

Traduction du

**Certificat de contrôle No. 0913-2009-05
de l'aptitude du réflectomètre ZDR 6020
pour la détermination dynamique du coefficient de
luminance rétro réfléchée R_L des marquages routiers**

(Ce certificat se compose de 10 pages et d'un annexe de 2 pages)

1 Donneur d'ordre

Cette expertise technique a été commissionnée par Zehntner GmbH Testing Instruments, Gewerbestrasse 4, CH-4450 Sissach/Suisse.

2 Objectif

Détermination de l'aptitude du Réflectomètre Dynamique Zehntner ZDR 6020 (ci-après nommée "ZDR 6020") pour la mesure dynamique du coefficient de luminance rétro réfléchée R_L des marquages routiers à l'aide de deux mesures comparatives.

2.1 Comparaison des mesures avec un appareil de mesure statique

Détermination de la justesse du ZDR 6020 par comparaison des valeurs mesurées par le ZDR 6020 avec ceux obtenu par le réflectomètre statique portatif ZRM 6013 sur un terrain d'essais de marquages.

2.2 Comparaison des mesures aux différentes vitesses du véhicule

Détermination de la dépendance des valeurs R_L de l'allure en circulation routière pour le système ZDR 6020.

3 Système de mesure contrôlé

La description du système de mesure se base sur les spécifications du client ainsi que sur l'examen visuel. Monté sur un véhicule, le système ZDR 6020 permet la mesure du coefficient de luminance rétro réfléchée R_L dans le flux de circulation à une vitesse s'élevant jusqu'à 120 km/h. Les mesures peuvent être effectuées de jour comme de nuit.

3.1 Mode de fonctionnement général

Le système ZDR 6020 se compose essentiellement d'une tête de mesure, d'une boîte de véhicule et d'un ordinateur portable doté d'un écran tactile séparé. Pour effectuer une mesure, la tête de mesure est accrochée à l'extérieur du véhicule et connectée au véhicule. La position du marquage est affichée sur l'écran tactile de façon visible pour le conducteur. Le conducteur dirige la voiture de manière à ce que l'échantillon de mesure se trouve toujours sur le marquage. L'échantillon de mesure vise le marquage à 6 mètres à l'avant de la tête de mesure. L'opérateur peut enregistrer les données directement dans le fichier de mesure. Par défaut, la valeur moyenne de rétro-réflexion est calculée et sauvegardée pour sections de 50 ou 100 mètres.

Les valeurs mesurées sont captées par la tête de mesure, exploitées par l'ordinateur intégré et ensuite transmises via le réseau Ethernet directement à l'ordinateur portable. Pendant la mesure, la tête de mesure est connectée à la boîte de véhicule incorporée à la voiture. La boîte de véhicule sert à conditionner des tensions d'alimentation pour la tête de mesure et de point de ralliement pour tous les câbles et connexions.

L'ordinateur portable est monté sur un pupitre côté passager et permet de manipuler le logiciel de mesure et le stockage des valeurs mesurées. Le conducteur peut démarrer et arrêter la mesure via l'écran tactile. L'écran tactile affiche la valeur mesurée ainsi qu'une image représentative des valeurs de rétro-réflexion du marquage. En plus de la valeur de rétro-réflexion des données supplémentaires comme la température, l'humidité, la vitesse, les coordonnées GPS, des fichiers d'images ainsi que des fichiers de langue.

3.2 Caractéristiques techniques de la tête de mesure

Géométries de mesure	Géométrie de 30 m
Angle d'illumination ϵ	1,24°
Angle d'observation α	2,29°
Longueur de l'échantillon de mesure	1 m
Largeur de l'échantillon de mesure	0,5 m
Nombre de capteurs	16
Site de mesure	6 m à l'avant de la tête de mesure (lentille de sortie / d'entrée)
Ouverture d'illumination	0,17° x 0,33°
Ouverture d'observation	0,33° x 0,33°
Source lumineuse	Lampe halogène 100 W, alimentation stabilisée
Fréquence modulante	600 Hz
Capteur	Photodiode de silicium

Les géométries de mesure (angle d'illumination ϵ , angle d'observation α , les ouvertures) sont conformes aux déclarations de la norme EN 1436, publié en janvier 2009 (version allemande), sur les géométries prévues pour la mesure du coefficient de luminance rétro-réfléchie R_L .

