

Mitteilungen der Bundesanstalt für Straßenwesen 2/2008

An dieser Stelle erscheinen regelmäßig Kurzberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) aus dem Gebiet der Straßenbautechnik. Über ihre Aktivitäten auf dem Gebiet der Straßenverkehrstechnik berichtet die BAST in gleicher Form in der Zeitschrift „Straßenverkehrstechnik“.

Abteilung B Brücken- und Ingenieurbau

Verträglichkeit der Abdichtungssysteme nach den ZTV-ING 7-4 mit temperaturreduziertem Gussasphalt

Für die Schutzschichten auf Stahlbrücken werden in zunehmendem Maße temperaturreduzierte Gussasphalte eingebaut. Bei der Verwendung temperaturreduzierter Gussasphalte besteht jedoch das Risiko, dass sich der Haftverbund zwischen der Schutzschicht und der Dichtungsschicht verschlechtert. Im Rahmen eines Projektes wurde für die drei in der ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 4 aufgeführten Abdichtungsbauarten der Haftverbund bei Verwendung eines temperaturreduzierten Gussasphaltes mit einer Einbautemperatur von 180 °C untersucht. Während für die Bauarten mit Bitumen-Dichtungsschicht sowie mit Reaktionsharz-Bitumen-Dichtungsschicht ein ausreichender Haftverbund nachgewiesen werden konnte, sind für die Bauart mit Reaktionsharz-Dichtungsschicht weitere Untersuchungen zur Bestimmung der minimalen Einbautemperatur des Gussasphaltes notwendig.

Problemstellung

Als Abdichtungen für Brücken und Ingenieurbauwerke aus Stahl im Zuge der Bundesverkehrswege werden nur solche Systeme zugelassen, die den Anforderungen der „Technischen Lieferbedingungen für Baustoffe der Dichtungsschichten für Brückenbeläge auf Stahl“ [1] entsprechen (Bild 1). Bei der Grundprüfung dieser Abdichtungssysteme werden Dauerschwellbiegeversuche durchgeführt, um neben der Verklebung der Abdichtung auf der Unterlage und der Standfestigkeit der Abdichtung selbst auch die Verklebung des Guss-

asphaltes der Schutzschicht mit der Dichtungsschicht zu prüfen. Für diese Prüfung wird ein Standard-Gussasphalt verwendet, der bei den Prüfinstituten vorgehalten wird. Mit einer Einbautemperatur dieses Gussasphaltes von 245 ± 5 °C bei der Herstellung der Probekörper wurden bisher alle in der Praxis angewendeten Gussasphalte abgedeckt.

In den letzten Jahren zeichnet sich jedoch zunehmend die Tendenz ab, die Einbautemperatur des Gussasphaltes der Schutzschichten von Stahlbrücken abzusenken. Vorteile hierbei sind die Minimierung der thermischen Belastung des gesamten Bauwerkes, die Minimierung der thermischen Belastung des Korrosionsschutzes an der Unterseite der orthotropen Fahrbahntafel, aber auch eine Energieeinsparung bei der Herstellung des Gussasphaltes sowie die für den Arbeitsschutz bedeutsame Verringerung der Emissionen. Heutzutage werden daher immer öfter Gussasphalt-Schutzschichten mit einer Einbautemperatur von ca. 220 °C eingebaut. Neuere Entwicklungen lassen mittlerweile sogar Einbautemperaturen zwischen 180 °C und 220 °C zu, ohne die Verarbeitbarkeit der Gussasphalte unzulässig einzuschränken.

