Asphalt im Klimawandel – Erkenntnisse und Herausforderungen

Der Klimawandel bedingte in den letzten Jahren eine steigende Anzahl der Sommertage (Tage mit einem Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 25 °C) und insbesondere eine steigende Anzahl heißer Tage (Tage mit einem Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C), welche zum Teil hintereinander in unterschiedlich langen Hitzewellen auftraten und während denen auch in der Nacht keine deutliche Abkühlung stattfand. Auf der Straße haben die sehr heißen Sommerperioden der vergangenen Jahre und hier insbesondere in den Sommern 2019 und 2020 bundesweit teilweise zu nicht unerheblichen Verformungen in Asphaltbefestigungen in Form von Spurrinnenbildung sowohl an Brückenbelägen als auch auf der freien Strecke geführt. Aus diesem Grund gab die Bundesanstalt für Straßenwesen in Abstimmung mit dem BMVI eine projektvorbereitende Studie in Auftrag, in der Erkenntnisse und Erfahrungen von verschiedenen Baumaßnahmen ausgewertet wurden. Als besonders anfällig für Spurrinnenbildungen haben sich dabei Bereiche mit einer baustellenbedingten, eingeengten Verkehrsführung und aufkommensbedingt ausgeprägtem Rückstau von Lkw auf den Hauptfahrstreifen vor den Baustellen erwiesen, wenn die Fahrbahn auch noch bei einer Ost-West-Ausrichtung aus südlicher Richtung bei Sonnenschein über den gesamten Tag nahezu ungehindert erwärmt werden kann. Sofern sich im Bereich von baustellenbedingten Verkehrsführungen auch noch Anschlussstellen befinden, sind infolge der Aus- und Einfädelungsvorgänge vermehrt weitere Brems- und Beschleunigungsvorgänge zu beobachten, welche sich bei einem bereits beeinträchtigten Verkehr nach Beobachtungen in der Praxis zum Teil noch ausgeprägter negativ auf den Verkehrsfluss auswirken. Aus diesen Rahmenbedingungen lässt sich der bisher im Technischen Regelwerk noch nicht bekannte neue Lastfall „besonders hohe Beanspruchungen" ableiten. In Kenntnis dieser neuen Grundlage werden auf Basis der Ergebnisse von auf zwei Brückenbauwerken im Sommer 2020 und im Winter 2020/21 durchgeführten Temperaturmessungen und Bitumen- sowie Asphaltuntersuchungen Empfehlungen für vorläufige Maßnahmen zur Vermeidung von Verformungen im Asphalt in Verkehrsflächen mit besonders hohen Beanspruchungen vorgestellt. Diese Empfehlungen betreffen nicht nur den Walzasphalt, sondern insbesondere auch den Gussasphalt, und zwar sowohl im Hinblick auf die Auswahl zweckmäßiger Bauweisen in Verbindung mit geeigneten Maßnahmen vor, während und nach der Ausführung als auch in Bezug auf die künftig im Rahmen des Nachweises der Eignung einer Asphaltzusammensetzung durchzuführenden Untersuchungen. Hierzu zählen Untersuchungen zum rheologischen Verhalten des zur Verwendung kommenden Bitumens und am Füller-Bitumen-Gemisch (Mastix) im Dynamischen Scherrheometer mit Blick auf den gesamten Lebenszyklus und eine Erhöhung der Temperatur für die Durchführung von Prüfungen zur Bestimmung der Verformungsbeständigkeit des Asphalts. Ferner werden natürlich auch erste erfahrungsbasierte Vorschläge für Anforderungen an die Ergebnisse dieser Versuche gegeben.

1 Einleitung

Der Klimawandel bedingte in den letzten Jahren eine steigende Anzahl der Sommertage (Tage mit einem Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 25 °C) und insbesondere eine steigende Anzahl heißer Tage (Tage mit einem Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C), welche zum Teil hintereinander in unterschiedlich langen Hitzewellen auftraten und während denen auch in der Nacht keine deutliche Abkühlung stattfand.

Eine Auswertung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) belegt, dass die Anzahl heißer Tage im Jahr seit 2000 durchgängig eine positive Abweichung gegenüber dem vieljährigen Mittelwert von 1961 bis 1990 (4,2 Tage) besitzt und bei Annahme eines linearen Trends für die Anzahl heißer Tage gegenüber 1951 eine Zunahme um 8,1 Tage zu berechnen ist. Demgegenüber hat die mittlere Anzahl der Eistage (Tage, deren

Bild 1: Spurrinnenbildung im Hauptfahrstreifen und ersten Überholfahrstreifen der BAB A 10 vor dem AD Nuthetal (Fahrtrichtung West) in der Asphaltdeckschicht aus Splittmastixasphalt (Frühjahr 2020) infolge baustellenbedingtem nahezu ständigen Lkw-Rückstau

■ Verfasser

Dipl.-Ing. Volker Schäfer
v.schaefer@schaefer-consult.com
Schäfer Consult
Ulmenstraße 42
26135 Oldenburg (Oldb)

Climate changes and their effects are becoming increasingly recognizable. In order to counteract the effects, possible fields of action can be differentiated according to the extent to which, on the one hand, the consequences for the infrastructure can be reduced or the infrastructure can be adapted to the new boundary conditions. On the other hand, suitable measures should be taken to try to significantly reduce greenhouse gas emissions. Public infrastructure plays the central role in the functioning and organization of our daily lives and will continue to do so in the future. Certainly, some of the boundary conditions and requirements for infrastructure will be different than they are today. From the authors' point of view, it is a little surprising that, while building construction is assigned an important role in the fields of action for reducing CO_2 emissions, public transport infrastructure receives hardly any mention. Yet many traffic facilities are getting on in years and will have to be renewed in the next few years. At the sa Climate changes and their effects are becoming increasingly recognizable. In order to counteract the effects, possible fields of action can be differentiated according to the extent to which, on the one hand, the consequences for the infrastructure can be reduced or the infrastructure can be adapted to the new boundary conditions. On the other hand, suitable measures should be taken to try to significantly reduce greenhouse gas emissions. Public infrastructure plays the central role in the functioning and organization of our daily lives and will continue to do so in the future. Certainly, some of the boundary conditions and requirements for infrastructure will be different than they are today. From the authors' point of view, it is a little surprising that, while building construction is assigned an important role in the fields of action for reducing CO_2 emissions, public transport infrastructure receives hardly any mention. Yet many traffic facilities are getting on in years and will have to be renewed in the next few years. At the same time, the younger traffic facilities must be maintained in such a way that they will reach their intended service life. Consequently, there is a very large potential here for reducing CO_2 emissions. Since the development and introduction of innovations can take many years and, consequently, the effectiveness of innovation would only be effective with a delay, the authors have investigated the question of what can already be achieved today with existing technologies in the reduction of CO_2 emissions in asphalt road construction. To this end, starting with laboratory tests on bituminous binders and different asphalt variants through to implemented road construction projects, various test programmes have been implemented, the results of which will be reported here in two parts. The first part focuses in particular on the Osthofstraße pilot road from 2021, which is described with regard to the implementation of different warm asphalt construction methods with granulated asphalt, from the preparation measures to the evaluation of the control tests.

Tagesmaximum der Lufttemperatur kleiner 0 °C ist) seit 1951 von 28 Tagen auf 19 Tage abgenommen. Diese Beobachtung ordnet der DWD der globalen Erwärmung zu. Ferner erwartet er bei einem weiteren ungebremsten Treibhausgasausstoß eine weitere Zunahme der Anzahl heißer Tage: für den Zeitraum 2031 bis 2060 in Norddeutschland eine Zunahme um 5 bis 10 heiße Tage und in Süddeutschland um 10 bis 20 heiße Tage. (Deutscher Wetterdienst 2020b)

2 Beobachtungen

Auf der Straße haben die sehr heißen Sommerperioden der vergangenen Jahre teilweise zu massiven Verformungen in Asphaltbefestigungen in Form von Spurrinnenbildung geführt. So bildeten sich bundesweit erhebliche Spurrinnen, insbesondere an Brückenbelägen aus Asphalt, aber auch an Asphaltbefestigungen auf der freien Strecke. Im Hinblick auf die Brückenbauwerke sind neben der Weserbrücke im Zuge der BAB 1 bei Bremen beispielsweise die Talbrücke Heidingsfeld (BAB A 3 bei Würzburg) oder der Neckartalübergang (BAB A 6 bei Heilbronn) betroffen. Auf der freien Strecke konnten unter anderem auf der BAB A 10 vor dem Autobahndreieck Nuthetal (Fahrtrichtung West) und auf den Steigungsabschnitten der BAB A 7 in den Kasseler Bergen (Fahrtrichtung Kassel) erhebliche Spurrinnenbildungen beobachtet werden. Alle Strecken weisen eine grundsätzlich hohe Verkehrsbelastung mit einem hohen Schwerverkehrsanteil auf. Zusätzlich bestehen aber besondere Beanspruchungen, durch z. B. den spurfahrenden Verkehr, den langsam fahrenden Verkehr sowie häufige Brems- und Beschleunigungsvorgänge. Letztere waren auf den Strecken vermehrt in Verbindung mit den Baustellen vorhanden, die entweder – wie auf dem Neckartalübergang und der Talbrücke Heidingsfeld – unmittelbar in dem Abschnitt mit der schließlich aufgetretenen Spurrinnenbildung liegen oder – wie auf der Weserbrücke und bei dem Streckenabschnitt vor dem AD Nuthetal – in einem (in Fahrtrichtung) anschließenden Abschnitt bestanden. So war hier regelmäßig ein ausgeprägter Rückstau durch die Baustellen und die damit verbundenen Verkehrsbeeinträchtigungen zu beobachten, was insgesamt zu entsprechenden besonderen Beanspruchungen im Abschnitt mit der Spurrinnenbildung geführt hat. Sofern sich im Bereich von baustellenbedingten Verkehrsführungen auch noch Anschlussstellen befinden, sind infolge der Aus- und Einfädelungsvorgänge vermehrt weitere Brems- und Beschleunigungsvorgänge zu beobachten, welche sich bei einem bereits beeinträchtigten Verkehr nach Beob-

Bild 2: Staubildung von Lkw im Bereich einer Baustellenverkehrsführung mit einer Anschlussstelle

Bild 3: Erneute Spurrinnenbildungen infolge Lkw-Rückstau auf der Weserbrücke im Zuge der BAB A 1 auf bereits durch Fräsen geebneter Fahrbahn (Sommer 2019)

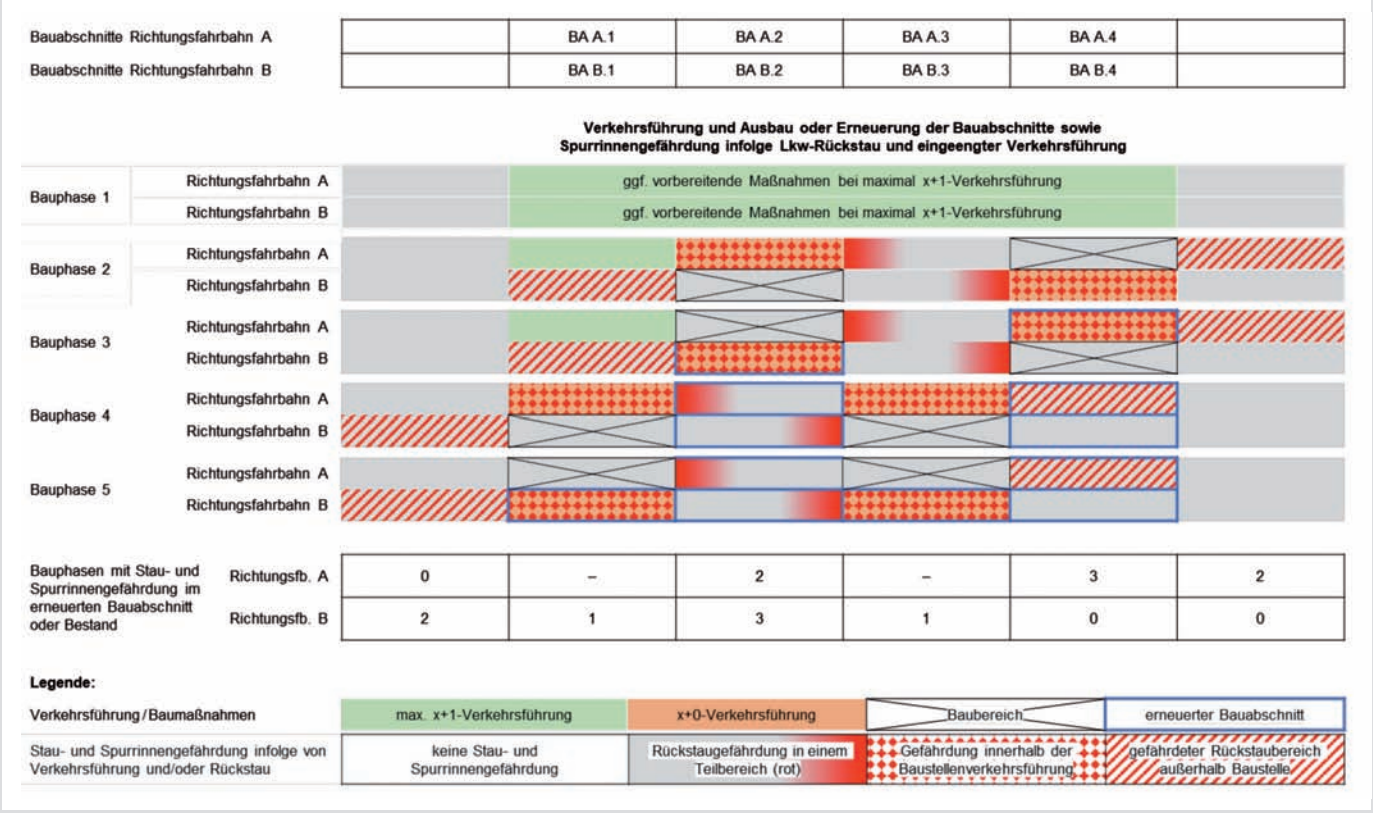

Bild 4: Schematische Darstellung der Stau- und Spurrinnengefährdung im Zuge des Bauablaufs

