Straße und Autobahn

Sonderdruck

Industrieverband Steine und Erden
Baden-Württemberg e. V.

Industrieverband Steine und Erden
Baden-Württemberg e.V.

Sonderdruck aus Straße und Autobahn 11/2020



KIRSCH BAUM

www.iste.de

Untersuchung des Einflusses der Bruchflächigkeit von groben Gesteinskörnungen auf die Gebrauchseigenschaften von Asphalt

Hinsichtlich der Bruchflächigkeit von groben Gesteinskörnungen werden bei Verwendung in Asphaltbinder sowie Splittmastixasphalt für besondere Beanspruchung in den TL Asphalt-StB 07/13 die Kategorien $C_{100/0}$, $C_{95/1}$ oder $C_{90/1}$ gefordert. Aus der Reihenfolge wird irrtümlicherweise oftmals eine Rangfolge abgeleitet, obwohl die Kategorien hier gleichrangig gelten. Eine Folgeerscheinung besteht in der Benachteiligung oder dem Ausschluss bestimmter Gesteine. Durch die derzeit noch ausschließliche Forderung der Kategorie $C_{100/0}$ für die Gesteinskörnung im Offenporigen Asphalt wird dieser Umstand noch verstärkt. Ein Beispiel für ein Gestein, welches infolgedessen häufig ausgeschlossen wird, ist die Alpine Moräne, welche aufgrund der technischen Grenzen bei der Aufbereitung maximal der Kategorie $C_{95/1}$ entsprechen kann. Aus diesem Grund wurde anhand von Performance-Untersuchungen geprüft, ob Asphalt mit Alpine Moräne Edelsplitt (AME) mit einem begrenzten Anteil teilweise gebrochener oder vollständig gerundeter Körner im direkten Vergleich zu Asphalt mit einem Felsgestein wie beispielsweise Granit ($C_{100/0}$) ungünstigere Gebrauchseigenschaften aufweist. Auf Grundlage der Prüfergebnisse, aber auch im Hinblick auf die langjährigen positiven Erfahrungen in der Praxis, konnte festgestellt werden, dass die betrachteten Asphalte mit entsprechend aufbereiteter Alpiner Moräne im Hinblick auf das Verformungsverhalten, das Tieftemperaturverhalten, die Ermüdungsfestigkeit, die Griffigkeit, den Steifigkeitsmodul und das Ermüdungsverhalten mindestens ein vergleichbares Gebrauchsverhalten aufweisen wie die Asphalte mit gebrochenem Festgestein. Eine Schlechterstellung der Alpinen Moräne ist somit nicht gerechtfertigt.

The categories $C_{100/0}$, $C_{95/1}$ or $C_{90/1}$ for crushed and broken surfaces of coarse aggregates are required by the TL Asphalt-StB 07/13 when they are used in asphalt binders or stone mastic asphalt for special loads. A ranking is often derived from the order, although the categories are of equal rank. A consequence of this is the disadvantage or exclusion of certain aggregates. This circumstance is further reinforced by the requirement of category $C_{100/0}$ for aggregates used in porous asphalt. An example of an aggregate that is often excluded as a result of this is the Alpine moraine, which, due to the technical limitations of processing, can only correspond to category $C_{95/1}$. Therefore, the performance properties of asphalts containing Alpine moraine in direct comparison to asphalts containing granite were determined and analyzed. Based on the test results, as well as in view of the many years of positive experience in practice, it was found that the asphalts with appropriately processed Alpine moraine have at least a comparable performance to asphalts with crushed solid rock $C_{100/0}$ in terms of resistance to deformation, low-temperature behavior, fatigue strength, skid resistance, stiffness modulus and fatigue behavior. A worse position of the Alpine moraine is therefore not justified.

1 Einleitung

Die Anforderungen an die in den verschiedenen Asphaltarten verwendeten Gesteinskörnungen werden aktuell in den TL Asphalt-StB 07/13 [8] bzw. TL Gestein-StB 04/18 [16] definiert und zum Teil von den ausschreibenden Stellen präzisiert. So werden insbesondere bei hoch belasteten Straßen Gesteinskörnungen mit hohen Anforderungen an die Gesteinseigenschaften gefordert und eingesetzt, um das Gebrauchsverhalten zu verbessern und so eine hohe Nutzungsdauer zu gewährleisten.

Für den Anteil der gebrochenen Kornoberfläche werden in den Anforderungstabellen der TL Asphalt-StB für Asphaltbinder und Splittmastixasphalt der Asphaltmischgutsorte S die Kategorien $C_{100/0}$, $C_{95/1}$ und $C9_{0/1}$ aufgelistet. In der Praxis wird aus der genannten Reihenfolge häufig auch eine Rangfolge abgeleitet und demnach sowie aufgrund fehlender regionaler Erfahrung eine höhere Kategorie der Bruchflächigkeit bevorzugt. Dabei wird übersehen, dass die Kategorien in der Tat gleichrangig nebeneinanderstehen. Ferner ist in den maßgebenden Länderregelungen Baden-Württembergs (ETV-StB-BW, Teil 3) festgelegt, dass für Splittmastixasphalt und Asphaltbinder der Asphaltmischgutsorten S bei hochbelasteten Straßen für die Bruchflächigkeit höchstens die Anforderung $C_{95/1}$ zu fordern ist [4].

Je nach lokalen Gegebenheiten bedeutet dies für die Asphaltmischguthersteller und die Rohstofflieferanten eine deutliche Einschränkung der Bezugs- und Verwendungsmöglichkeiten von Gesteinskörnungen oder eine sehr aufwendige Gesteinsproduktion und -aufbereitung, um die Kategorie $C_{95/1}$ zu erzielen. Eine Aufbereitung von Kiesen in die Kategorie $C_{100/0}$ ist technisch nicht möglich, sodass diese Forderung den Ausschluss von aufbereiteten Kiesen bedingt. In der Folge sind zum Teil erhebliche Transportwege erforderlich, welche sich in Steigerungen der Kosten und CO_2-Emissionen widerspiegeln.

Ein Gestein, was insbesondere vor dem Hintergrund der Anforderungen an die Bruchflächigkeit in der Verwendung eingeschränkt wird oder aufwendiger aufbereitet werden muss, ist Alpine Moräne. Dennoch

■ Verfasser

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

Dr.-Ing. Verena Rosauer
mail@rosauer.biz
Rosauer – Gutachten und Beratung zum Straßenbau
Dümptener Straße 4B
45359 Essen



Bild 1: Asphaltdeckschicht aus Splittmastixasphalt mit Alpiner Moräne auf einer hoch belasteten Autobahn mit Nahaufnahme der Oberfläche



Bild 2: Nassaufbereitung der Alpinen Moräne Edelsplitte

ist für aus Alpiner Moräne hergestellte grobe Gesteinskörnungen zur Anwendung in Asphalt mit einer aufwändigen und optimierten Aufbereitung im Hinblick auf den Anteil gebrochener Oberflächen höchstens die Kategorie $C_{95/1}$ zu erzielen; werden höhere Anforderungen ($C_{100/0}$) gestellt, führen diese zum Ausschluss des sogenannten Alpine Moräne Edelsplitts (AME).

