

**Praxisbewährung
thermoplastischer
Markierungssysteme
(Markierungsprüffeld B4)**

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

Praxisbewährung thermoplastischer Markierungssysteme (Markierungsprüffeld B4)

Abteilung V Straßenverkehrstechnik

M.Sc. Christian Mathea
Referat V4 Straßenausstattung
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach
E-Mail: mathea@bast.de

Bundesanstalt für Straßenwesen
01. Februar 2021

Kurzfassung

Fahrbahnmarkierungen dienen der Ordnung bzw. der optischen Führung des Individualverkehrs und leisten damit einen wesentlichen Beitrag zur Verkehrssicherheit. Für die in Deutschland auf Bundesfernstraßen eingesetzten Fahrbahnmarkierungen sind hierfür definierte Anforderungen in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen (ZTV M 13) für den Neu- und Gebrauchszustand festgelegt. Die Überprüfung der Einhaltung der Mindestanforderungen eines einzelnen Markierungssystems erfolgt im Rahmen einer Eignungsprüfung auf der Rundlaufprüfanlage (RPA) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) gemäß den EN 13197.

Zunehmend unzufriedenstellend waren in den vergangenen Jahren die Prüfergebnisse der auf der RPA getesteten thermoplastischen Markierungssysteme, die im Vergleich zu Systemen anderer Markierungsmaterialien eine auf Verschleiß ausgerichtete Charakteristik aufweisen. Während nach dem Einbau der nach EN 13197 vorgeschriebenen Reifenkühlung im Jahr 2013 noch nahezu alle geprüften Markierungssysteme die RPA-Prüfung erfolgreich absolvierten, erfüllte im Jahr 2017 ein Großteil der geprüften Markierungssysteme nicht die Mindestanforderungen an die Griffigkeit. Da die Griffigkeit laut Rückmeldungen in der Praxis eher selten ein Problem darstellt, wurde zur Ursachensachenforschung eine Praxisbewährung für thermoplastische Markierungssysteme initiiert.

Der Startschuss der Praxisbewährung erfolgte mit der Applikation 19 verschiedener Thermoplastiken im Jahr 2018 auf dem bereits angelegten Markierungsprüffeld der Bundesstraße 4 zwischen Bad Harzburg und Torfhaus (Landkreis Goslar). Zur Bewertung des Leistungsverhaltens wurden die verkehrstechnischen Eigenschaften (Tages- / Nachtsichtbarkeit und Griffigkeit) im Neu- und Gebrauchszustand anhand eines definierten Messrasters sowie Zeitintervalls gemessen. Während einer Liegedauer von zwei Jahren konnte mithilfe vorliegender DTV-Werte sowie eines unterstützenden Abgleichs zwischen den auf dem Prüffeld und den auf der RPA bestimmten Messergebnissen des RPA-Referenzmusters (Markierungsfolie) die Überrollungsklasse P6 (2 Mio. Überrollungen) ermittelt werden.

Im Vergleich zu den auf der RPA erzielten Ergebnissen bildet auf dem Prüffeld im Allgemeinen nicht die Griffigkeit, sondern die Nachtsichtbarkeit die kritische Größe. Als eine der zahlreichen möglichen Ursachen kommt, u. a. neben den wählbaren, zulässigen und individuellen Parametereinstellungen für die RPA-Prüfung gemäß EN 13197, die divergierende Rautiefe zwischen den in der Laborprüfung verwendeten Probeträgern (Rauheitsklasse RG1) und der Asphaltdeckschicht des Prüffelds (Rauheitsklasse RG3) in Betracht.

In Anbetracht der Ergebnisse, der gewonnenen Erkenntnisse, der voraussichtlichen Dauer zwischen der Applikation und dem Abschluss der Prüfung sowie des mit einer ergänzenden Praxisbewährung hohen erforderlichen Personaleinsatzes sollte grundsätzlich auch weiterhin von einer Prüfung von Markierungssystemen auf dem Prüffeld abgesehen werden. Untersuchungen auf dem Prüffeld eignen sich hingegen gut, um beispielsweise einen Abgleich der Ergebnisse auf der RPA mit Ergebnissen aus der praktischen Anwendung zu vollziehen und mögliche Ursachen für Unterschiede zu identifizieren.

Danksagung

Der erfolgreiche Abschluss des Projekts der Praxisbewährung thermoplastischer Markierungssysteme auf dem Prüffeld der Bundesstraße 4 ist das Resultat einer vertrauensvollen und engen Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten. Ohne die zur Verfügungstellung des Prüffeldes und die Verkehrsabsicherung, die Begleitung der Applikationen, die Durchführung von Messungen der verkehrstechnischen Eigenschaften sowie der Erlaubniserteilung zur Nutzung der Messdaten in anonymisierter Form wäre die Durchführung des Projekts sowie die Erlangung von neuen und umfangreichen Erkenntnissen über das Praxisverhalten thermoplastischer Markierungssysteme nicht möglich gewesen. Für ihre Unterstützung und hervorgebrachtes Engagement sei folgenden beteiligten Akteurinnen und Akteuren bzw. Firmen und Institutionen – in alphabetischer Reihenfolge – gedankt:

- Deutsche Studiengesellschaft für Straßenmarkierungen e.V.:
Fr. Dr. Drewes
Hr. Hellwig
Hr. John
Hr. Wolf
Fr. Wurzbacher-Wustig
- 3M Deutschland GmbH
- Euromark Deutschland GmbH
- Geveko Markings Denmark A/S
- IMS GmbH
- Kontur Sp. z o. o.
- Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr
- Oré Peinture
- Swarco Vestglas GmbH
- Tewe Bauchemiegesellschaft mbH
- Veluvine B.V.

Ausgangslage und Hintergründe

Im Jahr 2013 wurde nach umfangreichen Forschungsläufen auf der Rundlaufprüfanlage (RPA) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit zwei unterschiedlichen Thermoplastiken (Naturharz, Kunstharz) die zuvor eingebaute und nach EN 13197 vorgeschriebene Reifenkühlung bei der Prüfung von thermoplastischen Markierungssystemen in Betrieb genommen [1]. Die anschließenden Prüfläufe haben fast alle Muster erfolgreich beendet. Da die Ergebnisse der Thermoläufe in den Jahren 2015 und 2016 aber immer schlechter wurden und im Jahr 2017 aufgrund von Unterschreitungen der Mindestanforderungen an die Griffigkeit kaum ein Muster die Prüfung bestanden hat, wurde zum einen nach möglichen Ursachen zum anderen aber auch nach alternativen Lösungen zur Prüfung von thermoplastischen Markierungssystemen gesucht. Neben weiteren Forschungsläufen oder Prüfungen auf der spanischen Rundlaufprüfanlage wurde auch eine Praxisbewährung auf einem Prüffeld in Erwägung gezogen. Hintergrund hierfür war u. a., dass es immer wieder Rückmeldungen gab, dass die auf der RPA problematische Griffigkeit in der Praxis eher selten ein Problem darstellt. Zur Ursachenuntersuchung wurde entschieden, dass neben der Durchführung weiterer Forschungsläufe auf der RPA die Idee einer Praxisbewährung für ausgewählte Thermomuster weiterverfolgt wird.

Eine Besonderheit thermoplastischer Markierungssysteme im Vergleich zu Systemen anderer Markierungsmaterialien, wie zum Beispiel reaktiven Stoffen, ist die auf Verschleiß ausgerichtete Charakteristik. Die Funktionsweise besteht in einer belastungsbedingten zunehmenden Abtragung des thermoplastischen Markierungsmaterials und der damit verbundenen Freilegung eingemischter Griffigkeitsmittel und Markierungsglasperlen, um während des gesamten Lebenszyklus der Markierung ein möglichst konstantes Niveau der verkehrstechnischen Eigenschaften zu erzielen.

Vorgehen und Randbedingungen

In den Kalenderwochen 35 und 36 des Jahres 2018 erfolgten unter Aufsicht der Deutschen Studiengesellschaft für Straßenmarkierungen e.V. (DSGS) und im Beisein von Beschäftigten des Referats V4 der BASt die Applikationen 19 verschiedener thermoplastischer Markierungssysteme auf dem Markierungsprüffeld der B 4. Neben den 19 Thermoplastikmustern wurden zudem das aktuell im Rahmen der RPA-Prüfungen verwendete Referenzmuster (Prüffeld-Nr. 65) sowie eine weitere Markierungsfolie (Prüffeld-Nr. 90) appliziert. Letztgenanntes Markierungsmuster (Prüffeld-Nr. 90) ist nicht Untersuchungsgegenstand der hier thematisierten Praxisbewährung und wird ausschließlich aus Gründen der Vollständigkeit der Gesamtheit der von der BASt betreuten Markierungsmuster auf dem Markierungsprüffeld der B 4 aufgeführt.

Die ordnungsgemäße Durchführung der Applikationen wurde durch die DSGS protokolliert und bestätigt. Außerdem wurden zur Durchführung der zwingend erforderlichen Mustergleichheitsprüfungen entsprechende Proben des Markierungsstoffes und Nachstreumittels der einzelnen Markierungssysteme durch die DSGS gezogen.

Markierungsprüffeld der Bundesstraße 4:

Das derzeit rund 400 m lange und mehr als 100 unterschiedliche Markierungsmuster umfassende Markierungsprüffeld ist auf dem rechten Fahrstreifen der im Bereich des Prüffeldes 4-streifig angelegten B 4 zwischen Bad Harzburg und Torfhaus (Landkreis Goslar) gelegen (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Markierungsprüffeld der Bundesstraße 4



Foto: BASt

Dieses wurde in einem im Jahr 2006 initiierten Projekt der DSGS in Zusammenarbeit mit der BASt und der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr zur Überprüfung der Schneepflugresistenz – insbesondere von Markierungen des Typs II – erstmalig aufgelegt. Typ II-Markierungen weisen zum Beispiel aufgrund ihrer drainagefördernden Oberflächenstruktur besonders ausgeprägte Reflexionseigenschaften bei Nacht und Nässe auf. Zur Beantwortung diverser Fragestellungen und Weiterentwicklungen von Markierungssystemen, wie zum Beispiel im Hinblick auf die Beständigkeit gegenüber dem Winterdienst, wird das Prüffeld weiterhin von der DSGS sowie der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr betrieben und konnte von der BASt für die Praxisbewährung thermoplastischer Markierungssysteme genutzt werden [2].

Anforderungen, wie zum Beispiel an die Lage eines Prüffeldes, legt die EN 1824 (Straßenmarkierungsmaterialien – Feldprüfungen) fest. Zum Abgleich der in der EN 1824 definierten Anforderungen mit den Gegebenheiten des Prüffeldes der B 4 dient Tabelle 1 [3].

Tabelle 1: Anforderungen an Markierungsprüffelder

DIN EN 1824	Prüffeld B 4	Bewertung
Klimaklasse C	Klimaklasse C ¹	erfüllt
LKW-Anteil zw. 10 und 25 %	SV-Anteil ca. 5 % ²	nicht erfüllt

¹Klima Braunlage Station Braunlage (607 m) (Datenbasis: 11/2015-10/2020); wetterdienst.de [4]

²Verkehrsmengenkarte Niedersachsen 2015; Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr [5]

Darüber hinaus werden im Folgenden die Eigenschaften der Straßenoberfläche des Markierungsprüffeldes der B 4 unter Angabe der nach EN 13036-1 ermittelten mittleren Texturtiefe (MTD) und die Anordnung der Prüfmuster beschrieben sowie die Überrollungsklasse angegeben [6]:

(1) Eigenschaften der Straßenoberfläche:

Bei der Straßenoberfläche handelt es sich um eine Asphaltdeckschicht, welche zum Zeitpunkt der Applikationen älter als ein Jahr war und sich optisch in einem unauffälligen Zustand befand. Beschädigungen in Form von Spurrinnen, Rissen oder Aufbrüchen waren kaum bis nicht vorhanden. Die im Rahmen der Applikationen mittels Sandfleckverfahren ermittelte MTD lag bei einem Probevolumen von ca. 9.700 mm³ und einem mittleren Durchmesser der vom Sand bedeckten Fläche von ca. 110 mm im Bereich von > 0,90 mm und ≤ 1,20 mm und entspricht gemäß Tabelle 2 der EN 1824 der Rauheitsklasse RG3 [3].

(2) Überrollungsklasse:

Da nicht auf die Daten eines Radzählsystems zurückgegriffen werden konnte, wurden behelfsweise zur Bestimmung der Überrollungsklasse in Anlehnung an die EN 1824 die aktuellsten verfügbaren Verkehrsdaten zugrunde gelegt. Diese wiesen für den entsprechenden Abschnitt der B 4 eine durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) von 5.900 [Kfz/24h] mit einem Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil) von ca. 5 % bzw. 300 [SV/24h] aus [5]. Der DTV teilt sich praxisüblich auf beide Fahrrichtungen zu jeweils 50 % (2950 [Kfz/24h], davon 150 [SV/24h]), auf. Darüber hinaus wurde die Annahme getroffen, dass sich der richtungsbezogene DTV homogen auf die beiden vorhandenen Fahrstreifen verteilt. Demzufolge liegt ein DTV von 1475 [Kfz/24h] bei einem SV-Anteil von 75 [SV/24h] pro Fahrstreifen vor. Zur fundierten Klassifizierung der Überrollungsklasse in Abhängigkeit der Verteilung des DTV auf die richtungsgebundenen Fahrstreifen wurde auch der Fall betrachtet, dass der SV ausschließlich den rechten Fahrstreifen nutzt und sich die übrigen Kfz homogen auf die vorhandenen Fahrstreifen verteilen. Der DTV des rechten Fahrstreifens liegt in diesem Fall bei 1550 [Kfz/24h] bei einem SV-Anteil von 150 [SV/24h].

