

Berlin, den 6. 12. 2011

Prüfzeugnis Nr. 0913-2011-02
über die Eignung des dynamischen Retroreflektometers LTL-M
zur dynamischen Messung des Leuchtdichtkoeffizienten
bei Retroreflexion R_L von Fahrbahnmarkierungen
(Dieses Prüfzeugnis besteht aus 10 Seiten)

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 dynamischen Retroreflektometers LTL-M (im folgenden LTL-M genannt) zur dynamischen Messung des Leuchtdichtkoeffizienten bei Retroreflexion R_L von Fahrbahnmarkierungen durch zwei unterschiedliche Vergleichsmessungen.

2.1 Vergleich der Messungen mit einem statischen Messgerät

Ermittlung der Messgenauigkeit des LTL-M durch Vergleich der R_L -Messwerte des LTL-M mit denen, die mit dem tragbaren, statisch messenden Retroreflektometer LTL-XL auf einem Markierungsprüffeld erhalten wurden. Das Retroreflektometer LTL-XL, Hersteller ebenfalls Fa. DELTA Light & Optics, wurde von StrausZert e.V. mit Prüfzeugnis 0913-2010-07 vom 14. September 2010 als Messgerät zur Messung der Nachsichtbarkeit R_L und Tagessichtbarkeit Q_d von Fahrbahnmarkierungen anerkannt.

2.2 Vergleich der Messungen bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

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

3 Geprüftes Messsystem

Hersteller des LTL-M ist die Fa. DELTA Light & Optics, Venlighedsvej 4, 2970 Hørsholm/Denmark. Die Beschreibung des Messsystems erfolgt nach Angaben des Auftraggebers und eigenem Augenschein. Das LTL-M ist an einem Kraftfahrzeug ange-

bracht und ermöglicht die Messung des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L während der Fahrt, also im fließenden Verkehr, bei einer Geschwindigkeit von bis zu 100 km/h. Die Messungen können bei Tag und bei Nacht durchgeführt werden.

3.1 Aufbau

Das Gerät besteht aus den Hauptkomponenten Sensorsystem, Prozessor und Grafische Benutzerschnittstelle GUI.

Das Sensorsystem besteht im wesentlichen aus einem 25 Hz-Stroboskop, einer Hochgeschwindigkeitskamera und einem GPS-System. Das Sensorsystem wird an einer Seite eines Fahrzeugs an einer entsprechenden Halterung befestigt. Der Prozessor enthält eine Festplatte mit Datenverarbeitung und Speicherfunktion. Das GUI ist in einem Tablet-PC enthalten.

Die Stromversorgung wird über die 12 V-Fahrzeuggatterie gewährleistet.

3.2 Bedienung

Die Bedienung erfolgt über einen Touchscreen der GUI. Es beseht Zugriff auf folgende Funktionen: Setup des Sensorsystems; Systemüberwachung, Start und Stopp von Messungen, Eingabe von Anmerkungen während der Messungen, Anzeige von Fahrstrecke und Protokoll, Protokollexport.

3.3 Technische Parameter des Messkopfes

Messgeometrie	30 m-Geometrie
Anleuchtungswinkel ε	2,29°
Beobachtungswinkel α	1,24°
Länge Messfleck	1,0 m
Breite Messfleck	1,0 m
Anzahl Sensoren	Digitale Videokamera, 100 x 1 400 Pixel
Messort	6 m vor Messkopf (Austritts-/Eintrittslinse)
Anbauhöhe Lichtaustritt	ca. 24 cm
Anbauhöhe Empfänger	ca. 21 cm
Anleuchtungsapertur	0,33° x 0,17°
Beobachtungsapertur	Ø 0,33°
Lichtquelle	25 Hz stabilisierte Xenon-Blitzlampe
Spannungsversorgung	Autobatterie, 12 V, 15 A
Modulationsfrequenz	25 Hz
Empfänger	CMOS-Bildsensor

Nach EN 1436, Ausgabe Januar 2009 (deutsche Fassung), ist ein Anleuchtungswinkel $\varepsilon = 1,24^\circ$ und ein Beobachtungswinkel $\alpha = 2,29^\circ$ vorgesehen (Standardmessbedingung). Bei dem Messsystem LTL-M sind α und ε jedoch vertauscht und entsprechen nicht der Standardmessbedingung. Durch die Vertauschung der Winkel erreicht man ein höheres Messsignal R_L^* und damit eine verbesserte Empfindlichkeit der Messung. Den wahren Messwert R_L erhält man durch folgende Umrechnung:

$$R_L = (\sin 1,24^\circ / \sin 2,29^\circ) \cdot R_L^* = 0,5416 \cdot R_L^* \quad (1)$$

