

Bewertung von Sichtverhältnissen im nächtlichen Straßenverkehr mit Leuchtdichteanalysatoren (bildauflösender Leuchtdichtemeßtechnik)

Ingo Fischbach
TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH
Ehrenbergstraße 11
D – 98693 Ilmenau

Die Bewertung von Sichtverhältnissen im nächtlichen Straßenverkehr ist eine komplexe Aufgabe und stützt sich unter anderem auf die vorhandene Leuchtdichteverteilung, die sich einem Fahrzeugführer anbietet. Die ortsauflösende Messung der Leuchtdichte ist das angemessene meßtechnische Äquivalent zum menschlichen Sehen zur Bewertung solcher Verteilungen.

Dabei hat sich bisher gegenüber der zeitaufwendigen punktwisen Vermessung mit Einzelsensoren die fotografische Leuchtdichtemessung bewährt. Der Ersatz der fotografischen Leuchtdichtemeßtechnik durch eine digitale bildauflösende Leuchtdichtemeßkamera eröffnet Möglichkeiten zur schnellen und genauen Bestimmung einer Vielzahl von lichttechnischen Parametern und Güteigenschaften, die sich aus den Leuchtdichten einer aufgenommenen Szene ergeben.

Parameter Sichtweite

Der wesentliche Parameter zur Bewertung von Sichtverhältnissen im nächtlichen Straßenverkehr ist die Sichtweite. Die Berechnung solcher Sichtweiten ist immer mit Unsicherheitsfaktoren behaftet, da neben der Leuchtdichteverteilung weitere Faktoren wie z.B. die Blickstrategie, die physische und die psychische Verfassung des Beobachters einfließen.

Die Berechnung von Sichtweiten ist in /ECK93/ beschrieben und stützt sich auf zwei zu erfassende, in ihrer Spezifik verschiedenen Datentypen.

Photometrische Daten

- Leuchtdichtedaten einzelner Objekte (z.B. in Referenzpunkten einer zu erkennenden Person)
- Von den Leuchtdichten abgeleitete Daten (z.B. mittlere Leuchtdichten im Umfeld)

Photogrammetrische Daten

- Geometrische Daten (Sichtwinkel, Raumwinkel von Blendquellen, Objektgrößen)
- Daten zur Objektdefinition und -kennzeichnung (Separierung, Zuordnung Blendquelle-Umfeld)

Leuchtdichte – Analytik

- Äquivalente Schleierleuchtdichte und Adaptationsleuchtdichte, Inkrementale Schwellenwerterhöhung
- Schinkelberechnung und Sichtweitenberechnung

Berechnung der Sichtweiten aus der Leuchtdichteverteilung

Ziel von Unfalluntersuchungen und der Rekonstruktion von Straßenverkehrsunfällen aus der Sicht der optischen Wahrnehmungssicherheit ist unter anderem das Gutachten, ob eine Sehdetail bei der gegebenen Leuchtdichteverteilung erkennbar ist. Aussagen hierzu können mit den Sichtweiten gegeben werden, die sich aus der Leuchtdichteverteilung berechnen.

Hierzu wird zuerst die Adaptationsleuchtdichte im Gesichtsfeld des Unfallbeteiligten bestimmt. Die Blickstrategie des Unfallbeteiligten spielt dabei eine wesentliche Rolle für den Adaptationszustand. Zur Vereinfachung wird in /ECK93/ von Entfernungen einer geradlinig leicht geneigten Blickrichtung ausgegangen:

- 40 m Blickentfernung bei ausschließlicher Kfz-Scheinwerferbeleuchtung
- 70 m Blickentfernung bei stationärer Straßenbeleuchtung

Die Adaptationsleuchtdichte ergibt sich dann aus einem kreisförmigen Raumwinkel mit einem Öffnungswinkel von $\alpha = 20^\circ$. Die äquivalente Schleierleuchtdichte wird nur für die Blendlichtquellen im Gesichtsfeld bestimmt. Dazu sollten neben der Berechnung entsprechend (Gleichung 1) nach Carraro /ECK93/ oder die (Gleichung 2) lt. Holladay /HOL26/ herangezogen werden.

$$L_v = 8,34 \cdot E_{Bl}^{0,58} \cdot \Theta^{-0,75}$$

Gleichung 1

$$L_v = k \cdot E_{Bl} \cdot \Theta^{-2}$$

Gleichung 2

mit:

- L_v äquivalente Schleierleuchtdichte
- k altersabhängiger Faktor (z.B. $k = 9,2$ für 30 Jahre)
- E_{Bl} Die Blendbeleuchtungsstärke am Auge berechnet sich nach (Gleichung 3).
- Θ Der Winkel zwischen direkter Sichtrichtung und Blendquelle läßt sich aus den Kalibrierdaten der einzelnen Pixel berechnen.

$$E_{Bl} = \int_{\text{Gesichtsfeld}} L_{Bl} d\Omega_p \quad \text{Gleichung 3}$$

mit:

- L_{Bl} Leuchtdichten der Blendquelle
- Ω_p projektiv wirkende Raumwinkel der Einzelleuchtdichten der Blendquelle

Die Adaptationsleuchtdichte ergibt sich nun aus der Summe von mittlerer Leuchtdichte im Gesichtsfeld und der äquivalenten Schleierleuchtdichte.

$$L_A = L_m + L_v \quad \text{Gleichung 4}$$

Der Einfluß der Blendlichtquellen kann dann mit der prozentualen Schwellenwerterhöhung TI bestimmt werden:

$$TI = 65 \cdot \frac{L_v}{L_m^{0,8}} \% \quad \text{Gleichung 5}$$

- L_v, L_m Die äquivalente Schleierleuchtdichte und die mittlere Leuchtdichte werden in cd/m^2 eingesetzt. Diese Gleichung ist für $L_m = 0,1 \dots 5 \text{ cd/m}^2$ gültig.

Für ein bestimmtes Objekt kann nun die Sichtbarkeitsweite ermittelt werden. Dazu werden die vorhandenen Leuchtdichteunterschiede ΔL vermessen. Für Fußgänger werden in /ECK93/ 11 bis 13 korrespondierende Meßpunkte empfohlen. Durch Gleichsetzen der ermittelten Leuchtdichteunterschiede mit dem Schwellenleuchtdichteunterschied nach Adrian /ADR69/ entsprechend (Gleichung 6) kann der Sehwinkel α mit (Gleichung 7) und mit der Ausdehnung m die Erkennbarkeitsweite s nach (Gleichung 8) berechnet werden.

$$\Delta L_{\text{vorh}} = L_S = (1 + TI / 100) \cdot K \cdot C \cdot \left(\frac{A}{a} + B \right)^2 \quad \text{Gleichung 6}$$

mit:

- ΔL_{vorh} Die vorhandenen Leuchtdichteunterschiede korrespondierender Meßpunkte.
- ΔL_S Schwellenleuchtdichteunterschied
- K Faktor zur Wahrnehmungswahrscheinlichkeit
 $K = 1$ für 50%ige Wahrnehmungswahrscheinlichkeit
 $K = 3,1$ für nahezu 100%ige Wahrnehmungswahrscheinlichkeit
- C Praxisfaktor zur Kennzeichnung der Unterschiede von Labor- und Feldbedingungen.
 $C = 10$ allgemeiner Faktor
- α Sehwinkel in Winkelminuten für das zu erkennende Objekt
- A, B Konstanten, die aus den Blackwell-Daten gewonnen wurden. Sie sind eine Funktion der Umfeldleuchtdichte und sind tabellarisch bestimmbar /ECK93/.

$$a = \frac{A}{\sqrt{\frac{L_{\text{vorh}}}{(1 + TI / 100) \cdot K \cdot C} - B}} \quad \text{Gleichung 7}$$

$$s = \frac{m}{\tan a} \quad \text{Gleichung 8}$$

mit:

- m Abmessung des zu erkennenden Objektes

Diese Berechnungen sind nur für von der Entfernung unabhängige ΔL und ΔL_A möglich

Umsetzung spezifischer Meßprobleme

Leuchtdichteverteilungen bei Dämmerung und Dunkelheit stellen zum Teil hohe Anforderungen an die bildauflösende Leuchtdichtemeßtechnik. In den Dunkelstunden sind vor allem niedrige Leuchtdichten ($0,01 \text{ cd/m}^2$) in den Leuchtdichteverteilungen enthalten. Neben den geringen Leuchtdichten treten oft auch extrem hohe Leuchtdichten ($> 10 \text{ Mcd/m}^2$) von entgegenkommenden Kraftfahrzeugen auf. Damit ergeben sich vor allem hohe Anforderungen an die Meßdynamik der bildauflösenden Leuchtdichtemeßtechnik.