achtungen in der Praxis zum Teil noch ausgeprägter negativ auf den Verkehrsfluss auswirken. Für den Steigungsabschnitt der BAB A 7 liegt neben dem hohen Schwerverkehrsanteil eine hohe Belastung in Zusammenhang mit der starken Steigung vor, welche neben erhöhten Schubkräften auch zu einem langsamer fahrenden Schwerverkehr führt. Mit der dort vorhandenen Ausrichtung der Strecke nach Süden erfolgt zudem eine stärkere Erwärmung der Fahrbahnoberfläche bei Sonnenschein. Siehe hierzu auch die Bilder 1 bis 3.

In Bild 4 ist beispielhaft ein Bauablauf für eine Baumaßnahme mit mehreren Bauabschnitten (BA A.1 bis A.4 in der Richtungsfahrbahn A und BA B.1 bis B.4 in der Richtungsfahrbahn B) dargestellt, der diese Problematik verdeutlicht und zeigt, wie sich in den einzelnen Bauabschnitten, aber auch in den Bereichen vor oder nach einer Baumaßnahme mit dem Bauablauf die Gefährdung für eine Stau- und somit auch Spurrinnenbildung infolge von der Verkehrsführung und/oder dem Rückstau verteilt. Dabei wurden fiktiv bis zu fünf Bauphasen mit einer Bauzeit von einem Jahr je Bauphase und die Aufteilung der Baumaßnahme in vier Bauabschnitte je Richtungsfahrbahn angenommen.

Auf den Richtungsfahrbahnen wird in dem jeweiligen Bauabschnitt parallel zum Baustellenbereich eine x+0-Verkehrsführung (je nach Ausbaustufen meist 4+0-, 5+0- oder 6+0-Verkehrsführung) eingerichtet, wodurch dort eine eingeengte Verkehrsführung besteht. In Fahrtrichtung vor diesem Abschnitt kann es jedoch zum Rückstau aufgrund der Reduzierung der Verkehrsgeschwindigkeit, gegebenenfalls der Verschwenkung, der Einengung der Fahrstreifen oder sogar der Reduzierung der Anzahl der Fahrstreifen im Baustellenbereich kommen. Dabei entsteht erfahrungsgemäß in dem Abschnitt vor dem in Fahrtrichtung ersten Baubereich der größte Rückstau. Hinter dem ersten Baubereich löst sich der Stau im Regelfall schnell auf und es fließt der Verkehr. Vor dem nächsten Baubereich aber wird erneut ein Rückstau entstehen, welcher jedoch je nach Verkehrssituation aufgrund der Verkehrsbehinderung in dem vorangehenden Bauabschnitt geringer ausfallen kann.

Wird nicht nur die bestehende Fahrbahn erneuert, sondern ist aufgrund der Verkehrsmenge auch ein Ausbau der Fahrbahn von z. B. vier auf sechs Fahrstreifen erforderlich (in der schematischen Darstellung nicht berücksichtigt), erhöht sich die Gefahr der Staubildung und der Entstehung von Spurrinnenbildung insbesondere vor den Abschnitten, in denen eine eingeengte Verkehrsführung mit noch der geringeren Anzahl an Fahrstreifen besteht. Hier ist aufgrund des vorgesehenen Ausbaus davon auszugehen, dass der Querschnitt bereits im unbeeinträchtigten Fall an der Kapazitätsgrenze belastet wird und folglich jede Störung des Verkehrsflusses – wie durch eine Baustelle – auch die Funktionsfähigkeit und Verkehrsqualität in dem Abschnitt erheblich beeinträchtigt.

Wird der Verkehr im zweiten Jahr oder später über einen bereits ausgebauten Abschnitt geleitet, kann sich zwar eine geringe Entspannung einstellen und der Rückstau sich aufgrund des zusätzlichen Fahrstreifens eventuell verkürzen, allerdings ist in der Praxis auch zu beobachten, dass sich dann teilweise ein Lkw-Rückstau sowohl auf dem Hauptfahrstreifen als auch dem ersten Überholfahrstreifen bildet. Dies gilt spätestens für den Bereich vor oder zu Beginn von einem Lkw-Überholverbot.

Nach dem in Bild 4 dargestellten Bauablauf und den betrachteten Bauabschnitten ist für die bereits erneuerten Bauabschnitte durch rückstauenden Verkehr und die eingeengte Verkehrsführung in der restlichen Bauzeit über eine Dauer von 0 bis zu 3 Jahren (Bau-

phasen) mit der Gefahr der Spurrinnenbildung zu rechnen. Dies zeigt, dass je nach Wahl der Bauabschnitte und des Bauablaufs sowohl die Belastung gesteuert werden kann als auch eine Optimierung des Asphalts in einzelnen Bauabschnitten mehr erforderlicher ist als in anderen. Weiterhin wird auch für die jeweils links und rechts dargestellten Bestandsabschnitte verdeutlicht, dass hier die in Fahrtrichtung vor der Baustelle liegenden Abschnitte auch über 2 Jahre (Bauphasen) durch Rückstau gefährdet sind. Zwar besteht hier keine eingeengte Verkehrsführung, doch die Beispiele sowohl der Weserbrücke als auch der BAB A 10 belegen, dass in diesen Fällen ein Rückstau des Lkw-Verkehrs zu deutlichen Spurrinnen in dem Hauptfahrstreifen führen kann.

So sind auch in den verschiedenen beispielhaft genannten Strecken die Spurrinnen in den durch die Lkw belasteten Hauptfahrstreifen besonders ausgeprägt, obgleich hier zumeist ein – nach den bisherigen Erfahrungen und Regelwerken sowie dem Stand der Technik – hoch verformungsbeständiger Asphalt eingebaut worden ist. Damit zeigt sich, dass das vorhandene System der Konzeption der Brückenbeläge aus Asphalt sowie der Asphaltbefestigungen hier unter den gegebenen Bedingungen an seine Grenzen stößt.

3 Neuer Lastfall: besonders hohe Beanspruchungen

Die detaillierte Betrachtung der genannten Strecken zeigt eine Gemeinsamkeit in ihren **besonders hohen Beanspruchungen**, welche sich mit folgenden Rahmenbedingungen charakterisieren lässt, die vier Bereichen zugeordnet werden können:

- **bauliche Randbedingungen**
  - Ost-West-Ausrichtung ohne Verschattung
  - nach Süden ausgerichtete Steigungsstrecke (Südhang)
  - Auftreten sehr hoher Schubspannungen infolge steifer Unterlage
- **Verkehrsbelastung**
  - hoher Schwerverkehrsanteil (bei hohem DTV)
  - hohe Lastmenge
- **Verkehrssituation**
  - langsam fahrender bis stauender (Schwer-)Verkehr durch z. B. Rückstaubereich, Baustelle oder starke Längssteigung
  - verengte Verkehrsführung
  - gehäufte Brems- und Beschleunigungsvorgänge durch z. B. Aus- und Einfädelungsvorgänge, Stau oder Geschwindigkeitsbegrenzung
- **Wetter**
  - extrem hohe Temperaturen
  - praktisch ganztägige, intensive Sonneneinstrahlung (über den Sommer)
  - (nahezu) tropische Nacht.

Dabei müssen nicht alle genannten Rahmenbedingungen gleichzeitig erfüllt sein, sondern nach derzeitiger Beobachtung müssen mindestens vier bis fünf Rahmenbedingungen insgesamt mit mindestens einer aus jedem Bereich gegeben sein, um von **besonders hohen Beanspruchungen** auszugehen, welche ein Versagen konventioneller Asphaltbeläge mit hoher Wahrscheinlichkeit erwarten lassen.

Brückenbauwerke sind in diesem Zusammenhang als besonders gefährdet anzusehen, weil die Asphaltbefestigung auf einer praktisch biegesteifen Unterlage aus Beton oder Stahl eine Regeldicke von nur ca. 8 cm hat. Vergleichsrechnungen mit dem EDV-Programm PaDesTo zur Anwendung der rechnerischen Dimensionierung für näherungsweise abgebildete Auf-bauten zeigen, dass durch die starre Unterlage in den Asphaltschichten sehr hohe Schub-spannungen entstehen, die eine Spurrinnenbildung stark begünstigen. Dagegen ist in der freien Strecke durch die dickeren Asphaltschichten und die elastischere Unterlage eine günstigere Verteilung der Lasten vorhanden.

Zwar sind besondere Beanspruchungen im Grundsatz auch in den RStO 12 beschrieben. Doch wirkt ihre Berücksichtigung in den RStO primär auf die Dimensionierung (also die Dicke) des Oberbaus und nur indirekt über die ZTV Asphalt-StB – über die dort für die Belastungsklassen als zweckmäßig aufgeführten Asphalte und Bitumen – auf die Wahl und Zusammensetzung eines verformungsbeständigeren Asphalts. Der zusätzliche Hinweis in den ZTV Asphalt-StB 07/13, dass die Beanspruchungen durch klimatische Einflüsse wie „besonders hohe Temperaturen über längere Zeiträume, intensive Sonneneinstrahlungen, z. B. auf Südhanglagen“ (ZTV Asphalt-StB 07/13, Abschnitt 1.3) verstärkt werden können, hat ergänzend in der Praxis häufig zur Wahl des härteren und gegebenenfalls zusätzlich polymermodifizierten zweckmäßigen Bitumens nach den ZTV Asphalt-StB 07/13, Tabelle 2 geführt. Dies war in der Vergangenheit auch durchaus ausreichend und der Hinweis beschreibt aus heutiger Sicht allgemein ebenso einen Teil der (erneut) erkannten kritischen klimatischen Rahmenbedingungen. Gleichwohl hat die Praxis eindeutig gezeigt, dass die im Technischen Regelwerk vorgesehenen Stellschrauben nicht ausreichen, um die Kombination der besonderen Beanspruchungen und ihr Auftreten im Zusammenhang mit den besonderen verkehrlichen Situationen einerseits und extremen Temperaturen am Tag bzw. an mehreren Tagen und unzureichender Abkühlung in der Nacht andererseits abzubilden und aufzufangen.

Damit stellt dieser Lastfall der **besonders hohen Beanspruchungen** eine **neue, noch nicht im Technischen Regelwerk berücksichtigte** Situation dar.

4 Analyse, Erkenntnisse und Sofort-Maßnahmen nach dem Sommer 2019

Eine Auswertung des Sachverhalts zu den auf der Weserbrücke der BAB A 1 und auf dem Neckartalübergang der BAB A 6 eingebauten Asphalten zeigte, dass die Asphalte zwar nach dem seinerzeitigen Stand der Technik und sogar darüber hinaus (selbst-) gestellten Anforderungen an das Gebrauchsverhalten – unter anderem den Widerstand gegen Verformungen bei Wärme – konzipiert wurden. Im Falle der Weserbrücke war der hergestellte und in der Asphaltdeckschicht eingebaute Gussasphalt MA 16 S mit PmB 10/25 VL zwar unter Bezug auf die Erstprüfung anforderungskonform zusammengesetzt, wies aber eine höhere dynamische Stempeleindringtiefe auf als angestrebt. (Allerdings lag die dynamische Stempeleindringtiefe bereits bei der Erstprüfung über dem angestrebten Wertebereich; aufgrund des Zeitdrucks für die Sanierung auf der Weserbrücke konnte seinerzeit das Prüfergebnis nicht abgewartet werden, sodass hier eine Optimierung der Zusammensetzung nicht mehr möglich war.)