In EN 1436, Anhang C, Absatz 9 heißt es: „Auf einem Fahrzeug montierte Ausrüstungen sollen im Prinzip die gleichen Anforderungen wie tragbare Geräte erfüllen und sollen die Bewegungen des Fahrzeugs und wechselnde Tageslichtbedingungen berücksichtigen. Der Einsatz bei hoher Geschwindigkeit kann jedoch zusätzliche Probleme bei den Messungen bereiten, die zu Kompromissen bei den Anforderungen oder zu einer zusätzlichen Schwankung der Messwerte führen können.“ EN 1436 erlaubt demzufolge, bei dynamischen Messsystemen Änderungen der Messgeometrie vorzunehmen, um die Messgenauigkeit zu gewährleisten. Da die wahren Messwerte der Retroreflexion R_L aus Formel (1) eindeutig berechnet werden können, stellt die Umkehrung von Anleuchtungs- und Beobachtungswinkel eine nach EN 1436 erlaubte Modifikation der Messgeometrie dar.

Die Aperturen entsprechen der für die Messung von R_L vorgesehenen Geometrie.

Damit entspricht insgesamt die Messgeometrie den Anforderungen von EN 1436.

3.4 Messprinzip

Eine weiße Lichtquelle (Xenon-Blitzlampe mit einer Modulationsfrequenz von 25 Hz) beleuchtet in einer Entfernung von 6 m eine Fläche von 1 m x 1 m, in der die Markierung und die umliegende Fahrbahn enthalten sind, unter dem Anleuchtungswinkel $\varepsilon = 2,29^\circ$ in Bezug auf die Fahrbahnoberfläche. Das unter einem Beobachtungswinkel $\alpha = 1,24^\circ$ zurückgeworfene Licht wird von dem CMOS-Bildsensor aufgenommen und elektronisch weiterverarbeitet.

4 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 Streifen 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.

5 Durchführung der Messungen

Messtag: 23. 8. 2011. Straßenzustand: Straßen- und Markierungsoberfläche auf der B 4 und B 82 trocken. Wetter: ca. 18° C, trocken, bewölkt.

Vor Beginn der Messungen wurde der Messkopf des LTL-M am Kfz befestigt und so justiert, dass die unter Abschnitt 3.2 und 3.3 genannte Messgeometrie eingehalten wurde. Das Vergleichsgerät LTL-XL wurde gemäß Bedienungsanleitung intern kalibriert.

5.1 Vergleich der Messungen mit einem statischen Messgerät

Auf dem Prüffeld Oberharz wurde von 20 Prüfmustern des Typs I und des Typs II jeweils ein Strich unmittelbar nacheinander sowohl mit dem LTL-M (Schrittgeschwindigkeit) als auch mit dem tragbaren Retroreflektometer LTL-XL gemessen. Tabelle 1 zeigt die Messwerte M_{LTL-M} und M_{LTL-XL} für alle Streifen für beide Messsysteme, den gemeinsamen Mittelwert M , gebildet aus M_{LTL-M} und M_{LTL-XL} , sowie die prozentuale Abweichung des Messwertes des LTL-M vom gemeinsamen Mittelwert: $100 \% \cdot M_{LTL-M}/M$. In Bild 1 sind die Messwerte M_{LTL-M} und M_{LTL-XL} für die 20 Messstreifen wiedergegeben.

Markierungsart lt. Spalte 2 der Tabelle 1:

- G: Glattstrichmarkierung (Typ I-Markierung)
- Agglo: Agglomeratmarkierung
- Agglo + U: Agglomeratmarkierung mit Unterstrich
- F: Folie, rautenförmig profiliert