Die Annahme der gleichmäßigen Kfz-Verteilung auf die beiden vorhandenen Richtungsfahrstreifen beruht auf einer Auswertung über Zählstellen auf Bundesautobahnen in Verbindung mit Beobachtungen vor Ort [7]. Zwar ergab die o.g. Auswertung, dass ca. 64 % aller Kfz bzw. 95 % einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn den rechten Fahrstreifen nutzen. Allerdings zeigten Vor-Ort-Beobachtungen, dass (insbesondere ortskundige) Fahrzeugführende in auffälliger Häufigkeit den rechten Fahrstreifen und somit das Überfahren des Prüffeldes – vermutlich aus Gründen des Fahrkomforts – meiden, so dass die Auswertung über Zählstellen auf Bundesautobahnen nur bedingt auf die Situation des Prüffeldes übertragen werden kann und daher von einer homogenen Verteilung ausgegangen wird. Dabei wird auch der Fall der 100-prozentigen SV-Nutzung des rechten Richtungsfahrstreifens bei einer ansonsten homogenen Verteilung berücksichtigt.

Auf Grundlage eines zuvor dargelegten DTV von 1475 [Kfz/24h] bei einem SV-Anteil von 75 [SV/24h] im ersten Fall bzw. einem DTV von 1550 [Kfz/24h] bei einem SV-Anteil von 150 [SV/24h] im zweiten Fall ergeben sich in einem Zeitraum von zwei Jahren die in

Tabelle 2 aufgeführten Radüberrollungszahlen. Dabei wird ein zweiachsiges Kfz angenommen. Die Summe der Achsübergänge des SV wird unter Zuhilfenahme des im Anhang 1 der Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12) definierten Achszahlfaktor (f_A)³ für Bundesstraßen berechnet [8].

Tabelle 2: Radüberrollungen

Fall 1		
Überrollungen Kfz	Überrollungen SV	Überrollungen – gesamt
$1400 \times 2 \times 365 \times 2$ = 2.044.000 <i>(DTV(Kfz) × Achsen × Zeit)</i>	$75 \times 4 \times 365 \times 2$ = 219.000 <i>(DTV(SV) × f_a × Zeit)</i>	$2.044.000 + 219.000$ = 2.263.000 $= DTV(Kfz) + DTV(SV)$
Fall 2		
Überrollungen Kfz	Überrollungen SV	Überrollungen – gesamt
$1400 \times 2 \times 365 \times 2$ = 2.044.000 <i>(DTV(Kfz) × Achsen × Zeit)</i>	$150 \times 4 \times 365 \times 2$ = 438.000 <i>(DTV(SV) × f_a × Zeit)</i>	$2.044.000 + 219.000$ = 2.482.000 $= DTV(Kfz) + DTV(SV)$

Mit einer ermittelten Anzahl von 2.263.000 Radüberrollungen im ersten Fall bzw. 2.482.000 im zweiten Fall (vgl. Tabelle 2) kann auf dem Prüffeld der B 4 im Zeitraum von zwei Jahren und unter Berücksichtigung der zulässigen Toleranzen gemäß der Tabelle 3 der EN 1824 – mit Ausnahme einer vernachlässigbaren Überschreitung von 63.000 bzw. 282.000 Radüberrollungen – maximal die Überrollungsklasse P6 abgebildet werden. Die für die nächste und letzte Überrollungsklasse P7 erforderliche Radüberrollungszahl von 4.000.000 wird deutlich unterschritten [3].

Eine Dokumentation der Winterdiensteinsätze liegt nicht vor. Dementsprechend werden etwaige Schneeflugübergänge nicht berücksichtigt.

(3) Anordnung der Markierungsmuster:

Die Anordnung der Markierungsmuster erfolgte gemäß EN 1824 in Längsanordnung und orientierte sich dabei an den bereits auf dem Prüffeld liegenden Mustern (vgl. Abbildung 1) [3]. Detaillierte Angaben zur Anordnung und der Bemaßung sind in der Anlage (A) dargestellt.

Messkonzept

Im Untersuchungszeitraum von zwei Jahren wurden in fünf Messreihen die folgenden verkehrstechnischen Eigenschaften im Neu- und Gebrauchszustand der 19 applizierten thermoplastischen Markierungssysteme sowie des Referenzmusters gemessen:

- Tagessichtbarkeit [Q_d]
- Nachtsichtbarkeit, trocken [R_L]
- Griffigkeit [SRT]

³ Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12), Tabelle A 1.1: Achszahlfaktor f_a ; FGSV

Die Durchführung der einzelnen Messreihen erfolgte im August 2018 und in den Monaten Mai und August des Folgejahres durch Beschäftigte der BAST. Im Jahr 2020 wurden die notwendigen Messungen aufgrund pandemiebedingter Reisebeschränkungen im Auftrag der BAST durch den Prüfdienst der DSGS als anerkannte Prüfstelle für Fahrbahnmarkierungen (Prüfstellen-Nummer F 01 86) im Mai und August durchgeführt [9]. Voraussetzung für die beauftragten Messleistungen im Jahr 2020 war die Vergleichbarkeit der durch die BAST bzw. DSGS ermittelten Messwerte, welche anhand einer im Jahr 2019 vorgenommenen Vergleichsmessung (BAST und DSGS) bescheinigt werden konnte.

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der einzelnen Messreihen über die Zeit wurden entsprechende Messraster definiert. Aufgrund der zwischenzeitlichen Einführung der Technischen Regeln für Arbeitsstätten A5.2 (ASR A5.2) und damit größerer erforderlicher Abstände des Messpersonals vom fließenden Verkehr weichen die gewählten Messpunkte des Neuzustandes von denen des Gebrauchszustandes ab [10]. Da die gewählten Messpunkte im Gebrauchszustand über die Zeit deckungsgleich sind und die Messwertentwicklung im Gebrauchszustand bei der Bewertung der Performance eine besondere Bedeutung zukommt, sind die beschriebenen Abweichungen vernachlässigbar.

Die Messungen im Neuzustand der zu ermittelnden verkehrstechnischen Eigenschaften erfolgten an insgesamt 8 Messpunkten. Die konkrete Lage der einzelnen Messpunkte eines einzelnen Markierungsmusters ist in Anlage (B) dargestellt. Für die Messungen im Gebrauchszustand wurden zur Bestimmung der Griffigkeit 8 Messpunkte festgelegt, die Tages- und Nachtsichtbarkeit wurde an insgesamt 25 Punkten gemessen. Den Anlagen (C) und (D) sind die Messpunkte zu entnehmen. Unabhängig von den Messungen im Gebrauchs- oder Neuzustand wurde aus allen Einzelmessungen pro Streifen einer jeweiligen Messreihe das arithmetische Mittel gebildet. Zusätzlich erfolgte eine Mittelwertbildung aller Messwerte einer Messgröße.

Ergebnisse und Auswertung

Im Folgenden werden die Messwerte aller thermoplastischen Markierungssysteme nach den untenstehenden Punkten differenziert betrachtet und in der Gesamtheit ausgewertet. Eine herstellerbezogene detaillierte Auswertung einzelner Markierungsmuster ist aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht Bestandteil des vorliegenden Forschungsberichtes.

(1) Entwicklung der Messwerte aller Markierungsmuster (2018-2020) (vgl. Anlage (E)):

Bei Betrachtung der Entwicklung aller Messergebnisse über alle Streifen ist zwischen den einzelnen gemessenen verkehrstechnischen Eigenschaften während der gesamten Liegedauer der Markierungsmuster augenscheinlich kein Zusammenhang der Eigenschaften untereinander feststellbar. Dies bestätigen auch die ermittelten Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Größen, die im Bereich von $\pm 0,2$ liegen, sodass auch statistisch gesehen von keinem erkennbaren Zusammenhang gesprochen werden kann. Tendenziell ist jedoch zu beobachten, dass je höher die Griffigkeitswerte sind, desto niedriger die Nachtsichtbarkeitswerte, wenngleich der Zusammenhang aufgrund eines Korrelationskoeffizienten von 0,12 als sehr gering einzustufen ist.

a) Tagessichtbarkeit [Q_d]:

Die Tagessichtbarkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei $190 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Dabei beträgt der niedrigste Wert $85 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Der Höchstwert ist auf $286 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ beziffert. Das im Rahmen der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit $162 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen (ZTV M 13) bei $130 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ [14].

Auffällig ist, dass – mit Ausnahme der Messungen im Mai 2019 – das Wertenniveau aller Markierungsmuster kontinuierlich abnimmt und der Größe der verkehrstechnischen Eigenschaft der Tagessichtbarkeit folglich ein homogenes Verhalten bescheinigt werden kann.

b) Nachtsichtbarkeit [R_L]:

Die Nachtsichtbarkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei $162 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Dabei beträgt der niedrigste Wert $43 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Der Höchstwert ist auf $278 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ beziffert. Das im Rahmen der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit $149 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß ZTV M 13 bei $100 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ [14].

Entgegen des Verhaltens der Tagessichtbarkeit ist bei der Größe der Nachtsichtbarkeit kein gleichartiges Verhaltensschema innerhalb der Gesamtheit zu verzeichnen. Die Performance der einzelnen Markierungssysteme ist individuell.

c) Griffigkeit [SRT]:

Die Griffigkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei 57 SRT-Einheiten. Dabei beträgt der niedrigste Wert 41 SRT-Einheiten. Der Höchstwert ist auf 70 SRT-Einheiten beziffert. Das im Rahmen der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit 55 SRT-Einheiten dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß ZTV M 13 bei 45 SRT-Einheiten [14].

Analog zur Nachtsichtbarkeit ist auch bei der Größe der Griffigkeit kein gleichartiges Verhaltensschema der Gesamtheit zu verzeichnen. Die Performance der einzelnen Markierungssysteme ist individuell.

(2) Entwicklung der Untermenge mit Messwerten der Typ I Markierungssysteme (vgl. Anlage (F)):

Bei Betrachtung der Entwicklung aller Messergebnisse über alle Streifen ist zwischen den einzelnen gemessenen verkehrstechnischen Eigenschaften während der gesamten Liegedauer der Markierungsmuster statistisch gesehen (Korrelationskoeffizienten liegen im Bereich von ± 0.2) kein Zusammenhang feststellbar.

a) Tagessichtbarkeit [Q_d]:

Die Tagessichtbarkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei $191 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Dabei beträgt der niedrigste Wert $143 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Der Höchstwert ist auf $268 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ beziffert. Das im Rahmen der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit $164 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß ZTV M 13 bei $130 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ [14].

b) Nachtsichtbarkeit [R_L]:

Die Nachtsichtbarkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei $174 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Dabei beträgt der niedrigste Wert $70 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Der Höchstwert ist auf $278 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ beziffert. Das im Rahmen der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit $168 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß ZTV M 13 bei $100 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ [14].

c) Griffigkeit [SRT]:

Die Griffigkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei 56 SRT-Einheiten. Dabei beträgt der niedrigste Wert 41 SRT-Einheiten. Der Höchstwert ist auf 63 SRT-Einheiten beziffert. Das im Rahmen der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit 55 SRT-Einheiten dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß ZTV M 13 bei 45 SRT-Einheiten [14].

(3) Entwicklung der Untermenge mit Messwerten der Typ II Markierungssysteme (vgl. Anlage (G)):

Bei Betrachtung der Entwicklung aller Messergebnisse über alle Streifen ist zwischen den einzelnen gemessenen verkehrstechnischen Eigenschaften während der gesamten Liegedauer der Markierungsmuster kein Zusammenhang feststellbar. Wenngleich der Korrelationskoeffizient mit 0,487 auf einen Zusammenhang der Tages- und Nachtsichtbarkeit darauf hindeutet (je niedriger die R_L -Werte, desto höher die Q_d -Werte), liegt statistisch gesehen erst ab einem Korrelationskoeffizient von $\pm 0,6$ eine Abhängigkeit vor. Zudem ist keine Kausalität gegeben.

a) Tagessichtbarkeit [Q_d]:

Die Tagessichtbarkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei $188 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Dabei beträgt der niedrigste Wert $85 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Der Höchstwert ist auf $256 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ beziffert. Das im Rahmen der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit $160 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß ZTV M 13 bei $130 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ [14].

b) Nachtsichtbarkeit [R_L]:

Die Nachtsichtbarkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei $150 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Dabei beträgt der niedrigste Wert $43 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$. Der Höchstwert ist auf $277 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ beziffert. Das im Rahmen der im August 2020

durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit $127 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{l} \times \text{s}^{-1}$ dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß ZTV M 13 bei $100 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{l} \times \text{s}^{-1}$ [14].

c) Griffigkeit [SRT]:

Die Griffigkeit aller Markierungsmuster liegt über die gesamte Liegedauer im Mittel bei 58 SRT-Einheiten. Dabei beträgt der niedrigste Wert 48 SRT-Einheiten. Der Höchstwert ist auf 70 SRT-Einheiten beziffert. Das im Rahmen der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen bestimmte arithmetische Mittel ist mit 56 SRT-Einheiten dokumentiert. Die Mindestanforderungen an den Gebrauchszustand liegen gemäß ZTV M 13 bei 45 SRT-Einheiten [14].

Zwischenfazit:

Im Rahmen der Auswertung der Ergebnisse aller Markierungssysteme sowie differenziert nach Markierungssystemen des Typs I/II konnte weder ein Zusammenhang zwischen den einzelnen gemessenen verkehrstechnischen Eigenschaften während der gesamten Liegedauer der Markierungsmuster, noch eine homogenes Verschleiß- und Werteverhalten unter den einzelnen Markierungsmustern beobachtet werden. Demnach ist festzuhalten, dass die Performance eines einzelnen Markierungssystems individuell ist.

