

Einfluss der feinen Gesteinskörnungen und des Asphaltmörtels auf die Gebrauchseigenschaften von Asphalt

FA 6.090

Forschungsstelle: Technische Universität Braunschweig,
Institut für Straßenwesen (Prof. Dr. techn.
Dipl.-Ing. M. P. Wistuba)

Bearbeiter: Grönninger, J. / Wistuba, M. P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: April 2014

1 Forschungsziel und Untersuchungsmethodik

Das Ziel dieses Forschungsprojekts war es, die Einflussgrößen auf die Qualität des Asphaltmörtels zu erkennen und zum anderen zu überprüfen, ob es möglich ist, die optimalen Einzelkomponenten nach Art und Menge im Asphaltmörtel prüftechnisch zuverlässig anzusprechen. Ferner war festzustellen, ob ein signifikanter Zusammenhang mit den Asphalteeigenschaften Verformungsverhalten und Resistenz gegenüber Kälteangriff darstellbar ist.

Zur Beschreibung des Gebrauchsverhaltens von Asphalt ist die Kenntnis über das Materialverhalten der Einzelkomponenten (Bitumen und Gestein) sowie das Materialverhalten auf den verschiedenen Wirkungsebenen dieser Einzelkomponenten notwendig.

Im Forschungsprojekt wurden zur Identifikation des Einflusses der feinen Gesteinskörnungen und des Asphaltmörtels auf die Gebrauchseigenschaften von Asphalt Untersuchungen auf drei Betrachtungsebenen durchgeführt:

- Asphaltmastix (Füller-Bitumen-Gemisch),
- Asphaltmörtel (Füller-Bitumen-Sand-Gemisch),
- Asphalt.

Zur laborteknischen Ansprache der Eigenschaften stehen auf jeder Betrachtungsebene geeignete Prüfverfahren zur Verfügung.

Einen Überblick zum Vorgehen in diesem Forschungsprojekt zeigt Bild 1.

Zunächst wurden Füller-Bitumen-Gemische unter Variation der Gesteinsart des Füllers, der Bindemittelart beziehungsweise -sorte und des Mischungsverhältnisses mit dem Ziel analysiert, geeignete Variationen für die nachfolgenden Untersuchungen festzulegen. Kriterien für die Auswahl waren die Ergebnisse aus dem Schüttel-Abriebverfahren, aus der DSR- und BBR-Analytik sowie aus den Zug-Retardationsversuchen.

Nach Auswahl von fünf Sanden auf Grundlage der Ergebnisse an den Einzelkomponenten wurden Asphaltmörtel bei systematischer Variation von Brechsand, Füller und Bitumen hergestellt. Schließlich wurden anhand der Prüfergebnisse jene Asphaltmörtel festgelegt, aus denen Asphaltgemische hergestellt werden.

Insgesamt wurden 20 Asphaltvarianten (zehn Walzasphalt- und zehn Gussasphaltvarianten, siehe Bild 2) so zusammengesetzt, dass die Beschaffenheit der Mörtelphase aus den vorangegan-

genen Versuchen übernommen wurde, sodass ein unmittelbarer Vergleich der Eigenschaften des Asphaltmörtels mit den Eigenschaften des Asphaltmischguts möglich wurde. Die untersuchten Asphalteeigenschaften waren

- die Verformungseigenschaft, bestimmt mittels Druck-Schwellversuch (Walzasphalt) beziehungsweise mittels dynamischem Stempel Eindringversuch (Gussasphalt) und
- die Kälteflexibilität, bestimmt mittels Zug- und Abkühlversuchen.