Der auf dem Neckartalübergang in der Schutzschicht eingebaute Gussasphalt MA 11 S oder MA 16 S mit 15/25 VL wurde nach dem seinerzeitigen Erfahrungshintergrund mit einem sehr hohen Widerstand gegen

Verformungen konzipiert und hergestellt. Auch im Zuge von Nachuntersuchungen am Ausbaustück war der Gussasphalt MA 16 S mit einer statischen Stempeleindringtiefe bei 40 °C von 1,4 mm und einer Zunahme der statischen Stempeleindringtiefe von 0,2 mm sowie einer dynamischen Stempeleindringtiefe bei 50 °C mit ET_{dyn} = 0,52 mm und 0,65 mm als anforderungskonform und hinreichend verformungsbeständig zu bewerten. In der Untersuchung bei einer Prüftemperatur von 65 °C, die vor dem Hintergrund der hohen Temperaturen im Sommer und zur Analyse der Spurrinnenbildung ergänzend gewählt wurde, erhöhte sich die statische Stempeleindringtiefe mit 3,1 mm auf gut das Doppelte mit einer Zunahme der statischen Stempeleindringtiefe von 0,1 mm. Dennoch entspricht auch dieser Wert noch den gängigen Anforderungen an die statische Stempeleindringtiefe bei einer Prüftemperatur von 40 °C nach den ZTV Asphalt-StB 07/13. Die dynamische Stempeleindringtiefe erhöhte sich bei 65 °C auf ET_{dyn} = 1,94 mm und 1,96 mm, das heißt etwa das 3- bis 4-Fache des Wertes bei 50 °C, und liegt damit auch noch in dem aufgrund der bisherigen Erfahrungen geforderten Bereich. Auch die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der Gussasphalte liegen mindestens bei den höheren Temperaturen (≥ 30 °C) über dem für die verschiedenen Kalibrierasphalte nach den RDO Asphalt 09 gegebenen Kurvenverlauf, sodass hiernach eine relativ hohe Steifigkeit bei hohen Temperaturen gegeben ist.

Ähnliches gilt für den Splittmastixasphalt SMA 11 S, der auf dem Neckartalübergang in die Asphaltdeckschicht eingebaut und bereits zur Erhöhung des Verformungswiderstandes (abweichend von den TL Asphalt-StB 07/13) mit PmB 25/45 VL hergestellt wurde. Verschiedene Kennwerte (Verdichtungswiderstand, Dehnungsrate, proportionale Spurrinnentiefe) ließen den konzipierten Splittmastixasphalt für eine hohe Belastung als zweckmäßig und seinen Verformungswiderstand bei Wärme als hoch einstufen. Bei einer noch steiferen Konzeption des Splittmastixasphalts ließ sich eine Beeinträchtigung des Kälteverhaltens nicht ausschließen. Untersuchungen nach dem Auftreten der Spurrinnenbildung auf dem Neckartalübergang zeigten zwar für den eingebauten Splittmastixasphalt zum Teil nicht einheitlich und eindeutig einen sehr hohen Widerstand gegen Verformungen nach den konventionellen Prüfmethoden und dem bisherigen Bewertungshintergrund. Gleichwohl war auch hier zumindest teilweise eine deutliche Erhöhung der Verformung mit zunehmender Prüftemperatur (T = 65 °C) zu ermitteln.

Auf der Weserbrücke bekam der erst 2018 sanierte Hauptfahrstreifen in Fahrtrichtung Osnabrück bereits über den Sommer im nächsten Jahr Spurrinnen mit bis zu 40 mm Tiefe auf der Vorlandbrücke (im Mittel 23,8 mm) und bis zu 55 mm auf der Strombrücke (im Mittel 37,8 mm) (Bild 3).

Das nördliche Teilbauwerk des Neckartalübergangs wurde Ende März 2019 fertiggestellt und dem Verkehr übergegeben. Auch hier wurden über den Sommer 2019 Spurrinnentiefen bis 38 mm in Fahrtrichtung Nürnberg (Osten) und bis 24 mm in Fahrtrichtung Mannheim (Westen) registriert, wobei nahezu durchgängig die größere Spurrinnentiefe in der rechten Radrollspur vorlag. Dabei war für die Asphaltdeckschicht aus Walzasphalt jedoch an keiner

Bild 5: Vor dem Einrichten einer Verkehrsführung: Hochdruckwasserstrahlen des provisorischen Fahrstreifens für den Lkw-Verkehr einer neu hergestellten Asphaltdeckschicht aus Splittmastixasphalt als obere Schicht einer Kompakten Asphaltbefestigung

Stelle eine Bitumenanreicherung in den Radrollspuren deutlich; stattdessen war die Textur ähnlich beschaffen wie in der angrenzenden Fläche. Anhand der Bauteilöffnung ließ sich erkennen, dass der Großteil der Verformung in der Schutzschicht aus Gussasphalt stattgefunden hat, wenn auch eine etwas geringere Dicke der Asphaltdeckschicht in der Radrollspur vorhanden war.

Als weitere Maßnahme zur Erhöhung des Widerstands gegen Verformungen bei Wärme wird zum Teil die Verwendung von heller Gesteinskörnung oder künstlichem Aufhellungsgestein ausgeschrieben. Allgemein und auch nach verschiedenen Untersuchungen an Straßenoberflächen ist bekannt, dass sich eine dunkle Oberfläche sich bei Sonnenstrahlung stärker erwärmt als eine helle Oberfläche. Im Umkehrschluss besitzen helle Asphaltdeckschichten, die sich weniger erwärmen, auch vergleichsweise höhere Viskositäten bzw. einen höheren Verformungswiderstand (z. B. Meseberg 2011; Damm 2009; Pohlmann 1996; von Stosch 1968).

Der Splittmastixasphalt, der auf dem Neckartalübergang und in gleicher Zusammensetzung auch auf weiteren Brückenbauwerken im ÖPP-Projekt der BAB A 6 eingebaut wurde, wurde unter anderem mit Blick auf einen höheren Verformungswiderstand mit heller Gesteinskörnung aus Alpiner Moräne konzipiert und beim Einbau zur Gewährleistung der Anfangsgriffigkeit auch mit der Gesteinskörnung 1/3 aus Alpiner Moräne abgestumpft. Auch bei einer stark frequentierten Verkehrsfläche dauert es jedoch etwa 1,5 bis 2 Jahre bis der Bitumenfilm an der Oberfläche abgefahren und abgewittert ist und die Gesteinskörnung freigelegt ist. Daher war im Sommer 2019 noch eine dunkle Oberfläche auf dem Neckartalübergang vorhanden und konnte die helle Gesteinskörnung noch nicht wirken.

Doch auch die Bauweise kann – sofern sie gewählt werden kann – positiv auf den Wider-stand gegen Verformungen bei Wärme wirken. So ist bekannt (z. B. Utterodt 2009; Schäfer, Rosauer 2007; Richter, Dietrich 1997; M KA 2001; BMVI 2019a), dass sich eine dünnere Schichtdicke einer Asphaltdeckschicht aus Asphaltbeton oder auch Splittmastixasphalt (mit im Gegenzug einer dickeren Asphaltbinder- oder Asphalttragschicht), wie sie bei Kompakten Asphaltbefestigungen hergestellt wird, zusätzlich positiv auf den Widerstand gegen Verformung der Asphaltdeckschicht bzw. der Asphaltbefestigung auswirkt, einen anforderungskonformen Einbau vorausgesetzt. Weiterhin wirkt bei einer Kompakten Asphaltbefestigung die intensive Verzahnung zwischen der oberen und der unteren Asphaltschicht positiv auf den Verformungswiderstand. Auf den Abschnitten der freien Strecke der BAB A 6, in denen die Asphaltdecke aus Splittmastixasphalt aus SMA 8 S und (dem nicht viskositätsveränderten polymermodifizierten Bitumen) 25/55-55 A und Asphaltbinder AC 16 B S mit 10/40-65 A (resultierend) als Kompakte Asphaltbefestigung eingebaut wurde und die über den Sommer 2020 einer besonders hohen Beanspruchung unterlagen, zeigten sich keine Verformungen. Zwar wird mit Sicherheit auch die – nach der Erfahrung im Sommer 2019 vorgenommene – Aufhellung der Asphaltdeckschicht mittels Wasserhochdruckstrahlen positiv gewirkt haben, doch ist die trotz der besonders hohen Beanspruchungen ausbleibende Verformung auch im Zusammenhang mit dem günstige(re)n Verformungsverhalten der Asphaltdeckschicht aus Splittmastixasphalt in Kompaktasphaltbauweise zu sehen (Bild 5).

5 Untersuchungen und angepasste Konzepte für Guss- und Walzasphalte

Ausgehend von den Asphaltuntersuchungen, den Erkenntnissen zur Spurrinnenbildung auf dem Neckartalübergang und den Folgerungen für das weitere Vorgehen wurden umfangreiche Bitumenuntersuchungen und Bitumenentwicklungen zunächst von Shell (Shell 2019, Vondenhof 2020), dem Hersteller der verwendeten Bitumen, durchgeführt. Betrachtet wurden hierbei die Bitumen 15/25 VL, PmB 25/45 VL, PmB 10/40-80 VL RC, PmB 45/80-80 RC, PmB 10/30-75 VL, PmB 20/40-75 VL, PmB 10/25 VL, PmB 10/40-80 RC und PmB 25/55-80 RC. Diese Bitumen untersuchte im Weiteren auch die TU Dresden (Wellner 2020). Dabei wurden die Bitumen und Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf die Eignung für die Anwendung im Gussasphalt einerseits und im Walzasphalt andererseits bewertet. Hiernach wurde für den Gussasphalt das viskositätsveränderte polymermodifizierte Bitumen PmB 10/30 75 VL und für den Walzasphalt das viskositätsveränderte polymermodifizierte Bitumen PmB 10/40 80 VL RC als am meisten geeignet erachtet, sodass auch das Chemisch Technische Laboratorium Hart Untersuchungen an diesen sowie an den zuvor verwendeten Bitumen 15/25 VL und PmB 24/45 VL durchführte (CTL HART 2020b). Zusätzlich wurden teilweise für die bereits klassifizierten, am Markt regelmäßig verfügbaren und vorliegend auch verwendeten viskositätsveränderten Bitumen 15/25 VL und PmB 24/45 VL zum Vergleich die Eigenschaften dieser Bitumen zweier anderer Hersteller untersucht.

Dabei wurden die Bitumen sowohl im frischen Zustand als auch im Zustand nach beschleunigter Kurz- sowie Kurz- und Langzeitalterung geprüft. Die beschleunigte Kurzzeitalterung des Bitumens erfolgte mit dem Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT)-

Verfahren nach DIN EN 12607-1. Die beschleunigte Langzeitalterung wurde mit dem Pressure Ageing Vessel (PAV)-Verfahren nach DIN EN 14769 durchgeführt.

Bei den Bitumenuntersuchungen wurde ein Fokus auf rheologische Untersuchungen im Dynamischen Scherrheometer gelegt, weil mit den rheologischen Untersuchungen das Verhalten des Bitumens mit z. B. dem Komplexen Schermodul und dem Phasenwinkel oder auch der Äquisteifigkeitstemperatur (bzw. T_{BTSV}) besser angesprochen wird als über klassische Bitumenkennwerte (z. B. Erweichungspunkt Ring und Kugel, elastische Rückstellung). Die zugehörigen Untersuchungen im DSR wurden mit dem T-Sweep, dem Temperatur-Frequenz-Sweep nach Wellner u. a. (2019) und dem BTSV durchgeführt. Die Ansprache des Verformungsverhalten bei hohen Temperaturen erfolgte im DSR mit dem Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT). Das Kälteverhalten des Bitumens wurde im Biegebalkenrheometer (BBR) untersucht. Weiterhin wurde von der TU Dresden das Ermüdungsverhalten des Bitumens mit einem in Anlehnung an die für Asphalt bekannten Prüfverfahren zur Bestimmung des Ermüdungsverhaltens und der Ermüdungsfunktion analysiert. Ferner wurde am frischen Bitumen die Verarbeitbarkeit über die Prüfung der Viskosität bewertet. Die Untersuchungen wurden von den verschiedenen Instituten jeweils einfach durchgeführt.