Im Hinblick auf Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt (OPA) ist mit der Einführung der TL Asphalt-StB 07, wonach für Offenporigen Asphalt ausschließlich Gestein der Kategorie $C_{100/0}$ zu verwenden ist, die Verwendung von AME seit 2008 ausgeschlossen. Die mit der Verwendung von Gesteinskörnung der Kategorie $C_{100/0}$ erhoffte längere Nutzungsdauer von OPA hat sich in Baden-Württemberg im Vergleich zu OPA mit AME jedoch nicht gezeigt. Auch konnte für OPA mit AME eine dauerhafte Griffigkeit nachgewiesen werden [21].

Aus den genannten Gründen wurde die Auswirkung der Verwendung von einerseits Festgestein, welches nach den TL Gestein-StB ohne Prüfung der Kategorie $C_{100/0}$ entspricht, und andererseits gebrochener Alpiner Moräne auf die Performance-Eigenschaften von Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten als Forschungsauftrag der ISTE untersucht [17]. In diesem Zusammenhang wird ebenfalls die Forderung der Kategorie $C_{100/0}$ für Offenporigen Asphalt im Vergleich zu der technisch maximal umsetzbaren Kategorie $C_{95/1}$ für den Alpine Moräne Edelsplitt betrachtet.

2 Untersuchungsprogramm

2.1 Verwendete Gesteinskörnungen

Der für die Untersuchung verwendete Alpine Moräne Edelsplitt (AME) stammt aus Baden-Württemberg, wo Lagerstätten in Oberschwaben und am Oberrhein liegen. Stellvertretend für beide Provenienzen wurde jeweils ein Lieferwerk aus der Region ausgewählt (Bild 2) und Gesteinskörnung aus dem Oberrhein (AME2) und aus Oberschwaben (AME1 und AME3) verwendet. Der Anteil gebrochener Oberflächen entspricht der Kategorie $C_{95/1}$ (AME1 und AME3) bzw. $C_{90/1}$ (AME2).

Zum Vergleich wurde ein Festgestein ausgewählt, welches bedingt durch die Genese und die Aufbereitung die erhöhten Anforderungen erfüllt, insbesondere im Hinblick auf den Anteil der gebrochenen Kornoberfläche ($C_{100/0}$), die Polierresistenz und gegebenenfalls auch der Kornform. Als Festgestein wurde Granit (G) ausgewählt, welcher ebenfalls in Baden-Württemberg gewonnen wird und im Asphalt Anwendung findet.

2.2 Zusammensetzung der Asphalte

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde der Einfluss des Gesteins auf die Asphalteigenschaften für drei in der Praxis gebräuchliche Asphaltarten – Offenporiger Asphalt PA 8, Splittmastixasphalt SMA 8 S und Asphaltbinder AC 16 B S – mit Laborprüfungen bewertet. In Ergänzung und Erweiterung des ursprünglichen Forschungsauftrags wurden zusätzlich Splittmastixasphalt SMA 11 S und SMA 8 S sowie ein in der Praxis eingebauter Offenporiger Asphalt PA 8, der mit Alpine Moräne Edelsplitt aus einem weiteren Werk in Oberschwaben (AME3) und dem Sonderbindemittel 55/85-70 A6 zusammengesetzt wurde, untersucht. Die zusätzliche Variante des SMA 8 S enthält ebenfalls Alpine Moräne (AME2), aber außerdem 20 M.-% Asphaltgranulat, welches bereits Alpine Moräne enthielt.

Die Varianten einer Asphaltart wurden jeweils so konzipiert, dass die Zusammensetzung des Asphaltmischguts (z. B. Sieblinie, Bindemittelgehalt, Bindemitteleigenschaften) und die volumetrischen Asphaltkennwerte (z. B. Hohlraumgehalt) möglichst gleich sind. Maßgabe bei der Zusammensetzung der Gesteinskörnungsgemische war eine praxisrelevante Zusammensetzung, sodass weitgehend keine Bereinigung im Hinblick auf die Kornform oder vorhandenes Unter- und Überkorn vorgenommen wurde.

Prüfung[1] \ Probe/Variante[2]	SMA 8 S		SMA 11 S			PA 8			AC 16 B S	
	AME2	G	AME2+RA	AME2	G	AME1	G	AME3	AME1	G
Asphalteigenschaften an MPK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Asphalteigenschaften an WSV-Probekörpern[3]						X	X			
Kälteverhalten (Abkühlversuch)[3]	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ermüdungsfestigkeit (ZSV, 5 °C)[3]	X	X	X	X	X				X	X
Widerstand gegen bleibende Verformungen (DSV)[4]	X	X	X	X	X				X	X
Ermüdungsfunktion (SZ-SV)[3]	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Steifigkeit (SZ-SV)[3]	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Griffigkeitsprognose (PWS)[3]	X	X				X	X			
Kornverlust (Cantabro)[4]						X	X	X		
Schalltechnische Eigenschaften[3]						X	X	X		
Verdichtungswiderstand									X	X

1) Belegung jeder Prüfung einfach pro Variante

2) Varianten: (AME1) Alpine Moräne Edelsplitt aus Oberschwaben, (AME2) Alpine Moräne Edelsplitt aus dem Oberrhein, (AME2+RA) AME2 mit Asphaltgranulat und (AME3) Alpine Moräne Edelsplitt aus Oberschwaben, verwendet in einem Bauprojekt, (G) Gesteinskörnung aus Granit

3) Probekörper gebohrt bzw. geschnitten aus mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät hergestellten Asphaltplatten

4) geprüft an mit dem Marshall-Verdichtungsgerät hergestellten Probekörpern

Tabelle 1: Untersuchungsprogramm

Probe/Variante		Hohlraumgehalt (Vol.-%)	Prüfergebnis					
			Bruchspannung σ_F (MPa)			Bruchtemperatur T_F (°C)		
			min	max	Ø	min	max	Ø
SMA 8 S	AME2	1,7	4,559	4,935	4,736	−23,6	−23,4	−23,5
	G	1,5	4,288	4,600	4,478	−22,6	−20,6	−21,7
	AME2 + RA	2,0	3,582	3,831	3,710	−26,9	−24,9	−26,2
SMA 11 S	AME2	1,4	3,789	4,264	4,044	−28,3	−25,6	−26,6
	G	1,1	3,889	4,318	4,147	−29,6	−28,6	−29,1
PA 8	AME1	22,1	1,589	1,625	1,610	−26,8	−26,2	−26,5
	G	23,9	1,054	1,183	1,099	−18,6	−17,1	−17,8
	AME3	21,8	1,40	1,69	1,55	−23,2	−26,7	−24,7
AC 16 B S	AME1	4,6	3,181	3,653	3,583	−20,6	−19,6	−20,2
	G	4,8	3,313	3,527	3,386	−20,1	−18,1	−18,9