Beim Wertevergleich der verkehrstechnischen Eigenschaften der Markierungssysteme (Typ I/Typ II) sind mit Ausnahme der Nachtsichtbarkeit [R_L], welche bei den Abschlussmessungen im August 2020 bei Typ I Markierungssystemen um durchschnittlich ca. 25 % höher war als bei Typ II Markierungssystemen, keine signifikanten Unterschiede aufgetreten (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich der Messwerte Typ I/Typ II

	Typ I	Typ II	Abweichung [%]
Tagessichtbarkeit [$\text{mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{l} \times \text{s}^{-1}$]	164	160	2,5
Nachtsichtbarkeit, trocken [$\text{mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{l} \times \text{s}^{-1}$]	168	127	24,6
Griffigkeit [SRT-Einheiten]	55	56	1,8

(4) Vergleich der Messwerte der einzelnen Streifen (vgl. Anlage (H)):

Zum Vergleich der Messwertentwicklung der einzelnen Streifen wird folgend zunächst die Lage der einzelnen Streifen im Querschnitt beschrieben, um ggf. Rückschlüsse auf eventuell divergierende Werteverhalten, infolge unterschiedlicher verkehrlicher Beanspruchungen in Abhängigkeit der Querschnittslage, ziehen zu können und diese bei der Bewertung der einzelnen Markierungsmuster entsprechend zu berücksichtigen.

Bei einer Fahrstreifenbreite von 3,50 m beträgt der Abstand der Fahrbahnmitte zur Fahrstreifen- bzw. Fahrbahnbegrenzung 1,75 m. Die Fahrbahnachse befindet sich demnach zwischen den Streifen 4 und 5 (vgl. Anlage (A)).

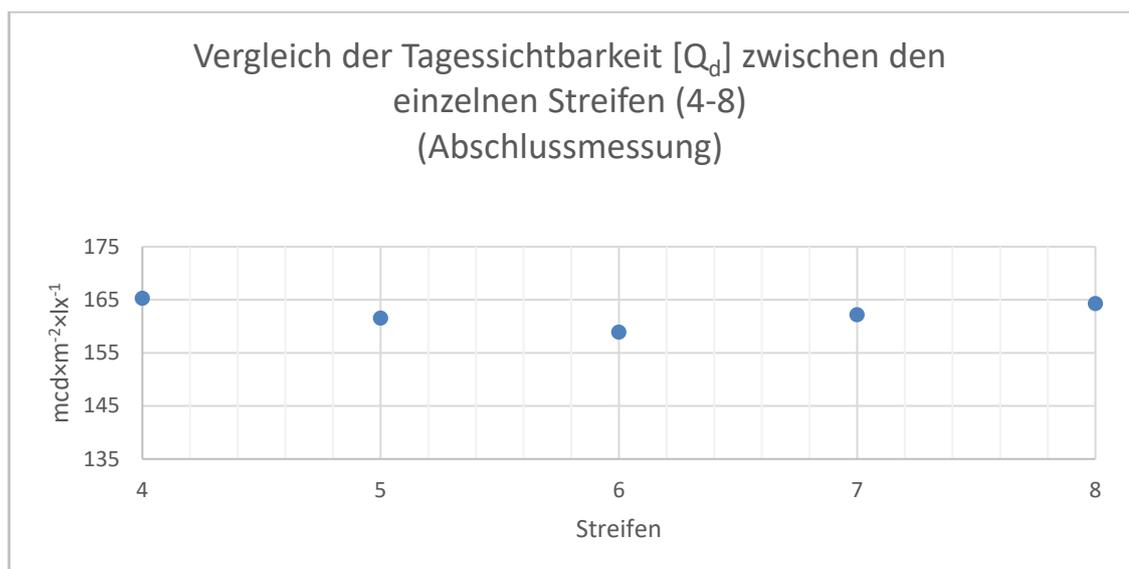
Der Vergleich der Messwerte der einzelnen Streifen ist auf die Streifen 4 bis 7 bzw. 8 beschränkt und umfasst somit die unmittelbar an die Fahrbahnachse angrenzenden Streifen 4 und 5 sowie alle Streifen (5 bis 7 bzw. 8) zwischen der Fahrbahnmitte und der Fahrbahnbegrenzung. Der Annahme zufolge, dass die Fahrbahnmitte als Spiegelachse fungiert, können die Ergebnisse auf die in Fahrtrichtung links der Fahrbahnmitte gelegenen Streifen 1 bis 3 übertragen werden, wodurch die Betrachtung des gesamten Fahrstreifenquerschnitts sichergestellt wird.

Der Vergleich erfolgt auf Grundlage der gebildeten arithmetischen Mittel aller 19 thermoplastischen Markierungsmuster.

a) Tagessichtbarkeit [Q_d]:

Der Höchstwert der Tagessichtbarkeit bzw. des Leuchtdichtekoeffizienten bei diffuser Beleuchtung wurde im Rahmen der Messungen des Neuzustandes für ausnahmslos alle Streifen (keine Messung des Neuzustandes der Streifen 5 und 8) ermittelt. Bei der abschließenden 5. Messung wurde mit Ausnahme des 7. Streifens die niedrigste Tagessichtbarkeit festgestellt. Grundsätzlich ist über die gesamte Liegedauer der Markierungssysteme eine homogene Abnahme der Tagessichtbarkeit über den gesamten Querschnitt zu beobachten. Die Abnahme zwischen der 2. und 5. Messung ist durchschnittlich auf $28 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ bzw. 15 % zu beziffern. Das oben beschriebene homogene Leistungsverhalten wird durch die maximale Abweichung zwischen den einzelnen Streifen (Streifen 4 und 6) der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen unterstrichen, welche bei $6 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ bzw. 3,9 % liegt. Die untenstehende Abbildung 2 verdeutlicht visuell die geringen Abweichungen der Tagessichtbarkeit im Querschnitt.

Abbildung 2: Vergleich der Tagessichtbarkeit (Q_d) zwischen den einzelnen Streifen (4-8) (Abschlussmessung)



b) Nachtsichtbarkeit [R_L]:

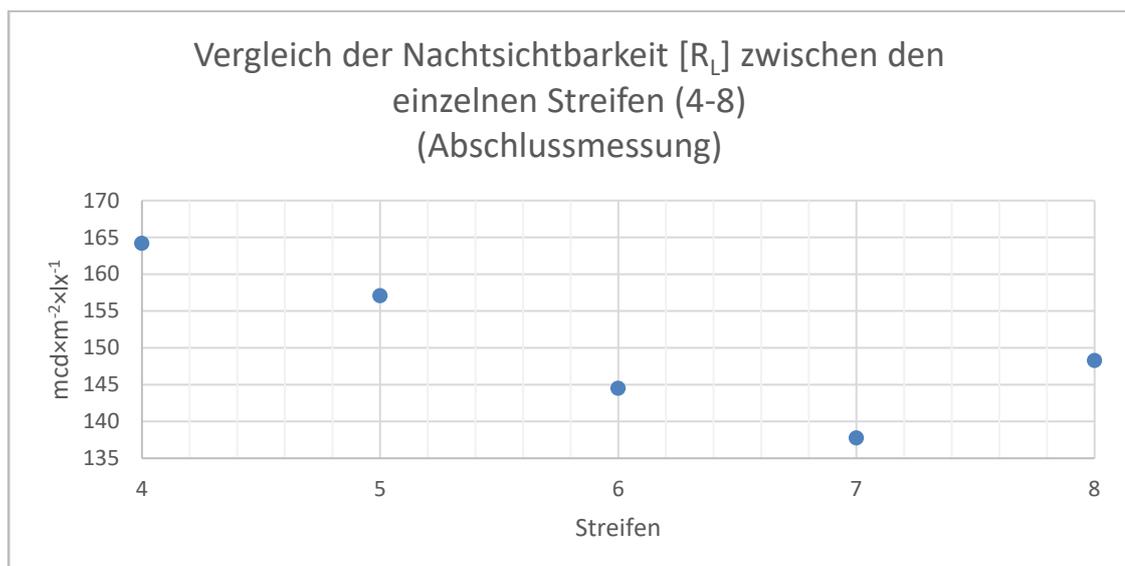
Der Höchstwert der Nachtsichtbarkeit bzw. des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion wurde für alle Streifen i. d. R. im Rahmen der Messungen des Neuzustandes

(keine Messung des Neuzustandes der Streifen 5 und 8) ermittelt. Hingegen wurden die geringsten Nachtsichtbarkeitswerte im Rahmen der 4. Messung bestimmt.

Entgegen der gleichverteilten Abnahme der Tagessichtbarkeit über den gesamten Querschnitt, sind bei der Nachtsichtbarkeit Divergenzen zwischen den einzelnen gemessenen Streifen zu beobachten. Hervorzuheben sind aus quantitativen Gründen insbesondere die Streifen 4 und 7. Liegt beim Streifen 4 die Abnahme der Nachtsichtbarkeit zwischen den Messungen 2 und 4 als auch 2 und 5 bei $13 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ (12 %) beläuft sich hingegen die Abnahme beim 7 Streifen auf $29 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ (18 %) bzw. $20 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ (13 %). Im Vergleich zum 4. Streifen ist damit Abnahme der Nachtsichtbarkeit des 7. Streifens zwischen 35 % und 55 % höher.

Das oben beschriebene inhomogene Leistungsverhalten wird durch die maximale Abweichung zwischen den einzelnen Streifen (Streifen 4 und 7) der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen unterstrichen, welche bei $26 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{lx}^{-1}$ bzw. 16,1 % liegt. Die untenstehende Abbildung 3 verdeutlicht visuell die Abweichungen der Nachtsichtbarkeit im Querschnitt. Hierbei zu erkennen, dass mit zunehmender Entfernung der Streifen zur Fahrstreifenachse die Nachtsichtbarkeit geringer ist. Die Ausnahme bildet der 8. Streifen.

Abbildung 3: Vergleich der Nachtsichtbarkeit (R_L) zwischen den einzelnen Streifen (4-8) (Abschlussmessung)



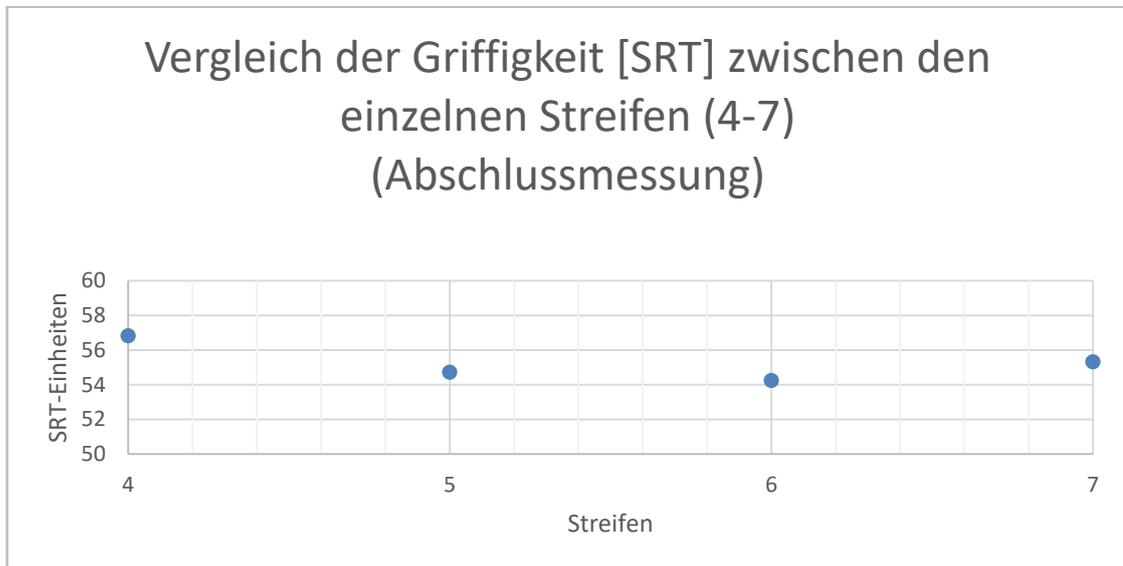
c) Griffigkeit [SRT]:

Der Höchstwert der Griffigkeit wurde im Rahmen der Messungen des Neuzustandes für ausnahmslos alle Streifen (keine Messung des Neuzustandes der Streifen 5 und 8) ermittelt. Bei der abschließenden 5. Messung wurden die niedrigsten Griffigkeitswerte festgestellt. Grundsätzlich ist über die gesamte Liegedauer der Markierungssysteme – analog zur Entwicklung der Nachtsichtbarkeit – eine homogene geringe Abnahme der Griffigkeit über den gesamten Querschnitt zu beobachten.

Das oben beschriebene homogene Leistungsverhalten wird durch die maximale Abweichung zwischen den einzelnen Streifen (Streifen 4 und 6) der im August 2020 durchgeführten Abschlussmessungen unterstrichen, welche bei 3 SRT-Einheiten bzw.

4,5 % liegt. Die untenstehende Abbildung 4 verdeutlicht visuell die geringen Abweichungen der Griffigkeit im Querschnitt.