Die DSR-Untersuchungen im T-Sweep belegen zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den bereits klassifizierten Bitumen unterschiedlicher Hersteller. Für das neu entwickelte Bitumen PmB 10/30-75 VL zeigt sich gegenüber dem zuvor im Gussasphalt auf der BAB A 6 verwendeten Bitumen 15/25 VL erwartungsgemäß mit dem Phasenwinkel ein deutlich elastischeres Verhalten, sowohl im frischen als auch im gealterten Zustand. Der Komplexe Schermodul differiert nicht wesentlich, liegt aber bei den höheren Temperaturen (T > 60 °C) für das PmB 10/30 75 VL im frischen Zustand über dem Kurvenverlauf des 15/25 VL, im kurz- und langzeitgealterten Zustand ist die Differenz nur sehr gering. Das neu entwickelte Bitumen PmB 10/40-80 VL RC weist gegenüber dem zuvor im Splittmastixasphalt auf dem Neckartalübergang verwendeten PmB 25/45 VL einen mit steigender Temperatur zunehmend höheren Komplexen Schermodul auf. Die Differenz ist dabei im gealterten Zustand größer. Ferner ist erwartungsgemäß mit der höheren polymermodifizierung über

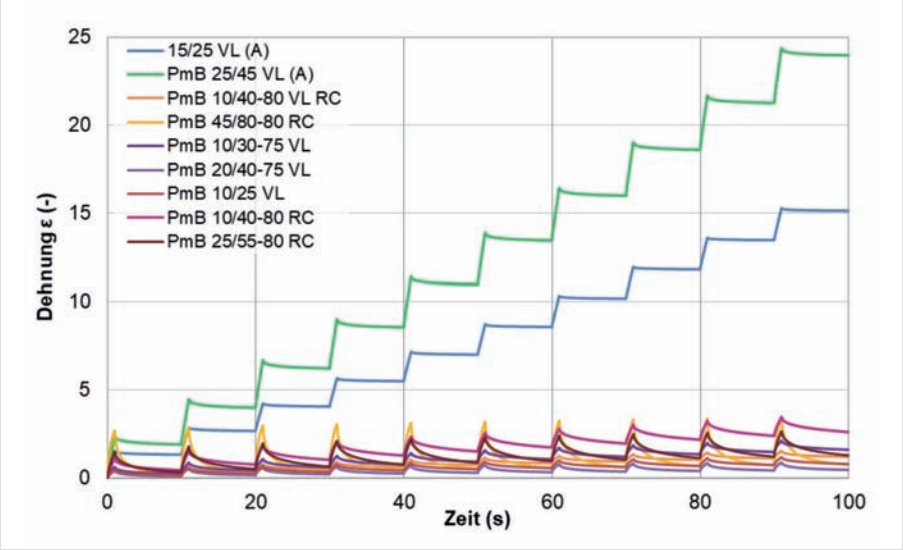

Bild 6: Vergleich der Dehnung der frischen Bitumen im MSCRT, untersucht von Shell (Shell 2019)

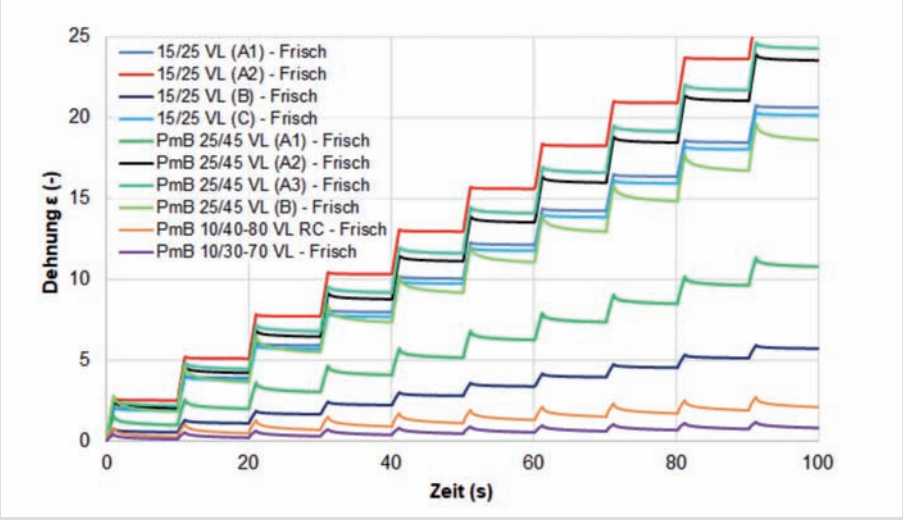

Bild 7: Vergleich der Dehnung der frischen Bitumen im MSCRT, untersucht von CTL Hart (Daten: CTL HART 2020b, CTL HART 2021b)

den Phasenwinkel ein elastischeres Verhalten festzustellen.

Ähnlich zeigt sich sowohl bei der Bestimmung der Äquisteifigkeitstemperatur mittels BTSV oder T-Sweep im DSR am kurz- und langzeitgealterten Bitumen als auch bei der Betrachtung der Hauptkurven und des Black-Diagramms, welche auf Basis von Temperatur-Frequenz-Sweep-Untersuchungen im DSR am frischen Bitumen ermittelt wurden, ein deutlich weniger elastisches Verhalten der auf dem Neckartalübergang verwendeten Bitumen PmB 25/45 VL und 15/25 VL. Zwar enthält auch das PmB 25/45 VL Polymere, jedoch nach den Ergebnissen der rheologischen Untersuchungen offenbar nicht in dem Maß wie die weiteren untersuchten und entwickelten Polymermodifizierten Bitumen.

Im Hinblick auf die betrachteten Alterungsindizes, ermittelt für den Komplexen Schermodul (Steifigkeit) und den Phasenwinkel bei einer Referenztemperatur von 20 °C und 60 °C und einer Frequenz von 10 Hz, verändert das Bitumen PmB 45/80-80 RC sein rheologisches Verhalten infolge der Alterung am wenigsten und das Bitumen PmB 25/55-80 RC am stärksten. Der Komplexe Schermodul bei einer Frequenz von 10 Hz und einer Referenztemperatur von 20 °C bleibt für die Bitumen PmB 10/30-75 VL und PmB 10/40-80 VL RC infolge der Kurzzeitalterung nahezu auf vergleichbarem Niveau, bei der Referenztemperatur von 60 °C liegt die Zunahme mit dem Alterungsindex im mittleren bzw. oberen Bereich der Spannweite. Der Alterungsindex des Phasenwinkels ist für die meisten untersuchten Bitumen bei

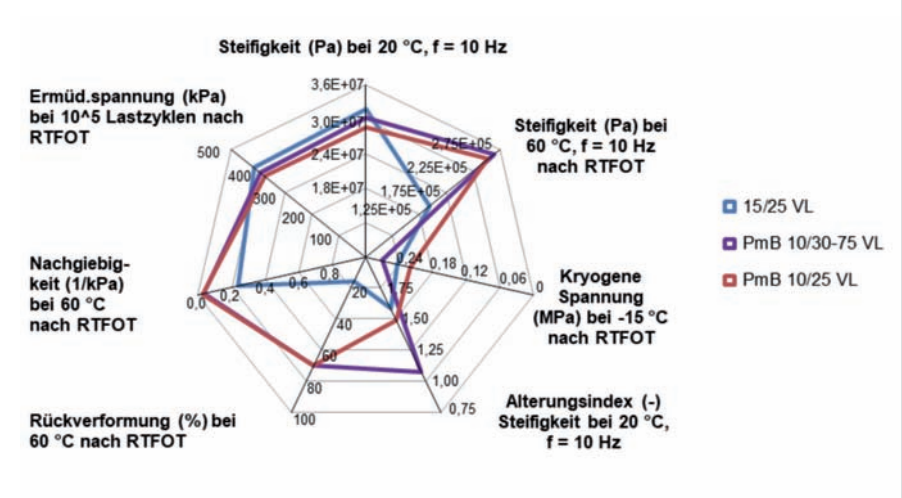

Bild 8: Bewertung der Bitumen 15/25 VL (A) und PmB 10/25 VL im Vergleich zum PmB 10/30-75 VL im Netzdiagramm (Daten: Wellner 2020)

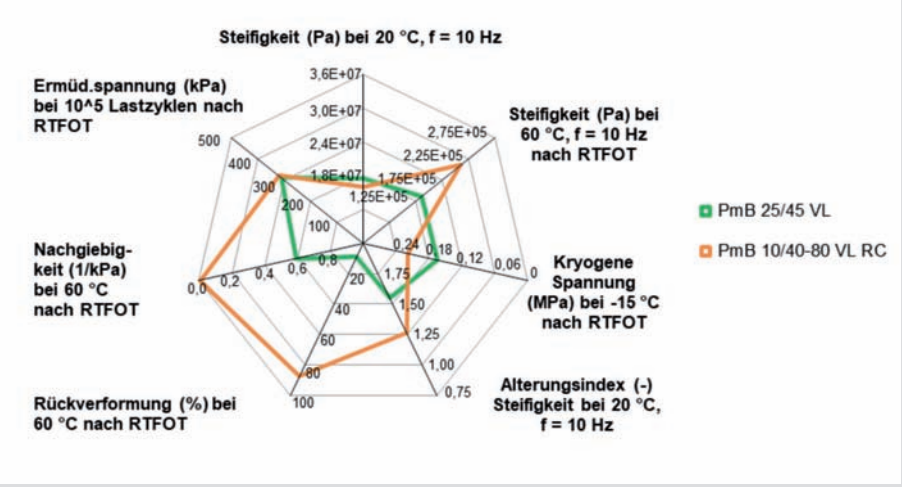

Bild 9: Bewertung des Bitumens PmB 25/45 VL (A) im Vergleich zum PmB 10/40-80 VL RC im Netzdiagramm (Daten: Wellner 2020)

60 °C größer als bei 20 °C, bei den Bitumen PmB 10/30-75 VL und PmB 20/40-75 VL ist das Verhältnis hingegen umgekehrt: Der Alterungsindex bei 20 °C ist hier höher als bei 60 °C, was eine geringere Veränderung des Verhaltens bei hohen Temperaturen infolge von Alterung beschreibt.

Das Verformungsverhalten der Bitumen bei Wärme, geprüft mit dem MSCRT (bei 60 °C), zeigt für die auf dem Neckartalübergang eingesetzten Bitumen eine deutlich höhere Dehnung (Bild 6) mit einer höheren Nachgiebigkeit und einer geringeren Elastizität. Die neu entwickelten höher polymermodifizierten und/oder viskositätsveränderten Bitumen weisen alle deutlich geringere Dehnungen auf. Wie bereits am rheologischen Verhalten im T-Sweep festzustellen, sind hier für die bereits klassifizierten Bitumen 15/25 VL und PmB 25/45 VL zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Herstellern zu beobachten (Bild 7; die unterschiedlichen Hersteller sind mit A, B und C bezeichnet).

Mit der Alterung nimmt für alle Bitumen die Dehnung ab. Bei den übrigen Bitumen ist zum Teil eine Verschiebung in der Reihung zu beobachten. Die Rückstellung und die Nachgiebigkeit nach Kurz- sowie Kurz- und Langzeitalterung verändern sich über die Prüfstellen hinweg unterschiedlich, in der Tendenz zeigt sich hier jedoch mehrheitlich eine Zunahme der Rückstellung und eine Abnahme der Nachgiebigkeit. Das deutlich ungünstigere Verhalten der Bitumen 15/25 VL und PmB 25/45 VL gegenüber den weiteren Bitumen verbleibt aber auch mit der Alterung.

Nach Erkenntnissen in der Praxis sind Werte für die Rückverformung R > 80 % als sehr gut im Hinblick auf den Widerstand gegen bleibende Verformungen bei Wärme zu bewerten. Demnach weisen die auf dem Neckartalübergang verwendeten Bitumen 15/25 VL (A) und PmB 25/45 VL (A) mit Werten von knapp 10 % bzw. 15 % ein sehr ungünstiges Verformungsverhalten auf. Aber auch für diese Bitumen der Hersteller B und C beträgt die Rückverformung deutlich < 80 % (im frischen Zustand R ≤ 35 %), sodass sie als ungeeignet einzustufen sind. Die neu entwickelten Bitumen besitzen demgegenüber Rückstellungen im frischen Zustand von mindestens 75 %.

Das günstigste Kälteverhalten lässt sich unter Berücksichtigung der Temperaturen $T_{m0,3}$ und T_{S300} sowohl im frischen als auch im kurz- und langzeitgealterten Zustand für das Bitumen PmB 45/80-80 RC feststellen; dieses entspricht aber auch der weichsten Variante aller untersuchten Bitumen, sodass dieses Ergebnis plausibel ist. Ferner zeigen die höher polymermodifizierten Bitumen (RC) ein günstigeres Kälteverhalten als die (zusätzlich) viskositätsveränderten Bitumen.

Das Bitumen PmB 45/80-80 RC besitzt aber auch den geringsten Ermüdungswiderstand in Abhängigkeit von der Scherspannung, geprüft bei 20 °C und f = 10 Hz. Bei hohen Scherspannungen weist das härtere Bitumen 15/25 VL den höchsten Ermüdungswiderstand auf, bei Scherspannungen < 400 kPa bzw. 350 kPa liegen die Ermüdungsfunktionen des Bitumens PmB 20/40-75 VL und PmB 10/30-75 VL am höchsten und besitzen damit den höchsten Ermüdungswiderstand gegen Scherbeanspruchung.

