

# Lichttechnische Untersuchungen mit einer Standard-Digitalkamera

Von Tim Hoger\*

Im vorliegenden Beitrag wird dargestellt, wie eine Standard-Spiegelreflexkamera als Leuchtdichtemessgerät für eine lichttechnische Untersuchung eingesetzt werden kann. Die erforderliche Kalibrierung ermöglicht es, aus der aufgenommenen „Bildhelligkeit“ eine Leuchtdichteverteilung zu generieren. Die absolute Leuchtdichte ist dabei ungenauer als die durch ein Leuchtdichtemessgerät gemessene Leuchtdichte. Für die Bestimmung der Erkennbarkeit ist jedoch nur die Leuchtdichtedifferenz (zwischen Objekt und Hintergrund) von wesentlicher Bedeutung, die aus dem Bild hinreichend genau bestimmt werden kann.

## 1 Einleitung

Bei Dunkelheitsunfällen mit Fußgängern stellt sich im Allgemeinen die Frage, ob der Fußgänger für den Pkw-Fahrer sichtbar war. Um diese Frage zu klären, wurden in der Vergangenheit häufig Ortstermine an der Unfallstelle durchgeführt. Da sich die Augen während des Wartens auf die Teilnehmer an die Dunkelheit gewöhnten (adaptierten), wurde häufig festgestellt, dass aus der entsprechenden Entfernung der Fußgänger sichtbar sei. Die Sichtverhältnisse eines Autofahrers stellen sich jedoch, unter anderem durch das Scheinwerferlicht des Pkw, anders dar. Daher wird schon seit Jahren eine aussagekräftige lichttechnische Untersuchung durchgeführt. Hierzu wird die Leuchtdichteverteilung des Fußgängers und des Hintergrunds für verschiedene Entfernungen des Pkw zum Fußgänger benötigt. Die Position des Fußgängers folgt aus der Rekonstruktion des Unfalls und dem vorher zu erstellenden Weg-Zeit-Diagramm.

Die lichttechnische Untersuchung sollte mit einem typgleichen, oder, falls möglich, mit dem Unfallfahrzeug und vorzugsweise mit der zum Unfallzeitpunkt vom Fußgänger getragenen Kleidung durchgeführt werden. Dass Witterungsbedingungen und andere Leuchtquellen bei der lichttechnischen Untersuchung, entsprechend den Um-

ständen am Unfalltag zu wählen sind, versteht sich von selbst.

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass starke Abhängigkeiten der Beleuchtungsstärke bei verschiedenen Fahrzeugen vorliegen. Da für die Erkennbarkeit eines Fußgängers gerade die Randbereiche eines Scheinwerfers von erheblicher Bedeutung sind, können sich mit unterschiedlichen Fahrzeugtypen Erkennbarkeitsentfernungen ergeben, die um bis zu 50 % variieren.

Das **BILD 1** beispielsweise zeigt links die Ausleuchtung einer Straße von einem Mazda MX5 (Baujahr 1992,

H4-Scheinwerfer) und rechts von einem Opel Astra (Baujahr 2005, Xenon-Scheinwerfer).

Hoch entwickelte Scheinwerfersysteme variieren die Leuchtweite und -richtung je nach Fahrzustand, was den Sachverständigen vor neue Herausforderungen bei lichttechnischen Untersuchungen stellt.

Die Anschaffung eines teuren Leuchtdichtemessgeräts ist bei seltener Benutzung nicht wirtschaftlich. In der Praxis wird die Sichtbarkeit deshalb häufig nur auf Basis von vor Ort erstellten Lichtbildern belegt. Durch Über- oder Unterbelichtung können jedoch immer (Digital-) Bilder von derselben Situation am Unfallort generiert werden, die sowohl die Sichtbarkeit als auch die Nichtsichtbarkeit „belegen“.

Im folgenden Beitrag wird erläutert, wie durch eine Kalibrierung der Kamera aus den „Bildhelligkeiten“ Leuchtdichtedifferenzen abgeleitet werden können, die zur Beurteilung von Sichtbarkeiten benötigt werden und eine



Mazda MX5 (1992): H4

Opel Astra (2005): Xenon

**BILD 1:** Leuchtdichteverteilung eines Mazda MX5 und eines Opel Astra-Scheinwerfers auf einer Teerdecke

**FIGURE 1:** Luminance distribution of a Mazda MX5 and an Opel Astra headlight on a tar road surface

überprüfbare Beurteilung der Situation erlauben.

## 2 Lichttechnische Grundlagen: klassische lichttechnische Untersuchung

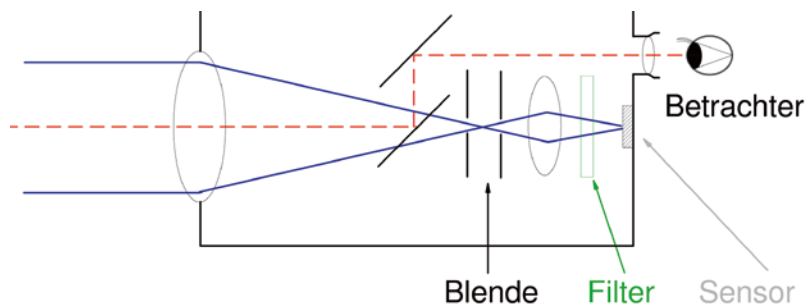
Die Leuchtdichtevertellung wird klassisch mithilfe eines Leuchtdichtemessgeräts bestimmt, siehe **BILD 2**.

