



Eine ewige Verbindung? – Zum Schichtenverbund im Asphaltstraßenbau

Der Verbund im Asphaltstraßenbau spielt eine nicht zu unterschätzende Rolle. Betrachtet man den gesamten Asphaltaufbau, dann wird in vielen Fällen davon ausgegangen, dass sich dieser Aufbau als einziger monolithischer Körper verhält (Abbildung 1 links). In der Realität erkennt man jedoch, dass durch den lagenweisen Einbau (Abbildung 1 rechts) Grenzflächen entstehen, die die Einwirkungen auf das Straßenbauwerk auf gleiche Weise ab- und weiterleiten sollen, wie dies innerhalb einer Schicht gewährleistet ist.

Inhomogene oder ungenügende Verbundeigenschaften bewirken also eine Verringerung des Gesamtwiderstandes und führen folglich zu größeren Verformungen und Rissbildung, die schlussendlich eine Verkürzung der Lebensdauer bedeuten. Daher ist es wichtig die Verbundeigenschaften einerseits bei der Dimensionierung zu berücksichtigen, diese andererseits aber auch während des Bauprozesses durch Laborversuche zu überprüfen.

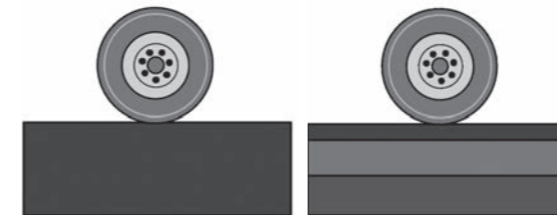


Abbildung 1: Asphaltaufbau als theoretisch monolithischer Körper, realitätsnaher lagenweiser Aufbau

Vertikale Kräfte – Fließender Verkehr

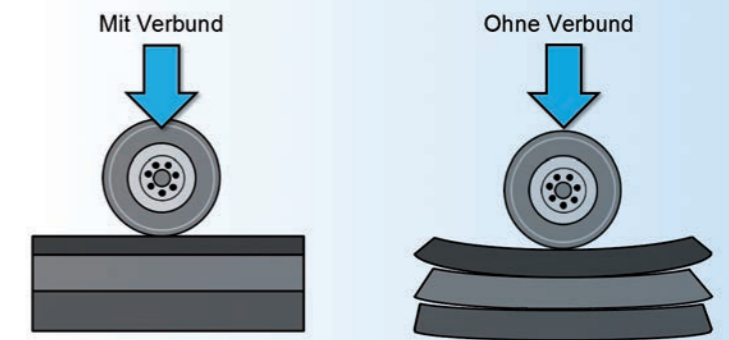


Abbildung 2: Vertikale Einwirkungen und Auswirkungen mit theoretischen Grenzfällen ohnelvoller Verbund

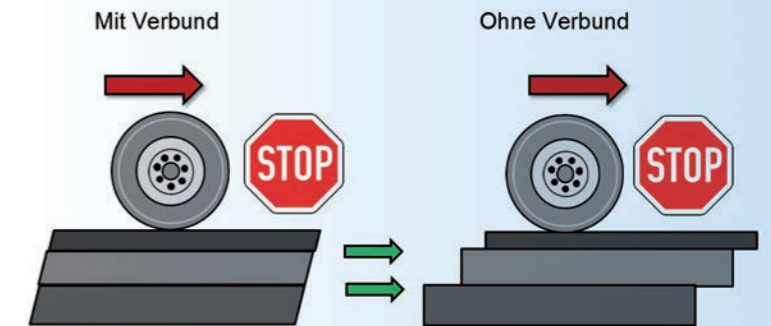


Abbildung 3: Horizontale Einwirkungen und Auswirkungen mit theoretischen Grenzfällen ohnelvoller Verbund

Welche Einwirkungen gibt es?

