

Berlin, den 6. Dezember 2011

**P r ü f z e u g n i s Nr. 0913-2011-03
über die Eignung des Retroreflektometers ZRM 6006 zur Messung
des Leuchtdichtkoeffizienten bei diffuser Beleuchtung Q_d
und des Leuchtdichtkoeffizienten bei Retroreflexion R_L
von Fahrbahnmarkierungen**

(Dieses Prüfzeugnis besteht aus 7 Seiten
und einer Anlage mit einer weiteren Seite)

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 tragbaren Retroreflektometers ZRM 6006 (im folgenden ZRM 6006 genannt) zur Messung des Leuchtdichtkoeffizienten bei diffuser Beleuchtung Q_d und des Leuchtdichtkoeffizienten bei Retroreflexion R_L von Oberflächen von Fahrbahnmarkierungen.

3 Prinzip der Prüfung

Die Prüfung erfolgt durch Vergleichsmessungen mit zwei anderen tragbaren Retroreflektometern (s. Abschnitt 6.1), deren Eignung für diesen Verwendungszweck bereits früher anerkannt worden ist. Es sind dies die Retroreflektometer LTL 2000 SQ (Hersteller: Fa. Delta Lyngby/Dänemark), anerkannt durch BAST-Prüfbericht V 4 59/2002 und Retroreflektometer ZRM 6014 (Hersteller: Fa. Zehntner), anerkannt durch Prüfzeugnis StrausZert 0913-2010-06. Zusätzlich wurde die Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen gemäß EN 1436 geprüft (s. Abschnitt 6.2).

4 Geprüftes Messgerät

Die Wiedergabe der technischen Daten des Messgeräts erfolgt nach Angaben des Antragstellers und eigenem Augenschein.

Die technischen Daten des ZRM 6006 sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Simulationsdistanz	30 m, nach Geometrie EN 1436
Beobachtungswinkel	2,29° (EN 1436) ; 1,05° (ASTM E 1710)
Anleuchtungswinkel	R _L : 1,24° (EN 1436) ; 88,76° (ASTM E 1710) Q _d : diffus
Beleuchtungsapertur	0.33° parallel zur Bezugsebene und 0.17° senkrecht zur Bezugsebene
Beobachtungsapertur	0,33°
Beleuchtungsverfahren	Q _d : Verfahren B nach EN 1436 (Überbeleuchtung); Messfeld: 218 mm x 52 mm = 113 cm ² Beleuchtungsfeld: 366 x 60 mm = 220 cm ² R _L : Verfahren A nach EN 1436 (Überbeobachtung); Messfeld: 218 mm x 52 mm = 113 cm ² Beleuchtungsfeld: 100 mm x 50 mm = 50 cm ²
Beleuchtungssystem für Q _d	LED-Array aus 32 LED, unter dem ein Diffusor (spezielles Plexiglas) angeordnet ist, der das Licht homogenisiert
Messsensor	angepasst an V(λ)-Funktion durch optische Filter
Messbereiche	0 bis 4000 mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹ (R _L) 0 bis 400 mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹ (Q _d) Profilmarkierungen -1 mm bis 5 mm, bis 12 mm mit Anleitung
Messdauer	ca. 2 s
Anzeige	transflectives grafisches Display, hintergrundbeleuchtet
Akku	Li-Ion-Mn 14,8 V / 6.3 Ah
Betriebstemperatur	-10°C bis +50°C
Aufbewahrung	-20°C bis +60°C
Feuchtigkeit	nicht kondensierend
Maße (LxBxH)	560 mm x 190 mm x 280 mm
Gewicht	6,4kg

Tabelle 1 Technische Daten des ZRM 6006

5 Messort

Die Messungen wurden auf dem Markierungsprüffeld auf der Bundesstraße B 4 bei Torfhaus (Oberharz) durchgeführt. Auf diesem Prüffeld liegen ca. 100 Markierungs-Prüfmuster, Typ I und Typ II, appliziert in Fahrtrichtung. Jedes Prüfmuster besteht aus 8 Streifen der Abmessungen 2 m Länge x 0,15 m Breite.