Blickwinkel

Für die fotografische Methode haben sich bei 60mmx60mm Filmmaterial 120mm Brennweite und für Kleinbildfilm 24mmx36mm 100mm Brennweiten als sinnvoll herausgestellt. Dem entsprechend läßt sich die Brennweite für eine CCD-Matrix bestimmen:

Bildfeld	Brennweite	Bildfeldwinkel 27	½“ äquivalente Brennweite	verfügbare Brennweite
60mm x 60mm	120mm	14° x 14°	13mm	10mm, 6mm
24mm x 36mm	100mm	13.7° x 20.4°	17mm	10mm, 25mm

Tab. 1 - Mögliche Bildfeldwinkel

Mit dem verfügbaren 10mm Objektiv ergaben sich folgende Bildfeldwinkel:

Bildfeldwinkel 2u-horizontal (10mm)	34.8 °
Bildfeldwinkel 2u-vertical (10mm)	26.2 °

Tab. 2 - Realisierte Bildfeldwinkel

Geometrische Auflösung

Zu bewerten sind Personen (ca. 180cm). Für die densitometrische Vermessung von Filmmaterial werden Meßfelder gewählt, die einer realen Größe von ca. 15cm x 15cm entsprechen. Für die entsprechenden Bewertungsentfernungen lt. Tab. 6, ergeben sich die Ausdehnungen auf der Matrix und die genannten Meßfeldwinkel:

Objektgröße	Parameter	Position 1 - 10m	Position 1 - 30m	Position 1 - 50m
15cm x 15cm	Meßfeldwinkel	0.86°	0.29°	0.16°
	Anzahl Pixel	18 x 18	7 x 7	3 x 3
180cm	Meßfeldwinkel	10.2°	3.4°	1.9°
	Anzahl Pixel	228	75	42

Tab. 3 - Geometrische Auflösung zu vermessender Objekte

Dynamik

Die Dynamik einer einzelnen Aufnahme ist bei einer Auflösung von z.B. 8 bit auf 1 : 256 beschränkt. Zu einer beträchtlichen Erhöhung des Dynamikumfangs im Leuchtdichtebild gelangt man, wenn Kameraaufnahmen mit unterschiedlichen Integrationszeiten zur Berechnung eines Leuchtdichtebildes herangezogen werden. Als Verbesserung des Dynamikumfangs wird dabei verstanden, daß auch im Vergleich zu den im Bild auftretenden Maximalwerten sehr kleine Leuchtdichten mit einer guten Genauigkeit bestimmt werden. Die Grundidee besteht darin, die Leuchtdichte sehr heller Bildteile aus Bildern mit einer kurzen Integrationszeit, die Leuchtdichte dunkler Bildteile aus Bildern mit sehr langer Integrationszeit zu bestimmen. Dabei sind in den Bildern mit sehr langer Integrationszeit die hellen Bildteile bereits übersteuert. Dieses Verhalten wird deshalb im Algorithmus zur Berechnung der Leuchtdichte berücksichtigt.

Leuchtdichtebereiche und photometrische Auflösung

Zur Bewertung von Sichtweiten sind vor allem extrem niedrige Leuchtdichten von bis zu $0,01 \text{ cd/m}^2$ der zu erkennenden Objekte und deren Umgebung zu erfassen. Die für die einzelnen Entfernungen berechneten minimalen Leuchtdichten beziehen sich auf eine absolute Genauigkeit von 10% (mindestens 10 LSB pro Wert).

Die Begrenzung der geometrischen Auflösung der CCD-Matrix und die damit verbundene Mittelwertbildung verringert oft die zu erfassenden hohen Leuchtdichten der Blendscheinwerfer. Werden jedoch auch extrem hohe Leuchtdichten geometrisch aufgelöst, können diese mit einem zusätzlichen Neutralglasfilter vermessen werden. Ein verfügbares Filter mit einer Transmission von $t = 4,218 \cdot 10^{-4}$ führt zu den in Tab. 4 aufgeführten Leuchtdichtegrenzen.

IT	L(max)	Lmin (1x1)	Lmin (18x18)	Lmin (7x7)	Lmin (3x3)
100 us	28 000 cd/m ²	1 400 cd/m ²	-	-	-
5 s	0.558 cd/m ²	0.028 cd/m ²	1.6*10 ⁻³ cd/m ²	4*10 ⁻³ cd/m ²	9*10 ⁻³ cd/m ²

Tab. 4 - Niedrige Leuchtdichtebereiche

IT	L(max)	Lmin (1x1)	Lmin (18x18)	Lmin (7x7)	Lmin (3x3)
100 us	66 Mcd/m ²	3.3 Mcd/m ²	-	-	-
5 s	1323 cd/m ²	66 cd/m ²	-	-	-

