
Vergleichsuntersuchung zum Einfluss der Prüfkör- perrauigkeit auf die Ergeb- nisse der Eignungsprüfung von Fahrbahnmarkierungen

Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für
Straßenwesen

Vergleichsuntersuchung zum Einfluss der Prüfkörperrauigkeit auf die Ergebnisse der Eignungs- prüfung von Fahrbahnmarkie- rungen

von

Dr.-Ing. Jan Ritter

unter Mitwirkung von Andrea Meyer-Hochwald, Thorsten Weßel und
Martin Schmitt

Referat V4

Bundesanstalt für Straßenwesen

Fachveröffentlichung
Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Impressum

Referat: V4
Straßenausstattung

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Bergisch Gladbach, September 2023

Inhalt

Kurzfassung

Summary (engl.)

Abkürzungsverzeichnis, Begriffe

1	Einleitung, Anlass, Ziele	11
1.1	Hintergrund	11
1.2	Zentrale Fragestellungen	11
2	Untersuchungsmethodik	14
2.1	Allgemeines Untersuchungskonzept	14
2.2	Proben	14
2.2.1	Auswahl und Herstellung der Asphaltprüfkörper	14
2.2.2	Auswahl und Herstellung der Markierungssysteme	16
2.3	Prüfungen	19
2.3.1	Dauerhaftigkeitsprüfung auf der RPA	19
2.3.2	Untersuchungen an den Prüfkörpern aus SMA	19
2.3.3	Untersuchung von nicht gesägten Asphaltprüfkörpern	19
2.3.4	Visuelle Prüfungen am Markierungssystem	20
2.3.5	Messungen am Markierungssystem	20
2.3.6	Untersuchung des Durchblutens	20
2.4	Auswertung	20
2.4.1	Auswertung des Prüflaufs	20
2.4.2	Bewertung der Ergebnisse der Prüfungen an den SMA-Prüfkörpern	20
2.4.3	Einfluss der Rauigkeit auf das Abriebverhalten	21
2.4.4	Einfluss der Rauigkeit auf die verkehrstechnischen Eigenschaften	21
2.4.5	Einfluss der Rauigkeit auf die Streuung der Einzelmesswerte	22
2.4.6	Einfluss zweier Herstellungsvarianten der Prüfkörper auf die Verformungsbeständigkeit	22
2.4.7	Bewertung der Anfälligkeit zum Durchbluten auf SMA	22

3	Darstellung und Interpretation der Ergebnisse	23
3.1	Eignung des SMA für die Eignungsprüfung	23
3.1.1	Bewertung des Asphalts vor der RPA-Prüfung	23
3.1.2	Bewertung des Verhaltens der SMA-Prüfkörper bei der RPA-Prüfung	23
3.2	Einfluss des Herstellungsverfahrens	24
3.3	Einfluss der Rauigkeit auf das Abriebverhalten	24
3.4	Einfluss der Rauigkeit auf die verkehrstechnischen Eigenschaften – Differenzbildung je Probe und Messzyklus	27
3.4.1	Allgemeine Darstellung	27
3.4.2	Einfluss der Rauigkeit auf die Klasseneinteilung nach DIN EN 1436 und Erreichung der Mindestanforderungen nach ZTV M 13	28
3.5	Einfluss der Rauigkeit auf die verkehrstechnischen Eigenschaften – Differenzbildung je Probe bei Mittelung über alle Überrollungen	30
3.5.1	HS-Farben	30
3.5.2	Dispersionsfarben	38
3.5.3	Kaltspritzplastiken	40
3.5.4	Thermoplastiken	41
3.5.5	Kaltplastiken	43
3.5.6	Markierungsfolien	45
3.5.7	Zusammenfassung	46
3.6	Einfluss der Rauigkeit auf die verkehrstechnischen Eigenschaften – Regressionsrechnung	48
3.7	Einfluss der Rauigkeit auf die Streuung der Einzelmesswerte	50
3.8	Durchbluten bei Markierungen auf SMA-Prüfkörpern	52
4	Schlussfolgerungen	53
5	Ausblick	56
6	Literatur	57

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

MA	Gussasphalt (engl.: Mastic Asphalt)
NSM	Nachstreumittel
OPA	Offenporiger Asphalt
RG	Rauheitsklasse (z. B. RG1)
RPA	Rundlaufprüfanlage
SMA	Splittmastixasphalt
ÜR	Überrollungen in der RPA

Begriffe

Unter „dünnem System“ wird hier ein gespritztes System mit einer Schichtdicke von bis zu 1.200 µm verstanden; als „dickes System“ gilt ein nicht gespritztes System mit einer Schichtdicke ≥ 2.000 µm (Folien ≥ 1.800 µm).

Kurzfassung

Bei der vorliegenden Vergleichsuntersuchung der BAST wurden insgesamt 31 Markierungssysteme sowohl auf den bisher bei der Eignungsprüfung eingesetzten Prüfkörpern aus Gussasphalt (kurz: MA) als auch auf Prüfkörpern aus Splittmastixasphalt (kurz: SMA) appliziert und anschließend in der Rundlaufprüfanlage belastet. Der Vergleich der Prüfergebnisse ergab folgende wesentliche Ergebnisse:

Erfüllen Prüfkörper aus SMA die grundlegenden Voraussetzungen für den Einsatz bei der Eignungsprüfung?

Die Prüfkörper aus SMA erfüllen die grundlegenden Voraussetzungen für den Einsatz in der Rundlaufprüfanlage: Sie sind verformungsbeständig und halten die Toleranzen im Hinblick auf die Maße ein. Probleme bei der Haftung zwischen SMA und Markierungssystem wurden nicht festgestellt. Die unvermeidbaren Unterschiede im Hinblick auf die Oberflächenstruktur der einzelnen SMA-Prüfkörper sind vertretbar. Eine detailliertere Darstellung findet sich in Abschnitt 3.1 dieses Berichts.

Unterscheidet sich das Verhalten von Prüfkörpern mit gesägten und nicht gesägten Rändern?

Für die Eignungsprüfung sollen zukünftig nicht gesägte Prüfkörper verwendet werden. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die gesägten und nicht gesägten Prüfkörper gleichwertig sind. Für weitere Informationen wird auf Abschnitt 3.2 verwiesen.

Unterscheidet sich das Abriebverhalten bei Prüfkörpern aus SMA und MA?

Anders als bei den ebenen Prüfkörpern aus MA tritt bei Prüfkörpern aus SMA in den obersten Bereichen der Asphaltstruktur bei der Rundlaufprüfung eine besonders hohe Belastung auf. In den tiefer gelegenen Bereichen der Asphaltstruktur ist das Markierungsmaterial dagegen weitgehend geschützt. Die Gasperlen auf den Kuppen verschleifen beim SMA daher schneller als beim flachen MA. Zugleich verbleiben beim SMA auch bei anhaltender Belastung Reste des Markierungsstoffs in den Vertiefungen, während beim MA großflächige Bereiche vollständig abgetragen werden können. Eine detaillierte Darstellung findet sich in Abschnitt 3.3.

Welchen Einfluss hat die Verwendung von SMA-Prüfkörpern auf das Ergebnis der Eignungsprüfung im Vergleich zu den bisherigen MA-Prüfkörpern?

Bei den dünnenschichtigen, gespritzten Markierungssystemen auf SMA-Prüfkörpern wurden im Mittel geringere Sichtbarkeiten sowie höhere Griffigkeiten festgestellt als bei MA-Prüfkörpern. Die mittlere Griffigkeit ist etwa 4 SRT-Einheiten höher als beim SMA. Die Nachsichtbarkeit ($R_{L, trocken / feucht}$) ist im Mittel etwa 20 % und die Tagessichtbarkeit Q_d etwa 10 % geringer bei SMA-Prüfkörpern als bei MA. Alleine die Verwendung von SMA-Prüfkörpern führte nur bei einer von 16 Proben zu einer Unterschreitung der Mindestanforderungen nach ZTV M 13. Bei den dickschichtigen Systemen treten bei der Griffigkeit und Q_d nur geringe Unterschiede zwischen den Ergebnissen bei SMA und MA auf. Bei $R_{L, trocken}$ und $R_{L, feucht}$ sind die Ergebnisse im Mittel bei SMA geringer als bei MA. Beispielsweise ist $R_{L, trocken}$ im Mittel etwa 15 % geringer. Die Unterschiede z. B. bei der Griffigkeit könnten bei den

Thermoplastiken bei stärkerem Verschleiß bei der Rundlaufprüfung größer ausfallen. Die Abschnitte 3.4 und 3.5 enthalten eine detaillierte Darstellung.

Aus den Ergebnissen wird gefolgert, dass die Regelung zur Beurteilung der Ergebnisse der Griffigkeitsmessung nach Abschnitt 4.4.4 der TP M 18 vorerst erhalten bleiben soll.

Lässt sich das Prüfergebnis von Proben auf SMA-Prüfkörpern aus dem Ergebnis von Proben auf MA-Prüfkörpern vorhersagen?

Aus den Ergebnissen können für die verschiedenen Markierungsstoffe keine konstanten Umrechnungsfaktoren für alle verkehrstechnischen Eigenschaften mit ausreichender Sicherheit bestimmt werden. Für eine detailliertere Darstellung wird auf Abschnitt 3.6 verwiesen.

Welchen Einfluss hat die Rauigkeit der Prüfkörper auf die Streuung der Messwerte?

Die Untersuchungsergebnisse deuten nicht darauf hin, dass die Streuung der Einzelwerte bei SMA-Prüfkörpern generell höher ist als bei MA-Prüfkörpern. Vielmehr wurden mehrheitlich geringere Streuungen bei Proben auf SMA-Prüfkörpern festgestellt. Eine detaillierte Darstellung findet sich in Abschnitt 3.7

Tritt bei Markierungssystemen auf SMA das sog. „Durchbluten“ während der Dauer der Eignungsprüfung in der Rundlaufprüfanlage auf?

Bei den untersuchten Markierungssystemen wurde während der Rundlaufprüfung kein Durchbluten festgestellt. Nach einer längeren Lagerung der Proben nach Beendigung der Rundlaufprüfung ist bei einer Teilmenge der HS-Farben Durchbluten festgestellt worden. Abschnitt 3.8 enthält nähere Angaben.

Summary

In the present comparison study of the BAST, a total of 31 marking systems were applied both on test plates made of mastic asphalt (MA), which are used so far in the type approval of road markings, and also on test plates made of stone mastic asphalt (SMA) with identical properties. The comparison of the test results showed the following essential results:

Do test plates made of SMA fulfil basic requirements for use in the approval testing in the wear simulator at BAST?

The test plates made of SMA fulfil the basic requirements for use in the wear simulator: They are resistant to deformation and comply with the tolerances with regard to the dimensions. Problems with adhesion between SMA and the marking system were not found. The unavoidable differences with regard to the surface structure of the individual SMA test specimens are acceptable. A more detailed presentation can be found in section 3.1 of this report.

Does the behaviour of test plates with sawn and non-sawn edges differ?

In future, non-sawn test specimens are to be used for the approval testing. The test results show that the sawn and non-sawn test specimens are of equal value. For further information, please refer to section 3.2.

Is there a difference in the abrasion behaviour of SMA and MA specimens?

In contrast to the flat test plates made of MA, test specimens made of SMA are subjected to a particularly high load in the uppermost areas of the asphalt structure during the wear simulator testing. On the other hand, the marking material is largely protected in the lower areas of the asphalt structure. The glass beads on the tops therefore wear more quickly with the structured SMA than with the flat MA. At the same time, with the SMA, residues of the marking material remain in the depressions even under sustained load, whereas with the MA, large-area areas can be completely removed. A detailed description can be found in section 3.3.

What influence does the use of SMA test plates have on the result of the approval testing compared to the previous MA test plates?

With the thin-layer, sprayed road marking systems on SMA test plates, lower visibility and higher skid resistance were found on average than with MA test plates. The mean skid resistance is about 4 SRT units higher than for the SMA. The night visibility ($R_{L,dry/wet}$) is on average about 20 % lower and the day visibility Q_d about 10 % lower for SMA plates than for MA. The use of SMA test plates alone resulted in only one of 16 samples falling short of the minimum requirements according to ZTV M 13. In the case of the thick-layer systems, there are only slight differences between the results for SMA and MA in terms of skid resistance and Q_d . For $R_{L,dry}$ and $R_{L,wet}$, the results are lower on average for SMA than for MA. For example, $R_{L,dry}$ is about 15 % lower on average. The differences, e. g. in skid resistance, could be bigger for the thermoplastics with greater wear in the wear simulator. Sections 3.4 and 3.5 contain a detailed description.

From the results it is concluded that the regulation for assessing the results of skid resistance measurement according to section 4.4.4 of TP M 18 should be retained for the time being.

Can the test result of samples on SMA test plates be predicted from the result of samples on MA test plates?

From the results, it is not possible to determine a constant correction factor for all road marking properties with sufficient certainty for the different road marking materials. For a more detailed description, please refer to section 3.6.

What influence does the roughness of the test plates have on the scatter of the measured values?

The test results do not indicate that the scatter of the single values is generally higher for SMA test plates than for MA test plates. On the contrary, lower scatter was found in the majority of samples on SMA test plates. A detailed description can be found in section 3.7.

Does the so-called "bleed-through" occur with marking systems on SMA test plates during the duration of the approval test in the wear simulator?

No bleed-through was observed in the marking systems tested during the duration of the wear simulator test. After a longer storage of the samples after the end of the wear simulator test, bleed-through was detected in a subset of the high solid-paints. More details can be found in section 3.8.

1 Einleitung, Anlass, Ziele

1.1 Hintergrund

Seit Beginn der Eignungsprüfung von Fahrbahnmarkierungen auf der Rundlaufprüfanlage der BAST im Jahr 1989 werden Markierungssysteme auf Prüfkörpern aus fein texturiertem Gussasphalt (MA, engl.: Mastic Asphalt) ohne nachgestreuten Splitt geprüft. MA stellt eine verformungsbeständige, gut haftende Unterlage für die zu prüfenden Markierungssysteme dar und weist gleichbleibende Oberflächeneigenschaften auf. Zudem wird durch die Auswahl von MA der Griffigkeit der Markierung eine besonders hohe Bedeutung beigemessen, da die feine Textur – anders als bei einer grob strukturierten Fahrbahndecke - im Regelfall nicht zur Erreichung der Mindestanforderung an die Griffigkeit beitragen kann.

Dieser Ansatz hat sich in mehr als 30 Jahren Eignungsprüfung bewährt, weist jedoch zugleich bestimmte Nachteile auf: Die Prüfkörperoberfläche ist nicht repräsentativ für die Oberfläche von Fahrbahndecken auf Bundesfernstraßen, welche i. d. R. keine Deckschicht aus MA aufweisen. Etwaige (unerwünschte) Anpassungen des Markierungssystems an die spezifische Struktur des MA bei der Eignungsprüfung können sich beim späteren Einsatz in der Praxis auf raueren Fahrbahndecken als nachteilig erweisen. Zudem werden in der Praxis bei dünn-schichtigen Markierungssystemen aufgrund der Rauheit der Fahrbahndecke i. d. R. keine Unterschreitungen der Mindestanforderungen an die Griffigkeit nach ZTV M 13 festgestellt. Da Griffigkeit und Retroreflexion in einem wechselseitigen Verhältnis zueinander stehen, ist im Hinblick auf den hohen Stellenwert der Nachtsichtbarkeit der Fahrbahnmarkierung für die Verkehrssicherheit die bisherige Verwendung von Gussasphalt hinterfragt worden.

Eine Umstellung auf stärker strukturierte Asphaltprüfkörper birgt folglich die Potenziale, die Eignungsprüfung weiter der Praxis anzunähern sowie einen Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssicherheit zu leisten. Spezifische Anpassungen für die Eignungsprüfung könnten zudem vollständig entfallen.

Aus den zuvor genannten Gründen strebt die BAST an, bei der Eignungsprüfung Prüfkörper mit praxisnäherer Oberfläche innerhalb des von der maßgebenden Prüfnorm DIN EN 13197 gesteckten Rahmens anzubieten.

Eine derartige Weiterentwicklung erfordert eine sorgfältige Abwägung und Bewertung aller Konsequenzen, da ein direkter Einfluss auf die Ergebnisse der Rundlaufprüfung zu erwarten ist. Die Ergebnisse der hierfür von der BAST durchgeführten Vergleichsuntersuchung sind Gegenstand des vorliegenden Berichts.

1.2 Zentrale Fragestellungen

Erfüllen Prüfkörper aus SMA die grundlegenden Voraussetzungen für den Einsatz bei der Eignungsprüfung?

Von hoher Bedeutung ist die Frage, ob Prüfkörper aus SMA grundsätzlich für die Eignungsprüfung geeignet sind, insbesondere im Hinblick auf Aspekte der Maßhaltigkeit, Verformungsbeständigkeit, Haftung zwischen Markierungssystem und Asphaltoberfläche, Gleichheit der Eigenschaften, etc.

Welchen Einfluss hat die Verwendung von SMA-Prüfkörpern auf das Ergebnis der Eignungsprüfung?

Es besteht Bedarf an Kenntnissen, welchen Einfluss die Verwendung von SMA-Prüfkörpern auf das Ergebnis der Eignungsprüfung im Vergleich zu den bisherigen MA-Prüfkörpern hat. Hierbei ist von besonderem Interesse, wie sich die Ergebnisse der Messung der verkehrstechnischen Eigenschaften bei Verwendung von SMA-Prüfkörpern zu den Ergebnissen von Messungen auf MA-Prüfkörpern verhalten. Bei dem Vergleich sollen im Rahmen der durch das Versuchskonzept gegebenen Grenzen potenzielle Einflussfaktoren wie die Markierungsstoffart und die Schichtdicke untersucht werden.

Unterscheidet sich das Verhalten von Prüfkörpern mit gesägten und nicht gesägten Rändern?

Die Vergleichsuntersuchungen wurden mit Prüfkörpern durchgeführt, die aus einer großen SMA-Platte von ca. 70 cm x 50 cm durch Aussägen gewonnen wurden. Hierbei werden die Randbereiche der großen Asphaltplatte ausgespart, da am Rand erfahrungsgemäß geringfügig geringere Verdichtungsgrade bestehen. Bei den hier eingesetzten gesägten Prüfkörpern kann folglich von einer einheitlichen Verdichtung entsprechend den Anforderungen ausgegangen werden. Zukünftig kann jedoch diese Herstellungsmethode aufgrund des sehr aufwendigen Sägens nicht beibehalten werden. Es ist geplant, die Probekörper ohne Sägen zu gewinnen, indem bei der Verdichtung direkt ein Rahmen verwendet wird, der die gewünschten Maße des Prüfkörpers aufweist. Die Umstellung auf diese effizientere Herstellungsmethode (und entsprechende potenzielle Kostensenkungen für die Antragsteller) geht jedoch damit einher, dass die Randbereiche der Platte Teil des Prüfkörpers sind und die Außenkanten keine glatten Schnittkanten aufweisen. Es ist nicht bekannt, ob sich die geringeren Verdichtungsgrade in den Randbereichen negativ auf das Verhalten der Prüfkörper in der RPA auswirken können.

Unterscheidet sich das Abriebverhalten qualitativ bei Prüfkörpern aus SMA und MA?

Auch als Erklärungsansatz für etwaige Unterschiede bei den Ergebnissen der Eignungsprüfung auf MA und SMA-Prüfkörpern sind Kenntnisse zum Abriebverhalten auf SMA-Prüfkörpern hilfreich. Unter dem Abriebverhalten wird hier – in Abgrenzung zum Verschleiß nach ZTV M 13 als Anteil der Restfläche zum Sollbild – die Art und Weise verstanden, wie das Markierungsmaterial bei der Rundlaufprüfung belastet und von der Asphaltoberflächenstruktur qualitativ abgetragen wird.

Lässt sich das Prüfergebnis von Proben auf SMA-Prüfkörpern aus dem Ergebnis von Proben auf MA-Prüfkörpern vorhersagen?

Wenn ein strikter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der RPA-Prüfung auf MA- und SMA-Prüfkörpern besteht und beschrieben werden kann, bestünde die Möglichkeit, die Prüfung auf eine Asphaltart zu beschränken. Auf Grundlage der Ergebnisse könnte eine Aussage zum Verhalten auf der jeweils anderen Asphaltart getroffen werden, ohne dass eine aufwendige Prüfung auf beiden Prüfkörpern notwendig wäre. Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen sollen genutzt werden, um den Zusammenhang zwischen RG1 und RG2-Prüfkörpern näher zu beleuchten und die Realisierbarkeit dieser Möglichkeit zu überprüfen.

Welchen Einfluss hat die Rauigkeit der Prüfkörper auf die Streuung der Messwerte?

Es ist denkbar, dass die rauere Textur von RG2-Prüfkörpern im Vergleich zu RG1-Prüfkörpern zu einer maßgeblichen Vergrößerung der Streuungen bei den Messungen führt. Da hierzu keine Kenntnisse vorliegen, soll dieser Aspekt im Rahmen der Vergleichsmessungen berücksichtigt werden.

Tritt bei Markierungssystemen auf SMA das sog. „Durchbluten“ während der Dauer der Eignungsprüfung in der RPA auf?

Beim Applizieren - insbesondere auf Bindemittelanreicherungen an der Oberfläche der Asphaltdecke - kann es zu bräunlichen Verfärbungen der Markierung kommen. Dieses Phänomen wird als sog. „Durchbluten“ bezeichnet. Dabei löst das Lösemittel bzw. Bindemittel der Markierung das Bitumen des Asphalts an, welches bis zur Oberfläche der Markierung diffundiert und eine dauerhaft bräunliche Verfärbung des Markierungsstoffs bewirkt. Durchbluten kann sowohl dünn- als auch dickschichtige Systeme betreffen. Auch Dispersionen können durchbluten [FGSV, 2014].

Nach [FGSV, 2014] ist das Durchbluten von verschiedenen Faktoren abhängig und generell schwer prognostizierbar.

Da bei Prüfkörpern aus SMA Bindemittelanreicherungen an der Oberfläche auftreten können und die Applikation auf Prüfkörpern einer Applikation auf einer neuen Fahrbahnoberfläche entspricht, stellt sich die Frage, ob bei Verwendung von SMA-Prüfkörpern ein höheres Risiko des Durchblutens bei der Eignungsprüfung besteht als bei MA-Prüfkörpern.

2 Untersuchungsmethodik

2.1 Allgemeines Untersuchungskonzept

Die Herangehensweise besteht im Wesentlichen darin, die Eignungsprüfung auf der Rundlaufprüfanlage parallel mit ausgewählten Markierungssystemen auf Prüfkörpern aus Gussasphalt (MA) und aus Splittmastixasphalt (SMA) durchzuführen (s. Abschnitt 2.2). Die Muster auf SMA werden in einem Arbeitsgang mit den Mustern auf MA appliziert und im selben Prüflauf auf der RPA unter identischen Bedingungen überrollt und gemessen (s. Abschnitt 2.3). Der Einfluss der unterschiedlichen Asphaltarten wird dann durch den Vergleich der Ergebnisse von den MA- und SMA-Proben analysiert. Hierfür werden die in Abschnitt 2.4 beschriebenen Methoden angewandt. Die Herangehensweise bei den weiteren spezifischen Fragestellungen ist den Unterabschnitten dieses Kapitels beschrieben.

2.2 Proben

2.2.1 Auswahl und Herstellung der Asphaltprüfkörper

Als Referenz wird der bisher nach den TP M für die regulären Eignungsprüfungen verwendete Gussasphalt eingesetzt. Es handelt sich um einen Gussasphalt der Sorte „MA 8 S“ gemäß ZTV Asphalt-StB und TL Asphalt-StB. Die Prüfkörper weisen eine fein strukturierte Oberfläche auf, siehe Bild 1 (links). Die Rauheitsklasse nach EN 13197 ist „RG1“ (Rautiefe $\leq 0,6$ mm).

Als Vergleichsvariante dient ein Splittmastixasphalt der Sorte „SMA 8 S“ gemäß ZTV Asphalt-StB / TL Asphalt-StB, siehe Bild 1 (rechts). Dieser Asphalt wurde u. a. ausgewählt, da ein hoher Anteil der Bundesfernstraßen eine Deckschicht aus Splittmastixasphalt aufweist. Im Vergleich zum SMA wird Asphaltbeton auf Bundesautobahnen nur sehr selten eingesetzt. Auf Bundesfernstraßen sind Asphaltbeton und SMA nahezu gleichverteilt, wobei der SMA etwas höhere Anteile aufweist. Unabhängig davon war ausschlaggebend, dass der SMA 8 S eine höhere Rauigkeit innerhalb des nach EN 13197 zulässigen Bereichs (maximal Rauheitsklasse RG2) und insgesamt eine praxisnahe Oberfläche aufweist.

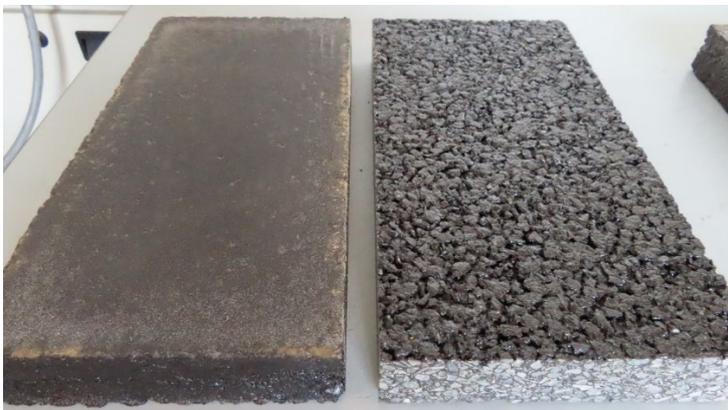


Bild 1: Beispielhafte Darstellung von Prüfkörpern aus Gussasphalt (links) und Splittmastixasphalt (rechts)

Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte im Jahr 2019 im Auftrag der BAST durch die Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen, Fachgebiet Straßenentwurf und Straßenbau und danach ausschließlich durch die Technische Universität Braunschweig, ISBS Institut für Straßenwesen.

Das Verfahren zur Herstellung der Prüfkörper beinhaltet mehrere Arbeitsschritte: Zunächst wurde das Asphaltmischgut für die Herstellung der Prüfkörper von Asphaltmischwerken bezogen. Dann wurde das Asphaltmischgut im Walzsegmentverdichter nach TP Asphalt-StB, Teil 33 [x], im Labor verdichtet, um Asphaltprobeplatten herzustellen. Aus den verdichteten großen Asphaltplatten (Maße: ca. 70 cm x 50 cm) wurden abschließend die einzelnen kleineren Prüfkörper (Maße: ca. 40 cm x 20 cm) durch Aussägen gewonnen. Die Oberfläche der Prüfkörper aus SMA wurde analog zu den Gussasphaltprüfkörpern - abweichend von den ZTV und TL Asphalt-StB - nicht abgestreut.

6 Proben wurden abweichend von dem oben beschriebenen Herstellungsverfahren aus den Randbereichen der verdichteten Asphaltplatte ausgesägt. Zwei Seiten der Prüfkörper waren dadurch gesägt; zwei Seiten waren nicht gesägt. Diese Prüfkörper wurden u. a. eingesetzt, um stichprobenartig zu untersuchen, ob die Entnahme der Prüfkörper aus den ggf. geringer verdichteten Randbereichen der großen Asphaltplatte ohne Sägen einen Einfluss auf die Ergebnisse hat (s. Abschnitt 2.4.6).

