

Berlin, den 7. 4. 2009

Translation of

Test Certificate No. 0913-2009-05
of the suitability of the dynamic retroreflectometer ZDR 6020
for the dynamic measurement of the coefficient of retroreflected luminance
R_L of road markings

(This test certificate consists of 10 pages and an attachment of 2 pages)

1 Employer

The order for the preparation of the report was given by Zehntner GmbH Testing Instruments, Gewerbestrasse 4, CH-4450 Sissach/Switzerland.

2 Order subject

Determination of the suitability of the Zehntner-Dynamic Retroreflectometer ZDR 6020 (hereafter "ZDR 6020") for the dynamic measurement of the coefficient of retroreflected luminance R_L of road markings by method of 2 different comparative measurements.

2.1 Comparison of the measurements with a static measuring device

Assessment of the precision of the ZDR 6020 by comparing the R_L measurements of the ZDR 6020 with a portable, static retroreflectometer ZRM 6013 on a road marking test field.

2.2 Comparison of the measurements at different measuring speeds

Assessment of the dependence of the measuring speed on a road under traffic of the measured R_L values obtained by the ZDR 6020.

3 Tested measuring system

The description of the measuring systems follows the data specified by the employer and inspection of the tester. The retroreflectometer ZDR 6020 is installed on a vehicle and enables the measurement of the coefficient of retroreflected luminance R_L on roads under traffic at travelling speeds up to 120 km/h. Measurements can be carried out during the day or at night.

3.1 General mode of operation

The ZDR 6020 consists mainly of a measuring head, a connection box and a laptop with separate touch panel. For the measuring process, the measuring head is installed on the outside of the vehicle and connected to the vehicle. The position of the marking is visible for the vehicle driver on the touch panel. The driver navigates the vehicle in such a way that the measuring area is always over the marking. The measuring area hits the marking 6 m in front of the measuring head. The operator has the possibility to store the measured data directly into a measuring file. As a general rule, an average value is calculated and saved for section of 50 or 100 m.

The measuring head is responsible for the logging of the measuring data. The data are processed within the measuring head by an integrated computer and transferred directly to the laptop via Ethernet. During the measuring process the measuring head is connected to a connection box installed in the vehicle. The connection box is responsible for providing supply voltage for the measuring head and acts as the central interface for all cables and connections.

The Laptop is mounted on a console on the front passenger side of the vehicle and is used for operation of the measuring software and for storing the measurement data. The touch panel displays the current measuring value and a representative image of the retroreflection data of the marking.

Data such as temperature, humidity, driven speed, GPS-coordinates, pictures and voice files are logged in addition to the retroreflection value.

3.2 Technical specifications of the measuring head

Measuring geometry	30 m Geometry
Illumination angle ϵ	1,24°
Observation angle α	2,29°
Length of measuring area	1 m
Width of measuring area	0,5 m
Number of sensors	16
Measuring position	6 m in front of the measuring head (exit/entrance lense)
Illumination aperture	0,17° x 0,33°
Observation aperture	0,33° x 0,33°
Light source	Halogen lamp 100 W, stabilised voltage supply
Modulation frequency	600 Hz
Sensor	Silicium photodiode

The measuring geometry (illumination angle ϵ , observation angle α , apertures) correspond to the EN 1436, valid edition of January 2009 (German edition), with regard to the geometry defined for R_L.

3.3 Measuring principle

The measuring head contains a light emitting unit, sending a light beam onto the marking, and a light receiving unit which translates the light reflected by the marking in measurable signals. These signals are pre-amplified, filtered and then digitalized by a A/D converter. The CPU picks up these data from the A/D converter, processes them and sends them to the laptop in the vehicle.

The light emitting unit consists of a halogen lamp, a chopper (perforated disk) rotating with constant speed and a lens-based optical system. The chopper modulates the light with 600 Hz before it hits the marking 6 m in front of the measuring head.

The receiving unit consists of 16 photodiodes monitoring the illuminated measuring field on the marking through a lens-based optical system. The measuring principle follows the lock-in principle with phase sensitive detection. A sensor identifies the position of the chopper (chopper is sending light or not). If the chopper is open, the data from the 16 sensors are digitalized by the A/D converter and buffered in the CPU. These data are called signal. The next step is to wait until the chopper is closed, and to take readings of the 16 sensors again. These are the offset-data. Both data packages are subtracted in the CPU, thus resulting in the actual measuring value.

Signal processing: the signal of the sensor is amplified by a pre-amplifier and reaches a high-pass filter with a threshold frequency of 0.48 Hz. Afterwards the signal passes through a second amplification level containing a low-pass filter with a threshold frequency of 160 Hz. Afterwards the signal reaches the A/D converter. The value of the surrounding light is measured simultaneously by A/D conversion of the raw signal when the chopper is closed.

4 Data processing and evaluation of the measuring data

The evaluation and processing of the measuring data is executed by the software "RetroGrabber" which is running on the laptop during the measuring process. The software receives digital measuring values as raw data from the measuring head. The raw data will be scaled based on the factory calibration data and a validity check is carried out. The valid data is then averaged over the previously chosen measuring interval and saved as one measuring value.

600 single measurements per second can be performed with the system's measuring frequency of 600 Hz. This results in 1350 single measurements per 50 m at a speed of 80 km/h, a single measurement is conducted every 37 mm. At a speed of 120 km/h, 900 single measurements or one measurement every 56 mm respectively are achieved.

5 Measuring location

Measuring location pertaining to paragraph 2.1: marking test field on the through road B 4 near Torfhaus (Oberharz): On this test field lie approx. 100 road marking test patterns, of type I and type II, applied in driving direction. Each test pattern consists of eight dashes according to the size of 2 metres of length x 0,15 metres of width.

Measuring location pertaining to paragraph 2.2: through road B 82 near Bad Harzburg. This through road is similar to the motorway, enlarged to four lanes.

6 Execution of the measurements

Measuring day: February 18, 2009. Road condition on B4: road and marking surface are slightly humid. Road condition B 82: dry.

The measuring head of the ZDR 6020 was installed on the vehicle before taking the measurements and adjusted in a way that, according to paragraph three, the measuring geometry was observed. Afterwards, the measuring system was calibrated by means of a marking film which was stuck to an even base. The comparative device ZRM 6013 was calibrated by means of the internal calibration standard.

6.1 Comparison of the measurements with a static measuring device

Of each type, I and II, one streak of 15 test patterns was measured immediately in a row, both with the ZDR 6020 (walking speed) and the retroreflectometer ZRM 6013, on the test field Oberharz. Table 1 shows the measuring values M_{ZDR} and M_{ZRM} for all streaks for both measuring systems, the common average value M , composed of M_{ZDR} and M_{ZRM} , as well as the percentage deviation of the measured value of the ZDR 6020 from the common average value: $M_{ZDR}/M \cdot 100 \%$. Picture 1 shows the measuring values M_{ZDR} and M_{ZRM} for the 15 test patterns.