6 Durchführung der Messungen

Messtag: 23. 8. 2011. Wetter: ca. 18° C, trocken, bewölkt; Straßenzustand: Straßen- und Markierungsoberfläche waren trocken

6.1 Vergleichsmessungen mit drei Messgeräten

Auf dem Prüffeld wurden Q_d und R_L auf einem Streifen von jeweils 20 Prüfmustern des Typs I und des Typs II unmittelbar nacheinander sowohl mit dem ZRM 6006 als auch mit den tragbaren Retroreflektometern ZRM 6014 bzw. LTL 2000 SQ gemessen. Je markierungsstreifen wurden drei Messwerte (am Beginn, in der Mitte und am Ende des Streifens) aufgenommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Messungen auf jeweils möglichst den gleichen Messpunkten stattfanden. Aus den je drei Einzelmesswerten wurde der Mittelwert ermittelt und registriert. Die Tabellen 2 und 3 zeigen die so ermittelten Q_d - bzw. R_L -Messwerte für die drei verwendeten Messgeräte, den gemeinsamen Mittelwert M, gebildet aus den Messwerten für die drei Messgeräte, sowie die prozentuale Abweichung $Diff_{ZRM\ 6006}$ des Messwertes des ZRM 6006 vom gemeinsamen Mittelwert:

$$Diff_{ZRM\ 6006} = 100 \% \cdot (Messwert\ ZRM\ 6006 - M)/M$$

Markierungsart lt. Spalte 1 der Tabelle 2 bzw. 3:

Typ I:

G: Glatstrichmarkierung mit Nachstreumittel

Typ II:

A: Agglomeratmarkierung ohne Unterstrich

A + U: Agglomeratmarkierung mit Unterstrich

F: Folie rautenförmig profiliert

In den Bildern 1 und 2 sind die Messwerte der drei Geräte und der gemeinsame Mittelwert grafisch dargestellt.

Mit den in den Tabellen 2 und 3 wiedergegebenen Messwerten des ZRM 6006 und dem gemeinsamen Mittelwert M wurde eine lineare Regressionsrechnung durchgeführt. Die ermittelten Regressionsgeraden sind unterhalb der Tabellen wiedergegeben.

Markierungsart	Messwerte Q_d ($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)				Diff _{ZRM 6006} (%)
	ZRM 6006	ZRM 6014	LTL 2000 SQ	gemeinsamer Mittelwert M	
A	124,0	119,0	122,0	121,7	1,9
G	126,3	119,7	115,9	120,6	4,7
A	126,7	123,0	121,0	123,6	2,5
A + U	129,3	125,0	122,0	125,4	3,1
A	133,7	126,0	125,0	128,2	4,2
A	134,3	131,0	127,0	130,8	2,7
A	135,7	130,0	123,0	129,6	4,7
A	136,7	131,0	131,0	132,9	2,8
A + U	137,0	132,0	130,0	133,0	3,0
A	141,3	136,0	132,0	136,4	3,6
G	143,3	140,0	141,3	141,5	1,3
A	147,7	146,0	132,0	141,9	4,1
A	151,7	145,0	145,0	147,2	3,0
A	151,7	148,0	148,0	149,2	1,6
G	153,7	150,0	143,0	148,9	3,2
G	159,7	157,0	146,0	154,2	3,5
A + U	162,0	155,0	160,0	159,0	1,9
Profil	186,0	182,0	180,0	182,7	1,8
G	203,3	196,0	181,0	193,4	5,1
G	215,0	210,0	203,0	209,3	2,7
					mittlere absolute Abweichung
alle Proben					3,2

Tabelle 2: Messergebnisse, sortiert nach aufsteigenden Q_d -Werten des Messgeräts ZRM 6006 (jeder Messwert ist aus 3 Einzelmesswerten je Strich gebildet)