Muster Ifd. Nr.	Markierungsart	R _L (mcd/m ² .lx)			100 % · M _{LTL-M} /M
		M _{LTL-M}	M _{LTL-XL}	M	
35	Agglo	58,0	55,3	56,7	8,3
71	Agglo	60,0	60,7	60,4	1,1
76	Agglo	75,0	73,3	74,2	4,7
56	Agglo + U	78,0	80,7	79,4	3,0
52	Agglo	92,0	93,5	92,8	2,4
24	G	105,0	108,0	106,5	3,1
30	Agglo	102,0	111,3	106,7	4,5
74	F	107,0	103,3	105,2	2,6
100	G	108,0	113,3	110,7	4,1
80	Agglo	113,0	115,7	114,4	4,8
87	Agglo	114,0	111,3	112,7	2,4
51	Agglo + U	134,0	145,5	139,8	3,4
27	Agglo	139,0	133,6	136,3	4,9
53	Agglo + U	149,0	149,7	149,4	5,4
48	G	151,0	149,7	150,4	6,1
32	G	170,0	179,7	174,9	4,2
66	Agglo	186,0	185,3	185,7	-1,4
31	G	188,0	192,3	190,2	4,7
55	Agglo	206,0	202,7	204,4	2,6
67	Agglo	352,0	344,7	348,4	-1,1
mittlere absolute Abweichung					3,5
Mittelwert		134,4	135,5		

Tabelle 1: Messergebnisse Prüffeld Torfhaus

Regressionsgerade:

Bestimmtheitsmaß:

$$R_L(\text{LTL-M}) = -1,8 + 1,009 \cdot M$$

$$r^2 = 0,999$$

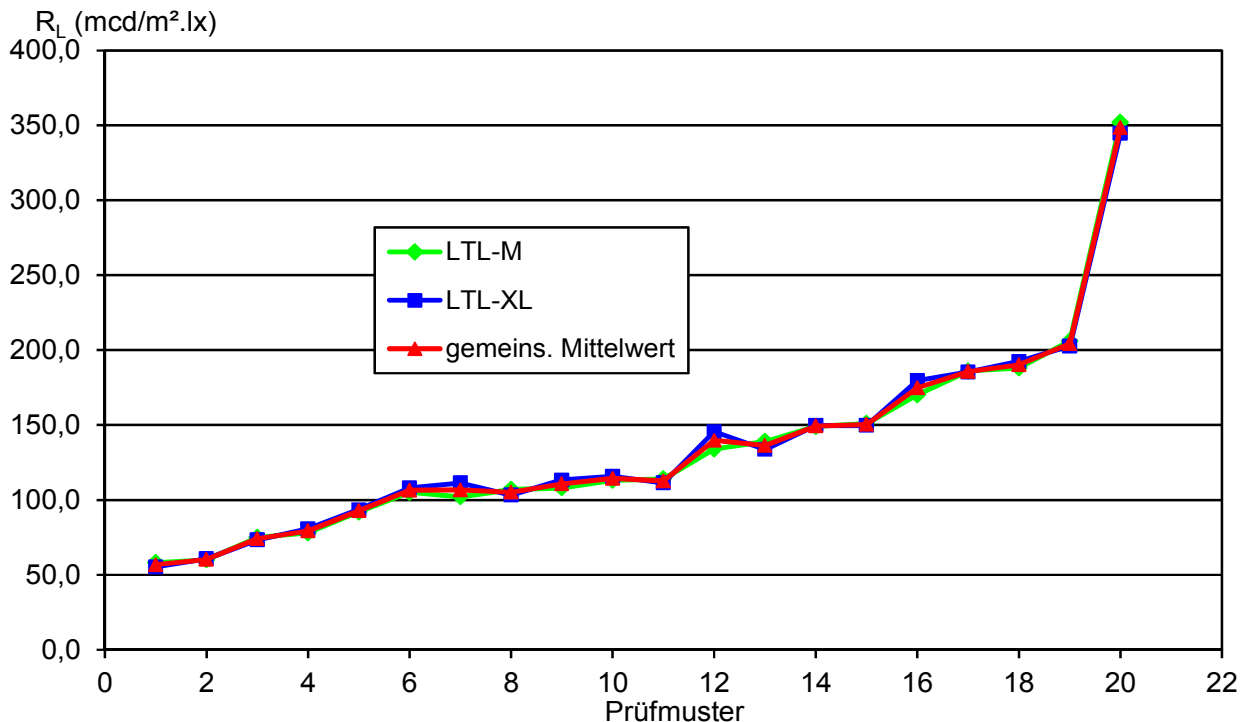


Bild 1: Vergleich der R_L -Messwerte für das LTL-M und das Vergleichsgerät LTL-XL, Prüffeld Torfhaus

5.2 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, bei Geschwindigkeiten von ca. 50 km/h, 70 km/h und 90 km/h mit dem LTL-M kontinuierlich gemessen. Bei den Messfahrten wurde darauf geachtet, dass die Fahrgeschwindigkeit möglichst konstant gehalten wurde. Die Messstrecke betrug 3 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).