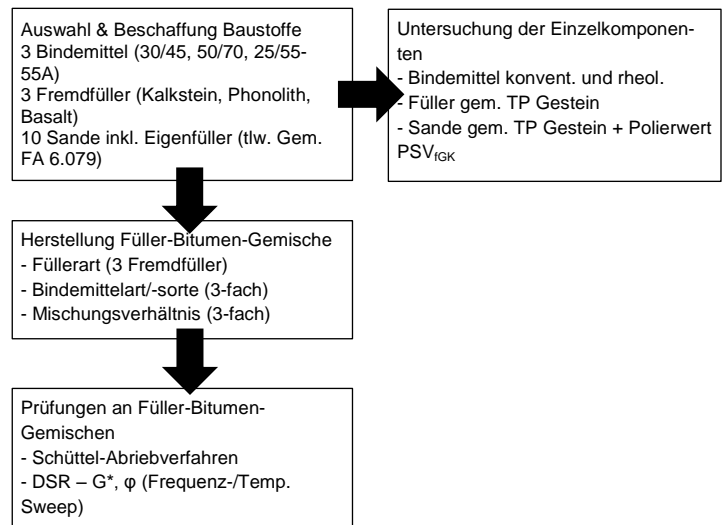


Bild 1: Untersuchungen an Einzelkomponenten und an Füller-Bitumen-Gemischen

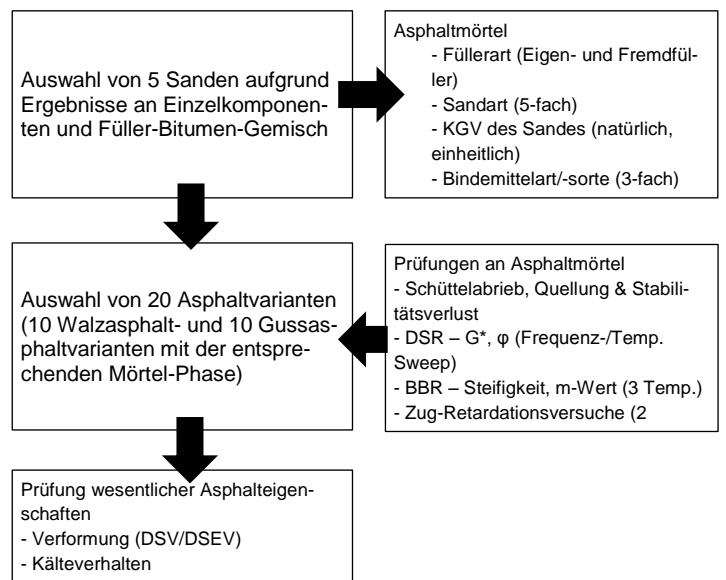


Bild 2: Untersuchungen an Asphaltmörtel und Asphalt

2 Untersuchungsergebnisse

2.1 Füller-Bitumen-Gemische

Insgesamt wurden 27 Füller-Bitumen-Gemische unter Variation

- des Bindemittels (30/45, 50/70, 25/55-55A),
- der Gesteinsart des Füllers (Kalkstein, Phonolith, Basalt) und
- des Mischungsverhältnisses Füller:Bitumen (1:1, 2:1, 3:1)

hergestellt und an diesen

- die rheologischen Eigenschaften unter zyklischer Beanspruchung mittels dynamischem Scherrheometer (DSR),
- die rheologischen Eigenschaften unter Biegebeanspruchung mittels Bending-Beam-Rheometer (BBR),
- die Zug-Viskosität unter statischer Zugbelastung mittels Zug-Retardationsversuch und
- die Wasserempfindlichkeit mittels Schüttelabrieb, Quellung, Stabilitätsverlust

angesprochen.

Bei der Interpretation der Prüfergebnisse stand grundsätzlich nicht die Identifizierung von vorteilhaften beziehungsweise ungünstigen Füller-Bitumen-Gemischen bezüglich einer Merkmalsgröße, sondern die Identifizierung der Qualität der Einflüsse der Füller-Bitumen-Gemische auf die jeweiligen Prüfergebnisse im Vordergrund. So lässt sich eine Aussage treffen, ob mit dem jeweiligen Prüfverfahren der Einfluss der unterschiedlichen Eigenschaften der Füller-Bitumen-Gemische (beispielsweise Gesteinsart des Füllers) differenziert und plausibel angesprochen werden kann.