3.3 Principe de mesure

La tête de mesure est équipée d'une unité projetant un rayon lumineux sur le marquage ainsi que d'un capteur optique convertissant la lumière réfléchie par le marquage en signaux mesurables. Ces signaux sont amplifiés et filtrés avant d'être numérisés par le convertisseur analogique-numérique. Les données sont alors collectées par l'unité centrale et renvoyées à l'ordinateur portable situé dans la voiture. Le projecteur de lumière se compose d'une lampe halogène, d'un disque interrupteur tournant à une vitesse constante et d'un système optique. Le disque interrupteur module la lumière à une fréquence de 600 Hz avant que le rayon ne rencontre le marquage à 6 mètres à l'avant de la tête de mesure.

Le récepteur consiste en 16 photodiodes qui observent le champ illuminé sur le marquage à travers les lentilles du système optique. Le principe de mesure s'appuie sur la méthode « lock-in » avec une détection sensible aux phases. Un capteur détermine la position du disque interrupteur (le disque laisse ou ne laisse pas passer la lumière). Quand le disque interrupteur est ouvert, les données des 16 capteurs sont numérisées par le convertisseur analogique-numérique et amorties dans l'unité centrale. Ces valeurs

s'appellent signaux. Les signaux offset sont saisis par les 16 capteurs dès que le disque interrupteur se referme. Ensuite, l'unité centrale soustrait les deux suites de données pour déterminer la valeur mesurée réelle.

Traitement de signal : Le signal du capteur est amplifié par un préamplificateur et traverse un filtre passe-haut avec une fréquence de coupure de 0,48 Hz. Ensuite, il traverse un deuxième étage amplificateur contenant un filtre passe-bas avec une fréquence de coupure de 160 Hz. Finalement, le signal arrive au convertisseur analogique-numérique. Le système mesure simultanément la valeur de la lumière ambiante par la conversion du signal brut lorsque le disque interrupteur est fermé.

4 Traitement des données et évaluation des valeurs mesurées

Le traitement des données et le calcul des valeurs mesurées s'effectuent à l'aide du logiciel « RetroGrabber » qui est actif pendant la mesure sur l'ordinateur portable. Le logiciel reçoit les valeurs mesurées depuis la tête de mesure sous forme de données numériques brutes. Le système convertit ces données à l'aide des données de calibrage et vérifie leur plausibilité. Ensuite, les valeurs valides sont moyennées sur l'intervalle prédéterminé et sauvegardées en tant que valeurs mesurées.

A une fréquence de 600 Hz, le système est capable d'effectuer 600 mesures individuelles par seconde. A une vitesse de 80 km/h, le système effectue donc 1350 mesures individuelles sur 50 mètres avec une distance de 37 mm entre chaque mesure. A une vitesse de 120 km/h, le système réalise 900 mesures individuelles sur 50 m, soit 56 mm chaque mesure.

5 Sites des mesures

Site de mesure de section 2.1 : Terrain d'essais de marquages sur la route fédérale B4 près de Torfhaus (Oberharz). Il y a env. 100 échantillons de marquage du type I et II sur ce champ d'essai, appliqués en sens de la marche. Chaque échantillon consiste en 8 lignes de 2 m de long x 0,15 de large.

Site de mesure de section 2.1 : Route fédérale B82 près de Bad Harzburg [Allemagne]. Cette route fédérale de 4 voies est comparable à une autoroute.

6 Déroulement des mesures

Date de mesure : 18.2.2009. État de la route B4 : les surfaces de la route et des marquages sont légèrement mouillés. État de la route B82 : sec.

Avant effectuer les mesures, la tête de mesure du ZDR 6020 a été installée sur la voiture et ajustée en accord avec les géométries de mesure détaillées dans la section 3.2. Ensuite, le système a été étalonné à l'aide d'une bande de marquage collée sur un support plan. Le système de comparaison ZRM 6013 a été calibré avec son standard interne.

6.1 Comparaison des mesures avec un système de mesure statique

Sur le terrain d'essais de marquages Oberharz [Allemagne], 15 échantillons du type I et II ont été mesurés. Chaque ligne a été mesurée avec le ZDR 6020 (vitesse pas à pas) et immédiatement après avec le rétro-réflexomètre portatif ZRM 6013. Le tableau 1 présente les valeurs mesurées M_{ZDR} et M_{ZRM} pour toutes les lignes et les deux systèmes de mesure, la valeur moyenne commune M calculée de M_{ZDR} et M_{ZRM} ainsi que l'écart en pourcentage de la valeur mesurée du ZDR avec la moyenne commune : $100 \% M_{ZDR}/M$. Figure 1 montre les valeurs mesurées M_{ZDR} et M_{ZRM} pour les 15 lignes mesurées.