Marking type according to column 2 of Table 1:

Type I:

G: smooth marking

Type II:

A1: large, erratical agglomerates (s. Appendix, Picture A.1)

A2: small erratical agglomerates (s. Appendix, Picture A.2)

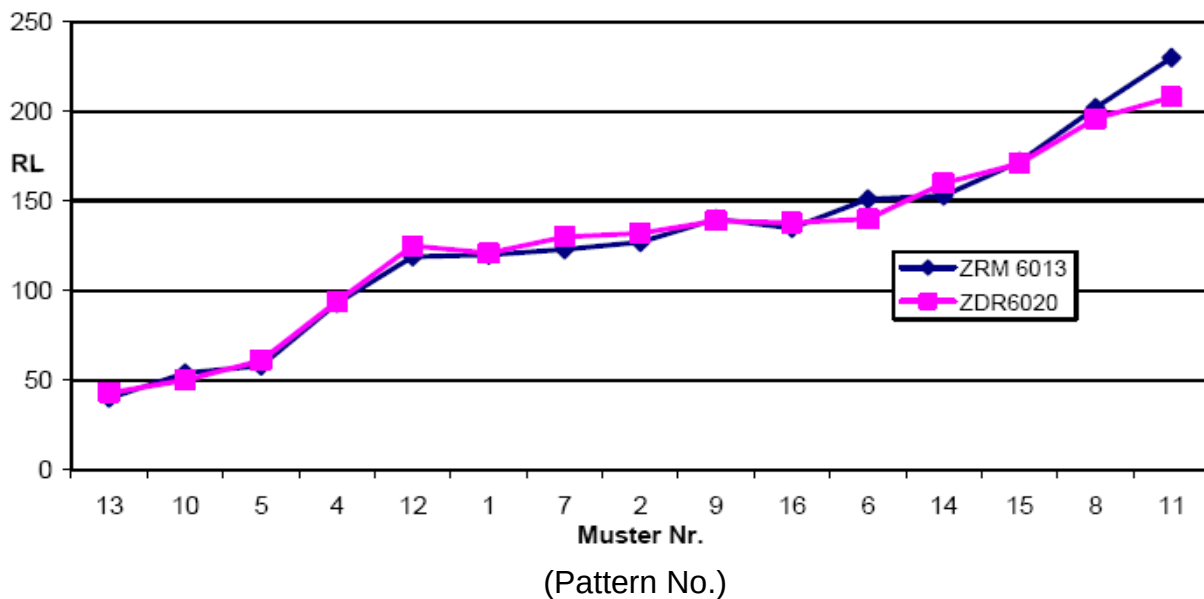
A3: large regular agglomerates (s. Appendix, Picture A.3)

A4: small regular agglomerates (s. Appendix, Picture A.4)

F: Foil, diamond-shaped embossing (s. Appendix, Picture A.5)

Pattern No.	Marking type	R _L (mcd/m ² .lx)			100 % · M _{ZDR} /M
		M _{ZRM}	M _{ZDR}	M	
13	G	40	43	41,5	3,5
10	A4	54	50	52	-4,0
5	A4	58	61	59,5	2,5
4	G	93	94	93,5	0,5
12	A2	119	125	122	2,4
1	G	120	121	120,5	0,4
7	G	123	130	126,5	2,7
2	G	127	132	129,5	1,9
9	A1	140	139	139,5	-0,4
16	A1	135	138	136,5	1,1
6	G	151	140	145,5	-3,9
14	G	153	160	156,5	2,2
15	A3	172	171	171,5	-0,3
8	G	202	196	199	-1,5
11	F	230	208	219	-5,3
Absolute average deviation					2,2
Average value		127,80	127,20		

Table 1: Measuring results of the test field Torfhaus



Picture 1: Comparison of R_L-values M_{ZDR} and M_{ZRM} for both measuring systems, test field Torfhaus.

6.2 Comparison of the measurements at different measuring speeds

On the through road B 82, the coefficient of retroreflected luminance was continuously measured with the ZDR 6020 between two junctions on the right road margin, consisting of a streak of 15 centimetre of width, in both directions at a speed of approx. 50 km/h, 80 km/h and 100 km/h. The driving speed was kept as constant as possible during the measurements. The measuring distance amounted to 2'050 km, respectively 2'150 km. Every 100 m there was taken the average and stored in the software. The pictures 1 and 2 show these average values for both directions. In direction A there was a wet spot on the marking, at approx. 650 m after the start. Therefore, the value for this measuring interval was not evaluated.

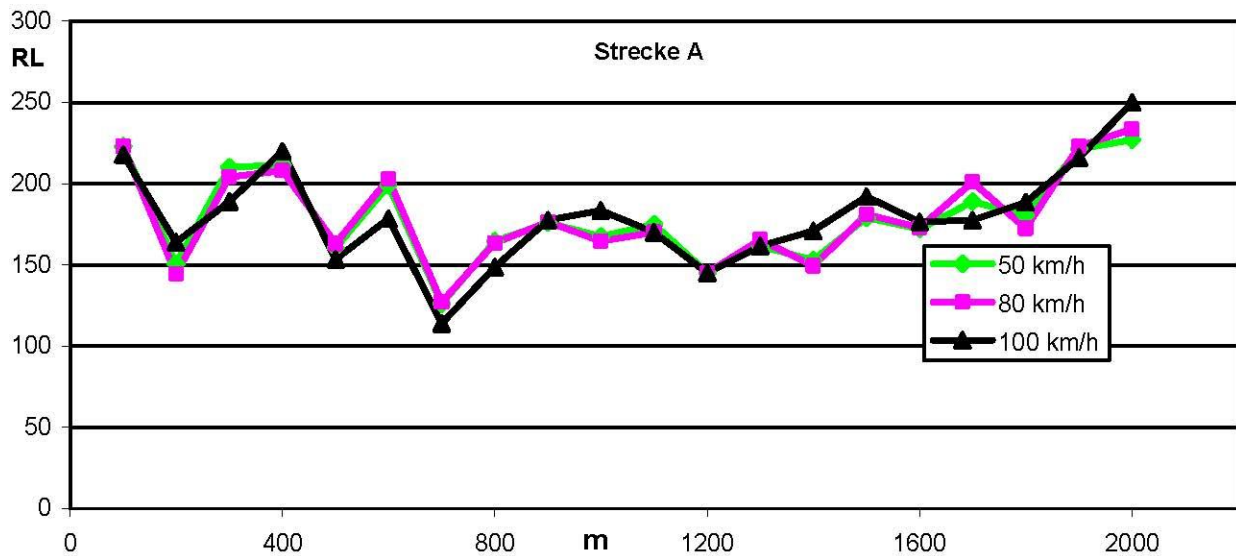
1	2	3	4	5	6	7	8
Measuring interval (m)	R _L -average values M _v over 100 m (mcd/m ² .lx)			Common average M	100 % · M _v /M		
	50 km/h	80 km/h	100 km/h		50 km/h	80 km/h	100 km/h
100	223	223	218	221.3	0.8	0.8	-1.5
200	150.5	144.5	164	153.0	-1.6	-5.6	7.2
300	210	204	189	201.0	4.5	1.5	-6.0
400	211.5	208	220	213.2	-0.8	-2.4	3.2
500	160.5	163	153.5	159.0	0.9	2.5	-3.5
600	199	203	178.5	193.5	2.8	4.9	-7.8
700	126	127	114	122.3	3.0	3.8	-6.8
800	164.5	163.5	148.5	158.8	3.6	2.9	-6.5
900	176	176.5	177.5	176.7	-0.4	-0.1	0.5
1000	167.5	164.5	183.5	171.8	-2.5	-4.3	6.8
1100	175	170	170	171.7	1.9	-1.0	-1.0
1200	145	145	145	145.0	0.0	0.0	0.0
1300	161.5	165.5	161.5	162.8	-0.8	1.6	-0.8
1400	153	149.5	171	157.8	-3.1	-5.3	8.3
1500	179	181	192	184.0	-2.7	-1.6	4.3
1600	172	173	176.5	173.8	-1.1	-0.5	1.5
1700	189	201	177.5	189.2	-0.1	6.3	-6.2
1800	180.5	172.5	188.5	180.5	0.0	-4.4	4.4
1900	221.5	223	216	220.2	0.6	1.3	-1.9
2000	227	233.5	250	236.8	-4.2	-1.4	5.6