Auch die preisgünstigeren Minolta-Geräte LS100/LS110 finden für solche Untersuchungen Anwendung. Die Messgröße „Leuchtdichte“ gemessen in  $\text{cd}/\text{m}^2$  ist die pro Fläche auf das Auge einwirkende Lichtintensität. Da sich die Empfindlichkeit mit der Wellenlänge des Lichts ändert, muss diese Änderung durch einen entsprechenden Filter angepasst werden ( $V(\lambda)$ -Anpassung). Das **BILD 3** skizziert den Strahlengang in einem Leuchtdichtemessgerät.

Durch ein Linsensystem wird der Strahl ähnlich wie in einem Fernglas zum Auge des Betrachters geführt. Durch eine Blende in der Mitte, die entsprechend der zu messenden Fläche eingestellt werden kann, wird der Erfassungsbereich um die Strahlachse über einen Farbfilter auf eine Silizium-Fotodiode gebracht. Der Farbfilter muss – siehe oben – so gestaltet sein, dass die Lichtintensität auf der Fotodiode unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit des Fotodetektors der Wellenlängenempfindlichkeit des Auges angepasst wird.

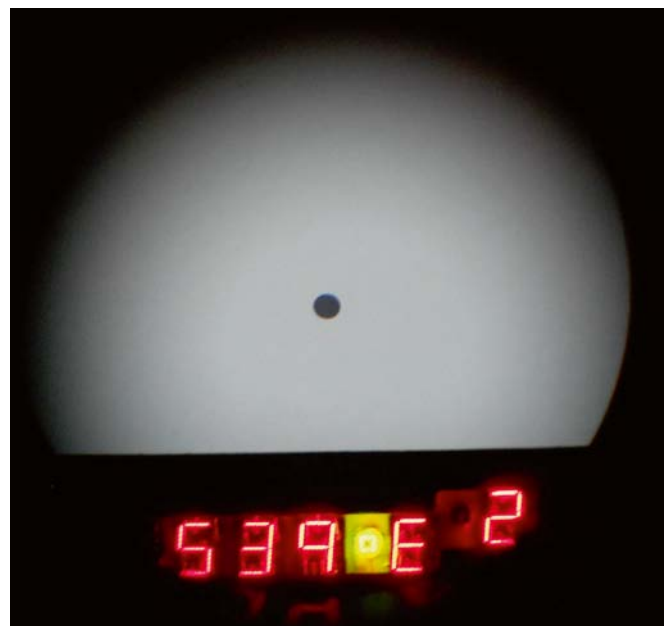
Durch die vergrößernde Visieroptik visiert man den zu messenden Bereich an. Die Sicht durch das Leuchtdichtemessgerät ist in **BILD 4** zu sehen. Der Messwert wird am unteren Rand des Bildes angezeigt. In der Optik ist mittig ein schwarzer Punkt dargestellt, den durch das Leuchtdichtemessgerät erfassten Bereich wiedergibt. Abhängig vom Typ des Leuchtdichtemessgeräts kann die Punktgröße und damit die Messgröße beziehungsweise die Aufweitung des Messbereichs eingestellt werden. Um die für die lichttechnische Untersuchung relevante Leuchtdichtedifferenz zu bestimmen, müssen nun verschiedene markante Punkte auf dem Fußgänger im Vergleich zum Hintergrund punktweise vermessen werden.

**BILD 2:** Leuchtdichtemessgerät L1009 der Firma LMT  
**FIGURE 2:** L1009 luminance meter from the company LMT



**BILD 3:** Schema eines Leuchtdichtemessgeräts  
**FIGURE 3:** Schematic diagram of a luminance meter

**BILD 4:** Sicht durch Leuchtdichtemessgerät LMT L1009  
**FIGURE 4:** View through the LMT L1009 luminance meter



Je mehr Messpunkte gemessen und dokumentiert werden, desto genauer kann die Leuchtdichteverteilung auf dem Fußgänger nachvollzogen werden. Allerdings steigt hierdurch auch der Zeitaufwand für die Messung.

Zur Auswertung der Sichtbarkeit eines Fußgängers in einer bestimmten Entfernung werden die an der Örtlichkeit gemessenen Leuchtdichtedifferenzen mit Schwellenleuchtdichtedifferenzen zur Erkennbarkeit von Objekten verglichen, wie sie zum Beispiel von Berek<sup>1</sup> (Berek'sche Kurven) veröffentlicht wurden. Die Schwellenleuchtdichtedifferenz ist die Leuchtdichtedifferenz eines Objekts relativ zu seinem Hintergrund, bei der ein Erkennen des Objekts gerade noch möglich ist. Die spätere thematisch ähnliche Veröffentlichung von Adrian et al.<sup>2</sup> ermöglichte eine analytische Zuordnung der Schwellenleuchtdichte. Die Schwellenleuchtdichtedifferenzen wurden allerdings von Berek unter Laborbedingungen bestimmt. Für den Straßenverkehr liegen solche Verhältnisse nicht vor. Die Schwellenleuchtdichtedifferenzen werden deshalb unter Berücksichtigung der jeweiligen Beleuchtungssituation mit sogenannten Praxisfaktoren multipliziert, die die situative Anpassung an die Unfallstelle gewährleisten. Übliche Praxisfaktoren variieren zwischen 3 für eine gleichmäßig dunkle Unfallstelle bis 4 für verschiedene Leuchtquellen im Bereich des Fußgängers.

Die so bestimmten tatsächlich erforderlichen Leuchtdichtedifferenzen werden mit den vor Ort gemessenen Leuchtdichtedifferenzen bei verschiedenen Abständen zum Fußgänger verglichen und können in einem „Soll-Ist“-Diagramm übersichtlich dargestellt

werden<sup>3</sup>. Bei der Entfernung, an der die gemessenen Leuchtdichtedifferenzen erstmalig größer sind als die „theoretisch“ benötigten, ist der Fußgänger erstmalig sichtbar.