Der SMA 8 S bzw. die daraus hergestellten Prüfkörper weisen die in Tabelle 1 dargestellten Eigenschaften auf, welche mittels Asphaltanalyse durch das Referat S3 „Asphaltbauweisen“ der BAST stichprobenartig überprüft wurden. Das Ergebnis der Asphaltanalyse hat die Konformität des für die Vergleichsuntersuchung eingesetzten SMA 8 S den ZTV und TL Asphalt-StB bestätigt. Da für die Vergleichsuntersuchungen SMA aus mehreren Bezugsquellen und Lieferungen verwendet wurden, unterscheiden sie sich punktuell z. B. im Hinblick auf die Gesteinsarten des groben Gesteins und des Füllers.



Bild 2: Ansicht der Seitenfläche eines Prüfkörpers aus Gussasphalt (links) und der Schnittkante eines Prüfkörpers aus Splittmastixasphalt (rechts)

Merkmal	Ausprägung
Bindemittelsorte	polymermodifiziertes Bindemittel 25/55-55
Bindemittelgehalt	7,0 bis 7,2 %
Gesteinsart des groben Gesteins	Quarzit, Basalt Gabbro
Gesteinsart Füller	Kalksteinmehl
Verdichtungsgrad	99,5 % bis 100,5 %
Maße Prüfkörper und Toleranzen	Länge: 397 mm +/- 2 mm, Breite: 198 +/- 2 mm, Dicke: 48 mm +/- 2 mm
Rauigkeitsklasse	RG2 nach DIN EN 13036-1

Tabelle 1: Eigenschaften des SMA 8 S und der Prüfkörper gemäß Ausschreibung der BAST und Eignungsnachweis

Ausschließlich für die dickschichtigen Markierungssysteme aus Kaltplastik wurden Asphaltprüfkörper aus offenporigem Asphalt (OPA) eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen OPA „PA 8“ gemäß ZTV Asphalt-StB / TL Asphalt-StB. Die Rauheitsklasse dieser Prüfkörper ist „RG4“ gemäß DIN EN 13197 (Rautiefe > 1,20 mm). Die Tabelle 2 enthält die maßgebenden Kennwerte des OPA.

Merkmal	Ausprägung
Bindemittelsorte	polymermodifiziertes Bindemittel 40/100 65-A
Bindemittelgehalt	6,5 %
Gesteinsart	Gabbro, Granodiorit
Verdichtungsgrad	99,5 % bis 100,5 %
Maße Prüfkörper und Toleranzen	Länge: 397 mm +/- 2 mm, Breite: 198 +/- 2 mm, Dicke: 48 mm +/- 2 mm
Rauigkeitsklasse	RG4 nach DIN EN 13036-1

Tabelle 2: Eigenschaften des PA 8 und der Prüfkörper

2.2.2 Auswahl und Herstellung der Markierungssysteme

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Markierungssysteme wurde angestrebt, einen möglichst hohen Anteil an Markierungsarten und Ausführungsvarianten, welche in den ZTV M 13 und den TL M 06 beschrieben werden, zu berücksichtigen. Das Probenkollektiv umfasst dick- und dünn-schichtige Systeme, Typ I und II-Systeme sowie die verschiedenen Markierungsstoffe nach TL M 06. Zugleich war die Auswahl der untersuchten Markierungssysteme von freien Kapazitäten bei der Eignungsprüfung abhängig. Eine vollständige Variation aller Markierungs-Parameter war daher nicht realisierbar.

Untersuchte Markierungsstoffe nach TL M 06:

- High Solid-Farben (ein- und mehrkomponentige lösemittelarme Farben)
- Dispersionsfarben
- Thermoplastische Stoffe (Thermoplastiken bzw. Heißplastiken)
- Reaktive Stoffe (Kaltplastiken)
- Folien

Die Applikation der Proben erfolgte im Auftrag der BAST durch die DSGS e. V. auf der Applikationsanlage der BAST. Hierzu wurden die Markierungssysteme jeweils auf die Prüfkörper aus MA und SMA nacheinander mit unveränderten Einstellungen appliziert.

Bei den HS-Farben wurde Probe S2 mit 300 µm Schichtdicke auf MA und SMA appliziert und ergänzend zweifach (2x300 µm) auf SMA (Probe 5). Dabei wurde entsprechend ZTV M 13, Abschnitt 4.10.1, bei der zweifachen Applikation beide Applikationen mit Nachstreumitteln und einer Schichtdicke von je 300 µm durchgeführt. Die zweite Applikation erfolgte nach dem Aushärten des im ersten Schritt applizierten Materials. Analog wurde bei den Proben S7 und S8 vorgegangen, wobei Probe S7 einfach mit 600 µm Schichtdicke auf MA und SMA appliziert wurde und als Probe 8 zweifach auf SMA mit einer Gesamtschichtdicke von 1200 µm.

Die Proben S9 und S10 sind zweikomponentige lösemittelarme Farben.

Die Untersuchungen umfassen sowohl Markierungssysteme, die die Mindestanforderungen nach ZTV M 13 im Rahmen der Eignungsprüfung erbracht haben als auch Systeme, die die Mindestanforderungen nicht erreicht haben.

Die Tabelle 3 enthält eine Zusammenstellung aller untersuchten Proben und deren Eigenschaften.

Bezeichnung Probe	Markierungsstoff bzw. Materialart	Struktur	Schichtdicke	Typ I / II	Nachstreumittelmenge	Korngrößenverteilung der Nachstreumittel*	Verhältnis Glasperlen zu Griffigkeitsmitteln**	Asphalt-sorte
[-]	[-]	[-]	[µm]	[-]	[g/m ²]	[-]	[-]	[-]
S1	HS-Farbe	Vollstrich	300 µm	Typ I	300	180-850	3:1	SMA
S2	HS-Farbe	Vollstrich	300 µm	Typ I	240	100-600	75:25	SMA
S3	HS-Farbe	Vollstrich	600 µm	Typ II	500	600-1180	2:1	SMA
S4	HS-Farbe	Vollstrich	600 µm	Typ II	480	425-1400	70:30	SMA
S5	HS-Farbe	Vollstrich	600 µm (Probe S2 zweifach 2x 300 µm)	Typ I	480	100-600	75:25	SMA
S6	HS-Farbe	Vollstrich	600 µm	Typ II	500	425-1180	3:1	SMA
S7	HS-Farbe	Vollstrich	600 µm	Typ II	500	600-1180	2:1	SMA
S8	HS-Farbe	Vollstrich	1200 µm (Probe S7 zweifach 2x 600 µm)	Typ II	2x 500	600-1180	2:1	SMA
S9	2K HS-Farbe	Vollstrich	400 µm	Typ I	400	425-850	3:1	SMA
S10	2K HS-Farbe	Vollstrich	300 µm	Typ I	400	425-850	3:1	SMA
W1	Dispersionsfarbe	Vollstrich	300 µm	Typ I	300	-	70:30	SMA
W2	Dispersionsfarbe	Vollstrich	600 µm	Typ II	600	425-1400	70:30	SMA
W3	Dispersionsfarbe	Vollstrich	600 µm	Typ II	600	425-1400	70:30	SMA
W4	Dispersionsfarbe	Vollstrich	600 µm	Typ II	500	425-1400	70:30	SMA
Y1	Kaltspritzplastik	Vollstrich	600 µm	Typ I	600	-	75:25	SMA
Y2	Kaltspritzplastik	Vollstrich	600 µm	Typ II	600	212-1400	70:30	SMA
K1	Kaltplastik	Vollstrich	2000 µm	Typ II	450	425-1180	3:1	OPA
K2	Kaltplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ II	400	-	75:25	OPA
K3	Kaltplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ II	400	425-1400	70:30	OPA
H1	Thermoplastik	Vollstrich	2000 µm	Typ I	350	425-850	3:1	SMA
H2	Thermoplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ I	300	600-125	3:1	SMA
H3	Thermoplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ I	300	850-125	3:1	SMA
H4	Thermoplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ I	400	425-850	3:1	SMA
H5	Thermoplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ I	350	180-850	3:1	SMA
H6	Thermoplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ II	400	600-1180	2:1	SMA
H7	Thermoplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ II	350	425-1180	3:1	SMA
H8	Thermoplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ II	450	125-1180	3:1	SMA
H9	Thermoplastik	Vollstrich	3000 µm	Typ II	450	125-1180	3:1	SMA

F1	Markierungsfolie	nicht profiliert	1800 µm	Typ I	-	-	-	SMA
F2	Markierungsfolie	profiliert	2500 µm	Typ II	-	-	-	SMA
F3	Markierungsfolie	profiliert	3000 µm	Typ II	-	-	-	SMA

Tabelle 3: Übersicht der untersuchten Proben

*gemäß Produktbezeichnung **wie der BAST mitgeteilt

2.3 Prüfungen

2.3.1 Dauerhaftigkeitsprüfung auf der RPA

Die Proben wurden einer regulären Dauerhaftigkeitsprüfung gemäß TP M 18 und DIN EN 13197 unterzogen. Dazu wurden sie in der RPA der BAST (s. Bild 3) bis zu einer vom Markierungsmaterial abhängigen und vom Antragsteller beantragten Verkehrsklasse überrollt und zyklisch gemessen.

Die Muster auf MA und SMA wurden jeweils im selben Prüflauf belastet und gemessen.



Bild 3: Rundlaufprüfanlage der BAST (Bild: BAST)

Bei den Proben auf MA wurden gemäß TP M 18 jeweils 3 Muster in der RPA belastet. Bei den Proben auf SMA wurden nach Möglichkeit 3 Muster überrollt; teilweise konnten aus Kapazitätsgründen nur zwei Muster untersucht werden.

2.3.2 Untersuchungen an den Prüfkörpern aus SMA

An den unbeschichteten Prüfkörpern aus SMA wurde mit dem sog. „Sandfleckverfahren“ nach DIN EN 13036-1 stichprobenartig die Rautiefe bestimmt. Zudem wurde die Griffbarkeit nach DIN EN 1436 an jeweils einem Prüfkörper aus MA und SMA exemplarisch bestimmt.

Die Maße der Prüfkörper wurden mit einer Schieblehre erfasst.

Die Prüfkörper wurden visuell im Hinblick auf Ausbrüche, Unebenheiten und sonstige Herstellungsfehler untersucht.

Während und nach der Belastungsprüfung in der RPA erfolgten visuelle Prüfungen, um etwaige (unerwünschte) Veränderungen der Oberfläche oder Nachverdichtungen zu identifizieren.

2.3.3 Untersuchung von nicht gesägten Asphaltprüfkörpern

Im ersten Schritt wurde ein kleinerer Prüfkörper aus SMA 8 S mit Länge: ca. 32 cm und Breite: ca. 26 cm untersucht, der im Vergleich zu den anderen Prüfkörpern ohne Sägen der Kanten hergestellt wurde. Dazu wurde ein kleinerer Rahmen verwendet, der die Innenmaße entsprechend den Außenmaßen des Prüfkörpers aufweist. Dieser Prüfkörper wurde im Labor in 5 Streifen gesägt und anschließend die Raumdichte nach den TP Asphalt-StB, Teil 6 an diesen Streifen bestimmt.

Im zweiten Schritt wurden sechs Prüfkörper bei der RPA-Prüfung eingesetzt, die aus den Randbereichen der verdichteten Asphaltplatte gewonnen wurden. Diese Prüfkörper weisen jeweils zwei nicht gesägte Seiten auf. An diesen Proben wurde untersucht, ob sich die nicht gesägten Seiten insbesondere im Hinblick eventuelle Nachverdichtungen und Kornausbrüche anders verhalten als die gesägten Seiten.

2.3.4 Visuelle Prüfungen am Markierungssystem

Von den einzelnen Proben wurden je Messzyklus Fotos (Draufsicht) angefertigt.

Die Proben wurden zudem stichprobenartig visuell im Hinblick auf das Abriebverhalten und Haftungsprobleme begutachtet.

2.3.5 Messungen am Markierungssystem

Die folgenden verkehrstechnischen Eigenschaften wurden im Neuzustand und zu den entsprechenden Messzyklen gemäß TP M 18 gemessen:

- Leuchtdichtekoeffizient bei diffuser Beleuchtung Q_d
- Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion (trocken) $R_{L,trocken}$
- Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion (feucht) $R_{L,feucht}$ (nur bei Typ II-Systemen)
- Griffigkeit
- Farbort (Normfarbwertanteile x, y)
- Verschleiß (Prozentanteil der verbliebenen Markierungsfläche)

Die Durchführung der Messungen erfolgte nach DIN EN 1436, ZTV M 13 und TP M 18.

Für die Messungen von R_L und Q_d wurde das Messgerät „ZRM 6013+“ der Firma Zehntner eingesetzt. Der Farbort wurde mit dem Messgerät „MiniScan EZ 4500 L“ der Firma Hunter-Lab gemessen. Die Griffigkeitsmessung erfolgte mit einem Skid Resistance Tester. Alle Messgeräte unterliegen einer regelmäßigen Kalibrierung.

2.3.6 Untersuchung des Durchblutens

Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- a) Regelmäßige visuelle Überprüfungen.
- b) Regelmäßige Messung von Q_d , $R_{L,trocken}$ und des Farborts nach Abschluss der Eignungsprüfung an einer Stichprobe von HS-Farben (Proben S6 bis S11).

2.4 Auswertung

2.4.1 Auswertung des Prüflaufs

Die Auswertung des Prüflaufs sowie die Messungen an Markierungssystemen nach 2.3.4 erfolgte analog zu einem regulären Lauf im Rahmen der Eignungsprüfung gemäß TP M 18, Abschnitt 4.4.3.

2.4.2 Bewertung der Ergebnisse der Prüfungen an den SMA-Prüfkörpern

Aus der nach DIN EN 13036-1 ermittelten Rautiefe wurde die Rauheitsklasse nach DIN EN 13197 ermittelt.

Die erfassten Maße wurden mit den Toleranzen der BASt für die Ausschreibung von Prüfkörpern abgeglichen und etwaige Schäden an den Prüfkörpern notiert.

Die Verformungsbeständigkeit der Prüfkörper aus SMA wurde anhand der visuellen Prüfungen nach 2.3.2 analysiert.

2.4.3 Einfluss der Rauigkeit auf das Abriebverhalten

Der Einfluss der Rauigkeit auf das Abriebverhalten wurde anhand der visuellen Prüfungen nach 2.3.4, dem Prozentanteil der verbliebenen Markierungsfläche nach 2.3.4 sowie der Fotos aus dem Prüflauf bewertet.

2.4.4 Einfluss der Rauigkeit auf die verkehrstechnischen Eigenschaften

Für die Untersuchung des Einflusses auf die verkehrstechnischen Eigenschaften wurde im ersten Schritt eine **Differenzbildung** zwischen den Messergebnissen nach 2.3.5 auf Prüfkörpern aus Gussasphalt und Splittmastixasphalt je Markierungssystem und je Messzyklus vorgenommen. Dafür wurde das Ergebnis auf RG2-Prüfkörpern vom Ergebnis der RG1-Prüfkörper subtrahiert, d. h. ein positiver Wert steht für höhere Werte auf den RG2-Prüfkörpern und umgekehrt. Zudem wurden die entsprechenden Klassen nach EN 1436 angegeben und Unterschiede bei den Klasseneinteilungen zwischen RG1 und RG2 kenntlich gemacht. Bei der Griffigkeitsmessung erfolgte die Angabe der Ergebnisse sowie Einstufung in Klassen nach EN 1436 bei den RG2-Prüfkörpern abweichend von den TP M 18 ohne Addition von fünf Zusatzpunkten (siehe Abschnitt 4.4.4 der TP M 18), damit die Messwerte direkt miteinander verglichen werden können. Die Ergebnisse sind auszugsweise in Kapitel 3 bzw. vollständig im Anhang aufgeführt.

Der Schwerpunkt der Auswertung wurde auf die Auswertung der **prüfungübergreifenden Differenzen** zwischen den Ergebnissen auf RG1- und RG2-Prüfkörpern gelegt. Hierzu wurden die Daten in **6 Gruppen** in Abhängigkeit des Markierungsstoffs unterteilt (z. B. Bildung der Gruppen „HS-Farben“ und „Kaltplastiken“). Für die Markierungssysteme in einer Gruppe wurde das arithmetische Mittel aus den einzelnen Differenzen der Ergebnisse zwischen RG1- und RG2-Prüfkörpern je Messzyklus berechnet (absolut und prozentual). Mit dem so bestimmten Mittelwert steht für die weitere Deutung der Ergebnisse ein Kennwert je Probe zur Verfügung, welcher die gesamte Prüfdauer vom Neuzustand bis zum Ende der Belastung zusammenfasst. Hierfür wurden die Messergebnisse ab einschließlich 10.000 Überrollungen bis Ende der Belastungsdauer berücksichtigt. Auch bei der Griffigkeit wurden die Werte ab einschließlich 10.000 Überrollungen verwendet. Anschließend wurde aus den Mittelwerten der einzelnen Proben innerhalb einer Gruppe jeweils das arithmetische Mittel berechnet. Zudem wurden ergänzend die Standardabweichung und der Median je Gruppe bestimmt. Es ist zu beachten, dass in die Berechnung des arithmetischen Mittels und des Medians der einzelnen Gruppen vereinfachend Ergebnisse von Prüfungen an Proben eingingen, die bis zu unterschiedlichen Verkehrsklassen durchgeführt wurden. Beispiel: Die Gruppe „HS-Farben“ beinhaltet Typ I- und Typ II-Systeme, welche bis Verkehrsklasse P5 oder P6 belastet wurden. Eine weitere Differenzierung innerhalb der o. g. Gruppen z. B. nach Typ I/II oder der Schichtdicke erfolgte im Hinblick auf den teils geringen Probenumfang nicht. Zusammenfassend wurde die Analyse auf die zwei Über-Gruppen, dünn- und dickschichtige Systeme, angewandt.

Weiterhin wurde untersucht, ob der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Messungen auf MA- und SMA-Prüfkörpern genauer als bei dem zuvor beschriebenen Vergleich der Mittelwerte durch eine **Regressionsanalyse** beschrieben werden kann. Hierzu wurde angenommen, dass ein linearer Zusammenhang zwischen den Ergebnissen besteht, d. h.

zur Beschreibung des Zusammenhangs wird eine lineare Funktion ($\hat{y} = m \cdot x + b$) verwendet. Mit den Variablen „MA“ und „SMA“ kann die Funktion wie folgt geschrieben werden:

$$\hat{y}_{\text{SMA}} = m \cdot x_{\text{MA}} + b$$

„x_MA“ steht für das Ergebnisse der Messung einer bestimmten verkehrstechnischen Eigenschaft (z. B. R_L) der Markierungssysteme einer Gruppe (z. B. HS-Farben) auf Prüfkörpern aus MA, während „ \hat{y}_{SMA} “ für das zugehörige Ergebnis auf Prüfkörpern aus SMA gilt. Mit „x_MA“ als sog. Prädiktor soll also „ \hat{y}_{SMA} “ als abhängige Variable vorhergesagt werden. „m“ gibt die Steigung der Geraden an; b den Ordinatenabschnitt. Ein Nulldurchgang der Geraden wurde bei der Regressionsrechnung nicht erzwungen.

In die Regressionsrechnung gehen die einzelnen Messergebnisse je Messzyklus (ab einschließlich 10.000 ÜR) für alle Markierungssysteme in einer Gruppe ein. Die Güte der Regression wurde anhand des Bestimmtheitsmaßes R^2 sowie Betrachtung des Streudiagramms bewertet. Ein Wert von $R^2 = 1$ bedeutet einen vollständig linearen Zusammenhang zwischen x_{MA} und \hat{y}_{SMA} . Je kleiner R^2 ist, desto weniger strikt ist der lineare Zusammenhang ausgeprägt ($R^2 = 0$: kein linearer Zusammenhang der Variablen).

2.4.5 Einfluss der Rauigkeit auf die Streuung der Einzelmesswerte

Zur Bewertung des Einflusses der Rauigkeit auf die Streuung der Einzelmesswerte wurde explorativ an einer Teilmenge von insgesamt 8 Proben (7 HS-Farben, 1 Dispersionsfarbe) die Standardabweichung der Einzelmesswerte bestimmt. Im Rahmen der Eignungsprüfung werden gemäß den TP M 18 die Ergebnisse als Mittelwerte aus mehreren Einzelmessungen angegeben. Bei den lichttechnischen Merkmalen $R_{L,\text{trocken}}$ und $R_{L,\text{feucht}}$ sind dies 9 Einzelmessungen, die je Messzyklus an den 3 Prüfkörpern erfasst werden. Bei der Griffigkeit wird je Prüfkörper nach TP M 18 ein Messergebnis bestimmt, welches sich aus mindestens fünf Einzelmessungen zusammensetzt. Für die Auswertung der Streuung bei den SRT-Messungen werden die 3 Einzelwerte herangezogen. Weiterhin wurde die Auswertung auf die Messzyklen 0,01 Mio. ÜR und 1,0 Mio. ÜR beschränkt.

Zur Bewertung des Einflusses der Rauigkeit auf die Streuung werden die resultierenden Standardabweichungen für die MA- und SMA-Proben verglichen (absolute Größe und Differenzbildung, Reihung nach Größe der Standardabweichung).

2.4.6 Einfluss zweier Herstellungsvarianten der Prüfkörper auf die Verformungsbeständigkeit

Die ermittelten Raumdichten wurden im Hinblick auf Unterschiede zwischen den Randbereichen und den mittigen Bereichen verglichen.

Die Ergebnisse der visuellen Untersuchung der Prüfkörper während der RPA-Prüfung dienen der Bewertung der Verformungsbeständigkeit beider Varianten.

2.4.7 Bewertung der Anfälligkeit zum Durchbluten auf SMA

Zur Bewertung der Anfälligkeit des Markierungssystems zum Durchbluten auf SMA-Prüfkörpern wurde das Markierungssystem während der Prüfdauer auf etwaige braune Verfärbungen visuell untersucht und die Ergebnisse der Messung des Farborts und von Qd berücksichtigt.

3 Darstellung und Interpretation der Ergebnisse

3.1 Eignung des SMA für die Eignungsprüfung

3.1.1 Bewertung des Asphalts vor der RPA-Prüfung

Die visuellen Prüfungen vor der Belastung in der RPA ergaben, dass die SMA-Prüfkörper klar definierte Kanten aufwiesen und die Vorgaben an die Maßhaltigkeit erfüllten. Auf der Oberfläche der Prüfkörper waren in seltenen Fällen einzelne Gesteinskörnungen ausgebrochen. Es wurden nur SMA-Prüfkörper verwendet, bei denen sich etwaige Kornausbrüche nicht im belasteten Bereich befanden.

Weiterhin gab es einzelne Prüfkörper, bei denen das Bitumen an der Oberfläche nicht gleichmäßig verteilt war. So wurden bei diesen Proben im Rahmen der für das Herstellungsverfahren üblichen Schwankungen Bindemittelanreicherungen festgestellt.

Die Oberfläche der untersuchten Prüfkörper aus SMA wies eine Rautiefe auf, die der Rauheitsklasse „RG2“ nach EN 13197 entspricht (Rautiefe $> 0,6$ mm und $\leq 0,9$ mm), siehe Tabelle 4.

Rauheitsklasse	Rautiefe in mm, nach EN 13036-1
RG1	$\leq 0,6$
RG2	$> 0,60$ und $\leq 0,90$
RG3	$> 0,90$ und $\leq 1,20$
RG4	$> 1,20$

Tabelle 4: Rauheitsklassen gemäß DIN EN 13197

Die exemplarische Messung der Griffigkeit an einzelnen unbeschichteten Asphaltoberflächen ergab folgende Messwerte:

- Prüfkörper aus MA ohne Markierungssystem: 63 SRT-Einheiten
- Prüfkörper aus SMA ohne Markierungssystem: 54 SRT-Einheiten

Das Ergebnis der SRT-Messung verdeutlicht, dass die gröbere Struktur des SMA nicht automatisch zu höheren SRT-Werten als beim MA führt. Die höheren Werte des fein texturierten Gussasphalts können darauf zurückgeführt werden, dass bei der Griffigkeitsmessung mit dem SRT-Pendel nach DIN EN 1436 bzw. DIN EN 13036-4 die Mikrotextur bewertet wird, siehe beispielsweise Abschnitt 5.3 des M BGriff (FGSV 2012). Es ist anzunehmen, dass der unbeschichtete SMA ohne Nachstreumittel eine weniger raue Mikrotextur aufweist als der MA.

3.1.2 Bewertung des Verhaltens der SMA-Prüfkörper bei der RPA-Prüfung

Die mechanische Belastung während der RPA-Prüfung hat zu keiner erkennbaren Verformung bzw. Nachverdichtung der SMA-Prüfkörper geführt.

Haftungsprobleme bzgl. des Verbunds zwischen dem SMA und dem Markierungssystem waren nicht erkennbar.

An einzelnen Mustern sind im Bereich, der nicht vom Prüfreifen überrollt wird, Ausbrüche von einzelnen Körnern an der Oberfläche des SMA aufgetreten. Die Kornausbrüche sind auf einzelne Prüfkörper beschränkt gewesen.

Bei Probe S8 wurde im belasteten Bereich eine Abplatzung des Markierungsmaterials festgestellt, siehe Bild 4.

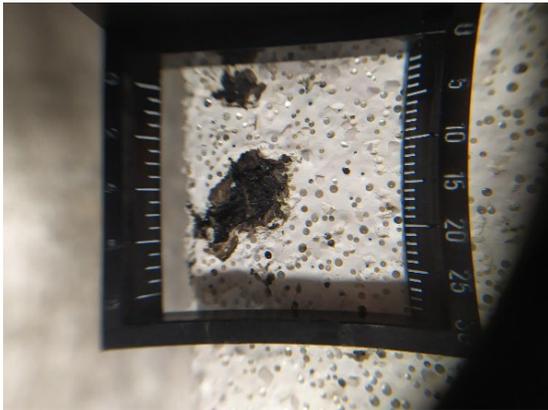


Bild 4: Abplatzung bei Probe S8 in der Draufsicht (Vergrößerung mit Handlupe)

3.2 Einfluss des Herstellungsverfahrens

Die Bestimmung der Raumdichte an den aus einem nicht gesägten Prüfkörper gewonnenen Asphaltstreifen ergab, dass die Streifen am linken und rechten Rand des Prüfkörpers eine nur geringfügig kleinere Raumdichte ($2,381 \text{ g/cm}^3$) auf als die Streifen aus der Mitte des Prüfkörpers ($2,387$ bis $2,389 \text{ g/cm}^3$) aufweisen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verdichtung der Randbereiche eines nicht gesägten Prüfkörpers marginal kleiner sein kann als bei Prüfkörpern, die aus den mittigen Bereichen der Asphaltplatte herausgesägt werden.

Zur Überprüfung, ob die festgestellten Verdichtungsunterschiede einen Einfluss auf die RPA-Prüfung haben, wurden die 6 Proben mit gesägten und nicht gesägten Randbereichen in der RPA belastet. Bei der visuellen Untersuchung dieser Proben wurden keine Unterschiede zwischen nicht gesägten und gesägten Seiten der Prüfkörper festgestellt. Beispielsweise sind keine Nachverdichtungen an den nicht gesägten Seiten (Randbereich) aufgetreten.

3.3 Einfluss der Rauigkeit auf das Abriebverhalten

Die Untersuchungsergebnisse lassen auf ein anderes Abriebverhalten bei den RG2-Proben als bei den RG1-Proben schließen.

So kann Abrieb bei dünnenschichtigen HS-Farben auf MA bei fortgeschrittener Beanspruchung durch flächige Materialverluste gekennzeichnet sein (s. Bild 5).