Tabelle 2: Hohlraumgehalt, Bruchspannung und Bruchtemperatur der Probekörper beim Abkühlversuch

2.3 Angewandte Prüfverfahren

Die Bestimmung der Asphalteigenschaften erfolgte für alle Asphalte (Proben) und Gesteins-Varianten anhand von Marshall-Probekörpern. Zusätzlich wurden mit Blick auf die in der Praxis bestehende Diskussion bezüglich der praxisgerechten Verdichtung von Probekörpern die Asphalteigenschaften für die Variante AME1 und G des Offenporigen Asphalts anhand von Probekörpern bestimmt, die mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät hergestellt wurden. Die Performance-Eigenschaften des Kälteverhaltens, des Widerstands gegen bleibende Verformung, das Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten sowie die Griffigkeitsprognose wurden für sämtliche Proben mit den gängigen Prüfverfahren ermittelt. Des Weiteren wurden der Kornverlust und die schalltechnischen Eigenschaften für den OPA sowie der Verdichtungswiderstand für den Asphaltbinder untersucht (Tabelle 1).

3 Prüfung des Gebrauchsverhaltens

3.1 Kälteverhalten

Das Kälteverhalten wurde mit dem Abkühlversuch nach den TP Asphalt-StB, Teil 46 A [9] untersucht, die Prüfergebnisse zeigt die Tabelle 2. Während bei dem Splittmastixasphalt SMA 11 S eine höhere Bruchspannung für die Variante mit Granit ermittelt wurde, zeigen sich bei den übrigen Asphalten durch-

Tabelle 3: Hohlraumgehalt, Unterspannung und Bruchlastwechselzahl der Probekörper beim dynamischen Zugschwellversuch

Probe/Variante		Hohlraumgehalt (Vol.-%)	Unterspannung σ_U (MPa)	Prüfergebnis Bruchlastwechselzahl N (–)		
				min	max	Ø
SMA 8 S	AME2	1,6	0,298	127.493	177.760	157.691
	G	1,4	0,375	112.284	130.504	121.500
	AME2 + RA	2,2	0,197	91.078	136.119	115.301
SMA 11 S	AME2	1,5	0,295	85.328	104.435	95.203
	G	0,7	0,239	204.964	268.165	236.515
AC 16 B S	AME1	4,7	0,595	7.630	12.436	9.741
	G	5,0	0,540	13.751	14.291	14.022

Tabelle 4: Hohlraumgehalt, Dehnungsrate und Dehnung der Probekörper beim Druck-Schwellversuch

Probe/Variante		Hohlraumgehalt (Vol.-%)	Prüfergebnis (bei Versuchsende)		
			Dehnungsrate ε_{Ende}^* (10^{-4} ‰/n)	Dehnung ε_{Ende} (‰)	Lastimpulszahl n_{Ende} (–)
SMA 8 S	AME2	2,2	1,2	14,09	10.000
	G	3,0	2,6	15,93	10.000
	AME2 + RA	2,3	2,9	15,18	10.000
SMA 11 S	AME2	2,4	2,4	12,98	10.000
	G	1,8	1,9	13,03	10.000
AC 16 B S	AME1	4,1	1,3	9,47	10.000
	G	6,0	1,2	8,36	10.000

weg eine höhere Bruchspannung für die Variante mit Alpiner Moräne. Dabei ist die Differenz beim Offenporigen Asphalt am größten und die Bruchspannung der Varianten AME1 und AME3 liegt um etwa 50 % über der Bruchspannung der Variante mit Granit. Für den Splittmastixasphalt SMA 8 S und den Asphaltbinder liegt die Bruchspannung der Variante AME2 bzw. AME1 um etwa 6 % höher, für den Splittmastixasphalt SMA 11 S ist die Bruchspannung der Variante mit Granit um knapp 3 % höher.

Einhergehend mit der höheren Bruchspannung ergibt sich für die Proben aus SMA 8 S, PA 8 und AC 16 B S der Varianten mit Alpiner Moräne eine durchschnittlich um 1,3 K bis 8,7 K niedrigere Bruchtemperatur als für die Varianten mit Granit. Im Hinblick auf den Hohlraumgehalt der Probekörper zeigt sich bei den verschiedenen Asphalten tendenziell eine niedrigere Bruchtemperatur an den Varianten mit einem geringeren Hohlraumgehalt.

Aus der Systematik fällt der Splittmastixasphalt SMA 8 S der Variante mit AME2 und Asphaltgranulat heraus. Die Bruchspannung ist hier um etwa 1 MPa niedriger als bei der Variante mit nur AME2. Zugleich liegt aber die Bruchtemperatur mit im Mittel –26,2 °C niedriger, wobei der Hohlraumgehalt der Probekörper durchschnittlich höher ist, als bei den übrigen Varianten des SMA 8 S. Ein wesentlicher Einfluss auf das Ergebnis dürfte hier erfahrungsgemäß nicht in der verwendeten Gesteinskörnung, sondern den Bindemitteleigenschaften des Asphaltgranulats liegen.

3.2 Ermüdungsfestigkeit bei 5 °C

Der dynamische Zugschwellversuch zur Bewertung der Ermüdungsfestigkeit wurde nach den noch im Entwurf befindlichen „TP Asphalt-StB, Teil: Beständigkeit von Asphalt gegen Ermüdung bei mittleren und tiefen Temperaturen“ [14] durchgeführt.

Die Ergebnisse in der Tabelle 3 zeigen tendenziell für die Varianten mit Granit eine höhere Bruchlastwechselzahl und damit eine höhere Ermüdungsfestigkeit als bei den entsprechenden Varianten mit Alpiner Moräne. Eine Ausnahme stellt die Probe aus SMA 8 S dar, für die an der Variante AME2 im Vergleich zu der Probe mit Granit eine höhere Bruchlastwechselzahl ermittelt wurde, aber bei zusätzlicher Verwendung von Asphaltgranulat (AME2+RA) einen geringeren Ermüdungswiderstand aufweist.

Für Splittmastixasphalt wird auf Basis von Erfahrungen in der Praxis heute im Rahmen der erweiterten Erstprüfung im Hinblick auf die Ermüdungsfestigkeit eine Bruchlastwechselzahl > 50.000 vereinzelt in Bauverträgen gefordert. Diese Anforderung erfüllen sowohl alle drei Varianten des Splittmastixasphalts SMA 8 S als auch beide Varianten des Splittmastixasphalts SMA 11 S eindeutig. Für den Asphaltbinder werden derzeit noch Erfahrungen gesammelt und es bestehen momentan keine aus der Praxis oder Forschung bekannten Anforderungen oder Empfehlungen für die Untergrenze der Bruchlastwechselzahl.