Eine ausreichende Erwärmung und teilweise Verflüssigung der obersten Schicht des Abdichtungssystems spielt eine mitentscheidende Rolle für eine gute Verkle-

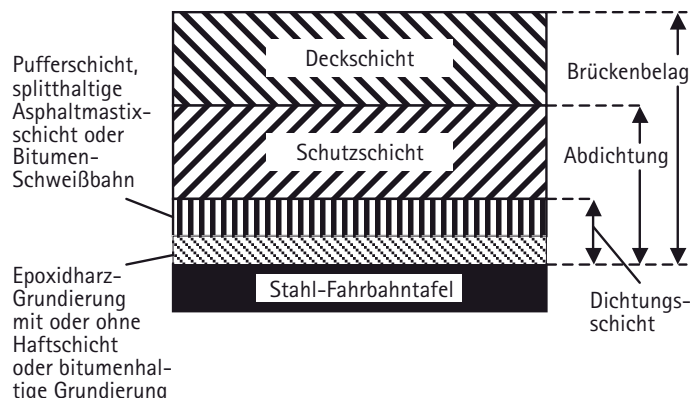
bung der Gussasphalt-Schutzschicht mit der Dichtungsschicht. Vor diesem Hintergrund besteht Klärungsbedarf, welche Auswirkungen die Absenkung der Einbautemperatur des Gussasphaltes auf den Haftverbund zwischen der Schutzschicht und der Dichtungsschicht haben kann.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen eines Projektes an fünf ausgesuchten Abdichtungssystemen Untersuchungen über das Haftverhalten bei der Verwendung eines temperaturreduzierten Gussasphaltes durchgeführt [2].

Versuche/Untersuchungen

Es wurden je Abdichtungssystem fünf Probekörper mit einer Schutzschicht aus temperaturreduziertem Gussasphalt hergestellt und die Verklebung der Schutzschicht mit der Dichtungsschicht mittels Abreißprüfungen untersucht. Um den Prüfaufwand und die Kosten überschaubar zu halten, wurden im Rahmen des Projektes die Probekörper mit der zurzeit vorstellbaren minimalen Einbautemperatur von 180 °C hergestellt. Wenn sich bei dieser Einbautemperatur des Gussasphaltes eine ausreichende Verklebung zeigt, ist der Nachweis der Verträglichkeit der Dichtungsschicht mit Gussasphalten für den gesamten Temperaturbereich von 180 °C bis 250 °C erbracht.

Bild 1: Prinzipskizze Belagsaufbau



Zurzeit sind in der Zusammenstellung der geprüften Abdichtungssysteme nach den ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 4 (ZTV-BELST 92) [3] für die Anwendung an Bauwerken und Bauteilen der Bundesverkehrswege acht verschiedene Abdichtungssysteme gelistet. Aus logistischen Gründen konnten lediglich fünf dieser Abdichtungssysteme untersucht werden:

- 2 Abdichtungssysteme der Bauart 1 (bezeichnet als 1-1 und 1-2),
- 1 Abdichtungssystem der Bauart 2 (bezeichnet als 2-1) und
- 2 Abdichtungssysteme der Bauart 3 (bezeichnet als 3-1 und 3-2).

Die Herstellung der Probekörper, einschließlich der Abdichtungssysteme, erfolgte bei der BAST und bei der Firma EUROVIA. Auf 10 mm dicken Stahlplatten der Abmessungen 50 x 50 cm wurden die fünf unterschiedlichen Abdichtungssysteme aufgebracht und nach ausreichender Wartezeit die Gussasphalt-Schutzschicht mit einer Temperatur von 180 °C eingebaut. Die Soll-Einbaudicke von Gussasphalt beträgt ca. 3,5 cm. In der Praxis befindet sich jedoch vor der Einbaubohe immer ein ca. 20 – 30 cm hoher Wulst aus Gussasphalt, so dass der tatsächliche Temperatureintrag in die Dichtungsschicht höher ist als bei einer 3,5 cm dicken Gussasphaltschicht. Um dies zu berücksichtigen wurde im Rahmen der Versuche die Schutzschicht in einer Überdicke von 6 cm eingebaut.