Abbildung 4: Vergleich der Griffigkeit (SRT) zwischen den einzelnen Streifen (4-7) (Abschlussmessung)



Zwischenfazit:

Wenngleich anhand der Entwicklungen der Tagessichtbarkeit [Q_d] sowie der Griffigkeit [SRT] kein erheblich divergierendes Werteverhalten festgestellt werden konnte, deuten die Ergebnisse der Auswertung der Nachtsichtbarkeit [R_L] auf eine unterschiedliche verkehrliche Beanspruchung in Abhängigkeit der Querschnittslage der einzelnen Streifen hin. Beim Vergleich der Einzelwerte sowie des Werteverhaltens zwischen den einzelnen Streifen wird deutlich, dass mit zunehmender Entfernung der Streifen zur Fahrstreifenachse – mit Ausnahme des 8. Streifens – die Nachtsichtbarkeit stärker abnimmt und dementsprechend niedriger zu beziffern ist. Die im Querschnittsvergleich verzeichnete höchste Abnahme der Nachtsichtbarkeit bzw. die geringsten Nachtsichtbarkeitswerte weist Streifen 7 auf. Diese Werteentwicklung ist Indikator dafür, dass der Streifen 7 im meist überrollten Bereich des Querschnitts bzw. der Hauptfahrspur liegt. Die Lage der Hauptfahrspur ist in Abbildung 3 deutlich erkennbar. Der 8. Streifen befindet sich in unmittelbarer Nähe zur Fahrbahnbegrenzung und außerhalb der Hauptfahrspur, wodurch die im Vergleich zu Streifen 7 höheren Werte zu erklären sind.

Die Erkenntnis der unterschiedlichen Belastung im Querschnitt wird durch eine rein visuelle Begutachtung des Prüffeldes unterstrichen. Nach einer Liegedauer von etwa einem Jahr sind die Vormarkierungen im Bereich der Hauptfahrspur deutlich blasser ausgebildet als im Bereich der Fahrstreifenachse (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Sichtbarkeit der Vormarkierung nach einer Liegedauer von einem Jahr (links Streifen 1)



Foto: BAST

Der Verschleißcharakter thermoplastischer Markierungssysteme ist ein Grund dafür, weshalb zum Zeitpunkt der Abschlussmessungen und im Rahmen der obigen Auswertungen mittels der verkehrstechnischen Eigenschaften der Tagessichtbarkeit [Q_d] sowie der Griffigkeit [SRT] eine Ableitung unterschiedlicher verkehrlicher Beanspruchungen in Abhängigkeit der Querschnittslage nicht möglich war. Die Tagessichtbarkeit nahm im Durchschnitt aller applizierten Markierungsmuster kontinuierlich und über den gesamten Querschnitt gleichverteilt ab. Ausschließlich bei der näheren Betrachtung und detaillierten Analyse einzelner insbesondere dünn-schichtiger Markierungsmuster konnte ein zur Nachtsichtbarkeit [R_L] analoges Werteverhalten identifiziert werden (vgl. Anlage (E), Prüffeld-Nr.: 106). Demnach ist dieses zu erkennen, sobald durch den zunehmenden Verschleiß die Asphaltdeckschicht punktuell sichtbar wird und die Werte der Tagessichtbarkeit im entsprechenden Bereich stark abfallen (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7).

Abbildung 6: Draufsicht – Prüffeld Nr.: 106



Foto: BAST

Abbildung 7: Makroaufnahme – Prüffeld Nr.: 106

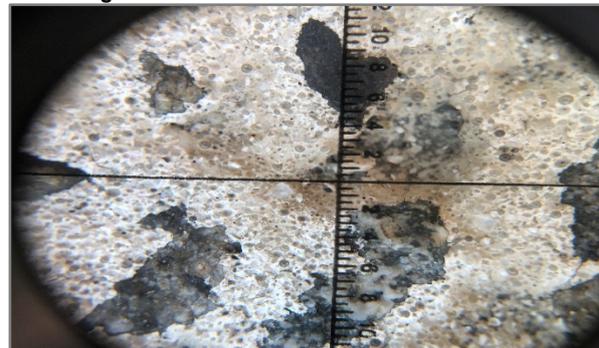


Foto: BAST

Parallel zur Tagessichtbarkeit zeigte auch die Griffigkeit einen homogenen Werteverlauf. Indikatoren für abweichende verkehrliche Beanspruchungen in Abhängigkeit der Querschnittslage, die im Zuge der Auswertungen der Nachtsichtbarkeit [R_L] und detaillierten Analyse der

Tagessichtbarkeit $[Q_d]$ ermittelt werden konnten, waren bei der Untersuchung der Griffigkeit nicht offensichtlich. Als mögliche Ursache hierfür kommt in Betracht, dass mit zunehmendem Verschleiß eines einzelnen Markierungssystems die vorhandenen Griffigkeitsmittel zwar weniger Reibungswiderstand generieren, allerdings wirken mit steigender Abtragung des Markierungsstoffes die Oberflächentextur des Asphalts sowie die infolge entrissener Reflexperlen entstandenen Kalotten (vgl. Abbildung 8) positiv auf die Griffigkeit.

Abbildung 8: Makroaufnahme – Kalottenbildung

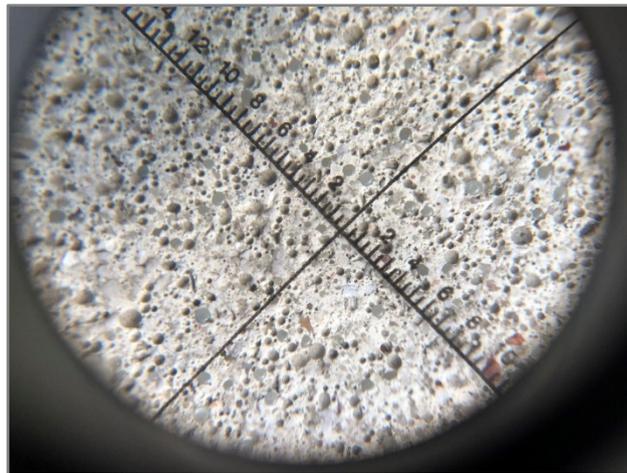


Foto: BAST

Es ist zu vermuten, dass die oben beschriebenen Wechselwirkungen, trotz divergierender Verkehrsbelastungen, zu einer nahezu ausgeglichenen Bilanz zwischen den einzelnen Streifen beitragen.

(5) Performancevergleich des Referenzmusters (Prüffeld / RPA) (vgl. Anlage (I)):

Zur Verifizierung der auf dem Prüffeld ermittelten Leistungsdaten der 19 applizierten thermoplastischen Markierungssysteme und Vergleichbarkeit der Messergebnisse bzw. Verschleißerzeugung zwischen dem Prüffeld und der RPA erfolgt im Folgenden ein Abgleich der gemessenen verkehrstechnischen Eigenschaften (Prüffeld / RPA) des gegenwärtig im Rahmen der Eignungsprüfung auf der RPA verwendeten Referenzmusters. Zur Verringerung des Einflusses von Messunsicherheiten und einmaliger individueller Verhaltensmuster bzw. Wertentwicklungen wurden die Messergebnisse des Referenzmusters zweier RPA-Prüfläufe (Lauf 03/19 und 06/20) gemittelt.

a) Tagessichtbarkeit $[Q_d]$:

Beim Abgleich der Werteentwicklung der Tagessichtbarkeit $[Q_d]$ sind zwischen dem Prüffeld und der RPA Abweichungen zu beobachten. Nimmt die Tagessichtbarkeit $[Q_d]$ auf dem Prüffeld im Vergleich zur RPA kontinuierlich ab und beläuft sich bei den Abschlussmessungen auf durchschnittlich $166 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{l} \times^{-1}$, bewegen sich die Werte der Tagessichtbarkeit auf der RPA über den gesamten Prüfzyklus (bis 4 Mio. Überrollungen; P7) auf einem annähernd konstanten Niveau von durchschnittlich $259 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{l} \times^{-1}$. Die Tagessichtbarkeit beträgt nach 4 Mio. Überrollungen $258 \text{ mcd} \times \text{m}^{-2} \times \text{l} \times^{-1}$.

Als mögliche Ursachen für die oben beschriebenen Abweichungen kommen u. a. untenstehend aufgelistete Aspekte in Betracht:

- i. Auf der RPA erfolgt unmittelbar vor Durchführung der Messungen eine automatisierte Reinigung der Prüfmuster mit Wasser. Die Markierungsmuster des Prüffeldes wurden vor der Messdurchführung hingegen nicht gereinigt und sind gegenüber der Laborprüfung weiteren potenziellen Quellen ausgesetzt, die zu einer Verschmutzung beitragen können.
 - ii. Für die Durchführung der RPA-Eignungsprüfung werden gemäß der Tabelle 1 der EN 13197 zulässige Markierungsprobeträger der Rauheitsklasse RG1 verwendet. Die Straßenoberfläche des Prüffeldes ist hingegen der Rauheitsklasse RG3 zuzuordnen und begünstigt aufgrund der höheren Rautiefe die Schmutzablagerung. Darüber hinaus trägt die rauere Oberflächentextur des Prüffeldes insbesondere bei dünnere Markierungssystemen zur Erhöhung eines punktuellen Verschleißes bei, infolgedessen erhabene Bereiche der Asphaltdeckschicht punktuell sichtbar werden und die Werte der Tagessichtbarkeit abfallen (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7).
- b) Nachtsichtbarkeit [R_L]:

Wenngleich die Werte der Nachtsichtbarkeit [R_L] der applizierten Markierungsmuster des Prüffeldes unter denen der RPA-Prüfung liegen, ist die Werteentwicklung der unter Berücksichtigung der hochgerechneten Überrollanzahlen mit den auf der RPA erzielten Ergebnisse vergleichbar. Die Anforderung der ZTV M 13 wonach bei der RPA-Eignungsprüfung die Klassen für die Nachtsichtbarkeit eine Klasse höher gewählt werden, als die in der ZTV M 13 definierten Gebrauchswerte, unterstreicht die oben beschriebenen Abweichungen, auch wenn die Anforderung nicht für Markierungsfolien gilt. Die ermittelten Überrollanzahlen von ca. 2 Mio. können anhand der vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden. Die Werteentwicklung des Referenzmusters auf dem Prüffeld und der RPA werden zum visuellen Abgleich in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt.

Abbildung 9: Prüffeld – Entwicklung der Nachtsichtbarkeit [R_L]

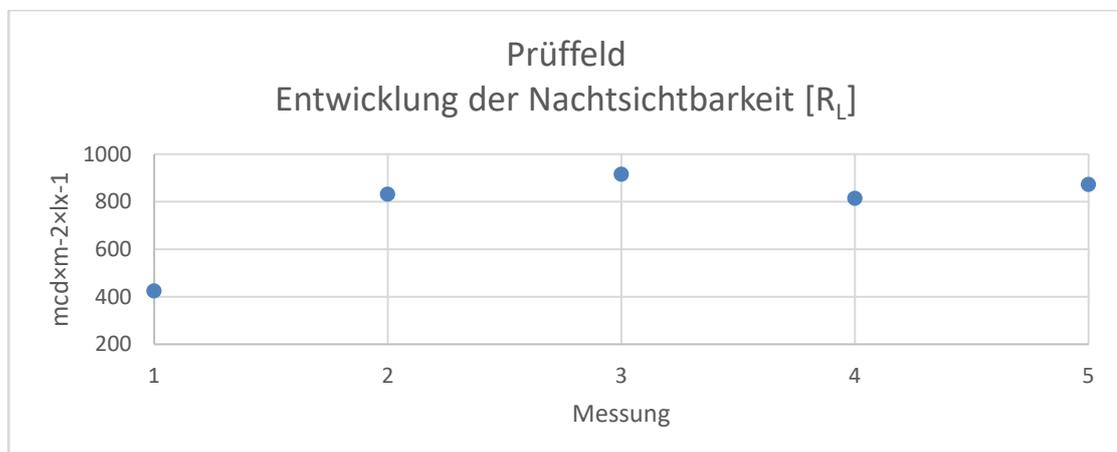
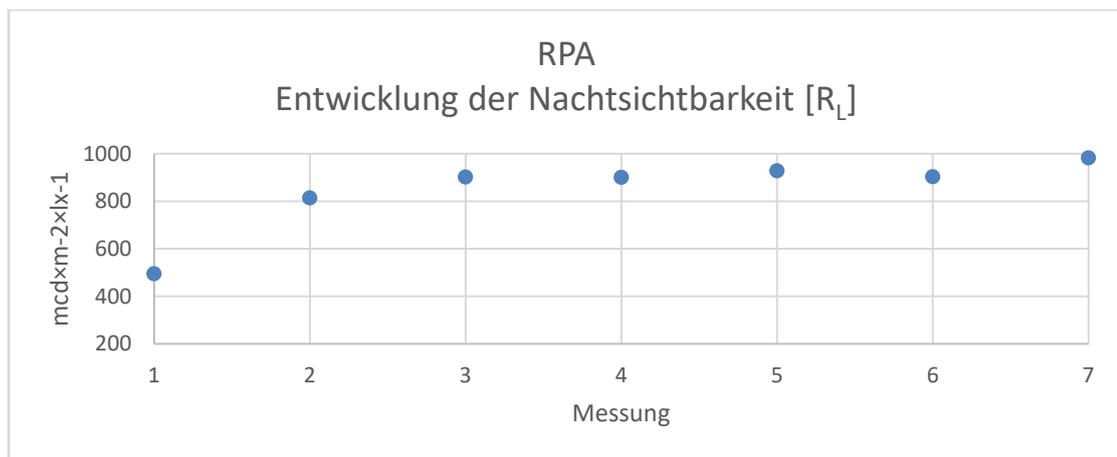


Abbildung 10: RPA – Entwicklung der Nachsichtbarkeit [R_L]



Es ist zu beachten, dass die einzelnen Messungen nicht unmittelbar miteinander vergleichbar sind, da zum einen die Anzahl der durchgeführten Messungen voneinander abweicht und zum anderen die Anzahl der Überrollungen eines Messintervalls nicht deckungsgleich ist.

c) Griffigkeit [SRT]:

Die gemessenen Griffigkeitswerte auf dem Prüffeld sind sowohl in ihrer Ausprägung als auch in ihrer Entwicklung nahezu kongruent zu denen der RPA-Prüfung. Die Griffigkeit nimmt über die gesamte Liegedauer bzw. Prüfzyklus kontinuierlich ab. Die auf dem Prüffeld – nach hochgerechneten ca. 2 Mio. Überrollungen im Rahmen der Abschlussmessungen – ermittelte Griffigkeit liegt bei 49 SRT-Einheiten und entspricht exakt dem Wert der RPA-Prüfung nach 2 Mio. Überrollungen.