Ausgehend von den Ergebnissen der Bitumenuntersuchungen am frischen Bitumen sowie am kurz- und langzeitgealterten Bitumen der Shell (2019) folgerte Vondenhof (2020), dass für die Anwendung im Gussasphalt das Bitumen PmB 10/30-75 VL und als Alternative das Bitumen PmB 10/25 VL insbesondere im Hinblick auf das Verformungsverhalten mit dem Widerstand gegen Scherbeanspruchung (Komplexer Schermodul) sowie der Dehnung im MSCRT und auch bezüglich des Kälteverhaltens von den entwickelten Bitumen am meisten geeignet ist. Für die Anwendung im Walzasphalt bzw. Splittmastixasphalt wurde das Bitumen PmB 10/40-80 VL RC und alternativ das Bitumen PmB 10/30-75 VL, eventuell auch das Bitumen PmB 20/40-75 VL vor dem Hintergrund des Verformungsverhaltens bei Wärme sowie des Kälteverhaltens favorisiert.

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse von Wellner (2020) mittels Netzdia-

gramm ergab die größten aufgespannten Flächen für die Bitumen PmB 10/30-75 VL, PmB 20/40-75 VL, PmB 45/80-80 RC und PmB 10/25 VL. Die beiden erstgenannten Bitumen weisen besonders gute Gebrauchseigenschaften hinsichtlich des Verformungsverhaltens bei Wärme und der Steifigkeit sowohl bei hohen als auch bei üblichen Gebrauchstemperaturen, auch unter Berücksichtigung der Alterung, auf. Das PmB 10/25 VL ist ähnlich zu bewerten, besitzt jedoch einen ungünstigeren Alterungsindex der Steifigkeit und ein etwas geringeres viskoe-lastisches Verhalten. Damit ist das PmB 10/25 VL trotz einer nicht deutlich geringeren Verformungsbeständigkeit vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse und der Untersuchungsergebnisse im Zusammenhang mit der Weserbrücke als eher ungeeignet einzustufen. Das PmB 45/80-80 RC zeigt im Vergleich zu den beiden erstgenannten Bitumen ein deutlich günstigeres Kälteverhalten, aber im Gegenzug Nachteile im Hinblick auf die Steifigkeit.

Ein Vergleich der Ergebnisse im Netzdiagramm des schließlich favorisierten und zwischenzeitlich bereits erprobten Bitumens PmB 10/30-75 VL zu den Bitumen 15/25 VL (verwendet auf dem Neckartalübergang) und PmB 10/25 VL (zuvor verwendet auf der Weserbrücke) im Gussasphalt zeigt das Bild 8 und für das Bitumen PmB 10/40-80 VL RC zu dem Bitumen PmB 25/45 VL (verwendet auf dem Neckartalübergang) im Walzasphalt das Bild 9. Hierbei sind im Wesentlichen die Prüfergebnisse nach Kurzzeitalterung (RTFOT) dargestellt.

Zwischen den verschiedenen beteiligten Laboren einheitlich ist die Bewertung, dass die auf dem Neckartalübergang eingesetzten Bitumen 15/25 VL und PmB 25/45 VL insbesondere hinsichtlich des Widerstands gegen Verformungen bei Wärme und den rheologischen Eigenschaften bei sehr hohen Temperaturen sowohl im frischen Zustand als auch im gealterten Zustand ein ungeeignetes Gebrauchsverhalten aufweisen.

Zur Sanierung der Weserbrücke im Sommer 2020 wurden aufbauend auf den Erkenntnissen der Bitumenuntersuchungen umfangreiche Voruntersuchungen zur Zusammensetzung der dort einzubauenden Gussasphalte für die Schutzschicht und die Asphaltdeckschicht durchgeführt. So wurden Bitumenuntersuchungen sowohl an dem bereits bei der Sanierung im August 2018 verwendeten Bitumen PmB 10/25 VL als auch dem neu entwickelten und zur Anwendung vorgesehenen Bitumen PmB 10/30-75 VL durchgeführt. Ferner wurden das rheologische Verhalten und der Widerstand gegen Verformung verschiedener Mastixgemische mit zwei unterschiedlichen Füllern untersucht.

Die Voruntersuchungen am Bitumen für die Weserbrücke bestätigen für die untersuchten Kennwerte die Ergebnisse aus den umfangreichen ersten Bitumenuntersuchungen nach der Spurrinnenbildung auf dem Neckartalübergang: Das Bitumen PmB 10/30-75 VL besitzt ein deutlich günstigeres Alterungsverhalten und verändert seine rheologischen Eigenschaften infolge von Alterung in einem geringeren Maß als das PmB 10/25 VL. Die stärkere Alterung des PmB 10/25 VL, wie sie durch das BTSV festzustellen war, wird auch im Hinblick auf das Verformungsverhalten bei Wärme bestätigt. Mit einer Rückverformung R > 80 % und einer Nachgiebigkeit $J_{nr} \leq 2{,}0\ kPa^{-1}$ sind jedoch beide Bitumen nach den bisherigen Erkenntnissen aus der Forschung und der Praxis als geeignet für hoch belastete Straßen einzustufen. Die Temperatur $T_{m0,3}$ ist für das Bitumen PmB 10/25 VL am frischen Bitumen geringfügig niedriger als am Bitumen PmB 10/30-75 VL. Mit der Alterung steigt wie auch bei der Temperatur T_{S300} die Temperatur $T_{m0,3}$. Anders als bei den ersten Bitumenuntersuchungen ist hier jedoch eine stärkere Zunahme und damit ein ungünstigeres Alterungsverhalten des PmB 10/25 VL zu beobachten.

Die Untersuchungen am Gussasphalt zur Bewertung des Widerstands gegen Verformungen wurden nicht nur bei den konventionellen Prüftemperaturen durchgeführt, sondern bei Temperaturen bis 65 °C. So wurde z. B. die statische Stempeleindringtiefe bei den Temperaturen von 40 °C, 50 °C, 60 °C und 65 °C bestimmt. Hierbei ist auffällig und zu betonen, dass eine überproportionale Zunahme der statischen Stempeleindringtiefe mit steigender Temperatur zu beobachten ist. So steigt die statische Stempeleindringtiefe beispielsweise an der untersuchten/zur Verwendung vorgesehenen Variante des MA 11 S (bereits mit PmB 10/30-75 VL) von 1,0 mm bei 40 °C auf 1,6 mm bei 50 °C und auf 6,2 mm bei 65 °C. Dies dürfte das verstärkte Versagen von konventionellen Asphalten in exponierten, besonnten Lagen bei einer entsprechenden Belastung im Sommer 2019 unter anderem begründen, besonders wenn zudem die Verwendung weniger wärme- und verformungsbeständiger Bitumen vorausgesetzt wird.

An den hinsichtlich der Zusammensetzung optimierten Varianten des Gussasphalts konnte der Widerstand gegen bleibende Verformung bei Wärme nochmals deutlich erhöht werden. Am MA 11 S reduziert sich bei der Standardprüftemperatur die statische Stempeleindringtiefe zwar nur geringfügig um 0,1 mm auf 0,9 mm, aber bei der Prüftemperatur von 65 °C wird der Wert auf 3,0 mm mit einer Zunahme von 0,2 mm mehr als halbiert. Auch die dynamische Stempeleindringtiefe reduziert sich bei 65 °C um etwa 20 % auf 1,69 mm. Am MA 8 S führt die Optimierung zu einer noch größeren Erhöhung des Verformungswiderstands und reduziert sich die Stempeleindringtiefe bei 40 °C um 0,3 mm auf 0,8 mm mit einer Zunahme von 0,1 mm und bei 65 °C auf etwa ein Drittel (1,6 mm mit einer Zunahme von 0,1 mm).

Zwar existieren für die hohen Prüftemperaturen keine Anforderungs- oder andere umfangreiche Erfahrungswerte zur Bewertung, doch erfüllen die Werte der optimierten Varianten auch bei den hohen Prüftemperaturen die für die Standardprüfbedingungen geltenden Anforderungen. Daher und auch im Vergleich zu den Ergebnissen an der jeweiligen Probe der Variante 1 wurde dieser Wert im Hinblick auf die kritischen Bedingungen der besonders hohen Beanspruchungen als positiv und sehr gut verformungsbeständig bewertet.

Brückenbauwerk mit Art des Überbaues / Ort der Messung	Neckartalübergang BAB A 6	Weserbrücke BAB A 1	
	Stahlbeton	Stahlbeton	Stahl
maximale Temperaturen im Sommer 2020 in °C:			
Deutscher Wetterdienst	34,1	34,3	
Asphaltdeckschicht	46,8	42,0	43,8
Schutzschicht	44,0	40,6	40,9
minimale Temperaturen im Winter 2020/21 in °C:			
Deutscher Wetterdienst	–13,0	–15,4	
Asphaltdeckschicht	–9,4	–11,6	–12,8
Schutzschicht	–8,8	–10,6	–12,2

Tabelle 1: Ergebnisse von Temperaturauswertungen

An Rückstellproben des Bitumens und des hergestellten Gussasphalts MA 8 S und MA 11 S wurden zum weiteren Erkenntnisgewinn nach den Bauarbeiten auf der Weserbrücke umfangreiche Nachuntersuchungen durchgeführt. Die Nachuntersuchungen an der Rückstellprobe des angelieferten Bitumens haben allerdings insbesondere mit den rheologischen Kenndaten einen geringeren Widerstand gegen Verformungen erkennen lassen als nach den Ergebnissen der Voruntersuchungen zu erwarten. Analoges gilt für die aus den Rückstellproben des Gussasphaltes rückgewonnenen Bitumen. Mit der Alterung erhöht sich zwar die Steifigkeit entsprechend der Erfahrungen, aber verbleibt ein Unterschied in dem Verhalten des Bitumens. Dies spiegelt sich in dem hier etwas ungünstigeren Widerstand gegen Verformungen der Gussasphalte wider, die mit der statischen Stempeleindringtiefe und der dynamischen Stempeleindringtiefe angesprochen wurden; auch die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der Rückstellproben beider Gussasphalte liegen im relevanten Temperaturbereich unter den Kurven aus der Voruntersuchung. Neben dem Einfluss der Bitumeneigenschaften kann der Widerstand gegen Verformungen zusätzlich durch geringe Verschiebungen in der Korngrößenverteilung, insbesondere einer Reduzierung des Feinanteils, beeinträchtigt worden sein, auch wenn die Zusammensetzung jeweils unter Berücksichtigung der Toleranzen nach den ZTV Asphalt-StB 07/13 anforderungskonform sind.

Ferner zeigen die Nachuntersuchungen am Bitumen, dass die rückgewonnenen Bitumen anscheinend eine geringere Alterung erfahren als mittels RTFOT am angelieferten Bitumen simuliert. So deutet sowohl der Unterschied der Äquisteifigkeitstemperatur als auch des zugehörigen Phasenwinkels auf eine geringere Alterung des Bitumens im Gussasphalt als am kurzzeitgealterten angelieferten Bitumen. Allerdings ist ein Einfluss aus einer möglicherweise nicht vollständigen Rückgewinnung aller Bitumenbestandteile aus dem Asphaltmischgut nicht auszuschließen.

6 Beobachtungen im Sommer 2020 und Winter 2020/21

Zur Analyse der Erwärmung bzw. allgemein der Temperaturen in den Asphaltschichten wurden im Zuge sowohl der Untersuchung der Spurrinnenbildung auf dem Neckartalübergang als auch der Instandsetzung des Hauptfahrstreifens der Weserbrücke nachträglich bzw. beim Einbau der Asphaltschichten in verschiedenen Tiefen Messsensoren eingebaut, mit denen die Temperaturen in der Schutzschicht und der Asphaltdeckschicht im Tagesverlauf gemessen werden sollen. Die Messsensoren mit einem Durchmesser von 3,0 cm und einer Dicke von 1,7 cm können Temperaturen zwischen –25 °C und 125 °C mit einer Auflösung von 0,1 K und einer Genauigkeit von ±0,5 K zwischen 0 °C und 65 °C erfassen. Die Auswertung der Messdaten erfolgte unter Berücksichtigung von Daten des Deutschen Wetterdienstes, die von nahe gelegenen Wetter-Messstationen stammen. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Auswertungen sind in der Tabelle 1 dargestellt und dem Bild 10 können beispielhaft die Temperaturganglinien im Sommer 2020 im Zeitraum mit den jeweils am höchsten auftretenden Temperaturen entnommen werden.

Im Sommer 2020 sind auf dem Neckartalübergang in der Schutzschicht an den verschiedenen Stationen mindestens die gleichen, mehrheitlich jedoch höhere minimale Temperaturen, aber niedrigere maximale Temperaturen (42,2 bis 44,8 °C) gemessen worden als in der Asphaltdeckschicht (maximale Temperatur 45,9 bis 47,4 °C) an derselben Station. Die Differenzen zwischen den maximalen Temperaturen der Asphaltschichten einer Station sind mit 2 K bis 3 K größer als bei den minimalen Temperaturen mit 0 K bis unter 2 K.