Betrachtet man die tatsächlichen Einwirkungen auf den Straßenaufbau, kann man diese in horizontale und vertikale Kräfte unterteilen. Vertikale Einwirkungen treten aufgrund der Achslasten des fließenden Verkehrs auf. Unterscheidet man das Verhalten in theoretischen Betrachtungen von „vollem Verbund“ gegenüber „ohne Verbund“ (Abbildung 2), kann man erkennen, dass bei nicht ausreichenden Verbundeigenschaften, sich jede Schicht als Einzellage verhält und somit die Gesamtverformungen steigen. Dabei kann es auch zu Abheberscheinungen der Deckschicht in den Zonen der maximalen Zugbeanspruchungen kommen. Horizontale Kräfte andererseits treten vor allem bei Brems- und Beschleunigungsvorgängen auf. Dabei würde wiederum der theoretische Fall „ohne Verbund“ zum Abgleiten der Schichten führen, da die horizontalen Belastungen nicht an darunter liegende Schichten übertragen werden können (Abbildung 3). Ausreichende Verbundeigenschaften bewirken auch hier ein Zusammenwirken der Schichten zu einem maximal möglichen Widerstand gegen Einwirkungen.

Welche Verbundmittel und Bauweisen gibt es?

Physikalisch betrachtet stehen 2 Arten von Verbundmechanismen zur Verfügung, um die Lastübertragung zwischen 2 Schichten zu gewährleisten (Abbildung 4). Einerseits kann man dies durch den Einsatz eines „Klebstoffes“ (z.B. Vorspritzen mit Bitumenemulsion bei Einbau „Heiß auf Kalt“) erreichen, andererseits kann aber eine geometrische Textur zu einer verzahnenden Wirkung führen. Diese erstreckt sich in größeren Dimensionen vom Eindrücken einzelner Gesteinskomponenten der oberen Lage in die untere beim Einbau eines Kompaktasphaltes („Heiß auf Warm“), bis hin zu kleineren Dimensionen bei Bearbeitungen der Betonoberfläche beim Überbauen mit Asphalt („Blacktopping“).

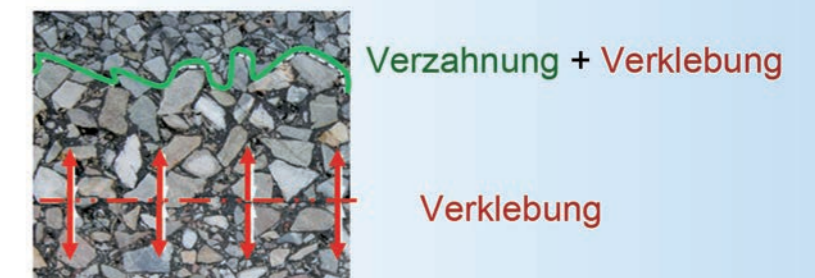


Abbildung 4: Möglichkeiten der Verbundmechanismen

Einfluss von ungenügendem Schichtverbund auf die Dimensionierung?

In der RVS 03.08.63 [1] für die Oberbaudimensionierung sind verschiedene Aufbauten mit unterschiedlichen Dicken der einzelnen Schichten abhängig von der Verkehrsbelastung vorgegeben. Die vorgegebene Gesamtdicke aller Asphaltsschichten ist aber nur dann gültig, wenn die Mindestanforderungen an den Schichtenverbund der bituminösen Schichten erfüllt sind. Um die Auswirkung des ungenügenden Schichtenverbunds auf die Dimensionierung zu veranschaulichen, wurde die technische Lebensdauer eines Autobahn-Aufbaus der LK25, Bautype AS1 (25 cm Asphalt) bei verschiedenen Verbundzuständen untersucht (siehe Abbildung 5). Bei einem möglichen Verbund beträgt die relative technische Lebensdauer 100%. Im Fall „kein Verbund“ sinkt die Lebensdauer auf bis zu ca. 10% ab. Das Diagramm macht deutlich: je schlechter der Verbund, desto kürzer wird die Lebensdauer.