### 3 Lichttechnische Untersuchung mit einer Digitalkamera

Lichtbilder können über- oder unterbelichtet werden, sodass immer der gewünschte Eindruck aus einem Lichtbild erzeugt werden kann. Aus dieser Überlegung erscheint eine Digitalkamera zunächst als wenig geeignetes Mittel zur

Beurteilung der Sichtbarkeit von Fußgängern beziehungsweise zur Messung von Leuchtdichten. Auf der anderen Seite ist der Aufbau einer Digitalkamera, siehe BILD 5, dem eines Leuchtdichtemessgeräts sehr ähnlich.

In beiden Fällen wird über eine Optik ein lichtsensitiver Detektor beleuchtet. Während bei einem Leuchtdichtemessgerät nur der innere Bereich der Optik zur Einpunktmessung genutzt wird, wird im Gegensatz dazu bei einer Kamera ein ganzes Array von Messpunkten belichtet. Jeder dieser Messpunkte verfügt über einen eigenen Filter, siehe BILD 6. Es

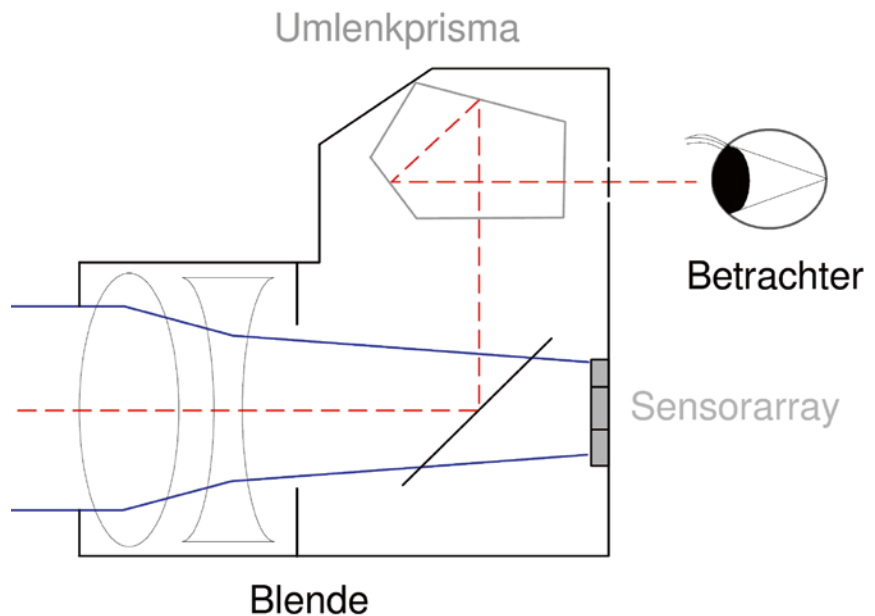


BILD 5: Schematischer Aufbau einer Spiegelreflex-Digitalkamera  
 FIGURE 5: Schematic structure of a digital reflex camera

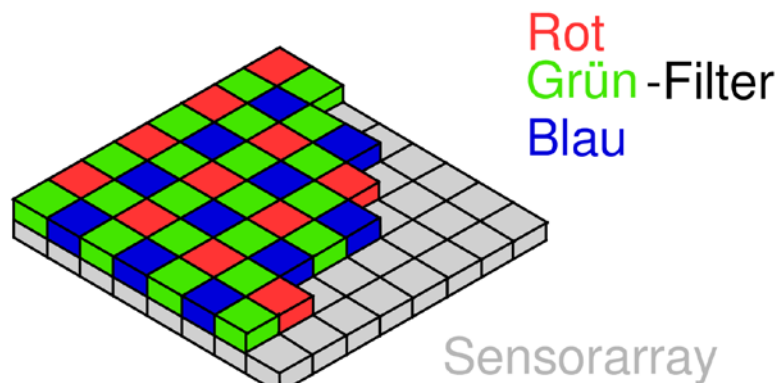


BILD 6: Bayer-Filter einer Digitalkamera  
 FIGURE 6: Bayer filter in a digital camera

<sup>1</sup> M. Berek, Zum physiologischen Grundgesetz der Wahrnehmung von Lichtreizen, Instrumentenkunde 63, 297 (1943)  
<sup>2</sup> W. Adrian, Die Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung, Lichttechnik 21, 2 (1943)  
<sup>3</sup> K. Schmedding, M. Becke, Das SBU-Diagramm und die Bestimmung von Erkennbarkeitsentfernungen mit Hilfe des SI-Diagramms, VKU 28 (1990)