Eine tropische Nacht mit einer minimalen Lufttemperatur über 20 °C lag auf dem Neckartalübergang im Sommer 2020 nur in der Nacht vom 10. zum 11.8.2020 vor. Jedoch sinken die Temperaturen in den Asphaltschichten nachts in den beiden Zeiträumen um den 31.7.2020 mit der maximalen Lufttemperatur (Wetter-Messstation DWD 3734 Obersulm-Willsbach) und um den 9.8.2020 mit der maximalen Temperatur in den Asphaltschichten nicht unter 20 °C, sondern liegen zum Teil – besonders an den Tagen nach dem 9.8.2020 – sogar über 25 °C. In der tropischen Nacht sinkt die Temperatur in den Asphaltschichten an der Messstation 3 (Strombrücke, Fahrtrichtung Mannheim; Messstation mit den höchsten Messwerten) nicht unter 28 °C.

Für die Weserbrücke wurde im Sommer 2020 an der nächstgelegenen Wetter-Messstation DWD 691 Bremen-Flughafen die maximale Lufttemperatur am Samstag, den 8.8.2020 erfasst, wobei diese mit 34,3 °C um 1,8 K unter der maximalen Lufttemperatur in Obersulm-Willsbach lag. In einer ähnlichen Größenordnung liegt in dem vergleichend betrachteten Messzeitraum vom 21.07. bis 20.8.2020 die mittlere Lufttemperatur in Bremen (20,8 °C) unter der mittleren Lufttemperatur in Obersulm-Willsbach (22,2 °C). Demnach ist insgesamt von tendenziell geringeren Lufttemperaturen in Bremen im Vergleich zu Obersulm-Willsbach auszugehen.

Auf der Weserbrücke, die auf der Asphaltdeckschicht aus Gussasphalt eine Abstreuung mit Lysit aufweist, liegen die Temperaturen in der Asphaltdeckschicht mit maximal 42,0 °C bis 43,8 °C, im Mittel 43,1 °C und in der Schutzschicht 40,6 °C bis 41,4 °C, im Mittel 41,0 °C ebenso niedriger als auf dem Neckartalübergang. Allerdings ist die Differenz der höchsten Temperaturen zwischen den beiden Brückenbauwerken mit 3,6 K bzw. 3,4 K größer als die Differenz in der Lufttemperatur.

Eine tropische Nacht mit Lufttemperaturen

über 20 °C liegt an der Messstation Bremen-Flughafen nur in der Nacht vom 8. zum 9.8.2020 vor. In dieser Nacht sinkt die Temperatur in den Asphaltschichten an der Messstation 3 (in Fahrstreifenmitte und mit den höchsten Temperaturen) im Bereich der Strombrücke auf der Weserbrücke nicht unter 22,5 °C. Damit kühlen die Asphaltschichten auf der Weserbrücke stärker ab als auf dem Neckartalübergang, was aber auch in Zusammenhang mit der grundsätzlich geringeren Erwärmung der Asphaltschichten zu sehen ist. Die Spannweiten zwischen der minimalen und maximalen Temperatur eines Tages sind in dem Zeitraum 21.7. bis 20.8.2020 an den Messstationen auf dem Neckartalübergang größer als auf der Weserbrücke.

Temperaturen der Asphaltdeckschicht von über 50 °C oder sogar 60 °C, wie sie in der Literatur (z. B. von Stosch 1968; Meseberg 2011) für die Oberflächentemperatur dokumentiert sind, wurden im Sommer 2020 trotz Tageshöchsttemperaturen der Luft von bis zu 36,1 °C in Obersulm-Willsbach bzw. 34,3 °C in Bremen weder am Neckartalübergang noch auf der Weserbrücke in der Asphaltdeckschicht bzw. an der Oberfläche gemessen. Dennoch zeigt sich ein Unterschied zwischen den Brückenbauwerken im Verlauf der Erwärmung der Asphaltschichten während der wärmsten Tage im Sommer 2020: Das Tagesmaximum der Temperatur der Asphaltdeckschicht liegt auf dem Neckartalübergang etwa zeitgleich bis höchstens eine halbe Stunde nach dem Tagesmaximum der Lufttemperatur und das Tagesminimum tritt bis zu 3 Stunden nach der minimalen Lufttemperatur auf. Auf der Weserbrücke tritt das Tagesmaximum in der Asphaltdeckschicht zeitgleich oder um bis zu 4 Stunden nach der maximalen Lufttemperatur auf, das Tagesminimum ist etwa 1 bis 2 Stunden nach der minimalen Lufttemperatur zu verzeichnen. Somit scheint sich die Asphaltdeckschicht der Weserbrücke sich tendenziell langsamer zu erwärmen, aber auch schneller abzukühlen. Auch die Erwärmung der Schutzschicht wird auf der Weserbrücke stärker verzögert als auf dem Neckartalübergang.

Wird die geringere Erwärmung der Asphaltdeckschicht auf der Weserbrücke ihrer hellen Abstreuung mit Lysit zugeschrieben, ließe sich aus den erfassten und analysierten Daten eine Reduzierung der Erwärmung zwischen 2 und 5 K ableiten. Diese Werte liegen unter oder im unteren Bereich der in

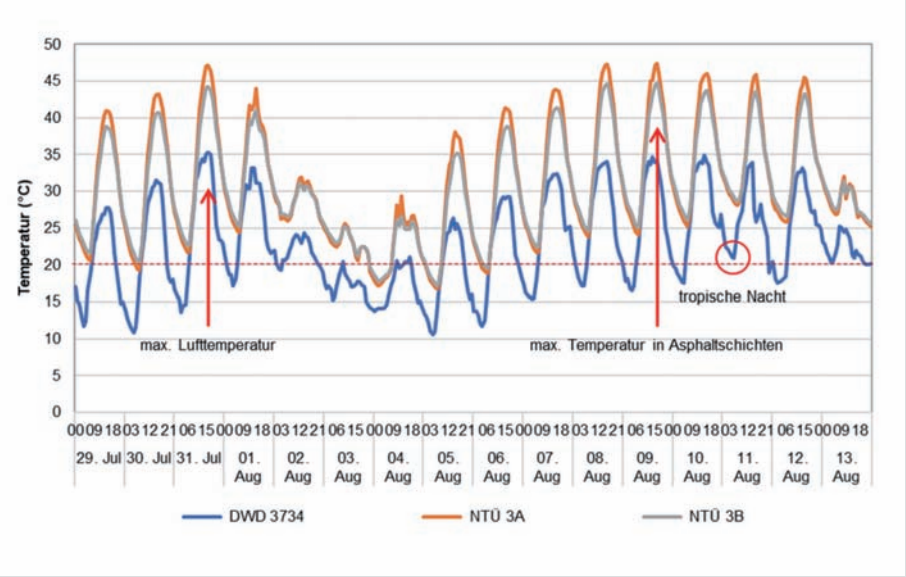

Bild 10: Verlauf der Lufttemperatur an der Messstation Obersulm-Willsbach (DWD 3734; Daten: Deutscher Wetterdienst 2020d) und der Temperatur der Asphaltdeckschicht (NTÜ 3A) und der Schutzschicht (NTÜ 3B) auf dem Neckartalübergang, Messstation 3 im Zeitraum 29.7.2020 bis 13.8.2020

der Literatur genannten Wirkung einer hellen Oberfläche gegenüber einer dunklen Oberfläche, welche aber für geografisch nah beieinander liegende Strecken ermittelt wurden.

Demgegenüber liegt die Weserbrücke ca. 430 km nördlich des Neckartalübergangs. Daher können hier neben der Helligkeit der Oberfläche und der betrachteten Faktoren Sonnenscheindauer und Lufttemperatur weitere Faktoren, wie z. B. der Wind (einschließlich Fahrtwind des Verkehrs), die Bewölkung, Regenschauer etc., aber auch die Zusammensetzung der Asphalte, die Erwärmung der Asphaltdeckschicht im Einzelnen beeinflusst haben. Auch die mit der Schichtdicke bedingte unterschiedlich tiefe Lage der Messsensoren in der Asphaltdeckschicht (ca. 1 cm tiefer auf dem Neckartalübergang als auf der Weserbrücke) lässt einen Einfluss auf das Messergebnis und eine Beeinträchtigung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse vom Neckartalübergang und von der Weser-brücke nicht ausschließen.

Im Winter 2020/2021 wurden an den Messstationen auf dem Neckartalübergang minimale Temperaturen in der Asphaltdeckschicht von –9,4 °C bis –8,2 °C und in der Schutzschicht von –8,8 °C bis –7,7 °C gemessen. Die niedrigste Lufttemperatur an der Wetter-Messstation Obersulm-Willsbach lag hingegen bei –13,4 °C und wurde nicht an dem Tag erfasst, an dem die minimale Temperatur in den Schichten eintrat, sondern 3 Tage zuvor. Gleichwohl lagen diese Tage alle in einem Zeitraum mit Eistagen, wenn die maximale Lufttemperatur nicht über 0 °C steigt.

In Bremen lag im Winter 2020/2021 die minimale Lufttemperatur an der Wetter-Messstation Bremen-Flughafen mit –15,8 °C unter den Werten von Obersulm-Willsbach. So wurden auch auf der Weserbrücke niedrigere Temperaturen gemessen; in der Asphaltdeckschicht lagen die geringsten Temperaturen bei –12,8 °C bis –11,6 °C und in der Schutzschicht bei –12,2 °C bis –10,5 °C. Auch hier kühlten somit die Asphaltschichten, selbst an der Oberfläche des Brückenbelags (minimale Temperatur –12,9 °C und –11,7 °C), nicht auf die minimale Lufttemperatur ab, obgleich ebenfalls eine Periode mit Eistagen bestand.

Die gegenüber der Lufttemperatur höheren minimalen Temperaturen in den Asphaltschichten auf dem Neckartalübergang und der Weserbrücke zeigen sich in den Messdaten über den Winter 2020/2021 insgesamt: Auf dem Neckartalübergang liegen die Tiefsttemperaturen in den Asphaltschichten um etwa mindestens 3,5 K bis gut 5 K (bezüglich der Durchschnittstemperaturen mindestens etwa 1,5 K) höher als für die Luft. Die Abkühlung in den Asphaltschichten erfolgt, wie bereits im Sommer zu beobachten, bezüglich des Minimums langsamer als die Abkühlung der Lufttemperatur. Ferner erwärmt sich die Asphaltdeckschicht bei den Tagesspitzen stärker als die Schutzschicht, wobei die Differenz vermutlich von den de-

Untersuchung		Walzasphalt	Gussasphalt
Verformungsverhalten bei Wärme			
Statischer Stempeleindringversuch[1)]			
- ET und Zunahme bei 40 °C	mm | mm	–	≤ 1,0 | ≤ 0,2
- ET und Zunahme bei 65 °C	mm | mm	–	≤ 2,0 | ≤ 0,2
Dynamischer Stempeleindringversuch			
- ET_{dyn} bei 50 °C	mm | mm	X[2)]	≤ 1,5 [3)]
- ET_{dyn} bei 65 °C	mm | mm	X[2)]	≤ 2,5 [3)]
Einaxialer Druck-Schwellversuch[4)]			
- Dehnungsrate ε_W bei 50 °C	10^{-4} ‰/n	≤ 2,9	–
- Dehnungsrate ε_W bei 65 °C	10^{-4} ‰/n	X	–
Kälteverhalten im Abkühlversuch[5)] Bruchtemperatur T_F	°C	≤ -15,0	≤ -15,0
Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion[6)]		X	X
Ermüdungsfunktion[7)]		X	X
Verdichtungswiderstand/ Verarbeitungsverhalten		X[8)] –	– X[9)]

– keine Untersuchung

X Untersuchung empfohlen mit qualitativer Bewertung der Prüfergebnisse, keine Anforderungswerte

1) nach den TP Asphalt-StB, Teil 20
2) nach den TP Asphalt-StB, Teil 25 A 2
3) nach den TP Asphalt-StB, Teil 25 A 1
4) nach den TP Asphalt-StB, Teil 25 B 1
5) nach den TP Asphalt-StB, Teil 46 A
6) nach den TP Asphalt-StB, Teil 26
7) nach den TP Asphalt-StB, Teil 24
8) nach den TP Asphalt-StB, Teil 10 B
9) beispielsweise nach dem M TA, Anhang 2

Tabelle 2: Empfohlene Untersuchungen am Walz- bzw. Gussasphalt mit zugehörigen Anforderungen

taillierten Wetterbedingungen abhängt.

Auf der Weserbrücke liegen die Tiefsttemperaturen in den Asphaltschichten um 2,5 K bis knapp 5 K über der minimalen Lufttemperatur. Dabei sind Differenzen hinsichtlich der Lage der Messstationen auf der Vorlandbrücke oder der Strombrücke zu beobachten, mit geringeren Schwankungen auf der Vorlandbrücke (die Vorlandbrücke besteht aus einer Spannbetonkonstruktion und der Überbau der Strombrücke aus einer Stahlkonstruktion). Die Abkühlung in den Asphaltschichten erfolgt hinsichtlich der Tiefsttemperaturen zum Teil leicht verzögert zur Abkühlung der Lufttemperatur.