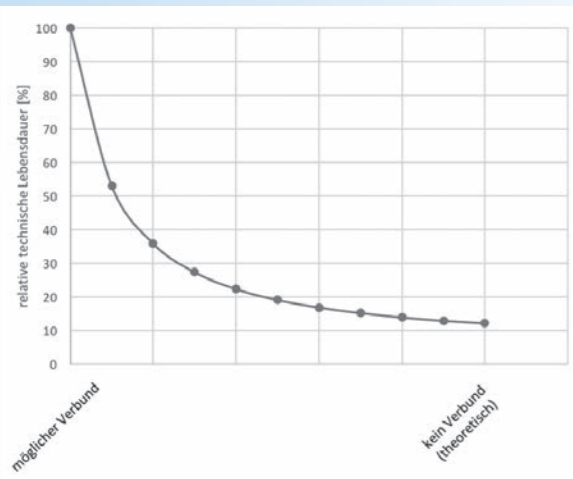


Abbildung 5: Auswirkung von ungenügendem Schichtenverbunds auf die Dimensionierung

Welche Prüfmethode und Anforderungen gibt es?

Im Entwurf der EN 12697 – 48 zum Schichtenverbund sind 5 verschiedene Prüfmethode beschrieben [2]:

- Scherhaftfestigkeitsprüfung
- Haftzugfestigkeitsprüfung
- Prüfung der Haftfestigkeit unter Drehmoment
- Scherhaftfestigkeit unter Druckbelastung
- Zyklische Scherhaftfestigkeitsprüfung unter Druckbelastung

Scherhaftfestigkeitsprüfung

Die Scherhaftfestigkeitsprüfung oder der so genannte Scherversuch nach Leutner dient zur Beurteilung des Widerstandes gegen horizontale Scherspannungen in der Zwischenschicht zweier Fahrbahnbefestigungsschichten. An zylindrischen Probekörpern mit einem Durchmesser von 100mm wird eine Scherkraft mit konstanter Geschwindigkeit (50mm/s) bei 20°C

aufgebracht. Das Ergebnis ist die maximale Scherspannung.

Haftzugfestigkeitsprüfung

Die Haftzugfestigkeitsprüfung dient zur Beurteilung der Haftzugfestigkeit zwischen zwei Fahrbahnbefestigungsschichten. An zylindrischen Probekörpern mit einem Durchmesser von 100mm wird mithilfe einer Zugvorrichtung senkrecht zur Grenzschichtebene eine Zugkraft bei konstanter Temperatur (0°C) und Geschwindigkeit (200N/s) aufgebracht. Das Ergebnis ist die auf die Zugfläche bezogene Höchstkraft (Haftzugfestigkeit).

Prüfung der Haftfestigkeit unter Drehmoment

Die Prüfung der Haftfestigkeit unter Drehmoment ist eine alternative zur Scherhaftfestigkeitsprüfung und kann im Gegenteil zur Scherhaftfestigkeitsprüfung sowohl im Labor als auch vor Ort eingesetzt werden. Mittels einer Prüfvorrichtung wird auf die obere Schicht eine horizontale Drehkraft mit konstanter Geschwindigkeit aufgebracht. Die Prüfung wird bis zum Erreichen des maximalen Drehmoments durchgeführt.

Scherhaftfestigkeitsprüfung unter Druckbelastung

Die Scherhaftfestigkeitsprüfung unter Druckbelastung ist eine realitätsnahe Variante der Scherhaftfestigkeitsprüfung und dient zur Beurteilung des Scherverhaltens von Zwischenschichten, die durch vertikale und horizontale Verkehrslasten beansprucht werden. Ein zylindrischer Probekörper wird durch direkte Scherbelastung beansprucht, während eine senkrecht auf die Grenzfläche wirkende Axiallast auf den Probekörper aufgebracht wird. Ermittelt wird die max. Scherspannung an der Grenzfläche zwischen den Schichten. Bei der Scherhaftfestigkeitsprüfung ohne Druckbelastung werden hauptsächlich die Eigenschaften der Verklebung untersucht. Im Fall mit Druckbelastung kommen auch die Verzahnung und die Reibung als wichtige Einflussgrößen zum Einsatz.