Die Ergebnisse der DSR- und BBR-Analytik an den Füller-Bitumen-Gemischen lassen folgende Schlüsse zu:

1. Das Füller-Bitumen-Verhältnis ist dominanter Einflussfaktor auf die rheologischen Eigenschaften im Tieftemperaturbereich (BBR bei -10 °C) wie auch im hohen Temperaturbereich (DSR bei $+60\text{ °C}$).
2. Mit steigendem Füller-Bitumen-Verhältnis ergeben sich höhere BBR-Steifigkeiten sowie auch höhere komplexe Schermoduln. Dies gilt unabhängig von der Bitumenart beziehungsweise -sorte und der Gesteinsart des Füllers.
3. Das Füller-Bitumen-Verhältnis beeinflusst den Phasenwinkel ϕ nur gering. Der Phasenwinkel ist damit der einzige Kennwert, der nicht dominant und systematisch im Rahmen der DSR- und BBR-Analytik beeinflusst wird.
4. Ein deutlicher Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften im Tieftemperaturbereich und im hohen Temperaturbereich wird für die Bitumenart beziehungsweise -sorte identifiziert. Es werden analog zur Bitumenviskosität höhere BBR-Steifigkeiten sowie höhere komplexe Schermoduln durch Bitumen 30/45 im

Vergleich zu 50/70 erhalten, Varianten mit 25/55-55A liegen insgesamt auf dem Steifigkeitsniveau von 30/45 (BBR-Steifigkeit), beziehungsweise geringfügig oberhalb des komplexen Schermoduls (DSR-Analytik).

5. Die Gesteinsart des Füllers übt einen mäßigen, jedoch unsystematischen Einfluss auf die Kennwerte aus der DSR- und BBR-Analytik aus. Eine Charakterisierung und füllerdifferenzierende Ansprache mittels DSR- und BBR-Analytik der hier untersuchten Füller-Bitumen-Gemische war nicht möglich.

Zur Ansprache der Zug-Viskosität wurde als neuartiges Verfahren der direkte Zug-Retardationsversuch an einem KD-Probekörper entwickelt. Zum Zweck des Vergleichs und der Validierung dieses Verfahrens wurden mit dem ROVIS-Verfahren erzielte Ergebnisse herangezogen.

Die Ergebnisse der Zug-Retardationsversuche zur Ansprache der Zug-Viskosität von Füller-Bitumen-Gemischen unter statischer Zugbelastung liefern folgende Erkenntnisse:

1. Das Füller-Bitumen-Verhältnis wird für die Prüftemperatur $+5\text{ °C}$ als dominanter Einflussfaktor auf die Zug-Viskosität λ identifiziert. Mit steigendem Füller-Bitumen-Verhältnis ergeben sich insgesamt höhere Zug-Viskositäten. Dies gilt unabhängig von der Bitumenart beziehungsweise -sorte und der Gesteinsart des Füllers.
2. Die Bitumenart beziehungsweise -sorte übt bei einer Prüftemperatur von $+5\text{ °C}$ einen deutlichen, überwiegend systematischen Einfluss auf die Zug-Viskosität aus.
3. Die Erkenntnisse aus Punkt 1 und 2 decken sich mit jenen aus der BBR- und der DSR-Analytik.
4. Das Füller-Bitumen-Verhältnis wirkt sich praktisch nicht auf die Zug-Viskosität bei -5 °C aus. Der Temperatureinfluss überdeckt im tiefen Bereich den Einfluss des Füller-Bitumen-Verhältnisses im Gegensatz zum systematischen Einfluss bei $+5\text{ °C}$.
5. Die Gesteinsart des Füllers übt einen mäßigen Einfluss auf die Zug-Viskosität bei $+5\text{ °C}$ aus.
6. Zwischen den Versuchsergebnissen am KD-Probekörper und am Probekörper des ROVIS-Verfahrens besteht eine lineare Korrelation ($R^2 = 0,75$).