Nach dem Erkalten der Probekörper wurden je Probekörper vier quadratische Prüfflächen der Abmessungen 10 x 10 cm bis auf die Stahlunterlage eingeschnitten (Bild 2) und die Prüfstempel aufgeklebt (Bild 3). Die Prüfstempel (Bild 4) wurden mittels eines elektrischen Haftzugprüfgerätes abgerissen und die Haftzugfestigkeiten und Brucharten ermittelt.

Von jedem der fünf untersuchten Abdichtungssysteme wurden an zwei Probekörpern insgesamt sechs Abreißwerte durch die Materialprüfungsanstalt der EUROVIA SERVICES GmbH und an drei Probekörpern jeweils vier Abreißfestigkeiten durch das Prüflabor der BAST ermittelt.

Ergebnisse

Bei der Bestimmung der Verträglichkeit der verschiedenen Abdichtungssysteme mit temperaturreduziertem Gussasphalt spielen neben den ermittelten Abreißfestigkeiten auch die entstandenen Brucharten eine Rolle. Bei einer ausreichenden

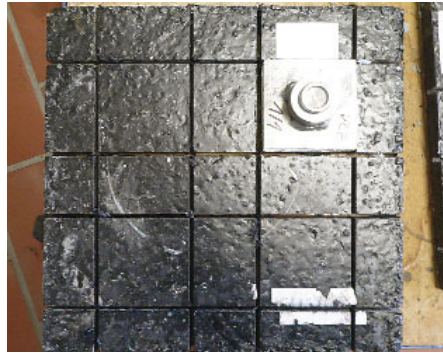


Bild 2: Geschnittener Probekörper mit aufgeklebtem Prüfstempel

Verklebung der Dichtungsschicht mit dem Gussasphalt der Schutzschicht sollte im Normalfall der Bruch zum überwiegenden Teil in der schwächsten bitumenhaltigen Schicht erfolgen, bei der Bauart 1 also in der Pufferschicht, bei der Bauart 2 in der bitumenhaltigen Haftschrift oder in der splitthaltigen Asphaltmastixschicht und bei der Bauart 3 in der Bitumen-Schweißbahn. Die Adhäsionskräfte zwischen den Schichten sollen also größer sein als die Kohäsionskräfte in der schwächsten Schicht. Daher wurden im Folgenden neben den gemessenen Abreißfestigkeiten auch die entstandenen Brucharten untersucht.

Die absoluten Größen der von der EUROVIA und der von der BAST gemessenen Abreißwerte unterscheiden sich geringfügig um einen konstanten Wert. Dies kann an den verwendeten Messgeräten, einschließlich der Prüfstempel, aber auch an den Temperaturen bei der Durchführung der Prüfungen liegen. Die relativen Unterschiede zwischen den Abreißwerten der einzelnen Abdichtungsbauarten stimmen sehr gut überein. Auch bei den vorgefundenen Bruchbildern zeigten sich bei den durch die EUROVIA durchgeführten Messungen und bei den von der BAST durchgeführten Messungen die gleichen Tendenzen.

Bei der Bauart 1 mit Reaktionsharz-Dichtungsschicht ergaben sich bei der Verwendung des temperaturreduzierten Gussasphaltes, mit einer Einbautemperatur von 180 °C, geringere Abreißfestigkeiten als die normalerweise bei einer Einbautemperatur von 240 – 250 °C festgestellten Werte von > 1 N/mm². Die Abreißfestigkeiten lagen mit Durchschnittswerten von 0,71 N/mm² (Messungen EUROVIA) und 0,56 N/mm² (Messungen BAST) bei dem Abdichtungssystem 1-1 nur geringfügig über den in den Regelwerken festgelegten Anforderungen an bitumenhaltige Abdichtungs-



