

Vergleich der Gebrauchseigenschaften von Asphalten mit Polymermodifiziertem Bindemittel und Gummimodifizierten Bindemitteln mit unterschiedlichen Gummianteilen

FA 7.268

Forschungsstelle: Hansa-Nord-Labor Ingenieur- und Prüfungsgesellschaft mbH, Pinneberg

Bearbeiter: Hase, M. / Beyersdorf, W. / Hase, A. / Rademacher, K. / Schindler, K.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Oktober 2017

1 Aufgabenstellung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, eine mögliche Gleichwertigkeit der Gebrauchseigenschaften von Asphalten unter Verwendung gummimodifizierter Bindemittel und polymermodifizierter Bindemittel nachzuweisen.

Dafür wurden vergleichende Untersuchungen an Asphalten mit gummimodifizierten Bindemitteln und mit polymermodifiziertem Bindemittel zur Ansprache des Kälteverhaltens, des Steifigkeitsverhaltens, des Ermüdungsverhaltens und des Verformungsverhaltens bei Wärme sowie zur Ermittlung des Korn- und Substanzverlusts und zum Griffigkeitsverhalten durchgeführt.

2 Untersuchungsmethodik

Im Laboratorium wurden Asphalte der Sorten SMA 8 S, AC 16 B S und PA 8 jeweils mit vier gummimodifizierten Bindemitteln und einem polymermodifizierten Bindemittel hergestellt. Als polymermodifiziertes Bindemittel wurde beim SMA 8 S und AC 16 B S Bindemittel der Sorte 25/55-55 A und beim PA 8 Bindemittel der Sorte 40/100-65 A verwendet. Als gummimodifizierte Bindemittel wurden jeweils zwei im Nassverfahren (im Großmaßstab) hergestellte Fertigprodukte (GmB) und zwei im Laboratorium "im Trockenverfahren" gemischte gummimodifizierte Bindemittel (GmBT) eingesetzt, wobei bei den SMA 8 S und AC 16 B S gummimodifizierte Bindemittel der Sorte GmB(T) 25/55-55 (jeweils Hersteller V1 und V2) und bei den PA 8 S gummimodifizierte Bindemittel der Sorte GmB(T) 25/55-65 (jeweils Hersteller V1 und V2) verwendet wurden.

An den für die Labormischungen eingesetzten Bindemitteln wurden konventionelle Bindemittelkenndaten ermittelt sowie das Verhalten bei tiefen Temperaturen im Biegebalkenrheometer (BBR) und das Verformungsverhalten im dynamischen Scherrheometer (DSR) bestimmt. Neben der DSR-Prüfung (Temperatursweep) wurden MSCR-Prüfungen (Multiple Stress Creep and Recovery Test) durchgeführt.

Weiterhin wurden durch den Auftraggeber überreichte Rückstellproben untersucht. Dabei handelte es sich um sieben Proben der Asphaltmischgutsorte SMA 8 S (sechs Varianten mit GmB(T) (GmB-1 bis GmB-6) und eine Variante mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A) sowie zwei Rückstellproben der Sorte AC 11 D S (eine Variante mit GmB(T) (GmB-7) und eine Variante mit polymermodifiziertem Bindemittel 40/80-55).

Im Hinblick auf eine Bewertung der einzelnen Asphalteeigenschaften beziehungsweise ermittelten Kenngrößen wurden mathematisch-statistische Verfahren (einfache Varianzanalysen mit

nachgeschaltetem LSD-Test beziehungsweise einfache Mittelwertvergleiche) angewandt.

Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen am Asphalt zusammengefasst:

Zur Ansprache des Kälteverhaltens wurden Einaxiale Zug- und Abkühlversuche durchgeführt.

Aus der mathematisch-statistischen Auswertung ergibt sich, dass sich die Werte für die Bruchtemperatur beim SMA 8 S sowie AC 16 B S mit GmBT 25/55-55 V1 jeweils signifikant von den anderen untersuchten Varianten unterscheiden und auch jeweils allein einer anderen homogenen Gruppe angehören. Für die SMA 8 S- und AC 16 B S-Variante mit GmBT 25/55-55 V1 werden jeweils die geringsten Werte für die Bruchtemperatur ermittelt. Eine Erklärung hierfür könnte unter anderem das bei der Labormischung GmBT 25/55-55 V1 verwendete weichere Grundbitumen der Sorte 70/100 sein.