Zyklische Scherhaftfestigkeitsprüfung unter Druckbelastung

Die Zyklische Scherhaftfestigkeitsprüfung unter Druckbelastung dient zur Beurteilung der Verbundeigenschaften von Zwischenschichten bei unterschiedlichen Temperaturen, Belastungsfrequenzen und Normalspannungsniveaus. Mithilfe einer geeigneten Prüfvorrichtung werden zylindrischen Probekörper (DN 100) durch zyklische, direkte Scherbelastung beansprucht, während eine senkrecht auf die Grenzfläche wirkende Axiallast auf den Probekörper aufgebracht wird.

Neue Erkenntnisse vom Forschungsprojekt zum Schichtenverbund Asphalt-Beton?

Motivation

Die Instandsetzung von Betondecken durch Überbauung wird zunehmend an Bedeutung gewinnen, da die Altersstruktur der Decken Instandsetzungsmaßnahmen in vermehrtem Ausmaß notwendig machen werden. Durch Überbauung kann die Lebensdauer um 5 bis 10 Jahre verlängert werden. Allerdings ist dafür ein dauerhafter Verbund zwischen Betondecke und Asphaltdeckschicht Voraussetzung. Im Rahmen der Instandsetzung der Autobahn A1 Böheimkirchen - St. Pölten Süd, RFB Salzburg wurde im Abschnitt Böheimkirchen (km 46,980 bis km, 53,290) die gesamte Fahrbahn (Pannestreifen bis 3. Fahrstreifen) mit einer neuen Asphaltdeckschicht überbaut. Die bestehende Betondecke auf dem zweiten und dritten Fahrstreifen wurde für die Überbauung entsprechend vorbereitet, um ausreichenden Verbund zwischen Betondecke und neuer Asphaltdeckschicht sicherzustellen. Inhalt des Forschungsprojekts sind Untersuchungen zur Überbauung der Betondecke durch eine bituminös gebundene Schicht. Dabei werden die Verbundeigenschaften am Interface zwischen Bestandsbeton und Asphaltüberbauung an Bohrkernen aus dieser Untersuchungsstrecke analysiert [3].

Fragestellungen

Aus den oben genannten Randbedingungen ergeben sich folgende Fragestellungen, die im Rahmen des Projekts abzuhandeln sind:

- Untersuchung verschiedener Methoden zur Oberflächenbehandlung der Betondecke vor der Überbauung
- Einfluss der Überbauung mit dichtem bzw. hohlraumreichem SMA S2 bzw. S3 Konzept auf die kurz- und langfristige Verbundwirkung
- Maßgebliche Beanspruchung am Interface durch Brems- bzw. Antriebskräfte und Beurteilung von statischen Prüfverfahren zur Ansprache des dauerhaften Schichtverbundes
- Ausarbeitung von Empfehlungen für ergänzende technische Anforderungen an den Schichtverbund bei der Überbauung von Betondecken mit Asphalt

Die vorhandenen Betonoberflächen wurden mit drei verschiedenen Methoden vorbehandelt (Abbildung 6):

- Höchstdruckwasserstrahlen 2500 bar (HöDW)
- Kugelstrahlen (K)
- Kombination aus Hochdruckwasserstrahlen und Kugelstrahlen (K+HDW)



Abbildung 6: Betonoberflächen nach Oberflächenvorbehandlung (v.l.n.r. HöDW, K, K+HDW)

Die Varianten sollen mit einem dichteren SMA 11 S2, sowie einem hohlraumreichen SMA 11 S3 überbaut werden, um auch den Einfluss des Mischgutkonzepts auf die Dauerhaftigkeit des Verbunds untersuchen zu können.