Bild 3: Aufgeklebte Prüfstempel



Bild 4: Abgerissener Prüfstempel

systeme von 0,4 bzw. 0,5 N/mm². Auch bei den Untersuchungen an dem zweiten Abdichtungssystem der Bauart 1 mit Reaktionsharz-Dichtungsschicht wurden ähnliche Ergebnisse erzielt. Die Abreißfestigkeiten lagen im Mittel bei 0,78 N/mm² (Messungen EUROVIA) und 0,57 N/mm² (Messungen BAST). Die Übereinstimmung der Ergebnisse dieser beiden Abdichtungssysteme ist nachvollziehbar, da beide Abdichtungssysteme das gleiche Pufferschichtmaterial verwenden. Diese Werte lassen bei der Bauart 1 auf eine verschlechterte Verklebung der Schutzschicht auf der Dichtungsschicht bei der Verwendung von temperaturreduziertem Gussasphalt schließen. Bestätigt wird dies auch durch die vorgefundenen Brucharten mit einem Bruch von nahezu 100 % zwischen der Schutzschicht und der Dichtungsschicht (Bilder 5 und 6). Nach den bisherigen Erfahrungen sollte der Bruch nahezu zu 100 % in der Pufferschicht erfolgen. Ein besseres Verhalten zeigte sich bei dem untersuchten Abdichtungssystem der Bauart 2. Bei diesem Abdichtungssystem ergaben sich im Mittel Abreißfestigkeiten von 1,34 N/mm² (Messungen EUROVIA) und 1,11 N/mm² (Messungen BAST). Die gemessenen Abreißfestigkeiten liegen damit in der gleichen Größenordnung wie die normalerweise bei einer Einbautemperatur des Gussasphaltes von 240 – 250 °C festgestellten Werte von > 1,0 N/mm². Durch



Bild 5: Abichtungssystem 1-1, Bruchart, Ansicht Unterseite abgerissener Stempel

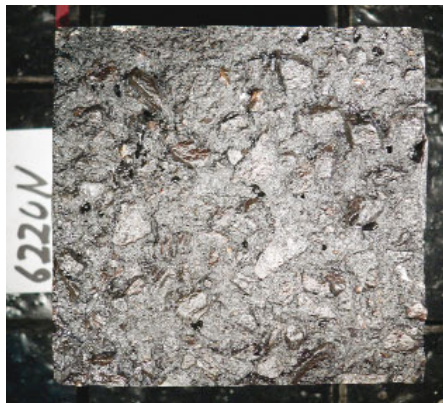


Bild 6: Abichtungssystem 1-2, Bruchart, Ansicht Unterseite abgerissener Stempel

die Verwendung des temperaturreduzierten Gussasphaltes wird also keine messbare Verringerung der Abriebfestigkeiten hervorgerufen. Der Bruch erfolgte sowohl bei den von der EUROVIA durchgeführten Messungen als auch bei den durch die BAST durchgeführten Messungen zu 100% in der Grundierungs- bzw. der splitthaltigen Asphaltmastixschicht oder zwischen diesen beiden Schichten (Bild 7). Es erfolgte kein Bruch zwischen der splitthaltigen Asphaltmastixschicht und der Schutzschicht. Die Verbindung zwischen diesen beiden Schichten war also in jedem Fall besser als die Abriebfestigkeiten der Schichten der Abdichtung selbst. Die Verwendung eines temperaturreduzierten Gussasphaltes für die Schutzschicht führt also bei dem geprüften Abdichtungssystem der Bauart 2 zu keiner Verringerung der Abriebfestigkeit.

Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den untersuchten Abdichtungssystemen der Bauart 3 mit Reaktionsharz/Bitumen-Dichtungsschicht. Bei dem Abdichtungssystem 3-1 wurden Abriebfestigkeiten von $1,31 \text{ N/mm}^2$ (Messungen EUROVIA) bzw. $1,08 \text{ N/mm}^2$ (Messungen BAST) gemessen. Die Abriebfestigkeiten sind ausreichend