Die Ergebnisse der Prüfsystematik Schüttelabrieb zur Ansprache der Wasserempfindlichkeit der Füller-Bitumen-Gemische lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Gesteinsart des Eigenfüllers wirkt sich dominant und überwiegend systematisch auf die Kenngrößen Druckfestigkeitsabfall und Quellmaß aus.
2. Zwischen Druckfestigkeitsabfall und dem Quellmaß wird eine eindeutige Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,85 festgestellt.
3. Zwischen Schüttelabrieb und Quellmaß wird eine Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,68 festgestellt.

4. Die Prüfsystematik Schüttelabrieb ermöglicht eine die Gesteinsart des Füllers differenzierende Ansprache der Füller-Bitumen-Gemische.
5. Die Bindemittelart beziehungsweise -sorte wirkt sich nur sehr gering und zudem nur teilweise systematisch auf die Kennwerte Schüttelabrieb, Druckfestigkeitsabfall und Quellmaß aus. Eine Charakterisierung und eine bitumendifferenzierende Ansprache mittels Schüttelabrieb-Verfahren der hier untersuchten Füller-Bitumen-Gemische ist nicht möglich.

2.2 Asphaltmörtel

Anhand der qualitativen Bewertung der mineralogischen und technischen Eigenschaften der Brechsande und den zugehörigen Eigenfüller (als Ergebnis der Untersuchungen der Einzelkomponenten und der Füller-Bitumen-Gemische) wurden fünf Sande zur Herstellung von Asphaltmörtelvarianten ausgewählt:

- Andesit2 (unter anderem sehr hohe Wasserempfindlichkeit, hohe versteifende Wirkung, hoher Anteil an schädlichen Feinanteilen, geringe Wasserlöslichkeit),
- Muschelkalk (unter anderem mittlere bis hohe Wasserempfindlichkeit, sehr niedrige versteifende Wirkung, niedriger Anteil an schädlichen Feinanteilen, sehr hohe Wasserlöslichkeit),
- Basalt (unter anderem mittlere Wasserempfindlichkeit, mittlere versteifende Wirkung, mittlerer Anteil an schädlichen Feinanteilen, mittlere Wasserlöslichkeit),
- Grauwacke (unter anderem niedrige Wasserempfindlichkeit, niedrige versteifende Wirkung, sehr geringer Anteil an schädlichen Feinanteilen, hohe Wasserlöslichkeit),
- Diabas (unter anderem niedrige Wasserempfindlichkeit, sehr hohe versteifende Wirkung, geringer Anteil an schädlichen Feinanteilen, sehr geringe Wasserlöslichkeit).

Insgesamt wurden 45 Asphaltmörtelvarianten unter Variation

- des Bindemittels (30/45, 50/70, 25/55-55A),
- der Gesteinsart des Sandes (Andesit2, Muschelkalk, Basalt, Grauwacke, Diabas) und
- des Mischungsverhältnisses Sand:Bitumen (2:1, 4:1, 6:1)

hergestellt und an diesen

- die Wasserempfindlichkeit mittels Schüttelabrieb, Quellung, Stabilitätsverlust,
- die rheologischen Eigenschaften unter zyklischer Beanspruchung mittels Dynamischem Scherrheometer (DSR),
- die rheologischen Eigenschaften unter Biegebeanspruchung mittels Bending-Beam-Rheometer (BBR) und

- die Zug-Viskosität unter statischer Belastung mittels Zug-Retardationsversuch

angesprochen.