Auf einen musterscharfen Vergleich zwischen den Ergebnissen der RPA und denen des Prüffelds wurde verzichtet, da dieser aufgrund von festgestellten Abweichungen des Leistungsverhaltens thermoplastischer Markierungssysteme (RPA / Prüffeld) im Kontext der eingangs geschilderten Griffigkeitsproblematik im Rahmen von RPA-Prüfungen sowie der besonderen Charakteristik von Thermoplastiken als nicht zielführend erachtet wird.

Fazit

Die auf Basis von DTV-Daten aus einer Verkehrszählung ermittelte Überrollungsklasse konnte mittels eines Abgleichs zwischen den auf dem Prüffeld und den auf der RPA bestimmten Messergebnissen anhand des Referenzmusters verifiziert werden. Weiterführende Analyseergebnisse zeigen darüber hinaus eine in Abhängigkeit der Querschnittslage der einzelnen Streifen unterschiedliche verkehrliche Beanspruchung. Demnach begründen vorliegende in Kombination angewandte Erkenntnisse die Überrollungsklasse P6 (2 Mio. Überrollungen), welche bei einer Liegedauer von zwei Jahren auf Streifen 6 bzw. 7 des Prüffeldes maximal abgebildet werden kann.

Ähnlich den Ergebnissen der RPA konnte auf dem Prüffeld weder ein Zusammenhang zwischen den einzelnen gemessenen verkehrstechnischen Eigenschaften während der gesamten Liegedauer der Markierungsmuster, noch ein homogenes Verschleiß- und Werteverhalten

unter den einzelnen Markierungsmustern beobachtet werden. Die Performance eines einzelnen Markierungssystems ist individuell.

Im Vergleich zu den auf der RPA erzielten Ergebnissen bildet auf dem Prüffeld im Allgemeinen nicht die Griffigkeit, sondern die Nachsichtbarkeit die kritische Größe. Als eine der zahlreichen möglichen Ursachen kommt, u. a. neben den wählbaren, zulässigen und individuellen Parametereinstellungen für die RPA-Prüfung gemäß EN 13197, die divergierende Rautiefe zwischen den in der Laborprüfung verwendeten Probeträgern (Rauheitsklasse RG1) und der Asphaltdeckschicht des Prüffelds (Rauheitsklasse RG3) in Betracht. Zwar nimmt der durch Griffmittelsmittel generierte Reibungswiderstand mit zunehmendem Verschleiß auf dem Prüffeld analog zur RPA ab, allerdings wirken insbesondere bei dünnschichtigen Markierungssystemen mit steigender Abtragung des Markierungsstoffes die im Vergleich zu den RPA-Probeträgern rauere Oberflächentextur des Asphalts sowie die infolge entrissener Reflexperlen entstandenen Kalotten positiv auf die Griffigkeit. Demgegenüber wirkt die rauere Oberflächentextur des Asphalts des Prüffelds negativ auf die Nachsichtbarkeit. Beispielsweise können Reflexperlen durch erhabene Bereiche des Asphalts abgeschirmt werden, infolgedessen die Funktion dieser eingeschränkt wird.

Aktuell laufende Vergleichsuntersuchungen mit Probeträgern unterschiedlicher Rauheitsklassen auf der RPA deuten ebenfalls auf o. g. Wechselwirkungen hin. Da die Untersuchungen zu den Probeträgern momentan noch nicht abgeschlossen sind, können an dieser Stelle weder finale Ergebnisse präsentiert werden, noch können diese in die Auswertung mit einfließen.

Ausblick

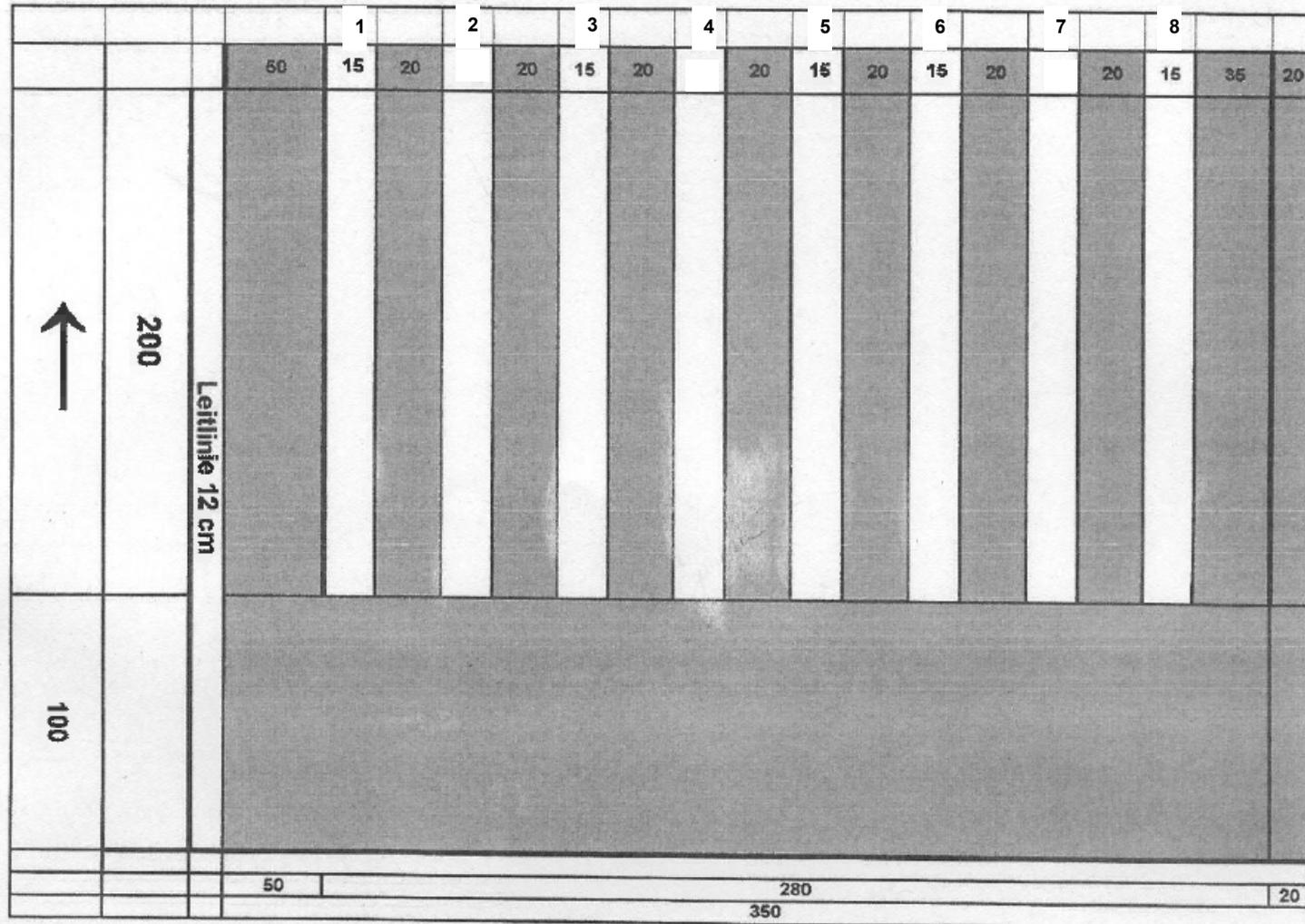
In Anbetracht der voraussichtlichen Dauer zwischen der Applikation und dem Abschluss der Prüfung sowie des mit einer ergänzenden Praxisbewährung hohen erforderlichen Personaleinsatzes ist grundsätzlich auch weiterhin von einer Prüfung von Markierungssystemen auf dem Prüffeld abzusehen. Untersuchungen auf dem Prüffeld eignen sich gut, um beispielsweise einen Abgleich der Ergebnisse auf der RPA mit Ergebnissen aus der praktischen Anwendung zu vollziehen, mögliche Ursachen für Unterschiede zu identifizieren und anhand der gewonnenen Erkenntnisse die RPA-Prüfung weiterzuentwickeln.

Literatur

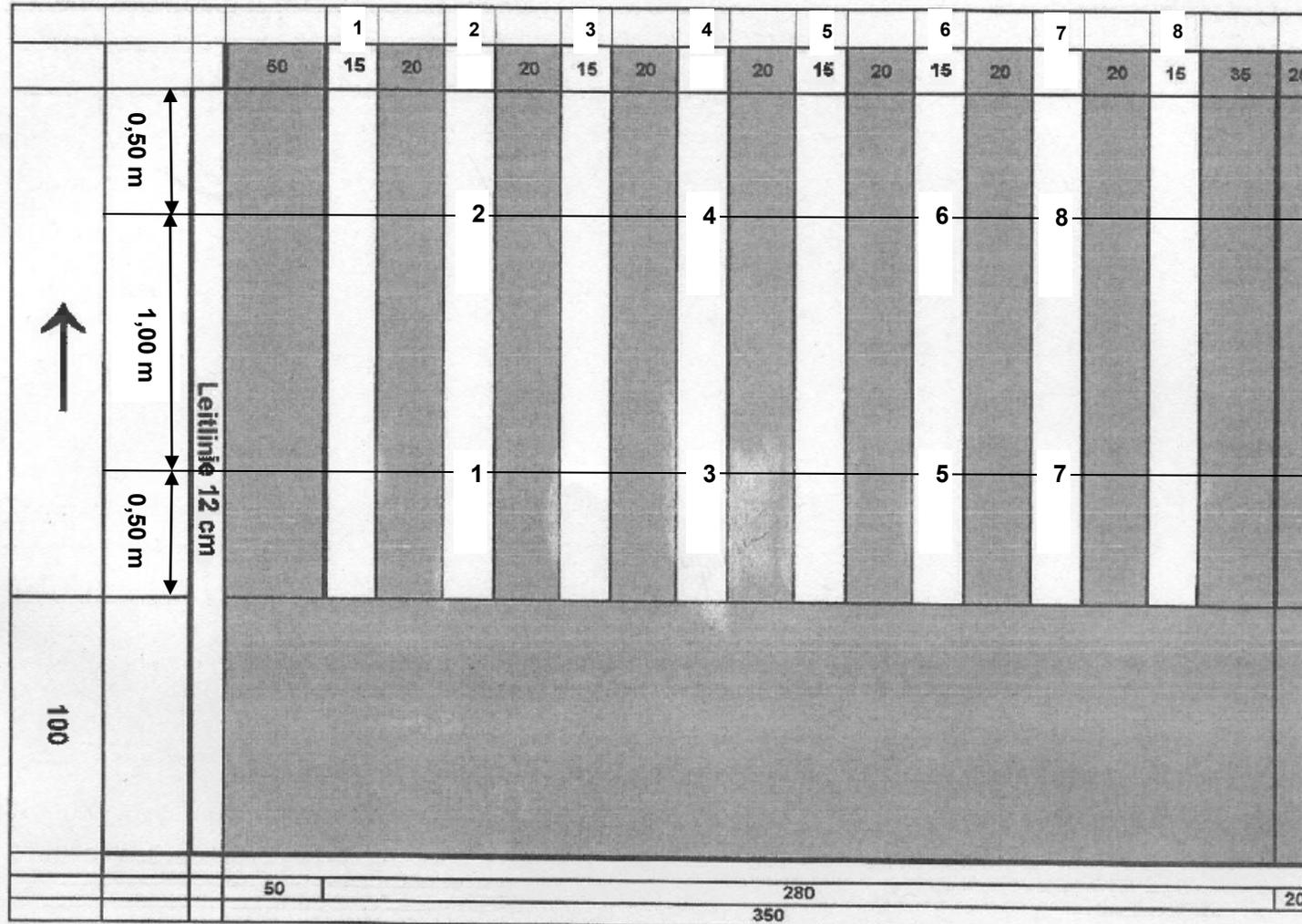
- [1] Europäisches Komitee für Normung (2014)
EN 13197 Straßenmarkierungsmaterialien – Verschleißsimulator
- [2] Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV) (2019)
B 4 Prüffeld für Fahrbahn-Markierungen
<https://www.strassenbau.niedersachsen.de> (Abruf: 27.01.2021)
- [3] Europäisches Komitee für Normung (2020)
EN 1824 Straßenmarkierungsmaterialien – Feldprüfungen
- [4] Wetterdienst.de
Klima Braunlage – Station Braunlage (607 m)
<https://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Braunlage/Klima/> (Abruf: 27.01.2021)
- [5] Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV) (2017)
Verkehrsmengenkarte Niedersachsen 2015
- [6] Europäisches Komitee für Normung (2010)
Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 1:
Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen
Verfahrens
- [7] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (2016)
Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016
Verkehrstechnik Heft V 323, S. 10
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2012)
Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
- [9] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (2021)
Liste der anerkannten Prüfstellen – Anerkannte Prüfstellen für Fahrbahnmarkierungen
gemäß Merkblatt für die Anerkennung als Prüfstelle nach ZTV M 13
bast.de (Abruf: 27.01.2021)
- [10] Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2018)
Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A5.2
Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich
zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen
- [11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2013)
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf
Straßen
- [12] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2013). Zusätzliche
Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen. Köln,
Germany

