

Berlin, den 14. September 2010

P r ü f z e u g n i s Nr. 0913-2010-07
über die Eignung des Retroreflektometers LTL-XL 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 Fa. DELTA Light & Optics, Venlighedsvej 4, 2970 Hørsholm/Denmark.

2 Auftragsache

Feststellung der Eignung des tragbaren Retroreflektometers LTL-XL (im folgenden LTL-XL 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), anerkannt durch BAST-Prüfbericht V 4 59/2002 und Retroreflektometer ZRM 6013 (Hersteller: Fa. Zehntner), anerkannt durch BAST-Prüfbericht V 4 22/2006. 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 LTL-XL sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Simulationsdistanz	30 m, nach Geometrie EN 1436
Beobachtungswinkel	2,29° (EN 1436) ; 1,05° (ASTM E 1710)
Beleuchtungswinkel	R _L : 1,24° (EN 1436) ; 88,76° (ASTM E 1710) Q _d : diffus
Beleuchtungsapertur	horizontal 0,33°, vertikal 0,17°
Beobachtungsapertur	± 0,17°
Beleuchtungsverfahren	R _L : Verfahren B nach EN 1436 Größe Messfeld 185 mm x 50 mm Größe Beleuchtungsfeld 185 mm x 50 mm Q _d : Verfahren B nach EN 1436 Größe Messfeld 185 mm x 50 mm Größe Beleuchtungsfeld 185 mm x 50 mm
Beleuchtungssystem für Q _d	Multi LED
Messsensor	Anpassung an V(λ)-Funktion durch Filter
Messbereiche	0 bis 2000 mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹ (R _L) 0 bis 318 mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹ (Q _d) Profilmarkierungen messbar bis Profilhöhe 5 mm
Messdauer	Kombination R _L /Q _d ca. 3 sec, einzeln ca. 1 sec
Messwertspeicher	Mehr als 200 000 Messwerte, interner data flash
Anzeige	farbige LED
Akku	NiMH Batterie
Betriebstemperatur	von 0°C bis 45°C
Aufbewahrung	von - 15°C bis 55°C
Feuchtigkeit	Nicht kondensierend
Maße (LxBxH)	573 mm x 222 mm x 538 mm
Gewicht	7 kg

Tabelle 1 Technische Daten des LTL-XL

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 Strichen der Abmessungen 2 m Länge x 0,15 m Breite.

6 Durchführung der Messungen

Messtag: 12. 8. 2010. Straßenzustand: Straßen- und Markierungsoberfläche leicht feucht.

6.1 Vergleichsmessungen mit drei Messgeräten

Auf dem Prüffeld wurden Q_d und R_L auf einem Strich von jeweils 20 Prüfmustern des Typs I und des Typs II unmittelbar nacheinander sowohl mit dem LTL-XL als auch mit den tragbaren Retroreflektometern LTL 2000 bzw. SQ ZRM 6013 gemessen. Je Strich wurden drei Messwerte (am Beginn, in der Mitte und am Ende des Striches) aufgenommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Messungen auf jeweils möglichst den gleichen Messpunkten stattfanden. Unter Verwendung der Mittelwertfunktion der Messgeräte wurde sofort der Mittelwert der drei Einzelmesswerte 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 $\text{Diff}_{\text{LTL-XL}}$ des Messwertes des LTL-XL vom gemeinsamen Mittelwert M :

$$\text{Diff}_{\text{LTL-XL}} = 100 \% \cdot (\text{Messwert LTL-XL} - M)/M$$

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

Typ I:

G: Glatstrichmarkierung mit Nachstreumittel

G oN: Glatstrichmarkierung ohne Nachstreumittel

Typ II:

Ar: Agglomeratmarkierung, regelmäßige Agglomerate, ohne Unterstrich

Au: Agglomeratmarkierung, unregelmäßige Agglomerate, ohne Unterstrich

Ar + U

bzw. Au + 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 LTL-XL und dem gemeinsamen Mittelwert M wurde eine lineare Regressionsrechnung durchgeführt. Die ermittelten Regressionsgleichungen sind unterhalb der Tabellen wiedergegeben.