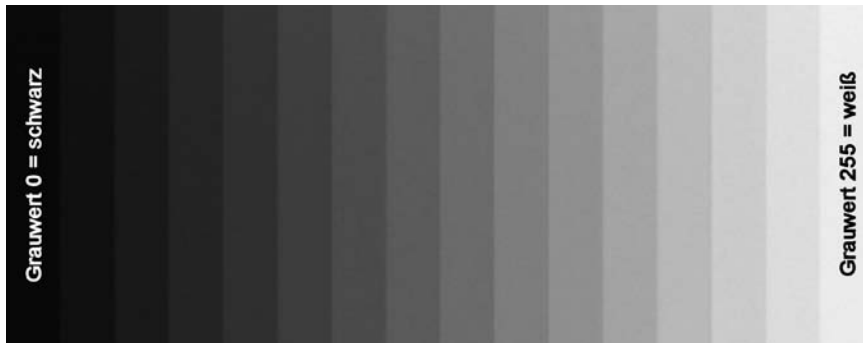


BILD 7: Graustufenbild zur Kalibrierung einer Digitalkamera

FIGURE 7: Grey-scale image for calibrating a digital camera

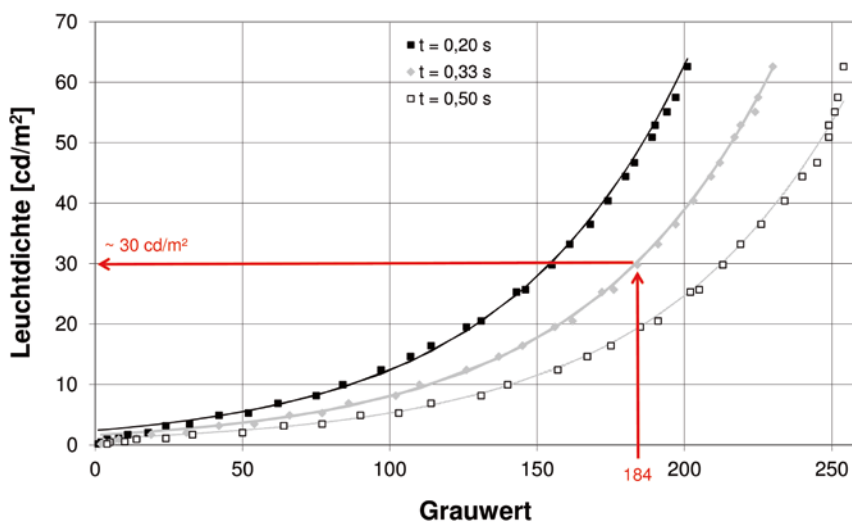


BILD 8: Leuchtdichte aufgetragen gegen den Grauwert des Bildbereichs für verschiedene Belichtungszeiten zwischen 0,2 und 0,5 s

FIGURE 8: Luminance plotted against the grey-scale value of the image section for different

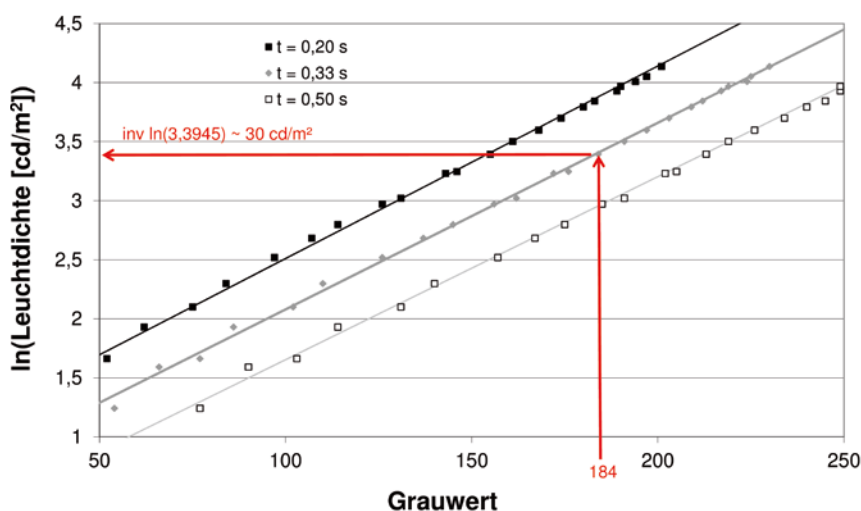


BILD 9: Linearisierung der Leuchtdichte durch Logarithmieren. In weiten Bereichen (etwa 50 bis 220) ist der Verlauf linear

FIGURE 9: Linearisation of the luminance by logarithmising. Over wide areas (approximately 50 to 220), the curve is linear

könnten somit viele Messpunkte aus einem Bild erzeugt werden, was eine schnelle Erfassung der Leuchtdichte ermöglichen würde.

In Verbindung von Kameras mit Nassfilmtechnik stellte Schmedding bereits in den 90ern ein Verfahren vor, um aus dem Lichtbild die Leuchtdichteverteilung zu generieren, indem er Grautafeln bekannter Leuchtdichte mitfotografierte und diese als Stützstellen für eine spätere Bildauswertung heranzog<sup>4</sup>. Dieses Verfahren hat sich jedoch aufgrund der einerseits umständlichen Technik und der andererseits schwer verfügbaren Graukeile konstanter Leuchtdichte nicht durchgesetzt.

#### 4 Grauwertkalibrierung

Wird ein Graukeilbild bekannter Leuchtdichte, siehe BILD 7, fotografiert, kann eine Zuordnung zwischen der Leuchtdichte und dem Grauwert eines Schwarz-Weiß-Bildes erfolgen.

In BILD 8 sind die Leuchtdichten gegen die Grauwerte der Digitalkamera dargestellt und durch eine Polynomfunktion angepasst. Durch die Kenntnis dieser Kalibrierkurven ist es beispielsweise bei einer Belichtungszeit von 0,33 s möglich, einem Grauwert von 184 eine Leuchtdichte von ungefähr 30 cd/m<sup>2</sup> zuzuordnen. Bei sehr geringen Grauwerten (unterhalb von etwa 30) treten deutliche Abweichungen vom angepassten Kurvenverlauf auf.