hoch und liegen damit in dem Bereich, der normalerweise bei einer Einbautemperatur von $240 - 250 \text{ }^\circ\text{C}$ festgestellten Werte von $\sim 1,0 \text{ N/mm}^2$. Der Bruch erfolgte bis auf wenige Ausnahmen zu 100% innerhalb der Bitumen-Schweißbahn oder zwischen der Bitumen-Schweißbahn und der Reaktionsharz-Grundierung (Bild 8). Nur bei einer Messung erfolgte der Bruch zwischen der Bitumen-Schweißbahn und der Schutzschicht, dies allerdings bei einer Abriebfestigkeit von $1,05 \text{ N/mm}^2$. Bei dem Abdichtungssystem 3-2 wurden geringfügig kleinere Abriebfestigkeiten gemessen. Die Abriebfestigkeiten betragen im Mittel $0,96 \text{ N/mm}^2$ (Messungen EUROVIA) bzw. $0,84 \text{ N/mm}^2$ (Messungen BAST). Die Abriebfestigkeiten liegen in dem Bereich der bei anderen Untersuchungen ermittelten Werte von $\sim 1,0 \text{ N/mm}^2$. Auch bei dem Abdichtungssystem 3-2 erfolgte der Bruch nahezu zu 100% innerhalb der Bitumen-Schweißbahn oder zwischen der Bitumen-Schweißbahn und der Reaktionsharz-Grundierung. Bei den Abdichtungssystemen der Bauart 3 ist somit bis auf eine Ausnahme die Abriebfestigkeit zwischen der Schutzschicht und der Schweißbahn größer als die Abriebfestigkeit innerhalb



Bild 7: Abichtungssystem 2-1, Bruchart, Ansicht Probekörper



Bild 8: Abichtungssystem 3-1, Bruchart, Ansicht Probekörper

der Abdichtung. Die Verwendung eines temperaturreduzierten Gussasphaltes führt folglich bei diesen Abdichtungssystemen zu keiner Verringerung der Abriebfestigkeit.

Bewertung und Ausblick

Bei dem untersuchten Abdichtungssystem der Bauart 2 mit einer splitthaltigen Asphaltmastixschicht und auch bei den Abdichtungssystemen der Bauart 3 mit Bitumen-Schweißbahn konnte anhand der durchgeführten Messungen eindeutig nachgewiesen werden, dass die Verwendung von temperaturreduzierten Gussasphalten, bis zu einer minimalen Einbautemperatur von $180 \text{ }^\circ\text{C}$ unter Laborbedingungen zu keiner nachweisbaren Verschlechterung der Abriebfestigkeiten führt. Die Verklebung der Gussasphalt-Schutzschicht auf der Dichtungsschicht ist bei diesen Abdichtungssystemen besser, als die Abriebfestigkeiten innerhalb des Abdichtungssystems. Die Verwendung von temperaturreduzierten Gussasphalten sollte also bei diesen Abdichtungssystemen problemlos möglich sein. Die Verwendung eines temperaturreduzierten Gussasphaltes kann sich jedoch auch bei den Abdichtungssystemen der Bauarten 2 und 3 möglicherweise als kritisch erweisen, wenn die sonstigen Einbaubedingungen nicht optimal sind, wie die Temperatur der Unterlage, die Lufttemperatur oder eventuell vorhandene Feuchtigkeit auf der Unterlage. Dies kann dazu führen, dass sich während des Einbaus die Temperatur an der Unterseite der Schutzschicht schneller abkühlt und die eingebrachte Wärmemenge nicht mehr ausreicht, die Oberseite der Abdichtung zu einer optimalen Verklebung ausreichend zu verflüssigen. Die Untersuchung der Kombination von temperaturreduziertem Gussasphalt mit mangelhaften Einbaubedingungen war nicht Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen. Es sollte, wenn schlechte Einbaubedingungen zu erwarten sind, auf die Verwendung von temperaturreduziertem Gussasphalt verzichtet werden, bzw. es sollte nicht die maximal mögliche Temperaturabsenkung ausgeschöpft werden. Aber auch bei vermeintlich guten Einbaubedingungen sollte bei allen Abdichtungs-Bauarten die Einbautemperatur nur soweit wie nötig abgesenkt werden, um das Risiko des Einflusses auf der Baustelle unvermeidlicher Einbaungenauigkeiten zu minimieren.