Beim PA 8 ist für die Variante mit GmBT 25/55-65 V1 ein signifikant geringerer Wert für die Bruchtemperatur gegenüber den anderen vier Varianten zu konstatieren und eine Zuordnung in eine getrennte homogene Gruppe vorzunehmen.

Für die Werte der Bruchspannungen konnten bei keiner der hier betrachteten Asphaltarten (SMA 8 S, AC 16 B S, PA 8) eine Unterscheidung in homogene Gruppen statistisch nachgewiesen werden.

Zwischen den untersuchten Rückstellproben SMA 8 S mit polymermodifiziertem Bindemittel und gummimodifizierten Bindemitteln wurden keine signifikanten Unterschiede mithilfe mathematisch-statistischer Verfahren ermittelt.

Zwischen den Rückstellproben AC 11 D S mit polymer- beziehungsweise mit gummimodifiziertem Bindemittel sind anhand des einfachen Mittelwertvergleichs keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Kenngrößen Bruchtemperatur und Bruchspannung zu konstatieren.

Die Ansprache des Steifigkeitsverhaltens erfolgte anhand von Spaltzug-Schwellversuchen.

Zwischen den Splittmastixasphalten sind signifikante Unterschiede hinsichtlich der Steifigkeitsmoduln bei allen Prüftemperaturen (-10, 0, 10, 20 °C) zu konstatieren und nach Durchführung des LSD-Tests erfolgt eine Einteilung in unterschiedliche homogene Gruppen, wobei immer der SMA 8 S mit gummimodifiziertem Bindemittel GmBT 25/55-55 V1 die signifikant geringsten Werte aufweist.

Auch die Steifigkeitsmoduln der Asphaltbinder weisen signifikante Unterschiede bei allen Prüftemperaturen auf. Für den AC 16 B S mit gummimodifiziertem Bindemittel GmBT 25/55-55 V1 sind dabei immer die signifikant geringsten Steifigkeitswerte zu konstatieren.

Zwischen den Steifigkeitsmoduln der untersuchten Offenporigen Asphalte PA 8 wurden bei allen Prüftemperaturen signifikante Unterschiede ermittelt, eine Einteilung in unterschiedliche homogene Gruppe ist jedoch nur für die Steifigkeitsmoduln bei 10 °C möglich. Der PA 8 mit gummimodifiziertem Bindemittel GmBT

25/55-65 V2 ist bei 10 °C mit dem signifikant größten Wert einer anderen homogenen Gruppe zuzuordnen.

Aus den Ergebnissen der statistischen Auswertung der Steifigkeitsmoduln der SMA 8 S-Rückstellproben geht hervor, dass es signifikante Unterschiede gibt. Eine Einteilung in jeweils vier unterschiedliche homogene Gruppen kann bei den Prüftemperaturen 0, 10 und 20 °C vorgenommen werden, wobei die Zuordnung der Varianten in homogene Gruppen bei den drei Prüftemperaturen unterschiedlich ist.

Der einfache Mittelwertvergleich der Steifigkeitsmoduln der Rückstellproben AC 11 D S führt zu dem Ergebnis, dass es bei allen vier Prüftemperaturen signifikante Unterschiede zwischen den Steifigkeitsmoduln des RS-AC 11 D S mit polymer- beziehungsweise mit gummimodifizierten Bindemitteln gibt, wobei die Steifigkeitsmoduln des RS-AC 11 D S mit polymermodifiziertem Bindemittel 45/80-55 größer sind.

Untersuchungen zur Ansprache des Ermüdungsverhaltens wurden mit dem Spaltzug-Schwellversuch durchgeführt.

Eine Auswertung der Kenngrößen elastische Anfangsdehnung und Lastwechselzahl ist mit den oben genannten mathematisch-statistischen Verfahren nicht möglich, da bei den Ermüdungsversuchen der zu vergleichenden Varianten unterschiedliche Oberspannungen gewählt wurden.

