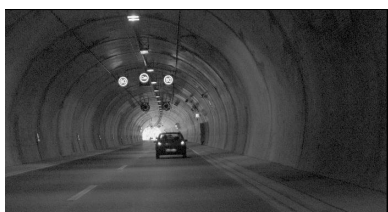


Dynamische orts aufgelöste Leuchtdichtemessungen auf Straßen und in Tunneln

Schmidt, Franz



Einleitung

Die Beurteilung von Leuchtdichten und Beleuchtungsstärken in Tunneln und auf Straßen ist zur kontinuierlichen Gewährleistung der Verkehrssicherheit sehr wichtig. Mit Hilfe der orts aufgelösten Leuchtdichtemesstechnik können gleichzeitig große Straßen- oder Tunnelbereiche erfasst werden. Mit der inzwischen von TechnoTeam zur Verfügung stehenden Leuchtdichtemesstechnik kann dies auch aus einem fahrenden Fahrzeug heraus erfolgen. Sperrzeiten des Tunnels oder der Straße können entfallen.

Die erfassten Leuchtdichtebilder können im Büro ausgewertet werden, wobei verschiedene Aspekte berücksichtigt werden können und die Dokumentation der Messpunkte durch die Darstellung im Bild immer gewährleistet ist.

Erfassung von Leuchtdichtebildern

Die Leuchtdichtemeskameras LMK nehmen Bilder auf und berechnen aus den Bilddaten (Grauwerte je Pixel) die Leuchtdichten in den jeweiligen Punkten in der Szene. Diese Leuchtdichtebilder beinhalten somit Licht- und Geometrieinformationen. Damit werden Vermessungsaufgaben sehr einfach und zeiteffizient. Für die lichttechnische Vermessung langer Strecken (z.B. komplette Tunnel) können Bildserien aufgenommen werden.



Bild 1: Aufbau der Kamera in einem Fahrzeug für die Erfassung von Leuchtdichtebildern während der Fahrt

A71 Tunnel Alte Burg (Ausschnitt)

Fahrgeschwindigkeit 80 km/h; Integrationszeit 4 ms;
Bildabstand 3 s; Darstellung logarithmisch 3 Dekaden, $L_{max} = 770 \text{ cd/m}^2$



Für die kontinuierliche Erfassung von Leuchtdichtebildern steht in der Software LMK2000 die Aufnahmefunktionalität Messreihe zur Verfügung, mit der in vorgebbaren Zeitabständen regelmäßig Bilder erfasst werden. Bei Bilderfassungsraten von 3 s werden bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h in Abständen von 67 m Leuchtdichtebilder aufgenommen. Damit ist eine lückenlose Erfassung der Leuchtdichten auf Straßen oder in Tunneln gewährleistet. Bei der Aufnahme von Bildern während der Bewegung können nur SinglePic-Aufnahmen erfolgen. Für die Erfassung von Leuchtdichtebildern mit hohen Leuchtdichten (z.B. Tunneleingang und -einfahrtstrecke) sind entsprechend kurze Integrationszeiten (1 ... 4 ms) für niedrige Leuchtdichten entsprechend längere Integrationszeiten (80 ... 100 ms) einzustellen.

Die Leuchtdichtemesskameras LMK98-3 von TechnoTeam sind mit einer fire-wire Schnittstelle ausgerüstet. Beim Betrieb der Kamera an einem Laptop wird somit das Messequipment auch in einem Fahrzeug gut handhabbar. Für die Erreichung eines ausreichender Sichtwinkels bieten sich Objektive mit Brennweiten von 25 mm an.

Wird aus einem Fahrzeug heraus gemessen, ist zu beachten, dass die Einflüsse der Windschutzscheibe berücksichtigt werden. Dies ist einfach möglich, indem aus dem Fahrzeug heraus die Leuchtdichtemesskamera an einer Fläche mit bekannter Leuchtdichte rekaliibriert wird. (Die Leuchtdichte solch einer Fläche kann von außerhalb des Fahrzeuges mit der Leuchtdichtemesskamera selbst vermessen werden.) In der Funktionalität der LMK stehen dazu mit den Funktionen Rekalibrierung entsprechende Möglichkeiten zur Verfügung. Die Transmission der Scheibe bzw. der Rekalibrierfaktor ergeben sich als Quotient der innen und außen gemessenen Leuchtdichten. Weiterhin ist bei solchen Messfahrten zu beachten, dass das eigene Fahrzeuglicht keine Verfälschung der Messergebnisse hervorruft. Messungen mit Standlicht sind unkritisch, da die erfassten Messfelder in der Regel erst einige 10 m vor dem Fahrzeug beginnen.