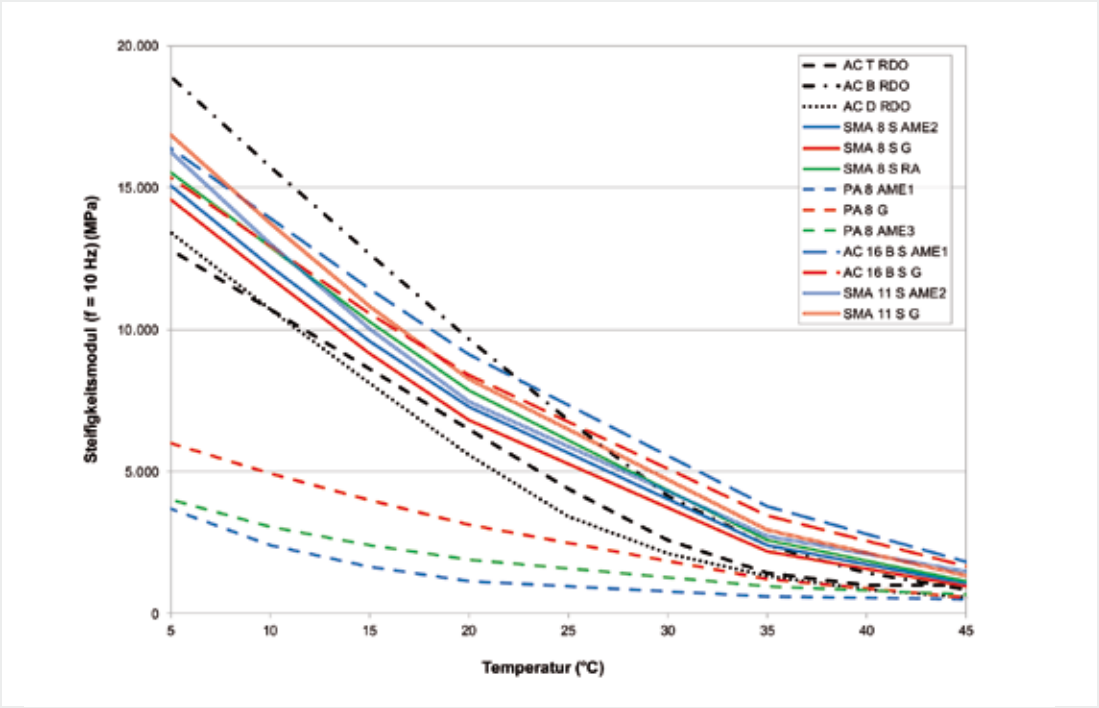


Bild 3: Steifigkeitsmoduln in Abhängigkeit von der Temperatur, Ausschnitt des relevanten Temperaturbereichs

3.3 Widerstand gegen bleibende Verformung

Der Druck-Schwellversuch zur Ermittlung des Widerstands gegen bleibende Verformung bei Wärme wurde nach den TP Asphalt-StB, Teil 25 B 1, Ausgabe 2012 [10] durchgeführt. Seit den TP Asphalt-StB, Teil 25 B 1, Ausgabe 2018, die erst nach den im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Prüfungen veröffentlicht wurden, ist nicht mehr vorgesehen, dass die Probekörper auch mit dem Marshall-Verdichtungsgerät hergestellt werden können. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden die Prüfungen jedoch noch am Marshall-Probekörper durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Prüfungen für alle Probekörper nach 10.000 Lastzyklen beendet wurden, ohne einen Wendepunkt in der Impulskriechkurve aufzuweisen (Tabelle 4).

Die Vergleichspräzision des Prüfverfahrens wurde auf Basis der Erkenntnisse in einem Forschungsprojekt anhand von Marshall-Probekörpern aus SMA 11 S mit 50 % des Zahlenwertes des Ergebnisses der Dehnungsrate geschätzt [10]. Während für den Asphaltbinder und den Splittmastixasphalt SMA 11 S somit kein Unterschied zwischen den Werten der Dehnungsrate der Variante mit Alpiner Moräne oder Granit festzustellen ist, liegen die Differenzen beim Splittmastixasphalt SMA 8 S über bzw. im Bereich der Grenze der Präzision unter Vergleichbedingungen. Für den Splittmastixasphalt SMA 8 S ist der Unterschied zwischen den Prüfergebnissen folglich signifikant und die Variante mit AME2 besitzt mit einer geringeren Dehnungsrate einen höheren Widerstand gegen bleibende Verformung bei Wärme als die Variante mit Granit, aber auch als die Variante mit AME2 und Asphaltgranulat (AME + RA). Der Unterschied zwischen der Dehnungsrate der Variante G und der Variante AME2 + RA ist nicht signifikant.

Die Dehnung bei Versuchsende differiert für die Proben aus SMA 11 S praktisch nicht. Für die Probe aus AC 16 B S ist eine geringfügig höhere Dehnung bei Versuchsende an der Variante mit AME1 vorhanden, obgleich die Differenz der Dehnungsrate nicht signifikant ist. Ein Einfluss des Hohlraumgehalts der verschiedenen Varianten einer Probe auf das Prüfergebnis ist nicht offensichtlich.

Die in der Praxis häufig gestellten bzw. empfohlenen Anforderungen sehen für Splittmastixasphalt zum Einsatz auf hoch belasteten Verkehrsflächen eine Dehnungsrate < 5 bis 5,5 10^{-4} ‰/n vor [22]. Diese Anforderung basiert auf der Prüfung an Marshall-Probekörpern und wird heute meist auch auf Asphaltbinder übertragen. Für Splittmastixasphalt auf hoch belasteten Verkehrsflächen wird aufbauend auf praktischen Erfahrungen inzwischen teilweise eine niedrigere Dehnungsrate von < 2,9 10^{-4} ‰/n gefordert. Die für den Splittmastixasphalt und den Asphaltbinder ermittelten Prüfergebnisse erfüllen die jeweiligen Anforderungen, sodass sowohl die Variante mit Granit als auch weitgehend die Varianten mit Alpiner Moräne als geeignet zu bewerten sind.

3.4 Ermüdungsfunktion und Steifigkeit

Die dimensionierungsrelevanten Materialkennwerte der Asphaltschichten, die ihr Steifigkeits- und Ermüdungsverhalten beschreiben, wurden mit Spaltzug-Schwellversuchen nach der „AL Sp-Asphalt 09“ [11] ermittelt. Im Jahr 2018, nach der Durchführung der Prüfungen im Rahmen dieses Projektes, wurde die AL Sp-Asphalt 09 für die Ermittlung der Ermüdungsfunktion durch die TP Asphalt-StB, Teil 24 [6] und für die Bestimmung der Steifigkeit durch die TP Asphalt-StB, Teil 26 [7] ersetzt. Hierbei wurden die Durchführung der Prüfungen und die Auswertung der Prüfergebnisse präzisiert.