Für die Abdichtungssysteme der Bauart 1

mit Reaktionsharz-Dichtungsschicht und Pufferschicht wurde eine signifikante Verringerung der Abreißfestigkeiten erkennbar. Anhand der Bruchbilder kann darauf geschlossen werden, dass sich die Verklebung der Schutzschicht auf der Pufferschicht bei der Verwendung eines auf eine Einbautemperatur von auf 180 °C abgesenkten Gussasphaltes verschlechtert. Dabei lagen die Abreißfestigkeiten jedoch in allen Fällen geringfügig über den für die Baustelle geforderten Werten. Nach den vorliegenden Ergebnissen muss von der Verwendung einer Einbautemperatur von 180 °C bei dem Einbau einer Schutzschicht aus Gussasphalt auf einem Abdichtungssystem der Bauart 1 bei Stahlbrücken abgeraten werden, zumal in der Praxis in vielen Fällen die Einbaudingungen weniger optimal sind, was dazu führen kann, dass dann die geforderten Abreißfestigkeiten unterschritten werden. Für die Abdichtungssysteme der Bauart 1 kann daher zurzeit noch keine endgültige Aussage über die mögliche minimale Einbautemperatur getroffen werden. Hierzu sollen in einem Projekt weitere Untersuchungen mit Einbautemperaturen von 180 °C bis 240 °C durchgeführt werden.

Eine Langfassung der Ausführungen ist in „Verträglichkeit der Abdichtungssysteme nach den ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 4 (ZTV-BEL-ST) mit temperaturreduzierten Gussasphalten“, Schlussbericht zum BAST-Projekt F1100.2205006, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau (in Druck) zu finden.

Literaturverzeichnis

- 1 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Baustoffe der Dichtungsschichten für Brückenbeläge auf Stahl (TL-BEL-ST), Köln
- 2 Verträglichkeit der Abdichtungssysteme nach den ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 4 (ZTV-BEL-ST) mit temperaturreduzierten Gussasphalten, Schlussbericht zum BAST-Projekt F1100.2205006, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, (im Druck)
- 3 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) Teil 7 „Brückenbeläge“ Abschnitt 4 „Brückenbeläge auf Stahl mit einem Dichtungssystem“, Köln
alt: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von Brückenbelägen auf Stahl (ZTV-BEL-ST 92), Köln

Dipl.-Ing. Manfred Eilers,
Michael Staack

Hohlraumreiches Asphalttraggerüst mit nachträglichem Verguss als schnelles Abdichtungssystem auf Brücken

Ständig wachsende Verkehrsbelastungen schränken die für Instandsetzungsmaßnahmen zur Verfügung stehenden Bauzeiträume zunehmend ein. Daher werden neue Abdichtungssysteme entwickelt, die einen schnelleren Einbau ermöglichen. Diese Abdichtungssysteme müssen jedoch dem bewährten Anforderungsniveau in Deutschland entsprechen. Für ein neues Abdichtungssystem auf der Basis eines hohlraumreichen Asphalttraggerüsts, welches mit flexibilisiertem Epoxidharz verfüllt wird, soll mit labortechnischen Untersuchungen und durch die messtechnische Begleitung von Pilotprojekten die Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden.