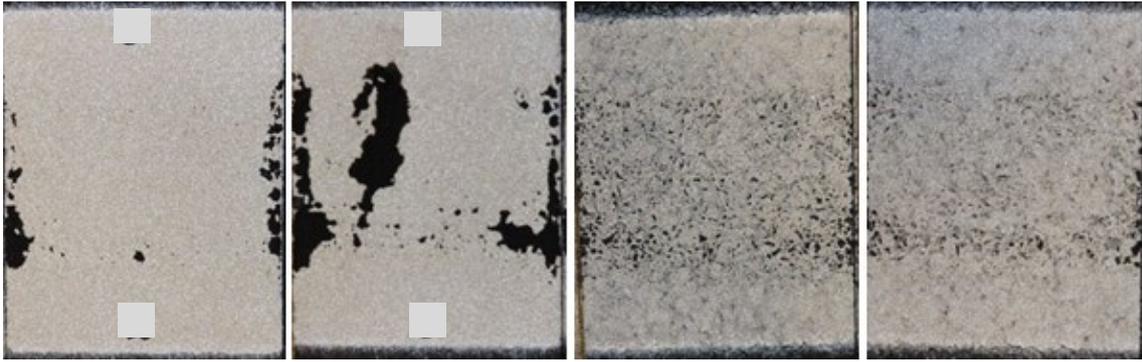


Bild 5: Beispiele für Abrieb bei HS-Farben nach 1 Mio. ÜR. Von Links nach Rechts: Prüfkörper 2 und 3 von Probe S2 mit 300 µm auf RG1-Prüfkörper, Probe S2 auf RG2-Prüfkörper, Probe S5 zweifach appliziert (2x300 µm) auf RG2-Prüfkörper

Exemplarisch sind zwei Muster von Probe S2 auf MA (RG1) nach 1 Mio. Überrollungen in Bild 5 (links) dargestellt. Auch wenn der Abrieb unterschiedlich stark ausgeprägt ist, ist erkennbar, dass der Abrieb nach 1 Mio. Überrollungen überwiegend in zusammenhängenden, flächigen Bereichen auftritt. Die verschlissenen Flächen sind nicht gleichmäßig über die überrollten Bereiche des Prüfkörpers verteilt. Bei den Markierungen auf SMA treten wiederum punktuelle Abtragungen von Markierungsmaterial auf (s. Bild 5), wogegen flächige Abplatzungen nicht beobachtet wurden. Stellen, an denen Markierungsmaterial abgetragen wurde, sind über die gesamte Rollspur des Reifens verteilt. Sie finden sich jedoch primär an den höchsten Punkten der Oberflächenstruktur des SMA sowie in den Bereichen, in denen das Reifenprofil Kontaktflächen zur Markierung ausbildet.

In Bild 6 ist Probe S4 aus HS-Farbe auf MA (links) und SMA (rechts) nach jeweils 0,5 Mio. Überrollungen dargestellt. Bei dem hier dargestellten anfänglichen Abrieb ist das Erscheinungsbild noch relativ ähnlich: Punktueller Abrieb tritt bei beiden Proben in den Bereichen des Reifenprofils auf, in denen die höchste Belastung besteht.

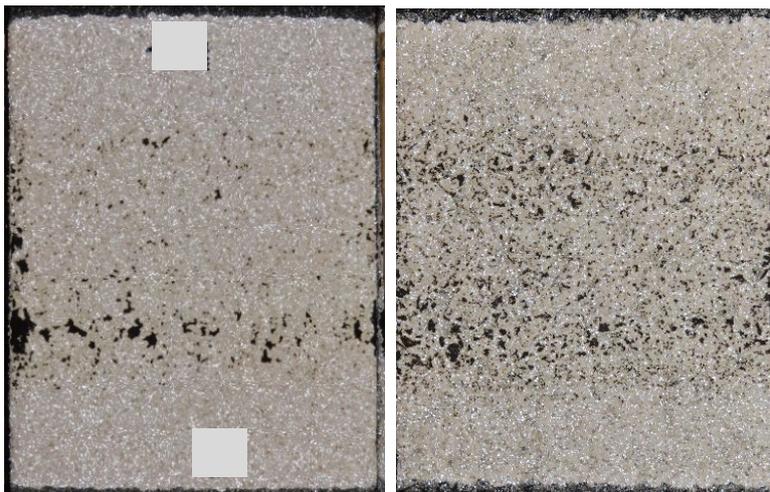


Bild 6: Probe S4 auf MA (links) und auf SMA (rechts), beide Proben nach jeweils 0,5 Mio ÜR

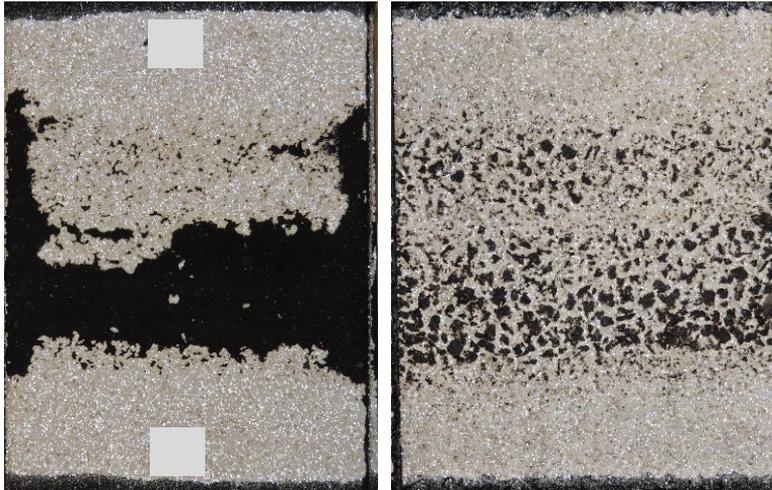


Bild 7: Probe S4 auf MA (links) und auf SMA (rechts), beide Proben nach jeweils 2,0 Mio ÜR

Mit fortschreitendem Abrieb treten die zuvor beschriebenen Unterschiede zwischen MA und SMA deutlicher hervor: Nur beim MA werden aufgrund der fehlenden ausgeprägten Strukturierung der MA-Oberfläche ganze Flächen freigefahren. Bei SMA bleibt immer etwas vom Markierungsstoff in den Vertiefungen erhalten. Die starke Strukturierung schützt das dünn-schichtige Markierungssystem in den „Tälern“ weitgehend vor Verschleiß (s. Bild 7).

Der über die gesamte Belastungsfläche verteilte punktuelle Abrieb sowie das Fehlen von flächigen Abplatzungen, kann einerseits dadurch erklärt werden, dass die mechanische Belastung aufgrund der reduzierten Kontaktfläche und hieraus resultierenden Spannungsspitzen an den höchsten Punkten der Asphaltstruktur am stärksten ausgeprägt ist. An diesen Punkten wird das Markierungsmaterial rasch abgetragen. Andererseits ist das Markierungsmaterial in den Vertiefungen der Struktur weitgehend vor Verschleiß geschützt, ähnlich wie die Flanken einer Agglomeratmarkierung.

Das festgestellte unterschiedliche Abriebverhalten kann zugleich als Erklärungsansatz dienen, warum bei dünn-schichtigen Systemen auf RG2-Prüfkörpern tendenziell geringere Sichtbarkeiten ermittelt wurden: So erfährt das Markierungssystem in den höheren, besonders stark exponierten Bereichen der Asphaltstruktur eine größere Abriebbeanspruchung als auf der ebenen Struktur des MA. Dies führt nach unserem Verständnis dazu, dass die Nachstreumittel in den höheren Bereichen des SMA schneller verschliffen werden als auf der vergleichsweise flachen Oberfläche des MA. Die tiefer gelegenen Nachstreumittel werden von der Struktur des SMA abgeschattet und verlieren an Wirksamkeit.

Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass es in den besonders stark belasteten oberen Bereichen des SMA zu einer Freilegung der Gesteinskörnungen des Asphalts kommen kann. Nach Herauslösen der Nachstreumittel und Abtrag des Markierungsmaterials stellt in diesen Punkten die Gesteinskörnung die zu messende Oberfläche der Probe dar. Dies kann sich u. a. auf das Ergebnis der Griffigkeitsmessung auswirken. Das Bild 8 zeigt am Beispiel von Probe W2 die durch die Verschleißbeanspruchung freigelegte Oberfläche der Gesteinskörnungen des Asphalts.



Bild 8: Beispiel für freiefahrene Gesteinskörnungen bei einer Probe auf SMA (hier: Probe W2)

3.4 Einfluss der Rauigkeit auf die verkehrstechnischen Eigenschaften – Differenzbildung je Probe und Messzyklus

3.4.1 Allgemeine Darstellung

Exemplarisch für die grundlegende Auswertung in diesem Kapitel ist in Tabelle 5 die tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse der Messung von $R_{L,trocken}$ für Probe S1 aufgeführt.

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	417		284		-133	-30%
0	272		251		-21	-8%
0,01	436	R5	318	R5	-118	-27%
0,1	445	R5	301	R5	-144	-32%
0,2	445	R5	282	R4	-163	-37%
0,5	452	R5	288	R4	-163	-36%
1,0	450	R5	263	R4	-187	-42%

Tabelle 5: Ergebnis der Messung der Retroreflexion $R_{L,trocken}$ an Probe S1

In der Tabelle ist das Ergebnis der Messung von $R_{L,trocken}$ in Abhängigkeit der Anzahl der Überrollungen sowie der Asphaltorte dargestellt, siehe Spalten „Mittelwert“. In den Spalten „ Δ abs.“ und „ Δ %“ sind die Differenzen zwischen den Mittelwerten von SMA und MA in absoluten Zahlen (Einheit der betrachteten Kenngröße, hier „ $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ “) bzw. in Prozent. Die Angabe des arithmetischen Mittels in der Zeile „Alle“ basiert auf dem Mittelwert aller je Messzyklus ermittelten Differenzen. Die Klasseneinteilung der Mittelwerte basiert auf DIN EN 1436. Gelbe Hinterlegungen in der Spalte „erreichte Klasse“ dienen der Hervorhebung von Messzyklen, bei denen beim SMA tiefere Klassen als beim MA festgestellt wurden. Zelleneinträge in roter Schrift kennzeichnen Unterschreitungen der Mindestanforderungen gemäß ZTV M 13 (siehe z. B. Tabelle A 4 im Anhang). Bei der Griffigkeit wurden Klassen rot geschrieben, wenn die Klasse „S1“ nach DIN EN 1436 ohne 5 Zusatzpunkte gemäß TP M 18 nicht erreicht wurde.

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	49		53		4,2	9,0%
0	64		66		1,7	2,6%
0,01	47	S1	52	S2	4,9	10,4%
0,1	48	S1	52	S2	4,2	8,8%
0,2	46	S1	50	S2	3,8	8,3%
0,5	44	S0	49	S1	5,1	11,6%
1	44	S0	50	S2	5,5	12,3%

Tabelle 6: Ergebnis der Messung der Griffigkeit (SRT-Wert) an Probe S1

Beispielhaft hierfür sind in der Tabelle 6 die Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen sowie die rote Hervorhebung von Klasse S0 nach EN 1436 dargestellt. Bei allen Griffigkeitsmessungen werden – unabhängig von der Oberfläche des Prüfkörper – die 5 Zusatzpunkte nach TP M 18 nicht berücksichtigt (s. Abschnitt 2.4.4).

Die vollständigen Ergebnisse von Probe S1 und aller weiteren Proben sind in tabellarischer Form im Anhang aufgeführt.

3.4.2 Einfluss der Rauigkeit auf die Klasseneinteilung nach DIN EN 1436 und Erreichung der Mindestanforderungen nach ZTV M 13

Im Folgenden werden die Ergebnisse vergleichend für MA und SMA im Hinblick auf die Klasseneinteilung nach DIN EN 1436 beschrieben sowie mit den Anforderungen nach ZTV M 13 abgeglichen. Hinsichtlich der folgenden Bewertung der Klasseneinteilungen bei MA- und SMA-Prüfkörpern ist zu beachten, dass die Einteilungen je Messzyklus betrachtet werden und nicht die abschließende Einstufung für den Neu- und Gebrauchszustand.

HS-Farben

Die Verwendung der raueren SMA-Prüfkörpern führte bei HS-Farben im Vergleich zu den MA-Prüfkörpern teilweise zu einer Einstufung in eine geringere Klasse für die Tages- und/oder Nachtsichtbarkeit nach DIN EN 1436. Bei der Tagessichtbarkeit (Q_d) wurden geringere Klassen bei zwei Proben festgestellt; bei Probe S2 sogar ein Unterschied von bis zu zwei Klassen (s. Anhang). Bei der Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$ treten bei 5 von insgesamt 10 Proben geringere Einstufungen (um eine Klasse) auf. Bei $R_{L, feucht}$ wurden bei allen Typ II-Systemen geringere Klasseneinteilungen festgestellt, maximal um zwei Klassen. Bei der Griffigkeit ergaben sich - anders als bei der Sichtbarkeit - bei den SMA-Proben bei allen 10 Systemen höhere Klasseneinteilungen. So weist jede der untersuchten Proben ein oder mehrere Messzyklen auf, bei denen beim SMA die Ergebnisse eine oder zwei Klassen höher eingestuft wurden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass trotz geringerer Werte von R_L und Q_d und teils geringeren Klassen bei den Proben auf RG2-Prüfkörpern die Mindestanforderungen der ZTV M 13 an den Neu- und Gebrauchszustand durchgängig erfüllt werden. Die Verwendung von SMA-Platten führte nicht zu einer Unterschreitung der Anforderungen der ZTV M 13.

Dispersionsfarben

Bei der Tagessichtbarkeit Q_d ist nur bei dem Muster W1 mit Schichtdicke 300 μm (Typ I) auf SMA eine im Vergleich zum RG1-Prüfkörper geringere Klasse (Q4 statt Q5) festgestellt worden.

Im Hinblick auf $R_{L,\text{trocken}}$ wurden Unterschiede bei der Klasseneinteilung nur bei Probe S4 festgestellt. Bei diesem Markierungssystem lagen insgesamt geringe R_L -Werte vor, so dass sowohl auf MA als auch SMA die Anforderungen nach ZTV M 13 nicht erfüllt wurden. Bei den anderen Proben ist zu berücksichtigen, dass die R_L -Werte insgesamt auf einem vergleichsweise hohen Niveau oberhalb der unteren Grenze von Klasse R5 ($300 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$) liegen, so dass die Werteunterschiede nicht zu einer abweichenden Klasseneinteilung führen.

Bei den drei Typ II-Markierungen kam es bei den RG2-Prüfkörpern zur Einstufung in eine oder teils zwei tiefere Klasse RW nach EN 1436. Die Mindestanforderungen an Q_d und R_L gemäß ZTV M 13 werden nur bei 10.000 $\ddot{U}R$ von Probe S4 auf SMA unterschritten.

Analog zu den HS-Farben wurden im Vergleich zum MA bei der Griffigkeit keine geringeren Klassen beim SMA festgestellt, jedoch um ein bis zwei Klassen höhere Einstufungen beim SMA. Die Klasseneinteilung bei Probe S4 war übereinstimmend, bei generell geringen Werten auf SMA und MA.

Kaltspritzplastiken

Zu unterschiedlichen Klasseneinteilungen oder Unterschreitungen der Mindestanforderungen nach ZTV M 13 ist es bei $R_{L,\text{trocken}}$ und Q_d nicht gekommen. Lediglich bei $R_{L,\text{feucht}}$ wurden auf RG2-Prüfkörpern geringere Klassen (Differenz von maximal einer Klasse) festgestellt, jedoch keine Unterschreitungen hinsichtlich der ZTV M 13-Mindestwerte. Bei der Griffigkeit sind die Klassen beim SMA entweder gleich oder um ein bis zwei Klassen höher als beim MA.

Thermoplastiken

Zwischen den RG1- und RG2-Proben ist es bei der Nachsichtbarkeit R_L zu unterschiedlichen Klasseneinteilungen der Ergebnisse gekommen, wobei auch Unterschiede von mehreren Klassen aufgetreten sind. Bei $R_{L,\text{trocken}}$ wurden die Mindestanforderungen der ZTV M 13 für den Gebrauchszustand (R3 bei RPA-Prüfung) auf rauen Prüfkörpern bei mehreren Proben in einzelnen Messzyklen nicht erfüllt. Bei $R_{L,\text{feucht}}$ wurden keine Unterschreitungen der Mindestwerte nach ZTV M 13 bei den RG2-Proben festgestellt. Dagegen ergaben sich im Vergleich zwischen RG1 und RG2 bei Q_d bei keiner Probe abweichende Klassifizierungen oder Unterschreitung der Mindestanforderungen nach ZTV M 13. Die Absolutwerte der Griffigkeit waren mehrheitlich auf einem sehr geringen Niveau, so dass vielfach ohne die Zusatzpunkte nach TP M 18 die Mindestklasse nach EN 1436 S1 nicht erreicht wurde.

Kaltplastiken

Im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Klasseneinteilung nach DIN EN 1436 wurden bei Q_d keine Unterschiede festgestellt. Bei $R_{L,\text{trocken}}$ und $R_{L,\text{feucht}}$ treten unterschiedliche Klasseneinteilungen zwischen RG1 und RG2 auf. Bei einer Probe (K1) beläuft sich diese Differenz teilweise auf zwei Klassen, wobei die Anforderungen an $R_{L,\text{trocken}}$ nach ZTV M 13 (\geq Klasse R3 bei der RPA-Prüfung) bei dieser Probe auf RG4-Prüfkörpern nicht erreicht werden.

Auch bei Probe K3 wurden die Anforderungen an den Neuzustand an $R_{L,trocken}$ nach ZTV M 13 nicht erfüllt (s. Anhang). Es ist wie eingangs erwähnt zu beachten, dass bei diesen Proben keine SMA-Prüfkörper, sondern rauere Prüfkörper aus OPA verwendet wurden (RG4 statt RG2).

Markierungsfolien

Bei Probe F2 wurden sowohl auf MA als auch auf SMA im Neuzustand (10.000 ÜR) die Mindestanforderungen an Q_d gemäß ZTV M 13 nicht erreicht. Zudem wurden die Anforderungen an die Griffigkeit teilweise bei F2 auf MA und SMA nicht erreicht (ohne die 5 Zusatzpunkte). Bei Probe F3 wurde ausschließlich bei 1 Mio. Überrollungen auf SMA nur Klasse S1 erreicht, während auf MA das Ergebnis als Klasse S2 eingestuft wurde.

3.5 Einfluss der Rauigkeit auf die verkehrstechnischen Eigenschaften – Differenzbildung je Probe bei Mittelung über alle Überrollungen

Um neben der Klasseneinteilung den Einfluss der Prüfkörperrauigkeit näher quantifizieren zu können, wird im Folgenden die Größe der Abweichungen als Differenz der Messwerte dargestellt, wobei wie in Abschnitt 2.4.4 beschrieben, eine Mittelung der Differenzen zwischen MA und SMA von 10.000 ÜR bis zum Ende der Belastung je Probe vorgenommen wird. Abschließend wird ein Mittelwert für die gesamte betrachtete Gruppe angegeben und interpretiert.

3.5.1 HS-Farben

Allgemein

Die über die gesamte RPA-Prüfung von 10.000 ÜR bis zum Ende der Belastung gemittelten Differenzen zwischen den auf MA und SMA ermittelten Ergebnissen sind für die 10 untersuchten Proben aus HS-Farben in Tabelle 7 aufgeführt. Zudem sind das arithmetische Mittel, die Standardabweichung sowie der Median für alle Proben in der Gruppe dargestellt. Ergänzend sind die o. g. Kennwerte getrennt für Proben mit 300 μm sowie 600 μm Schichtdicke dargestellt.

Probe Dicke, Typ	Q _d		R _{L,trocken}		R _{L,feucht}		Griffigkeit	
	Δ abs. Ø ab 0,01	Δ% Ø ab 0,01	Δ abs. Ø ab 0,01	Δ% Ø ab 0,01	Δ abs. Ø ab 0,01	Δ% Ø ab 0,01	Δ abs. Ø ab 0,01	Δ% Ø ab 0,01
S1 300 I	-15,8	-6,6%	-155,2	-34,8%			4,7	10,3%
S2 1x300 I	-71,2	-31,5%	-60,9	-23,4%			6,8	15,1%
S3 600 II	3,8	1,6%	-158,6	-31,4%	-70,5	-29,4%	3,2	7,2%
S4 600 II	-36,5	-16,0%	-146,3	-28,2%	-20,3	-14,4%	6,2	14,6%
S5 2x300 I	-4,9	-2,2%	-26,0	-10,0%			5,6	12,5%
S6 600 II	-25,6	-10,5%	-140,0	-29,7%	-53,1	-35,6%	2,1	5,1%
S7 1x600 II	-6,2	-2,4%	-151,0	-30,4%	-85,1	-38,9%	1,0	2,3%
S8 2x600 II	9,9	4,2%	-55,3	-9,6%	-84,7	-37,4%	-0,4	-1,0%
S9 400 I	-27,7	-10,4%	52,4	13,3%			6,6	16,5%
S10 300 I	-33,9	-12,7%	34,9	11,3%			10,7	27,5%
Mittel	-20,8	-8,7%	-80,6	-17,3%	-62,8	-31,1%	4,6	11,0%
StAbw	23,7	10,3%	81,3	17,8%	27,1	10,0%	3,3	8,2%
Median	-20,7	-8,5%	-100,4	-25,8%	-70,5	-35,6%	5,2	11,4%
Mittel (300 u. 400 µm)	-37,2	-15,3%	-32,2	-8,4%			7,2	17,3%
StAbw (300 u. 400 µm)	23,9	11,1%	96,0	24,4%			2,5	7,3%
Median (300 u. 400 µm)	-30,8	-11,6%	-13,0	-6,1%			6,7	15,8%
Mittel (≥ 600 µm)	-9,9	-4,2%	-112,9	-23,2%	-62,8	-31,1%	2,9	6,8%
StAbw (≥ 600 µm)	17,8	7,6%	57,0	10,5%	27,1	10,0%	2,6	6,0%
Median (≥ 600 µm)	-5,5	-2,3%	-143,1	-28,9%	-70,5	-35,6%	2,7	6,1%

Tabelle 7: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei HS-Farben

Die Sichtbarkeiten fallen bei RG2-Prüfkörpern tendenziell geringer aus als bei Markierungen auf RG1-Prüfkörpern, wogegen die Griffigkeit bei RG2-Prüfkörpern tendenziell höher ist als bei RG1-Prüfkörpern. Abweichend von diesen Tendenzen weisen die Proben S3 und S8 höhere Q_d-Werte auf RG2-Prüfkörpern auf als bei RG1. Die untersuchten 2K HS-Farben (Proben 9 und 10) fallen durch höhere R_{L,trocken}-Werte bei den RG2-Prüfkörpern auf (s. Bild 9). Die Nachsichtbarkeit bei Nässe, R_{L,feucht}, hebt sich von den anderen Merkmalen durch die größten Differenzen ab. Bei der Griffigkeit wurde im Vergleich zwischen RG1 und RG2 eine Zunahme von im Mittel ca. 5 SRT-Einheiten festgestellt.

Die Ergebnisse lassen zudem auf einen Einfluss der Schichtdicke schließen. Bei Systemen mit einer geringen Schichtdicke von 300 oder 400 µm sind die Unterschiede zwischen den Ergebnissen bei SMA und MA tendenziell größer als bei Systemen mit einer höheren Schichtdicke von ≥ 600 µm. Dies steht im Einklang mit der allgemeinen Beobachtung, dass bei dünnenschichtigen Systemen die Struktur des Asphalts einen stärkeren Einfluss ausübt. Die Mittelwerte von R_L weichen hiervon ab; können jedoch durch das abweichende Verhalten der Proben S9 und S10 (2K HS-Farben) erklärt werden. Bei Herausnahme der Ergebnisse der 2K HS-Farben würde die o. g. Tendenz auch für R_L gelten. Dies wiederum ist ein Hinweis auf einen weiteren Einflussfaktor (Materialart HS-Farbe vs. 2K HS-Farbe).

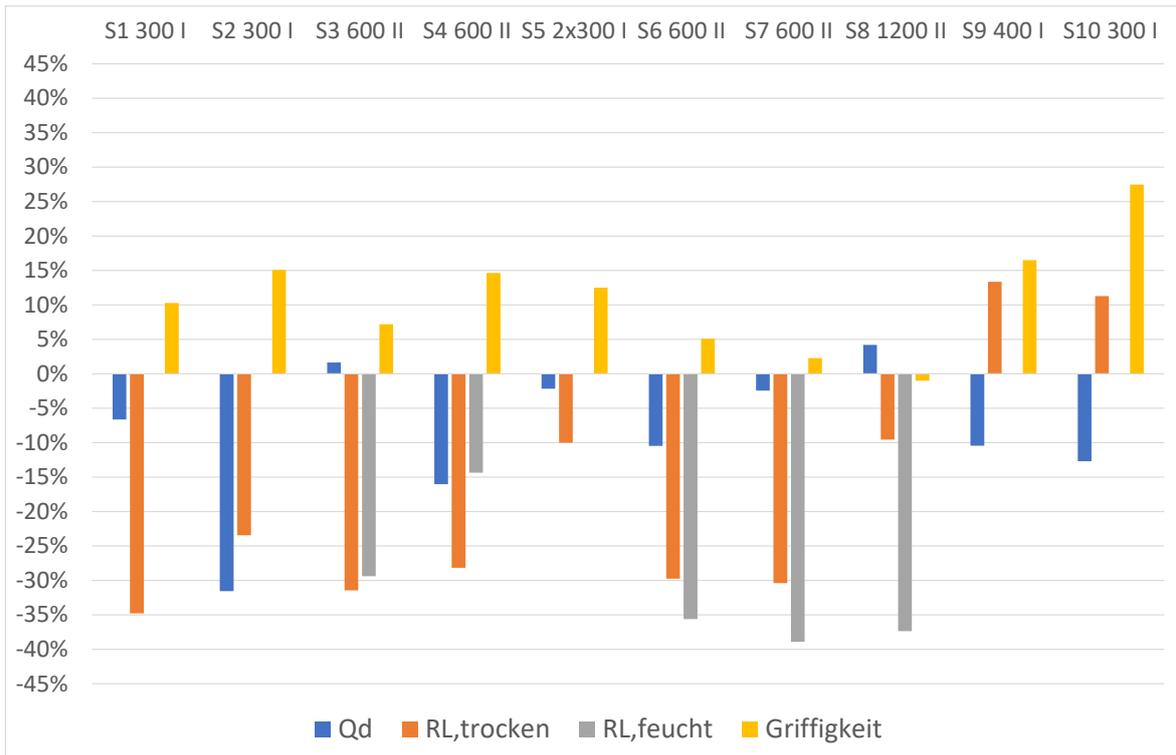


Bild 9: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei HS-Farben

Zur besseren Veranschaulichung sind in Bild 9 die Differenzen der Ergebnisse der RG1- und RG2-Proben für die verkehrstechnischen Eigenschaften dargestellt. Die grafische Darstellung verdeutlicht die zuvor beschriebenen Tendenzen bei den Sichtbarkeiten und der Griffigkeit, wobei insbesondere die nahezu konstante Zunahme bei der Griffigkeit sowie das abweichende Verhalten der 2K HS-Farben im Hinblick auf $R_{L,trocken}$ auffallen.

Der **Farbort** lag sowohl auf RG1- als auch RG2-Prüfkörpern durchgängig im Farbbereich gemäß DIN EN 1436. Die Proben S2 und S5 wurden auf SMA einfach (300 μm) und zweifach (2x300 μm) appliziert und die Ergebnisse mit dem identischen Markierungssystem auf MA verglichen. Auffällig ist, dass nur der Farbort des auf MA applizierten Systems bis Belastungsende vergleichsweise weit an den rechten Rand des Farbbereichs nach DIN EN 1436 wandert, nicht jedoch die Farborte der auf SMA applizierten Proben S2 und S5.