Für die temperaturabhängigen Steifigkeitsmoduln im relevanten Temperaturbereich zeigt sich an den verschiedenen Proben kein einheitliches Bild: Während für den Splittmastixasphalt SMA 8 S und Asphaltbinder höhere Steifigkeitsmoduln an den Varianten mit Alpiner Moräne ermittelt wurden, weist bei dem Splittmastixasphalt SMA 11 S und dem Offenporigen Asphalt jeweils die Variante mit Granit höhere Steifigkeitsmoduln

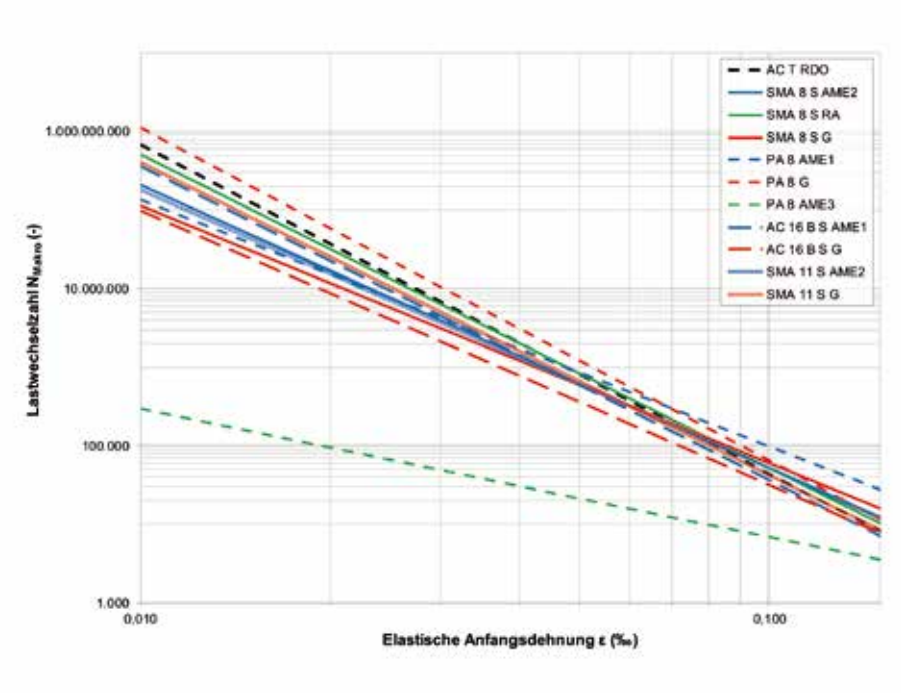


Bild 4: Ermüdungsfunktion mit der ertragbaren Lastwechselzahl in Abhängigkeit von der elastischen Anfangsdehnung, Ausschnitt des relevanten Dehnungsbereichs

Stufe		Beschreibung
0	Anfangszustand	Messung der Griffigkeit des Ausgangszustands mit dem Labor-Griffigkeitsmessgerät (LGM)
1	90.000 Überrollungen	90.000 Überrollungen in der Polierstation unter ständiger Zugabe von Wasser und Schmirgel, anschließende Griffigkeitsmessung im LGM
2	mechanisches Aufrauen	mechanisches Aufrauen der Oberfläche durch behutsames Strahlen mit Korund, anschließende Griffigkeitsmessung im LGM
3	90.000 Überrollungen	90.000 Überrollungen in der Polierstation unter ständiger Zugabe von Wasser und Schmirgel, anschließende Griffigkeitsmessung im LGM
4	Endwert	weitere Griffigkeitsmessungen im LGM bis zum Erreichen eines asymptotischen Grenzwertes; der erreichte Wert ist das Ergebnis der Verkehrssimulation

Tabelle 5: Untersuchungsprogramm für die Griffigkeitsprognose mit dem PWS

auf (Bild 3). Gleichwohl sind die Differenzen mit Ausnahme der Proben aus Offenporigem Asphalt relativ gering.

Die Kurvenverläufe der Proben aus SMA 11 S liegen im gesamten Temperaturbereich oberhalb des Kurvenverlaufs der Steifigkeitsmoduln, die in den RDO Asphalt 09 [12], Tabelle A 6.3 für den Kalibrierasphalt der Asphaltdeckschicht angegeben sind. Im relevanten Temperaturbereich weisen alle Varianten des Splittmastixasphalts SMA 8 S eine höhere Steifigkeit auf als der Kalibrierasphalt der Deckschicht, wobei beide Varianten mit Alpiner Moräne höhere Steifigkeitsmoduln besitzen als die Variante mit Granit.

Beim Offenporigen Asphalt liegt die Variante AME3 mit dem neu entwickelten Polymermodifizierten Bitumen zwischen den Varianten G und AME1. Üblicherweise wirken ein höherer Hohlraumgehalt, eine gröbere Zusammensetzung und ein niedrigeres Bindemittelvolumen, wie sie bei der Variante AME3 gegeben sind, negativ auf die Steifigkeit. Der dennoch günstige und zur Variante AME1 vergleichbare Kurvenverlauf der Steifigkeitsmoduln der Variante AME3 dürfte daher im Wesentlichen den Bindemitteleigenschaften mit einer höheren Viskosität und einer höheren Modifizierung zugeschrieben werden, welche beide die Steifigkeit des Asphalts positiv beeinflussen.

Bei dem Asphaltbinder sind wie beim Splittmastixasphalt SMA 8 S höhere Steifigkeitsmoduln bei der Variante mit Alpiner Moräne festzustellen. Die Differenz nimmt mit sinkender Temperatur zu, ist aber insgesamt relativ gering. Neben den Gesteinseigenschaften kann bei dem Asphaltbinder auch der höhere Hohlraumgehalt der Variante mit Granit nachteilig auf die Steifigkeit gewirkt haben. Im Vergleich zum Kalibrierasphalt besitzen die Proben aus Asphaltbinder im Temperaturbereich unter etwa 20 bis 25 °C eine niedrigere Steifigkeit.

Die meisten Ermüdungsfunktionen der verschiedenen Varianten einer Probe kreuzen sich im relevanten Dehnungsbereich, sodass mit Ausnahme des Asphaltbinders sich keine Variante eindeutig positiver darstellt (Bild 4). So verläuft beim Asphaltbinder AC 16 B S im relevanten Dehnungsbereich die Ermüdungsfunktion der Variante AME1 oberhalb der Variante G und besitzt damit hier ein günstigeres Ermüdungsverhalten. Nur bei höheren elastischen Anfangsdehnungen weist die Variante G des Asphaltbinders eine größere Lastwechselzahl auf als die Variante AME1.