Somit sind insgesamt in den Asphaltschichten um mindestens ca. 3 bis 5 K höhere minimale Temperaturen vorhanden als die gemessene minimale Lufttemperatur, welche im Winter 2020/2021 im Vergleich zu den letzten Wintern relativ niedrig lag, und wurde eine Temperatur von –15 °C in den Asphaltschichten auf den beiden Brücken trotz der relativ tiefen Lufttemperaturen nicht unterschritten. Daher sind zum einen geringere Beanspruchungen der Asphaltschichten bei tiefen Temperaturen durch kryogene Spannungen zu erwarten als die Lufttemperatur vermuten lässt und erscheint zum anderen für den überwiegenden Einsatz auch die Anforderung an eine Bruchtemperatur des Asphalts für den Brückenbelag von $T_F \leq -15$ °C im Abkühlversuch zur Ansprache des Kälteverhaltens als hinreichend (Ausnahmen können gegebenenfalls in besonderen Höhenlagen bestehen).

Ferner zeigt die Auswertung der Messdaten, dass auch im Winter die hell abgestreute Asphaltdeckschicht auf der Weserbrücke weniger zur Erwärmung neigt als die dunklere Asphaltdeckschicht auf dem Neckartalübergang. Der Mittelwert über den Winter 2020/2021 (21.12.2020 bis 20.3.2021) beträgt für die Lufttemperatur in Obersulm-Willsbach 3,6 °C, an der Messstation 3 auf dem Neckartalübergang liegt der Mittelwert in der Asphaltdeckschicht um 2,3 K höher. In Bremen wurde eine mittlere Lufttemperatur von 2,7 °C gemessen, die Temperatur der Asphaltdeckschicht an der Messstation 3 auf der Weserbrücke liegt durchschnittlich um 1,4 K höher. Der Unterschied in der Erwärmung der Asphaltdeckschicht auf den Brücken beträgt demnach ca. 1 K, sodass bei tiefen Temperaturen anscheinend ein geringerer Effekt der Reduzierung der Erwärmung besteht als bei hohen Temperaturen. Allerdings ist im Winter die Intensität der Sonneneinstrahlung geringer und gelten auch hier die zusätzlichen Einflüsse auf die Temperaturmessung (unter anderem Bewölkung, Niederschlag, Tiefenlage der Messsensoren).

Trotz der für den Neckartalübergang erfassten wider Erwarten „geringen“ Asphalttemperaturen von bis zu etwa 47 °C im Sommer 2020 zeigt sich hier eine weitere deutliche Zunahme in der Spurrinnenbildung. Die Hitzeperiode Anfang August, nur vier Wochen nach dem Einbau des Gussasphalts auf der Weserbrücke, hat der neue Brückenbelag auf der Weserbrücke hingegen ohne erkennbare bleibende Verformungen überstanden. Das Gebrauchsverhalten über die weiteren Winter und die nächsten, womöglich wieder heißeren Sommer muss sich in der Praxis zeigen.

Auch auf zwei kleinen Brückenbauwerken im Zuge der BAB A 6, auf denen im Dezember 2019 ausgehend von den Untersuchungen der Verformungen am Neckartalübergang eine Asphaltdeckschicht aus AC 11 D SP mit PmB 10/40-80 VL RC eingebaut wurde, zeigte sich über den Sommer 2020 ein positives Gebrauchsverhalten. Während auf dem nahe gelegenen Neckartalübergang bei diesen Temperaturen eine weitere Spurrinnenbildung eingetreten ist, ließ eine Betrachtung der Asphaltdeckschicht beider Brückenbauwerke im Oktober 2020 und darüber hinaus weder eine Bitumenanreicherung oder Änderung der Textur noch eine Verformung der Asphaltdeckschicht erkennen, obwohl besonders hohe Beanspruchungen bestanden.

7 Empfehlungen zur Vermeidung von Verformungen in Asphaltschichten

Ausgehend von den Erfahrungen und Erkenntnissen der zahlreichen Bitumenuntersuchungen, der Untersuchungen zur Optimierung der Asphalte für die Asphaltdeckschicht und die Schutzschicht, aber auch der Analyse des Versagens zuvor eingebauter Asphalte werden folgende Empfehlungen für **vorläufige Maßnahmen** zur Vermeidung von Verformungen im **Asphalt in Verkehrsflächen mit besonders hohen Beanspruchungen** gegeben:

– Für **Gussasphalt** sollte nur noch das viskositätsveränderte polymermodifizierte Bitumen **PmB 10/30-75 VL** gemäß Tabelle 2 oder gleichwertig verwendet werden.

- Sofern Asphaltdeckschichten und Asphaltbinderschichten als **Kompakte Asphaltbefestigung „heiß auf heiß“** hergestellt werden, kann für die Asphaltdeckschicht das polymermodifizierte Bitumen 25/55-55 A verwendet werden; für die Asphaltbinderschicht ist das Polymermodifizierte Bitumen 10/40-65 A zu verwenden. Splittmastixasphalt für Asphaltbinderschichten sollte bei Kompakten Asphaltbefestigungen nicht verwendet werden.

- In **konventionell eingebauten Walzasphalten** für Asphaltbinder- und Asphaltdeckschichten sollte nur noch das viskositätsveränderte polymermodifizierte Bitumen **PmB 10/40-80 VL** (im vorliegenden Dokument noch als PmB 10/40-80 VL RC bezeichnet) gemäß Tabelle 2 verwendet werden. Dabei wird für Asphaltdeckschichten der **splittreiche Asphaltbeton bei extremen Lastkombinationen** zumindest bei der konventionellen Ausführung gegenüber dem Splittmastixasphalt als wesentlich verformungsbeständiger angesehen.

- Das **rheologische Verhalten** des zur Verwendung kommenden **Bitumens** sollte **im Dynamischen Scherrheometer** nicht nur im frischen, sondern auch im kurzsowie kurz- und langzeitgealterten Zustand untersucht und bewertet werden.

- Der **geeignete Füller für Walz- und Gussasphalte** sollte mittels Untersuchungen am Füller-Bitumen-Gemisch (Mastix) im **Dynamischen Scherrheometer** nicht nur im frischen, sondern auch im kurzsowie kurz- und langzeitgealterten Zustand untersucht und ermittelt werden.

- Für die Zusammensetzung von **Asphaltdeckschichten aus Walzasphalt** sollten möglichst helle Gesteinskörnungen verwendet werden. Steht aufgrund der lokalen Verfügbarkeit keine helle Gesteinskörnung zu Verfügung, sollte bei dunklen Gesteinen in jedem Fall mindestens 35 M.-% natürliches Aufhellungsgestein zugegeben werden.

- Prüfungen zur Bestimmung der **Verformungsbeständigkeit von Walz- und Gussasphalten** sollten ergänzend zu den Standard-Prüftemperaturen auch bei einer Prüftemperatur von 65 °C durchgeführt werden.

- Am **Walzasphalt** und am **Gussasphalt** sollten im Rahmen der Erstellung der Erstprüfungen die in der Tabelle 3 aufgeführten **zusätzlichen Untersuchungen** durchgeführt werden. Dabei sollten für einzelne Untersuchungen auch die dort aufgeführten Anforderungswerte eingehalten werden.

- Bei der Herstellung von **Gussasphalt** sollte zudem im Rahmen der Werkseigenen Produktionskontrolle mindestens einmal täglich und je hergestellter Gussasphaltsorte die **statische Eindringtiefe bei 65 °C** geprüft werden. Die statische Eindringtiefe sollte dabei den Wert 3,0 mm und die Zunahme den Wert 0,2 mm nicht überschreiten.

- Um den **Effekt der hellen Gesteinskörnung** auch bei einer noch neuen Asphaltdeckschicht aus Walzasphalt **möglichst schnell** zu **erzielen**, insbesondere wenn für diese eine besonders hohe Beanspruchung mit eingeengter Verkehrsführung oder Rückstau innerhalb der ersten zwei

Merkmal oder Eigenschaft	Einheit	PmB 10/30-75 VL	PmB 10/40-80 VL	Prüfmethode
Nadelpenetration bei 25 °C	0,1 mm	10 bis 30	10 bis 35	DIN EN 1426
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	≥ 75	≥ 80	DIN EN 1427
Kraftduktilität (Formänderungsarbeit) bei 15 °C	J/cm²	≥ 2	≥ 3	DIN EN 13589 DIN EN 13703
Flammpunkt	°C	≥ 235	≥ 235	DIN EN ISO 2592
Brechpunkt nach Fraas	°C	≤ –5	≤ –5	DIN EN 12593
Elastische Rückstellung bei 25 °C	%	≥ 50	≥ 70	DIN EN 13398
Lagerbeständigkeit (Differenz der Erweichungspunkte)	°C	≤ 5	≤ 5	DIN EN 13399 DIN EN 1427
Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft bei 163 °C				
Massenänderung	%	≤ 0,5	≤ 1,0	DIN EN 12607-1
Verbleibende Nadelpenetration	%	≥ 60	≥ 60	DIN EN 1426
Zunahme des Erweichungspunktes Ring und Kugel	°C	≤ 8	k.A.	DIN EN 1427
Abfall des Erweichungspunktes Ring und Kugel	°C	≤ 2	k.A.	DIN EN 1427
Äquisteifigkeitstemperatur T (G* = 15 kPa) bei 1,59 Hz	°C	k.A.	≤ 8	DIN EN 14770 AL DSR-Prüfung (BTSV)
Elastische Rückstellung bei 25 °C	%	≥ 40	≥ 60	DIN EN 13398
Verformungsverhalten im dynamischen Scherrheometer (DSR)				
Äquisteifigkeitstemperatur T (G* = 15 kPa) bei 1,59 Hz	°C	63 bis 72	63 bis 72	DIN EN 14770 AL DSR-Prüfung (BTSV)
Phasenwinkel δ (G* = 15 kPa) bei 1,59 Hz	°	≤ 65	≤ 65	
Verhalten bei tiefen Temperaturen (BBR)				
Temperatur bei S = 300 MPa	°C	≤ –10	≤ –10	DIN EN 14771 AL BBR-Prüfung

k.A. keine Angabe

Tabelle 3: Anforderungen an PmB 10/30-75 VL und PmB 10/40-80 VL

Jahre (bis zum Abtrag des oberflächlichen Bitumenfilms) nach Verkehrsfreigabe zu erwarten ist, sollte in derart beanspruchten Abschnitten die Oberfläche der Asphaltdeckschicht auf Brückenbauwerken und auf freier Strecke mittels Wasserhochdruckstrahlen bearbeitet werden. Dabei ist der Druck beim Wasserhochdruckstrahlen so einzustellen, dass möglichst nur der Bitumenfilm an der Oberfläche entfernt wird, aber keine wesentliche Entmörtelung der Oberfläche der Asphaltdeckschicht eintritt (Bild 5). Hierdurch ist eine hellere Oberfläche praktisch sofort gegeben, die bei intensiver Sonneneinstrahlung eine geringere Erwärmung der Asphaltschicht gegenüber einer dunklen Oberfläche bei Verwendung von dunklen Gesteinen erwarten lässt.

– Für **Asphaltdeckschichten aus Gussasphalt** sollte als **Abstreumaterial nur natürliches Aufhellungsgestein** verwendet werden. Dabei sollte das Abstreumaterial, sofern nach dem Einbau Hochtemperaturereignisse zu befürchten sind, leicht mit einfärbbarem Bindemittel umhüllt werden (Bild 11). Wenn zeitnah nach dem Einbau keine besonders hohen Beanspruchungen, einhergehend insbesondere mit Hochtemperaturereignissen als Rahmenbedingung, mehr zu befürchten sind, ist normales Straßenbaubitumen zum Umhüllen ausreichend.

Für die Durchführung der performanceorientierten Untersuchungen am Bitumen, am Mastix und am Asphaltmischgut wird vor der ersten Ausführung ein Zeitraum von ca. 3 Monaten benötigt. Dies sollte bei einer Anwendung berücksichtigt werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Auswirkungen des Klimawandels sind auch im deutschen Straßennetz mit vermehrt auftretenden Spurrinnenbildungen in Asphaltbefestigungen auf der Strecke und insbesondere auf Brückenbauwerken deutlich zu erkennen. Die Ursache hierfür liegt nicht nur in der steigenden Anzahl der Sommertage mit immer höheren Maximaltemperaturen sondern auch in einem ständig ansteigenden Aufkommen an Lkw-Verkehr. Bei genauer Betrachtung lässt sich aus den hiervon besonders betroffenen Bereichen ein neuer Lastfall ableiten, der als „besonders hohe Beanspruchungen“ bezeichnet wird.