Die ermittelte **Restfläche** ist in Abhängigkeit der Überrollungszahl in der Tabelle 8 aufgeführt.

	Anzahl Überrollungen in Mio.	0	0,01	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0
Probe	Rauigkeitsklasse	Anteil der verbliebenen Markierungsfläche in Prozent						
S1 300	RG1	100	100	100	100	100	100	-
S1 300	RG2	100	100	99	99	99	99	-
S2 1x300	RG1	100	100	100	99	98	94	-
S2 1x300	RG2	100	100	97	96	94	92	86
S3 600	RG1	100	100	100	100	100	100	99
S3 600	RG2	100	100	99	99	99	99	96
S4 600	RG1	100	100	100	99	98	94	-
S4 600	RG2	100	100	100	100	99	97	92
S5 1x300	RG1	100	100	100	99	98	94	-
S5 2x300	RG2	100	100	96	95	92	88	81
S6	RG1	100	100	100	100	98	94	81
S6	RG2	100	100	98	98	98	97	95
S7 600	RG1	100	100	100	100	99	97	93
S7 600	RG2	100	100	99	99	99	98	94
S8 1x600	RG1	100	100	100	100	99	97	93
S8 2x600	RG2	100	100	99	99	99	99	99
S9	RG1	100	100	100	100	100	100	-
S9	RG2	100	100	99	99	99	98	-
S10	RG1	100	100	100	100	100	100	-
S10	RG2	100	100	98	98	98	97	-

Tabelle 8: Verschleiß bei HS-Farben

Es wird ersichtlich, dass der Verschleiß bei den untersuchten Systemen auf SMA-Prüfkörpern im Vergleich zu MA-Prüfkörpern insbesondere bei den dünneren Systemen (300 µm) tendenziell früher einsetzt und mehrheitlich etwas stärker ausgeprägt ist. Unterschreitungen der geforderten 90 % Flächenbedeckung sind bei zwei RG2-Proben aufgetreten (fett markiert).

Vergleich zwischen einfacher und zweifacher Applikation von dünn-schichtigen Systemen

Ergänzend zur Applikation mit 300 µm auf MA und SMA wurde die Probe S2 zweifach auf RG2-Prüfkörpern appliziert. In Bild 10 sind die drei Varianten in der Draufsicht dargestellt.



Bild 10: HS-Farbe, Typ I, Neuzustand a) Probe S2 mit 300 µm auf Gussasphalt b) S2 mit 300 µm auf SMA und c) Probe S5 mit 600 µm auf SMA (2fach appliziert, jeweils mit NSM)

Wie in Bild 10 gut zu erkennen, weisen die drei Oberflächen ein visuell stark unterschiedliches Erscheinungsbild auf: Das 300 µm-System auf dem fein texturierten Gussasphalt zeichnet sich durch eine gesättigte, dichte Oberfläche aus. Das gleiche System mit 300 µm auf einem SMA-Prüfkörper ist deutlich dunkler und weist keine ebene Oberfläche auf – vielmehr zeichnet sich die strukturierte Oberfläche des SMA unter der Markierung ab. Dagegen ist die zweifach applizierte HS-Farbe auf dem SMA heller als die einfach applizierte Farbe auf SMA und die darunterliegende Struktur tritt schwächer hervor.

Zur Verdeutlichung des Einflusses der Verdopplung der Schichtdicke des gespritzten Systems sind im Folgenden die verkehrstechnischen Eigenschaften für die drei Varianten „einfach auf MA“, „einfach auf SMA“ und „zweifach auf SMA“ in Abhängigkeit der Belastungsintervalle grafisch dargestellt.

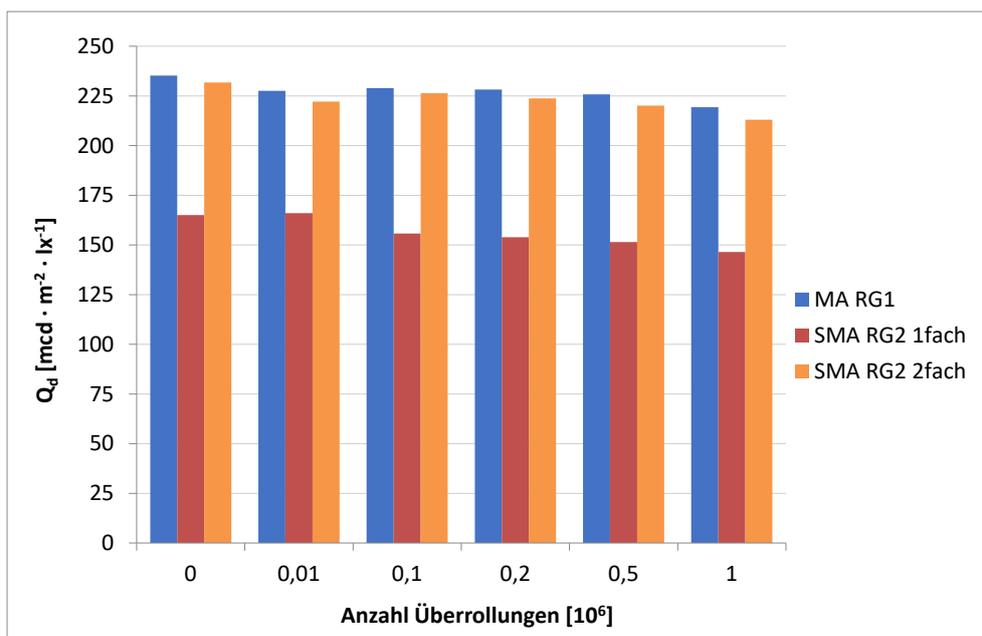


Bild 11: Q_d-Werte Probe S2 und S5, Typ I (einfach = 300 µm und zweifach = 600 µm)

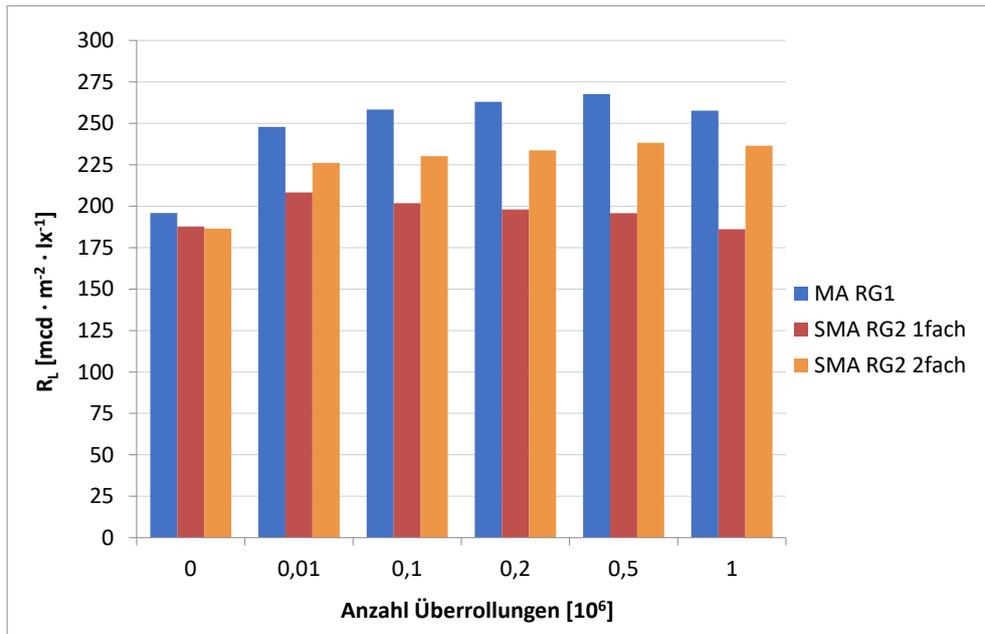


Bild 12: R_L -Werte Probe S2 und S5, Typ I (einfach = 300 μm und zweifach = 600 μm)

Hervorzuheben ist, dass die Q_d -Werte des zweifach applizierten Systems auf RG2-Prüfkörpern etwa auf dem gleichen Niveau liegen wie die Werte des einfach applizierten Systems auf RG1-Prüfkörpern (s. Bild 11). Im Hinblick auf die Klasseneinteilung nach EN 1436 ist anzumerken, dass die zweifache Applikation auf RG2-Prüfkörpern dazu führt, dass bei dem untersuchten System die gleiche Klasse (Q5) erreicht wird wie bei einfacher Applikation auf MA. Dagegen fallen die Q_d -Werte bei einfacher Applikation auf RG2-Prüfkörpern mehrheitlich in die Klasse Q3, d. h. es treten Unterschiede von bis zu zwei Klassen auf (s. Anhang).

Bei der Nachsichtbarkeit verhält es sich ähnlich wie bei der Tagessichtbarkeit, wobei die Differenz zwischen ein- und zweifacher Applikation auf RG2-Prüfkörpern geringer ausgeprägt ist (s. Bild 12). So führt die zweifache Applikation auf RG2-Körpern nicht dazu, dass die Werte der Systeme auf RG1-Körpern erreicht werden – die Klasseneinteilung unterscheidet sich jedoch nicht. Bei zweifacher Applikation stimmt die Klasseneinteilung nach EN 1436 zwischen RG1 und RG2 überein (R4), während bei einfacher Applikation Unterschiede von einer Klasse auftreten (R3 statt R4).

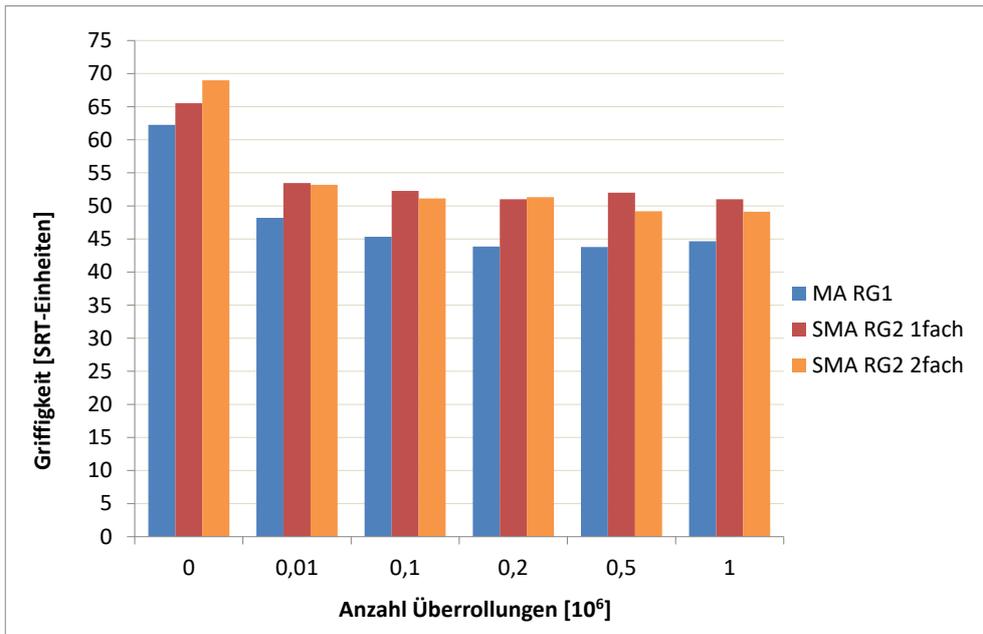


Bild 13: Griffigkeit Probe S2 und S5, Typ I (einfach = 300 μm und zweifach = 600 μm)

Das Bild 13 verdeutlicht, dass bei der Griffigkeit eine umgekehrte Tendenz vorliegt: Mehrheitlich sind die SRT-Werte bei der einfachen Applikation auf SMA-Prüfkörpern geringfügig höher als bei der zweifachen Applikation. Die Unterschiede sind allerdings gering. Die Ergebnisse können dadurch erklärt werden, dass bei geringerer Schichtdicke der positive Einfluss der Rauheit auf die Griffigkeit stärker zum Tragen kommt.

Analog wurde bei den Proben S7 und S8 vorgegangen. Bei der Probe S7 handelt es sich um eine HS-Farbe, die als Typ II-System mit einer Schichtdicke von 600 μm auf MA und SMA appliziert wurde. Ergänzend wurde die Probe S8 nach dem obigen Schema und im Hinblick auf Abschnitt 4.10.1 der ZTV M 13 zweifach mit einer Gesamtschichtdicke von 1200 μm appliziert (s. Bild 14).

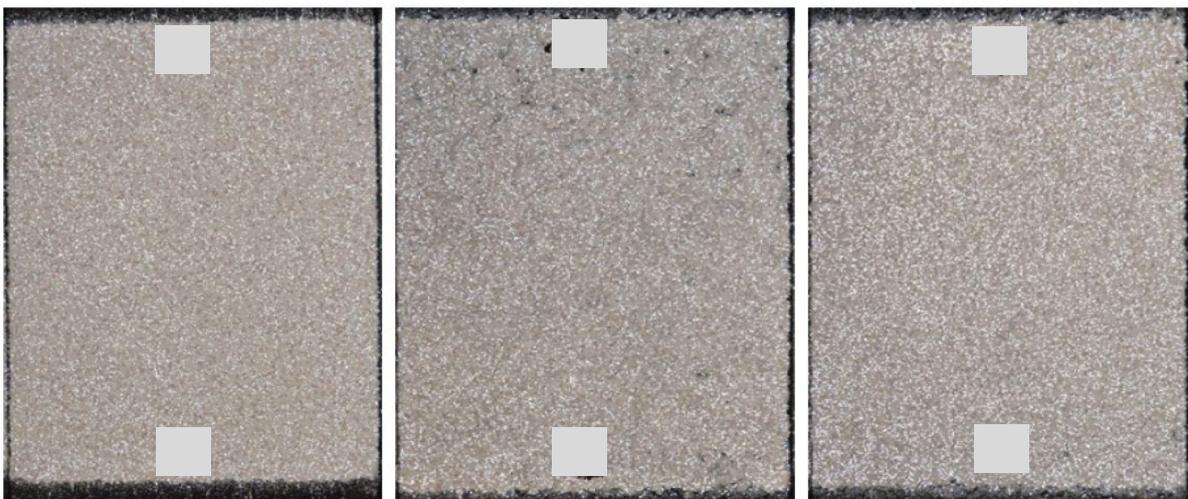


Bild 14: Probe S7 auf MA (600 μm), Probe S7 auf SMA (600 μm) und Probe S8 auf SMA (zweifach appliziert mit 2 x 600 μm = 1200 μm)

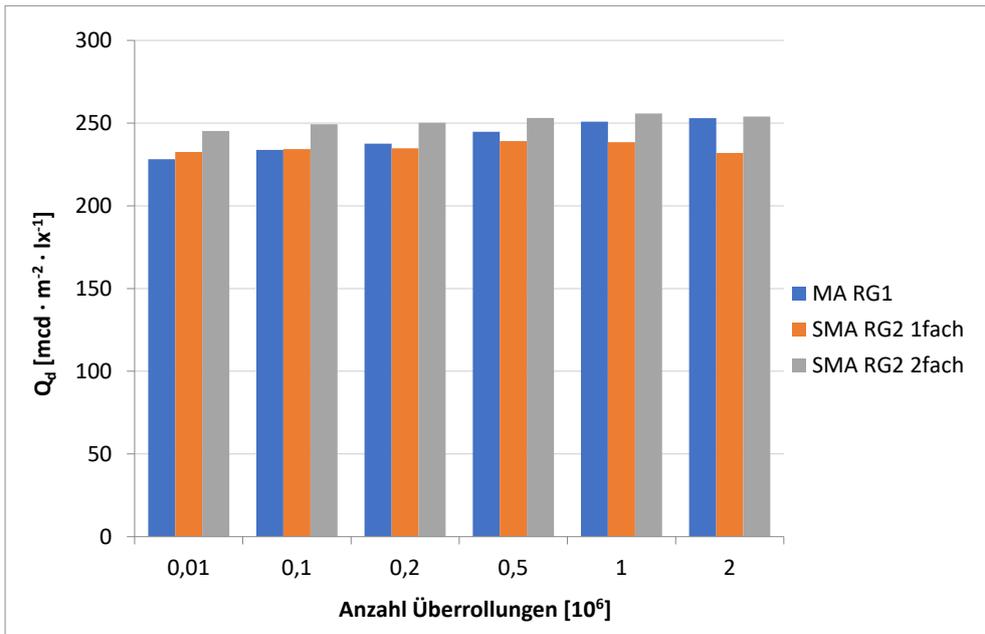


Bild 15: Q_d -Werte von Proben S7 und S8 bei 600 μm und 1200 μm (einfach = 600 μm und zweifach = 1200 μm)

Der Vergleich der Ergebnisse der drei resultierenden Varianten „einfach auf MA, 600 μm “, „einfach auf SMA, 600 μm “ und „zweifach auf SMA, 1200 μm “ deutet darauf hin, dass der Einfluss der Oberflächenstruktur des Asphalts bei spritzbaren Systemen mit zunehmender Schichtdicke minimiert wird.

Bei Q_d sind die Unterschiede generell zwischen den 3 Varianten vergleichsweise gering. Einen starken Einbruch der Werte auf SMA-Prüfkörpern wie bei Systemen mit einer Schichtdicke von 300 μm konnte hier nicht beobachtet werden (vgl. Bild 11).

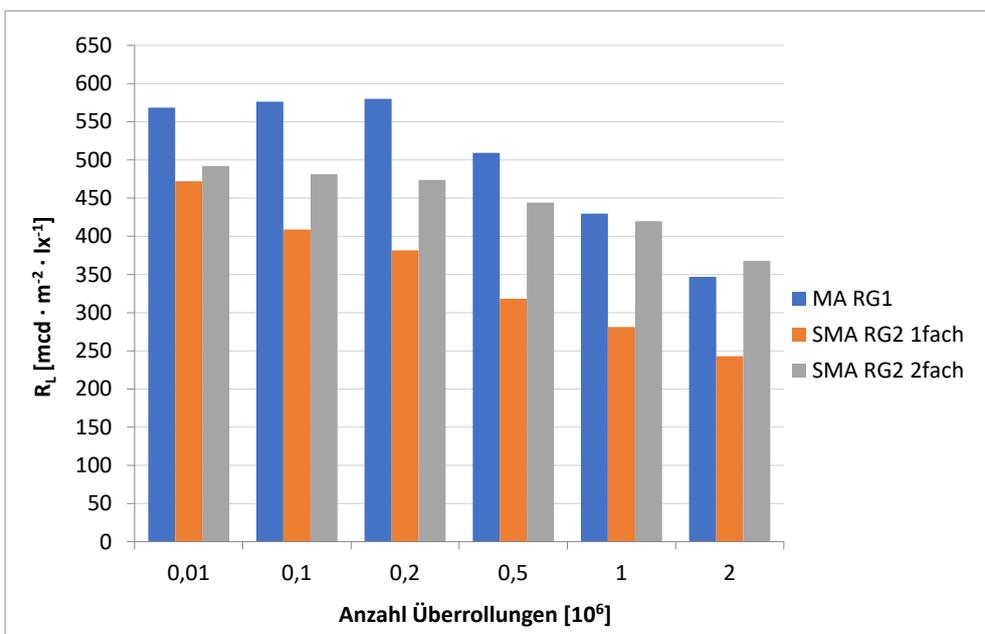


Bild 16: R_L -Werte von Proben S7 und S8 bei 600 μm und 1200 μm (einfach = 600 μm und zweifach = 1200 μm)

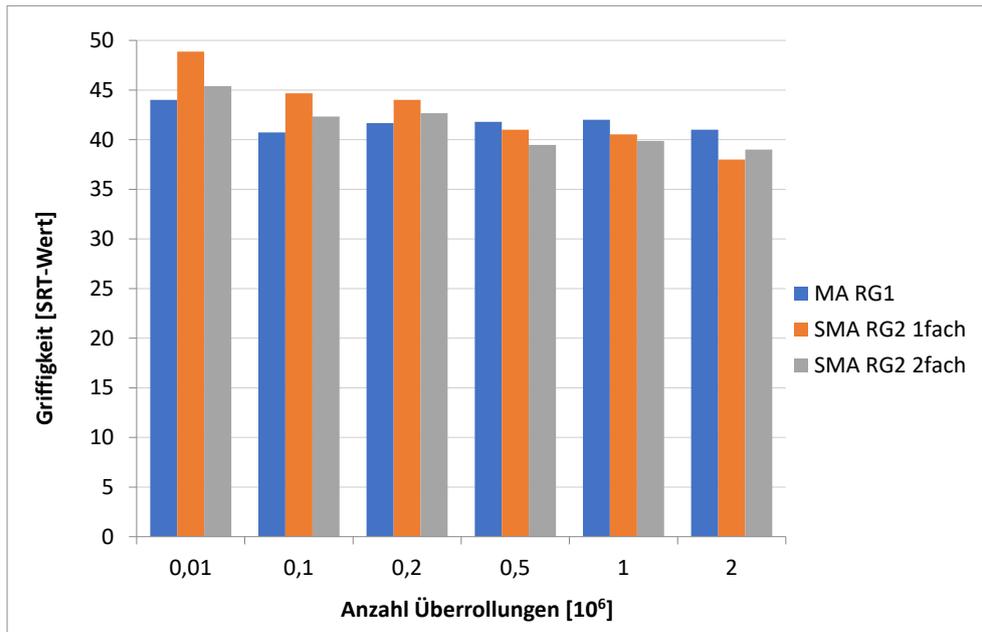


Bild 17 Griffigkeit von Proben S7 und S8 bei 600 µm und 1200 µm (einfach = 600 µm und zweifach = 1200 µm)

Hinsichtlich der Retroreflexion wird angemerkt, dass sich die anfänglichen Unterschiede zwischen 600 µm auf MA und 1200 µm auf SMA mit zunehmender Belastungsdauer ausgleichen. Bei 2 Mio. ÜR wurden höhere Werte auf dem SMA (1200 µm) gemessen als bei MA (600 µm). Anders als bei der Tagessichtbarkeit und der Griffigkeit heben sich die Werte des Systems mit 600 µm auf MA von den beiden anderen Varianten deutlich ab.

Die Unterschiede bei der Griffigkeit sind insgesamt relativ klein, verglichen zu den anderen Merkmalen wie Tages- und Nachtsichtbarkeit.

3.5.2 Dispersionsfarben

Die Ergebnisse der Dispersionsfarben (s. Tabelle 9) lassen – trotz kleinerem Probenumfang ($n = 4$) – auf Tendenzen analog zu den HS-Farben schließen. Sowohl bei der Tages- als auch der Nachtsichtbarkeit fallen die Werte bei den RG2-Prüfkörpern signifikant geringer aus als bei den RG1-Prüfkörpern (s. Bild 18), wobei die Unterschiede bei R_L stärker ausgeprägt sind als bei Q_d . Im Einklang mit den HS-Farben sind die Differenzen bei der Tagessichtbarkeit geringer ($\bar{x} = -10,1\%$) als bei $R_{L,trocken}$ ($\bar{x} = -28,3\%$) und $R_{L,feucht}$ ($\bar{x} = -23,8\%$).

Die Griffigkeit war im Mittel um ca. 3 SRT-Einheiten höher auf den rauen Prüfkörpern aus SMA. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Probe W4 vom allgemeinen Trend abweicht (s. Bild 18).

Die Differenzen sind bei dem System mit geringer Schichtdicke von 300 µm (Typ I) stärker ausgeprägt als bei den beiden Systemen mit Schichtdicke 600 µm (Typ II), wobei hier erneut auf den geringen Stichprobenumfang hingewiesen wird.

Probe Dicke, Typ	Q _d		R _{L,trocken}		R _{L,feucht}		Griffigkeit	
	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ% ∅ ab 0,01	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ% ∅ ab 0,01	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ% ∅ ab 0,01	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ% ∅ ab 0,01
W1 300 I	-41,6	-17,7%	-367,3	-47,9%	-	-	7,1	15,0%
W2 600 II	-13,2	-5,4%	-156,9	-29,4%	-54,9	-33,5%	2,2	5,3%
W3 600 II	-21,2	-8,5%	-127,9	-26,3%	-56,0	-29,4%	3,5	8,5%
W4 600 II	-25,7	-9,0%	-14,5	-9,4%	-4,0	-6,9%	-0,1	-0,1%
Mittel	-25,4	-10,1%	-166,7	-28,2%	-38,3	-23,2%	3,2	7,2%
StAbw	11,9	5,3%	147,2	15,8%	29,7	14,3%	3,0	6,3%
Median	-23,4	-8,7%	-142,4	-27,9%	-54,9	-29,4%	2,9	6,9%

Tabelle 9: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Dispersionsfarben

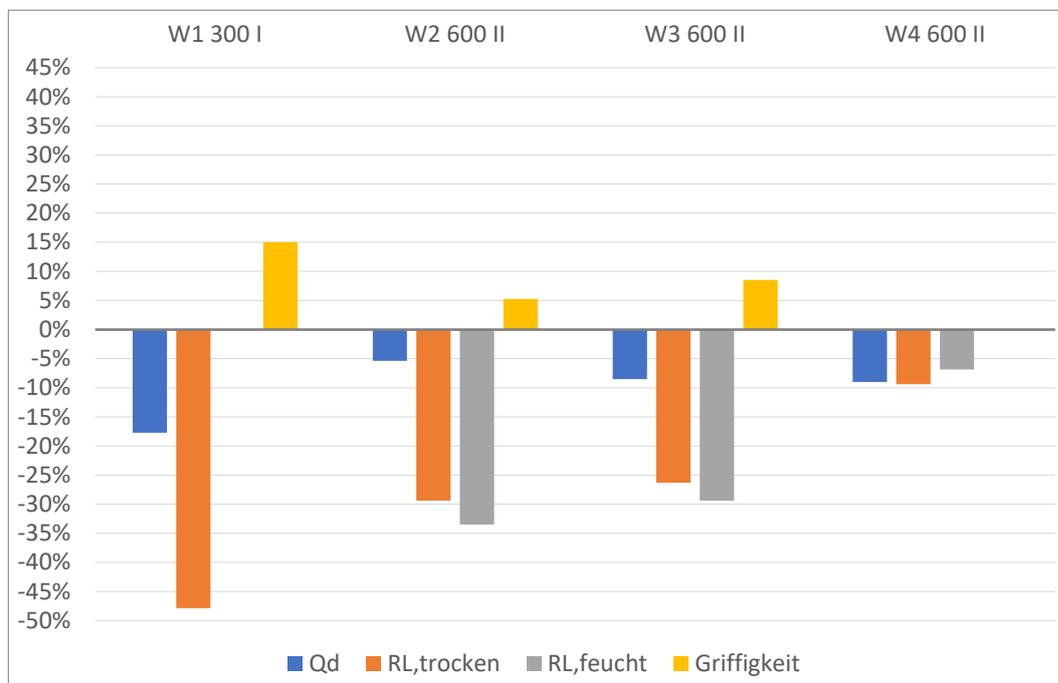


Bild 18: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Dispersionsfarben

Die **Farborte** der RG1- und RG2-Proben unterscheiden sich nur geringfügig. Alle Ergebnisse befinden sich im Farbbereich nach EN 1436.

Der ermittelte **Verschleiß** als Anteil der verbliebenen Markierungsfläche ist vergleichend in Tabelle 10 dargestellt.

