

## Asphaltoberbau und extreme Temperaturen

FA 7.276

Forschungsstelle: Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Straßenentwurf und Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. H. J. Beckedahl)

Bearbeiter: Beckedahl, H. J. / Schrödter, T. / Koppers, S. / Mansura, D.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Mai 2020

### 1 Ausgangslage und Ziele des Projekts

In Forschungsarbeiten [1–4], die den projizierten Klimawandel bei der Dimensionierung von Straßenbefestigungen berücksichtigen, konnte gezeigt werden, dass die Dauerhaftigkeit von Straßenbefestigungen durch klimatische Veränderungen (zum Beispiel Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen) deutlich beeinflusst wird. Unter anderem konnte anhand von Sensitivitätsanalysen gezeigt werden, dass sich bei den derzeitigen standardisierten Asphaltoberbaukonstruktionen, unter Berücksichtigung des projizierten Klimawandels, die Nutzungsdauer der Asphalttragschichten verkürzt. Darüber hinaus wird durch das häufigere Auftreten hoher Temperaturen der Zuwachs an bleibenden Verformungen teilweise deutlich erhöht beziehungsweise beschleunigt.

Dieses Forschungsprojekt schließt sich inhaltlich früheren Forschungsarbeiten an. Es sollen belastbare Aussagen hinsichtlich der Kompensationsmöglichkeiten durch Materialoptimierungen auf die Auswirkungen des projizierten Klimawandels getroffen werden. Dazu werden im Rahmen dieses Forschungsprojekts bestehende Asphaltarten und -arten hinsichtlich ihrer thermophysikalischen Eigenschaften neu konzipiert. Ebenso findet die Albedo als Maß der Reflexion thermischer Strahlung Berücksichtigung.

Ziel des Forschungsprojekts ist es, durch eine gezielte Materialadaptation die Performanceparameter von Asphalt so zu beeinflussen, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf Nutzungsdauer und Erhaltungsintervalle so gering wie möglich gehalten werden können.

### 2 Untersuchungsmethodik und Ergebnisse

Zur Ableitung zukünftiger Klimarandbedingungen und deren Auswirkungen auf die Temperaturentwicklung in einem Straßenoberbau in Asphaltbauweise sind verschiedene Klimaelemente und klimatologische Ereignisse zu analysieren. Hierzu wurden vom Deutschen Wetterdienst Klimasimulationen durchgeführt und ein Katalog von Klimaindizes für einzelne und konsekutive Tage erstellt, der auf hochauflösenden regionalisierten Daten eines Ensembles regionaler Klimamodelle für Deutschland und den angrenzenden Flusseinzugsgebieten beruht.

Speziell für dieses Forschungsvorhaben wurden unterschiedliche Klimaelemente kombiniert, die nach ersten Einschätzungen zu einer maximalen Erwärmung eines Asphaltpakets führen.

Die Analyse zur Ableitung zukünftiger Klimarandbedingung zeigt, dass es im gesamten BRD-Gebiet für die Emissionsszenarien RCP4.5 und RCP8.5 bereits in naher Zukunft (Zeitscheibe 2031 bis 2060) zu einer deutlichen Erwärmung kommen wird. Die Intensität der Zunahme ist dabei teilweise regional unterschiedlich und nimmt in ferner Zukunft (Zeitscheibe 2071 bis 2100) noch einmal zu.

Extreme klimatische Ereignisse wie die Kombination 1 (Hitzeperiode mit tropischen Nächten) treten häufiger auf, sind allerdings in ihrer Intensität regional sehr unterschiedlich. Häufig sind starke Veränderungen, insbesondere hinsichtlich der Tageshöchsttemperaturen und der Intensität von Perioden in den östlichen Bundesländern, am Ober- und Niederrhein, im Rhein-Main-Gebiet und in Bayern erkennbar. Bei den Veränderungen hinsichtlich der nächtlichen Temperaturveränderungen sind der Norden und die Küstenregion am stärksten betroffen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Performance von Asphalt und die daraus ableitbaren Konsequenzen für den Straßenbau der Zukunft konzentrieren sich hauptsächlich auf extreme Temperaturen (im Sinne von hohen Asphalttemperaturen). Da in Zukunft die Wahrscheinlichkeit des Auftretens sehr tiefer Temperaturen infolge der globalen Erwärmung zwar geringer ausfällt, aber das Auftreten nicht ausgeschlossen werden kann, muss auch die mögliche Vergrößerung der Temperaturspanne zwischen maximal und minimal auftretender Asphalttemperatur in die Betrachtungen mit einbezogen werden.