Die Ermüdungskurve des SMA 8 S mit dem Bindemittel 25/55-55 A liegt über den gesamten Dehnungsbereich betrachtet zwischen den Splittmastixasphalten mit gummimodifiziertem Bindemittel. Auffällig beim SMA 8 S mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A ist die vergleichsweise geringe Steigung der Ermüdungskurve. Die Ermüdungskurven der verschiedenen SMA 8 S-Varianten schneiden sich aufgrund unterschiedlicher Steigungsmaße.

Anhand der Ermüdungsfunktionen für den Asphaltbinder AC 16 B S ist zu erkennen, dass die Asphaltbinder mit GmBT 25/55-55 bei gleicher Anfangsdehnung tendenziell mehr Lastwechsel ertragen als die Asphaltbinder mit GmB 25/55-55. Der AC 16 B S mit dem Bindemittel 25/55-55 A liegt dabei zwischen den beiden hier untersuchten Varianten mit GmBT 25/55-55 (V1 und V2).

Die Ermüdungsfunktion des PA 8 mit 40/100-65 A hat dabei einen ähnlichen Verlauf (Steigung) wie die Ermüdungskurven der Varianten mit GmBT 25/55-65 V1 sowie GmBT 25/55-65 V2. Der PA 8 mit GmB 25/55-65 V2 kann bei gleicher Anfangsdehnung nur eine geringere Lastwechselzahl ertragen. Der PA 8 mit GmB 25/55-65 V1 fällt aufgrund der vergleichsweise großen Steigung auf und liegt daher bei einer Anfangsdehnung von etwa unter 0,07 sogar über allen anderen Kurven.

Bei den Rückstellproben SMA 8 S weist die Variante mit polymermodifiziertem Bindemittel mit Abstand das günstigste Ermüdungsverhalten über den gesamten dargestellten Dehnungsbereich auf.

Die Ermüdungskurven der Rückstellproben AC 11 D S mit polymermodifiziertem und gummimodifiziertem Bindemittel schneiden sich, daraus resultiert, dass bei einer Anfangsdehnung von 0,1 % der AC 11 D S mit GmB-7 mehr Lastwechsel erträgt.

An zwei ausgewählten Splittmastixasphalten (SMA 8 S mit 25/55-55 A und mit gummimodifiziertem Bindemittel GmB 25/55-

55 V1) wurde das Ermüdungsverhalten ergänzend noch mittels Zug-Schwellversuchen angesprochen.

Bei einer Prüftemperatur von 20 °C wird für den SMA 8 S mit GmB 25/55-55 V1 eine höhere Lastwechselzahl bei ähnlicher Dehnung am Versuchsende gegenüber dem SMA 8 S mit 25/55-55 A ermittelt. Bei 5 °C werden dagegen am SMA 8 S mit 25/55-55 A deutlich höhere Lastwechsel am Versuchsende gegenüber dem SMA 8 S mit GmB 25/55-55 V1 erreicht, wobei gleichzeitig am Versuchsende auch die Dehnung größer gegenüber der Variante mit gummimodifiziertem Bindemittel ist. Auch bei -10 °C als Prüftemperatur werden für den SMA 8 S mit 25/55-55 A höhere Lastwechsel am Versuchsende gegenüber dem SMA 8 S mit GmB 25/55-55 V1 ermittelt. Anhand der Ergebnisse des durchgeführten Mittelwertvergleichs kann abschließend konstatiert werden, dass bei 20 °C und 5 °C die erkannten Unterschiede signifikant sind.

Zur Ansprache des Verformungsverhaltens bei Wärme wurden Einaxiale Druck-Schwellversuche (SMA 8 S, AC 16 B S, Rückstellproben SMA 8 S, Rückstellproben AC 11 D S) sowie Dynamische Eindringversuche (PA 8) durchgeführt.

Aus der statistischen Auswertung sind für die Kenngröße Dehnungsrate (aus Druck-Schwellversuch) signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Splittmastixasphalten SMA 8 S festzuhalten. Aus den Ergebnissen des LSD-Tests ergibt sich, dass die fünf untersuchten SMA 8 S in drei unterschiedliche homogene Gruppen eingeteilt werden. Dabei wird der SMA 8 S mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A der mittleren Gruppe zugeordnet.