Wird die Leuchtdichte logarithmisch gegen den Grauwert aufgetragen, so erhält man in weiten Bereichen einen linearen Zusammenhang, siehe BILD 9. Der Zusammenhang führt bei gleicher Kameraeinstellung zu reproduzierbaren Ergebnissen. Verschiedene Untersuchungen bei unterschiedlichen Temperaturen und Leuchtdichten kamen zu dem Ergebnis, dass innerhalb eines Fehlerbereichs von etwa 20 %, die aus der Kamera bestimmten Leuchtdichten denen des Leuchtdichtemessgeräts

<sup>4</sup> K. Schmedding in Hugemann, Unfallrekonstruktion, Seite 727, Springer (2007)



entsprechen, die Messwerte also reproduziert werden können. Bei der Messung ist sicherzustellen, dass sich die Kameraeinstellung (Belichtungszeit, Iso-Wert, Blende etc.) nicht ändert. Es ist somit ein manueller Modus für die Kameraeinstellung zu wählen. Unter diesen Voraussetzungen können dann Zusammenhänge zwischen Grautönen und Leuchtdichten dargestellt werden.

Um die Kamera verschiedenen Umgebungsleuchtdichten anpassen zu können, muss die Einstellung der Kamera verändert werden. Wählt man für eine Messung eine doppelt so große Belichtungszeit, ist sofort einsichtig, dass die doppelte „Lichtmenge“ auf den Sensor trifft. Eine Verdoppelung der Blende oder des ISO-Werts führt zu einer Halbierung der Leuchtdichte. Um die Tiefenschärfe und das Rauschen nicht zu beeinflussen, bietet es sich an, die Anpassung der Kamera an die Lichtverhältnisse der Örtlichkeit über die Belichtungszeit vorzunehmen.

### 5 Farbbildkalibrierung

Wie eingangs bereits erwähnt, muss jedoch bei der Messung der Leuchtdichte die Wellenlängenabhängigkeit des Auges berücksichtigt werden ( $V(\lambda)$ -Anpassung). Bei einem Leuchtdichtemessgerät wird diese Wellenlängenabhängigkeit durch entsprechende Filter erzeugt, vergleiche Bild 3. Bei einer Digitalkamera sind zur Erzeugung eines Farbbilds dem Sensor Farbfilter vorgelagert, beispielsweise der in Bild 6 dargestellte Bayer-Filter. Eine Digitalkamera kann somit eigentlich keine Schwarz-Weiß-Bilder aufnehmen. Wird die Funktion „Schwarz-Weiß-Bild“ in einer Digitalkamera aktiviert, so erfolgt eine Umrechnung aus dem RGB- (Rot-Grün-Blau) Farbraum in ein Graubild. Hierbei wird, um dem menschlichen Seheindruck zu entsprechen, der grüne Bereich des optischen Spektrums stärker als der rote und der wiederum leicht stärker als der blaue bewertet.

Um hier eine eindeutige und wellenlängenspezifische Zuordnung zu erreichen, muss eine Kalibrierung erfolgen, die die entsprechenden Farbpixel in der

Kamera jeweilig einzeln einer Leuchtdichte zuordnet. Dieses Verfahren wird durch die Firma Image-Engineering zur Kalibrierung von Kameras eingesetzt<sup>5</sup>. Lässt man seine Kamera dort kalibrieren, so erhält man ein Excel-Sheet, mit dessen Hilfe man aus den Rot-Grün-Blau-Werten eines Bildes, unter Berücksichtigung der Blendeneinstellung, des ISO-Wertes und der Belichtungszeit eine Leuchtdichte berechnen kann. Die so bestimmte Leuchtdichte gilt ausschließlich für die kalibrierte Kamera und das mitkalibrierte Objekt.

Um ein möglichst breites Spektrum an Kameras abdecken zu können, wurde zunächst als Basis für die Bilder das gebräuchliche jpg-Format kalibriert, da nahezu jede Kamera in der Lage ist dieses Format zu erzeugen. Die proprietären Formate der Rohdaten (raw, nef, usw.) eignen sich zur Bestimmung der Leuchtdichte aufgrund der nahezu unverändert vorliegenden Daten des Chips besonders, haben jedoch den Nachteil, dass eine Bearbeitung der Bilder durch die unterschiedlichen herstellerspezifischen Datenformate erschwert wird.

Ein weiterer Vorteil des jpg-Formats sind die nahezu vollständig genormten exif-Informationen<sup>6</sup>. Dieses sind Aufnahmeinformationen, die mit dem Bild gespeichert werden und die Aufnahmebedingungen, wie zum Beispiel Kameratyp, Blende und Belichtungszeit, beinhalten. Steht ein Lichtbild, das mit einer kalibrierten Kamera aufgenommen wurde, im jpg-Format zur Verfügung und ist die Kalibrierungstabelle bekannt, so liegen alle nötigen Aufnahmeinformationen ebenfalls digital vor. Aus der „Helligkeitsverteilung“ des Bildes kann jetzt eine Leuchtdichteverteilung generiert werden, ohne dass weitere Parameter manuell eingegeben werden müssen, was die Fehleranfälligkeit senkt.

Die Kombination aus einem jpg-Bild und gleichzeitig aufgenommenen Rohdaten ermöglicht es, die Vorteile der exif-Informationen mit der Genauigkeit der Rohdaten zu kombinieren. Da der Verfasser eine Vielzahl von Leuchtdichtemessungen durchführt, wurde

die Auswertung in Zusammenarbeit mit Image-Engineering automatisiert. Das entstandene Programm „Measure-Light“ wertet die Erkennbarkeitsentfernungen von Fußgängern halb automatisch aus, eine ähnliche Auswertung ist auch mittlerweile in dem von der Firma DSD vertriebenen Programm PC-Rect (Version 4.2) implementiert.

### 6 Messung vor Ort

An der Unfallstelle wird der Pkw beispielsweise in 5-m-Intervallen in Annäherung an den Kollisionsort positioniert. Die Fußgängerposition ergibt sich aus der unfallanalytischen Rekonstruktion. In jeder Pkw-Position wird ein korrekt belichtetes Foto der Situation aus Fahrersicht aufgenommen. Eine korrekte Belichtung liegt dann vor, wenn die später zu messenden Bereiche keine Grauwerte im Grenzbereich aufweisen. Damit sind alle relevanten Daten erfasst.