Type de marquage selon la colonne 2 du tableau 1 :

Type I :

G : Marquage plain

Type II :

A1 : Marquage aggloméré, agglomérats grands et irréguliers (voir annexe, image A.1)

A2 : Marquage aggloméré, agglomérats petits et irréguliers (voir image A.2)

A3 : Marquage aggloméré, agglomérats grands et réguliers (voir image A.3)

A4 : Marquage aggloméré, agglomérats petits et réguliers (voir image A.4)

F : Marquage à bande, profil en forme de losange (voir image A.5)

Numéro de l'échantillon	Type de marquage	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
Écart absolu moyen					2,2
Moyenne		127,80	127,20		

Tableau 1 : Résultats des mesures sur le terrain d'essais Torfhaus

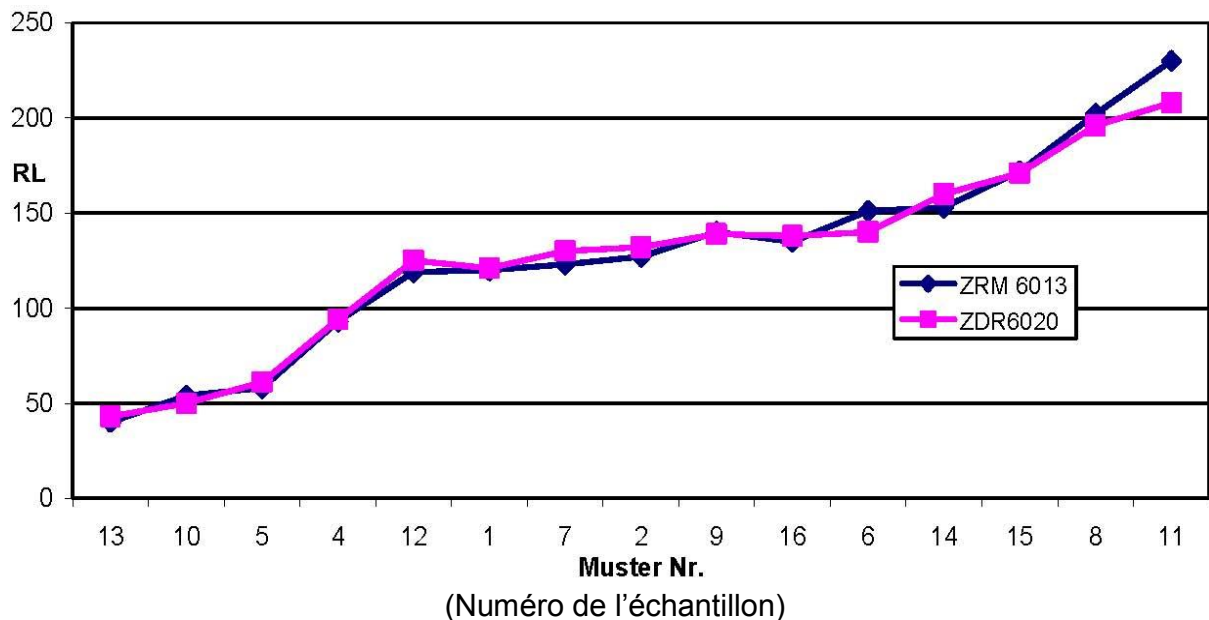


Figure 1 : Comparaison des valeurs R_L M_{ZDR} et M_{ZRM} pour les deux systèmes, terrain d'essais Torfhaus

6.2 Comparaison des mesures à des vitesses diverses du véhicule

Sur la route fédérale B82, le coefficient de luminance rétro réfléchie R_L de la marquage au rive droit de la chaussée (composée d'une ligne de 15 cm de largeur) a été mesuré entre deux intersections. La mesure a été effectuée avec le système ZDR 6020 dans les deux sens de la marche aux vitesses d'environ 50 km/h, 80 km/h et 100 km/h. Lors des passages, la vitesse a été maintenue le plus constant possible. La distance parcourue a été respectivement 2050 m et 2150 m. La moyenne a été calculée sur des sections de 100 m. Les tableaux 2 et 3 présentent les valeurs moyennes M_V pour les trois vitesses différentes (colonnes 2 à 4), la moyenne commune M des colonnes 2 à 4 (colonne 5) ainsi que l'écart en pourcentage des résultats des trois vitesses avec la moyenne $100 \% \cdot M_V/M$ (colonnes 6 à 8). 650 m du début du trajet A, il se trouvait une flaque d'eau sur le marquage. Le résultat pour cet intervalle de mesure a été supprimé.