Beim Splittmastixasphalt SMA 8 S zeigt sich zwar ein vergleichbares Ermüdungsverhalten im relevanten Dehnungsbereich mit tendenziell ebenfalls einer höheren Lastwechselzahl der Varianten mit Alpiner Moräne, das heißt sowohl AME2 als auch AME2 und Asphaltgranulat; Letztere weist dabei die höchsten Lastwechselzahlen auf. Im oberen relevanten Dehnungsbereich liegen die Varianten aber auf nahezu einem Niveau und die Ermüdungsfunktionen schneiden sich, sodass die Reihung sich umkehrt und für die Variante G bei hohen elastischen Anfangsdehnungen höhere Lastwechselzahlen bestehen.

Beim Vergleich der Ermüdungsfunktionen des SMA 11 S und des PA 8 verläuft hingegen im relevanten Dehnungsbereich jeweils die Variante mit Granit vorrangig oberhalb der Varianten mit Alpiner Moräne. Dabei

Probe/Variante		Hohlraumgehalt (Vol.-%)	Prüfergebnis Reibwert PWS nach Verkehrssimulation[1] (–)				
			0	1	2	3	4
SMA 8 S	AME2	2,1	0,38	0,40	0,55	**0,37**	0,40
	G	2,0	0,36	0,35	0,58	**0,35**	0,36
SMA 11 S	AME2	2,3	0,29	0,30	0,68	**0,42**	0,45
	G	1,7	0,30	0,32	0,70	**0,40**	0,41
PA 8	AME1	24,6	0,23	0,26	0,53	**0,46**	0,45
	G	23,1	0,21	0,30	0,62	**0,34**	0,33

1) Stufe 0: Anfangszustand; Stufe 1: nach 90.000 Überrollungen; Stufe 2: nach mechanischem Aufrauen; Stufe 3: nach weiteren 90.000 Überrollungen; Stufe 4: Endwert (Tabelle 5)

Tabelle 6: Hohlraumgehalt und Reibwert an den Probekörpern aus Splittmastixasphalt SMA 8 S und Offenporigem Asphalt PA 8 bei der Griffigkeitsprognose mittels Verkehrssimulation mit dem PWS

Probe/Variante		Hohlraumgehalt (Vol.-%)	Prüfergebnis Kornverlust (%)		
			min	max	Ø
PA 8	AME1	20,0	8,5	12,7	10
	G	23,7	42,4	55,3	49
	AME3	21,5	14	16	15

Tabelle 7: Hohlraumgehalt und Kornverlust an den Probekörpern aus Offenporigem Asphalt beim Cantabro-Test

nähern sich die Kurvenverläufe, mit Ausnahme des Offenporigen Asphalts der Variante AME3, im oberen relevanten Dehnungsbereich an und schneiden sich, sodass sich bei höheren elastischen Anfangsdehnungen das Verhältnis umkehrt.

Die Variante AME3 des Offenporigen Asphalts besitzt ein deutlich abweichendes Ermüdungsverhalten mit einer geringeren Lastwechselzahl im relevanten Dehnungsbereich; der Kurvenverlauf schneidet die Ermüdungskurven der Varianten AME1 und G erst außerhalb des relevanten Dehnungsbereichs. Einen Einfluss auf das abweichende und ungünstigere Ermüdungsverhalten der Variante AME3 können unter anderem der höhere Hohlraumgehalt, die gröbere Korngrößenverteilung und der geringere Bindemittelgehalt besitzen.

Während für den Splittmastixasphalt SMA 11 S sowie den Asphaltbinder AC 16 B S der Unterschied im Gebrauchsverhalten mit den Unterschieden im Hohlraumgehalt der Probekörper korrespondiert, ist für den Offenporigen Asphalt PA 8 und den Splittmastix-asphalt SMA 8 S ein gegenteiliges Verhalten zu beobachten. Hier besitzen die Variante G bzw. die Variante mit AME2 und Asphaltgranulat mit dem jeweils höchsten Hohlraumgehalt ein günstigeres Gebrauchsverhalten als die weiteren Varianten mit einem geringeren Hohlraumgehalt, sodass hier anscheinend weitere Einflüsse aus der Zusammensetzung (z. B. Bindemittelgehalt und Korngrößenverteilung) überwiegen.

3.5 Griffigkeitsprognose

Die Griffigkeitsprognose wurde für den SMA 8 S und den PA 8 mit der Verkehrssimulation nach Wehner-Schulze von der Asphalta Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH, Berlin nach der hausinternen Verfahrensanweisung durchgeführt [5].

Bei der Griffigkeitsprognose wird der Probekörper in das Poliergerät nach Wehner/Schulze (PWS) eingebaut und beansprucht. Die Beanspruchung in der Polierstation des PWS durch Überrollungen mit Gummirollen unter Zugabe von Wasser und Schmirgel simuliert die Verkehrsbeanspruchung; klimatische und bautechnische Einflüsse sind unberücksichtigt. Das Untersuchungsprogramm für die Griffigkeitsprognose sieht insgesamt fünf Stufen vor (Tabelle 5). Für die Bewertung des Griffigkeitsverhaltens des Asphalts sind derzeit nur die Beanspruchungsstufen 3 und 4 maßgebend.

Die PWS-Werte innerhalb der Asphaltmischgutsorten SMA 8 S und SMA 11 S unterscheiden sich für die Stufe 3 nur minimal (Tabelle 6) und liegen innerhalb der kritischen Spannweite sowie der Präzision des Verfahrens. Auch für die Stufe 4 kann nicht sicher von einem höheren Griffigkeitswert der Varianten mit AME2 ausgegangen werden, da die Differenzen auf dem Niveau der näherungsweise angegebenen Präzision liegen.

Beim Offenporigen Asphalt hingegen zeigt sich ein deutlich höherer PWS für die Variante AME1 als für die Variante G, sowohl in der Stufe 3 als auch in der Stufe 4. Das unterschiedliche Verhalten der Varianten des Offenporigen Asphalts kann zum einen durch ein tatsächlich unterschiedliches Polierverhalten der im Einzelnen verwendeten Gesteinskörnung begründet sein. Zum anderen kann aber auch ein Einfluss aus dem Hohlraumgehalt oder der unterschiedlichen Textur nicht ausgeschlossen werden.

3.6 Weitere Prüfungen

Neben den bereits aufgeführten Performance-Prüfungen wurden außerdem der Kornverlust sowie die schalltechnischen Eigenschaften des Offenporigen Asphalts und der Verdichtungswiderstand des Asphaltbinders ermittelt. Die Ergebnisse dieser Prüfverfahren werden nur kurz zusammengefasst aufgezeigt.