Markierungsart	Messwerte Q_d ($\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$)				Diff _{LTL-XL} (%)
	LTL-XL	LTL 2000 SQ	ZRM 6013	gemeinsamer Mittelwert M	
Au	147	144,4	136	142,5	3,2
G	154	149	152	151,7	1,5
Au	155	144,9	142	147,3	5,2
Ar	162	143	151	152,0	6,6
Au + U	162	143,4	145	150,1	7,9
G	164	150	158	157,3	4,2
Au + U	169	176,4	170	171,8	-1,6
Au + U	170	186,2	176	177,4	-4,2
Ar	175	154,1	160	163,0	7,3
Au	180	173,1	173	175,4	2,6
Au + U	182	190,1	202	191,4	-4,9
F	200	180,6	185	188,5	6,1
G	205	202	214	207,0	-1,0
G	211	214,4	210	211,8	-0,4
G	216	225,6	242	227,9	-5,2
F	225	235,3	241	233,8	-3,8
G	241	246,7	255	247,6	-2,7
G	246	249	254	249,7	-1,5
G oN.	284	273,2	295	284,1	0,0
G oN.	299	281	305	295,0	1,4
	Mittelwert alle Proben				mittlere absolute Abweichung
	197,4	193,1	198,3	196,3	3,6

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

Regressionsgerade:

$$Q_d(\text{LTL-XL}) = 16,3 + 0,923 \cdot M \quad r^2 = 0,977$$

Markierungsart	Messwerte R_L ($\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$)				Diff _{LTL-XL} (%)
	LTL-XL	LTL 2000 SQ	ZRM 6013	gemeinsamer Mittelwert M	
G oN.	34	34,3	37	35,1	-3,1
G oN.	34	33,4	37	34,8	-2,3
Au + U	46	46,9	49	47,3	-2,7
Ar	55	49,6	54	52,9	4,0
Au	61	60,5	61	60,8	0,3
G	67	65	69	67,0	0,0
Au	70	70,8	67	69,3	1,1
F	73	75,5	80	76,2	-4,2
F	80	77,5	76	77,8	2,8
G	80	79	80	79,7	0,4
Ar	84	72	76	77,3	8,6
G	93	89	98	93,3	-0,4
Au	103	97,2	95	98,4	4,7
Au + U	109	101,5	105	105,2	3,6
G	131	127	138	132,0	-0,8
G	141	137	140	139,3	1,2
G	164	152,3	163	159,8	2,6
G	166	150	159	158,3	4,8
Au + U	169	166,8	178	171,3	-1,3
Au + U	222	209,7	225	218,9	1,4
	Mittelwert alle Proben				mittlere absolute Abweichung
	99,1	94,8	99,4	97,7	2,5

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

Regressionsgerade:

$$R_L(\text{LTL-XL}) = -0,6 + 1,020 \cdot M \quad r^2 = 0,997$$

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; + 1mm; +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 gleichzeitig mit der Anhebung horizontal um $H/\sin 2,29^\circ$ verschoben wird. Bei Verfahren B muss das Messgerät nicht verschoben werden. Lt. Tabelle 1 wird beim LTL-XL Verfahren B sowohl bei der Messung von Q_d als auch bei der Messung von R_L angewendet, die horizontale Verschiebung kann bei beiden Messgrößen entfallen. Die Anhebung des Messgerätes ist aufgrund der auf dem Prüffeld vorhandenen Markierungssysteme nur um +1 mm und +2 mm möglich. 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 LTL-XL (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	171	100	131	100
1	168	98,2	131	100
2	156	91,2	137	104,6

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 folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Die prozentuale Abweichung $\text{Diff}_{\text{LTL-XL}}$ des Messwertes des zu prüfenden Gerätes LTL-XL vom gemeinsamen Mittelwert aller verwendeten Geräte darf in 95 % aller Fälle (d.h. bei vorliegender Prüfung bei 19 von 20 Messproben) den Wert $\pm 7,5$ % nicht überschreiten.
- Bewertung der Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen: Die gemessenen Q_d - und R_L -Werte dürfen sich gemäß EN 1436, Anhang A.4 bzw. B.4, gegenüber dem Werten bei 0 mm um nicht mehr als ± 10 % ändern, wenn die Höheneinstellung auf maximal + 2 mm verändert wird.