Table 2: R_L-values in dependence of speed, average values over 100 m, route A

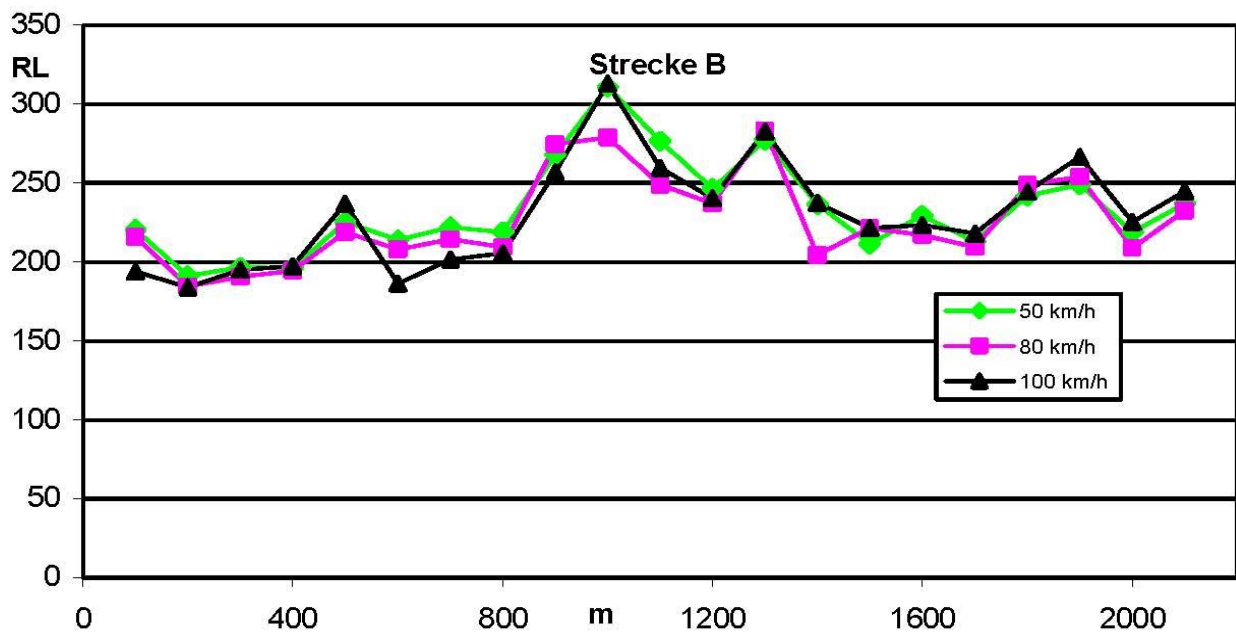
1	2	3	4	5	6	7	8
Measuring interval (m)	RL-average values M _v over 100 m (mcd/m ² .lx)			Common average M	100 % · M _v /M		
	50 km/h	80 km/h	100 km/h		50 km/h	80 km/h	100 km/h
100	220,5	216	194	210,2	4,9	2,8	-7,7
200	191	184,5	184	186,5	2,4	-1,1	-1,3
300	196,5	190,5	195	194,0	1,3	-1,8	0,5
400	196	194,5	197,5	196,0	0,0	-0,8	0,8
500	225,5	219	237	227,2	-0,7	-3,6	4,3
600	214	208	186,5	202,8	5,5	2,5	-8,1
700	222	214,5	201,5	212,7	4,4	0,9	-5,3
800	219	209,5	205,5	211,3	3,6	-0,9	-2,8
900	268	274,5	257	266,5	0,6	3,0	-3,6
1000	311	279	313	301,0	3,3	-7,3	4,0
1100	276,5	249	259,5	261,7	5,7	-4,8	-0,8
1200	246,5	237	240,5	241,3	2,1	-1,8	-0,3
1300	277,5	283,5	282,5	281,2	-1,3	0,8	0,5
1400	236,5	204,5	237,5	226,2	4,6	-9,6	5,0
1500	211,5	221,5	221,5	218,2	-3,1	1,5	1,5
1600	229,5	217	223,5	223,3	2,8	-2,8	0,1
1700	213	209,5	218	213,5	-0,2	-1,9	2,1
1800	242	249	244,5	245,2	-1,3	1,6	-0,3
1900	249	254	266,5	256,5	-2,9	-1,0	3,9
2000	219	209	225,5	217,8	0,5	-4,1	3,5
2100	237	232,5	245	238,2	-0,5	-2,4	2,9

Table 3: R_L-values in dependence of speed, average values over 100 m, route B

Pictures 2 and 3 show the average values M_v for both routes.



Picture 2: Over 100 m averaged measuring values R_L , measuring route A



Picture 3: Over 100 m averaged measuring values R_L , measuring route B

The average values R_L at the three measuring speeds for the whole measuring distance are arranged in table 2. Table 3 indicates the correlation coefficients r , which resulted out of the comparison of the measuring results for any two speeds.

Route	Measuring speed (km/h)		
	50	80	100
	R_L (mcd/m ² .lx)		
A	179,6	179,6	179,7
B	217,1	210,8	214,4

Table 4: R_L -average values at different measuring speeds

Route	Comparison of the R_L -values at measuring speeds (km/h)		
	50 with 80	50 with 100	80 with 100
	Correlation coefficient r		
A	0,987	0,884	0,907
B	0,921	0,893	0,929

Table 5: Correlation coefficient r at the comparison of the R_L -values, determined for different measuring speeds

7. Assessment of the measuring results

7.1 Assessment of the measurements with a static measuring device

Table 1 shows that the measured values of the ZDR 6020 differ from the common average value of both measuring systems at most with +3,5 % / -5,3 %.