Daraus ergeben sich folgende sechs Testfelder:

- Kugelstrahlen überbaut mit SMA S2 (K)
- Höchstdruckwasserstrahlen 2500 bar überbaut mit SMA S2 (HöDW)
- Kugelstrahlen und Hochdruckwasserstrahlen überbaut mit SMA S2 (K+HDW)
- Kugelstrahlen überbaut mit SMA S3 (K)
- Höchstdruckwasserstrahlen 2500 bar überbaut mit SMA S3 (HöDW)
- Kugelstrahlen und Hochdruckwasserstrahlen überbaut mit SMA S3 (K+HDW)

Aus alle sechs Testfelder wurden Bohrkern vor Verkehrsfreigabe und 1 Jahr nach Verkehrsfreigabe entnommen, die dann mittels der Prüfungen für Haft- und Schubverbund untersucht und ihre Haft und Scherhaftfestigkeiten ermittelt wurden [4,5].

Haftzugfestigkeit

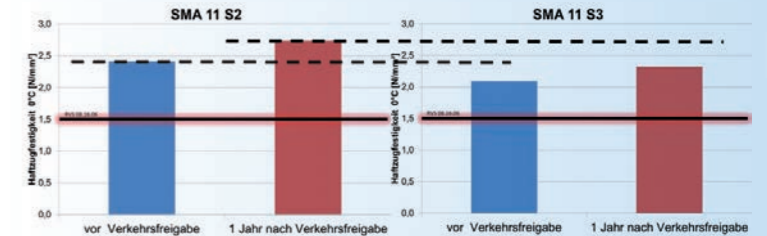


Abbildung 7: Mittelwerte der Haftzugfestigkeiten; links: Überbauung mit SMA S2, rechts: Überbauung mit SMA S3

In Abbildung 7 sind die Mittelwerte aller Vorbehandlungen vor und 1 Jahr nach Verkehrsfreigabe zu sehen. Der laut RVS 08.16.06 geforderte Wert für die Haftzugfestigkeit von Deckschichten von 1,5 N/mm² wird bei den Prüfkörpern aller Vorbehandlungsarten und beider Asphaltarten erfüllt. In den Diagrammen für den Haftverbund lassen sich jedoch Unterschiede zwischen den Überbauungsarten feststellen. Links ist die Überbauungsart SMA 11 S2 und rechts SMA11 S3 zu sehen. Sowohl vor Verkehrsfreigabe als auch 1 Jahr nach Verkehrsfreigabe führt die Überbauung mit dem dichteren Mischgut zu höheren Haftzugfestigkeiten.

Scherhaftfestigkeit

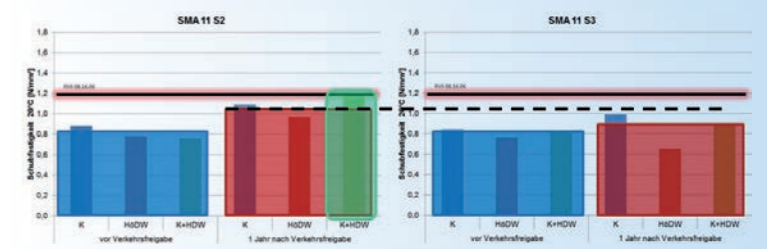


Abbildung 8: Mittelwerte der Schubfestigkeiten; links: Überbauung mit SMA S2, rechts: Überbauung mit SMA S3

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse von der Scherfestigkeitsprüfung zusammengefasst. Hier ist der gleiche Trend wie bei den Haftzugfestigkeiten zu sehen. Die Asphaltart SMA 11 S2 führt im Fall 1 Jahr nach Verkehrsfreigabe zu höheren Scherfestigkeiten als bei SMA 11 S3. Die rote Linie zeigt den Grenzwert laut RVS 08.16.06. Hier liegen alle Varianten außer SMA 11 S2, Überbauung K+HDW (1 Jahr nach Verkehrsfreigabe) unter dem Grenzwert von 1,2 N/mm².