Die Erfahrungen mit Hochtemperaturereignissen seit dem Sommer 2019 zeigen einmal mehr, dass eine ganzheitliche Betrachtung des Systems Asphalt mehr denn je gefordert ist. Hierzu gehört auch das Hinterfragen der Prüftemperatur für den Nachweis der Verformungsbeständigkeit von Guss- und Walzasphalt. Das Prüfen der statischen Eindringtiefe von Gussasphaltwürfeln bei einer Temperatur von 40 °C, wie seit 1960 (!) im Regelwerk beschrieben, ist an dieser Stelle überhaupt nicht mehr zweckmäßig. Für den Druck-Schwellversuch und die Dynamische Stempeleindringtiefe liegen zwar seit über 15 Jahren Vorschläge für einen Bewertungshintergrund bei der Durchführung der Prüfungen bei 50 °C vor,

die aber aufgrund der zwischenzeitlich geänderten klimatischen und verkehrlichen Randbedingungen zumindest für Asphaltdeckschichten als nicht mehr uneingeschränkt charakteristisch anzusehen sind. Daher sollten diese Versuche künftig mit einer einheitlichen Prüftemperatur von 65 °C durchgeführt werden, um hiermit weitere Erfahrungen zu sammeln, auf deren Grundlage gegebenenfalls neue Grenzwerte für Anforderungen abgeleitet werden können.

Die vorstehenden Ausführungen haben aber auch gezeigt, dass es trotz einer ungünstigen Ausgangslage bei sachgerechtem Vorgehen sehr wohl möglich ist, Konzepte für ausreichend verformungsbeständige Asphaltbefestigungen zu entwickeln und anzuwenden. Zum sachgerechten Vorgehen gehört zunächst das richtige Detektieren der in der jeweiligen Örtlichkeit vorliegenden Rahmenbedingen in Form der baulichen Randbedingungen, der Verkehrsbelastung, der Verkehrssituation und der wetterbedingten Ausprägungen. Nach der Auswahl insbesondere der Art der Asphaltdeckschicht ist für die zu erwartenden Beanspruchungen das geeignete Bitumen zu wählen. Bei der Umsetzung im Bauvertrag sollten zum Nachweis der Eignung des zur Verwendung vorgesehenen Asphaltmischguts neben Performance-Prüfungen am Asphaltmischgut auch Untersuchungen am Bitumen und Bitumen-Füller-Gemisch vorgesehen werden, um nicht nur eine ausreichende Verformungsbeständigkeit, sondern auch ein ausreichendes Temperaturverhalten und Ermüdungsverhalten dauerhaft sicherstellen zu können.

Die konventionelle Ausführung von Asphaltbinderschichten und Asphaltdeckschichten sollte auf Bundesfernstraßen, wo möglich, nur noch im Zusammenhang mit der Ausführung von Asphaltdeckschichten aus Gussasphalt zur Anwendung kommen. In allen anderen Fällen sollten Asphaltbinderschichten und Asphaltdeckschichten, sofern es die Randbedingungen ermöglichen, als Kompakte Asphaltbefestigung „heiß auf heiß“ ausgeführt werden. Gerade hier geht bei der Variante 2 (Einbau mit zwei unmittelbar hintereinander fahrenden Fertigern, auch als „InlinePave“ bezeichnet) die Entwicklung dahingehend weiter, dass es künftig möglich ist, diesen Einbau auch in Breiten größer 8,50 m bis 11,50 m auszuführen (Bild 12). Damit können auch zweistreifige Richtungsfahrbahnen von Bundesautobahnen einschließlich des Seitenstreifens in voller Breite mit einem Einbauzug ausgeführt werden.

Bild 11: Fertiger Hauptfahrstreifen der Weserbrücke nach etwa 3 Wochen unter Verkehr

Bild 12: Einbau einer Kompakten Asphaltbefestigung „heiß auf heiß“ in einer Breite zwischen 9,75 m und 11,50 m

Der neue Lastfall „besonders hohe Beanspruchungen“ und seine damit verbundenen Auswirkungen und die weiteren in diesem Beitrag vorgestellten Vorschläge sollten daher nicht nur bei der Bearbeitung des Technischen Regelwerks im Asphaltbereich unbedingt berücksichtigt werden, damit auch in Zukunft Asphaltbefestigungen mit einem ausreichenden Vorhaltemaß in Bezug auf deren Verformungsbeständigkeit hergestellt werden können, sondern könnten auch jetzt schon bei den hierfür in Frage kommenden Baumaßnahmen Berücksichtigung finden.

Mit den vorgestellten ersten Erkenntnissen ist es möglich, in ersten Schritten den gegenwärtigen Herausforderungen durch den Klimawandel zu begegnen. Wobei einige der hierfür erforderlichen Bausteine bereits vorhanden sind, sie müssen nur entsprechend angewendet werden. Mittels weiterer Forschungen sollten die bisherigen Erkenntnisse weiter untersetzt und gegebenenfalls durch weitere Erkenntnisse und weitere Ideen auf eine noch breitere Basis gestellt werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Nachhaltigkeit der Asphaltbauweise in allen Anwendungsbereichen noch weiter zu stärken.

Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse stammen aus einer projektvorbereitende Studie, die von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in Abstimmung mit dem Bundeministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) beauftragt wurde. Dem Referat Straßenbautechnik und Straßenerhaltung des BMVI sowie dem Referat Asphaltbauweisen der BASt wird an dieser Stelle für die sehr kooperative Zusammenarbeit mit beiden Institutionen ausdrücklich gedankt.

Ohne die Unterstützung des Amts für Straßen und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen, der Autobahn GmbH des Bundes, Niederlassung Nordwest, Außenstelle Verden und der Shell Deutschland GmbH wäre die

Arbeit nicht möglich gewesen. Den Firmen HOCHTIEF infrastructure GmbH und JOHANN BUNTE Bauunternehmung GmbH & Co. KG, zusammengeschlossen in der BAUARGE A6West, wird ebenfalls für die zur Verfügungstellung von aktuellen Projektdaten sehr gedankt.

Ganz persönlich möchte sich der Autor bei der Co-Autorin der Projektstudie, Frau Dr.-Ing. Verena Rosauer bedanken, mit der er über 15 Jahre sehr vertrauensvoll zusammengearbeitet hat und die mit ihrem Teil der Arbeit maßgeblich zum Gelingen der Projektstudie beigetragen hat.

Literaturverzeichnis

BMVI (2019a): Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 05/2019, Anwendung und Ausschreibung von Kompakten Asphaltbefestigungen. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Az. StB 28/7182.8/3-ARS-19/05/3154189, Bonn, 3.5.2019

CTL HART (2020b): Prüfbericht M-20108a-IF/NC vom 08.07.2020. Chemisch Technisches Laboratorium Heinrich Hart GmbH, Neuwied

CTL HART (2021a): Prüfbericht M-20390-VP/NC vom 21.01.2021. Chemisch Technisches Laboratorium Heinrich Hart GmbH, Neuwied

CTL HART (2021b): Prüfbericht M-20430-VP/NC vom 02.02.2021. Chemisch Technisches Laboratorium Heinrich Hart GmbH, Neuwied

Damm, K.-W. (2009): Aufhellung von Asphaltdeckschichten, Einsatz von künstlichen Aufhellungsgesteinen. In: asphalt 7/2009, S. 24–28

Deutscher Wetterdienst (2020b): Was wir heute über das Extremwetter in Deutschland wissen, Stand der Wissenschaft zu extremen Wetterphänomenen im Klimawandel in Deutschland, Stand September 2020. Deutscher Wetterdienst und Extremwetterkongress Hamburg (Hrsg.), https://www.dwd.de/DE/presse/ewk_hamburg/downloads/ewk_papier.pdf?__blob=publicationFile&v=2, 12.10.2020

Deutscher Wetterdienst (2020d): Climate Data Center, Observations Germany, Climate, hourly, air temperature. ftp://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/hourly/air_temperature/, 18.11.2020

DIN EN 14769 (2012): Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter (PAV), Deutsche Fassung DIN EN 14769:2012. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 14770 (2012): Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung des komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels - Dynamisches Scherrheometer (DSR); Deutsche Fassung EN 14770:2012. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 12607-1 (2015): Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 1: RTFOT-Verfahren, Deutsche Fassung DIN EN 12607-1:2014. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin

M KA (2011): Merkblatt für den Bau Kompakter Asphaltbefestigungen, Ausgabe 2011. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 762, FGSV Verlag, Köln

Meseberg, H. (2011): Einfluss der Aufhellung von Fahrbahnoberflächen auf Energieeinsparung, Reduzierung der CO_2-Emissionen, Verringerung des Hitzeinseleffektes und Verkehrssicherheit, Studie G 04/2011, Entwurf vom 23.09.2011. http://luxol.dk/wp-content/uploads/2016/10/studieII_aufhellung.pdf, 22.10.2020

M TA (2011): Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt, Ausgabe 2011. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., FGSV-Nr. 766, FGSV Verlag, Köln

Pohlmann, P. (1996): Helle Asphaltstraßen verbessern deren Verformungsresistenz. In: Bitumen 1/1996, S. 2-7

RDO Asphalt 09 (2009): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht, Ausgabe 2009. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., FGSV-Nr. 498, FGSV Verlag, Köln

Richter, E.; Dietrich, W. (1997): Kompakttasphalt – eine Bauweise der Zukunft. In: Bitumen 3/1997, S. 98-101

RStO 12 (2012): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., FGSV-Nr. 499, FGSV Verlag, Köln

Schäfer, V.; Rosauer, V. (2007): Kompakttasphalt – eine Bauweise etabliert sich, Lösung für hoch belastete Verkehrsflächen. In: asphalt 6/2007, S. 65-71

Schäfer, V.; Rosauer, V. (2021): Spurrinnenbildung in Asphaltbefestigungen unter extremen Klimaeinwirkungen und Beanspruchungskombinationen, Projektvorbereitende Studie, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, unveröffentlicht, Oldenburg (Oldb.)

SHELL (2019): Vergleichende Untersuchung von Bindemitteln. Shell Deutschland Oil GmbH

TL Asphalt-StB 07/13 (2014): Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, Ausgabe 2007/Fassung 2013. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., FGSV-Nr. 797, FGSV Verlag, Köln

TP Asphalt-StB, Teil 20 (2007): Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 20: Eindringtiefe an Gussasphaltwürfeln, Ausgabe 2007. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 756/20, FGSV Verlag, Köln

TP Asphalt-StB, Teil 24 (2018): Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 24: Spaltzug-Schwellversuch – Beständigkeit gegen Ermüdung, Ausgabe 2018. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 756/24, FGSV Verlag, Köln

TP Asphalt-StB, Teil 25 A 1 (2020): Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 25 A 1: Dynamischer Stempeleindringversuch an Gussasphalt bei Wärme, Ausgabe 2020. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 756/25 A 1, FGSV Verlag, Köln

TP Asphalt-StB, Teil 25 A 2 (2020): Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 25 A 2: Dynamischer Stempeleindringversuch an Walzasphalt, Ausgabe 2010. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 756/25 A 2, FGSV Verlag, Köln

TP Asphalt-StB, Teil 25 B 1 (2020): Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 25 B 1: Einaxialer Druck-Schwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme, Ausgabe 2020. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 756/25 B 1, FGSV Verlag, Köln

TP Asphalt-StB, Teil 26 (2018): Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 26: Spaltzug-Schwellversuch – Bestimmung der Steifigkeit, Ausgabe 2018. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 756/26, FGSV Verlag, Köln

TP Asphalt-StB, Teil 46 A (2013): Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 46 A: Kälteeigenschaften, Einaxialer Zugversuch und Abkühlversuch, Ausgabe 2013. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 756/46 A, FGSV Verlag, Köln

Utterodt, R. (2009): Asphalteinbau – Konventionell oder kompakt?. Vortrag Asphaltstraßentagung 2009, 5./6. Mai 2009 in Weimar, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. A 39, FGSV Verlag, Köln

von Stosch, H.-J. (1968): Einfluß des Aufhellungsgrades auf den Verformungswiderstand von bituminösen Deckschichten bei Wärmeeinstrahlung. In: Bitumen 7/1968, S. 197-200

Vondenhof, M. (2020): Bindemittel für Neckartalübergang, A 6, v3 26.1.2020. Shell Deutschland Oil GmbH, Präsentation

Wellner, F. (2020): Materialstudie – PmB, Stand 28.6.2020. TU Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, Präsentation

Wellner, F.; Rochlani, M.; Leischner, S.; Wang, D.; Canon Falla, G. (2019): Abschätzung der performanceorientierten Eigenschaften von Mastix-Gemischen mit dem DSR. In: Straße und Autobahn, 9/2019, S. 751-761. Kirschbaum Verlag, Bonn

ZTV Asphalt-StB 07/13 (2014): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, Ausgabe 2007/Fassung 2013. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., FGSV-Nr. 799, FGSV Verlag, Köln