Um den negativen Folgen der klimatischen Änderungen entgegenzuwirken, können Materialanpassungen hinsichtlich der thermophysikalischen und lichttechnischen Materialeigenschaften zielführend sein, welche bei der Konzeption und Herstellung klimaoptimierter Asphalte umgesetzt wurden. Eine Optimierung der lichttechnischen Materialeigenschaften wurde durch die Verwendung heller Gesteinskörnungen (Quarzit) und von synthetischem Bindemittel mit Pigmenten erzielt. Bezüglich der thermophysikalischen Materialeigenschaften wurden Asphaltmischgüter mit erhöhter (Quarzit und Kalkstein) und verringerter Wärmeleitfähigkeit (EO-Schlacke) für alle Asphalt-schichten konzipiert. Laborprüfungen fanden sowohl an den einzelnen als auch den Kombinationen dieser Schichten statt. Eine Auswahl der konzipierten Asphaltmischgutarten für Asphaltdeckschichten, Asphaltbinderschichten und Asphalttragschichten ist in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1: Mischgutkonzeptionen für Asphaltdeckschichten, Asphaltbinderschichten und Asphalttragschichten**

Asphaltmischgutart	Variante	Gesteinsart	Bindemittel	Sonstiges
AC 8 D	ACD-1	Diabas	PmB	-
	ACD-2	Quarzit	PmB	-
	ACD-3	EOS	PmB	-
	ACD-7	Quarzit	SynB	Pigmente
	ACD-9	EOS	SynB	Pigmente
AC 16 B	ACB-1	Diabas	PmB	
	ACB-2	Kalkstein	PmB	
	ACB-3	EOS	PmB	
AC 22 T	ACT-1	Diabas	StBB	
	ACT-2	Kalkstein	StBB	
	ACT-3	EOS	StBB	

Die lichttechnischen Materialeigenschaften einer Asphaltdeckschicht können unter anderem durch die Verwendung einer hellen Gesteinskörnung innerhalb des Asphalts beziehungsweise als Abstreumaterial an dessen Oberfläche verbessert werden. Weiteres Optimierungspotenzial bietet der Einsatz von synthetischem Bindemittel, welches mit Pigmenten aufgehellt werden kann. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden die Strahlungsreflexionsgrade von sechs Asphaltdeckschichtvarianten messtechnisch ermittelt. Der Strahlungsreflexionsgrad gibt an, wie groß der Anteil der Strahlung im gesamten Sonnenspektrum ist, der vom Asphalt reflektiert wird.

Den niedrigsten (0,042) und den höchsten (0,484) Strahlungsreflexionsgrad weisen die oberflächlich unbehandelten Asphaltdeckschichtvarianten mit PmB und SynB mit Pigmenten auf. Diese Oberflächen entsprechen einer frisch hergestellten Asphaltdeckschicht und weisen einen durchgängigen Bindemittelfilm auf, so wie die Oberflächen der Asphaltprobekörper im Bestrahlungsstand. Die Messergebnisse konnten somit für die Anwendung der Laborergebnisse im Modell verwendet werden. Mit einem Wert von 0,125 schneidet die Asphaltdeckschichtvariante mit Quarzit als Gesteinskörnung und glasbruchgestrahlter Oberfläche bei den Konzeptionen mit PmB am besten ab.

Die thermophysikalischen Eigenschaften eines Stoffes beeinflussen maßgeblich die Wärmeleitung und -speicherung. Sie werden unter anderem durch die Dichte, die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität eines Stoffes beeinflusst. Die messtechnische Bestimmung thermophysikalischer Materialeigenschaften erfolgte mit einem THB-Messgerät an plangeschliffenen Marschallprobekörpern mit einem Durchmesser von 100 mm.