Die Ergebnisse der Prüfsystematik Schüttelabrieb zur Ansprache der Wasserempfindlichkeit der Asphaltmörtelvarianten führen zu folgenden Erkenntnissen:

1. Die Gesteinsart des Sandes wirkt sich dominant und überwiegend systematisch auf die Kenngrößen Schüttelabrieb und Druckfestigkeitsabfall sowie deutlich auf das Quellmaß aus. Eine differenzierte sandspezifische Reihung der Asphaltmörtelvarianten bezüglich der Wasserempfindlichkeit ist anhand dieser Kennwerte möglich.
2. Aufgrund der mangelnden Korrelation zwischen den einzelnen Kennwerten der Prüfsystematik Schüttelabrieb, insbesondere zwischen dem Schüttelabrieb und dem Druckfestigkeitsabfall, ergeben sich in Abhängigkeit vom betrachteten Kennwert unterschiedliche Reihungen.
3. Der vollständige Austausch des Eigenfüllers durch Fremdfüller (Kalkstein) im Asphaltmörtel wirkt sich dominant auf den Schüttelabrieb aus. Durch den Austausch werden deutlich geringere (günstige) Schüttelabriebe erreicht.
4. Ein deutlicher und überwiegend systematischer Einfluss der Bindemittelart/-sorte ist nur auf den Schüttelabrieb festzustellen. Niedrig viskose Bitumen führen tendenziell zu höheren Schüttelabrieben, positiv wirken sich höher viskose Bitumen sowie 25/55-55A aus.
5. Die Bindemittelart/-sorte wirkt sich nur sehr gering und nur teilweise systematisch auf die Kennwerte Druckfestigkeitsabfall und Quellmaß aus. Demnach sind eine Charakterisierung und bitumendifferenzierende Ansprache nur anhand des Kennwerts Schüttelabrieb möglich.

Die Ergebnisse der BBR-Analytik an den Asphaltmörtelvarianten lassen folgende Schlüsse zu:

1. Dominanter Einflussfaktor auf die rheologischen Eigenschaften im Tieftemperaturbereich (BBR bei -10 °C) unter Biegebeanspruchung ist die Bitumenart beziehungsweise -sorte.
2. Es werden analog zur Bitumenviskosität höhere BBR-Steiigkeiten durch 30/45 im Vergleich zu 50/70 erhalten, Varianten mit 25/55-55A liegen insgesamt auf dem Steifigkeitsniveau von 30/45.
3. Das Sand-Bitumen-Verhältnis beeinflusst deutlich und überwiegend systematisch die BBR-Steiigkeit. Die Steigerung des Sandanteils von 2:1 auf 4:1 führt zu einem (nicht linearen) BBR-Steiigkeitsanstieg. Dies gilt unabhängig von der Bitumenart beziehungsweise -sorte und der Gesteinsart des Füllers. Eine weitere Steigerung des Sandanteils auf 6:1 führt zu einer Verringerung der Steiigkeit aufgrund von zunehmenden Inhomogenitäten in den BBR-Prüfbalken.

4. Die Gesteinsart des Sandes übt einen mäßigen Einfluss auf die Kennwerte der BBR-Analytik aus. Eine die Gesteinsart der Sande differenzierende Ansprache der hier untersuchten Asphaltmörtelvarianten ist möglich.
5. Die Ergebnisse der BBR-Analytik an Asphaltmörtel bestätigen die Erkenntnisse aus den Untersuchungen an den Füller-Bitumen-Gemischen in Bezug auf den geringen und unsystematischen Einfluss der Gesteinsart des Sandes auf die BBR-Steifigkeiten bei -10 °C.

Die Ergebnisse der Zug-Retardationsversuche zur Ansprache der Zug-Viskosität der Asphaltmörtelvarianten unter statischer Belastung liefern folgende Erkenntnisse:

1. Die Bitumenart beziehungsweise -sorte wird als dominanter Einflussfaktor auf die Zug-Viskosität λ identifiziert. Durch niedrigviskoses Bitumen 50/70 werden geringere Zug-Viskositäten bei +5 °C und -5 °C im Vergleich zu 30/45 und 25/55-55A erreicht. Dies gilt unabhängig von der Gesteinsart des Sandes und des Sand-Bitumen-Verhältnisses. Dies deckt sich weitestgehend mit den Erkenntnissen auf der Füller-Bitumen-Ebene.
2. Das Sand-Bitumen-Verhältnis wirkt sich deutlich und systematisch auf die Zug-Viskosität bei +5 °C aus, jedoch nicht systematisch auf die Zug-Viskosität bei -5 °C. Der Temperatureinfluss überdeckt im tiefen Bereich den Einfluss des Füller-Bitumen-Verhältnisses. Dies deckt sich weitestgehend mit den Erkenntnissen auf der Füller-Bitumen-Ebene.
3. Der vollständige Austausch von Eigenfüller durch Fremdfüller (Kalkstein) in Asphaltmörtel wirkt sich dominant auf die Zug-Viskosität bei +5 °C und bei -5 °C aus und resultiert in höheren Zug-Viskositäten. Dies ist vor den entsprechenden Ergebnissen auf Füller-Bitumen-Ebene plausibel, da hier ein dominanter Einfluss des Füller-Bitumen-Verhältnisses auf die Zug-Viskosität festgestellt wird.
4. Die Verwendung einer einheitlichen Korngrößenverteilung (KGV) im Vergleich zur natürlichen KGV der Sande wirkt sich deutlich und systematisch für beide Prüftemperaturen in steigenden Zug-Viskositäten aus. Der höchste Viskositätsanstieg wird an Asphaltmörtel mit Muschelkalk festgestellt, dessen natürliche KGV einen relativ geringen Fülleranteil aufweist und es durch die einheitliche KGV zu einer entsprechend großen Erhöhung des Fülleranteils kommt.
5. Die Gesteinsart des Sandes wirkt sich mäßig auf die Zug-Viskosität bei +5 °C und -5 °C aus. Dies deckt sich weitestgehend mit den Erkenntnissen auf der Füller-Bitumen-Ebene.

2.3 Asphalt

Die Ergebnisse an den Walzasphaltvarianten (SMA 11 S) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Bitumenart bestimmt deutlich und systematisch das Kälteverhalten der SMA-Varianten. Insgesamt wirkt sich Bitumen 25/55-55A im Vergleich zu 50/70 positiv auf sämtliche Kennwerte des Kälteverhaltens aus (höhere Bruchspannung, niedrigere Bruchtemperatur, höhere Zugfestigkeitsreserve, niedrigere Temperatur an der Zugfestigkeitsreserve).
2. Die Gesteinsart des Sandes wirkt sich nur gering auf das Kälteverhalten aus. Es werden daher keine vorteilhaften oder nachteiligen Asphaltmörtel in Bezug auf die Bruchtemperatur identifiziert.
3. Das Kälteverhalten der untersuchten SMA-Varianten wird maßgeblich von der Bitumenart und nicht von der Gesteinsart des Sandes im Asphaltmörtel bestimmt.
4. Der dominante Einfluss der Bitumenart gegenüber der Gesteinsart des Sandes wird ebenfalls für das Verformungsverhalten festgestellt. Die Verwendung von 25/55-55A führt im Vergleich zu 50/70 zu einem günstigeren Verformungsverhalten (höhere Anzahl an Lastimpulsen und niedrigere Dehnungsrate im Wendepunkt der Impulskriechkurve).

Aus den Ergebnissen an den Gussasphaltvarianten (MA 11 S) lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Gesteinsart des Sandes wird als dominanter Einflussfaktor auf das Kälteverhalten der MA-Varianten identifiziert.
2. Die Bitumenart übt einen deutlichen Einfluss auf das Kälteverhalten aus, wird jedoch vom Einfluss der Gesteinsart des Sandes im Asphaltmörtel klar überlagert. Dies ist insofern plausibel, da der Anteil der Asphaltmörtelphase in den MA-Varianten deutlich größer ist als in den SMA-Varianten, an denen der Einfluss der Bitumenart dominiert.
3. Der dominante Einfluss der Gesteinsart des Sandes auf das Kälteverhalten bei den MA-Varianten bestätigt die Erkenntnis aus den Zug-Retardationsversuchen auf Füller-Bitumen-Ebene und Asphaltmörtel-Ebene. Nicht die Gesteinsart des Sandes, sondern die jeweiligen Anteile an Füller und Sand sind entscheidend für die Zug-Viskosität. Der höhere Anteil der Asphaltmörtelphase der MA-Varianten korrespondiert mit den höheren Füller-Bitumen-Verhältnissen und Sand-Bitumen-Verhältnissen.
4. Der dominante Einfluss der Gesteinsart des Sandes gegenüber der Bitumenart bestätigt sich für die untersuchten MA-Varianten ebenfalls für das Verformungsverhalten.