LMK2000 - Visualisierung und Bildauswertung

Eine erste und orientierende Aussage über die Beleuchtungsverhältnisse im Messbild liefern Falschfarbendarstellungen, welche Leuchtdichtewerten bestimmte Farben zuordnen. Am rechten Bildschirmrand befindet sich die Farbpalette mit der Zuordnung der Leuchtdichten zu den Bilddarstellungsfarben. Durch die Logarithmische Darstellung der Leuchtdichten sind die in den Leuchtdichtebildern vorhandenen hohen Dynamikumfange gut darstellbar.

A71 Tunnel Rennsteig (Ausschnitt)

Fahrgeschwindigkeit 80 km/h; Integrationszeit 110 ms; Bildabstand 3 s; Darstellung logarithmisch ;2 Dekaden, $L_{\max} = 15\text{cd/m}^2$

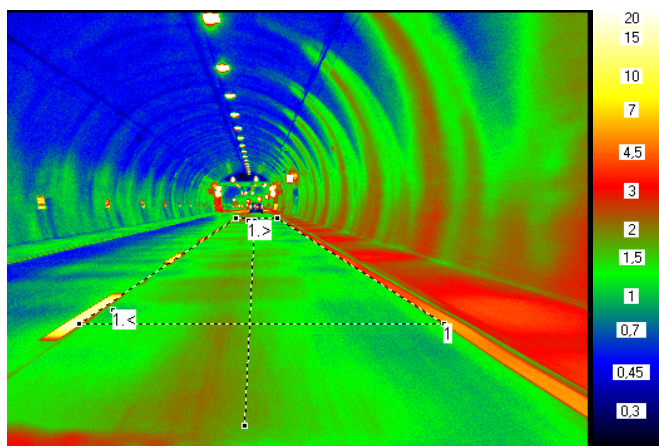


Bild 2: Falschfarbendarstellung der Leuchtdichte eines Tunnelsegmentes. Skalierung auf 20cd/m^2 , Log. Darstellung über 2 Dekaden, Bewertungsfläche „Polygon“ mit ermittelten Orten der maximalen (1>) und minimalen (1<) Leuchtdichte, Auswertung in dieser Bewertungsfläche:

Nr.	Einheit	Mittel	Min	Max	U ₀
1	L-cd/m ²	5,648	2,634	21,87	0,466

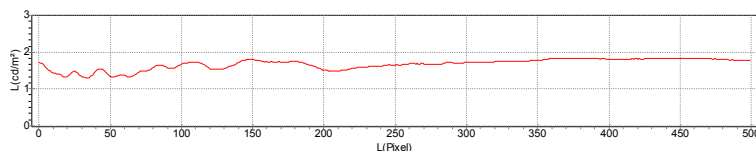


Bild 3: Schnitt entlang der Linie 2

Für detaillierte Untersuchungen von ausgewählten Leuchtdichteverteilungen (z.B. zur Kontrolle der Leuchteninstallation) werden traditionell Isoliniendarstellungen verwendet. Entsprechende Funktionen sind in der LMK2000 Software vorhanden.

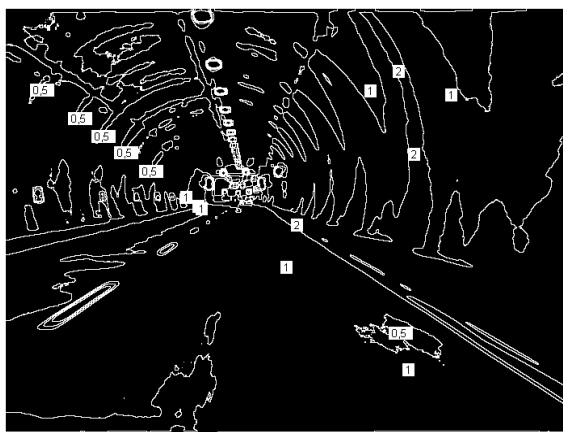


Bild 4: Isoliniendarstellung der Leuchtdichteverteilung aus Bild 2

Auswertungen nach DIN 5044

Die DIN 5044 legt Güteerkmale für die Straßenbeleuchtung und Grundsätze zum messtechnischen Nachweis fest. Die DIN 5044 geht von einer zweispurigen Straße aus (Fahrtrichtung und Gegenrichtung) und legt zur Bewertung der Straßenbeleuchtung ein Messfeld (Straßenbreite einer Fahrtrichtung \times 100 Meter Straßenlänge) auf dem Straßenbelag fest. Dieses Messfeld befindet sich 60 Meter vor der Beobachterposition (hier: LMK2000), wobei die Augenhöhe 1,5 Meter beträgt und die optische Achse parallel zum Straßenniveau entlang der Fahrspurmitte verläuft. Weil aufgrund der tektonischen Verhältnisse diese idealisierten Aufnahmebedingungen selten auftreten, räumt die DIN 5044 die Möglichkeit ein, eine verkürzte Bewertungsfläche im Rastermaß des einfachen Leuchtenabstandes der Straßenleuchten zu nutzen. Dazu besteht das statistische Bewertungsfeld aus gleichverteilten Messorten („Regionen“ im

Terminus der LMK2000-Software) im Raster 6 x 10 (Straßenbreite x Länge des Bewertungsfeldes).