Anlagen

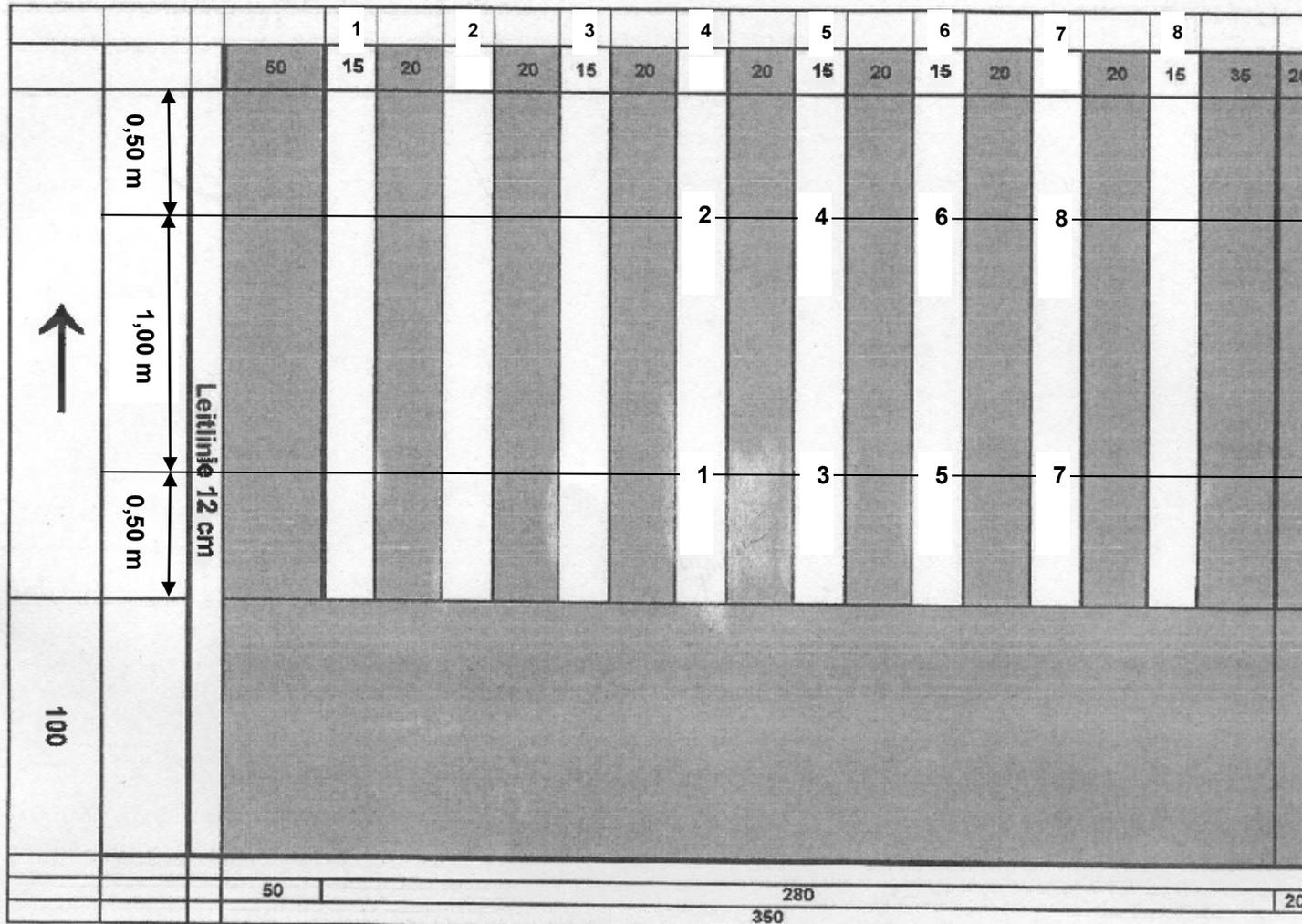
A: Anordnung – Markierungsmuster



B: Messpunkte – Q_d , R_L , und SRT (2018)



D: Messpunkte – SRT (2019)



E: Entwicklung der Messwerte aller Markierungsmuster

Griffigkeit [SRT]										Nachtsichtbarkeit [R _L], trocken						Tagessichtbarkeit [Q _d], trocken								
	Messung	Streifen							Mittelwert	Entwicklung		Streifen				Mittelwert	Entwicklung		Streifen				Mittelwert	Entwicklung
		4	5	6	7	4	5	6				7	4	5	6				7	4	5	6		
Prüffeld-Nr.: 0	1	58	61		66	61	68	63	63	-5	Prüffeld-Nr.: 0	209		194	237	213	-73	Prüffeld-Nr.: 0	255		253	255	254	-35
	2	64	63		56	55	57	56	59	4		172		131	119	141	-3		227		214	217	219	-25
	3	68	65		59	59	63	63	63	-1		163		129	120	137	-21		212		193	177	194	18
	4	63	65		60	61	62	61	62	2		134		112	103	116	-4		220		210	206	212	-28
	5	68	66		62	62	62	64	64			133		99	105	112			186		170	184	184	
Prüffeld-Nr.: 10	1	68	70		65	67	65	67	67	-13	Prüffeld-Nr.: 10	150		115	183	149	-5	Prüffeld-Nr.: 10	247		246	236	243	-59
	2	56	56		51	52	51	56	54	1		126		166	142	145	39		176		186	189	184	-6
	3	58	59		52	50	57	54	55	8		202		191	159	184	-42		186		171	175	177	2
	4	65	65		62	61	59	64	63	-11		139		148	140	142	20		180		179	179	179	-21
	5	56	54		52	47	50	53	52			167		160	160	162			157		156	162	158	
Prüffeld-Nr.: 36	1	60	60		60	58	62	60	60	-7	Prüffeld-Nr.: 36	158		162	174	165	21	Prüffeld-Nr.: 36	254		251	253	253	-55
	2	56	56		52	51	52	51	53	3		171		202	184	186	32		205		188	200	198	-19
	3	58	57		55	56	58	53	56	1		185		241	228	218	-33		199		171	167	179	16
	4	56	58		58	56	56	58	57	2		191		188	175	185	15		199		200	186	195	-17
	5	59	58		58	58	59	59	59			210		202	186	199			183		173	177	178	
Prüffeld-Nr.: 37	1	54	55		53	53	53	53	54	-6	Prüffeld-Nr.: 37	207		218	216	214	-35	Prüffeld-Nr.: 37	232		232	232	232	-48
	2	52	46		46	47	47	48	48	3		185		184	167	179	53		191		175	186	184	-17
	3	53	50		52	50	50	52	51	2		229		243	222	231	-2		179		163	159	167	15
	4	55	53		54	53	53	52	53	-8		245		234	209	229	25		187		184	174	182	-19
	5	44	48		45	43	47	46	46			257		266	241	255			170		158	161	163	
Prüffeld-Nr.: 46	1	65	62		63	63	60	63	63	-10	Prüffeld-Nr.: 46	183		169	205	186	-10	Prüffeld-Nr.: 46	239		242	243	241	-38
	2	57	55		52	50	52	52	53	-1		175		180	172	176	9		209		202	199	203	-19
	3	56	58		48	49	49	53	52	7		193		184	177	185	-68		194		184	176	185	16
	4	60	61		59	60	58	59	60	-7		123		103	123	116	39		203		209	191	201	-17
	5	53	56		52	51	53	53	53			185		138	144	156			190		180	181	184	
Prüffeld-Nr.: 47	1	62	62		60	62	62	57	61	-8	Prüffeld-Nr.: 47	211		180	235	209	6	Prüffeld-Nr.: 47	241		245	245	244	-42
	2	56	57		51	51	53	53	53	0		220		215	209	215	10		207		201	196	201	-21
	3	59	55		50	51	53	51	53	6		249		216	209	225	-73		192		178	172	181	13
	4	61	60		59	57	60	58	59	3		172		135	149	152	23		194		200	188	194	-15
	5	62	63		63	60	62	60	62			205		159	161	175			181		173	182	179	
Prüffeld-Nr.: 59	1	40	37		41	42	43	44	41	8	Prüffeld-Nr.: 59	59		69	82	70	119	Prüffeld-Nr.: 59	266		270	268	268	-86
	2	52	51		44	48	48	52	49	-1		182		187	198	189	-4		190		177	179	182	-26
	3	50	49		45	45	49	49	48	4		187		183	186	185	-19		169		148	151	156	10
	4	50	56		51	51	52	52	52	0		190		159	150	166	22		169		163	167	166	-23
	5	52	53		50	51	53	53	52			195		180	191	189			145		140	144	143	
Prüffeld-Nr.: 60	1	60	63		56	64	56	54	59	2	Prüffeld-Nr.: 60	123		97	164	128	15	Prüffeld-Nr.: 60	262		266	253	260	-47
	2	62	63		59	60	62	61	61	-1		155		146	129	143	-16		228		202	209	213	-20
	3	58	62		60	60	58	62	60	2		130		122	129	127	-21		212		188	180	193	9
	4	61	66		58	62	63	59	62	-1		121		112	85	106	-3		214		203	189	202	-20
	5	61	64		59	57	60	61	60			103		110	96	103			179		188	178	182	
Prüffeld-Nr.: 84	1	62	67		63	61	65	62	63	-5	Prüffeld-Nr.: 84	202		187	176	188	-23	Prüffeld-Nr.: 84	257		258	258	258	-65
	2	60	59		59	58	59	58	59	-2		205		149	141	165	-25		199		193	187	193	-26
	3	58	57		55	58	55	57	57			167		129	123	140			179		165	158	167	

Prüffeld-Nr.: 88	4	63	61		61	60	62	61	61	5	Prüffeld-Nr.: 88	146		108	101	118	-21	Prüffeld-Nr.: 88	189		182	169	180	13
	5	65	62		62	60	62	60	62	1		124		89	87	100	-18		164		156	153	158	-22
	1	66	59		62	63	62	63	63	-4		234		207	213	218	-37		251		252	244	249	-59
	2	59	61		58	59	57	58	59	-1		209		176	159	181	1		194		191	185	190	-19
	3	60	60		56	57	55	58	58	4		204		176	165	182	-4		185		165	162	171	12
Prüffeld-Nr.: 89	4	63	63		63	61	60	59	62	-4	223		177	133	178	-14	189		184	175	183	-20		
	5	57	58		59	57	58	56	58	-4	225		143	123	164	-54	167		156	164	162	-65		
	1	61	65		65	64	61	61	63	1	229		230	246	235	-17	248		257	256	254	-22		
	2	61	59		59	58	56	59	59	1	225		152	167	181	-24	192		191	185	189	11		
	3	61	63		59	57	59	59	60	-7	251		131	110	164	-33	178		162	161	167	-22		
Prüffeld-Nr.: 96	4	61	60		61	63	61	59	61	-2	212		112	97	140	-12	185		181	168	178	19		
	5	56	55		53	55	54	51	54	-6	146		87	89	107	15	162		154	152	156	-22		
	1	61	61		62	60	59	61	61	-1	237		207	225	223	-21	209		219	226	218	-36		
	2	63	61		57	53	58	57	58	0	228		263	249	247	29	189		177	179	182	-24		
	3	58	55		51	48	51	52	53	-1	271		281	275	276	4	173		151	149	158	19		
Prüffeld-Nr.: 97	4	53	51		51	50	53	52	52	0	269		263	259	264	-11	184		174	173	177	-22		
	5	50	52		52	52	54	52	52	-4	289		270	276	278	11	165		144	156	155	-27		
	1	72	67		65	65	65	65	67	-1	262		180	181	208	-59	213		229	227	223	-25		
	2	64	61		62	61	63	62	62	0	189		133	124	149	4	202		192	193	196	20		
	3	63	61		59	59	63	58	61	-6	175		148	136	153	-21	180		167	166	171	-19		
Prüffeld-Nr.: 100	4	62	61		60	60	61	60	61	5	142		136	119	132	5	200		187	185	191	-68		
	5	54	54		53	55	55	56	55	-1	152		142	135	143	-15	180		160	175	172	-22		
	1	51	49		46	42	51	54	49	4	113		105	155	124	4	240		257	239	245	24		
	2	54	52		55	52	55	53	53	2	134		139	136	136	8	181		177	173	177	-15		
	3	52	50		54	50	54	52	52	-3	146		144	134	141	-9	163		159	144	155	-74		
Prüffeld-Nr.: 101	4	59	56		54	57	55	57	56	1	140		124	114	126	-17	167		188	182	179	-23		
	5	60	58		57	57	58	58	58	5	126		132	132	130	0	166		166	171	164	18		
	1	56	49		60	59	60	55	57	-1	154		166	142	154	-7	289		232	232	251	-15		
	2	55	55		52	51	53	53	53	3	189		160	137	162	8	183		174	173	177	-50		
	3	53	53		53	52	51	54	53	-1	191		140	127	153	-9	162		155	145	154	-21		
Prüffeld-Nr.: 104	4	57	58		56	59	59	56	58	5	169		121	117	136	-17	169		177	170	172	14		
	5	58	59		55	60	58	58	58	1	150		130	128	136	0	158		156	158	157	-15		
	1	50	51		53	54	57	55	53	-3	131		108	140	126	63	240		223	217	227	-50		
	2	52	52		48	50	51	50	51	0	176		211	181	189	-7	177		177	175	176	-21		
	3	53	49		49	48	52	51	50	4	165		207	174	182	-50	164		152	150	155	14		
Prüffeld-Nr.: 105	4	52	54		56	53	58	56	55	-5	145		145	105	132	0	161		170	176	169	-15		
	5	50	47		50	50	53	48	50	-8	143		136	116	132	-110	154		147	162	154	-21		
	1	59	61		65	56	59	55	59	4	227		206	224	219	2	247		245	249	247	-30		
	2	56	55		51	47	51	51	52	-4	124		100	103	109	-21	226		229	222	226	32		
	3	59	59		54	52	54	53	55	-3	143		92	98	111	0	213		181	194	196	-19		
Prüffeld-Nr.: 106	4	56	57		48	48	48	51	51	-9	108		82	80	90	-22	228		230	226	228	-120		
	5	51	51		45	47	47	47	48	-2	105		81	84	90	-37	216		203	209	209	-28		
	1	70	68		71	70	70	70	70	4	141		134	121	132	-14	255		254	258	256	-9		
	2	64	63		57	58	59	62	61	-3	136		104	91	110	-16	150		131	127	136	-14		