Erwartungsgemäß wurde bei den Varianten mit EO-Schlacke die geringste Wärmeleitfähigkeit (1,23 bis 1,29 W/(m\*K)) ermittelt. Die Deckschichten mit Quarzit als Gesteinskörnung liegen weit aus höher (2,60 bis 3,09 W/(m\*K)) und die Referenzvarianten mit Diabasgestein liegen dazwischen (1,59 bis 1,89 W/(m\*K)). Bei den hohlraumreicheren Schichten waren Messungen nur eingeschränkt (Asphaltbinderschicht) beziehungsweise gar nicht möglich (Asphalttragschicht).

Die praxiserichte thermische Beanspruchung der Asphaltprobekörper fand im Laboratorium in einer für dieses Forschungsprojekt gebauten Versuchsanlage (Bestrahlungsstand) zur Simulation der Globalstrahlung statt. Im Bestrahlungsstand wurden Asphaltaufbauten mit einer Dicke von 24 cm mit Sonnenlichtlampen bestrahlt und durch Temperaturmessungen in verschiedenen Tiefen die Temperaturgradienten aufgezeichnet. Die Asphaltaufbauten wurden aus unterschiedlichen Kombinationen der konzipierten Asphalte zusammengesetzt. Bei der praxiserichten thermischen Beanspruchung wurde vorrangig der Einfluss unterschiedlicher thermophysikalischer Asphalteeigenschaften untersucht. Das Reflexionsvermögen war nur abhängig von der Farbe des Bindemittelfilms an der Oberfläche, da keine glasbruchgestrahlten Oberflächen eingesetzt wurden.

Die größte Temperaturreduzierung im gebundenen Oberbau erzielte die Variante mit einer hellen und wärmeleitenden Asphaltdeckschicht (Quarzit und synthetisches Bindemittel mit Pigmenten) auf einer Asphaltbinder- und Asphalttragschicht mit niedriger Wärmeleitfähigkeit (EO-Schlacke). Auch die weiteren Varianten mit heller Deckschicht und Gesteinskörnung mit höherer Wärmeleitfähigkeit in der Deckschicht führen zu einer deutlich geringeren Erwärmung im gebundenen Oberbau. Die Verwen-

derung von wärmedämmender EO-Schlacke in der Asphaltbinder- und der Asphalttragschicht führt zu den niedrigsten Erwärmungen an der Unterseite der Asphalttragschicht.

Die hinsichtlich ihrer thermophysikalischen Materialeigenschaften optimierten Asphaltvarianten mit dunkler Deckschicht führten nach 27 Stunden zu keiner Reduzierung der Wärme in der ADS. Im unteren Drittel der ATS konnten bei drei Varianten nur geringfügig niedrigere Temperaturdifferenzen im Vergleich zur Referenzvariante gemessen werden. Es muss berücksichtigt werden, dass an den Varianten mit dunkler Deckschicht keine Glasbruchbestrahlung durchgeführt wurde und ihr Strahlungsreflexionsgrad somit dem einer frisch aufgetragenen Asphaltdeckschicht entspricht.

Um die Wirkungsweise der thermophysikalischen und lichttechnischen Asphalteigenschaften zu analysieren, wurde ein vereinfachtes eindimensionales Finite-Elemente-Modell zum Wärmetransfer erstellt. Durch eine Sensitivitätsanalyse am einschichtigen Modell konnten qualitative Aussagen zum Einfluss der Erhöhung beziehungsweise Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit, spezifischen Wärmekapazität und Dichte auf die Temperaturentwicklung aufgezeigt werden.

Das mehrschichtige Modell, welches einem Aufbau der Bk10 gemäß RStO 12 entspricht, wurde zunächst in mehreren Schritten kalibriert und anschließend verwendet, um die Ergebnisse der praxisgerechten thermischen Beanspruchung im Labor zu überprüfen. Hierzu wurden die im Labor verwendeten Asphaltbauten mit den entsprechenden thermophysikalischen und lichttechnischen Materialeigenschaften nachgebildet. In Anlehnung an die gemessenen Globalstrahlungswerte, während der Versuche im Bestrahlungsstand, wurde eine konstante Strahlung von  $600 \text{ W/m}^2$  angesetzt. Die Ausgangs- und Umgebungstemperatur wurde auf  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  und ein Wärmeübergangskoeffizient für Windstille festgelegt.