Es wird empfohlen, zum Absolutanschluss des perspektivisch verzerrten LMK2000-Leuchtdichtebildes, Messmarken (z.B. Schilder in 60m, 100m, 160m Entfernung vor der Kamera) im Objektraum anzuordnen, bzw. vorhandene Marken zu nutzen. In Tunneln lassen sich vielfach die Hinweisbeleuchtungen zur Fluchtwegmarkierung oder Fahrbahnrandmarkierungen nutzen, um im Bild Entfernungsmarken zu definieren.

Das bildauflösende Messsystem LMK2000 nutzt die optische Abbildung eines Aufnahmeobjektes. Somit sind die geometrischen Bildinformationen „projektiv verzerrt“. Die LMK2000 Bildauswertungssoftware stellt ein Modul zur projektiven Entzerrung von Auswertungsregionen zur Verfügung und schafft damit die Möglichkeit, messtechnische Aussagen in das x-y-Koordinatensystem umzurechnen. Damit ist der Direktanschluss an andere Mess- und Auswertungsmethoden, die sich der punktwweisen Methode bedienen, gegeben.

Von TechnoTeam wird ein vorbereitetes Protokoll **LMK2000_Strasse.h5** zur Verfügung gestellt, in dem die notwendigen Abläufe vordefiniert sind. So sind im Leuchtdichtebild nur die Eckpunkte des Messfeldes anzugeben (Polygon). Die projektive Entzerrung führt auf ein rechteckiges Auswertefeld (ähnlich Ortofoto) in dem ein Punktraster, entsprechend DIN 5044 bereits festgelegt ist (siehe Bild 4). Es wurden 6 x 10 Messorte (Regionengruppen) nach DIN angelegt.

Die Daten aus den 60 vorgegebenen Regionen können direkt in die in der DIN 5044 festgelegten Gleichmäßigkeitsparameter $U_1 \dots U_6$ und U_0 verrechnet werden (siehe Tabelle 1). Dazu wird ein Excel-file zur Verfügung gestellt.

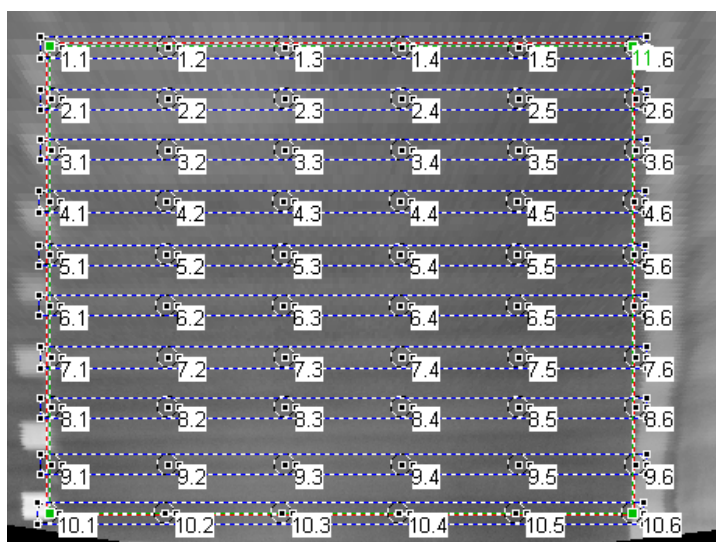


Bild 5: Projektive Entzerrung der Region1 „Polygon“ in Bild 2 mit Messpunkten nach DIN 5044

Messpunkte							
Reihen	.1	.2	.3	.4	.5	.6	
1	1,95	2,14	1,92	1,47	1,14	1,35	
2	2,17	2,01	1,97	1,64	1,33	1,46	
3	2,67	1,74	1,65	1,37	1,21	1,49	
4	1,77	1,37	1,45	1,33	1,11	1,31	
5	1,57	1,41	1,32	1,31	1,05	1,37	
6	1,93	1,5	1,41	1,35	1,1	1,47	
7	2,09	1,57	1,59	1,48	1,22	1,42	
8	1,3	1,29	1,48	1,47	1,3	2,21	
9	1,21	1,39	1,66	1,39	1,15	2,78	
10	6,94	1,35	1,95	1,31	1,04	3,41	
Min	1,21	1,29	1,32	1,31	1,04	1,31	1,04
Max	6,94	2,14	1,97	1,64	1,33	3,41	6,94
U_i	0,51	0,82	0,80	0,93	0,89	0,72	0,63