7.1.1 Leuchtdichtekoeffizient bei diffuser Reflexion Q_d

Die absoluten Abweichungen $\text{Diff}_{\text{LTL-XL}}$ der Messwerte des LTL-XL, bezogen auf den gemeinsamen Mittelwert aller drei Geräte, betragen im Mittel 3,6 %. Diese Abweichungen überschreiten in nur einem Fall den Wert von $\pm 7,5$ % (7,9 %; in der Tabelle 2 **fett gedruckt**) und erfüllen damit die in Abschnitt 7.1 genannte Bedingung a. Die Regressionsgleichung und die entsprechenden Kurven in Bild 1 zeigen, dass mit dem LTL-XL praktisch die gleichen Messwerte erhalten werden wie mit den beiden anderen Geräten. Aus dem Wert des Bestimmtheitsmaßes $r^2 = 0,977$ ist abzulesen, dass die Streuung der Messwerte sehr gering ist.

7.1.2 Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L

Die absoluten Abweichungen $\text{Diff}_{\text{LTL-XL}}$ der Messwerte des LTL-XL, bezogen auf den gemeinsamen Mittelwert aller drei Geräte, betragen im Mittel 2,5 %. Diese Abweichungen überschreiten in nur einem Fall den Wert von $\pm 7,5 \%$ (8,6 %; in der Tabelle 3 **fett gedruckt**) und erfüllen damit die in Abschnitt 7.1 genannte Bedingung a. Die Regressionsgleichung und die entsprechenden Kurven in Bild 2 zeigen, dass mit dem LTL-XL praktisch die gleichen Messwerte erhalten werden wie mit den beiden anderen Geräten. Aus dem Wert des Bestimmtheitsmaßes $r^2 = 0,997$ ist abzulesen, dass die Streuung der Messwerte sehr gering ist.

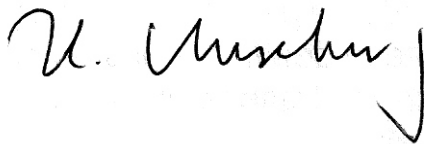
7.2 Bewertung der Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen

Wenn die Höheneinstellung auf maximal + 2 mm verändert wird, ändern sich die gemessenen Q_d - und R_L -Werte um weniger als $\pm 10 \%$ gegenüber dem Wert bei 0 mm. Die in Abschnitt 7.1 genannte Bedingung a hinsichtlich der Empfindlichkeit gegenüber Neigungen und Verschiebungen wird damit erfüllt.

8 Gesamtbeurteilung

Die unter Abschnitt 6 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 Erfüllung der in Abschnitt 7.1 genannten Bedingungen wird bestätigt, dass das Retroreflektometer LTL-XL 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