Der Vergleich der Modellberechnungen mit den Laborergebnissen in einer Tiefe von 20 mm (Mitte Asphaltdeckschicht) zeigt eine höhere Übereinstimmung für die Versuchsreihen mit dunkler ( $\Delta = 5,7 \text{ K}$ ) gegenüber denen mit heller Asphaltdeckschicht ( $\Delta = 15,8 \text{ K}$ ). In einer Tiefe von 220 mm (unteres Drittel Asphalttragschicht) sind die Unterschiede geringer. Die Laborergebnisse werden von den Versuchsreihen mit dunkler Asphaltdeckschicht überschritten ( $\Delta = 5,2 \text{ K}$ ) und von den Versuchsreihen mit heller Asphaltdeckschicht unterschritten ( $\Delta = 4,5 \text{ K}$ ). Ursächlich hierfür sind vermutlich die höhere Umgebungstemperatur trotz Klimatisierung im Labor, eine zu hohe Minderung der Strahlungsmenge durch den Reflexionsgrad im Modell und die getroffenen Annahmen für die thermophysikalischen Materialeigenschaften für die Asphaltbinder- und Asphalttragschicht aufgrund der beschriebenen Probleme.

Zur Prüfung und Beurteilung der Performance der konzipierten Asphalte wurden Asphalt- und Bindemittelprüfungen durchgeführt. Dabei wurden Untersuchungen zum Steifigkeits- und Ermüdungsverhalten mit dem Spaltzugschwellversuch, das Verform-

ungsverhalten bei hohen Temperaturen mit dem Druckschwellversuch und dem Spurbildungsversuch sowie Untersuchungen zum Kälteverhalten mittels Abkühl- und Zugversuch durchgeführt. Die Bindemittel wurden mittels konventioneller Bindemittelprüfungen (PEN, EP RuK, BPFr,  $R_f$ ) und dem BTS-Verfahren analysiert.

Der Widerstand gegen bleibende Verformungen wurde mit zwei unterschiedlichen Versuchsmethoden ermittelt, dem Druckschwellversuch nach DIN EN 12697-25 [5] und dem Spurbildungsversuch nach TP Asphalt-StB, Teil 22 [6]. Der Widerstand gegen bleibende Verformungen wurde in beiden Versuchen unter sonst gleichen Bedingungen durchgeführt. Eine Anpassung der Versuchstemperaturen auf die Temperaturen, die aufgrund der thermophysikalischen und lichttechnischen Materialeigenschaften zu erwarten sind, wurde in den Versuchsanordnungen nicht vorgenommen. Die Aussagen sind daher auch nur relativ. Die Auswirkungen der Temperaturen auf die Entwicklung der bleibenden Verformungen der hier geprüften Asphalte lassen sich nur über theoretisch basierte Prognosemodelle abschätzen, mit denen auch die thermophysikalischen und lichttechnischen Materialeigenschaften abgebildet werden können.

Die Steifigkeit wurde in Abhängigkeit von Frequenz und Temperatur ermittelt. Da üblicherweise bei Dimensionierungsrechnungen und Performance-Prognosen Asphaltsteifigkeiten auf Basis einer Frequenz von 10 Hz verwendet werden, werden auch die zusammenfassenden Bewertungen nachfolgend auf dieser Grundlage durchgeführt.

Die Steifigkeiten reihen sich für die Asphaltdeckschichtvarianten bei hohen Temperaturen von relativ hohen Steifigkeiten für ACD-3 und ACD-1 über mäßig hohe Steifigkeiten für ACD-9 und ACD-2 bis zu den geringsten Steifigkeiten für ACD-7. Bei niedrigen Temperaturen sind ACD-9, ACD-7 und ACD-3 auf hohem Steifigkeitsniveau; ACD-1 und ACD-2 sind auf einem relativ niedrigen Steifigkeitsniveau. Die Steifigkeiten für die Asphaltbinder-schichtvarianten unterscheiden sich weder bei hohen noch bei niedrigen Temperaturen nennenswert. Bei den Asphalttragschichtvarianten sind bei hohen Temperaturen kaum Unterschiede feststellbar. Bei niedrigen Temperaturen liegen die Steifigkeiten für ACT-3 höher als für ACT-1 und ACT-2. Zusammenfassend ist festzustellen, dass nur bei ACD-Varianten signifikante Unterschiede in den temperaturabhängigen Steifigkeiten festzustellen sind.