1 Vorbemerkungen

Die ständig wachsenden Verkehrsbelastungen schränken in zunehmendem Maße die für Instandsetzungsmaßnahmen zur Verfügung stehenden Bauzeiträume ein. Der Einbau der bewährten Abdichtungssysteme nach den ZTV-ING Teil 7 Abschnitte 1 – 3 [1] bzw. TL-BEL-B Teile 1 – 3 [2] erfordern durch die eingesetzten Materialien und die Einbautechnologien einen relativ hohen Zeitaufwand. In Streckenabschnitten mit besonders hohen Verkehrsbelastungen kann dies zu Verkehrsbehinderungen führen, wenn zumutbare Umleitungsmöglichkeiten fehlen. Aus den Straßenbauverwaltungen kommt daher zunehmend die Forderung nach Abdichtungs- und Belagssystemen für solche Baumaßnahmen, die einen schnellen Einbau ermöglichen. In Einzelfällen wird die komplette Erneuerung der Abdichtung und des Fahrbahnbelages einer Brücke an einem Wochenende gefordert. Innovationen auf dem Gebiet der Abdichtungssysteme auf Brücken sind daher gefragt, allerdings müssen diese Systeme ihre Eignung in Anlehnung an das hochqualitative und bewährte Anforderungsniveau in Deutschland nachweisen.

Von Seiten der Materialhersteller und der einbauenden Firmen werden zurzeit verschiedene Materialien und Einbautechnologien entwickelt, mit denen sich Abdichtungen von Ingenieurbauwerken schneller ausführen lassen. Durch Modifikation der für die bewährten Abdichtungssysteme nach den ZTV-ING Teil 7 Abschnitte 1 – 3 verwendeten Materialien, z. B. der Ver-

wendung schneller aushärtender Epoxidharz-Grundierungen, lassen sich die Einbauzeiten reduzieren. Diese modifizierten Abdichtungssysteme entsprechen in weiten Teilen den bewährten Abdichtungssystemen und lassen sich in die bestehenden Regelwerke und die bestehenden Qualitätssicherungssysteme einpassen.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Verwendung neuer, schnell aushärtender Materialien für die Grundierungen, wie z. B. die Verwendung von Polymethylmethacrylat (PMMA). Für diese Materialien liegen allerdings keine oder nur wenige Erfahrungen für die Kombination mit den auf Brücken verwendeten Bitumen-Schweißbahnen vor. Vor einem ersten Praxiseinsatz dieser neuen Abdichtungssysteme wären daher eingehende Untersuchungen notwendig.

Ein weiteres neues Abdichtungssystem, das im Rahmen des hier vorgestellten Projektes untersucht werden soll, ist eine Dichtungsschicht aus einem mit flexibilisiertem Epoxidharz verfüllten hohlraumreichen Asphalttraggerüst (Bild 1).

2 Hohlraumreiches Asphalttraggerüst mit nachträglichem Verguss (HANV)

Ausgehend von dem z. B. in Berlin im Bereich von Bushaltestellen zur Vermeidung von Spurrinnen verwendeten vergossenen offenporigen Asphalt (VOPA) wurde von der Industrie ein schnelles Abdichtungssystem mit dem nachfolgend beschriebenen Aufbau für die Instandsetzung von Belägen auf Brücken entwickelt.

Nach dem Ausbau des vorhandenen Belages und der Abdichtung erfolgt die Vorbereitung der Betonunterlage nach den Regelungen der ZTV-ING. Auf die vorbereitete Betonunterlage wird eine Grundierung nach den TL-BEL-EP aufgebracht. Nach dem Aushärten der Grundierung erfolgt der Einbau eines hohlraumreichen Asphalttraggerüsts 0/5. Dieses hohlraum-

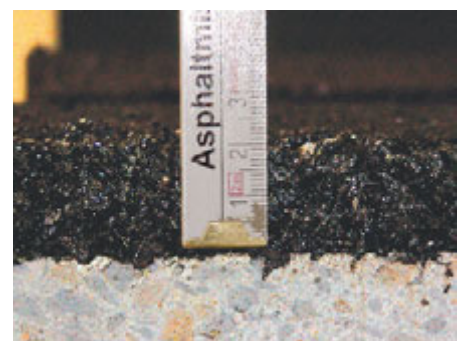


Bild 1: Aufbau der Abdichtung