Regressionsgerade:

$$Q_d(\text{ZRM 6006}) = -0,4 + 1,035 \cdot M \quad r^2 = 0,997$$

Markierungsart	Messwerte R_L ($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)				Diff _{ZRM 6006} (%)
	ZRM 6006	ZRM 6014	LTL 2000 SQ	gemeinsamer Mittelwert M	
G	49,0	43,3	43,4	45,2	8,3
A	58,7	58,0	57,4	58,0	1,1
A	73,0	68,0	68,2	69,7	4,7
A+ U	81,0	77,0	78,0	78,7	3,0
A	90,7	86,0	89,0	88,6	2,4
Profil	100,3	95,0	96,5	97,3	3,1
A	106,3	101,0	98,0	101,8	4,5
A	108,7	105,0	104,0	105,9	2,6
G	145,7	145,0	129,0	139,9	4,1
G	146,0	141,0	131,0	139,3	4,8
A	158,0	154,0	151,0	154,3	2,4
G	162,0	157,0	151,0	156,7	3,4
A + U	166,7	162,0	148,0	158,9	4,9
A	195,0	185,0	175,0	185,0	5,4
A	199,7	192,7	172,0	188,1	6,1
G	209,7	204,0	190,0	201,2	4,2
G	213,0	227,0	208,0	216,0	-1,4
A	246,0	231,7	227,0	234,9	4,7
A + U	295,3	298,0	270,0	287,8	2,6
A	310,7	322,0	310,0	314,2	-1,1
					mittlere absolute Abweichung
alle Proben					3,6

Tabelle 3: Messergebnisse, sortiert nach aufsteigenden R_L -Werten des Messgeräts ZRM 6006 (jeder Messwert ist aus 3 Einzelmesswerten je Strich gebildet)

Regressionsgerade:

$$R_L(\text{ZRM 6006}) = 3,4 + 1,010 \cdot M \quad r^2 = 0,997$$

6.2 Prüfung der Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen

Diese Prüfung wurde gemäß den in EN 1436 vorgegebenen Anforderungen durchgeführt. Nach Anhang A.4 bzw. B.4 dieser Norm ist die Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen zu prüfen, indem das zu prüfende Messgerät parallel zur Fahrbahnmarkierungsprobe um die Höhe H (H = - 1 mm; + 1 mm; + 2 mm) angehoben und gleichzeitig so in horizontaler Richtung verschoben wird, dass die Messfläche stets

an der gleichen Stelle der Markierungsoberfläche bleibt. Dies wird erreicht, indem bei Verfahren A das Messgerät um $H/\sin 2,29^\circ$ verschoben wird. Die Anhebung des Messgerätes ist aufgrund der auf dem Prüffeld vorhandenen Markierungssysteme nur um +1 mm und +2 mm möglich.

Lt. Tabelle 1 wird Verfahren A bei der Messung von R_L angewendet. Für eine Anhebung um 1 mm bzw. 2 mm ergibt sich aus $H/\sin 2,29^\circ$, dass das Messgerät gleichzeitig um 2,5 cm bzw. 5 cm horizontal zu verschieben ist.

Bei Verfahren B muss das Messgerät nicht verschoben werden. Lt. Tabelle 1 wird Verfahren B bei der Messung von Q_d angewendet, die horizontale Verschiebung kann entfallen.

In Tabelle 4 sind die Messwerte für die Nullstellung (das Gerät steht auf der Markierungsoberfläche) und bei Anhebung um 1 mm bzw. 2 mm absolut und als Prozentsatz des Wertes bei Nullstellung wiedergegeben.

Höhe H des ZRM 6006 (mm)	Messwert Q_d		Messwert R_L	
	($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	%	($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)	%
0	194	100	133	100
1	189	97,4	133	100
2	180	92,8	125	94,0

Tabelle 4: Veränderung des Messwertes bei Anhebung des Messgerätes

7 Bewertung der Messergebnisse

7.1 Bewertung der Vergleichsmessungen mit drei Messgeräten

Die Eignung eines Gerätes zur Messung von Q_d und R_L von Fahrbahnmarkierungen kann bestätigt werden, wenn die prozentuale Abweichung $\text{Diff}_{\text{ZRM 6006}}$ des Messwertes des zu prüfenden Gerätes ZRM 6006 vom gemeinsamen Mittelwert aller verwendeten Geräte in 95 % aller Fälle (d.h. bei vorliegender Prüfung bei 19 von 20 Messproben) den Wert $\pm 7,5$ % nicht überschreitet.