Aufgrund der Performanceprüfungen zum Widerstand gegen bleibende Verformungen an Asphaltbetondeckschichten, geprüft mit dem Druckschwellversuch und dem Spurbildungsversuch, verhält sich die Variante ACD-9 bei  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  Prüftemperatur am günstigsten, unabhängig von der angewendeten Prüfmethode. In der Rangliste folgen die Varianten ACD-3 und ACD-1 beziehungsweise ACD-1 und ACD-3, bis zu ACD-2 und ACD-7. Aufgrund der ermittelten Steifigkeiten ist das sehr gute Abschneiden auf dem Gebiet der bleibenden Verformungen der Variante ACD-9 nicht zu erwarten gewesen.

Bei der Asphaltbetonbinderschicht reihen sich die Varianten nach günstig zu weniger günstig von ACB-1, ACB-3 bis ACB-2, wobei ACB-2 wegen der geringeren Kriechrate am Versuchsende langfristig gegenüber der Variante ACB-3 als gleichwertig oder sogar als etwas günstiger einzustufen wäre. Auch hier zeigt eine Variante, die ACB-1, ein erheblich günstigeres Verhalten hinsichtlich bleibender Verformungen als die beiden anderen Varianten, obwohl sich die Steifigkeiten bei hohen Temperaturen kaum unterscheiden.

Aufgrund der Performanceprüfungen zum Widerstand gegen Ermüdung schneiden die Varianten ACB-1, ACB-2 und ACB-3 praktisch gleichwertig ab. Die geprüften Varianten ACT-2 und ACT-3 zeigen dagegen einen durchaus signifikanten Unterschied. Die Variante ACT-3 weist in dem Bereich der elastischen Anfangsdehnung von  $\varepsilon_{el,Anf} < 0,1 \text{ ‰}$  einen deutlich höheren Widerstand gegen Ermüdung auf beziehungsweise lässt deutlich höhere Lastwechselzahlen bis zum Bruch zu als die Variante ACT-2. Da die Ermüdungsfestigkeit bei einer Temperatur von 20 °C getestet wird, ist in einer Gesamtkonstruktion die Nutzungsdauer aufgrund von Ermüdung sehr abhängig von den Steifigkeitsgradienten der Konstruktion. Infolge von relativ hohen Temperaturen in der betrachteten Konstruktion verringern sich die Schichtsteifigkeiten; die Zugdehnungen an der Unterseite der betrachteten Asphalttschicht werden bei gleicher Belastung größer. Mit größer werdender Zugdehnung an der Unterseite nimmt jedoch die Nutzungsdauer ab. Somit ist der Widerstand gegen Ermüdung zwar eine Performance-Kenngröße, ist aber nicht hinreichend, um die Nutzungsdauer von Asphaltkonstruktionen zu bestimmen.

Das Verhalten bei tiefen Temperaturen ist eine wichtige Performance-Eigenschaft, insbesondere die Asphaltdeckschichten betreffend. Nach den Prüfverfahren einaxialer Zugversuch und Abkühlversuch nach TPAsphalt StB Teil 46 A [7] schneiden die Asphaltdeckschichtvarianten ACD-7 und ACD-9 am schlechtesten ab. Die Varianten ACD-1, ACD-2 und ACD-3 sind in Bezug auf das Kälteverhalten insgesamt betrachtet als relativ gleich zu bewerten. Es ist hier kurz zu erwähnen, dass sich die Kälteeigenschaften von Asphalt mit abnehmender Bindemittelfilmdicke verschlechtern. Der Bindemittelgehalt ausgedrückt in Vol. % gibt hierzu einen Anhalt, außer es handelt sich um poröses Gestein. Betrachtet man die Bindemittelgehalte der Asphaltdeckschichtvarianten, so weisen die Varianten mit dem synthetischen Bindemittel einmal (ACD-7) den geringsten und einmal den höchsten volumetrischen Bindemittelgehalt auf. Die Variante ACD-1 weist einen geringfügig höheren volumetrischen Bindemittelgehalt auf als ACD-7. Die Varianten ACD-2 und ACD-3 liegen hinsichtlich ihres volumetrischen Bindemittelgehalts etwas niedriger als ACD-9. Sowohl aus den Informationen zu den volumetrischen Bindemittelgehalten als auch zu den Steifigkeiten bei niedrigen Temperaturen lassen sich keine Gesetzmäßigkeiten für das Kälteverhalten ableiten.