### 7 Auswertung

Zur Vermessung einer Lichtbildserie wird zunächst die Kalibrationsdatei der verwendeten Kamera geladen. Aufgrund der exif-Informationen ist eine Überprüfung der Kamera (Hersteller, Typ etc.) möglich. Die weiteren Einstellungen bei der Bildaufnahme (Belichtung, ISO-Wert und Blende) werden ebenfalls den exif-Informationen entnommen. Auf dem Lichtbild werden durch Aufziehen von Rechtecken am Bildschirm die zu verwendenden Messbereiche markiert und gleichzeitig von der Software als Messbereich im Bild gekennzeichnet. Innerhalb dieses Messbereichs werden die Leuchtdichten gemittelt berechnet. Üblicherweise besteht ein solcher Messbereich aus mehr als 100 Einzelpunkten, sodass es durch Rauschen der einzelnen Bildpunkte nur zu einem zu vernachlässigenden Fehler

<sup>5</sup> D. Wüller, H. Gabele, „Digitale Standard-Spiegelreflexkameras als Leuchtdichtemessgeräte im mesopischen Bereich“, EVU-Konferenz (2009)

<sup>6</sup> exif: exchangeable image file format

kommt. Durch dieses Verfahren ist gewährleistet, dass der anvisierte Messbereich auch dem gemessenen Bereich entspricht, was bei einer Leuchtdichtemessung mit einem punktwise arbeitenden Leuchtdichtemessgerät nicht immer der Fall ist.

Aus den Bildern muss zunächst die Umgebungsleuchtdichte bestimmt werden. Dieser Bereich ist in **BILD 10** gelb markiert. Für die verschiedenen Abstände werden die Messbereiche auf dem Fußgänger (markiert mit „O“ für Objekt) und neben dem Fußgänger („H“ für Hintergrund) in den Bildern markiert, **BILD 11**. Es liegen dann die Messwerte zusammen mit den Entfernungen zum Fußgänger tabellarisch vor.

Da die Größe eines Fußgängers je nach Front- oder Seitensilhouette bekannt ist, kann hieraus ebenfalls der relevante Sehwinkel bestimmt werden, der für die Auswertung der Erkennbarkeit mittels Berek'scher Kurven von Bedeutung ist. Die Berek'schen Kurven sind im Programm analytisch hinterlegt, sodass hier direkt die erforderliche Schwellenleuchtdichte (abhängig von der Umgebungsleuchtdichte) durch das Programm berechnet werden kann, siehe **BILD 12**.

Da sowohl die Messwerte als auch die „Theoriewerte“ für unterschiedliche Abstände bekannt sind, kann direkt die Darstellung der erforderlichen Leuchtdichtedifferenzen mit den vorhandenen Leuchtdichtedifferenzen in dem Soll-Ist-Diagramm erfolgen, **BILD 13**. Die Erkennbarkeitsentfernung ist dann die Entfernung, bei der die vorhandenen Leuchtdichtedifferenzen (schwarze Linie) die benötigten Leuchtdichtedifferenzen (grüne beziehungsweise rote Linie) überschreitet, im vorliegenden Fall also 35 m.

## 8 Diskussion

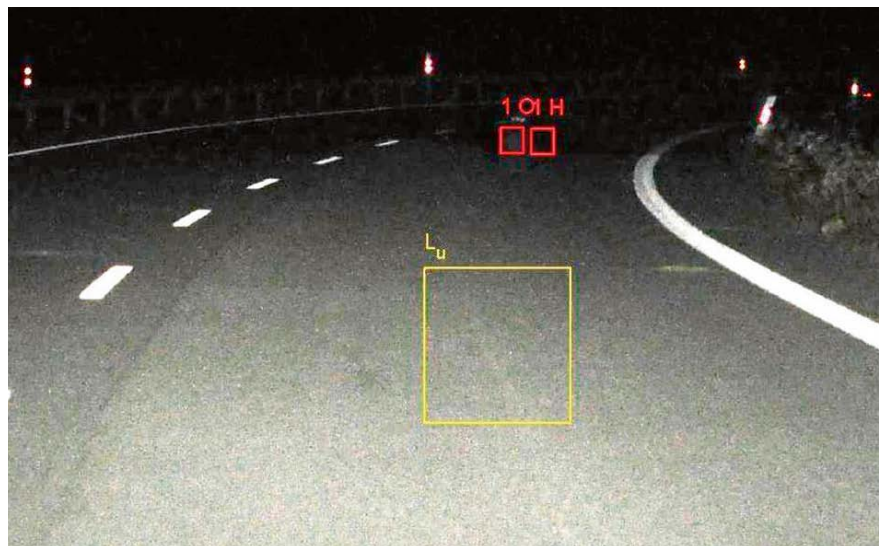
Der große Vorteil einer lichttechnischen Untersuchung mithilfe einer kalibrierten Digitalkamera liegt in der kurzen Durchführungszeit der Messung vor Ort. Hierdurch können einerseits sich verändernde Beleuchtungssituationen (Dämmerung) erfasst werden, andererseits reicht eine kurz-

fristige Sperrung der Unfallstelle, oder das Abwarten einer entsprechend der Unfallsituation ruhigen Verkehrssituation aus, um die „Messung“ durchzuführen.

Durch die Darstellung der Verkehrssituation als Falschfarbenbild können die erkennbaren Bereiche des Fußgängers sichtbar gemacht und dadurch kann der Seheindruck des Pkw-Fahrers nachempfunden werden. In **BILD 14** ist im oberen Bild ein liegender Fußgänger

auf der Straße aus 25 m Entfernung dargestellt, im unteren Bild die Falschfarbenbendarstellung. Die Kontur des Fußgängers hebt sich gegen den Hintergrund ab, hellere Bereiche der Fußgängerkleidung treten deutlich hervor.