	Anzahl Überrollungen in Mio.	0	0,01	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	4,0
Probe	Rauigkeitsklasse	Anteil der verbliebenen Markierungsfläche in Prozent							
W1	RG1	100	100	100	99	99	99	-	-
W1	RG2	100	95	95	95	91	86	-	-
W2	RG1	100	100	100	100	100	99	99	-
W2	RG2	100	97	97	97	96	92	91	-
W3	RG1	100	100	100	100	100	99	99	-
W3	RG2	100	98	98	98	96	95	93	-
W4	RG1	100	99	99	99	99	99	97	89
W4	RG2	100	97	96	96	95	94	92	88

Tabelle 10: Verschleiß der Proben aus Dispersionsfarben in Abhängigkeit der Rauigkeitsklasse und Anzahl der Überrollungen

Analog zu den HS-Farben setzt der Verschleiß bei den SMA-Prüfkörpern tendenziell eher ein; die Restfläche ist bei den untersuchten Proben beim SMA geringer als beim MA. Bei Probe W1 tritt eine Unterschreitung der Mindestanforderung nach ZTV M 13 (90 % Restfläche) auf den SMA-Prüfkörpern auf. Bei Probe W4 wird dieser Mindestwert sowohl bei MA- als auch SMA-Prüfkörpern bei 4 Mio. ÜR unterschritten.

3.5.3 Kaltspritzplastiken

Die Markierungssysteme aus KSP auf RG2-Prüfkörpern weisen im Mittel geringere Sichtbarkeiten als die RG1-Systeme auf, wogegen höhere Griffigkeiten bei den RG2-Systemen ermittelt wurden (s. Tabelle 11). Vom allgemeinen Trend bei den dünn-schichtigen Systemen hebt sich jedoch Probe Y1 ab, die höhere $R_{L,trocken}$ -Werte aufweist auf RG2-Prüfkörpern als auf RG1 (s. Bild 19).

Probe Dicke, Typ	Q_d		$R_{L,trocken}$		$R_{L,feucht}$		Griffigkeit	
	Δ abs. \emptyset ab 0,01	Δ % \emptyset ab 0,01	Δ abs. \emptyset ab 0,01	Δ % \emptyset ab 0,01	Δ abs. \emptyset ab 0,01	Δ % \emptyset ab 0,01	Δ abs. \emptyset ab 0,01	Δ % \emptyset ab 0,01
Y1 600 μ m I	-21,1	-8,5%	19,4	5,5%	-	-	4,8	10,9%
Y2 600 μ m II	-25,7	-10,9%	-104,0	-21,2%	-15,6	-8,2%	2,2	4,5%
Mittel	-23,4	-9,7%	-42,3	-7,9%	-15,6	-8,2%	3,5	7,7%
StAbw	3,2	1,7	87,3	18,9	-	-	1,8	4,5
Median	-23,4	-9,7%	-42,3	-7,9%	-15,6	-8,2%	3,5	7,7%

Tabelle 11: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Kaltspritzplastiken

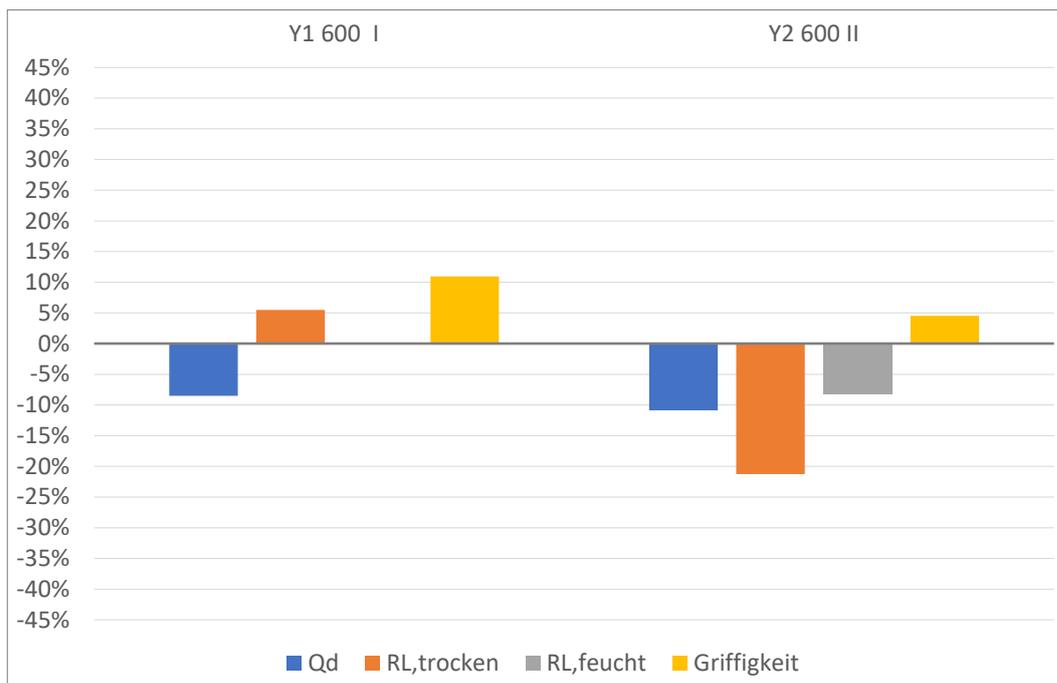


Bild 19: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei KSP

Der Vergleich der **Farborte** der Proben auf RG1 und RG2-Prüfkörpern ergab keine maßgeblichen Unterschiede: Die ermittelten Farborte befanden sich vor und nach Belastung im Farbbereich nach EN 1436.

Verschleiß: Eine Unterschreitung der Mindestanforderung nach Abschnitt 4.6 der ZTV M 13 ist weder bei RG1- noch RG2-Prüfkörpern eingetreten. Während die Proben auf RG1-Prüfkörpern Restflächen von konstant 100 % aufwiesen, sind bei RG2-Proben Restflächen < 100 % ermittelt worden.

Probe	Anzahl Überrollungen in Mio.	0	0,01	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	4,0
		Anteil der verbliebenen Markierungsfläche in Prozent							
Y1	RG1	100	100	100	100	100	100	100	100
Y1	RG2	100	100	99	99	99	98	98	98
Y2	RG1	100	100	100	100	100	100	100	100
Y2	RG2	100	99	98	98	98	96	94	92

Tabelle 12: Verschleiß bei Kaltspritzplastiken

3.5.4 Thermoplastiken

Bei den Thermoplastiken wurden insgesamt 9 vollflächige Systeme untersucht, davon 1 System mit einer Schichtdicke von 2000 µm. Bei den vier Typ II-Systemen liegen Ergebnisse für $R_{L,feucht}$ vor.

Die Ergebnisse lassen keine klare Tendenz erkennen: Sowohl die Richtung der Abweichung zu größeren oder kleineren Werten ist nicht einheitlich bei den jeweiligen Kenngrößen ausgeprägt. Zudem ist die Höhe der Differenzen zwischen RG1 und RG2-Ergebnissen sehr heterogen, auch innerhalb eines Merkmals (s. Tabelle 13).

Bei der Tagessichtbarkeit streuen die Werte in einer Spanne von + 5 % bis – 10 %, also etwa im Bereich der Messunsicherheit für die Ermittlung von Q_d . Bei $R_{L,trocken}$ gibt es sechs Proben mit deutlichen Abnahmen bis zu maximal 33 % beim Vergleich von RG1 zu RG2, wobei die 3 weiteren Proben eine leichte Zunahme aufweisen.

Hinsichtlich der Nachtsichtbarkeit bei Nässe wurden mehrheitlich höhere $R_{L,feucht}$ -Werte bei den RG2-Prüfkörpern festgestellt (Median: + 24,3 %). Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Werte insgesamt sehr stark streuen (Standardabweichung 70,4 %) und von vier Proben eine Probe eine negative Differenz aufweist. Probe H8 wird als Extremwert eingestuft, was bei der Deutung der Werte berücksichtigt werden sollte.

Auch bei der Griffigkeit streuen die gemittelten Differenzen der verschiedenen Proben stark. Im Mittel liegt eine leichte Zunahme um etwa 2 SRT-Einheiten bei Vergleich der Ergebnisse der RG1- mit den RG2-Proben vor.

Eine Einschätzung zum Einfluss der Schichtdicke ist angesichts der unausgewogenen Verteilung der Systeme mit 2000 μm und 3000 μm Dicke nicht möglich.

Das Bild 20 enthält eine Übersicht der ermittelten Differenzen. Im Hinblick auf die unterschiedliche Größe und Richtung der ermittelten Werte ist Vorsicht bei der Ableitung allgemeiner Tendenzen geboten.

Probe Dicke, Typ	Q_d		$R_{L,trocken}$		$R_{L,feucht}$		Griffigkeit	
	Δ abs. \emptyset ab 0,01	$\Delta\%$ \emptyset ab 0,01	Δ abs. \emptyset ab 0,01	$\Delta\%$ \emptyset ab 0,01	Δ abs. \emptyset ab 0,01	$\Delta\%$ \emptyset ab 0,01	Δ abs. \emptyset ab 0,01	$\Delta\%$ \emptyset ab 0,01
H1 2000 I	-22,6	-9,5%	-8,7	-7,7%	-	-	4,3	10,4%
H2 3000 I	5,5	2,2%	25,7	6,5%	-	-	-0,2	-0,2%
H3 3000 I	9,9	4,3%	33,6	10,8%	-	-	2,1	5,1%
H4 3000 I	-8,8	-3,6%	-74,6	-29,3%	-	-	6,2	17,9%
H5 3000 I	0,4	0,2%	-45,4	-20,7%	-	-	-0,5	-1,1%
H6 3000 II	-21,8	-9,5%	-80,2	-32,5%	-40,6	-35,4%	4,0	10,5%
H7 3000 II	-1,6	-0,6%	-97,2	-27,2%	13,0	11,2%	0,5	1,6%
H8 3000 II	3,6	1,6%	7,2	3,7%	51,2	131,7%	1,6	3,8%
H9 3000 II	-1,7	-0,8%	-12,4	-2,8%	35,8	37,4%	0,0	0,1%
Mittel	-4,1	-1,8%	-28,0	-11,0%	14,8	36,2%	2,0	5,3%
StAbw	11,5	4,9	48,1	16,7	40,1	70,4	2,4	6,4
Median	-1,6	-0,6%	-12,4	-7,7%	24,4	24,3%	1,6	3,8%

Tabelle 13: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Thermoplastiken

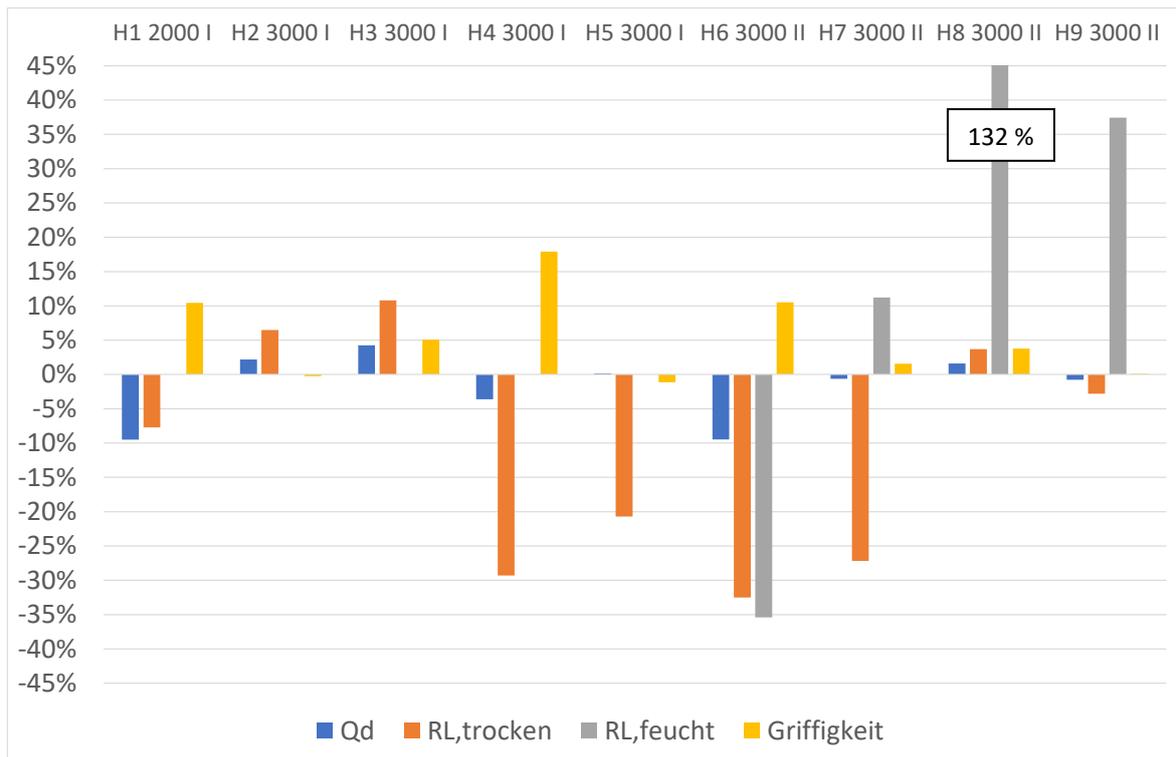


Bild 20: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Thermoplastiken

Die Ergebnisse der **Farbmessungen** lassen auf keinen ausgeprägten Einfluss der Rauigkeit schließen. Die ermittelten Farbwerte weichen nur geringfügig voneinander ab und liegen im Farbbereich nach EN 1436.

Nur bei der Probe H1 mit 2000 µm ist geringfügiger flächiger **Verschleiß** im letzten Belastungsintervall (P5) aufgetreten ist, d. h. es wurde ein Flächenbedeckungsgrad von < 100 % (hier: 98 %) gemessen.

Die überschlägige visuelle Bewertung des Verschleißes, welcher als Abnahme des Volumens der Markierung vor Beginn eines flächigen Verschleißes (Flächenbedeckung < 100 %) eintritt, ergab, dass bei den meisten untersuchten Thermoplastiken nur marginale Materialverluste aufgetreten sind. Da die Proben mehrheitlich kein für Thermoplastiken praxisnahes Verschleißverhalten gezeigt haben, wird von einer abschließenden Aussage zum Einfluss der Rauigkeit der Prüfkörper im Hinblick auf die verkehrstechnischen Eigenschaften abgesehen.

3.5.5 Kaltplastiken

Es wurden drei Proben untersucht. Wie eingangs erwähnt, wurden die Kaltplastiken auf Prüfkörpern aus offenporigem Asphalt der Rauheitsklasse „RG4“ appliziert, welche eine stärker strukturierte Oberfläche aufweisen als die SMA-Prüfkörper.

Bei der Tagessichtbarkeit wurden sowohl positive als auch negative Differenzen festgestellt (s. Tabelle 14). Die Beträge der mittleren Differenz liegen je Probe etwas im Größenbereich der Messunsicherheit. Bei der Nachtsichtbarkeit sind bei $R_{L,trocken}$ bei den drei Proben negative Differenzen aufgetreten, wobei die Größe der Differenz schwankt.

Probe Dicke, Typ	Q _d		R _{L,trocken}		R _{L,feucht}		Griffigkeit	
	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ% ∅ ab 0,01	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ% ∅ ab 0,01	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ% ∅ ab 0,01	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ% ∅ ab 0,01
K1 2000 II	18,0	7,1%	-103,7	-43,8%	-29,2	-26,1%	-4,9	-12,1%
K2 3000 II	1,3	0,5%	-35,6	-7,7%	2,8	7,3%	-1,7	-3,3%
K3 3000 II	-13,4	-4,7%	-130,8	-37,9%	-15,4	-16,0%	1,7	4,6%
Mittel	2,0	1,0%	-90,1	-29,8%	-13,9	-11,6%	-1,6	-3,6%
StAbw	15,7	5,9%	49,0	19,4%	16,1	17,2%	3,3	8,3%
Median	1,3	0,5%	-103,7	-37,9%	-15,4	-16,0%	-1,7	-3,3%

Tabelle 14: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG4 bei Kaltplastiken auf MA und OPA

Hinsichtlich R_{L,feucht} wurde bei Probe K2 abweichend von den anderen Proben eine Zunahme um ca. 7 % festgestellt. Die Griffigkeit ist bei RG2-Proben mehrheitlich geringer, wobei keine klare Tendenz erkennbar ist.

Die grafische Darstellung der ermittelten Differenzen in Bild 21 verdeutlicht, dass im Hinblick auf den kleinen Probenumfang bei bestimmten Merkmalen die Ableitung allgemeiner Tendenzen mit Unsicherheiten verbunden ist, was u. a. auf die Verwendung eines offenen Asphalts zurückgeführt werden könnte.

Die **Farborte** der RG1- und RG2-Proben unterscheiden sich nur geringfügig. Alle Farborte liegen innerhalb des Bereichs für Weiß nach EN 1436.

Hinsichtlich des **Verschleißes** ist festzustellen, dass bei keiner Probe eine Abnahme des Flächenbedeckungsgrades aufgetreten ist (Bedeckung konstant 100 %).

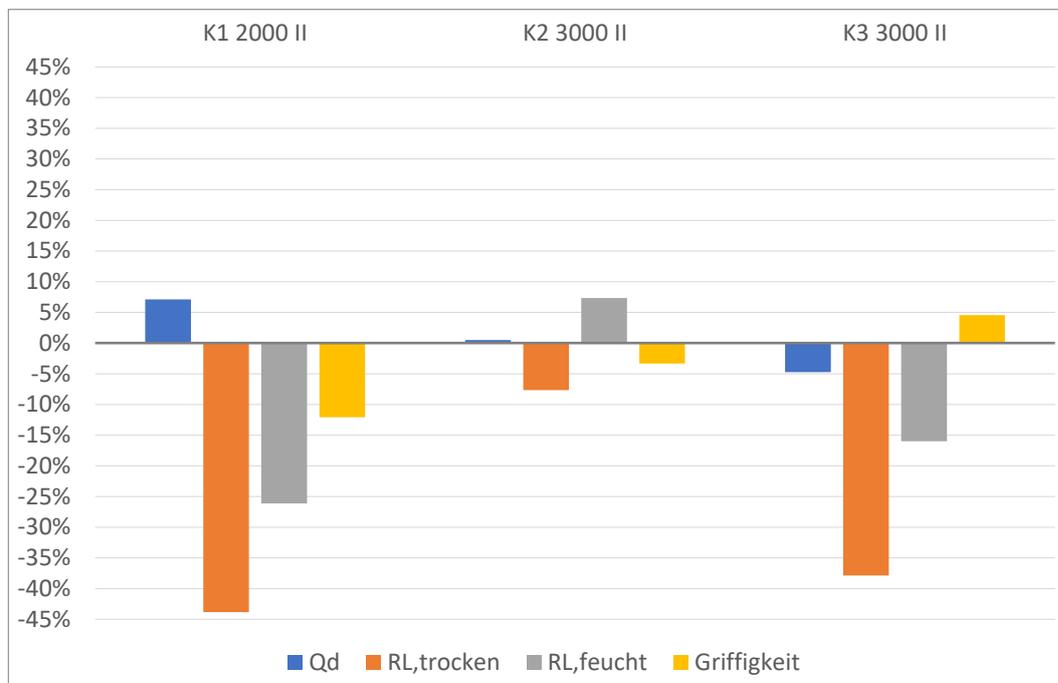


Bild 21: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG4 bei Kaltplastiken

3.5.6 Markierungsfolien

Die Tabelle 15 enthält eine Übersicht der Ergebnisse. Bei den Markierungsfolien sind insgesamt eher geringfügige Unterschiede aufgetreten. Sowohl bei den Sichtbarkeiten als auch bei der Griffigkeit streuen die prozentualen Differenzen weitgehend im Größenbereich der Messunsicherheit. Tendenziell fallen die Werte von Q_d , $R_{L,trocken}$ und $R_{L,feucht}$ geringer auf RG2- aus als auf RG1-Prüfkörpern, wobei bei $R_{L,trocken}$ bei einer von insgesamt 3 Proben höhere Werte auf SMA als auf MA festgestellt wurden (SA = 5,7 %). Bei den $R_{L,feucht}$ -Werten wurden bei den 2 untersuchten Typ II-Systemen teils größere Unterschiede zwischen RG1 und RG2-Prüfkörpern festgestellt.

Probe Dicke, Typ	Q_d		$R_{L,trocken}$		$R_{L,feucht}$		Griffigkeit	
	Δ abs. \varnothing ab 0,01	$\Delta\%$ \varnothing ab 0,01	Δ abs. \varnothing ab 0,01	$\Delta\%$ \varnothing ab 0,01	Δ abs. \varnothing ab 0,01	$\Delta\%$ \varnothing ab 0,01	Δ abs. \varnothing ab 0,01	$\Delta\%$ \varnothing ab 0,01
F1 1800 I	1,0	0,6%	-29,6	-4,2%	-	-	0,6	1,3%
F2 2500 II	-1,6	-0,9%	12,6	3,3%	-7,4	-2,9%	0,8	1,9%
F3 3000 II	-5,5	-2,1%	-71,5	-7,9%	-17,7	-11,8%	-0,5	-1,1%
Mittel	-2,1	-0,8%	-29,5	-3,0%	-12,5	-7,4%	0,3	0,7%
StAbw	3,3	1,4	42,1	5,7	7,3	6,3	0,7	1,6
Median	-1,6	-0,9%	-29,6	-4,2%	-12,5	-7,4%	0,6	1,3%

Tabelle 15: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Folien auf MA und SMA

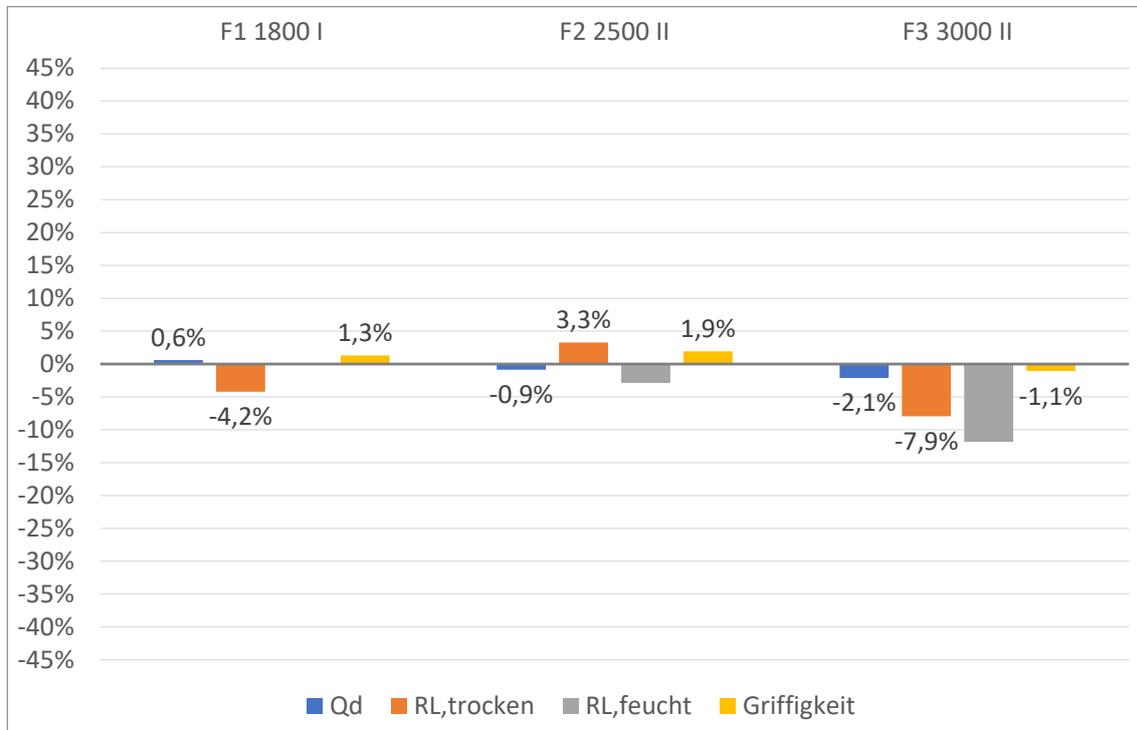


Bild 22: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Folien

Die grafische Darstellung der gemittelten Differenzen veranschaulicht die uneinheitlichen Abweichungen (s. Bild 22).

Die **Farborte** der Proben auf RG1- und RG2-Prüfkörpern unterscheiden sich nur geringfügig. Alle gemessenen Farborte liegen innerhalb der Bereiche nach EN 1436 für Y2 und Weiß.

Es wurde kein **Verschleiß** festgestellt (Restfläche konstant 100 %).

3.5.7 Zusammenfassung

Anhand der in der Tabelle 16 enthaltenen Darstellung für die untersuchten Gruppen soll hinsichtlich des Einflusses der Rauigkeit der Prüfkörper auf die verkehrstechnischen Eigenschaften eine zusammenfassende Bewertung vorgenommen werden.

Da sich die Anzahl an Proben je Gruppe unterscheidet - was zu einer Übergewichtung einzelner Gruppen mit hoher Probenanzahl führen würde - wurde im ersten Schritt das Mittel je Gruppe gebildet und dann der gesamte Mittelwert für die Übergruppen „dünn-schichtige Systeme“ und „dickschichtige Systeme“ bestimmt.

Merkmal	Q _d	R _{L,trocken}	R _{L,feucht}	Griffigkeit	Griffigkeit
Markierungsstoff	Δ % ∅ ab 0,01	Δ % ∅ ab 0,01	Δ % ∅ ab 0,01	Δ abs. ∅ ab 0,01	Δ % ∅ ab 0,01
HS-Farben	-8,7 %	-17,3 %	-31,1 %	+4,6	+11,0 %
Dispersionsfarben	-10,1 %	-28,2 %	-23,2 %	+3,2	+7,2 %
KSP	-9,7 %	-7,9 %	-8,2 %	+3,5	+7,7 %
Mittelwert dünn- schichtige Systeme	-9,5 %	-17,8 %	-20,9 %	+3,8	+8,6
TP	-1,8%	-11,0%	+36,2%	+2,0	+5,3%
KP (auf OPA)	+1,0%	-29,8%	-11,6%	-1,6	-3,6%
Folien	-0,8%	-3,0%	-7,4%	+0,3	+0,7%
Mittelwert dick- schichtige Systeme	-0,5%	-14,6%	(+5,8%)	+0,2	+0,8%

Tabelle 16: Übersicht der mittleren Differenzen zwischen RG1 und RG2 in Abhängigkeit der Markierungsstoffart

Dünnschichtige Systeme

Während die Griffigkeit im Mittel um etwa 4 SRT-Punkte höher bei den RG2-Prüfkörpern ausfällt, sind die Q_d, R_{L,trocken} und R_{L,feucht}-Werte im Mittel geringer als bei den RG1-Prüfkörpern. Die Ergebnisse zeigen mittlere Differenzen in einer Größenordnung von etwa -10 % (Q_d) sowie ca. -18 % bis -21 % (R_{L,trocken} und R_{L,feucht}).

Dickschichtige Systeme

Die ermittelten Differenzen hinsichtlich Q_d und der Griffigkeit lassen bei dickschichtigen Systemen nicht auf einen signifikanten Einfluss der Rauigkeit im Rahmen der hier untersuchten Strukturen schließen. Die mittleren Differenzen liegen im Größenbereich der Messunsicherheit. Hinsichtlich R_{L,trocken} deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Verwendung von RG2-Prüfkörpern zu geringeren Werten führt als bei RG1-Prüfkörpern. Die Unterschiede belaufen sich im Mittel auf etwa -15 %. Im Hinblick auf R_{L,feucht} ergibt sich ein höherer Mittelwert bei RG2-Prüfkörpern. Dieser Mittelwert wird jedoch von den Ergebnissen der Thermoplastiken dominiert wird, wobei in dieser Gruppe die Probe H8 einen Extremwert darstellt. Daher wird angenommen, dass auch bei dickschichtigen Systemen die rauere Struktur des SMA tendenziell eher zu geringeren Werten führt.