Numerische Untersuchungen

Um die am Verbund zwischen Asphalt und Beton herrschenden Spannungen zu berechnen, wurden zwei Finite-Elemente-Modelle erstellt (siehe Abbildung 9). Das erste Modell bildet die statische Schubfestigkeitsprüfung im Labor nach und gibt über den Verbundzustand aufgrund Scherbelastung Auskunft. Modell 2 simuliert einen tatsächlichen Straßenaufbau bestehend aus SMA-Schicht, Betondecke, bituminöser Schicht, ungebundener Schicht und Untergrund. Modell 2 dient der Untersuchung von maßgeblichen Belastungen durch Gewichts- und Bremskräfte in der Straße. Als Ergebnis werden die maximalen Spannungen in der Verbundzone ermittelt. Die Simulationen wurden mit Inputdaten aus allen durchgeführten Schubfestigkeitsprüfungen durchgeführt. Der Mittelwert der auftretenden maximalen Schubspannungen am Interface zwischen Asphalt und Beton aller ausgewerteten Probekörper beträgt 0,7 N/mm². Unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwerts aufgrund der geringen Stichprobengröße empfehlen wir einen Grenzwert für die Schubfestigkeit von 0,9 N/mm². Die Ergebnisse aus diesem Projekt wurden in der neuen RVS 08.16.01 [6] implementiert (siehe Tabelle 1).

Numerische Untersuchungen

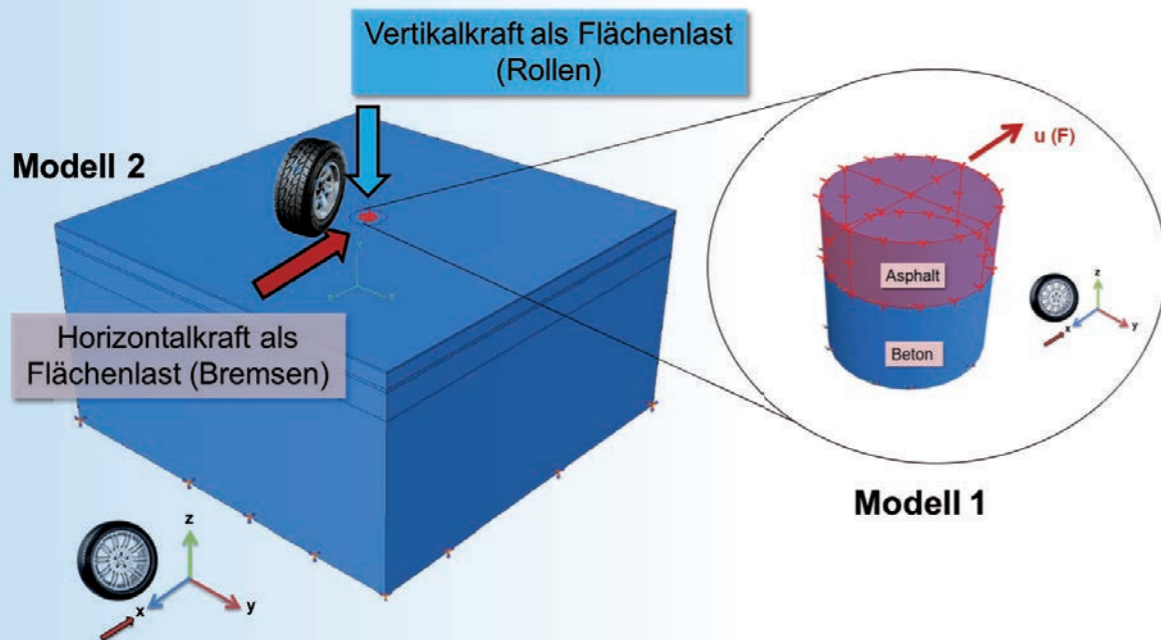


Abbildung 9: FE-Modelle zur Abschätzung der Verbundeigenschaften und zur Ermittlung der maßgeblichen Beanspruchung [3]