Beim Asphaltbinder AC 16 B S werden zwischen den untersuchten Varianten sowohl anhand der ermittelten Werte für die Dehnungsrate sowie der Anzahl der Lastimpulse im Wendepunkt beziehungsweise am Versuchsende signifikante Unterschiede festgestellt. Bei beiden Kenngrößen resultiert aus den Ergebnissen der LSD-Tests eine Unterteilung in drei homogene Gruppen, jedoch mit etwas anderer Zuordnung der Varianten zu den verschiedenen Gruppen. Die AC 16 B S mit GmB 25/55-55 V1 und mit GmB 25/55-55 V2 gehören der Gruppe mit den signifikant geringsten Dehnungsraten sowie der Gruppe mit den signifikant größten Lastimpulsanzahlen im Wendepunkt beziehungsweise am Versuchsende an. Der AC 16 B S mit 25/55-55 A ist bei der Kenngröße Dehnungsrate allein der Gruppe mit der größten Dehnungsrate und bei der Kenngröße Lastimpulsanzahl zusammen mit dem AC 16 B S mit GmBT 25/55-55 V1 der Gruppe mit den geringsten Werten zuzuordnen.

Für die Rückstellproben SMA 8 S konnten anhand der statistischen Auswertung hinsichtlich der ermittelten Dehnungsraten im Wendepunkt beziehungsweise am Versuchsende signifikante Unterschiede festgestellt werden, wobei hier mit Ausnahme des RS-SMA 8 S mit GmB-5 die anderen Varianten alle einer homogenen Gruppe angehören. Die Auswertung der Lastimpulsanzahl im Wendepunkt beziehungsweise am Versuchsende ergibt vier homogene Gruppen.

Anhand des einfachen Mittelwertvergleichs werden hinsichtlich beider Kenngrößen aus den Druck-Schwellversuchen (Dehnungsrate sowie die Anzahl der Lastimpulse im Wendepunkt beziehungsweise am Versuchsende) signifikante Unterschiede zwischen dem AC 11 D S mit polymermodifiziertem Bindemittel

und dem AC 11 D S mit gummimodifiziertem Bindemittel nachgewiesen.

Bei allen fünf untersuchten Offenporigen Asphalten wurde der Dynamische Eindringversuch vorzeitig, vor Erreichen von 10 000 Belastungszyklen, bei Erreichen einer Eindringtiefe von 5 mm beendet. Die Lastwechselzahl bei einer Eindringtiefe von 5 mm wurde statistisch ausgewertet. Anhand der Lastwechselzahl wurden signifikante Unterschiede zwischen den fünf PA 8-Varianten erkannt. Basierend auf den Ergebnissen des LSD-Tests ist der PA 8 mit GmB 25/55-65 V1 einer unterschiedlichen homogenen Gruppe zuzuordnen als die anderen vier Offenporigen Asphalte.

Zur Ansprache des Verformungswiderstands bei Wärme und der Dauerhaftigkeit wurden Spurbildungsversuche an den im Labor hergestellten Asphalten der Sorten SMA 8 S und AC 16 B S sowie an den Rückstellproben (SMA 8 S, AC 11 D S) durchgeführt. Statistisch ausgewertet wurden die Werte für die absolute Spurrinnentiefe.

Hinsichtlich der für die absolute Spurrinnentiefe ermittelten Werte können zwischen den fünf Splittmastixasphalten SMA 8 S signifikante Unterschiede festgestellt werden. Der SMA 8 S mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A mit einem größeren Wert für die absolute Spurrinnentiefe ist einer anderen homogenen Gruppen als die vier SMA 8 S mit gummimodifizierten Bindemitteln zuzuordnen.

Zwischen den fünf Asphaltbindern mit polymermodifiziertem Bindemittel und gummimodifizierten Bindemitteln gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werten der absoluten Spurrinnentiefe.

Anhand der angewandten mathematisch-statistischen Verfahren können signifikante Unterschiede hinsichtlich der Kenngröße "absolute Spurrinnentiefe" zwischen den sieben Rückstellproben mit polymermodifiziertem Bindemittel und gummimodifizierten Bindemitteln festgestellt werden und eine Einteilung in zwei unterschiedliche homogene Gruppe vorgenommen werden. Signifikante Unterschiede zwischen der Variante mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A und den Varianten mit gummimodifizierten Bindemitteln gibt es nicht.