According to the validation process of measuring equipment of road markings defined by the Federal Highway Research Institute (BASt), the measuring equipment under evaluation may only differ more than 7,5 % from the common average M in max. 5 % of all comparative measurement values. The ZDR 6020 fulfils this regulation as the highest deviation is only 5.3%. Averaged over all 15 patterns, both measuring systems provide practically identical measured values: M_{ZRM} : 127,8 mcd/m².lx; M_{ZDR} : 127,2 mcd/m².lx; the correlation coefficient r amounts to 0,991. This confirms that the measuring system ZDR 6020 provides, within the scope of an acceptable measuring accuracy, the same measured values of the coefficient of retroreflected luminance as a static, portable measuring device.

7.2 Evaluation of the measurements at different measuring speeds

The investigation of the percentage deviation from the common average value $100 \% \cdot M_v/M$ based on table 2 and 3 reveals that only in 4 of 123 measurement values (3,3 % of all cases), there is a deviation from the common average value of more than 7,5 % (in table 2 and 3, these values are highlighted by **red bold** font).

Hence, the BASt regulation described in chapter 7.1 (deviations bigger than 7,5 % from the common average M in max. 5 % of all comparative measurement values) is fulfilled also regarding the correlation coefficients for the difficult measuring conditions in moving traffic.

Table 4 indicates that the measured values, averaged over the length of the distances, are practically identical at the three measuring speeds. The pictures 1 and 2 show the deviation of the over 100 m averaged measured values. The correlation coefficients (see table 5) are fulfilled considering the difficult measuring conditions in moving traffic into account.

The coefficient of retroreflected luminance (night visibility R_L) can be detected with an acceptable measuring accuracy by the measuring system of the ZDR 6020, independent of the measuring speed.

7.3 Overall assessment

The retroreflectometer ZDR 6020 is applicable for the dynamic measurement of the coefficient of retroreflected luminance (night visibility R_L) of road markings, independent of speed and it provides the same measuring results as a static, portable retroreflectometer.

Dr. H. Meseberg
Chairman StrausZert

This test certificate has been issued in all conscience.

Disclaimer

This translation of the official test certificate is provided by Proceq AG for information purposes only. In case any discrepancies between the German and English versions are found, the German version shall prevail.

Appendix: pictures of the marking samples on the test field

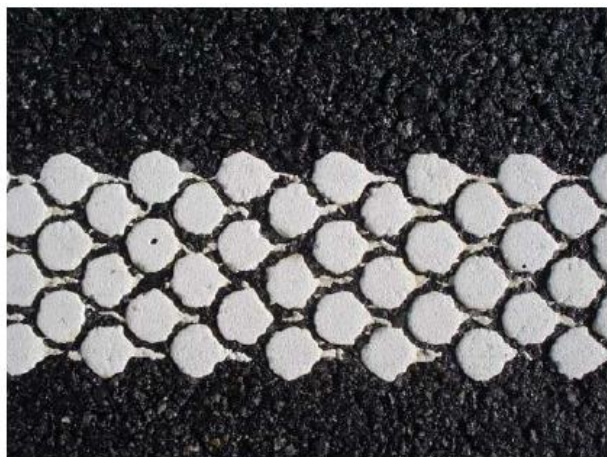


Picture A1: large, erratical agglomerates



Picture A2: small erratical agglomerates

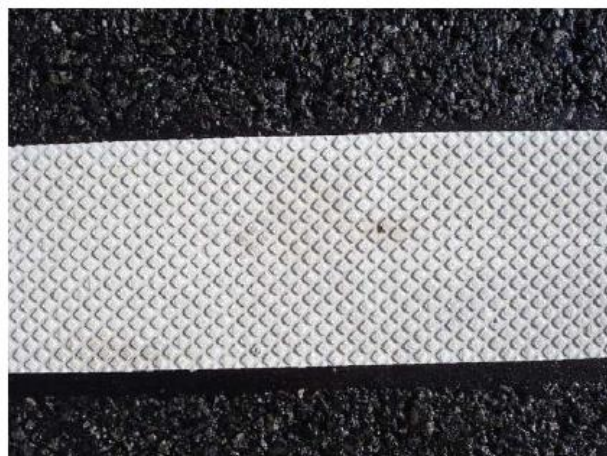
Appendix



Picture A3: large regular agglomerates



Picture A4: small regular agglomerates



Picture A5 Foil, diamond-shaped embossing

Berlin, den 7. 4. 2009

P r ü f z e u g n i s Nr. 0913-2009-05
über die Eignung des dynamischen Retroreflektometers ZDR6020
zur dynamischen Messung des Leuchtdichtekoeffizienten
bei Retroreflexion R_L von Fahrbahnmarkierungen
(Dieses Prüfzeugnis besteht aus 10 Seiten
und einer Anlage mit 2 weiteren Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die Zehntner GmbH Testing Instruments, Gewerbestrasse 4, CH-4450 Sissach/Schweiz.

2 Auftragsache

Feststellung der Eignung des Zehntner Dynamischen Retroreflektometers ZDR6020 (im folgenden ZDR6020 genannt) zur dynamischen Messung des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L von Fahrbahnmarkierungen durch zwei unterschiedliche Vergleichsmessungen.

2.1 Vergleich der Messungen mit einem statischen Messgerät

Ermittlung der Messgenauigkeit des ZDR6020 durch Vergleich der R_L -Messwerte des ZDR6020 mit denen, die mit einem tragbaren, statisch messenden Retroreflektometer ZRM 6013 auf einem Markierungsprüffeld erhalten wurden.

2.2 Vergleich der Messungen bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

Ermittlung der Abhängigkeit der R_L -Messwerte des ZDR6020 von der Messgeschwindigkeit auf einer unter Verkehr liegenden Straße.

3 Geprüftes Messsystem

Die Beschreibung des Messsystems erfolgt nach Angaben des Antragstellers und eigenem Augenschein. Das ZDR6020 ist an einem Kraftfahrzeug angebracht und ermöglicht die Messung des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L während der Fahrt, also im fließenden Verkehr, bei einer Geschwindigkeit von bis zu 120 km/h. Die Messungen können bei Tag und bei Nacht durchgeführt werden.

3.1 Generelle Funktionsweise

Das ZDR6020 besteht im Wesentlichen aus einem Messkopf, einer Fahrzeugbox und einem Laptop mit abgesetzter Anzeigeeinheit (Touchpanel). Für den Messvorgang wird der Messkopf mit einer Halterung außen am Fahrzeug montiert und am Auto angeschlossen. Die Position der Markierung ist auf dem Touchpanel für den Fahrer sichtbar. Der Fahrer steuert das Auto so, dass sich der Messfleck immer auf der Markierung befindet. Der Messfleck trifft 6 Meter vor dem Messkopf auf die Markierung. Der Bediener hat die Möglichkeit, die gemessenen Daten direkt in eine Messdatei schreiben zu lassen. In der Regel wird alle 50 oder 100 gefahrene Meter ein Durchschnittswert der Retroreflexion gebildet und abgespeichert.

Der Messkopf übernimmt die Datenerfassung der Messwerte. Die Messwerte werden im Messkopf durch einen eingebauten Rechner verarbeitet und via Ethernet direkt zum Laptop übermittelt. Während des Messvorgangs ist der Messkopf mit einer im Auto eingebauten Fahrzeugbox verbunden. Die Fahrzeugbox hat die Aufgabe, Versorgungsspannungen für den Messkopf aufzubereiten und dient als Sammelpunkt für alle Kabel und Anschlüsse.