7.1.1 Leuchtdichtekoeffizient bei diffuser Reflexion Q_d

Die Regressionsgerade und die entsprechenden Kurven in Bild 1 zeigen, dass das ZRM 6006 tendenziell etwas höhere Messwerte ergibt als die beiden anderen Geräte. Aus dem Wert des Bestimmtheitsmaßes $r^2 = 0,997$ ist abzulesen, dass die Streuung der Messwerte sehr gering ist. Die absoluten Abweichungen $\text{Diff}_{\text{ZRM 6006}}$ der Messwerte des ZRM 6006, bezogen auf den gemeinsamen Mittelwert aller drei Geräte, betragen im Mittel 3,2 %. Diese Abweichungen überschreiten in keinem Einzelfall den Wert von $\pm 7,5$ %.

7.1.2 Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L

Die Regressionsgerade und die entsprechenden Kurven in Bild 2 zeigen, dass das ZRM 6006 auch bei der Bestimmung von R_L tendenziell etwas höhere Messwerte ergibt als die beiden anderen Geräte. Aus dem Wert des Bestimmtheitsmaßes $r^2 = 0,997$ ist wieder abzulesen, dass die Streuung der Messwerte sehr gering ist. Die absoluten Abweichungen $\text{Diff}_{\text{ZRM 6006}}$ der Messwerte des ZRM 6006, bezogen auf den gemeinsamen Mittelwert aller drei Geräte, betragen im Mittel 3,6 %. Diese Abweichungen überschreiten in einem Einzelfall den Wert von $\pm 7,5$ % (in Tab. 3 rot gedruckt).

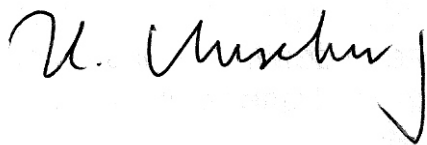
7.2 Bewertung der Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen

Die gemessenen Q_d - und R_L -Werte dürfen sich um nicht mehr als ± 10 % ändern, wenn die Höheneinstellung auf + 2 mm verändert wird. Diese Forderung wird erfüllt. Das ZRM 6006 erfüllt damit hinsichtlich der Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen die Forderung der EN 1436.

8 Gesamtbeurteilung

Die unter Abschnitt 7 festgestellten Abweichungen der Messergebnisse bei den Vergleichsmessungen und bei der Prüfung der Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen sind insgesamt als niedrig zu bezeichnen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass wegen der schwierigen Messbedingungen (unterschiedliche Messflächen, unebene Markierungsoberfläche, inhomogene Struktur der Markierungsoberfläche, inhomogene Perlenverteilung) Messungenauigkeiten auftreten, die nicht der Gerätegenauigkeit anzulasten sind.

Aufgrund der in diesem Prüfzeugnis wiedergegebenen Prüfergebnisse wird bestätigt, dass das Retroreflektometer ZRM 6006 zur Messung des Leuchtdichtekoeffizienten bei diffuser Reflexion Q_d und des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L von Fahrbahnmarkierungen gut geeignet ist.