Tabelle 1: Auswertungen der Gleichmäßigkeit der Fahrbahnleuchtdichten nach DIN 5044 (Leuchtdichten in cd/m^2)

LMK mobil



Bild 6: Rollei d30flex, qualifiziert zur Leuchtdichtemessung

Die Kamera Rollei d30flex, eine digitale Spiegelreflexkamera kann als **Leuchtdichtemesskamera** unabhängig von einer stationären Stromversorgung oder einem PC/Laptop verwendet werden. Im Gegensatz zu vielen anderen digitalen Fotoapparaten werden bei dieser alle Daten der Bildentstehung (Belichtungszeit, Blende, Zoom, Focus) gespeichert. Die Eigenschaften der Kamera (Shading, Dunkelsignale, Nichtlinearitäten) sind (wie bei den Kameras der LMK-Serie gewohnt) erfasst und in Kalibrierfiles abgelegt. Damit und mit den gespeicherten Daten zur Bildentstehung stehen alle Parameter zur Verfügung, um photometrische Messdaten aus den Bildern oder Bildsequenzen zu extrahieren. Zur Berechnung der Leuchtdichten werden der Grünkanal der 1-Chip-Farbmatrix (1030x1300 Bildpunkte) verwendet und zusätzlich Anteile von Rot und Blau eingerechnet. Das Leuchtdichtebild ist damit 515x650 Bildpunkte groß.

Bei breitbandigen Strahlungsquellen sind geringe Messunsicherheiten erreichbar. Für schmalbandige oder "bunte" Strahlungen kann (bei bekannter spektraler Charakteristik des Messobjektes) die vorhandene Abweichung von der $V(\lambda)$ -Funktion über einen Color-Correction-Factor (CCF) korrigiert werden.

Die Kamera besitzt verschiedene Aufnahmemodi. Neben den Standard-Modi als digitaler Fotoapparat wurden spezifische Modi zur Lichtmessung (High-Dyn) in die Firmware der Kamera implementiert. Bei diesen High-Dyn Aufnahmen werden Bilder mit unterschiedlichen Integrationszeiten als Bildserie zusammenhängend aufgenommen und nummeriert. Die Software der LMK2000 kann diese Bilddaten einlesen und verrechnen, so dass Leuchtdichtebilder mit hohem Dynamikumfang zur Verfügung stehen. Zur Auswertung von Leuchtdichtebildern kann dann der volle Funktionsumfang der LKM2000-Software genutzt werden.

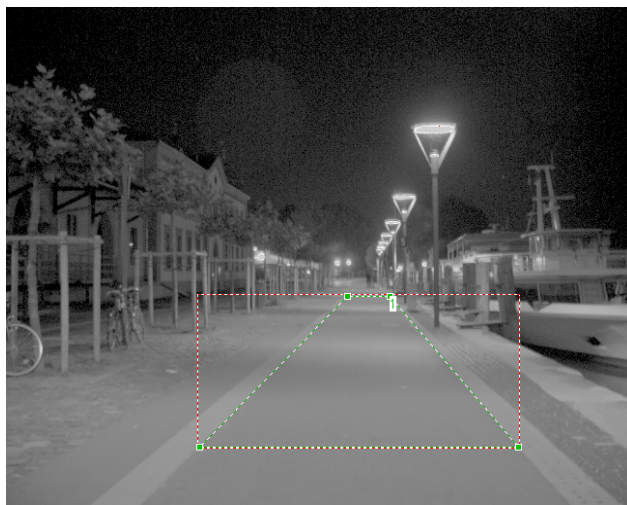


Bild 7: Leuchtdichtebild einer Straße erfasst mit LMK mobile

Literatur

LMK2000 Handbuch Bedienung, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau 2004

DIN 5044 „Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung - Beleuchtung von Straßen für den Kraftfahrzeugverkehr“

Schmidt, F.: Bilddatenauswertung zur Erfassung geometrischer und fotometrischer Relationen, Jahrbuch für Optik und Feinmechanik 1997 (44. Jahrg. Herausgeber: Prenzel, W. ; S. 82-116

Fischbach, I.: Bewertung der Sichtverhältnisse im nächtlichen Straßenverkehr mit Leuchtdichteanalysatoren (bildauflösender Leuchtdichtemeßtechnik), Licht 98 Bregenz Tagungsband S. 232 – 241

Gall, D.; Krüger, U.; Schmidt, F.; Wolf, St.: Moderne Möglichkeiten zur Messung und Bewertung von Beleuchtungsparametern Herbstkonferenz 2002 der GfA e.V. Technische Universität Ilmenau, 26.-27. September 2002

Autor

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Franz Schmidt,
TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, 98693 Ilmenau, Werner-von-Siemens-Straße 10
Franz.Schmidt@TechnoTeam.de <http://www.TechnoTeam.de>