Der Laptop ist im Beifahrerbereich auf einem Pult montiert und dient zur Bedienung der Messsoftware und zur Abspeicherung der Messdaten. Der Fahrer kann über das Touchpanel die Messung starten und stoppen. Das Touchpanel zeigt den Messwert und ein repräsentatives Abbild der Reflexionsdaten der Markierung an.

Zusätzlich zum Retroreflexionswert werden noch weitere Messdaten wie Temperatur, Feuchte, gefahrene Geschwindigkeit, GPS-Koordinaten, Bilddateien und Sprachdateien aufgezeichnet.

3.2 Technische Parameter des Messkopfes

Messgeometrie	30 m Geometrie
Anleuchtungswinkel ε	1,24°
Beobachtungswinkel α	2,29°
Länge Messfleck	1 m
Breite Messfleck	0,5 m
Anzahl Sensoren	16
Messort	6 m vor Messkopf (Austritts-/Eintrittslinse)
Anleuchtungsapertur	0,17° x 0,33°
Beobachtungsapertur	0,33° x 0,33°
Leuchtmittel	Halogenlampe 100 W, stabilisierte Spannungsversorgung
Modulationsfrequenz	600 Hz
Sensor	Silizium-Fotodiode

Die Messgeometrie (Anleuchtungswinkel ε , Beobachtungswinkel α , Aperturen) entspricht der nach EN 1436, gültige Ausgabe Januar 2009 (deutsche Fassung), für die Messung von R_L vorgesehenen Geometrie.

3.3 Messprinzip

Im Messkopf befindet sich eine Lichtsendeeinheit, die einen Lichtstrahl auf die Markierung wirft, sowie eine Lichtempfangseinheit, die das von der Markierung reflektierte Licht in messbare Signale umwandelt. Diese werden vorverstärkt und gefiltert, um dann vom A/D-Wandler digitalisiert zu werden. Die CPU holt diese Daten vom A/D-Wandler ab, verarbeitet diese und sendet sie an den Laptop im Auto. Die Lichtsendeeinheit besteht aus einer Halogenlampe, einem Chopper (Lochscheibe), der sich mit konstanter Geschwindigkeit dreht, und einer Linsenoptik. Der Chopper moduliert das Licht mit 600 Hz, das dann in 6 Meter vor dem Messkopf auf die Markierung trifft.

Die Empfangseinheit besteht aus 16 Photodioden, die durch eine Linsenoptik das beleuchtete Feld auf der Markierung beobachten. Das Messprinzip ist an das Lock-In Verfahren mit phasensensitiver Detektion angelehnt. Mit einem Sensor wird die Position des Choppers ermittelt (Chopper lässt Licht hindurch oder nicht). Ist der Chopper offen, werden die Werte der 16 Sensoren mit dem A/D-Wandler digitalisiert und in der CPU zwischengespeichert. Diese Werte werden als Signal + Offset bezeichnet. Dann wird gewartet, bis der Chopper zu ist und dann werden wieder die Werte der 16 Sensoren eingelesen. Diese Werte sind die Offsetwerte. Die beiden Wertepakete werden in der CPU voneinander subtrahiert und auf diese Weise wird der echte Messwert ermittelt.

Signalverarbeitung: Das Signal des Sensors wird durch einen Vorverstärker verstärkt und gelangt auf einen Hochpass mit einer Grenzfrequenz von 0,48 Hz. Danach durchläuft das Signal eine zweite Verstärkungsstufe, die gleichzeitig einen Tiefpass mit der Grenzfrequenz von 160 Hz beinhaltet. Danach gelangt das Signal auf den A/D-Wandler. Der Wert des Umgebungslichts wird ebenfalls gemessen. Dies geschieht durch die A/D-Wandlung des Rohsignals in dem Moment, wenn der Chopper zu ist.

4 Datenverarbeitung und Auswertung der Messdaten

Die Auswertung und Berechnung der Messdaten geschieht durch die Software „Retrograbber“, die während des Messvorgangs auf dem Laptop aktiviert ist. Die Software empfängt die Messdaten als Rohwerte in digitaler Form vom Messkopf. Diese Daten werden dann anhand der Kalibrierdaten skaliert und auf ihre Plausibilität geprüft. Die gültigen Werte werden dann über das vorgegebene Messintervall gemittelt und als Messwert abgespeichert.

Bei einer Messfrequenz von 600 Hz des Systems können 600 Einzelmessungen pro Sekunde durchgeführt werden. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h ergibt dies 1350 Einzelmessungen pro 50 m; alle 37 mm wird eine Einzelmessung durchgeführt. Bei ei-

ner Geschwindigkeit von 120 km/h sind es 900 Einzelmessungen pro 50 m bzw. eine Einzelmessung je 56 mm.

5 Messorte

Messort zu Abschnitt 2.1: Markierungsprüffeld auf der Bundesstraße B 4 bei Torfhaus (Oberharz): Auf diesem Prüffeld liegen ca. 100 Markierungs-Prüfmuster, Typ I und Typ II, appliziert in Fahrtrichtung. Jedes Prüfmuster besteht aus 8 Strichen der Abmessungen 2 m Länge x 0,15 m Breite.

Messort zu Abschnitt 2.2: Bundesstraße B 82 bei Bad Harzburg. Diese Bundesstraße ist autobahnähnlich 4-streifig ausgebaut.

6 Durchführung der Messungen

Messtag: 18. 2. 2009. Straßenzustand B 4: Straßen- und Markierungsoberfläche leicht feucht. Straßenzustand B 82: trocken.

Vor Beginn der Messungen wurde der Messkopf des ZDR6020 am Kfz befestigt und so justiert, dass die unter Abschnitt 3.2 genannte Messgeometrie eingehalten wurde. Anschließend wurde das Messsystem mittels einer auf einer ebenen Unterlage aufgeklebten Markierungsfolie kalibriert. Das Vergleichsgerät ZRM 6013 wurde mittels des internen Standards kalibriert.

6.1 Vergleich der Messungen mit einem statischen Messgerät

Auf dem Prüffeld Oberharz wurde von 15 Prüfmustern des Typs I und des Typs II jeweils ein Strich unmittelbar nacheinander sowohl mit dem ZDR6020 (Schrittgeschwindigkeit) als auch mit dem tragbaren Retroreflektometer ZRM 6013 gemessen. Tabelle 1 zeigt die Messwerte M_{ZDR} und M_{ZRM} für alle Striche für beide Messsysteme, den gemeinsamen Mittelwert M , gebildet aus M_{ZDR} und M_{ZRM} , sowie die prozentuale Abweichung des Messwertes des ZDR vom gemeinsamen Mittelwert: $100 \% \cdot M_{ZDR}/M$. In Bild 1 sind die Messwerte M_{ZDR} und M_{ZRM} für die 15 Messstriche wiedergegeben.