3.6 Einfluss der Rauigkeit auf die verkehrstechnischen Eigenschaften – Regressionsrechnung

Beispielhaft zeigt Bild 23 das Streudiagramm und die Regressionsfunktion für die Variable „SRT“ (Griffigkeit) bei der Gruppe „Dispersionsfarben“. Das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt hier ca. 0,80, d. h., dass 80 % der Streuung des SRT-Wertes bei Proben auf SMA durch die lineare Regression erklärt werden.

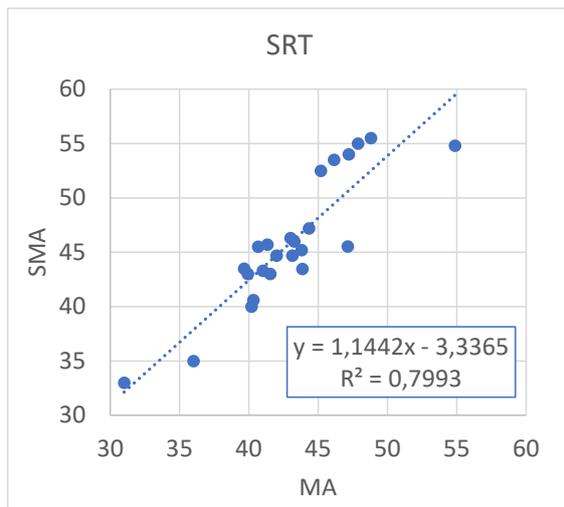


Bild 23: Darstellung des Streudiagramms und der Regressionsgerade für die Gruppe der Dispersionsfarben, Variable: SRT

In der Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Regressionsrechnungen für alle Gruppen zusammengefasst. R^2 -Werte $\geq 0,6$ sind fett markiert. Es ist zu beachten, dass die ermittelten R^2 -Werte nur im Zusammenhang mit den Randbedingungen interpretiert werden sollten (Streudiagramme, abweichende Anzahl an Proben, etc.). Beispielsweise liegen bei einigen Gruppen wie den KSP bisher nur sehr wenige Proben vor.

Die teils stark abweichenden Werte von R^2 zeigen, dass der Zusammenhang zwischen MA und SMA je betrachteter Gruppe und Merkmal (Q_d , R_L , etc.) für die hier untersuchten Proben teilweise gut durch eine lineare Funktion beschrieben werden kann (Beispiel: Markierungsfolien). Zugleich treten aber bei anderen Gruppen und bestimmten Merkmalen große Streuungen auf bzw. die Ergebnisse deuten nicht auf einen strikten linearen Zusammenhang hin. Hierbei ist keine Regelmäßigkeit erkennbar, mit der die Güte der Regression erklärt werden könnte. Ein konstanter „Off-set“ zwischen den Ergebnissen von Proben auf MA und SMA kann folglich für alle Merkmale einer Gruppe anhand der Ergebnisse nicht bestimmt werden. Allein bei den Markierungsfolien ergeben sich durchgängig hohe R^2 -Werte $> 0,95$, wobei die geringe Anzahl an Proben ($n = 3$) zu beachten ist.

Insgesamt deuten die bisherigen Ergebnisse nicht darauf hin, dass eine rechnerische Bestimmung von Ergebnissen auf SMA ohne erhebliche Ausweitung der Datenbasis mit ausreichender Genauigkeit möglich ist.

Gruppe	Q _d			R _{L,trocken}			R _{L,feucht}			SRT		
	m	b	R ²	m	b	R ²	m	b	R ²	m	b	R ²
HS-Farben	+0,8703 +0,9282*	+11,119 -2,9775*	0,3218 0,2529*	+0,5028	+123,88	0,4153	+0,6233	+10,956	0,6315	+0,6796	+18,178	0,1959
Dispersionsfarben	+1,0686	-42,323	0,7984	+0,482	+85,191	0,8523	+0,5218	+18,550	0,8207	+1,1442	-3,3365	0,7993
KSP	+1,289	-93,318	0,9283	-0,0028	+388,72	0,00006	+0,2620	+99,019	0,0694	+0,6731	+19,145	0,8743
KP	+0,1645	+223,97	0,1506	+1,2902	-191,31	0,9430	+0,4881	+34,552	0,1316	+0,9787	-0,6728	0,8117
TP	+1,0700	-20,445	0,4987	+1,1991	-87,59	0,7385	+0,8510	+28,75	0,5167	+0,7688	+11,23	0,5271
Folien	+0,9412	+9,7882	0,9937	+0,8137	+89,885	0,9645	+0,9873	-9,6521	0,9779	+0,9256	+3,815	0,9688

Tabelle 17: Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse

*ohne Punkt 157,155 von Probe S4. Punkt erscheint im Streudiagramm als Ausreißer.

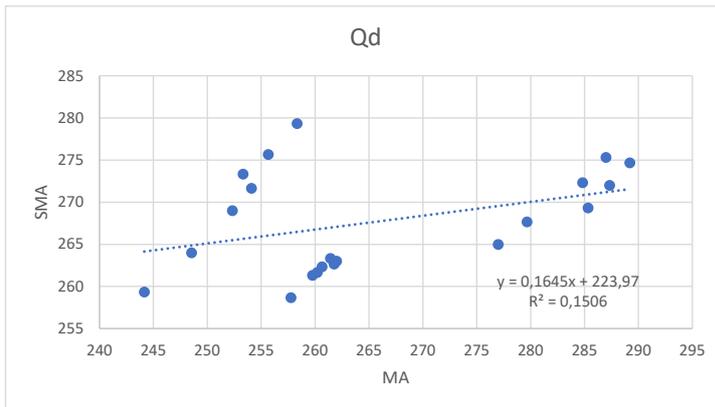


Bild 24: Regressionsanalyse für die Gruppe „Kaltplastiken“ auf OPA, Variable Q_d

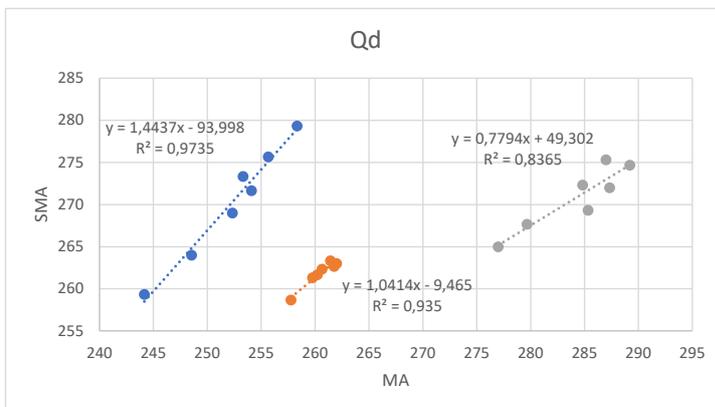


Bild 25: Separate Regressionsanalyse für die einzelnen Proben in der Gruppe „Kaltplastiken“; Variable Q_d

Aus den Ergebnissen der Regressionsanalyse können weitere Erkenntnisse gezogen werden. So basiert die Unterteilung der Daten in die sechs Gruppen auf der vereinfachenden Annahme, dass der o. g. Zusammenhang im Wesentlichen von den Faktoren „Materialart“ und „Schichtdicke“ beeinflusst wird. Die Ergebnisse der Regressionsrechnung zeigen, dass weitere Faktoren neben der Schichtdicke und der Materialart einen Einfluss ausüben können. Beispielsweise ergibt sich bei der Auswertung in der Gruppe „Kaltplastiken“ ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,15$ (s. Bild 24), was auf eine schwach ausgeprägte Korrelation hindeutet. Dagegen ist eine lineare Funktion bei einzelweiser Betrachtung der Markierungssysteme sehr gut geeignet, um den Zusammenhang zwischen Q_{d_MA} und Q_{d_SMA} zu beschreiben, siehe Bild 25. Dies ist ein Indiz, dass System-spezifische Eigenschaften ebenfalls einen signifikanten Einfluss ausüben können.

3.7 Einfluss der Rauigkeit auf die Streuung der Einzelmesswerte

In der Tabelle 18 sind die Ergebnisse der stichprobenartigen Analyse der Streuung der Einzelwerte bei der Messung von $R_{L,trocken}$, $R_{L,feucht}$ und des SRT-Wertes dargestellt. Insgesamt wurden 7 HS-Farben (S9 und S10: 2K HS-Farben) sowie eine Dispersionsfarbe berücksichtigt. Die Auswertung wurde anhand der Ergebnisse der Messzyklen bei 10.000 und 1 Mio. Überrollungen durchgeführt.

Aufgeführt ist die Standardabweichung als ein gängiges Maß für die Wiederholpräzision, jeweils in Abhängigkeit der betrachteten Probe, der Asphaltart, der Anzahl der Überrollungen sowie dem Merkmal des Markierungssystems. Als Hilfestellung für die Einordnung der Ergebnisse ist die jeweilige Differenz zwischen der Standardabweichung auf MA- sowie SMA-Prüfkörper angegeben. „x“ bedeutet, dass keine Messwerte für das Merkmal vorliegen oder nicht ausreichend Messwerte vorhanden sind.

Die Ergebnisse deuten nicht darauf hin, dass sich bei Messungen auf grober SMA-Oberfläche die Streuung der Einzelwerte bei $R_{L,trocken}$ und $R_{L,feucht}$ maßgeblich erhöht. Vielmehr sind bei der Sichtbarkeit die Streuungen bei den hier untersuchten SMA-Prüfkörpern mehrheitlich geringer. Bei der Griffigkeit erlauben die Ergebnisse keine klare Aussage, wobei ebenfalls nicht erkennbar ist, dass die Verwendung rauerer Prüfkörper zu einem maßgeblichen Anstieg der Streuungen führt.

Probe	Asphalt	Sichtbarkeit				Griffigkeit	
		$R_{L,trocken}$		$R_{L,feucht}$		SRT	
		0,01 Mio. ÜR	1 Mio. ÜR	0,01 Mio. ÜR	1 Mio. ÜR	0,01 Mio. ÜR	1 Mio. ÜR
S2	MA	26,2	25,4	X	x	0,6	1,2
	SMA	11,7	9,8	X	x	0,6	0,0
	MA-SMA	14,5	15,6	X	x	0,0	1,2
S4	MA	38,7	90,3	66,9	18,1	1,2	0,0
	SMA	23,1	25,5	14,9	26,9	2,1	0,6
	MA-SMA	15,6	64,8	52	-8,8	-0,9	-0,6
S6	MA	52,8	99,7	44,8	44,3	0,6	2,1
	SMA	24,3	25,1	44,1	17,8	2,3	1,0
	MA-SMA	28,5	74,6	0,7	26,5	-1,7	1,1
S7	MA	32,1	59,7	48,7	57,6	1,0	1,0
	SMA	51,7	48,7	86,5	41,4	1,0	0,6
	MA-SMA	-19,6	11	-37,8	16,2	0,0	0,4
S8	MA	32,1	59,7	48,7	57,6	1,0	1,0
	SMA	31,9	43,0	66,7	38,4	0,6	1,2
	MA-SMA	0,2	16,7	-18	19,2	0,4	-0,2
S9	MA	66,6	74,0	X	x	1,5	x
	SMA	37,9	31,1	X	x	1,2	1,0
	MA-SMA	28,7	42,9	X	x	0,3	x
S10	MA	72,8	36,5	X	x	1,2	x
	SMA	70,9	31,8	X	x	2,3	1,2
	MA-SMA	1,9	4,7	X	x	-1,1	x
W4	MA	52,2	47,0	26,1	18,1	0,0	4,7
	SMA	50,5	43,4	24,3	19,7	0,0	1,00
	MA-SMA	1,7	3,6	1,8	-1,6	0,0	3,7

Tabelle 18: Standardabweichung der Einzelmesswerte bzw. Differenz der Standardabweichungen bei 0,01 und 1,0 Mio. ÜR für $R_{L,trocken}$, $R_{L,feucht}$ und die Griffigkeit in Abhängigkeit der Asphaltart

3.8 Durchbluten bei Markierungen auf SMA-Prüfkörpern

Bei keiner der untersuchten Markierungen auf SMA-Prüfkörpern wurde während der Rundlaufprüfung ein Durchbluten festgestellt. Weder die Ergebnisse der visuellen Begutachtung noch die Messergebnisse geben einen Hinweis auf einen Einfluss des Durchblutens auf die RPA-Prüfung.

Die SMA-Proben wurden nach Abschluss der RPA-Prüfung als Rückstellmuster aufbewahrt. Nach längerer Lagerdauer der Proben ist es bei einigen Proben zum Durchbluten gekommen. Beispiele für das Durchbluten sind in Bild 26 dargestellt. Die Bilder zeigen Proben, die etwa ein Jahr gelagert wurden.



Bild 26: Beispiele für das Durchbluten (von Links nach Rechts: Probe S2 Rückstellmuster 1x300 µm, Probe S2 nach RPA 1x300 µm und Probe S4 nach RPA)

4 Schlussfolgerungen

Aus den Untersuchungsergebnissen werden folgende wesentliche Erkenntnisse zu den in Kapitel 1 aufgeworfenen Fragestellungen abgeleitet:

Erfüllen Prüfkörper aus SMA die grundlegenden Voraussetzungen für den Einsatz bei der Eignungsprüfung?

Die grundlegenden Voraussetzungen für den Einsatz von Prüfkörpern bei der Rundlaufprüfung, wie z. B. die Verformungsbeständigkeit unter mechanischer Belastung und Temperaturänderungen, ist bei den Prüfkörpern aus SMA gegeben. Bei den Vergleichsuntersuchungen ergaben sich keine Hinweise auf signifikante Veränderungen der Oberfläche oder sonstige Verformungen. Probleme bei der Haftung der Markierung auf der Oberfläche wurden nicht festgestellt. Die Oberflächen der einzelnen SMA-Prüfkörper wiesen geringfügige Unterschiede hinsichtlich lokaler Bindemittelanreicherungen oder der Kornstruktur/Anordnung auf. Diese Unterschiede liegen innerhalb der Bandbreite, die naturgemäß mit der Herstellung von SMA einhergehen und sind vertretbar.

Unterscheidet sich das Verhalten von Prüfkörpern mit gesägten und nicht gesägten Rändern?

Im Hinblick auf die geplante Verwendung von nicht gesägten SMA-Prüfkörpern wurde eine Stichprobe der Markierungssysteme auf SMA-Prüfkörpern appliziert, welche nicht gesägte Ränder aufwiesen. Die nicht gesägten Ränder entstammten dem Randbereich der Asphaltplatte. Die in den Randbereichen marginal geringeren Verdichtungsgrade führten bei den untersuchten Proben zu keinem anderen Verhalten als die gesägten Proben. Es wird geschlossen, dass die untersuchten Arten der Herstellung gleichwertig sind und keinen Einfluss auf die Ergebnisse der RPA-Prüfung haben.

Unterscheidet sich das Abriebverhalten qualitativ bei Prüfkörpern aus SMA und MA?

Das Belastungs- und Abriebverhalten von Markierungen auf MA und SMA unterscheidet sich. Die Verschleißbilder der untersuchten Markierungen stützen die Annahme, dass sich die Reifenlast bei dünnenschichtigen Markierungssystemen bei dem MA auf eine vergleichsweise große / ebene Fläche verteilt, während bei dem SMA die Reifenlast primär auf die höchsten Punkte der Struktur („Kuppen“) einwirkt bei insgesamt kleinerer Kontaktfläche. Dies führt dazu, dass die Reibkraft im Bereich der Kuppen des SMA deutlich höher ist als in der ebenen Belastungsfläche des MA. Zugleich sind tiefer gelegene Bereiche beim SMA vor der Verschleißbeanspruchung weitgehend geschützt. Die Glasperlen auf den Kuppen verschleifen beim SMA daher schneller als beim MA. Insgesamt entsteht ein punktueller Verschleiß beim SMA und ein flächiger Verschleiß beim MA.

Welchen Einfluss hat die Verwendung von SMA-Prüfkörpern auf das Ergebnis der Eignungsprüfung im Vergleich zu den bisherigen MA-Prüfkörpern?

Im Hinblick auf die bei der RPA-Prüfung gemessenen verkehrstechnischen Eigenschaften wirkte sich das unterschiedliche Belastungs- und Verschleißverhalten so aus, dass der Einsatz von RG2-Prüfkörpern im Vergleich zu RG1-Prüfkörpern bei dünn-schichtigen Markierungssystemen tendenziell zu einer geringeren Sichtbarkeit und zu einer höheren Griffbarkeit führte. Dabei waren die Unterschiede bei $R_{L, trocken}$ sowie $R_{L, feucht}$ stärker ausgeprägt als bei Q_d . Es ist hervorzuheben, dass die Verwendung von RG2-Prüfkörpern – trotz der geringeren Werte und Klasseneinteilung nach DIN EN 1436 – bei den untersuchten dünn-schichtigen Markierungssystemen nicht zu einer Unterschreitung der Mindestanforderungen an $R_{L, trocken/feucht}$, Q_d und die Griffbarkeit nach ZTV M 13 geführt hat. Hiervon ausgenommen ist ein System von insgesamt 16 Systemen: So wurde bei einer Dispersionsfarbe die Mindestanforderungen für $R_{L, trocken}$ und $R_{L, feucht}$ nicht erreicht bei RG2-Prüfkörpern.

Bei den untersuchten dickschichtigen Systemen zeigte sich kein maßgeblicher Einfluss der Rauigkeit auf die Griffbarkeit und Q_d , während bei $R_{L, trocken}$ und $R_{L, feucht}$ die rauere Struktur tendenziell zu geringeren Werten führte. Infolge der Verwendung der SMA-Prüfkörper (RG2) wurden im Fall der Thermoplastiken bei $R_{L, trocken}$ und $R_{L, feucht}$ teilweise geringere Klasseneinteilungen nach EN 1436 festgestellt, und bei zwei Proben Unterschreitungen der Mindestanforderungen nach ZTV M 13 bei $R_{L, trocken}$. Dies trifft auch auf Kaltplastiken zu, wobei auf die eingeschränkte Übertragbarkeit der Ergebnisse aufgrund der Verwendung von RG4-Prüfkörpern hingewiesen wird. Da die Kaltplastiken im Rahmen dieser Untersuchung ausschließlich auf OPA mit einer stärkeren Strukturierung (RG4) geprüft wurden, werden bei einer Prüfung auf SMA-Prüfkörpern (RG2) geringere Differenzen erwartet.

Bei den Thermoplastiken wurde bei der Mehrheit der untersuchten Proben ein geringer Abrieb festgestellt. Bei stärkerer Ausprägung des Verschleißes könnte ein stärkerer Einfluss der Textur des SMA auftreten, d. h. beispielsweise im Hinblick auf höhere Werte bei der Griffbarkeit.

Die o. g. Schlussfolgerungen können nur bedingt verallgemeinert werden, da die regulär auf MA geprüften Markierungssysteme unverändert auf SMA geprüft wurden. Es wird angenommen, dass die Markierungssysteme bei einer zukünftigen Prüfung auf SMA speziell auf die rauere Struktur angepasst werden, z. B. im Hinblick auf die Nachstreumiteigenschaften. Bei einer entsprechenden Anpassung könnten beispielsweise höhere Werte bei der Nachsichtbarkeit erreicht werden.

Aus den Ergebnissen wird gefolgert, dass die Regelung zur Beurteilung der Ergebnisse der Griffbarkeitsmessung nach Abschnitt 4.4.4 der TP M 18 vorerst erhalten bleiben soll.

Lässt sich das Prüfergebnis von Proben auf SMA-Prüfkörpern aus dem Ergebnis von Proben auf MA-Prüfkörpern vorhersagen?

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen können für die verschiedenen Markierungsstoffe keine konstanten Umrechnungsfaktoren für alle verkehrstechnischen Eigenschaften mit ausreichender Sicherheit bestimmt werden. Teilweise deuten die Ergebnisse auf einen strikten linearen Zusammenhang; in anderen Fällen treten große Streuungen auf. Es wird vermutet, dass neben der Markierungsstoffart, Schichtdicke und der verkehrstechnischen Eigenschaft weitere Faktoren einen Einfluss ausüben, welcher auf Grundlage der verfügbaren Ergebnisse nicht beschrieben werden kann.

Welchen Einfluss hat die Rauigkeit der Prüfkörper auf die Streuung der Messwerte?

Die Untersuchungsergebnisse deuten nicht darauf hin, dass die Streuung der Einzelwerte bei SMA-Prüfkörpern generell höher ist als bei MA-Prüfkörpern. Vielmehr wurden tendenziell geringere Streuungen bei Proben auf SMA-Prüfkörpern festgestellt.

Tritt bei Markierungssystemen auf SMA das sog. „Durchbluten“ während der Dauer der Eignungsprüfung in der RPA auf?

Bei den untersuchten Markierungssystemen wurde während der RPA-Prüfung kein Durchbluten festgestellt. Nach einer längeren Lagerung der Proben nach Beendigung der RPA-Prüfung ist bei einer Teilmenge der HS-Farben Durchbluten festgestellt worden.

Limitationen der Untersuchung

- Keine vollständige, systematische Variation aller Eigenschaften gängiger Markierungssysteme. Nicht untersucht wurden u. a. Agglomeratmarkierungen.
- Teilweise geringer Probenumfang, z. B. hinsichtlich der Anzahl an Proben je Markierungstoffart.
- Größere Unsicherheit bei der Deutung der Ergebnisse bei den Systemen auf SMA als bei MA, da diese Proben abweichend von den MA-Prüfkörpern teilweise nur mit insgesamt 2 Prüfkörpern in der RPA geprüft wurden (reguläre Eignungsprüfung: 3 Prüfkörper).
- Kaltplastiken wurden nicht auf SMA (RG2), sondern ausschließlich auf OPA (RG4), untersucht.

5 Ausblick

Der vorliegende Bericht fasst den Stand der Vergleichsmessungen bis Juli 2023 zusammen. Nach aktuellem Stand der Planung wird angestrebt, im Rahmen der verfügbaren Kapazitäten die Vergleichsmessungen fortzuführen.

6 Literatur

Technisches Regelwerk

Hinweisen für Markierungen auf neuen Fahrbahnoberflächen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2014

Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe – M BGriff, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2012

Technische Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien - TL M 06, Ausgabe 2006, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013

Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen - TL Asphalt-StB 07/13, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013

Technische Prüfbedingungen für Markierungssysteme - TP M, BASt, 2018

TP Asphalt-StB, Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probepplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2007

TP Asphalt-StB, Teil 6 Raumdichte von Asphalt-Probekörpern, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2023

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen – ZTV M 13, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt - ZTV Asphalt-StB 07/13, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013

Normen

DIN EN 13197: Straßenmarkierungsmaterialien – Verschleißsimulator, 2014

DIN EN 1436: Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen und Prüfverfahren, 2018

DIN EN 13036-1: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen - Prüfverfahren - Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens, 2010

DIN EN 13036-4: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen - Prüfverfahren - Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest, 2011

Anhang

Ergebnisse in tabellarischer Form

HS-Farben

Probe S1

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	239		223		-15,6	-6,5%
0	242		227		-14,6	-6,0%
0,01	236	Q5	223	Q5	-13,2	-5,6%
0,1	238	Q5	224	Q5	-14,0	-5,9%
0,2	238	Q5	222	Q5	-15,9	-6,7%
0,5	239	Q5	222	Q5	-16,9	-7,1%
1	238	Q5	219	Q5	-19,0	-8,0%

Tabelle A 1: Probe S1, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	417		284		-132,8	-30,2%
0	272		251		-20,6	-7,6%
0,01	436	R5	318	R5	-118,2	-27,1%
0,1	445	R5	301	R5	-144,0	-32,3%
0,2	445	R5	282	R4	-163,2	-36,6%
0,5	452	R5	288	R4	-163,4	-36,2%
1	450	R5	263	R4	-187,2	-41,6%

Tabelle A 2: Probe S1, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	231		170		-61,3	-25,6%
0	187		181		-5,9	-3,2%
0,01	264	RW6	235	RW6	-29,0	-11,0%
0,1	247	RW6	174	RW6	-73,1	-29,5%
0,2	272	RW6	172	RW6	-100,4	-36,9%
0,5	196	RW6	162	RW6	-33,6	-17,1%
1	210	RW6	139	RW5	-71,3	-34,0%
2	242	RW6	126	RW5	-115,8	-47,9%

Tabelle A 3: Probe S1, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	49		53		4,2	9,0%
0	64		66		1,7	2,6%
0,01	47	S1	52	S2	4,9	10,4%
0,1	48	S1	52	S2	4,2	8,8%
0,2	46	S1	50	S2	3,8	8,3%
0,5	44	S0	49	S1	5,1	11,6%
1	44	S0	50	S2	5,5	12,3%

Tabelle A 4: Probe S1, Griffigkeit

Probe S2

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	228		153		-71,1	-31,3%
0	235		165		-70,2	-29,9%
0,01	228	Q5	166	Q4	-61,6	-27,1%
0,1	229	Q5	156	Q3	-73,1	-31,9%
0,2	228	Q5	154	Q3	-74,3	-32,6%
0,5	226	Q5	151	Q3	-74,3	-32,9%
1	219	Q5	146	Q3	-72,9	-33,2%

Tabelle A 5: Probe S2, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	248		191		-52,1	-20,2%
0	196		188		-8,1	-4,1%
0,01	248	R4	208	R4	-39,6	-16,0%
0,1	258	R4	202	R4	-56,6	-21,9%
0,2	263	R4	198	R3	-65,0	-24,7%
0,5	268	R4	196	R3	-71,9	-26,9%
1	258	R4	186	R3	-71,6	-27,8%

Tabelle A 6: Probe S2, Nachsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	48		54		6,2	13,4%
0	62		66		3,3	5,2%
0,01	48	S1	53	S2	5,3	10,9%
0,1	45	S1	52	S2	6,9	15,3%
0,2	44	S1	51	S2	7,1	16,3%
0,5	44	S1	52	S2	8,2	18,7%
1	45	S1	51	S2	6,3	14,2%
2			50	S2		

Tabelle A 7: Probe S2, Griffigkeit

Probe S3

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	232		235		2,8	1,2%
0	234		231		-3,7	-1,6%
0,01	229	Q5	230	Q5	1,6	0,7%
0,1	231	Q5	234	Q5	3,2	1,4%
0,2	232	Q5	236	Q5	4,1	1,8%
0,5	234	Q5	240	Q5	5,9	2,5%
1	234	Q5	240	Q5	5,8	2,5%
2	233	Q5	235	Q5	2,4	1,1%

Tabelle A 8: Probe S3, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	483		346		-137,5	-27,4%
0	350		339		-10,7	-3,0%
0,01	502	R5	436	R5	-66,3	-13,2%
0,1	515	R5	370	R5	-144,9	-28,1%
0,2	500	R5	355	R5	-145,0	-29,0%
0,5	519	R5	336	R5	-183,2	-35,3%
1	517	R5	311	R5	-206,0	-39,8%
2	478	R5	272	R4	-206,4	-43,2%

Tabelle A 9: Probe S3, Nachsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	231		170		-61,3	-25,6%
0	187		181		-5,9	-3,2%
0,01	264	RW6	235	RW6	-29,0	-11,0%
0,1	247	RW6	174	RW6	-73,1	-29,5%
0,2	272	RW6	172	RW6	-100,4	-36,9%
0,5	196	RW6	162	RW6	-33,6	-17,1%
1	210	RW6	139	RW5	-71,3	-34,0%
2	242	RW6	126	RW5	-115,8	-47,9%