Tabelle 1: Neue Anforderungen in RVS 08.16.01 [7]

Tabelle 8C: Anforderungen an den Schichtverbund – Schubfestigkeit bei Überbauung von Betondecken mit Asphaltdeckschichten

Schicht, Mischgutsorte	Straßentyp	Schubfestigkeit 20 °C [0,1 N/mm ²] ¹⁾ bei Verwendung von Emulsionen auf Basis von polymermodifiziertem Bitumen		
		Prüfung gemäß ÖNORM B 3639-1		
		Sollwert	Qualitätsabzug	Keine Übernahme
Deckschicht (SMA deck, AC, BBTM)	Alle Straßen	≥ 0,9 ²⁾	0,8 bis 0,6	< 0,6

Der Schichtverbund ist bei Solldicken < 3,0cm mittels Haftzugfestigkeit zu prüfen. Sollwerte siehe Tabelle 8B. Bei Prüfung innerhalb von 12 Wochen nach Verkehrsfreigabe, beträgt der Sollwert (SW) ≥ 0,8 N/mm² und ein Qualitätsabzug ist von 0,7 N/mm² bis 0,6 N/mm² durchzuführen.

Zusammenfassung

Die Straßenkonstruktion hat einen lagenweisen Aufbau. Durch diesen Aufbau entstehen Grenzflächen, die die Einwirkungen auf das Straßenbauwerk auf gleiche Weise ab- und weiterleiten sollen, wie dies innerhalb einem monolithischen Körper stattfinden. Inhomogene oder ungenügende Verbundeigenschaften bewirken also eine Verringerung des Gesamtwiderstandes und führen folglich zu größeren Verformungen und Rissbildung, die schlussendlich eine Verkürzung der Lebensdauer bedeuten. Daher ist es wichtig die Verbundeigenschaften einerseits bei der Dimensionierung zu berücksichtigen, diese andererseits aber auch während des Bauprozesses durch Laborversuche zu überprüfen.

Im Entwurf der EN 12697 – 48 zum Schichtenverbund sind 5 verschiedene Prüfmethode beschrieben, mit denen die Verbundeigenschaften untersucht werden können [2]:

- Scherhaftfestigkeitsprüfung
- Haftzugfestigkeitsprüfung
- Prüfung der Haftfestigkeit unter Drehmoment
- Scherhaftfestigkeit unter Druckbelastung
- Zyklische Scherhaftfestigkeitsprüfung unter Druckbelastung