Markierungsart lt. Spalte 2 der Tabelle 1:

Typ I:

G: Glattstrichmarkierung

Typ II:

A1: Agglomeratmarkierung große, unregelmäßige Agglomerate (s. Anhang, Bild A.1)

A2: Agglomeratmarkierung kleine, unregelmäßige Agglomerate (s. Bild A.2)

A3: Agglomeratmarkierung große, regelmäßige Agglomerate (s. Bild A.3)

A4: Agglomeratmarkierung kleine, regelmäßige Agglomerate (s. Bild A.4)

F: Folie, rautenförmig profiliert (s. Bild A.5)

Muster lfd. Nr.	Markierungsart	R _L (mcd/m ² .lx)			100 % · M _{ZDR} /M
		M _{ZRM}	M _{ZDR}	M	
13	G	40	43	41,5	3,5
10	A4	54	50	52	-4,0
5	A4	58	61	59,5	2,5
4	G	93	94	93,5	0,5
12	A2	119	125	122	2,4
1	G	120	121	120,5	0,4
7	G	123	130	126,5	2,7
2	G	127	132	129,5	1,9
9	A1	140	139	139,5	-0,4
16	A1	135	138	136,5	1,1
6	G	151	140	145,5	-3,9
14	G	153	160	156,5	2,2
15	A3	172	171	171,5	-0,3
8	G	202	196	199	-1,5
11	F	230	208	219	-5,3
mittlere absolute Abweichung					2,2
Mittelwert		127,80	127,20		

Tabelle 1: Messergebnisse Prüffeld Torfhaus

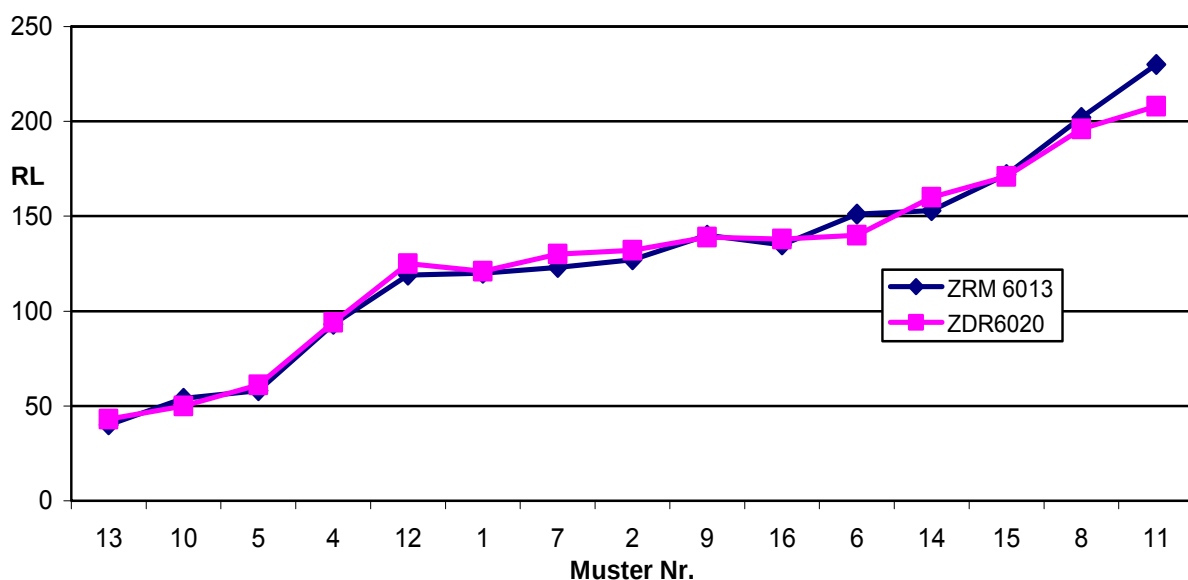


Bild 1: Vergleich der R_L-Messwerte M_{ZDR} und M_{ZRM} für beide Messsysteme, Prüffeld Torfhaus

6.2 Vergleich der Messungen bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

Auf der Bundesstraße B 82 wurde zwischen 2 Anschlussstellen der Leuchtdichtkoeffizient bei Retroreflexion R_L der rechten Fahrbahnbegrenzung, bestehend aus einem 15 cm breiten Strich, in beiden Fahrtrichtungen bei Geschwindigkeiten von ca. 50 km/h, 80 km/h und 100 km/h mit dem ZDR6020 kontinuierlich gemessen. Bei den Messfahrten wurde darauf geachtet, dass die Fahrgeschwindigkeit möglichst konstant gehalten wurde. Die Messstrecke betrug 2,050 km bzw. 2,150 km. Die Mittelung der Messwerte erfolgte über eine Messlänge von 100 m. Die Tabellen 2 und 3 zeigen diese über 100 m gemittelten Mittelwerte M_V für die drei Geschwindigkeiten (Spalten 2 bis 4), den sich aus den Spalten 2 bis 4 ergebenden gemeinsamen Mittelwert M (Spalte 5) und die prozentualen Abweichungen der bei den drei Geschwindigkeiten ermittelten Werte vom gemeinsamen Mittelwert $100 \% \cdot M_V/M$ (Spalten 6 bis 8). Bei der Strecke A befand sich ca. 650 m nach dem Start eine Wasserpfütze auf der Markierung. Der Wert für dieses Messintervall wurde deshalb nicht gewertet.

1	2	3	4	5	6	7	8
Messintervall (m)	R_L -Mittelwerte M_V über 100 m ($\text{mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$)			gemeinsamer Mittelwert M	$100 \% \cdot M_V/M$		
	50 km/h	80 km/h	100 km/h		50 km/h	80 km/h	100 km/h
100	223	223	218	221,3	0,8	0,8	-1,5
200	150,5	144,5	164	153,0	-1,6	-5,6	7,2
300	210	204	189	201,0	4,5	1,5	-6,0
400	211,5	208	220	213,2	-0,8	-2,4	3,2
500	160,5	163	153,5	159,0	0,9	2,5	-3,5
600	199	203	178,5	193,5	2,8	4,9	-7,8
700	126	127	114	122,3	3,0	3,8	-6,8
800	164,5	163,5	148,5	158,8	3,6	2,9	-6,5
900	176	176,5	177,5	176,7	-0,4	-0,1	0,5
1000	167,5	164,5	183,5	171,8	-2,5	-4,3	6,8
1100	175	170	170	171,7	1,9	-1,0	-1,0
1200	145	145	145	145,0	0,0	0,0	0,0
1300	161,5	165,5	161,5	162,8	-0,8	1,6	-0,8
1400	153	149,5	171	157,8	-3,1	-5,3	8,3
1500	179	181	192	184,0	-2,7	-1,6	4,3
1600	172	173	176,5	173,8	-1,1	-0,5	1,5
1700	189	201	177,5	189,2	-0,1	6,3	-6,2
1800	180,5	172,5	188,5	180,5	0,0	-4,4	4,4
1900	221,5	223	216	220,2	0,6	1,3	-1,9
2000	227	233,5	250	236,8	-4,2	-1,4	5,6

Tabelle 2: R_L -Werte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, über 100 m gemittelt, Strecke A