Tabelle A 10: Probe S3, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	48		50		2,9	6,4%
0	63		64		0,9	1,5%
0,01	48	S1	51	S2	3,1	6,6%
0,1	47	S1	49	S1	1,4	2,9%
0,2	45	S1	47	S1	2,6	5,8%
0,5	44	S0	46	S1	2,6	6,0%
1	43	S0	48	S1	4,8	11,1%
2	43	S0	48	S1	4,7	10,8%

Tabelle A 11: Probe S3, Griffigkeit

Probe S4

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	219		182		-36,7	-16,1%
0	230		193		-37,9	-16,4%
0,01	228	Q5	189	Q4	-39,8	-17,4%
0,1	230	Q5	189	Q4	-41,4	-18,0%
0,2	230	Q5	187	Q4	-43,1	-18,8%
0,5	230	Q5	183	Q4	-47,4	-20,6%
1	224	Q5	178	Q4	-46,2	-20,6%
2	157	Q3	155	Q3	-1,2	-0,8%

Tabelle A 12: Probe S4, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	461		325		-135,7	-27,5%
0	307		235		-72,2	-23,5%
0,01	499	R5	382	R5	-116,4	-23,3%
0,1	542	R5	372	R5	-170,4	-31,4%
0,2	547	R5	356	R5	-191,3	-35,0%
0,5	544	R5	351	R5	-193,3	-35,5%
1	502	R5	313	R5	-189,0	-37,7%
2	285	R4	268	R4	-17,1	-6,0%

Tabelle A 13: Probe S4, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	139		123		-16,1	-11,2%
0	118		127		8,9	7,5%
0,01	189	RW6	227	RW6	38,6	20,4%
0,1	173	RW6	123	RW5	-50,1	-29,0%
0,2	145	RW6	123	RW5	-22,3	-15,4%
0,5	153	RW6	98	RW4	-54,9	-35,9%
1	123	RW5	89	RW4	-34,1	-27,6%
2	73	RW3	74	RW3	1,0	1,4%

Tabelle A 14: Probe S4, Nachtsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	46		51		5,6	12,9%
0	61		64		2,7	4,5%
0,01	45	S1	50	S2	5,0	11,0%
0,1	42	S0	49	S1	7,1	16,9%
0,2	41	S0	49	S1	7,7	18,5%
0,5	42	S0	47	S1	4,9	11,5%
1	41	S0	47	S1	6,3	15,2%

Tabelle A 15: Probe S4, Griffigkeit

Probe S5

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	228		218		-4,6	-2,1%
0	235		232		-3,4	-1,5%
0,01	228	Q5	222	Q5	-5,4	-2,4%
0,1	229	Q5	226	Q5	-2,6	-1,1%
0,2	228	Q5	224	Q5	-4,4	-1,9%
0,5	226	Q5	220	Q5	-5,7	-2,5%
1	219	Q5	213	Q5	-6,3	-2,9%

Tabelle A 16: Probe S5, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	248		221		-23,2	-9,1%
0	196		187		-9,3	-4,8%
0,01	248	R4	226	R4	-21,8	-8,8%
0,1	258	R4	230	R4	-28,1	-10,9%
0,2	263	R4	234	R4	-29,3	-11,2%
0,5	268	R4	238	R4	-29,4	-11,0%
1	258	R4	237	R4	-21,1	-8,2%

Tabelle A 17: Probe S5, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	48		53		5,8	12,2%
0	62		69		6,7	10,8%
0,01	48	S1	53	S2	5,0	10,4%
0,1	45	S1	51	S2	5,8	12,8%
0,2	44	S0	51	S2	7,5	17,0%
0,5	44	S0	49	S1	5,4	12,3%
1	45	S1	49	S1	4,5	10,0%

Tabelle A 18: Probe S5, Griffigkeit

Probe S6

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	242		217		-24,8	-10,2%
0	235		215		-19,9	-8,5%
0,01	235	Q5	213	Q5	-22,3	-9,5%
0,1	240	Q5	219	Q5	-20,4	-8,5%
0,2	242	Q5	220	Q5	-22,6	-9,3%
0,5	255	Q5	222	Q5	-32,7	-12,8%
1	254	Q5	220	Q5	-33,6	-13,2%
2	232	Q5	210	Q5	-22,0	-9,5%

Tabelle A 19: Probe S6, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	409		291		-117,5	-24,5%
0	254		271		17,1	6,7%
0,01	523	R5	408	R5	-114,9	-22,0%
0,1	562	R5	342	R5	-219,9	-39,1%
0,2	561	R5	323	R5	-237,9	-42,4%
0,5	423	R5	272	R4	-150,7	-35,7%
1	329	R5	236	R4	-93,4	-28,4%
2	210	R4	187	R3	-23,0	-11,0%

Tabelle A 20: Probe S6, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	136		99		-37,0	-18,1%
0	69		128		59,6	86,9%
0,01	194	RW6	172	RW6	-22,2	-11,5%
0,1	182	RW6	105	RW5	-77,3	-42,5%
0,2	183	RW6	96	RW4	-87,2	-47,6%
0,5	125	RW5	83	RW4	-41,1	-33,0%
1	137	RW5	63	RW3	-74,6	-54,4%
2	65	RW3	49	RW2	-16,0	-24,6%

Tabelle A 21: Probe S6, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	47		48		1,5	3,9%
0	68		66		-2,2	-3,2%
0,01	45	S1	50	S2	5,7	12,7%
0,1	41	S0	47	S1	6,3	15,4%
0,2	41	S0	45	S1	4,3	10,5%
0,5	43	S0	44	S0	0,5	1,2%
1	43	S0	42	S0	-1,2	-2,8%
2	45	S0	42	S0	-3,0	-6,7%

Tabelle A 22: Probe S6, Griffigkeit

Probe S7

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	240		234		-6,3	-2,5%
0	231		224		-7,2	-3,1%
0,01	228	Q5	233	Q5	4,3	1,9%
0,1	234	Q5	234	Q5	0,6	0,2%
0,2	238	Q5	235	Q5	-2,8	-1,2%
0,5	245	Q5	239	Q5	-5,7	-2,3%
1	251	Q5	238	Q5	-12,4	-5,0%
2	253	Q5	232	Q5	-21,0	-8,3%

Tabelle A 23: Probe S7, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	487		353		-134,6	-27,3%
0	402		365		-36,7	-9,1%
0,01	569	R5	472	R5	-96,3	-16,9%
0,1	576	R5	409	R5	-167,4	-29,1%
0,2	580	R5	382	R5	-198,4	-34,2%
0,5	509	R5	318	R5	-191,1	-37,5%
1	430	R5	281	R4	-148,4	-34,5%
2	347	R5	243	R4	-104,0	-30,0%

Tabelle A 24: Probe S7, Nachsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	219		147		-71,7	-32,7%
0	185		194		8,8	4,7%
0,01	283	RW6	218	RW6	-65,0	-23,0%
0,1	276	RW6	166	RW6	-109,6	-39,7%
0,2	247	RW6	148	RW5	-98,8	-40,0%
0,5	200	RW6	122	RW5	-78,3	-39,1%
1	211	RW6	108	RW5	-103,2	-48,8%
2	131	RW5	75	RW4	-56,0	-42,7%

Tabelle A 25: Probe S7, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	44		45		1,0	2,2%
0	58		59		1,1	1,9%
0,01	44	S0	49	S1	4,9	11,1%
0,1	41	S0	45	S1	3,9	9,7%
0,2	42	S0	44	S0	2,3	5,6%
0,5	42	S0	41	S0	-0,8	-1,9%
1	42	S0	41	S0	-1,5	-3,5%
2	41	S0	38	S0	-3,0	-7,3%

Tabelle A 26: Probe S7, Griffigkeit

Probe S8

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	240		251		10,7	4,6%
0	231		247		15,8	6,8%
0,01	228	Q5	245	Q5	17,0	7,4%
0,1	234	Q5	249	Q5	15,6	6,7%
0,2	238	Q5	250	Q5	12,7	5,3%
0,5	245	Q5	253	Q5	8,3	3,4%
1	251	Q5	256	Q5	4,9	1,9%
2	253	Q5	254	Q5	1,0	0,4%

Tabelle A 27: Probe S8, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	487		434		-53,9	-9,8%
0	402		356		-45,3	-11,3%
0,01	569	R5	492	R5	-76,7	-13,5%
0,1	576	R5	481	R5	-95,0	-16,5%
0,2	580	R5	474	R5	-106,2	-18,3%
0,5	509	R5	444	R5	-65,2	-12,8%
1	430	R5	420	R5	-9,9	-2,3%
2	347	R5	368	R5	21,0	6,1%

Tabelle A 28: Probe S8, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	219		145		-74,0	-32,8%
0	185		175		-9,6	-5,2%
0,01	283	RW6	172	RW6	-110,4	-39,0%
0,1	276	RW6	177	RW6	-98,7	-35,8%
0,2	247	RW6	142	RW5	-104,3	-42,3%
0,5	200	RW6	133	RW5	-67,0	-33,5%
1	211	RW6	129	RW5	-82,8	-39,2%
2	131	RW5	86	RW4	-45,0	-34,4%

Tabelle A 29: Probe S8, Nachtsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	44		45		0,4	0,4%
0	58		63		5,1	8,7%
0,01	44	S0	45	S1	1,4	3,2%
0,1	41	S0	42	S0	1,6	3,9%
0,2	42	S0	43	S0	1,0	2,4%
0,5	42	S0	39	S0	-2,3	-5,6%
1	42	S0	40	S0	-2,1	-5,1%
2	41	S0	39	S0	-2,0	-4,9%

Tabelle A 30: Probe S8, Griffigkeit

Probe S9

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	265		238		-26,7	-10,1%
0	264		242		-21,7	-8,2%
0,01	264	Q5	237	Q5	-26,9	-10,2%
0,1	266	Q5	239	Q5	-27,1	-10,2%
0,2	266	Q5	238	Q5	-27,8	-10,4%
0,5	266	Q5	238	Q5	-28,3	-10,6%
1	265	Q5	236	Q5	-28,4	-10,7%

Tabelle A 31: Probe S9, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	369		423		53,5	15,1%
0	245		304		58,8	24,0%
0,01	376	R5	431	R5	54,6	14,5%
0,1	395	R5	447	R5	52,3	13,2%
0,2	401	R5	455	R5	54,7	13,6%
0,5	410	R5	457	R5	46,3	11,3%
1	387	R5	441	R5	54,3	14,1%

Tabelle A 32: Probe S9, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	43		49		5,4	13,6%
0	58		58		-0,5	-0,8%
0,01	42	S0	48	S1	5,9	13,9%
0,1	40	S0	47	S1	6,7	16,7%
0,2	40	S0	48	S1	7,3	18,2%
0,5	39	S0	46	S1	6,7	16,9%
1	39	S0	46	S1	6,6	16,8%

Tabelle A 33: Probe S9, Griffigkeit

Probe S10

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	267		234		-32,7	-12,3%
0	265		238		-26,9	-10,2%
0,01	266	Q5	233	Q5	-32,3	-12,2%
0,1	269	Q5	235	Q5	-34,1	-12,7%
0,2	269	Q5	234	Q5	-34,4	-12,8%
0,5	266	Q5	233	Q5	-33,0	-12,4%
1	266	Q5	230	Q5	-35,6	-13,4%

Tabelle A 34: Probe S10, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	325		363		37,8	13,7%
0	200		252		52,0	26,0%
0,01	300	R5	367	R5	66,9	22,3%
0,1	326	R5	398	R5	71,6	21,9%
0,2	332	R5	392	R5	60,4	18,2%
0,5	394	R5	392	R5	-1,7	-0,4%
1	397	R5	374	R5	-22,5	-5,7%

Tabelle A 35: Probe S10, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	42		51		9,3	23,5%
0	57		59		2,0	3,5%
0,01	41	S0	51	S2	10,1	24,6%
0,1	40	S0	50	S2	10,5	26,5%
0,2	39	S0	50	S2	11,3	29,3%
0,5	38	S0	48	S1	10,2	27,0%
1	38	S0	50	S2	11,5	30,0%

Tabelle A 36: Probe S10, Griffigkeit

Dispersionsfarben

Probe W1

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	235		194		-40,4	-17,2%
0	234		200		-34,7	-14,8%
0,01	234	Q5	187	Q5	-46,9	-20,1%
0,1	234	Q5	200	Q5	-34,2	-14,6%
0,2	236	Q5	198	Q4	-37,6	-16,0%
0,5	235	Q5	193	Q4	-41,6	-17,7%
1	234	Q5	187	Q4	-47,5	-20,3%

Tabelle A 37: Probe W1, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	709		376		-333,9	-46,3%
0	429		263		-166,4	-38,8%
0,01	866	R5	392	R5	-474,3	-54,7%
0,1	819	R5	451	R5	-367,4	-44,9%
0,2	776	R5	433	R5	-342,6	-44,2%
0,5	701	R5	374	R5	-326,6	-46,6%
1	666	R5	341	R5	-325,8	-48,9%

Tabelle A 38: Probe W1, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	51		56		4,6	10,7%
0	72		64		-7,8	-10,9%
0,01	49	S1	56	S3	6,7	13,7%
0,1	48	S1	55	S3	7,1	14,9%
0,2	47	S1	54	S2	6,8	14,4%
0,5	46	S1	54	S2	7,4	16,0%
1	45	S1	53	S2	7,3	16,2%

Tabelle A 39: Probe W1, Griffigkeit

Probe W2

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	246		234		-12,1	-4,9%
0	246		241		-5,3	-2,1%
0,01	244	Q5	235	Q5	-8,9	-3,7%
0,1	246	Q5	238	Q5	-7,7	-3,1%
0,2	246	Q5	237	Q5	-9,1	-3,7%
0,5	246	Q5	233	Q5	-13,1	-5,3%
1	247	Q5	229	Q5	-17,7	-7,2%
2	246	Q5	223	Q5	-22,9	-9,3%

Tabelle A 40: Probe W2, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	505		363		-142,4	-27,7%
0	312		257		-55,0	-17,6%
0,01	603	R5	466	R5	-137,4	-22,8%
0,1	565	R5	396	R5	-169,4	-30,0%
0,2	551	R5	389	R5	-162,5	-29,5%
0,5	515	R5	367	R5	-148,4	-28,8%
1	493	R5	345	R5	-147,7	-30,0%
2	498	R5	322	R5	-176,2	-35,4%

Tabelle A 41: Probe W2, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	152		107		-45,0	-27,1%
0	131		146		14,4	11,0%
0,01	190	RW6	161	RW6	-28,9	-15,3%
0,1	230	RW6	120	RW5	-110,3	-47,9%
0,2	168	RW6	100	RW5	-67,8	-40,4%
0,5	144	RW5	60	RW3	-83,8	-58,2%
1	103	RW5	93	RW4	-9,5	-9,3%
2	96	RW4	67	RW3	-28,8	-29,9%

Tabelle A 42: Probe W2, Nachtsichtbarkeit $R_{L, feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	45		47		2,0	4,6%
0	60		60		0,2	0,3%
0,01	44	SO	45	S1	1,4	3,2%
0,1	44	SO	47	S1	2,9	6,5%
0,2	43	SO	46	S1	2,7	6,3%
0,5	42	SO	45	S1	2,7	6,4%
1	41	SO	43	SO	2,3	5,6%
2	42	SO	43	SO	1,5	3,5%

Tabelle A 43: Probe W2, Griffigkeit

Probe W3

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	248		229		-19,2	-7,7%
0	247		240		-7,1	-2,9%
0,01	245	Q5	238	Q5	-7,3	-3,0%
0,1	248	Q5	226	Q5	-21,4	-8,7%
0,2	248	Q5	226	Q5	-22,8	-9,2%
0,5	251	Q5	223	Q5	-27,8	-11,1%
1	249	Q5	222	Q5	-27,4	-11,0%
2	249	Q5	229	Q5	-20,3	-8,2%

Tabelle A 44: Probe W3, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	455		337		-117,7	-25,6%
0	266		210		-56,6	-21,3%
0,01	555	R5	442	R5	-113,0	-20,3%
0,1	516	R5	355	R5	-161,1	-31,2%
0,2	507	R5	354	R5	-153,5	-30,3%
0,5	456	R5	346	R5	-110,4	-24,2%
1	454	R5	327	R5	-127,3	-28,0%
2	429	R5	327	R5	-102,2	-23,8%

Tabelle A 45: Probe W3, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	154		109		-44,7	-22,3%
0	115		138		23,1	20,2%
0,01	249	RW6	162	RW6	-86,6	-34,8%
0,1	186	RW6	128	RW5	-58,2	-31,3%
0,2	186	RW6	100	RW5	-86,1	-46,2%
0,5	167	RW6	79	RW4	-88,1	-52,7%
1	110	RW5	87	RW4	-22,8	-20,8%
2	63	RW3	69	RW3	5,9	9,5%

Tabelle A 46: Probe W3, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	44		47		3,3	7,8%
0	59		62		2,2	3,7%
0,01	43	S0	45	S1	1,6	3,6%
0,1	43	S0	46	S1	3,3	7,7%
0,2	41	S0	46	S1	4,4	10,6%
0,5	41	S0	46	S1	4,8	11,9%
1	40	S0	44	S0	3,8	9,7%
2	40	S0	43	S0	3,1	7,7%

Tabelle A 47: Probe W3, Griffigkeit

Probe W4

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	285		263		-21,5	-7,4%
0	260		260		-0,4	-0,2%
0,01	280	Q5	259	Q5	-20,6	-7,4%
0,1	290	Q5	268	Q5	-22,2	-7,7%
0,2	290	Q5	266	Q5	-24,0	-8,3%
0,5	293	Q5	267	Q5	-26,1	-8,9%
1	291	Q5	264	Q5	-27,0	-9,3%
2	289	Q5	259	Q5	-30,0	-10,4%
4	272	Q5	242	Q5	-30,0	-11,0%

Tabelle A 48: Probe W4, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	180		158		-21,6	-10,3%
0	420		349		-70,9	-16,9%
0,01	225	R4	189	R3	-36,0	-16,0%
0,1	155	R3	145	R2	-10,6	-6,8%
0,2	154	R3	139	R2	-14,9	-9,7%
0,5	145	R2	136	R2	-8,7	-6,0%
1	129	R2	113	R2	-15,6	-12,1%
2	113	R2	104	R2	-9,0	-8,0%
4	98	R1	91	R1	-7,0	-7,1%

Tabelle A 49: Probe W4, Nachsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	61		56		-5,1	-6,8%
0	194		182		-12,8	-6,6%
0,01	60	RW3	45	RW2	-15,4	-25,6%
0,1	51	RW3	45	RW2	-5,9	-11,5%
0,2	51	RW3	43	RW2	-7,9	-15,5%
0,5	41	RW2	41	RW2	0,4	1,1%
1	35	RW2	35	RW2	-0,1	-0,3%
2	31	RW1	31	RW1	0,0	0,0%
4	26	RW1	27	RW1	1,0	3,8%

Tabelle A 50: Probe W4, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	43		44		1,1	2,5%
0	47		57		9,7	20,6%
0,01	55	S3	55	S3	-0,1	-0,1%
0,1	47	S1	46	S1	-1,6	-3,4%
0,2	44	S0	43	S0	-0,4	-0,9%
0,5	40	S0	41	S0	0,3	0,7%
1	40	S0	40	S0	-0,2	-0,5%
2	36	S0	35	S0	-1,0	-2,8%
4	31	S0	33	S0	2,0	6,5%

Tabelle A 51: Probe W4, Griffigkeit

Kaltspritzplastiken

Probe Y1

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	248,1		222,6		-25,5	-10,3%
0	249		192		-56,6	-22,7%
0,01	243	Q5	223	Q5	-20,2	-8,3%
0,1	250	Q5	228	Q5	-21,4	-8,6%
0,2	251	Q5	228	Q5	-23,2	-9,2%
0,5	249	Q5	228	Q5	-21,7	-8,7%
1	249	Q5	227	Q5	-22,2	-8,9%
2	247	Q5	228	Q5	-19,8	-8,0%
4	246	Q5	227	Q5	-19,2	-7,8%

Tabelle A 52: Probe Y1, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	355		369		13,9	3,4%
0	227		202		-24,9	-11,0%
0,01	326	R5	383	R5	57,5	17,7%
0,1	366	R5	395	R5	29,8	8,1%
0,2	370	R5	394	R5	23,7	6,4%
0,5	379	R5	409	R5	29,9	7,9%
1	394	R5	421	R5	27,3	6,9%
2	395	R5	405	R5	10,6	2,7%
4	382	R5	339	R5	-43,0	-11,3%

Tabelle A 53: Probe Y1, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	54		56		2,1	4,2%
0	74		75		1,2	1,6%
0,01	60	S4	60	S4	0,4	0,7%
0,1	55	S3	55	S3	0,6	1,2%
0,2	52	S2	54	S2	2,0	3,8%
0,5	49	S1	54	S2	5,0	10,1%
1	48	S1	53	S2	4,4	9,1%
2	47	S1	50	S2	2,7	5,6%
4	47	S1	47	S1	0,5	1,1%

Tabelle A 54: Probe Y1, Griffigkeit

Probe Y2

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	236,2		206,5		-29,7	-12,5%
0	238		180		-57,6	-24,2%
0,01	233	Q5	212	Q5	-21,0	-9,0%
0,1	237	Q5	211	Q5	-25,9	-10,9%
0,2	238	Q5	213	Q5	-25,0	-10,5%
0,5	238	Q5	212	Q5	-25,9	-10,9%
1	237	Q5	211	Q5	-25,7	-10,9%
2	236	Q5	209	Q5	-27,0	-11,4%
4	234	Q5	205	Q5	-29,1	-12,4%

Tabelle A 55: Probe Y2, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	458		353		-105,2	-24,1%
0	259		146		-113,4	-43,7%
0,01	423	R5	342	R5	-81,3	-19,2%
0,1	472	R5	378	R5	-93,9	-19,9%
0,2	485	R5	393	R5	-92,4	-19,0%
0,5	497	R5	396	R5	-101,7	-20,4%
1	498	R5	402	R5	-96,3	-19,3%
2	508	R5	403	R5	-104,8	-20,6%
4	524	R5	366	R5	-158,0	-30,2%

Tabelle A 56: Probe Y2, Nachtsichtbarkeit R_{L,trocken}

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	148		132		-15,8	-9,4%
0	97		79		-17,2	-17,8%
0,01	147	RW5	175	RW6	27,9	19,0%
0,1	194	RW6	153	RW6	-41,0	-21,2%
0,2	184	RW6	154	RW6	-30,3	-16,4%
0,5	160	RW6	142	RW5	-18,0	-11,3%
1	114	RW5	145	RW5	31,3	27,5%
2	143	RW5	114	RW5	-29,3	-20,5%
4	146	RW5	96	RW4	-50,2	-34,4%

Tabelle A 57: Probe Y2, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	47		51		4,3	9,7%
0	62		63		0,8	1,4%
0,01	50	S2	53	S2	2,0	4,0%
0,1	47	S1	50	S2	3,3	7,1%
0,2	45	S1	50	S2	5,1	11,3%
0,5	44	S0	50	S2	6,2	14,3%
1	43	S0	48	S1	4,9	11,6%
2	42	S0	49	S1	6,5	15,5%
4	42	S0	47	S1	5,3	12,8%

Tabelle A 58: Probe Y2, Griffigkeit

Kaltplastiken

Probe K1

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	252		270		17,9	7,1%
0	253		270		17,7	7,0%
0,01	258	Q5	279	Q5	21,0	8,1%
0,1	256	Q5	276	Q5	20,0	7,8%
0,2	253	Q5	273	Q5	20,0	7,9%
0,5	254	Q5	272	Q5	17,6	6,9%
1	252	Q5	269	Q5	16,7	6,6%
2	249	Q5	264	Q5	15,4	6,2%
4	244	Q5	259	Q5	15,2	6,2%

Tabelle A 59: Probe K1, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	227		128		-99,5	-44,0%
0	155		85		-69,9	-45,1%
0,01	204	R4	108	R2	-96,4	-47,3%
0,1	228	R4	123	R2	-104,8	-45,9%
0,2	231	R4	127	R2	-104,1	-45,1%
0,5	240	R4	133	R2	-106,2	-44,3%
1	248	R4	140	R2	-108,0	-43,6%
2	250	R4	147	R2	-102,9	-41,1%
4	263	R4	159	R3	-103,7	-39,5%

Tabelle A 60: Probe K1, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	123		89		-34,0	-26,6%
0	225		157		-67,7	-30,1%
0,01	89	RW4	86	RW4	-2,7	-3,0%
0,1	121	RW5	86	RW4	-35,1	-28,9%
0,2	103	RW5	90	RW4	-12,8	-12,4%
0,5	116	RW5	72	RW3	-43,9	-38,0%
1	94	RW4	62	RW3	-31,9	-33,8%
2	112	RW5	76	RW4	-36,7	-32,6%
4	122	RW5	80	RW4	-41,5	-34,2%

Tabelle A 61: Probe K1, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	42		38		-4,8	-11,5%
0	54		50		-4,1	-7,6%
0,01	42	S0	39	S0	-3,8	-9,0%
0,1	42	S0	39	S0	-3,2	-7,6%
0,2	43	S0	38	S0	-5,1	-11,9%
0,5	41	S0	36	S0	-5,3	-12,9%
1	40	S0	34	S0	-5,9	-14,7%
2	38	S0	34	S0	-4,5	-11,6%
4	37	S0	31	S0	-6,3	-16,9%

Tabelle A 62: Probe K1, Griffigkeit

Probe K2

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	260		261		0,7	0,3%
0	258		255		-3,4	-1,3%
0,01	262	Q5	263	Q5	1,0	0,4%
0,1	262	Q5	263	Q5	0,9	0,3%
0,2	261	Q5	262	Q5	1,7	0,6%
0,5	261	Q5	263	Q5	1,9	0,7%
1	260	Q5	262	Q5	1,4	0,6%
2	260	Q5	261	Q5	1,6	0,6%
4	258	Q5	259	Q5	0,9	0,3%

Tabelle A 63: Probe K2, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	448		415		-33,1	-7,3%
0	345		330		-15,2	-4,4%
0,01	445	R5	423	R5	-21,2	-4,8%
0,1	476	R5	432	R5	-43,8	-9,2%
0,2	483	R5	447	R5	-36,0	-7,4%
0,5	483	R5	446	R5	-37,1	-7,7%
1	482	R5	440	R5	-41,8	-8,7%
2	450	R5	410	R5	-40,7	-9,0%
4	420	R5	391	R5	-28,9	-6,9%

Tabelle A 64: Probe K2, Nachsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	115		130		14,5	11,7%
0	231		327		96,4	41,8%
0,01	140	RW5	67	RW3	-72,7	-52,0%
0,1	142	RW5	180	RW6	37,6	26,4%
0,2	87	RW4	86	RW4	-0,6	-0,6%
0,5	82	RW4	74	RW3	-8,3	-10,1%
1	54	RW3	66	RW3	11,9	22,0%
2	87	RW4	178	RW6	91,8	106,0%
4	99	RW4	59	RW3	-40,0	-40,3%

Tabelle A 65: Probe K2, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	56		54		-1,8	-3,3%
0	75		73		-2,1	-2,9%
0,01	56	S3	55	S3	-0,5	-1,0%
0,1	55	S3	53	S2	-1,4	-2,6%
0,2	56	S3	56	S3	-0,3	-0,6%
0,5	53	S2	52	S2	-1,0	-1,9%
1	52	S2	49	S1	-3,0	-5,8%
2	50	S2	48	S1	-2,3	-4,6%
4	49	S1	46	S1	-3,3	-6,8%