Außer den hier untersuchten Materialanpassungen bleiben die bereits heute üblichen Möglichkeiten der Mischgutoptimierung.

In den Veröffentlichungen [8–10] konnte gezeigt werden, dass es die Wahl des Bindemittels allein bereits ermöglicht, die Performance-Eigenschaften Widerstand gegen bleibende Verformungen, Ermüdungswiderstand und Widerstand gegen Abkühlung signifikant bezüglich längerer Nutzungsdauern zu beeinflussen. Diese Untersuchungsergebnisse wurden unter sonst gleich gehaltenen Randbedingungen wie Schichtdicken, Verkehr und Klima im Vergleich zu den Standardlösungen erzielt. Werden nun die oben genannten Ansätze zur Asphaltkonzeption mit der üblichen Mischgutoptimierung unter Einbeziehung zum Beispiel derzeit noch nicht in den TL Asphalt-StB standardmäßig vorgesehenen Bindemitteln, wie zum Beispiel hochpolymermodifiziertes Bitumen (PmB H), kombiniert, kann auf jeden Fall den negativen Folgen extremer Temperaturen auf das Performance-Verhalten von Asphalt erfolgreich entgegengewirkt werden.

Da es nicht zum Aufgabenkatalog dieses Forschungsvorhabens gehörte, weder derartige Asphaltkombinationen durch Mischgutoptimierungen zu testen, noch Performance-Prognosen durchzuführen, sollte ein Folgeforschungsvorhaben aufgelegt werden. Darin sollten die oben vorgestellten Ansätze zur Asphaltkonzeption (Wärmespeicherung, Wärmeableitung und aufgehellte Oberfläche) in Kombination mit Hochleistungsbindemitteln durch die Einbeziehung von Prognosen zu Performance-Entwicklungen einer Optimierung untersucht werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieses Forschungsprojekts könnten in einem weiteren Forschungsprojekt zudem die Auswirkungen der veränderten klimatischen Randbedingungen auf die Nutzungsdauer von Asphaltkonstruktionen untersucht werden. Mithilfe von Dimensionierungsrechnungen wären hier einerseits die Auswirkungen der veränderten Klimarandbedingungen auf die Nutzungsdauer konventioneller Asphaltkonstruktionen und andererseits klimaoptimierter Asphalte zu analysieren. Somit könnten die Fragestellungen hinsichtlich einer möglichen Verkürzung der Nutzungsdauer durch Klimaveränderungen beziehungsweise eine Verlängerung der Nutzungsdauer durch an die Klimaänderungen angepasste Asphaltmischgüter geklärt werden.

Neben den reinen Anpassungen der Asphaltmischgüter an die aus dem Klimawandel verursachten extremen Temperaturen können auch durch verkehrspolitische Entscheidungen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Asphaltperformance verringert werden. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Begrenzung der Achslasten, durch die Vermeidung von Überladungen mithilfe der Fahrzeugtechnik (Smart-Lkw), und die Verteilung der Fahrzeugmasse auf eine größere Fläche (Reduktion der vom Reifen auf die Straßenoberfläche übertragenden Spannung) durch eine Erhöhung der Achszahl pro Fahrzeug oder die Verwendung straßenschonender Reifen, zu nennen. Eine politische Steuerung wäre durch eine darauf ausgerichtete Architektur der Mautgebühren möglich. Derartige Maßnahmen können möglicherweise alternativ oder in Kombination mit der Bautechnik beziehungsweise Optimierung der Baustoff-

komponenten die Auswirkungen von extremen Temperaturen auf die Asphaltperformance reduzieren.

Abschließend ist festzuhalten, dass es sich bei den Lösungssuchen nicht um ein fernes Zukunftsproblem handelt, sondern diese zeitnah umzusetzen sind. Geht man davon aus, dass derzeit Asphalttragschichten mit einer mittleren Nutzungsdauer von 50 Jahren veranschlagt werden, liegen zum Beispiel bei Grunderneuerungen neu gebaute Asphalttragschichten bereits heute in der nahen Zukunft (Zeitscheibe 2031 bis 2060) und sogar darüber hinaus. Es ist also notwendig, zukünftige Temperaturen für heutige Dimensionierungen anzusetzen.