1	2	3	4	5	6	7	8
Messintervall (m)	R _L -Mittelwerte M _V über 100 m (mcd/m ² .lx)			gemeinsamer Mittelwert M	100 % · M _V /M		
	50 km/h	80 km/h	100 km/h		50 km/h	80 km/h	100 km/h
100	220,5	216	194	210,2	4,9	2,8	-7,7
200	191	184,5	184	186,5	2,4	-1,1	-1,3
300	196,5	190,5	195	194,0	1,3	-1,8	0,5
400	196	194,5	197,5	196,0	0,0	-0,8	0,8
500	225,5	219	237	227,2	-0,7	-3,6	4,3
600	214	208	186,5	202,8	5,5	2,5	-8,1
700	222	214,5	201,5	212,7	4,4	0,9	-5,3
800	219	209,5	205,5	211,3	3,6	-0,9	-2,8
900	268	274,5	257	266,5	0,6	3,0	-3,6
1000	311	279	313	301,0	3,3	-7,3	4,0
1100	276,5	249	259,5	261,7	5,7	-4,8	-0,8
1200	246,5	237	240,5	241,3	2,1	-1,8	-0,3
1300	277,5	283,5	282,5	281,2	-1,3	0,8	0,5
1400	236,5	204,5	237,5	226,2	4,6	-9,6	5,0
1500	211,5	221,5	221,5	218,2	-3,1	1,5	1,5
1600	229,5	217	223,5	223,3	2,8	-2,8	0,1
1700	213	209,5	218	213,5	-0,2	-1,9	2,1
1800	242	249	244,5	245,2	-1,3	1,6	-0,3
1900	249	254	266,5	256,5	-2,9	-1,0	3,9
2000	219	209	225,5	217,8	0,5	-4,1	3,5
2100	237	232,5	245	238,2	-0,5	-2,4	2,9

Tabelle 3: R_L-Werte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, über 100 m gemittelt, Strecke B

Die Bilder 2 und 3 zeigen die Mittelwerte M_V für beide Strecken.

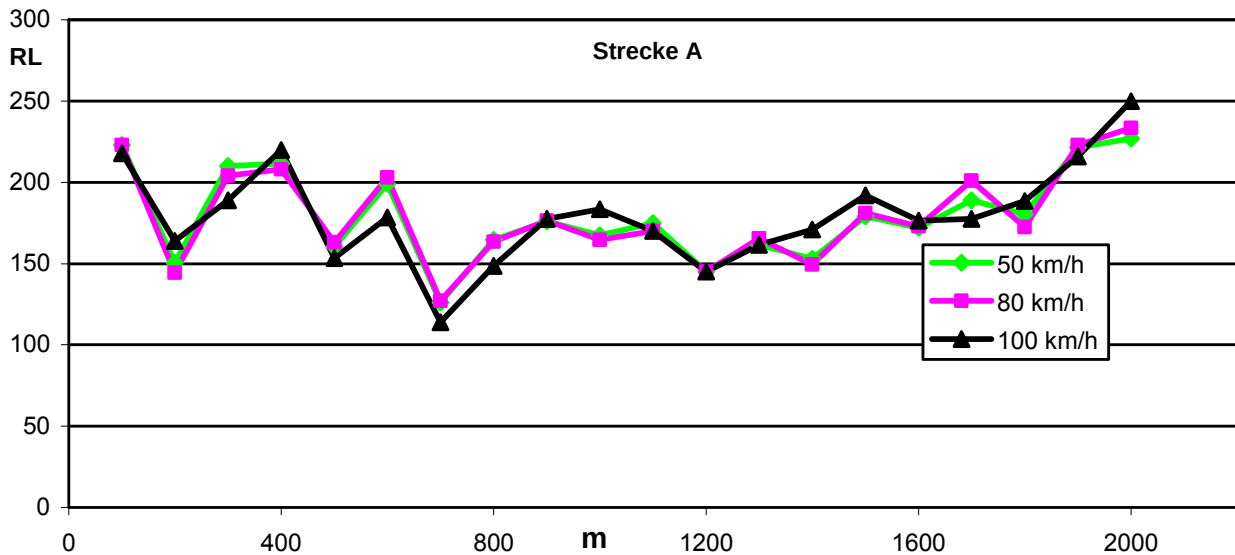


Bild 2: Über 100 m gemittelte R_L -Messwerte M_V , Messstrecke A

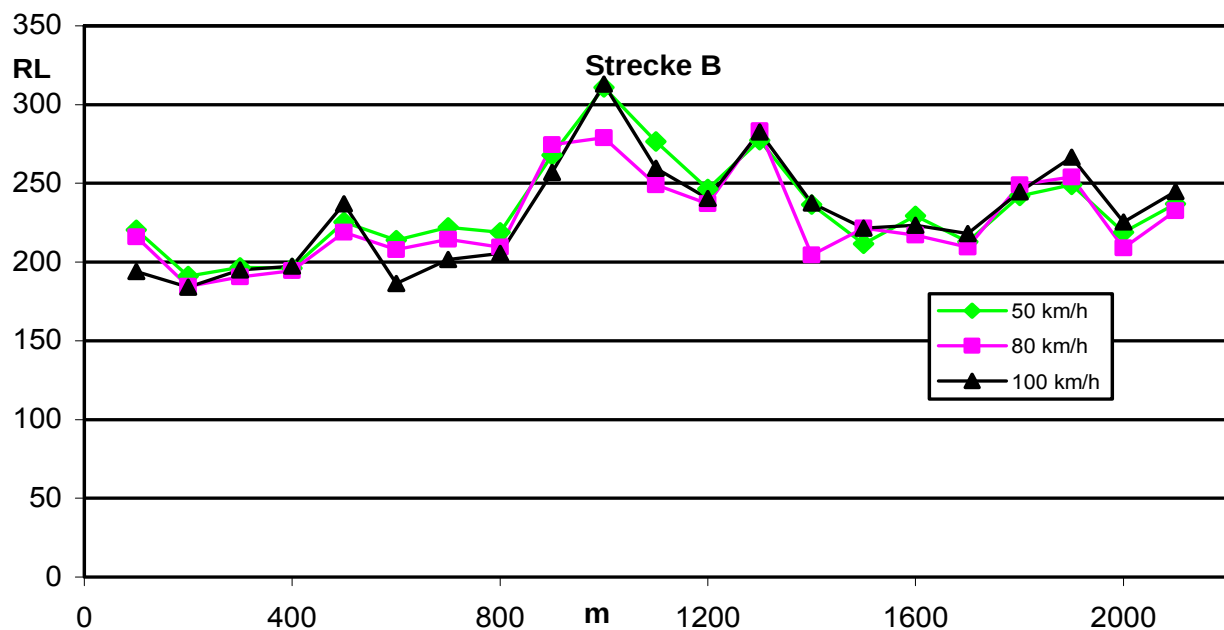


Bild 3: Über 100 m gemittelte R_L -Messwerte M_V , Messstrecke B

Die R_L -Mittelwerte bei den drei Messgeschwindigkeiten für die gesamte Messstrecke sind in Tabelle 4 zusammengestellt. In Tabelle 5 sind die Korrelationskoeffizienten r angegeben, die sich aus dem Vergleich der Messwerte für je zwei Geschwindigkeiten ergeben.