	5	63	65			55	53	59	58	59	
Prüffeld-Nr.: 107	1	58	61			53	49	56	58	56	2
	2	62	63			55	55	56	57	58	1
	3	62	63			57	57	59	57	59	-3
	4	60	58			55	54	55	55	56	-2
	5	58	59			51	53	52	53	54	

Mittelwert: 57
 Minimum: 41
 Maximum: 70

Mittelwert Abschlussmessung: 55

	64		42	23	43	
Prüffeld-Nr.: 107	247		338	246	277	-94
	162		200	186	183	-20
	176		164	149	163	-2
	149		179	156	161	-8
	140		179	140	153	

Mittelwert: 162
 Minimum: 43
 Maximum: 278

Mittelwert Abschlussmessung: 149

	95		85	75	85	
Prüffeld-Nr.: 107	259		253	255	256	-67
	187		194	187	189	26
	172		169	149	163	1
	149		189	154	164	-23
	132		154	137	141	

Mittelwert: 190
 Minimum: 85
 Maximum: 268

Mittelwert Abschlussmessung: 162

Korrelation SRT / RL -0,1
 Korrelation SRT / Qd 0,2
 Korrelation RL / Qd 0,19

F: Entwicklung der Messwerte der Typ I Markierungssysteme

Griffigkeit [SRT]											Nachsichtbarkeit [R _L], trocken						Tagessichtbarkeit [Q _d], trocken							
	Messung	Streifen							Mittelwert	Entwicklung		Streifen				Mittelwert	Entwicklung		Streifen				Mittelwert	Entwicklung
		4	5	6	7	4	5	6				7	4	5	6				7	4	5	6		
Prüffeld-Nr.: 36	1	60	60	60	58	62	60	60	-7	Prüffeld-Nr.: 36	158	162	174	165	21	Prüffeld-Nr.: 36	254	251	253	253	-55			
	2	56	56	52	51	52	51	53	3		171	202	184	186	32		205	188	200	198	-19			
	3	58	57	55	56	58	53	56	1		185	241	228	218	-33		199	171	167	179	16			
	4	56	58	58	56	56	58	57	2		191	188	175	185	15		199	200	186	195	-17			
	5	59	58	58	58	59	59	59	-6		210	202	186	199	-35		183	173	177	178	-48			
Prüffeld-Nr.: 37	1	54	55	53	53	53	53	54	3	Prüffeld-Nr.: 37	207	218	216	214	53	Prüffeld-Nr.: 37	232	232	232	232	-17			
	2	52	46	46	47	47	48	48	2		185	184	167	179	-2		191	175	186	184	15			
	3	53	50	52	50	50	52	51	-8		229	243	222	231	25		179	163	159	167	-19			
	4	55	53	54	53	53	52	53	8		245	234	209	229	-10		187	184	174	182	16			
	5	44	48	45	43	47	46	46	7		257	266	241	255	39		170	158	161	163	-19			
Prüffeld-Nr.: 46	1	65	62	63	63	60	63	63	-10	Prüffeld-Nr.: 46	183	169	205	186	9	Prüffeld-Nr.: 46	239	242	243	241	-38			
	2	57	55	52	50	52	52	53	-1		175	180	172	176	-68		209	202	199	203	-19			
	3	56	58	48	49	49	53	52	4		193	184	177	185	22		194	184	176	185	10			
	4	60	61	59	60	58	59	60	0		123	103	123	116	-21		203	209	191	201	-23			
	5	53	56	52	51	53	53	53	8		185	138	144	156	-3		190	180	181	184	16			
Prüffeld-Nr.: 59	1	40	37	41	42	43	44	41	119	Prüffeld-Nr.: 59	59	69	82	70	-4	Prüffeld-Nr.: 59	266	270	268	268	-86			
	2	52	51	44	48	48	52	49	-4		182	187	198	189	-19		190	177	179	182	-26			
	3	50	49	45	45	49	49	48	4		187	183	186	185	15		169	148	151	156	9			
	4	50	56	51	51	52	52	52	2		190	159	150	166	-21		169	163	167	166	-20			
	5	52	53	50	51	53	53	52	2		195	180	191	189	-3		145	140	144	143	-23			
Prüffeld-Nr.: 60	1	60	63	56	64	56	54	59	15	Prüffeld-Nr.: 60	123	97	164	128	-16	Prüffeld-Nr.: 60	262	266	253	260	-47			
	2	62	63	59	60	62	61	61	-1		155	146	129	143	-21		228	202	209	213	-20			
	3	58	62	60	60	58	62	60	2		130	122	129	127	-18		212	188	180	193	9			
	4	61	66	58	62	63	59	62	-1		121	112	85	106	-23		214	203	189	202	-20			
	5	61	64	59	57	60	61	60	23		103	110	96	103	-21		179	188	178	182	-20			
Prüffeld-Nr.: 84	1	62	67	63	61	65	62	63	-23	Prüffeld-Nr.: 84	202	187	176	188	-25	Prüffeld-Nr.: 84	257	258	258	258	-65			
	2	60	59	59	58	59	58	59	-25		205	149	141	165	-21		199	193	187	193	-26			
	3	58	57	55	58	55	57	57	5		167	129	123	140	-18		179	165	158	167	13			
	4	63	61	61	60	62	61	61	1		146	108	101	118	-14		189	182	169	180	-22			
	5	65	62	62	60	62	60	62	-4		124	89	87	100	1		164	156	153	158	-59			
Prüffeld-Nr.: 88	1	66	59	62	63	62	63	63	-1	Prüffeld-Nr.: 88	234	207	213	218	-37	Prüffeld-Nr.: 88	251	252	244	249	-19			
	2	59	61	58	59	57	58	59	4		209	176	159	181	-4		194	191	185	190	12			
	3	60	60	56	57	55	58	58	-4		204	176	165	182	-14		185	165	162	171	-20			
	4	63	63	63	61	60	59	62	1		223	177	133	178	-54		189	184	175	183	-22			
	5	57	58	59	57	58	56	58	-4		225	143	123	164	-17		167	156	164	162	-22			
Prüffeld-Nr.: 89	1	61	65	65	64	61	61	63	-4	Prüffeld-Nr.: 89	229	230	246	235	-24	Prüffeld-Nr.: 89	248	257	256	254	-65			
	2	61	59	59	58	56	59	59	1		225	152	167	181	-33		192	191	185	189	-22			
	3	61	63	59	57	59	59	60	1		251	131	110	164	-17		178	162	161	167	11			
	4	61	60	61	63	61	59	61	-7		212	112	97	140	-54		185	181	168	178	-22			
	5	56	55	53	55	54	51	54	24		146	87	89	107	-33		162	154	152	156	-22			
Prüffeld-Nr.: 96	1	61	61	62	60	59	61	61	-2	Prüffeld-Nr.: 96	237	207	225	223	29	Prüffeld-Nr.: 96	209	219	226	218	-36			
	2	63	61	57	53	58	57	58	-6		228	263	249	247	24		189	177	179	182	-24			
	3	58	55	51	48	51	52	53	29		271	281	275	276	24		173	151	149	158	-24			

	4	53	51		51	50	53	52	52	-1
	5	50	52		52	52	54	52	52	0
Prüffeld-Nr.: 100	1	51	49		46	42	51	54	49	5
	2	54	52		55	52	55	53	53	-1
	3	52	50		54	50	54	52	52	4
	4	59	56		54	57	55	57	56	2
	5	60	58		57	57	58	58	58	

Mittelwert: 56
 Minimum: 41
 Maximum: 63

Mittelwert Abschlussmessung: 55

	269		263	259	264	-12
	289		270	276	278	15
Prüffeld-Nr.: 100	113		105	155	124	12
	134		139	136	136	5
	146		144	134	141	-15
	140		124	114	126	4
	126		132	132	130	

Mittelwert: 174
 Minimum: 70
 Maximum: 278

Mittelwert Abschlussmessung: 168

	184		174	173	177	19
	165		144	156	155	-22
Prüffeld-Nr.: 100	240		257	239	245	-68
	181		177	173	177	-22
	163		159	144	155	24
	167		188	182	179	-15
	156		166	171	164	

Mittelwert: 191
 Minimum: 143
 Maximum: 268

Mittelwert Abschlussmessung: 164

Korrelation SRT / RL -0,1
 Korrelation SRT / Qd 0,22
 Korrelation RL / Qd -0,1

G: Entwicklung der Messwerte der Typ II Markierungssysteme

Griffigkeit [SRT]										Nachsichtbarkeit [R _L], trocken						Tagessichtbarkeit [Q _d], trocken								
	Messung	Streifen							Mittelwert	Entwicklung		Streifen				Mittelwert	Entwicklung		Streifen				Mittelwert	Entwicklung
		4	5	6	7	4	5	6				7	4	5	6				7	4	5	6		
Prüffeld-Nr.: 0	1	58	61		66	61	68	63	63	-5	Prüffeld-Nr.: 0	209		194	237	213	-73	Prüffeld-Nr.: 0	255		253	255	254	-35
	2	64	63		56	55	57	56	59	4		172		131	119	141	-3		227		214	217	219	-25
	3	68	65		59	59	63	63	63	-1		163		129	120	137	-21		212		193	177	194	18
	4	63	65		60	61	62	61	62	2		134		112	103	116	-4		220		210	206	212	-28
	5	68	66		62	62	62	64	64			133		99	105	112			186		170	184	184	
Prüffeld-Nr.: 10	1	68	70		65	67	65	67	67	-13	Prüffeld-Nr.: 10	150		115	183	149	-5	Prüffeld-Nr.: 10	247		246	236	243	-59
	2	56	56		51	52	51	56	54	1		126		166	142	145	39		176		186	189	184	-6
	3	58	59		52	50	57	54	55	8		202		191	159	184	-42		186		171	175	177	2
	4	65	65		62	61	59	64	63	-11		139		148	140	142	20		180		179	179	179	-21
	5	56	54		52	47	50	53	52			167		160	160	162			157		156	162	158	
Prüffeld-Nr.: 47	1	62	62		60	62	62	57	61	-8	Prüffeld-Nr.: 47	211		180	235	209	6	Prüffeld-Nr.: 47	241		245	245	244	-42
	2	56	57		51	51	53	53	53	0		220		215	209	215	10		207		201	196	201	-21
	3	59	55		50	51	53	51	53	6		249		216	209	225	-73		192		178	172	181	13
	4	61	60		59	57	60	58	59	3		172		135	149	152	23		194		200	188	194	-15
	5	62	63		63	60	62	60	62			205		159	161	175			181		173	182	179	
Prüffeld-Nr.: 97	1	72	67		65	65	65	65	67	-4	Prüffeld-Nr.: 97	262		180	181	208	-59	Prüffeld-Nr.: 97	213		229	227	223	-27
	2	64	61		62	61	63	62	62	-1		189		133	124	149	4		202		192	193	196	-25
	3	63	61		59	59	63	58	61	0		175		148	136	153	-21		180		167	166	171	20
	4	62	61		60	60	61	60	61	-6		142		136	119	132	11		200		187	185	191	-19
	5	54	54		53	55	55	56	55			152		142	135	143			180		160	175	172	
Prüffeld-Nr.: 101	1	56	49		60	59	60	55	57	-3	Prüffeld-Nr.: 101	154		166	142	154	8	Prüffeld-Nr.: 101	289		232	232	251	-74
	2	55	55		52	51	53	53	53	-1		189		160	137	162	-9		183		174	173	177	-23
	3	53	53		53	52	51	54	53	5		191		140	127	153	-17		162		155	145	154	18
	4	57	58		56	59	59	56	58	1		169		121	117	136	0		169		177	170	172	-15
	5	58	59		55	60	58	58	58			150		130	128	136			158		156	158	157	
Prüffeld-Nr.: 104	1	50	51		53	54	57	55	53	-3	Prüffeld-Nr.: 104	131		108	140	126	63	Prüffeld-Nr.: 104	240		223	217	227	-50
	2	52	52		48	50	51	50	51	0		176		211	181	189	-7		177		177	175	176	-21
	3	53	49		49	48	52	51	50	4		165		207	174	182	-50		164		152	150	155	14
	4	52	54		56	53	58	56	55	-5		145		145	105	132	0		161		170	176	169	-15
	5	50	47		50	50	53	48	50			143		136	116	132			154		147	162	154	
Prüffeld-Nr.: 105	1	59	61		65	56	59	55	59	-8	Prüffeld-Nr.: 105	227		206	224	219	-110	Prüffeld-Nr.: 105	247		245	249	247	-21
	2	56	55		51	47	51	51	52	4		124		100	103	109	2		226		229	222	226	-30
	3	59	59		54	52	54	53	55	-4		143		92	98	111	-21		213		181	194	196	32
	4	56	57		48	48	48	51	51	-3		108		82	80	90	0		228		230	226	228	-19
	5	51	51		45	47	47	47	48			105		81	84	90			216		203	209	209	
Prüffeld-Nr.: 106	1	70	68		71	70	70	70	70	-9	Prüffeld-Nr.: 106	141		134	121	132	-22	Prüffeld-Nr.: 106	255		254	258	256	-120
	2	64	63		57	58	59	62	61	-2		136		104	91	110	-37		150		131	127	136	-28
	3	62	63		55	55	57	58	58	4		100		79	40	73	-14		121		109	94	108	-9
	4	64	64		63	56	63	63	62	-3		97		55	26	59	-16		112		100	85	99	-14
	5	63	65		55	53	59	58	59			64		42	23	43			95		85	75	85	
	1	58	61		53	49	56	58	56	2		247		338	246	277	-94		259		253	255	256	-67
	2	62	63		55	55	56	57	58			162		200	186	183			187		194	187	189	