1	2	3	4	5	6	7	8
Intervalle de mesure (m)	Moyenne des valeurs $R_L M_V$ sur 100 m (mcd/m ² .lx)			Moyenne commune 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

Tableau 2 : Valeurs R_L en fonction de l'allure, moyenne de 100 m, trajet A

1	2	3	4	5	6	7	8
Intervalle de mesure (m)	Moyenne des valeurs $R_L M_v$ sur 100 m ($mcd/m^2.lx$)			Moyenne commune 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

Tableau 3 : Valeurs R_L en fonction de l'allure, moyenne de 100m, trajet B

Les figures 2 et 3 montrent les moyennes M_v des deux trajets.

(Trajet A)

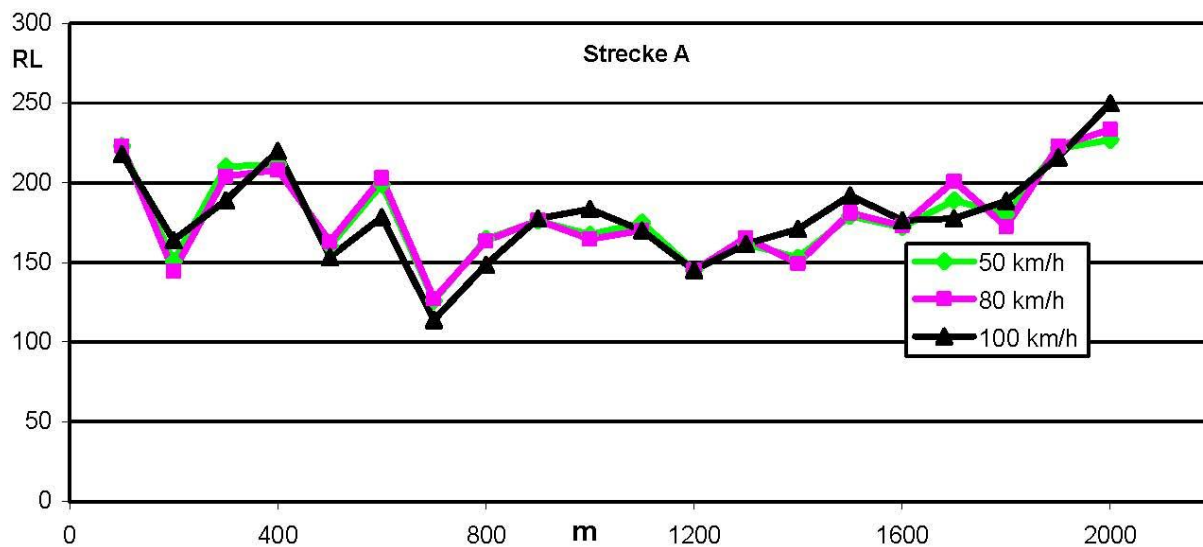


Figure 2 : Moyenne des valeurs R_L Mv sur 100 m, trajet A

(Trajet B)