3 Schlussfolgerungen

Werden die Ergebnisse aller Untersuchungen auf der Füller-Bitumen-, Asphaltmörtel- und Asphalt-Ebene betrachtet, lassen sich folgende Erkenntnisse festhalten:

Mit den im Rahmen des Projekts angewandten Prüfmethode wurde der Einfluss der feinen Gesteinskörnungen und des Asphaltmörtels auf die Gebrauchseigenschaften von Asphalt

nachgewiesen. Der Nachweis erfolgte anhand der Variationen Bitumenart, Füller- beziehungsweise Sandart, Bitumen-Füller-Sand-Verhältnis und Asphaltart beziehungsweise -sorte.

Ein Einfluss der Gesteinsart des Eigenfüllers beziehungsweise des Sandes auf die Eigenschaften der Füller-Bitumen-Gemische beziehungsweise des Asphaltmörtels lässt sich prüftechnisch lediglich mit dem Schüttel-Abriebverfahren systematisch identifizieren. Es werden durch die Gesteinsart der Füller und Sande bedingte Unterschiede in der Wasserempfindlichkeit (Schüttelabrieb, Quellung, Stabilitätsverlust) festgestellt.

Die Gesteinsart des Eigenfüllers beziehungsweise des Sandes übt sowohl auf der Füller-Bitumen-Ebene wie auch auf der Asphaltmörtel-Ebene einen mäßigen Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften (BBR im Tieftemperaturbereich, DSR im Hochtemperaturbereich) und auf die Zug-Viskosität aus.

Auf der Füller-Bitumen-Ebene dominiert insgesamt betrachtet das Füller-Bitumen-Verhältnis sämtliche prüftechnisch angesprochenen Eigenschaften. Dies betrifft die rheologischen Eigenschaften (BBR im Tieftemperaturbereich, DSR im Hochtemperaturbereich) wie auch die Zug-Viskosität bei +5 °C. Der Einfluss der Temperatur überlagert bei der Bestimmung der Zug-Viskosität bei -5 °C alle weiteren Einflüsse.

Auf der Asphaltmörtel-Ebene dominiert insgesamt betrachtet die Bitumenart beziehungsweise -sorte sämtliche prüftechnisch angesprochenen Eigenschaften. Dies betrifft die rheologischen Eigenschaften (BBR im Tieftemperaturbereich, DSR im Hochtemperaturbereich) wie auch die Zug-Viskosität bei +5 °C. Der Einfluss der Temperatur überlagert bei der Bestimmung der Zug-Viskosität bei -5 °C alle weiteren Einflüsse.

Die Einflussgrößen auf die Qualität des Asphaltmörtels wurden erkannt. Demnach beeinflussen vorrangig das Bitumen-Füller-Sand-Verhältnis und die Bitumenart beziehungsweise -sorte die Mörtel Eigenschaften. Trotzdem ist eine prüftechnische Identifikation von optimalen Zusammensetzungen der Asphaltmörtel bezüglich Art und Menge der Einzelkomponenten mit den verwendeten Methoden nicht möglich. Für die SMA- und MA-Varianten wird ein Zusammenhang zwischen der Bitumenart beziehungsweise -sorte im Asphaltmörtel bezüglich der Resistenz gegenüber Kälteangriff des Asphalts sowie für die MA-Varianten zwischen der Gesteinsart und dem Verformungsverhalten festgestellt.