Die verschiedenen Prüfverfahren simulieren unterschiedliche Belastungsbedingungen. Die Scherhaft- und Haftzugfestigkeitsprüfung sind die Standardprüfmethode zur Untersuchung des Schichtenverbunds, die im Rahmen des Forschungsprojekts zum Schichtenverbund Asphalt – Beton verwendet wurden. Das Ziel dieses Forschungsprojekts war die wissenschaftliche Betreuung der Versuchsstrecke die während der Instandsetzung der Autobahn A1 Böheimkirchen - St. Pölten Süd, RFB Salzburg errichtet wurde. Im Abschnitt Böheimkirchen (km 51,500 bis km, 52,700) wurden sechs verschiedene Testfelder vorbereitet. Es wurden drei Vorbehandlungsmethoden der Betondecke (Höchstdruckwasserstrahlen, Kugelstrahlen und die Kombination von Kugelstrahlen und Hochdruckwasserstrahlen) und zwei Überbauungsarten verwendet. Vor Verkehrsfreigabe und 1 Jahr nach Verkehrsfreigabe wurden Bohrkern entnommen, die dann mittels der Prüfungen für Schub und Haftverbund untersucht wurden [4, 5]. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass sowohl bei den Haftzugfestigkeiten als auch bei den Scherfestigkeiten die Mischgutart SMA 11 S2 zu höheren Werten als SMA 11 S3 führt. Alle Haftzugfestigkeiten liegen über dem Grenzwert von 1,5 N/mm² [7]. Alle Scherfestigkeiten außer SMA 11 S2, Überbauung K+HDW (1 Jahr nach Verkehrsfreigabe) liegen unter dem Grenzwert von 1,2 N/mm² [7]. Auf Basis der durchgeführten Materialprüfungen und Simulationen kann unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwerts ein Grenzwert für die Schubfestigkeit gemäß ÖNORM B 3639-1 von 0,9 N/mm² empfohlen werden. Die Anwendung eines solchen Beiwerts ist notwendig, um die Ergebnisse aufgrund geringer Stichprobengröße ausreichend abzusichern. Bei entsprechenden weiteren Untersuchungen und Simulationen könnte dieser Beiwert in Zukunft verringert und die Anforderung dadurch weiter präzisiert werden. Übernahmefähig mit Qualitätsabzug sind gemäß dieser Empfehlung Abschnitte mit einer Schubfestigkeit zwischen 0,9 N/mm² und 0,6 N/mm². Nicht abnahmefähig sind Abschnitte mit einer Schubfestigkeit unter 0,6 N/mm². In Bezug auf die Anforderungen an den Haftverbund gemäß ÖNORM B 3639-2 werden auf Basis der Ergebnisse dieses Projekts keine Änderungen empfohlen.

Literatur

1. FSV, RVS 03.08.63: Oberbaubemessung. 2016, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: Wien, Österreich.
2. ÖNORM EN 12697-48 - Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 48: Schichtenverbund. Österreichisches Normungsinstitut, 2013.
3. B. Hofko, L.E., M. Dimitrov, K. Bayraktarova, Schlussbericht „Verbund Asphaltdecke auf Betondecke“ Wissenschaftliche Betreuung der Versuchsstrecke. 2017.
4. ÖNORM, ÖNORM B3639-1 Schubverbund von Asphaltdecken. 1997.
5. ÖNORM, ÖNORM B3639-2 Haftverbund von Asphaltdecken. 1997.
6. FSV, RVS 08.16.01: Anforderungen an Asphaltdecken (in Entwurf). 2018, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: Wien.
7. FSV, RVS 08.16.06 - Anforderungen an Asphaltdecken - Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. 2013.

Dipl.-Ing. Kristina Bayraktarova
 Institut für Verkehrswissenschaften
 Forschungsbereich für Straßenwesen
 Technische Universität Wien
 1040 Wien, Gußhausstraße 28/230-3
 T: +43 1 58801 – 233562
kristina.bayraktarova@tuwien.ac.at
www.ivws.tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Mariyan Dimitrov
 Institut für Verkehrswissenschaften
 Forschungsbereich Straßenwesen
 Technische Universität Wien
 1040 Wien, Gußhausstraße 28/230-3
 T: +43 1 58801 – 233554
mariyan.dimitrov@tuwien.ac.at
www.ivws.tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Dr. techn. Lukas Eberhardsteiner
 Institut für Verkehrswissenschaften
 Forschungsbereich für Straßenwesen
 Technische Universität Wien
 1040 Wien, Gußhausstraße 28/230-3
 T: +43 1 58801 – 23330
lukas.eberhardsteiner@tuwien.ac.at
www.ivws.tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Daniel Steiner
 Institut für Verkehrswissenschaften
 Forschungsbereich für Straßenwesen
 Technische Universität Wien
 1040 Wien, Gußhausstraße 28/230-3
 T: +43 1 58801 – 23359
daniel.steiner@tuwien.ac.at
www.ivws.tuwien.ac.at