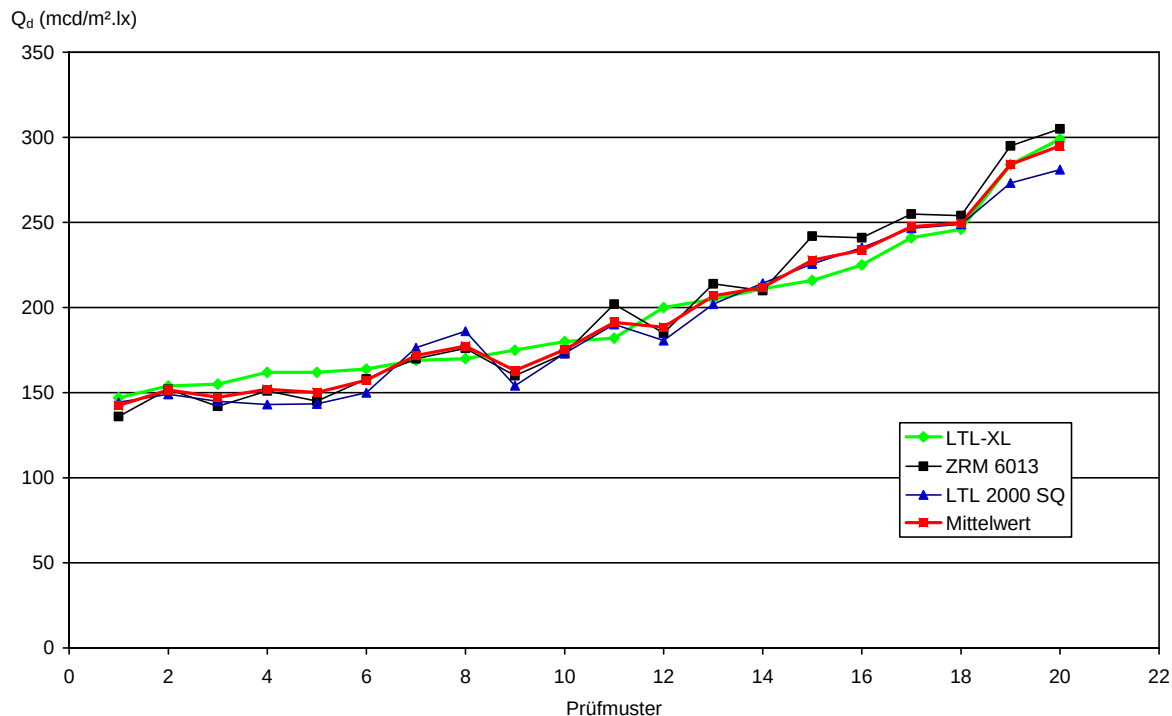


Bild 1: Q_d -Messwerte für die drei verwendeten Messgeräte und gemeinsamer Mittelwert für 20 Prüfmuster

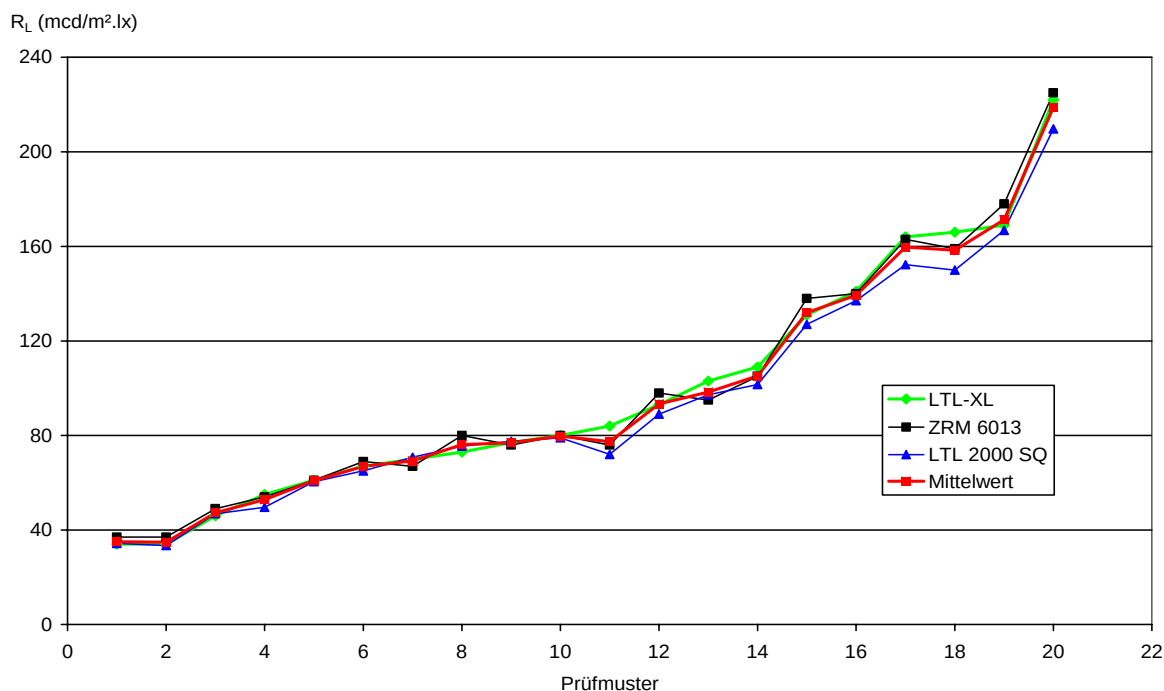


Bild 2: R_L -Messwerte für die drei verwendeten Messgeräte und gemeinsamer Mittelwert für 20 Prüfmuster