Für die Rückstellproben AC 11 D S wurde ein einfacher Mittelwertvergleich für die Kenngröße absolute Spurrinnentiefe durchgeführt, woraus hervorgeht, dass es signifikante Unterschiede zwischen dem AC 11 D S mit polymermodifiziertem Bindemittel 45/80-55 und mit gummimodifiziertem Bindemittel (GmB-7) gibt. Der Wert für die absolute Spurrinnentiefe ist beim AC 11 D S mit GmB-7 geringer.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde die Ermittlung des Kornverlusts zur Erfahrungssammlung an allen Asphaltarten durchgeführt.

Anhand der Ergebnisse der statistischen Auswertung kann konstatiert werden, dass es hinsichtlich der Kenngröße "Kornverlust" signifikante Unterschiede zwischen den fünf untersuchten Splittmastixasphalten SMA 8 S gibt und diese in zwei unterschiedliche homogene Gruppen eingeteilt werden können. Es können jedoch weder zwischen den Varianten mit gummimodifizierten Bindemitteln und der Variante mit polymermodifiziertem Bindemittel signifikante Unterschiede erkannt werden noch zwischen den

Varianten mit gummimodifizierten Bindemitteln, die im Nassverfahren beziehungsweise im "Trockenverfahren" hergestellt wurden.

Bei den Asphaltbindern AC 16 B S sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werten für den Kornverlust nachzuweisen.

Für den Kornverlust beim PA 8 werden signifikante Unterschiede zwischen den fünf Varianten festgestellt und es kann eine Einteilung in zwei unterschiedliche Gruppen basierend auf dem Ergebnis des LSD-Tests vorgenommen werden. Auch hier gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Offenporigen Asphalten mit polymermodifizierten beziehungsweise gummimodifizierten Bindemitteln sowie in Abhängigkeit der Herstellung des gummimodifizierten Bindemittels.

Zwischen den Werten der sieben untersuchten Rückstellproben der Asphaltmischgutsorte SMA 8 S gibt es signifikante Unterschiede zwischen den Werten für den Kornverlust. Demnach können diese in zwei unterschiedliche homogene Gruppen mit vier beziehungsweise drei Varianten eingeteilt werden. Signifikante Unterschiede zwischen den Rückstellproben mit gummimodifizierten Bindemitteln und der Probe mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A gibt es somit nicht.

Der einfache Mittelwertvergleich für den Kornverlust der beiden Rückstellproben AC 11 D S ergibt, dass es signifikante Unterschiede zwischen dem AC 11 D S mit polymermodifiziertem Bindemittel 45/80-55 und dem AC 11 D S mit gummimodifiziertem Bindemittel (GmB-7) gibt, wobei der Kornverlust beim AC 11 D S mit GmB-7 signifikant geringer ist.

Die Ermittlung des Substanzverlusts am Offenporigen Asphalt wurde mit dem DSD (Darmstadt Scuffing Device) sowie dem ARTe (Aachener Raveling Tester) durchgeführt.

Die statistische Auswertung der mittels DSD-Verfahren ermittelten Werte für den Substanzverlust ergibt, dass es signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten PA 8 gibt, wobei anhand des LSD-Tests eine Einteilung in zwei unterschiedliche homogene Gruppen vorgenommen werden kann. Der PA 8 mit polymermodifiziertem Bindemittel 40/100-65 A gehört dabei zusammen mit dem PA 8 mit GmB 25/55-65 V1 der homogenen Gruppe mit signifikant geringeren Werten für den Substanzverlust an.

Anhand der Ergebnisse der statistischen Auswertung der mit dem ARTe bestimmten Werte für den Substanzverlust ist zu konstatieren, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Werten für den Kornverlust zwischen dem PA 8 mit polymermodifiziertem Bindemittel 40/100-65 A und den vier PA 8-Varianten mit gummimodifizierten Bindemitteln gibt. Der PA 8 mit 40/100-65 A ist nach Durchführung des LSD-Tests mit dem geringsten Wert für den Substanzverlust allein einer homogenen Gruppe zuzuordnen. Die vier Offenporigen Asphalte mit gummimodifizierten Bindemitteln gehören alle gemeinsam einer weiteren homogenen Gruppe an.