Strecke	Messgeschwindigkeit (km/h)		
	50	80	100
	R_L (mcd/m ² .lx)		
A	179,6	179,6	179,7
B	217,1	210,8	214,4

Tabelle 4: R_L -Mittelwerte bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

Strecke	Vergleich der R_L -Werte bei Messgeschwindigkeiten (km/h)		
	50 mit 80	50 mit 100	80 mit 100
	Korrelationskoeffizient r		
A	0,987	0,884	0,907
B	0,921	0,893	0,929

Tabelle 5: Korrelationskoeffizient r beim Vergleich der R_L -Werte, ermittelt für verschiedene Messgeschwindigkeiten

7 Bewertung der Messergebnisse

7.1 Bewertung der Messungen mit einem statischen Messgerät

Tabelle 1 zeigt, dass die Messwerte des ZDR6020 um höchstens +3,5 % / -5,3 % vom gemeinsamen Mittelwert beider Messsysteme abweichen. Nach dem Anerkennungsverfahren der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für Fahrbahnmarkierungsmessgeräte darf in max. 5 % aller Vergleichswerte eine Abweichung des Messwertes des zu prüfenden Gerätes M_{ZDR} vom gemeinsamen Mittelwert M von mehr als $\pm 7,5$ % auftreten; diese Anforderung wird vom ZDR6020 erfüllt, da die größte Abweichung nur 5,3% beträgt. Über alle 15 Muster gemittelt, liefern beide Messsysteme praktisch identische Messwerte: $M_{ZRM} = 127,8$ mcd/m².lx; $M_{ZDR} = 127,2$ mcd/m².lx; der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,991. Damit wird bestätigt, dass das Messsystem ZDR6020 im Rahmen einer akzeptablen Messgenauigkeit die gleichen Messwerte des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L liefert wie ein statisch arbeitendes Messgerät.

7.2 Bewertung der Messungen bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

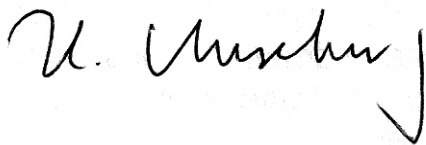
Die Ermittlung der prozentualen Abweichung vom gemeinsamen Mittelwert $100 \% \cdot M_V/M$ ergibt lt. den Tabellen 2 und 3, dass in 4 von 123 Messwerten, das sind 3,3 % aller Fälle, eine Abweichung eines Einzelmesswertes vom gemeinsamen Mittelwert $> 7,5$ % auftritt (in den Tabellen 2 und 3 sind die entsprechenden Werte **rot, fett** gedruckt). Damit ist die in Abschnitt 7.1 genannte Anerkennungsbedingung der BASt (in max. 5 % aller Vergleichswerte ist eine Abweichung von mehr als $\pm 7,5$ % zulässig) auch hinsichtlich der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Messwerte des ZDR6020 erfüllt.

Tabelle 4 lässt erkennen, dass über die Länge der Messstrecken gemittelt die Messwerte bei den drei Messgeschwindigkeiten praktisch identisch sind. Die Bilder 2 und 3 zeigen die Streuungen der über 100 m gemittelten Messwerte; die Korrelationskoeffizienten (s. Tabelle 5) sind, gemessen an den schwierigen Messbedingungen im fließenden Verkehr, akzeptabel.

Mit dem Messsystem ZDR6020 kann der Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L unabhängig von der Messgeschwindigkeit mit akzeptabler Messgenauigkeit ermittelt werden.

7.3 Gesamtbeurteilung

Das Retroreflektometer ZDR6020 ist geeignet zur dynamischen, geschwindigkeitsunabhängigen Messung des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L von Fahrbahnmarkierungen und liefert die gleichen Messergebnisse wie ein statisch arbeitendes Retroreflektometer.



(Dr. H. Meseberg)
Vorsitzender StrausZert

Dieses Prüfzeugnis wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang: Fotos der Prüfmuster auf dem Prüffeld



Bild A.1: Große, unregelmäßige Agglomerate



Bild A.2: Kleine, unregelmäßige Agglomerate

Anhang

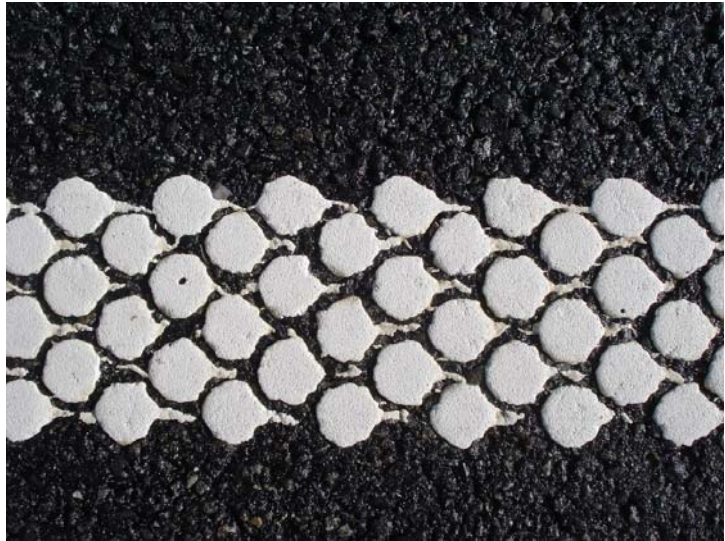


Bild A.3: Große, regelmäßige Agglomerate



Bild A.4: Kleine, regelmäßige Agglomerate

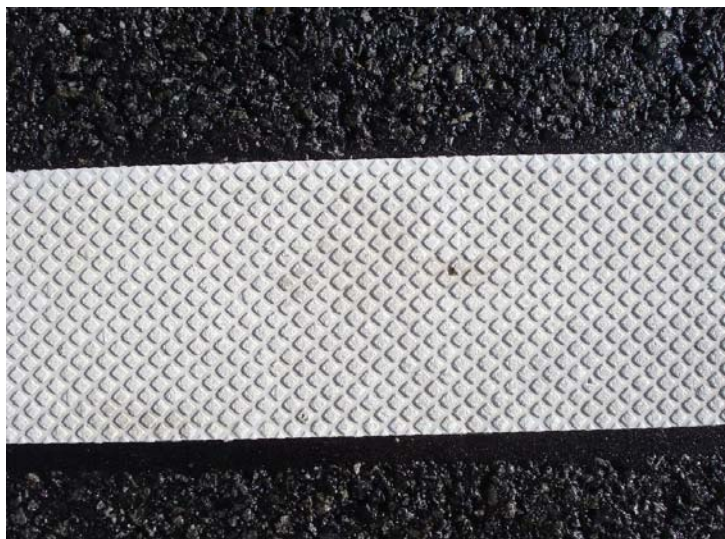


Bild A.5: Folie, rautenförmig profiliert