1 Mess- intervall (m)	2 R _L -Mittelwerte M _V über 100 m (mcd/m ² .lx)			5 gemeinsa- mer Mit- telwert M	6 100 % · M _V /M		
	70 km/h	70 km/h	90 km/h		50 km/h	80 km/h	100 km/h
100	48	47	50	48,3	-0,7	-2,8	3,4
200	60	60	60,5	60,2	-0,3	-0,3	0,6
300	52,5	53	55,5	53,7	-2,2	-1,2	3,4
400	48	49,5	51,5	49,7	-3,4	-0,3	3,7
500	51,5	52	50,5	51,3	0,3	1,3	-1,6
600	72,5	71,5	72	72,0	0,7	-0,7	0,0
700	56,5	56,5	58	57,0	- 0,9	-0,9	1,8
800	72,5	71	70,5	71,3	1,6	-0,5	-1,2
900	65	67	67,5	66,5	-2,3	0,8	1,5
1000	64	63,5	66	64,5	-0,8	-1,6	2,3
1100	64	62,5	67	64,5	-0,8	-3,1	3,9
1200	67	67	68,5	67,5	-0,7	-0,7	1,5
1300	68,5	71	71,5	70,3	-2,6	0,9	1,7
1400	62	62	63	62,3	-0,5	-0,5	1,1
1500	62	62,5	62,5	62,3	-0,5	0,3	0,3
1600	62	64	63,5	63,2	-1,8	1,3	0,5
1700	55,5	51	62	56,2	-1,2	-9,2	10,4
1800	30	31	32,5	31,2	-3,7	-0,5	4,3
1900	38	40,5	36,5	38,3	-0,9	5,7	-4,8
2000	89,5	95	82,5	89,0	0,6	6,7	-7,3
2100	69	66,5	79	71,5	-3,5	-7,0	10,5
2200	62	63	60,5	61,8	0,3	1,9	-2,2
2300	78,5	82	77	79,2	-0,8	3,6	-2,7
2400	95	96,5	97	96,2	-1,2	0,3	0,9
2500	83	92,5	84,5	86,7	-4,2	6,7	-2,5
2600	137,5	140,5	138,0	138,7	-0,8	1,3	-0,5
2700	135,5	140,0	144,5	140,0	-3,2	0,0	3,2
2800	110,0	104,5	111,5	108,7	1,2	-3,8	2,6
2900	127,5	132,5	129,5	129,8	-1,8	2,1	-0,3
3000	124,5	117,0	130,0	123,8	0,5	-5,5	5,0

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

Bild 2 zeigt die über die Messintervalle von 100 m gebildeten Mittelwerte M_V.