Zur Ansprache des Griffigkeitsverhaltens wurden Messungen mit dem SRT-Gerät durchgeführt.

Anhand der statistischen Auswertung können bei allen drei im Labor hergestellten Asphaltarten (SMA 8 S, AC 16 B S, PA 8) jeweils signifikante Unterschiede zwischen den SRT-Werten der

je fünf Varianten mit unterschiedlichen Bindemitteln nachgewiesen werden.

Nach Durchführung des LSD-Tests lassen sich die fünf SMA 8 S in zwei unterschiedliche homogene Gruppen einteilen, wobei der SMA 8 S mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A zusammen mit dem SMA 8 S mit GmB 25/55-55 V1 der homogenen Gruppe mit den geringeren SRT-Werten angehört.

Bei den Asphaltbindern AC 16 B S resultieren aus dem LSD-Test für den SRT-Wert drei unterschiedliche homogene Gruppen. Hier ist der AC 16 B S mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A allein der dritten homogenen Gruppe, mit dem signifikant niedrigsten SRT-Wert, zuzuordnen. Der AC 16 B S mit GmB 25/55-55 V1 ist in der zweiten Gruppe und die übrigen AC 16 B S mit gummimodifizierten Bindemitteln bilden die erste Gruppe mit den größten SRT-Werten.

Bei den PA 8 gehört die Variante mit polymermodifiziertem Bindemittel hinsichtlich des SRT-Werts einer anderen homogenen Gruppe an als die vier PA 8 mit gummimodifizierten Bindemitteln, die gemeinsam eine weitere homogene Gruppe mit höheren SRT-Werten darstellen.

Zwischen den SRT-Werten der sieben Rückstellproben werden signifikante Unterschiede anhand der statistischen Auswertung ermittelt. Basierend auf dem LSD-Test lassen sich die Rückstellproben SMA 8 S in drei unterschiedliche homogene Gruppen einteilen, wobei der RS-SMA 8 S mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A zusammen mit drei Varianten mit gummimodifizierten Bindemitteln der zweiten, mittleren homogenen Gruppe zugeordnet ist.

Anhand des einfachen Mittelwertvergleichs sind die SRT-Werte für die Rückstellproben der Sorte AC 11 D S mit 45/80-55 beziehungsweise mit GmB-7 als signifikant unterschiedlich einzustufen, dabei ist der SRT-Wert für den RS-AC 11 D S mit GmB-7 signifikant größer.

Abschließend wurden noch Beispielrechnungen zur Abschätzung des Einflusses auf die Nutzungsdauer bei Verwendung von Asphalten mit gummi- beziehungsweise mit polymermodifiziertem Bindemittel in Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht durchgeführt. Dafür wurden die Materialkennwerte der Splittmastixasphalte sowie Asphaltbinder mit polymermodifiziertem Bindemittel 25/55-55 A sowie mit den gummimodifizierten Bindemitteln GmB 25/55-55 V1 beziehungsweise V2 berücksichtigt.

Im Vergleich zu einem "Kalibrier"-Aufbau (Einsatz von Kalibrierasphalten gemäß RDO Asphalt 09) wurden bei gleichen Schichtdicken sowohl für den Aufbau mit polymermodifiziertem Bindemittel in Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht als auch für die Aufbauten mit gummimodifiziertem Bindemittel in Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht jeweils geringere Werte für den Ermüdungsstatus des Asphalts ermittelt.

Zusammenfassend können anhand der statistischen Auswertung der untersuchten Asphalteeigenschaften abschließend nicht durchgängig signifikante Unterschiede (Vor- beziehungsweise Nachteile) zwischen den Asphalten einer Sorte mit den hier eingesetzten gummimodifizierten Bindemitteln und mit dem eingesetzten polymermodifizierten Bindemittel über alle untersuchten Asphalteeigenschaften erkannt werden.

Es kann daher von einer Gleichwertigkeit der Gebrauchseigenschaften von Asphalten unter Verwendung gummimodifizierter Bindemittel und polymermodifizierter Bindemittel ausgegangen werden. Das Ziel des Forschungsvorhabens konnte somit erreicht werden.