Die Prüfung des Kornverlustes von Probekörpern aus Offenporigem Asphalt erfolgte nach den TP Asphalt-StB, Teil 17, Ausgabe 2007 [13], noch vor der Veröffentlichung der neuen Ausgabe 2020. Die Prüfergebnisse weisen für beide Varianten AME1 und

Tabelle 8:
Hohlraumgehalt und Schalltechnische Eigenschaften der Probekörper aus Offenporigem Asphalt

Probe/Variante		Hohlraumgehalt (Vol.-%)	Prüfergebnis					
			Spezifischer Strömungswiderstand (Pa s/m)			maximaler Schallabsorptionsgrad (–)		
		Ø	min	max	Ø	min	max	Ø
PA 8	AME1 [1)]	20,3	447	557	502	0,60	0,71	0,66
	G [1)]	25,2	418	436	427	0,69	0,76	0,73
	AME3 [2)]	20,4	583	716	646	0,59	0,71	0,67

1) Prüfung von zwei Proben 2) Prüfung von vier Proben

Tabelle 9:
Verdichtungswiderstand der Asphalte

Probe/Variante		Verdichtungswiderstand (21 Nm)		
		min	max	Ø
AC 16 B S	AME1	39,44	40,66	40,0
	G	33,97	35,77	34,9

AME3 deutlich geringere Kornverluste auf als die Variante mit Granit (Tabelle 7). Neben der tendenziell geringeren Affinität des Granits zum Bindemittel ist eine weitere Erklärung hierfür der höhere Hohlraumgehalt und daraus resultierend die verringerte Kontakt- und Klebefläche zwischen den Gesteinskörnern.

Die schalltechnischen Eigenschaften wurden mit dem im Labor bestimmten Schallabsorptionsgrad bei senkrechtem Schalleinfall (α0) nach der DIN EN ISO 10534-2 [1] und dem Strömungswiderstand bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten nach DIN EN 29053 [3] von der Müller-BBM GmbH, Planegg bestimmt [19]. Die Ergebnisse zeigen eine günstigere Wirkung des Granits in Bezug auf den Schallabsorptionsgrad (Tabelle 8), welches aufgrund des höheren Hohlraumgehalts zu erwarten war. Die lärmreduzierende Wirkung für die Varianten des AME sind nach einer allgemeinen Einstufung [20] als brauchbar und die Variante des Granits als gut einzustufen.

Im Rahmen des Bauprojekts [18], bei dem der Offenporige Asphalt der Variante AME3 Anwendung fand, wurde eine CPX-Messung nach DIN EN ISO 11819-2 [2] vorgenommen. Demnach wurde für die Asphaltdeckschicht aus Offenporigem Asphalt, die einen höheren Hohlraumgehalt besitzt als der Marshall-Probekörper im Labor aufwies, eine hohe lärmreduzierende Wirkung in Höhe von D_{Str0} = -6 bis -8 dB(A) ermittelt.

Der Verdichtungswiderstand des Asphaltbinders wurde nach den TP Asphalt-StB, Teil 10 B [15] ermittelt. Beide Varianten des Asphaltbinders bewegen sich mit einem Verdichtungswiderstand T von im Mittel 40 bzw. 35 (21 Nm) in einem üblichen und geeigneten Bereich des Verdichtungswiderstands, welcher sich in der Praxis mit mindestens 30 (21 Nm) als zweckmäßig bewährt hat (Tabelle 9).

4 Schlussfolgerungen

An den Proben des Splittmastixasphalts SMA 8 S ist tendenziell ein besseres Gebrauchsverhalten für die Variante AME2 als für die Variante mit Granit im Hinblick auf das Kälteverhalten, die Ermüdungsfestigkeit, den Verformungswiderstand bei Wärme und die Griffigkeit nach Polieren festzustellen. Die Variante SMA 8 S mit AME2 und 20 M. % Asphaltgranulat besitzt hingegen eine geringere Ermüdungsfestigkeit und einen geringeren Widerstand gegen Verformung bei Wärme als die Varianten AME2 und G. Die Steifigkeit und die Ermüdungsfunktion der drei Varianten sind ähnlich, wobei beide Varianten mit AME2 im relevanten Temperatur- bzw. Dehnungsbereich jeweils ein günstigeres Verhalten aufweisen als die Variante mit Granit.

An dem Splittmastixasphalt SMA 11 S zeigt sich hingegen für die Variante mit Granit ein tendenziell günstigeres Gebrauchsverhalten. Allein bei der Griffigkeitsprognose mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze ist eine höhere Griffigkeit nach Polieren (PWS) für die Variante mit AME2 zu ermitteln, wobei die Differenz gegenüber der Variante mit Granit wie beim SMA 8 S nur gering ist.

Für den Offenporigen Asphalt PA 8 zeigt sich ein uneinheitliches Bild. So besitzt die Variante AME1 ein günstigeres Gebrauchsverhalten im Hinblick auf das Kälteverhalten, den Kornverlust, die Griffigkeit nach Polieren und das Ermüdungsverhalten, während die Variante mit Granit bessere schalltechnische Eigenschaften und eine höhere Steifigkeit besitzt als die Variante AME1. Allerdings dürften hier unterschiedliche Hohlraumgehalte der Probekörper die Bewertung des Gebrauchsverhaltens zum Teil beeinflusst haben. Beispielsweise kann der höhere Hohlraumgehalt der Probeplatte mit Alpiner Moräne ein schnelleres Abfließen des Wasser-Quarzmehl-Gemisches und auch des zur Griffigkeitsprüfung aufgebrachten Wassers bedingen, welches beides ein höheres Griffigkeitsniveau begünstigen kann. Andersherum steht der um 4,9 Vol.-% deutlich höhere Hohlraumgehalt der Probekörper der Variante mit Granit, an denen die schalltechnischen Eigenschaften ermittelt wurden, ebenso in einem deutlichen Zusammenhang mit einem höheren Schallabsorptionsgrad und einem geringeren Strömungswiderstand.

Der Asphaltbinder AC 16 B S weist für die Variante AME1 ein günstigeres Kälteverhalten, einen höheren Verdichtungswiderstand und tendenziell höhere Steifigkeitsmoduln sowie ein günstigeres Ermüdungsverhalten, besonders bei geringeren elastischen Anfangsdehnungen auf. Demgegenüber ist die Ermüdungsfestigkeit für die Variante mit Granit tendenziell höher.

Zusammenfassend zeigt sich eindeutig, dass die Alpine Moräne der untersuchten Lagerstätten mit einem Anteil gebrochener Kornoberfläche der Kategorie $C_{90/1}$ bzw. $C_{95/1}$ im Hinblick auf das Verformungsverhalten, das Tieftemperaturverhalten, die Ermüdungsfestigkeit, die Griffigkeit, den Steifigkeitsmodul und das Ermüdungsverhalten mindestens ein vergleichbares Gebrauchsverhalten aufweist wie ein gebrochenes Festgestein, hier Granit, der Kategorie $C_{100/0}$. Ferner ist nach den Untersuchungsergebnissen, aber auch Erfahrungen in der Praxis, entsprechend aufbereitete Alpine Moräne ($C_{95/1}$) auch als Gestein im Offenporigen Asphalt geeignet. Somit können Offenporige Asphalte auch mit hinreichender Verfügbarkeit von geeignet aufbereitetem Alpine Moräne Edelsplitt ökonomisch, ökologisch und anforderungsgerecht hergestellt werden.