Die eingeschränkte Kalibrierung einer Kamera kann jedoch nicht an die Genauigkeit eines Leuchtdichtemessgeräts heranreichen. Das folgt bereits aus der Überlegung, dass die Messungen eines Leuchtdichtemessgeräts der Kalib-



**BILD 10:** Fußgänger mit Messfeldern in 60 m Entfernung (nachträglich aufgehellt)

**FIGURE 10:** Pedestrian with measuring fields at a distance of 60 m (subsequently lightened)



**BILD 11:** Fußgänger mit Messfeldern in 20 m Entfernung

**FIGURE 11:** Pedestrian with measuring fields at a distance of 20 m

rierung zugrunde liegen. Die Genauigkeit muss somit deutlich hinter der Genauigkeit eines Leuchtdichtemessgeräts zurückbleiben.

Für die Auswertung ist die absolute Leuchtdichte jedoch nicht wesentlich, da – bis auf die Umgebungsleuchtdichte – lediglich Leuchtdichtedifferenzen bestimmt werden müssen. Die Differenz

ist relativ unempfindlich gegenüber einer Schwankung des Absolutwerts der Leuchtdichte.

Zu berücksichtigen ist ebenfalls die im Vergleich zum Auge sehr geringe Dynamik einer Kamera. Das Auge ist in der Lage, sehr helle Bereiche und gleichzeitig auch sehr dunkle Bereiche aufzunehmen.

Ein großer Dynamikumfang ist jedoch für eine lichttechnische Untersuchung im Allgemeinen nicht erforderlich, da der Leuchtdichteunterschied zwischen dem Objekt und dem Hintergrund klein ist, ansonsten wäre der Fußgänger ja problemlos zu erkennen. Überschreitet die Leuchtdichtedifferenz des Fußgängers zum Hintergrund die Dynamik einer Kamera, so ist der Fußgänger im Allgemeinen ebenfalls problemlos zu erkennen. Für eine lichttechnische Untersuchung ist somit die Dynamik einer Kamera aus vorgenannten Gründen innerhalb eines einzelnen Bildes ausreichend.

Allerdings muss man Vorsicht walten lassen, wenn es um die Beeinflussung durch Blendung geht. Eine starke Blendung kann von der Kamera aufgrund des beschränkten Dynamikbereichs nicht erfasst werden. Eine Blendung muss deshalb immer separat betrachtet werden.

Durch das nachträgliche Aufziehen eines Rechtecks ist der Messbereich im Digitalbild genau definiert. Die Positionierung des Messbereichs kann somit präzise erfolgen; der verwendete Messbereich wird nachvollziehbar dokumentiert. Bei der Verwendung eines Leuchtdichtemessgeräts ist zwar ein genauere Messwert zu erwarten, jedoch ergibt sich bei einer leichten Abweichung vom anvisierten Objekt während der Freihandmessung meist eine Schwankung der Leuchtdichte, die den Messwert stärker verändern kann als die Ungenauigkeit durch die Kalibration.

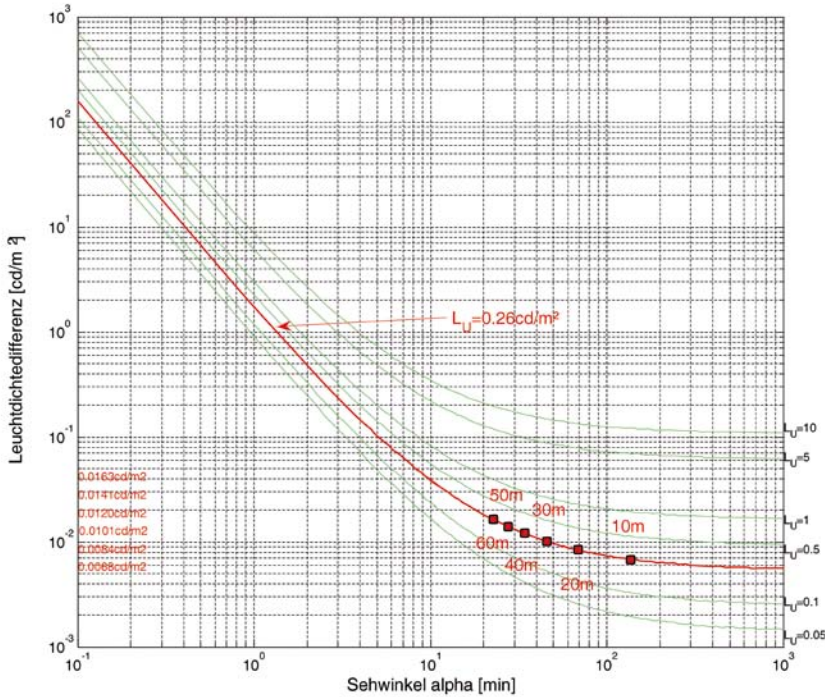


BILD 12: Berek'sche Kurven  
 FIGURE 12: Berek curves

Entf.	Theorie	Praxisf. 3	Praxisf. 4	Istwert
60	0.0163	0.0489	0.0652	0.0028
50	0.0141	0.0422	0.0563	0.0038
40	0.0120	0.0361	0.0481	0.0061
30	0.0101	0.0304	0.0405	0.1509
20	0.0084	0.0251	0.0335	0.8464
10	0.0068	0.0204	0.0272	1.4399