(Dr. H. Meseberg)
Vorsitzender StrausZert

Dieses Prüfzeugnis wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang

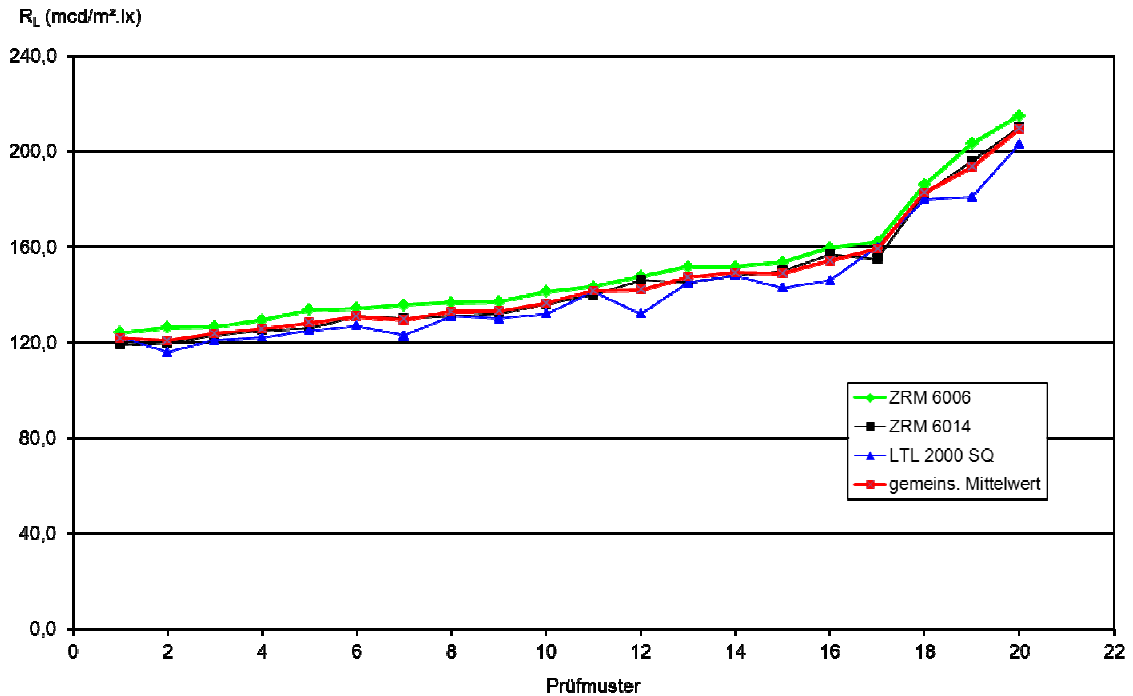


Bild 1: Q_d -Messwerte für die drei verwendeten Messgeräte und gemeinsamer Mittelwert für 20 Prüfmuster

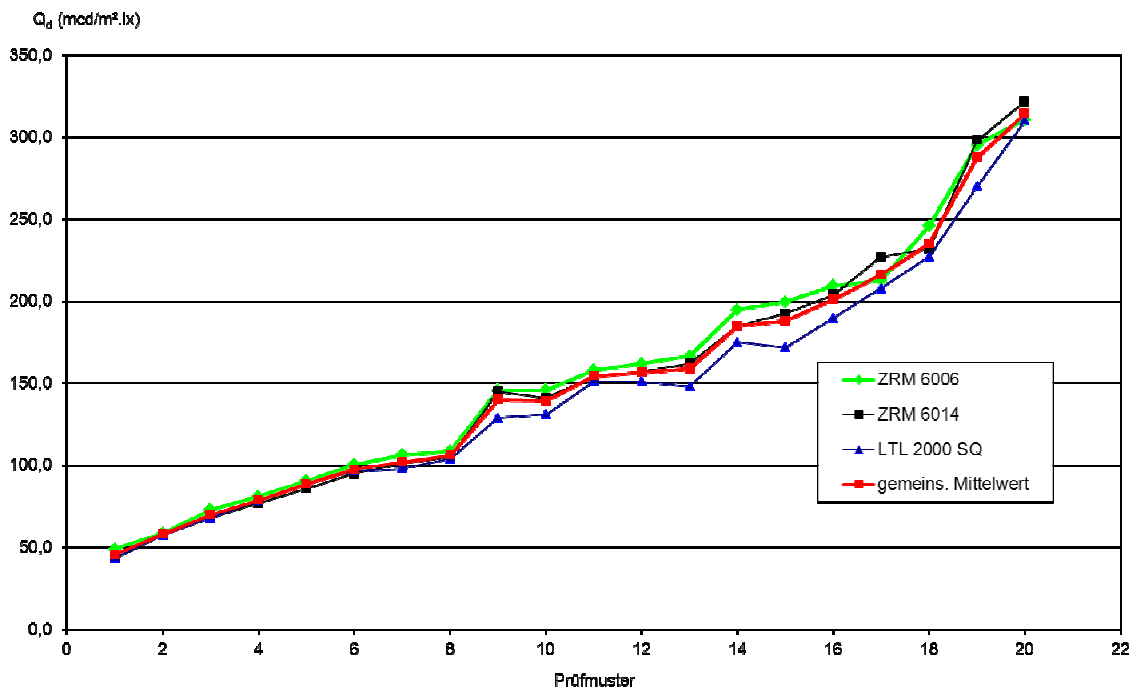


Bild 2: R_L -Messwerte für die drei verwendeten Messgeräte und gemeinsamer Mittelwert für 20 Prüfmuster