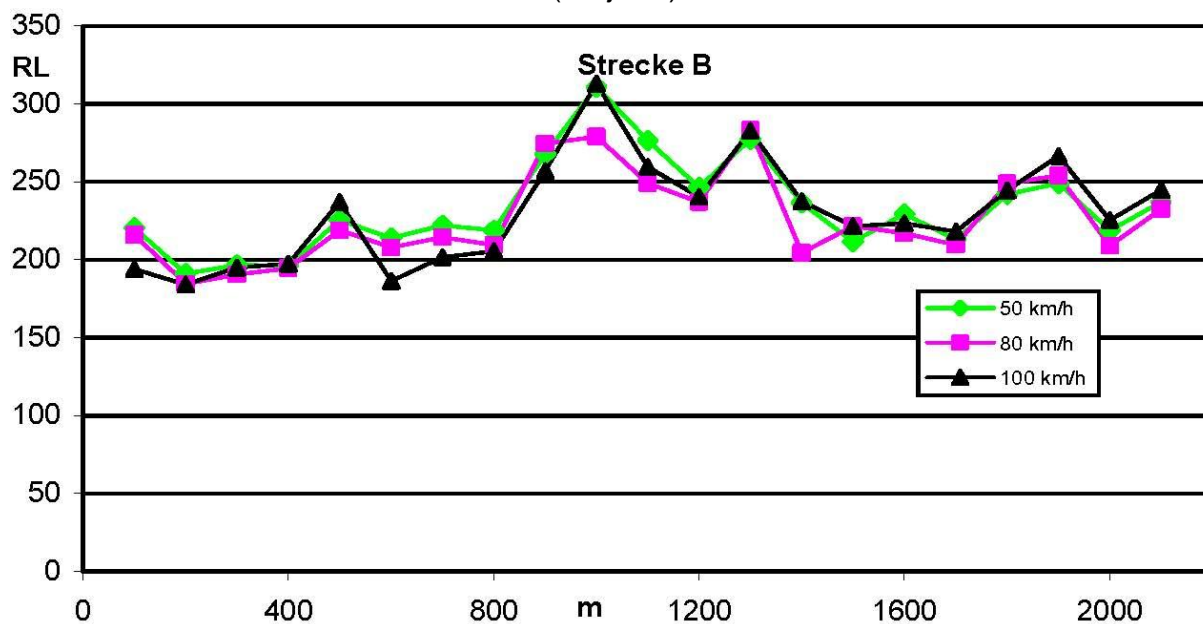


Figure 3 : Moyenne des valeurs R_L Mv sur 100 m, trajet B

Tableau 4 présente les moyennes des valeurs R_L des trois vitesses pour la distance mesurée entière. Tableau 5 spécifie les coefficients de corrélation r , dérivés de la comparaison des valeurs mesurées pour deux vitesses.

Trajet	Allure du véhicule pendant la mesure (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

Tableau 4 : Moyennes des valeurs R_L des vitesses différentes

Trajet	Comparaison des valeurs R_L des différentes vitesses (km/h)		
	50 avec 80	50 avec 100	80 avec 100
	Coefficient de corrélation r		
A	0,987	0,884	0,907
B	0,921	0,893	0,929

Tableau 5 : Coefficient de corrélation r entre les valeurs R_L , déterminé à des vitesses différentes

7 Évaluation des résultats des mesures

7.1 Évaluation des résultats des mesures avec un instrument statique

Tableau 1 indique que les valeurs mesurées du ZDR 6020 s'écartent au maximum de +3,5 % / -5,3 % de la moyenne des résultats des deux systèmes. Le processus de reconnaissance issue par l'office fédéral du domaine routier [allemand] « Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) » pour les appareils de mesure des marquages des chaussées stipule que l'écart de la valeur mesurée avec la moyenne M ne doit pas dépasser de $\pm 7,5$ % dans plus que 5 % des comparaisons. Le ZDR 6020 remplit cette condition car l'écart des valeurs ne dépasse jamais 5,3 %. Lors du calcul de la moyenne des valeurs mesurées des 15 échantillons, les deux systèmes fournissent pratiquement les mêmes résultats : $M_{ZRM} = 127,8$ mcd/m².lx; $M_{ZDR} = 127,2$ mcd/m².lx; le coefficient de corrélation r s'élève à 0,991. Cela atteste que le système ZDR 6020 produit avec une précision acceptable les mêmes résultats concernant le coefficient de luminance rétroréfléchie R_L qu'un système statique.

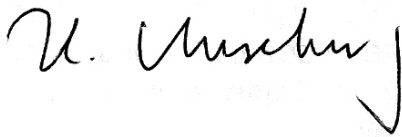
7.2 Évaluation des résultats de mesure effectués à des vitesses variables

Selon les tableaux 2 et 3, la détermination de l'écart en pourcentage de la moyenne commune $100 \% \cdot M_V/M$ montre que 4 des 123 valeurs mesurées individuels (3,3 % de l'ensemble des cas) s'écartent de plus de 7,5 % de la moyenne commune (ces valeurs sont indiqués **en rouge et en gras** dans les tableaux 2 et 3). Cela atteste que le ZDR6020 satisfait les stipulations de l'office fédéral du domaine routier BAST mentionnés dans la section 7.1 (un maximum de 5 % des valeurs pouvant dépasser un écart de $\pm 7,5 \%$) en ce qui concerne la précision des valeurs mesurées en fonction de la vitesse. Tableau 4 indique que la moyenne des valeurs mesurées sur l'intégralité de la distance parcourue est pratiquement identique pour les trois vitesses différentes. Les figures 2 et 3 présentent la dispersion des valeurs moyennes pour les 100 m. Les coefficients de corrélation (voir tableau 5) sont, jugés d'après les circonstances d'une mesure en circulation routière, acceptables.

Le système ZDR 6020 permet la détermination du coefficient de luminance rétro réfléchie R_L indépendamment de l'allure avec une précision acceptable.