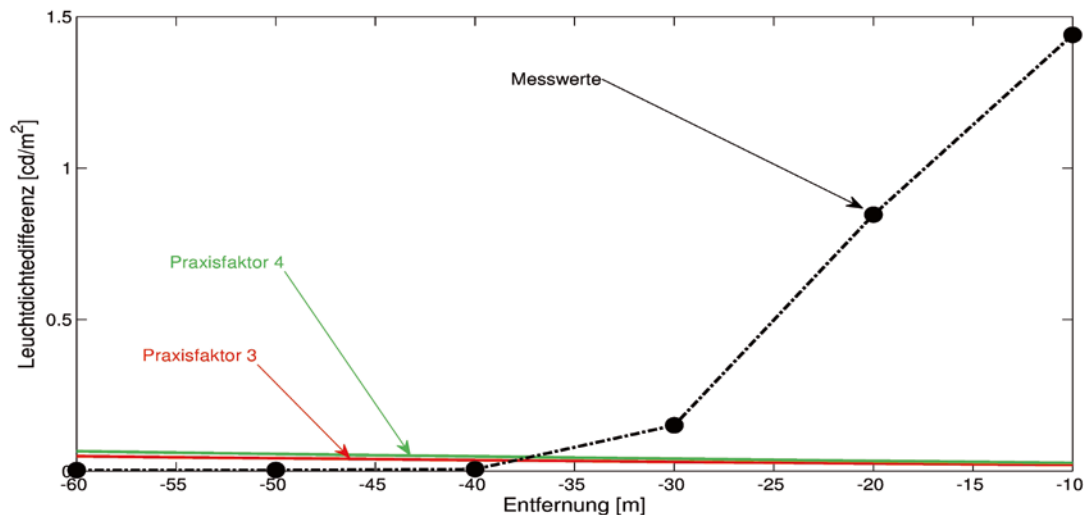


BILD 13: Soll-Ist-Diagramm (SI-Diagramm)  
 FIGURE 13: Target/actual graph



**BILD 14:** Aufnahme eines liegenden Fußgängers aus 25 m Entfernung und Darstellung als Falschfarbenbild

**FIGURE 14:** Image of a lying pedestrian from a distance of 25 m and representation as a false-colour image



Wie der Verlauf der Messwerte in Bild 13 zeigt, steigt die Leuchtdichtedifferenz ab einer bestimmten Pkw-Entfernung zum Fußgänger steil an, nämlich dann, wenn die Hell-Dunkel-Grenze des Scheinwerfers den Fußgänger erfasst. Eine Veränderung des Messwerts führt dann nur zu einer Änderung der Sichtbarkeitsentfernung von wenigen Metern.

Im Gegensatz zu einer Besichtigung im Rahmen eines Ortstermins bietet das vorgestellte Verfahren eine preisgünstige und schnelle Möglichkeit, die Leuchtdichten vor Ort zu messen und nachvollziehbar zu dokumentieren und auszuwerten

Praxistipp:

- Spiegelreflexkamera mit lichtstarkem Festbrennweitenobjektiv erwerben
- Kamera kalibrieren lassen (Fa. Image Engineering, Frechen)
- Fotos mit (Scheiben-)Stativ an der Unfallörtlichkeit erstellen
- Entfernungen zum Fußgänger in 5- oder 10-m-Schritten auf der Straße markieren
- Belichtungszeit so anpassen, dass keine Unter- oder Überbelichtungen im Messbereich auftreten (Abblendlicht bspw. ISO 200, Blende 2,2, Belichtungszeiten zwischen 0,5 bis 2,0s)
- Auswertung über Grafikprogramm und Berechnungsblatt von Image Engineering, PC-Rect 4.2 oder beim Verfasser möglich.

#### **Studies of lighting systems using a standard digital camera**

The following report shows how a standard reflex camera can be used as a luminance meter for studying lighting systems. The required calibration then makes it possible to generate a luminance distribution from the image brightness recorded. The absolute light density is less precise than the light density measured by a luminance meter. However, for the determination of detectability, it is only the difference in light density (between the object and the background) that is of significant importance, and this can be determined sufficiently accurately from the image.

## 9 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird dargestellt, wie eine Standard-Spiegelreflexkamera als Leuchtdichtemessgerät für eine lichttechnische Untersuchung eingesetzt werden kann. Die erforderliche Kalibrierung ermöglicht es sodann, aus der aufgenommenen „Bildhelligkeit“ eine Leuchtdichteverteilung zu generieren. Die absolute Leuchtdichte ist dabei ungenauer als die durch ein Leuchtdichtemessgerät gemessene Leuchtdichte. Für die Bestimmung der Erkennbarkeit ist jedoch nur die Leuchtdichtedifferenz (zwischen Objekt und Hintergrund) von wesentlicher Bedeutung, die aus dem Bild hinreichend genau bestimmt werden kann.

Die digital vorliegenden Daten aus der lichttechnischen Untersuchung können direkt mit Berek'schen Kurven verglichen und so die Erkennbarkeitsentfernung bestimmt werden.

Die Durchführung einer lichttechnischen Untersuchung wird vor Ort stark vereinfacht, da von der Situation lediglich ein (richtig belichtetes) Bild gefertigt werden muss. Die anschließende Auswertung kann dann halbautomatisiert am Computer erfolgen.

Zusammenfassend kann somit durch Erstellen der Lichtbilder mit einer kalibrierten Kamera die Leuchtdichteverteilung vor Ort in sehr kurzer Zeit erfasst werden. Anschließend wird am Computer die Erkennbarkeit von Objekten durch einfaches Markieren berechnet.

#### **\* Autor**

Dipl.-Phys. Dr. rer. nat. Tim Hoyer ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und arbeitet im Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke in Münster. ::