Prüffeld-Nr.: 107	3	62	63		57	57	59	57	59	1
	4	60	58		55	54	55	55	56	-3
	5	58	59		51	53	52	53	54	-2

Mittelwert: 58
 Minimum: 48
 Maximum: 70

Mittelwert Abschlussmessung: 56

Prüffeld-Nr.: 107	176		164	149	163	-20
	149		179	156	161	-2
	140		179	140	153	-8

Mittelwert: 150
 Minimum: 43
 Maximum: 277

Mittelwert Abschlussmessung: 127

Prüffeld-Nr.: 107	172		169	149	163	26
	149		189	154	164	1
	132		154	137	141	-23

Mittelwert: 188
 Minimum: 85
 Maximum: 256

Mittelwert Abschlussmessung: 160

Korrelation SRT / RL 0
 Korrelation SRT / Qd 0,2
 Korrelation RL / Qd 0,49

H: Vergleich der Messwerte der einzelnen Streifen

Nachtsichtbarkeit [R _L], trocken						
	Messung	Streifen				
		4	5	6	7	8
Prüffeld-Nr.: 0	1	209	x	194	237	x
	2	172	130	131	119	139
	3	163	142	129	120	140
	4	134	107	112	103	129
	5	133	107	99	105	131
Prüffeld-Nr.: 10	1	150	x	115	183	x
	2	126	148	166	142	144
	3	202	181	191	159	164
	4	139	124	148	140	120
	5	167	158	160	160	163
Prüffeld-Nr.: 36	1	158	x	162	174	x
	2	171	214	202	184	166
	3	185	260	241	228	214
	4	191	216	188	175	195
	5	210	220	202	186	207
Prüffeld-Nr.: 37	1	207	x	218	216	x
	2	185	206	184	167	178
	3	229	266	243	222	231
	4	245	261	234	209	219
	5	257	292	266	241	255
Prüffeld-Nr.: 46	1	183	x	169	205	x
	2	175	167	180	172	160
	3	193	175	184	177	177
	4	123	119	103	123	135
	5	185	156	138	144	159
Prüffeld-Nr.: 47	1	211	x	180	235	x
	2	220	206	215	209	207
	3	249	212	216	209	227
	4	172	161	135	149	164
	5	205	181	159	161	186
Prüffeld-Nr.: 59	1	59	x	69	82	x
	2	182	177	187	198	150
	3	187	212	183	186	179
	4	190	178	159	150	159
	5	195	191	180	191	176
Prüffeld-Nr.: 60	1	123	x	97	164	x
	2	155	143	146	129	113
	3	130	124	122	129	99
	4	121	124	112	85	102
	5	103	112	110	96	105
Prüffeld-Nr.: 84	1	202	x	187	176	x
	2	205	201	149	141	137
	3	167	185	129	123	107
	4	146	125	108	101	71
	5	124	110	89	87	78
Prüffeld-Nr.: 88	1	234	x	207	213	x
	2	209	196	176	159	217
	3	204	187	176	165	191
	4	223	210	177	133	184
	5	225	177	143	123	165
Prüffeld-Nr.: 89	1	229	x	230	246	x
	2	225	185	152	167	140
	3	251	151	131	110	138
	4	212	129	112	97	87
	5	146	115	87	89	86
Prüffeld-Nr.: 96	1	237	x	207	225	x
	2	228	237	263	249	200
	3	271	247	281	275	220
	4	269	257	263	259	233
	5	289	249	270	276	246
Prüffeld-Nr.: 97	1	262	x	180	181	x
	2	189	152	133	124	174
	3	175	129	148	136	131
	4	142	151	136	119	126
	5	152	154	142	135	133

Messung	Streifen				
	4	5	6	7	8
1	183	x	172	188	x
2	177	176	168	158	162
3	186	175	168	156	162
4	164	156	142	128	143
5	164	157	144	138	148

Maximum	186	176	172	188	162
Minimum	164	156	142	128	143
Abnahme (absolut)	-22	-20	-30	-59	-19
Abnahme (prozentual)	-12	-11	-18	-32	-12

2. Messung / 5. Messung

Abnahme (absolut)	-13	-19	-24	-20	-13
Abnahme (prozentual)	-7	-11	-14	-13	-8

2. Messung / 4. Messung

Abnahme (absolut)	-13	-20	-27	-29	-18
Abnahme (prozentual)	-7	-11	-16	-18	-11
		-35,2785146			
		-55,1537071			

Maximum wird i.d.R. im Rahmen der Messungen des Neuzustandes erreicht

Minimum wird i.d.R. im Rahmen der Abschlussmessungen erreicht

(1) Die Abnahme ist bei Strich 7 am höchsten, was Indikator für eine im Vergleich zu den übrigen Strichen höheren Belastung/Überrollung ist

(2) niedrigste RL-Werte bei Strich 7

(3) maximale Abweichung des kleinsten Wertes (zwischen den Streifen 4 und 7)

absolut [%]
36 -21,6372392

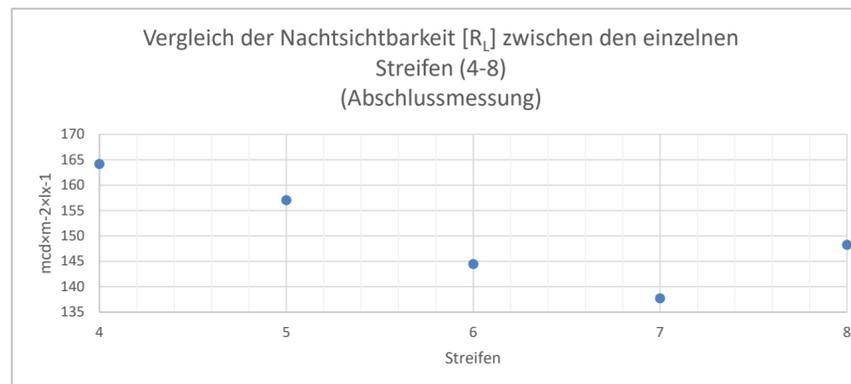
5. Messung - maximale Abweichung

Maximum	164
Minimum	138
Abweichung (i)	-26
Abweichung (l)	-16,1

4. Messung - maximale Abweichung

Maximum	164
Minimum	128
Abweichung (i)	-35
Abweichung (l)	-21,6

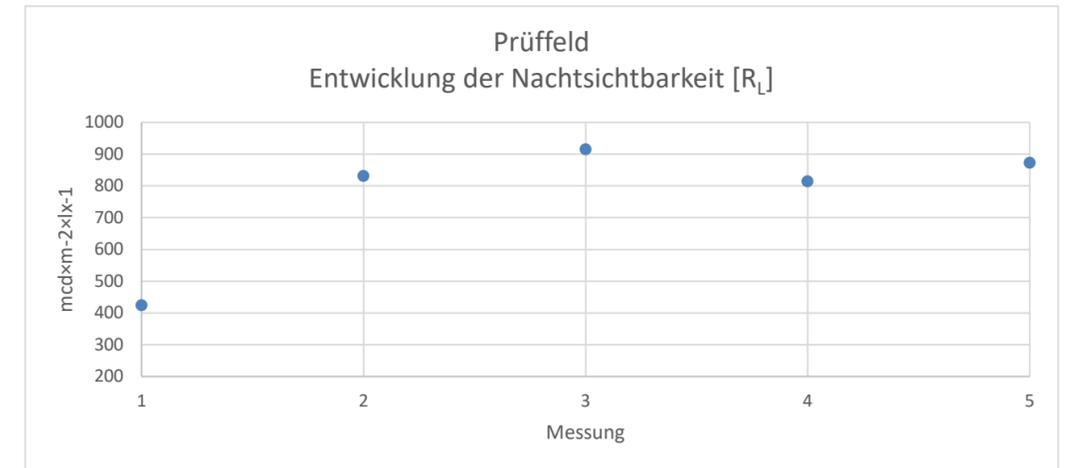
höchste Abweichung zwischen 4 und 7, unterstrichen wird dies durch die prozentual höchste Abnahme auf 7



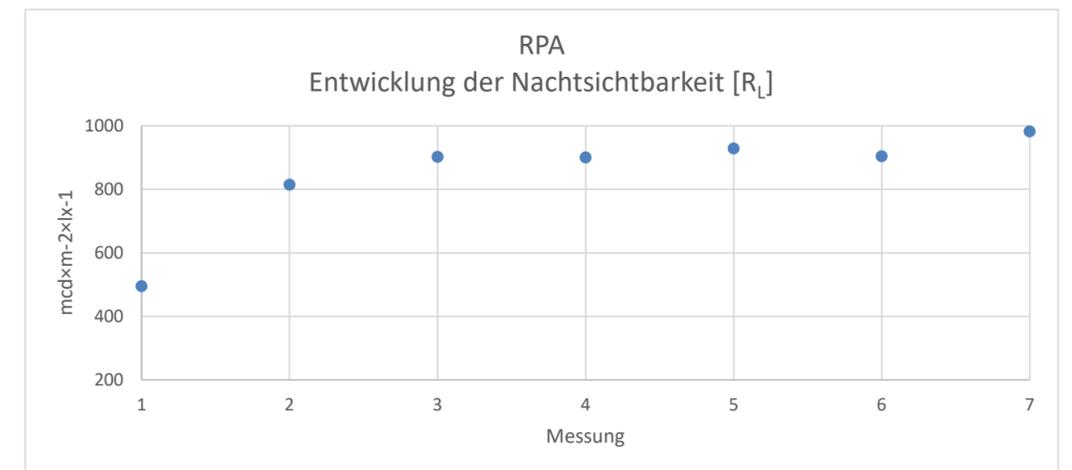
Prüffeld-Nr.: 100	1	113	x	105	155	x
	2	134	123	139	136	138
	3	146	119	144	134	130
	4	140	131	124	114	130
	5	126	136	132	132	128
Prüffeld-Nr.: 101	1	154	x	166	142	x
	2	189	189	160	137	193
	3	191	178	140	127	205
	4	169	148	121	117	171
	5	150	144	130	128	139
Prüffeld-Nr.: 104	1	131	x	108	140	x
	2	176	224	211	181	189
	3	165	215	207	174	190
	4	145	173	145	105	157
	5	143	153	136	116	140
Prüffeld-Nr.: 105	1	227	x	206	224	x
	2	124	111	100	103	122
	3	143	110	92	98	123
	4	108	93	82	80	113
	5	105	89	81	84	100
Prüffeld-Nr.: 106	1	141	x	134	121	x
	2	136	129	104	91	106
	3	100	58	79	40	46
	4	97	63	55	26	35
	5	64	44	42	23	36
Prüffeld-Nr.: 107	1	247	x	338	246	x
	2	162	199	200	186	199
	3	176	181	164	149	165
	4	149	189	179	156	193
	5	140	196	179	140	184

I: Performancevergleich des Referenzmuster (Prüffeld / RPA)

Griffigkeit [SRT]					
Prüffeld		RPA	Lauf 06_20	Lauf 03_19	Mittelwert
Zeitpunkt der Messung	[SRT-Einheiten]	Anzahl Überrollungen	[SRT-Einheiten]	[SRT-Einheiten]	[SRT-Einheiten]
Aug 18	71	0	67	59	63
		10.000	57	53	55
Mai 19	57	100.000	55	51	53
		200.000	55	48	52
Aug 19	52	500.000	52	48	50
		1.000.000	52	48	50
Mai 20	53	2.000.000	51	46	49
		3.000.000	49	46	48
Aug 20	49	4.000.000	48	46	47



Nachtsichtbarkeit, trocken [R _L]					
Prüffeld		RPA	Lauf 06_20	Lauf 03_19	Mittelwert
Zeitpunkt der Messung	[R _L]	Anzahl Überrollungen	[R _L]	[R _L]	[RL]
Aug 18	424	0	535	454	495
		10.000	862	765	814
Mai 19	831	100.000	944	859	902
		200.000	906	894	900
Aug 19	915	500.000	1019	837	928
		1.000.000	918	888	903
Mai 20	814	2.000.000	1032	932	982
		3.000.000	989	944	967
Aug 20	872	4.000.000	938	939	939



Nachtsichtbarkeit, trocken [Q _d]					
Prüffeld		RPA	Lauf 06_20	Lauf 03_19	Mittelwert
Zeitpunkt der Messung	[Q _D]	Anzahl Überrollungen	[Q _D]	[Q _D]	[RL]
Aug 18	246	0	240	226	233
		10.000	262	265	264
Mai 19	201	100.000	263	266	265
		200.000	264	266	265
Aug 19	176	500.000	265	266	266
		1.000.000	260	262	261
Mai 20	185	2.000.000	263	263	263
		3.000.000	260	261	261
Aug 20	166	4.000.000	255	260	258