7.3 Évaluation totale

Le rétro-réflexomètre ZDR 6020 est apte à la détermination dynamique du coefficient de luminance rétro réfléchie R_L des marquages routiers indépendamment de l'allure du véhicule et produit les mêmes résultats qu'un rétro-réflexomètre statique.



(Dr. H. Meseberg)
Président StrAusZert

Ce certificat de contrôle a été établi en toute âme et conscience.

Annexe : Photos des échantillons sur le champ d'essai



Image A.1 : Agglomérats grands et irréguliers



Image A.2 : Agglomérats petits et irréguliers

Annexe

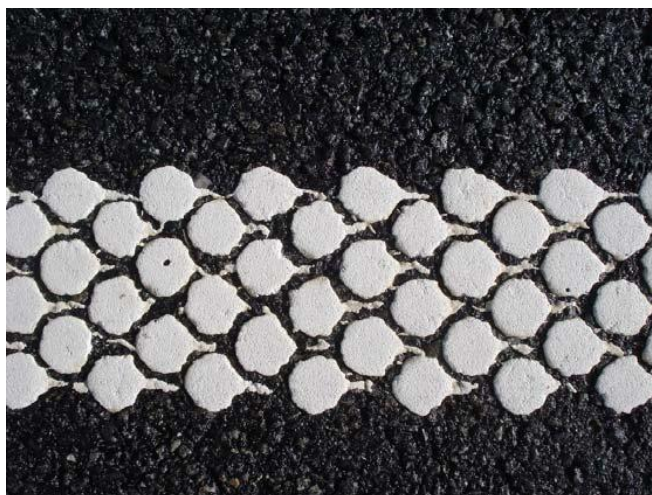


Image A.3 : Agglomérats grands et réguliers



Image A.4 : Agglomérats petits et réguliers

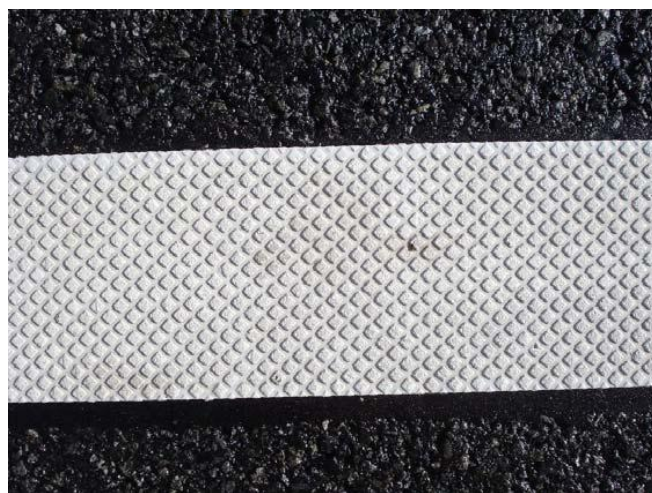


Image A.5 : Marquage à bande, profil en forme de losange

Berlin, den 7. 4. 2009

Prüfzeugnis Nr. 0913-2009-05
über die Eignung des dynamischen Retroreflektometers ZDR6020
zur dynamischen Messung des Leuchtdichtkoeffizienten
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 Leuchtdichtkoeffizienten 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 Leuchtdichtkoeffizienten 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

