


Abbildung 4.2: Versuchsergebnisse, Mittelwerte und Standardabweichung der einzelnen Testreihen

Wie die Ergebnisse zeigen, hat Wasser einen Einfluß auf die Höhe der maximalen Scherkraft und damit auf den Schichtenverbund. Bei den verschiedenen Testreihen ergibt sich im Vergleich mit Testreihe Nr 1 (ohne Wasserlagerung), die als Vergleichsreihe diente, eine Abnahme der maximalen Scherkraft um 15...27%. Außerdem wird deutlich, daß eine 75 stündigen Wasserlagerung bei 40°C, aber ohne Druck etwa zur gleichen Schwächung des Schichtenverbundes führt, wie ein kurzes Aufbringen von Wasserdruck (z.B. 8 stündige Druckbelastung in der Schicht bei 0.5 bar bei Testreihe 4). Auch wenn diese ersten Ergebnisse in quantitativer Hinsicht noch einer breiteren Abstützung durch

die Untersuchung weiterer Asphaltbeläge bedürfen, erscheint es dennoch zweckmäßig bereits heute darauf hinzuweisen, daß bei der Beurteilung der Schichthaftung künftig auch die Wasserempfindlichkeit einzubeziehen ist. Dies kann beispielsweise mit Hilfe des von der EMPA entwickelten Verfahren auf Basis einer 75 stündigen Wasserlagerung bei 40°C erfolgen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Wie die hier dargestellten Untersuchungen zeigen, ist das Thema Schichtenverbund noch immer von großer Aktualität und, es gibt durchaus einige offene Fragen.

Nach Meinung der Verfasser sollten die in der Norm [2] angegebenen Anforderungswerte für den Schichtenverbund an die neusten Forschungsergebnisse deutlich erhöht und im Rahmen der zur Zeit laufenden Überarbeitung der Schweizer Norm SN 640431 [8] berücksichtigt werden.

Andererseits können, wie am Beispiel von kombinierten Belägen mit rißabsorbierenden Zwischenschichten dargelegt, noch lange nicht für alle in der Praxis verwendeten Belagsarten Anforderungswerte für den Schichtenverbund festgelegt werden. Gerade dem Verbund zwischen unterschiedlichen Materialien ist dabei ein besonderes Gewicht beizumessen. Zu nennen ist an dieser Stelle aber auch der Schichtenverbund bei offenporigen Belägen für den zum heutigen Zeitpunkt noch keine Anforderungswerte formuliert werden können, da keine ausreichenden Versuchsserien vorliegen. Hier müßten weitere Forschungsprojekte durchgeführt werden.

Bei der Verwendung von Zwischenschichten ist außerdem zu beachten, daß der Schichtenverbund je nach System und Ausführung empfindlich gestört werden kann. Dem Vorteil der Rißabsorption steht der Nachteil eines reduzierten Schichtenverbundes gegenüber. Dieser Nachteil wird dadurch verstärkt, daß durch die vorhandenen Risse in den unteren Schichten Wasser in die Kontaktzone zwischen den Schichten eindringen und damit die Beständigkeit und Tragwirkung des Belagsystems beeinträchtigen kann.

Auch bei Asphaltbelägen ohne Zwischenschichten, wirkt sich das Eindringen von Wasser ungünstig auf die Verbundeigenschaften aus. Bei der Beurteilung der Schichthaftung sollte daher auch in diesem Fall die Wasserempfindlichkeit des Schichtenverbundes vermehrt berücksichtigt werden. Dies kann beispielsweise mit Hilfe des von der EMPA entwickelten Verfahren auf Basis einer 75 stündigen Wasserlagerung bei 40°C erfolgen.

Literatur

- [1] Schweizer Norm SN 671961 "Bituminöses Mischgut, Bestimmung des Schichtenverbunds (nach Leutner)", Ausgabe Mai 2000
- [2] Schweizer Norm SN 641601-1 „Prüfplan für den bituminösen Belagsbau“, Ausgabe November 1999
- [3] C. Raab, M.N. Partl: Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen. ASTRA-Projekt FA 12/94, Bericht Nr. 442, 1999
- [4] U. Stöckert: Schichtenverbund – Prüfung und Bewertungshintergrund, Straße + Autobahn, 11/2001
- [5] Schweizer Norm SN 640732 „Bauliche Maßnahmen zur Erhaltung von Fahrbahnen, Instandsetzung bituminöser Beläge“, Ausgabe April 1993
- [6] R. B. Dieterle: Asphalteinbau auf Betonstraßen, Asphalt, Heft 3/2001
- [7] J. Lieberman, C. Raab, EMPA-Bericht Nr. 840851/1 „The Effects of Water on the Shear Strength of Asphalt“, August 2001
- [8] Schweizer Norm SN 640431 "Asphaltbetonbeläge“, Ausgabe 1997