Ohne den konsequenten Einsatz von Performance-Untersuchungen wäre es nicht möglich gewesen, die Eigenschaften der Alpine Moräne im Asphalt im Vergleich zum gebrochenen Felsgestein auf objektiver Basis anzusprechen. Die Ergebnisse zeigen sehr anschaulich, dass erst die Anwendung von Performance-Untersuchungen es ermöglicht, das tatsächliche Potenzial und die Eigenschaften des Baustoffs Asphalt zutreffend zu beschreiben. Insbesondere die Bestimmung des temperaturabhängigen E-Moduls und der Ermüdungsfunktion geben wertvolle Hinweise und Erkenntnisse im Hinblick auf das zu erwartende Gebrauchsverhalten eines Asphaltmischguts. Aus diesen Untersuchungen lässt sich auch schlussfolgern, dass die Anwendung von Performance-Untersuchungen einschließlich der Anwendung der rechnerischen Dimensionierung künftig zumindest bei hoch beanspruchten Verkehrsflächenbefestigungen das unabdingbare Werkzeug für den Nachweis der Eignung eines zur Anwendung vorgesehenen Asphaltkonzeptes sein sollte.

Die Gleichstellung der Alpinen Moräne mit der Kategorie $C_{95/1}$ und $C_{90/1}$ gegenüber gebrochenem Festgestein ist sowohl auf Basis der Prüfergebnisse als auch im Hinblick auf die langjährigen positiven Erfahrungen in der Praxis auf jedem Fall gerechtfertigt.

Literaturverzeichnis

[1] Akustik - Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren - Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion, DIN EN ISO 10534-2:2001-10, Beuth Verlag, Berlin 2001

[2] Akustik - Messung des Einflusses von Straßenbahnoberflächen auf Verkehrsgeräusche - Teil 2: Nahfeldmessverfahren, DIN EN ISO 11819-2:2017, Beuth Verlag, Berlin 2017

[3] Akustik; Materialien für akustische Anwendungen; Bestimmung des Strömungswiderstandes, DIN EN 29053:1993-05, Beuth Verlag, Berlin 1993

[4] Ergänzungen zu den Technischen Vertragsbedingungen im Straßenbau Baden-Württemberg, Ausgabe 2015, Teil 3 Asphalt (ETV-StB-BW 15, Teil 3), Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, Stand 13.4.2015

[5] Asphalta Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH (2017): Ergänzende Untersuchungen für erweiterte Erstprüfung an SMA 8 S, Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze – Prüfbericht Nr. 1712068, Berlin

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

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

[8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2013): Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen - TL Asphalt-StB 07/13. Ausgabe 2007/Fassung 2013, FGSV Verlag, Köln

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

[10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012): Technische Prüfvorschriften für Asphalt - TP Asphalt-StB: Teil 25 B 1, Einaxialer Druck-Schwellversuch - Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme. Ausgabe 2012, FGSV-Nr. 756/25 B 1, FGSV Verlag, Köln

[11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2009): Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung, FGSV Verlag, Köln

[12] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2009): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht – RDO Asphalt 09. Ausgabe 2009, FGSV Verlag, Köln

[13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2007): Technische Prüfvorschriften für Asphalt – Teil 17 Kornverlust von Probekörpern aus Offenporigem Asphalt. Ausgabe 2007, FGSV Verlag, Köln

[14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2003): Technische Prüfvorschrift – Beständigkeit von Asphalt gegen Ermüdung bei mittleren und tiefen Temperaturen, Entwurf, FGSV Verlag, Köln.

[15] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2003): Technische Prüfvorschriften für Asphalt - Teil 10 B Verdichtungswiderstand mit Hilfe des Marshall-Verdichtungsgerätes Verfahren B: Änderung der Probekörperdicke, FGSV-Nr. 756/10 B, FGSV Verlag, Köln

[16] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau - TP Gestein-StB, FGSV Verlag, Köln

[17] ISTE, Fachgruppe Sand und Kies „Qualitätsbaustoffe aus Alpine Moräne - Gewinnung, Aufbereitung, Qualität, Verwendung“, Schriftenreihe des ISTE, Band 5, Ostfildern 2015

[18] Müller-BBM GmbH, Planegg (2019): Prüfbericht Nr. M150861/01 vom 3.7.2019 – Geräuschmindernde Fahrbahnbeläge Bundesautobahn [...], Nahfeld-(CPX-)Messungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche nach DIN EN ISO 11819-2

[19] Müller-BBM GmbH, Planegg (2018): Durchführung von Labormessungen zur Bestimmung von Schallabsorption und Strömungswiderstand an OPA-Bohrkernen - Prüfbericht Nr. M135454/02

[20] Radenberg, M.; Breddemann, D.: „Optimierung der Zusammensetzung Offenporiger Asphalte zur Verbesserung des Nutzungsverhaltens“, FE 07.0274/2013/FGB, Lehrstuhl für Verkehrswegebau, Ruhr Universität Bochum

[21] Rohleder, M.; Kunz, K.; Wasser, B.; Pullwitt, E.; Müller, I.; Ripke, O.; Zöller, M.; Pöppel-Decker, M.: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA) - Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken, 2010, Heft S 64

[22] Schellenberg, K.; Schellenberg, P.: Die Wärmestandfestigkeit von Asphalt - der Druckschwellversuch seit 25 Jahren in der Bewährung/Resistance of hot mix asphalt to rutting-Cycling compression test proves reliable for 25 years, Straße und Autobahn, 59, 2008, Heft Nr. 9, S. 528–536, Kirschbaum Verlag, Bonn

Baustoffe aus dem Land – für das Land **www.iste.de**



Mineralische Rohstoffe – unverzichtbar für gesunde Verkehrsadern

Ausbau und Erhalt unseres Straßennetzes können dem gefürchteten Verkehrsinfarkt wirksam vorbeugen.
Mineralische Rohstoffe spielen dabei eine tragende Rolle – denn ohne Kies, Schotter und Asphalt gäbe es weder Autobahnen noch Feldwege, ohne Stein und Beton keine Brücken oder Parkhäuser ...
Die Produkte der Steine- und Erdenindustrie – Grundlage unserer Mobilität!

Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg e.V.

Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg e.V.

Bezugsadresse:

Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg e.V. (ISTE)
Gerhard-Koch-Straße 2
73760 Ostfildern
Tel.: + 49 (0)711 32732 - 100
Fax: + 49 (0)711 32732 - 127
verband@iste.de
www.iste.de