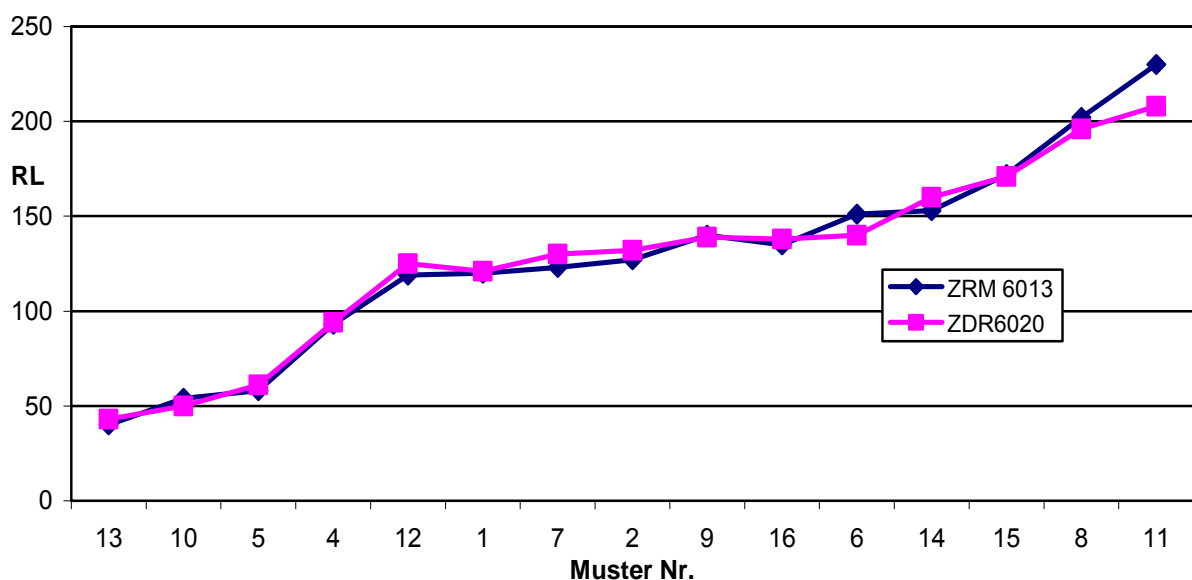


Bild 1: Vergleich der R_L-Messwerte M_{ZDR} und M_{ZRM} für beide Messsysteme, Prüffeld Torfhaus

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
Mess- intervall (m)	R_L -Mittelwerte M_V über 100 m (mcd/m ² .lx)			gemeinsamer Mit- telwert 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

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

1 Messintervall (m)	2 R _L -Mittelwerte M _V über 100 m (mcd/m ² .lx)			5 gemeinsamer Mittelwert M	6 100 % · M _V /M			8
	3 50 km/h	3 80 km/h	4 100 km/h		6 50 km/h	7 80 km/h	7 100 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.