Tabelle A 66: Probe K2, Griffigkeit

Probe K3

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	283		271		-12,4	-4,3%
0	275		270		-4,8	-1,7%
0,01	289	Q5	275	Q5	-14,6	-5,0%
0,1	287	Q5	275	Q5	-11,7	-4,1%
0,2	285	Q5	272	Q5	-12,5	-4,4%
0,5	287	Q5	272	Q5	-15,3	-5,3%
1	285	Q5	269	Q5	-16,0	-5,6%
2	280	Q5	268	Q5	-12,0	-4,3%
4	277	Q5	265	Q5	-12,0	-4,3%

Tabelle A 67: Probe K3, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	331		205		-126	-38%
0	223		133		-90	-40%
0,01	311	R5	182	R3	-129	-41%
0,1	338	R5	202	R4	-136	-40%
0,2	345	R5	215	R4	-130	-38%
0,5	356	R5	222	R4	-134	-38%
1	352	R5	217	R4	-135	-38%
2	357	R5	231	R4	-126	-35%
4	366	R5	240	R4	-126	-34%

Tabelle A 68: Probe K3, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		OPA		OPA-MA	OPA-MA
Alle	84		79		-4,4	-6,9%
0	128		200		72,4	56,6%
0,01	115	RW5	71	RW3	-43,8	-38,0%
0,1	95	RW4	64	RW3	-30,7	-32,4%
0,2	67	RW3	73	RW3	5,6	8,2%
0,5	72	RW3	66	RW3	-6,4	-8,9%
1	71	RW3	47	RW3	-23,6	-33,2%
2	69	RW3	49	RW3	-20,0	-29,1%
4	52	RW3	63	RW3	11,1	21,4%

Tabelle A 69: Probe K3 Nachtsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	46		47		1,0	3,4%
0	67		64		-3,3	-5,0%
0,01	53	S2	50	S2	-3,2	-6,0%
0,1	47	S1	47	S1	-0,3	-0,6%
0,2	45	S1	47	S1	1,8	4,0%
0,5	42	S0	45	S1	3,5	8,4%
1	40	S0	43	S0	3,3	8,4%
2	38	S0	41	S0	3,5	9,3%
4	35	S0	38	S0	3,0	8,6%

Tabelle A 70: Probe K3, Griffigkeit

Thermoplastiken

Probe H1

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	236		215		-21,6	-9,1%
0	231		215		-16,4	-7,1%
0,01	236	Q5	213	Q5	-23,1	-9,8%
0,1	240	Q5	214	Q5	-25,6	-10,6%
0,2	239	Q5	215	Q5	-24,1	-10,1%
0,5	238	Q5	217	Q5	-20,7	-8,7%
1	237	Q5	217	Q5	-19,8	-8,3%

Tabelle A 71: Probe H1, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	207		222		-2,9	-4,2%
0	197		223		26,3	13,4%
0,01	376	R5	430	R5	53,6	14,2%
0,1	214	R4	211	R4	-3,2	-1,5%
0,2	202	R4	188	R3	-14,3	-7,1%
0,5	186	R3	138	R2	-48,2	-25,9%
1	172	R3	141	R2	-31,2	-18,2%

Tabelle A 72: Probe H1, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	48		52		3,4	8,4%
0	62		61		-1,1	-1,7%
0,01	50	S2	45	S1	-5,0	-10,0%
0,1	47	S1	48	S1	1,3	2,7%
0,2	46	S1	48	S1	2,5	5,4%
0,5	43	S0	54	S2	11,0	25,6%
1	42	S0	53	S2	11,9	28,5%

Tabelle A 73: Probe H1, Griffigkeit

Probe H2

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	252		255		4,9	2,0%
0	238		240		2,0	0,8%
0,01	244	Q5	250	Q5	5,3	2,2%
0,1	257	Q5	264	Q5	6,6	2,6%
0,2	256	Q5	262	Q5	5,7	2,2%
0,5	254	Q5	260	Q5	6,0	2,4%
1	253	Q5	257	Q5	4,1	1,6%

Tabelle A 74: Probe H2, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	365		390		24,8	7,4%
0	135		154		19,2	14,3%
0,01	364	R5	387	R5	23,2	6,4%
0,1	402	R5	420	R5	18,0	4,5%
0,2	409	R5	434	R5	25,6	6,3%
0,5	404	R5	438	R5	33,2	8,2%
1	424	R5	444	R5	20,6	4,9%
2	415	R5	445	R5	30,5	7,4%
4	367	R5	396	R5	28,5	7,8%

Tabelle A 75: Probe H2, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	43		42		-0,6	-1,4%
0	58		56		-2,0	-3,4%
0,01	45	S1	45	S1	-0,5	-1,0%
0,1	43	S0	43	S0	-0,3	-0,8%
0,2	42	S0	41	S0	-0,3	-0,8%
0,5	41	S0	40	S0	-1,1	-2,6%
1	39	S0	39	S0	0,0	0,0%
2	37	S0	37	S0	0,0	0,0%
4	38	S0	37	S0	-1,0	-2,7%

Tabelle A 76: Probe H2, Griffigkeit

Probe H3

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	232		240		9,1	3,9%
0	224		230		5,3	2,4%
0,01	227	Q5	238	Q5	11,0	4,9%
0,1	234	Q5	246	Q5	11,7	5,0%
0,2	233	Q5	244	Q5	10,9	4,7%
0,5	233	Q5	242	Q5	9,6	4,1%
1	234	Q5	240	Q5	6,2	2,7%
2	235	Q5				
4	238	Q5				

Tabelle A 77: Probe H3, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 o. 11		SMA-MA	SMA-MA
Alle	289		321		32,3	11,6%
0	136		159		23,3	17,2%
0,01	280	R4	306	R5	25,6	9,1%
0,1	310	R5	342	R5	31,8	10,3%
0,2	317	R5	346	R5	28,8	9,1%
0,5	322	R5	357	R5	35,2	10,9%
1	329	R5	365	R5	36,3	11,1%
2	321	R5	357	R5	36,3	11,3%
4	299	R4	340	R5	41,3	13,8%

Tabelle A 78: Probe H3, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	36		37		0,8	2,1%
0	47		50		2,8	6,0%
0,01	37	S0	37	S0	0,1	0,4%
0,1	37	S0	37	S0	0,8	2,2%
0,2	36	S0	36	S0	0,3	0,8%
0,5	34	S0	35	S0	1,0	2,9%
1	34	S0	34	S0	0,5	1,5%
2	31	S0	32	S0	1,0	3,2%
4	31	S0	31	S0	0,0	0,0%

Tabelle A 79: Probe H3, Griffigkeit

Probe H4

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	242		234		-8,7	-3,6%
0	236		227		-8,2	-3,5%
0,01	240	Q5	227	Q5	-13,3	-5,5%
0,1	248	Q5	235	Q5	-12,6	-5,1%
0,2	246	Q5	238	Q5	-8,3	-3,4%
0,5	245	Q5	240	Q5	-5,1	-2,1%
1	243	Q5	238	Q5	-4,8	-2,0%

Tabelle A 80: Probe H4, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	228		203		-72,1	-28,1%
0	265		206		-59,3	-22,4%
0,01	381	R5	313	R5	-68,0	-17,8%
0,1	285	R4	251	R4	-33,8	-11,8%
0,2	277	R4	206	R4	-71,7	-25,8%
0,5	247	R4	134	R2	-113,1	-45,8%
1	192	R3	106	R2	-86,7	-45,1%

Tabelle A 81: Probe H4, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	40		47		5,5	15,4%
0	59		60		1,5	2,6%
0,01	47	S1	48	S1	1,5	3,2%
0,1	41	S0	46	S1	4,5	11,0%
0,2	38	S0	43	S0	4,9	12,9%
0,5	34	S0	44	S0	10,0	29,7%
1	32	S0	42	S0	10,3	32,8%

Tabelle A 82: Probe H4, Griffigkeit

Probe H5

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	238		238		0,5	0,2%
0	240		242		1,6	0,6%
0,01	239	Q5	240	Q5	0,4	0,2%
0,1	240	Q5	240	Q5	-0,3	-0,1%
0,2	239	Q5	240	Q5	0,6	0,2%
0,5	236	Q5	239	Q5	2,3	1,0%
1	237	Q5	238	Q5	0,7	0,3%
2	235	Q5	234	Q5	-0,7	-0,3%
4	235	Q5	235	Q5	-0,5	-0,2%

Tabelle A 83: Probe H5, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	205		189		-33,0	-12,8%
0	110		139		29,1	26,5%
0,01	313	R5	295	R4	-17,6	-5,6%
0,1	246	R4	260	R4	13,7	5,5%
0,2	243	R4	212	R4	-31,6	-13,0%
0,5	225	R4	120	R2	-105,0	-46,7%
1	197	R3	111	R2	-86,6	-43,8%
2	160	R3				
4	148	R2				

Tabelle A 84: Probe H5, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	47		49		0,0	0,0%
0	68		69		1,0	1,5%
0,01	49	S1	51	S2	1,3	2,7%
0,1	48	S1	44	S0	-3,5	-7,4%
0,2	46	S1	43	S0	-3,2	-7,0%
0,5	43	S0	45	S1	1,4	3,2%
1	39	S0	42	S0	2,8	7,2%
2	43	S0				
4	41	S0				

Tabelle A 85: Probe H5, Griffigkeit

Probe H6

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	228		208		-20,7	-9,0%
0	223		208		-15,4	-6,9%
0,01	232	Q5	207	Q5	-25,2	-10,9%
0,1	233	Q5	207	Q5	-25,4	-10,9%
0,2	230	Q5	207	Q5	-22,2	-9,7%
0,5	228	Q5	210	Q5	-18,6	-8,1%
1	226	Q5	208	Q5	-17,6	-7,8%

Tabelle A 86: Probe H6, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	236		204		-66,1	-26,7%
0	203		208		4,4	2,2%
0,01	413	R5	416	R5	3,1	0,8%
0,1	275	R4	195	R3	-80,7	-29,3%
0,2	269	R4	175	R3	-94,2	-35,0%
0,5	250	R4	115	R2	-134,2	-53,8%
1	210	R4	115	R2	-94,8	-45,2%

Tabelle A 87: Probe H6, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	123		98		-25,0	-20,9%
0	103		156		53,1	51,8%
0,01	158	RW6	160	RW6	2,1	1,3%
0,1	129	RW5	115	RW5	-13,4	-10,4%
0,2	132	RW5	79	RW4	-52,8	-40,1%
0,5	118	RW5	40	RW2	-77,3	-65,7%
1	99	RW4	37	RW2	-61,4	-62,1%

Tabelle A 88: Probe H6, Nachtsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	43		48		3,5	9,0%
0	63		63		0,7	1,1%
0,01	45	S1	46	S1	0,9	1,9%
0,1	41	S0	43	S0	2,7	6,7%
0,2	41	S0	42	S0	1,5	3,8%
0,5	39	S0	44	S0	5,1	13,1%
1	36	S0	46	S1	9,9	27,2%

Tabelle A 89: Probe H6, Griffigkeit

Probe H7

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	248		246		-1,5	-0,6%
0	253		252		-0,8	-0,3%
0,01	253	Q5	251	Q5	-1,9	-0,7%
0,1	246	Q5	248	Q5	1,7	0,7%
0,2	246	Q5	245	Q5	-1,0	-0,4%
0,5	245	Q5	244	Q5	-1,8	-0,7%
1	247	Q5	245	Q5	-2,2	-0,9%
2	247	Q5	244	Q5	-2,5	-1,0%
4	247	Q5	244	Q5	-3,3	-1,4%

Tabelle A 90: Probe H7, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	292		259		-75,3	-18,9%
0	150		184		34,1	22,7%
0,01	387	R5	393	R5	6,7	1,7%
0,1	379	R5	363	R5	-15,6	-4,1%
0,2	385	R5	296	R4	-88,4	-23,0%
0,5	371	R5	171	R3	-200,1	-53,9%
1	333	R5	145	R2	-188,7	-56,6%

Tabelle A 91: Probe H7, Nachtsichtbarkeit $R_{L, trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	78		93		15,8	16,3%
0	72		102		30,0	41,7%
0,01	157	RW6	191	RW6	34,7	22,1%
0,1	78	RW4	128	RW5	49,8	63,9%
0,2	49	RW2	63	RW3	13,7	27,9%
0,5	64	RW3	41	RW2	-23,3	-36,5%
1	46	RW2	36	RW2	-9,9	-21,4%

Tabelle A 92: Probe H7, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	44		48		2,2	5,0%
0	65		68		2,9	4,4%
0,01	46	S1	48	S1	2,3	5,1%
0,1	43	S0	44	S0	0,6	1,4%
0,2	42	S0	43	S0	0,7	1,6%
0,5	40	S0	43	S0	3,5	8,7%
1	37	S0	40	S0	3,2	8,6%

Tabelle A 93: Probe H7, Griffigkeit

Probe H8

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	227		230		3,3	1,4%
0	231		233		1,7	0,7%
0,01	229	Q5	235	Q5	5,3	2,3%
0,1	227	Q5	229	Q5	1,7	0,7%
0,2	225	Q5	228	Q5	2,7	1,2%
0,5	224	Q5	228	Q5	4,0	1,8%
1	223	Q5	227	Q5	4,3	1,9%

Tabelle A 94: Probe H8, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	314		313		-1,0	-0,3%
0	208		166		-42,0	-20,2%
0,01	480	R5	431	R5	-48,3	-10,1%
0,1	308	R5	310	R5	1,7	0,5%
0,2	303	R5	317	R5	14,0	4,6%
0,5	305	R5	344	R5	39,0	12,8%
1	279	R4	308	R5	29,7	10,6%

Tabelle A 95: Probe H8, Nachsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA		SMA-MA	SMA-MA
Alle	58		103		45,4	113,6%
0	70		86		16,3	23,3%
0,01	116	RW5	168	RW6	52,7	45,5%
0,1	69	RW3	117	RW5	47,3	68,3%
0,2	30	RW1	59	RW3	29,0	96,7%
0,5	24	RW0	100	RW5	76,3	318,1%
1	39	RW2	90	RW4	50,7	129,9%

Tabelle A 96: Probe H8, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	47		47		0,8	2,4%
0	65		62		-3,0	-4,6%
0,01	45	S1	47	S1	1,6	3,6%
0,1	44	S0	45	S1	1,4	3,2%
0,2	43	S0	43	S0	0,6	1,4%
0,5	42	S0	43	S0	1,0	2,4%
1	41	S0	44	S0	3,4	8,4%

Tabelle A 97: Probe H8, Griffigkeit

Probe H9

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	223		221		-2,1	-1,0%
0	226		222		-4,2	-1,9%
0,01	228	Q5	227	Q5	-0,8	-0,3%
0,1	224	Q5	223	Q5	-0,7	-0,3%
0,2	222	Q5	221	Q5	-1,7	-0,7%
0,5	221	Q5	220	Q5	-0,4	-0,2%
1	216	Q5	211	Q5	-5,0	-2,3%

Tabelle A 98: Probe H9, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	392		378		-13,7	-4,1%
0	194		174		-20,1	-10,4%
0,01	493	R5	463	R5	-29,1	-5,9%
0,1	451	R5	429	R5	-22,0	-4,9%
0,2	444	R5	435	R5	-9,0	-2,0%
0,5	402	R5	427	R5	25,0	6,2%
1	367	R5	340	R5	-27,0	-7,4%

Tabelle A 99: Probe H9, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA		SMA-MA	SMA-MA
Alle	109		143		33,2	34,7%
0	97		117		20,3	21,0%
0,01	219	RW6	259	RW6	39,6	18,1%
0,1	115	RW5	168	RW6	52,6	45,5%
0,2	87	RW4	107	RW5	20,6	23,7%
0,5	100	RW5	145	RW5	45,2	45,2%
1	38	RW2	59	RW3	21,0	54,8%

Tabelle A 100: Probe H9, Nachtsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	43		43		0,1	0,2%
0	58		59		0,6	1,0%
0,01	42	SO	43	SO	1,0	2,4%
0,1	41	SO	40	SO	-0,6	-1,5%
0,2	40	SO	39	SO	-1,2	-3,0%
0,5	38	SO	37	SO	-0,1	-0,2%
1	37	SO	38	SO	1,0	2,7%

Tabelle A 101: Probe H9, Griffigkeit

Markierungsfolien

Probe F1

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	158		161		1,1	0,7%
0	149		151		1,8	1,2%
0,01	158	Q3	158	Q3	-0,3	-0,2%
0,1	160	Q4	161	Q4	1,7	1,0%
0,2	160	Q4	161	Q4	0,4	0,2%
0,5	160	Q4	162	Q4	1,4	0,9%
1	161	Q4	163	Q4	1,6	1,0%

Tabelle A 102: Probe F1, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	727		628		-19,5	-2,8%
0	762		794		31,1	4,1%
0,01	777	R5	775	R5	-2,4	-0,3%
0,1	744	R5	720	R5	-24,4	-3,3%
0,2	705	R5	680	R5	-24,3	-3,5%
0,5	687	R5	659	R5	-27,7	-4,0%
1	688	R5	619	R5	-68,9	-10,0%

Tabelle A 103: Probe F1, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	50		49		0,0	0,2%
0	60		57		-3,4	-5,6%
0,01	49	S1	50	S2	0,6	1,2%
0,1	47	S1	48	S1	0,8	1,7%
0,2	48	S1	49	S1	0,9	1,9%
0,5	47	S1	47	S1	0,0	0,0%
1	46	S1	47	S1	0,8	1,7%

Tabelle A 104: Probe F1, Griffigkeit

Probe F2

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	184		183		-0,5	-0,3%
0	175		183		7,2	4,1%
0,01	184	Q4	182	Q4	-1,6	-0,8%
0,1	187	Q4	185	Q4	-1,3	-0,7%
0,2	186	Q4	185	Q4	-1,4	-0,7%
0,5	185	Q4	184	Q4	-1,4	-0,8%
1	185	Q4	183	Q4	-1,8	-1,0%
2	186	Q4	184	Q4	-2,1	-1,1%
4	184	Q4	182	Q4	-1,7	-0,9%

Tabelle A 105: Probe F2, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	365		375		10,2	2,6%
0	276		270		-6,7	-2,4%
0,01	369	R5	387	R5	18,6	5,0%
0,1	394	R5	408	R5	14,4	3,7%
0,2	388	R5	397	R5	8,4	2,2%
0,5	392	R5	401	R5	9,8	2,5%
1	398	R5	421	R5	22,2	5,6%
2	330	R5	332	R5	1,3	0,4%
4	372	R5	385	R5	13,4	3,6%

Tabelle A 106: Probe F2, Nachtsichtbarkeit $R_{L,trocken}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	257		252		-5,5	-2,1%
0	210		218		7,4	3,5%
0,01	327	RW6	338	RW6	11,3	3,5%
0,1	295	RW6	307	RW6	12,4	4,2%
0,2	275	RW6	268	RW6	-6,4	-2,3%
0,5	287	RW6	252	RW6	-35,4	-12,3%
1	189	RW6	197	RW6	7,3	3,8%
2	228	RW6	208	RW6	-20,3	-8,9%
4	248	RW6	228	RW6	-20,4	-8,2%

Tabelle A 107: Probe F2, Nachtsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	44		45		1,2	2,7%
0	52		57		4,1	7,8%
0,01	49	S1	51	S2	2,1	4,2%
0,1	46	S1	46	S1	0,2	0,4%
0,2	44	S0	45	S1	0,8	1,9%
0,5	42	S0	43	S0	1,3	3,2%
1	42	S0	42	S0	0,2	0,5%
2	41	S0	42	S0	0,3	0,7%
4	38	S0	39	S0	0,9	2,5%

Tabelle A 108: Probe F2, Griffigkeit

Probe F3

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	259		252		-7,0	-2,8%
0	236		219		-17,3	-7,3%
0,01	260	Q5	260	Q5	0,0	0,0%
0,1	264	Q5	264	Q5	-0,2	-0,1%
0,2	264	Q5	260	Q5	-4,0	-1,5%
0,5	263	Q5	260	Q5	-3,0	-1,1%
1	263	Q5	258	Q5	-5,0	-1,9%
2	262	Q5	250	Q5	-12,0	-4,6%
4	261	Q5	246	Q5	-14,7	-5,6%

Tabelle A 109: Probe F3, Tagessichtbarkeit Q_d

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	804		728		-75,5	-9,5%
0	498		394		-103,7	-20,8%
0,01	670	R5	658	R5	-11,7	-1,7%
0,1	787	R5	764	R5	-23,0	-2,9%
0,2	826	R5	759	R5	-67,3	-8,2%
0,5	873	R5	831	R5	-42,0	-4,8%
1	885	R5	849	R5	-36,3	-4,1%
2	935	R5	797	R5	-137,7	-14,7%
4	957	R5	774	R5	-182,7	-19,1%

Tabelle A 110: Probe F3, Nachtsichtbarkeit R_{L,trocken}

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8 S		SMA-MA	SMA-MA
Alle	210		182		-27,6	-13,9%
0	340		243		-97,0	-28,5%
0,01	550	RW6	515	RW6	-34,3	-6,2%
0,1	169	RW6	182	RW6	12,7	7,5%
0,2	132	RW5	113	RW5	-19,3	-14,6%
0,5	133	RW5	103	RW5	-30,3	-22,8%
1	102	RW5	93	RW4	-8,7	-8,5%
2	106	RW5	75	RW4	-31,0	-29,2%
4	147	RW5	134	RW5	-13,0	-8,8%

Tabelle A 111: Probe F3, Nachsichtbarkeit $R_{L,feucht}$

ÜR	Mittelwert	erreichte Klasse	Mittelwert	erreichte Klasse	Δ abs.	Δ %
	MA		SMA 8		SMA-MA	SMA-MA
Alle	54		54		0,1	-0,1%
0	64		68		4,4	6,9%
0,01	58	S3	58	S3	0,0	0,0%
0,1	54	S2	54	S2	0,0	0,0%
0,2	54	S2	54	S2	0,0	0,0%
0,5	52	S2	51	S2	-1,4	-2,7%
1	51	S2	49	S1	-1,8	-3,5%
2	49	S1	50	S2	0,4	0,8%
4	48	S1	47	S1	-1,0	-2,1%

Tabelle A 112: Probe F3, Griffigkeit

Tabellen

Tabelle 1: Eigenschaften des SMA 8 S und der Prüfkörper gemäß Ausschreibung der BAST und Eignungsnachweis.....	15
Tabelle 2: Eigenschaften des PA 8 und der Prüfkörper.....	16
Tabelle 3: Übersicht der untersuchten Proben	18
Tabelle 4: Rauheitsklassen gemäß DIN EN 13197.....	23
Tabelle 5: Ergebnis der Messung der Retroreflexion $R_{L,trocken}$ an Probe S1	27
Tabelle 6: Ergebnis der Messung der Griffigkeit (SRT-Wert) an Probe S1.....	28
Tabelle 7: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei HS-Farben.....	31
Tabelle 8: Verschleiß bei HS-Farben	33
Tabelle 9: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Dispersionsfarben.....	39
Tabelle 10: Verschleiß der Proben aus Dispersionsfarben in Abhängigkeit der Rauigkeitsklasse und Anzahl der Überrollungen	40
Tabelle 11: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Kaltspritzplasiken.....	40
Tabelle 12: Verschleiß bei Kaltspritzplastiken	41
Tabelle 13: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Thermoplastiken.....	42
Tabelle 14: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG4 bei Kaltplastiken auf MA und OPA	44
Tabelle 15: Mittlere Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Folien auf MA und SMA	45
Tabelle 16: Übersicht der mittleren Differenzen zwischen RG1 und RG2 in Abhängigkeit der Markierungsstoffart.....	47
Tabelle 17: Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse	49
Tabelle 18: Standardabweichung der Einzelmesswerte bzw. Differenz der Standardabweichungen bei 0,01 und 1,0 Mio. ÜR für $R_{L,trocken}$, $R_{L,feucht}$ und die Griffigkeit in Abhängigkeit der Asphaltart.....	51

Bilder

Bild 1: Beispielhafte Darstellung von Prüfkörpern aus Gussasphalt (links) und Splittmastixasphalt (rechts)	14
Bild 2: Ansicht der Seitenfläche eines Prüfkörpers aus Gussasphalt (links) und der Schnittkante eines Prüfkörpers aus Splittmastixasphalt (rechts)	15
Bild 3: Rundlaufprüfanlage der BAST (Bild: BAST)	20
Bild 4: Abplatzung bei Probe S8 in der Draufsicht (Vergrößerung mit Handlupe).....	26
Bild 5: Beispiele für Abrieb bei HS-Farben nach 1 Mio. ÜR. Von Links nach Rechts: Prüfkörper 2 und 3 von Probe S2 mit 300 µm auf RG1-Prüfkörper, Probe S2 auf RG2-Prüfkörper, Probe S5 zweifach appliziert (2x300 µm) auf RG2-Prüfkörper	27
Bild 6: Probe S4 auf MA (links) und auf SMA (rechts), beide Proben nach jeweils 0,5 Mio ÜR.....	27
Bild 7: Probe S4 auf MA (links) und auf SMA (rechts), beide Proben nach jeweils 2,0 Mio ÜR.....	28
Bild 8: Beispiel für freigefahrene Gesteinskörnungen bei einer Probe auf SMA (hier: Probe W2)	29
Bild 9: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei HS-Farben	34
Bild 10: HS-Farbe, Typ I, Neuzustand a) Probe S2 mit 300 µm auf Gussasphalt b) S2 mit 300 µm auf SMA und c) Probe S5 mit 600 µm auf SMA (2fach appliziert, jeweils mit NSM).....	36
Bild 11: Q_d -Werte Probe S2 und S5, Typ I (einfach = 300 µm und zweifach = 600 µm)	37
Bild 12: R_L -Werte Probe S2 und S5, Typ I (einfach = 300 µm und zweifach = 600 µm).....	37
Bild 13: Griffigkeit Probe S2 und S5, Typ I (einfach = 300 µm und zweifach = 600 µm)	38
Bild 14: Probe S7 auf MA (600 µm), Probe S7 auf SMA (600 µm) und Probe S8 auf SMA (zweifach appliziert mit 2 x 600 µm = 1200 µm)	39
Bild 15: Q_d -Werte von Proben S7 und S8 bei 600 µm und 1200 µm (einfach = 600 µm und zweifach = 1200 µm).....	39
Bild 16: R_L -Werte von Proben S7 und S8 bei 600 µm und 1200 µm (einfach = 600 µm und zweifach = 1200 µm).....	40
Bild 17 Griffigkeit von Proben S7 und S8 bei 600 µm und 1200 µm (einfach = 600 µm und zweifach = 1200 µm).....	41
Bild 18: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Dispersionsfarben	43
Bild 19: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei KSP.....	45

Bild 20: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Thermoplastiken	43
Bild 21: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG4 bei Kaltplastiken	44
Bild 22: Grafische Darstellung der prozentualen Differenzen der verkehrstechnischen Eigenschaften zwischen RG1 und RG2 bei Folien.....	45
Bild 23: Darstellung des Streudiagramms und der Regressionsgerade für die Gruppe der Dispersionsfarben, Variable: SRT.....	48
Bild 24: Regressionsanalyse für die Gruppe „Kaltplastiken“ auf OPA, Variable Q_d	50
Bild 25: Separate Regressionsanalyse für die einzelnen Proben in der Gruppe „Kaltplastiken“; Variable Q_d	50
Bild 26: Beispiele für das Durchbluten (von Links nach Rechts: Probe S2 Rückstellmuster 1x300 μm , Probe S2 nach RPA 1x300 μm und Probe S4 nach RPA)	52