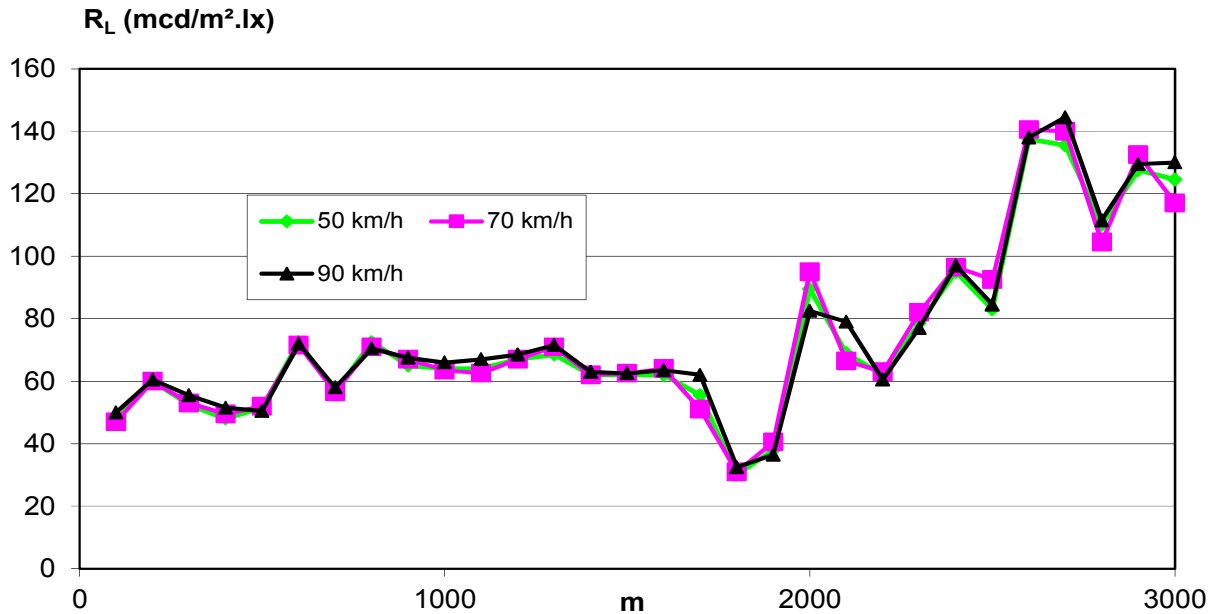


Bild 2: Über 100 m gemittelte R_L -Messwerte M_V

Die R_L -Mittelwerte bei den drei Messgeschwindigkeiten sind in Tabelle 3 zusammengestellt. In Tabelle 4 sind die Bestimmtheitsmaße r^2 angegeben, die sich aus dem Vergleich der Messwerte für je zwei Geschwindigkeiten ergeben.

Messgeschwindigkeit (km/h)		
50	70	90
R_L (mcd/m ² .lx)		
73,7	74,4	75,4

Tabelle 3: R_L -Mittelwerte bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

Vergleich der R_L -Werte bei Messgeschwindigkeiten (km/h)		
50 mit 70	50 mit 90	70 mit 90
Bestimmtheitsmaße r^2		
0,987	0,965	0,987

Tabelle 4: Bestimmtheitsmaße r^2 beim Vergleich der R_L -Werte, ermittelt für verschiedene Messgeschwindigkeiten

6 Bewertung der Messergebnisse

6.1 Bewertung der Messungen mit einem statischen Messgerät

Nach dem Anerkennungsverfahren der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für Fahrbahnmarkierungs-Messgeräte darf in max. 5 % aller Vergleichswerte eine Abweichung des Messwertes des zu prüfenden Gerätes M_{LTL-M} vom gemeinsamen Mittelwert M von mehr als $\pm 7,5 \%$ auftreten. Diese Anforderung wird vom LTL-M erfüllt, da nach Tabelle 1 nur in einem von 20 Fällen eine Abweichung $> 7,4 \%$ vorliegt (in Tabelle 1 **rot** gekennzeichnet). Der Mittelwert über alle 20 Prüfmuster zeigt, dass mit beiden Messsysteme praktisch identische Messwerte erhalten werden: $M_{LTL-M} = 134,4 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$; $M_{LTL-XL} = 135,5 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$; das Bestimmtheitsmaß r^2 beträgt 0,999. Damit wird bestätigt, dass das Messsystem LTL-M im Rahmen einer akzeptablen Messgenauigkeit die gleichen Messwerte des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L liefert wie ein statisch arbeitendes Messgerät.

6.2 Bewertung der Messungen bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

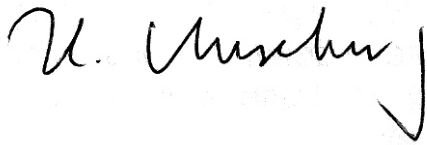
Die Ermittlung der prozentualen Abweichung vom gemeinsamen Mittelwert $100 \% \cdot M_v/M$ ergibt lt. Tabelle 2, dass in 3 von 90 Messwerten, das sind 3,3 % aller Fälle, eine Abweichung eines Einzelmesswertes vom gemeinsamen Mittelwert $> 7,5 \%$ auftritt (in Tabelle 3 sind diese Werte wieder **rot** gedruckt). Damit ist die in Abschnitt 6.1 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 LTL-M erfüllt.

Tabelle 3 lässt erkennen, dass über die Länge der Messstrecken gemittelt die Messwerte bei den drei Messgeschwindigkeiten praktisch identisch sind. Bild 2 zeigt die Streuungen der über 100 m gemittelten Messwerte; die Bestimmtheitsmaße (s. Tabelle 5) sind, gemessen an den schwierigen Messbedingungen im fließenden Verkehr, als gut zu bezeichnen.

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

6.3 Gesamtbeurteilung

Das Retroreflektometer LTL-M 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.