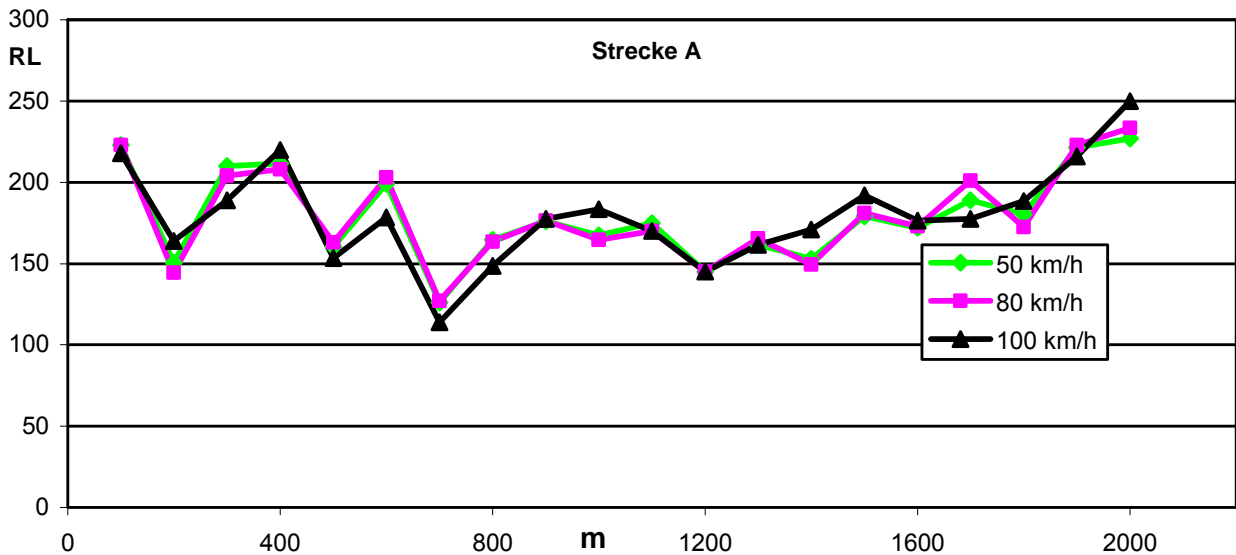


Bild 2: Über 100 m gemittelte R_L -Messwerte M_V , Messstrecke A

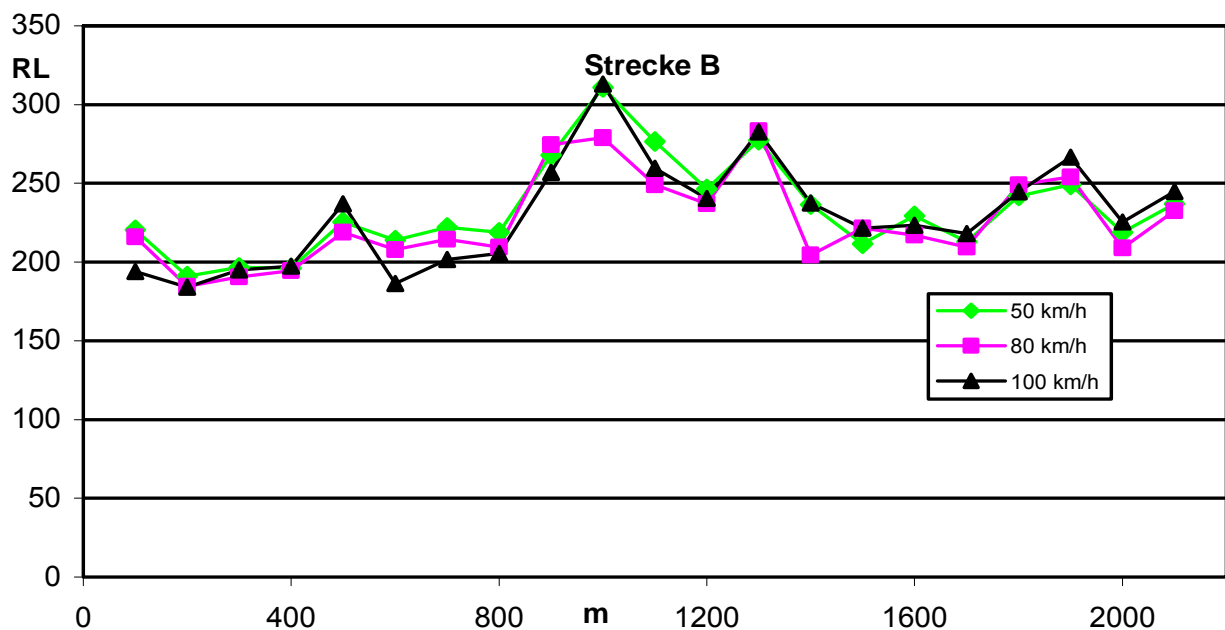


Bild 3: Über 100 m gemittelte R_L -Messwerte M_V , Messstrecke B

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 Fahrbahnmarkierungs-Messgeräte 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 Leuchtdichtkoeffizienten bei Retroreflexion R_L liefert wie ein statisch arbeitendes Messgerät.

7.2 Bewertung der Messungen bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

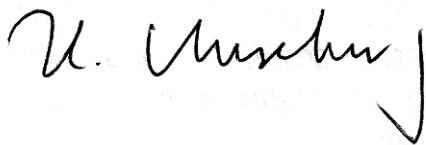
Die Ermittlung der prozentualen Abweichung vom gemeinsamen Mittelwert $100 \% \cdot M_V/M$ ergibt lt. den Tabellen 2 und 3, dass in 4 von 123 Messwerten, das sind 3,3 % aller Fälle, eine Abweichung eines Einzelmesswertes vom gemeinsamen Mittelwert $> 7,5$ % auftritt (in den Tabellen 2 und 3 sind die 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

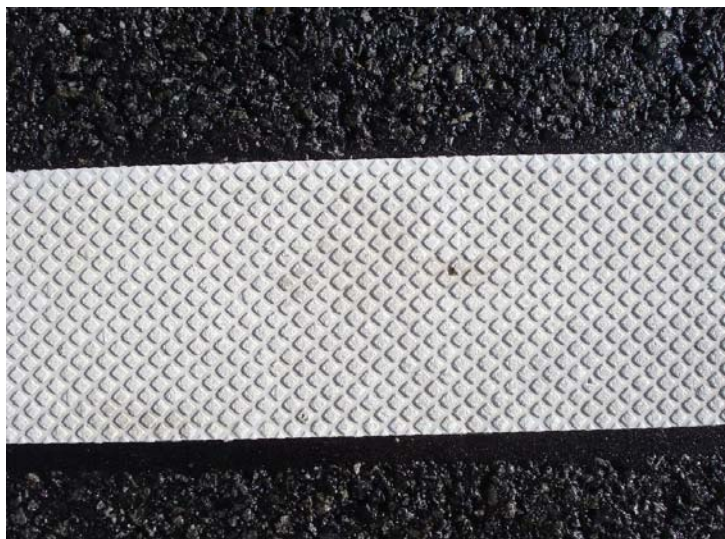


Bild A.5: Folie, rautenförmig profiliert