Tab. 5 – Extrem hohe Leuchtdichtebereiche mit Neutralglasfilter

Vergleich unterschiedlicher Meßverfahren anhand einer realen Szene

Zur Einordnung der bildauflösenden Leuchtdichtemeßkamera gegenüber bisherigen Meßgeräten zur Erfassung von Sichtweiten im nächtlichen Straßenverkehr bietet sich die Vermessung einer realen Szene an. Die vermessene Szene stellte eine verkehrsberuhigte Zone dar. Bei einer Umgebungstemperatur von 15°C zeigte sich schwacher Strahlungsnebel, der visuell erst über größere Entfernungen (2km) erkennbar war. Es galten folgende Randbedingungen:

Fahrbahnbreite	6,00m
Abstand Unfallfahrzeug – Blendfahrzeug	45m
Scheinwerferhöhe am Unfallfahrzeug	0,74m
Scheinwerferabstand	1,30m
Augenhöhe des Fahrers	1,25m

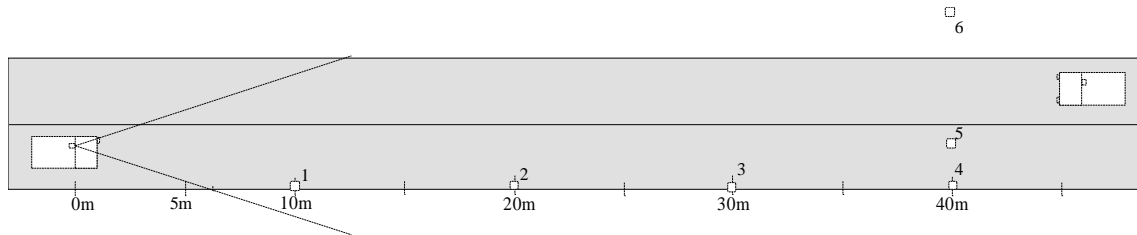


Abb. 1 – Anordnung der zu bewertenden Szene

Die Bewertung von Sichtweiten wird für 4 verschiedene Entfernungen durchgeführt. Dabei wurden die Adaptionsleuchtdichten, Leuchtdichten an einer stehenden Person und Beleuchtungsstärken an dem Ort des Auges des Unfallverursachers vermessen.

Position	Entfernung	Bemerkung
1	10 m	Im Nahbereich des Fahrzeugführers
2	20 m	Mittlere Entfernung zwischen eigenem Fahrzeug und Blendfahrzeug
3	30 m	Außerhalb der direkten Beleuchtung durch den eigenen Scheinwerfer
4	40 m	Größte Beobachtungsentfernung
5	40 m	In angenommener Blickrichtung der Unfall-Verursachers
6	40 m	Markierung zur seitlichen Kennzeichnung des 20° Blickfeldwinkels

Tab. 6 - Positionsmarken

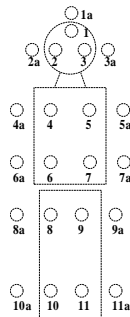


Abb. 2 - Bewertungspunkte an einer Person

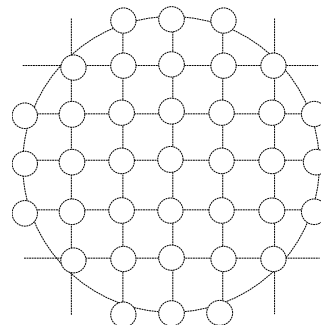


Abb. 3 - Meßpunktraster zur Bestimmung der Adaptionsleuchtdichte

Die Berechnung der einzelnen Sichtweiten erfolgt nach dem oben aufgeführten Verfahren. Das Vorgehen zur Ermittlung von Leuchtdichteparametern zur Bewertung der Szene hängt dabei vom jeweiligen Meßverfahren ab:

<p>Bildauflösende Leuchtdichtemessung</p>	<p>Meßgerät: Bildauflösende Leuchtdichtemeßkamera LMK96 der Firma TechnoTeam</p> <p>Aufnahme: Nach der Justierung der Leuchtdichtemeßkamera in Beobachterposition erfolgt die Vermessung mit dem gerätespezifischen Verfahren der Hohen-Dynamik-Messung. Dabei werden wie oben beschrieben Aufnahmen unterschiedlicher Meßbereiche in einem Ergebnisbild zusammengefaßt.</p> <p>Auswertung: Die Auswertesoftware der LMK96 ermöglicht die Definition unterschiedlicher Meßregionen. Dabei wird die mittlere Leuchtdichten an den in Abb. 2 gekennzeichneten Punkten berechnet. Die Adaptationsleuchtdichte ergibt sich aus der mittleren Leuchtdichte des gesamten 20°-Beobachterfeldes, die rechentechnisch bestimmt werden kann.</p>
<p>Fotografische Leucht- dichtemessung</p>	<p>Meßgerät:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kleinbild Fotoapparat Brennweite 75mm • Filmmaterial 27DIN s/w • Referenzleuchtdichten als Stufennormal • Densitometer <p>Aufnahme: Die Szene wird nach Justierung an Beobachterposition mit unterschiedlichen Blenden (4, 8, 11) bei einer Belichtungszeit von 10s fotografiert. Im lichttechnischen Labor wird ein Graustufenkeil mit bekannten Leuchtdichten und den gleichen Aufnahme-parameter fotografiert.</p> <p>Auswertung: Die Leuchtdichten werden anschließend durch densitometrischen Vermessung des Filmes und Verrechnung mit der aus den Aufnahmen des Graustufenkeils bekannten Schwärzungskurve berechnet. Die Adaptationsleuchtdichte ergibt sich dabei aus dem Mittelwert der in Abb. 3 aufgeführten Meßpunkte.</p>
<p>Punktförmig messendes Leucht- dichtemeßgerät</p>	<p>Meßgerät: Leuchtdichtemesser LS110 der Firma Minolta. Meßfeldwinkel 0,3°.</p> <p>Aufnahme: Entsprechend dem Meßpunkten von Abb. 2 und Abb. 3 werden die Leuchtdichten durch Anvisieren von der Beobachterposition aus vermessen und protokolliert.</p> <p>Auswertung: Zur Auswertung werden die protokollierten Meßwerte herangezogen. Die Adaptationsleuchtdichte ergibt sich dabei aus dem Mittelwert der in Abb. 3 aufgeführten Meßpunkte.</p>
<p>Visuelle Bewertung</p>	<p>Die visuelle Bewertung der Szene dient vor allem der Einschätzung der berechneten Sichtweiten durch eigenes Empfinden.</p>

Tab. 7 - Verfahren der Leuchtdichtevermessung zur Sichtweitenberechnung

Meßergebnisse

Die Vorgehensweise zur Berechnung von Sichtweiten wird beispielhaft für die Beobachtungsentfernung von 20m durchgeführt. Die Meßergebnisse der Beobachtungsentfernungen für 10m, 30m und 40m bei dem Autor verfügbar. Neben den Daten der bildauflösenden Vermessung werden die punktförmige und visuelle Bewertung angeführt. Die Daten aus der fotografischen Leuchtdichtemessung stehen für den Vergleich nicht zur Verfügung. Eine spätere Auswertung wird dies ergänzen.

Blendung durch Scheinwerfer

Der Blendeinfluß der Scheinwerfer kann durch die äquivalente Schleierleuchtdichte L_V nach Carraro entsprechend (Gleichung 1) oder nach Holladay entsprechend (Gleichung 2) beschrieben werden. Die Blendbeleuchtungsstärke wurde nach (Gleichung 3) integral über die Leuchtdichte einer, die Scheinwerfer vollständig umschreibenden Winkelregion bestimmt.

Die Blendparameter sind für alle Beobachtungsentfernungen im durchgeführten Versuch konstant, da die Positionen von Beobachterfahrzeug und Blendfahrzeug konstant gehalten wurden. Sie wurden deshalb nur einmal berechnet.

	linker Scheinwerfer	rechter Scheinwerfer
Blendwinkel T	3,0°	1,77°
$L_{\text{mean, Region}}$	307,88 cd/m ²	282,65 cd/m ²
O_{Region}	2,32 E-4 sr	2,32 E-4 sr
E_{blend}	0,071 lx	0,066 lx
$L_{V, Carraro}$	1,72 cd/m ²	1,15 cd/m ²
$L_{V, Holladay}$	0,403 cd/m ²	0,139 cd/m ²

Tab. 8 - Berechnung der äquivalenten Schleierleuchtdichte

Sichtweitenberechnung

Entsprechend den unterschiedlichen äquivalenten Schleierleuchtdichten nach Carraro und Holladay ergeben sich verschiedene Werte für die inkrementale Schwellwerterhöhung TI nach (Gleichung 5), für die Adaptationsleuchtdichte L_A und die Parameter zur Berechnung von Sichtweiten nach (Gleichung 7) und (Gleichung 8).

	$L_{\text{mittel, 20°}}$ [cd/m ²]	TI [%]		L_A [cd/m ²]	Parameter A, Blackwell	Parameter B, Blackwell
Carraro	2,68	84,77		5,55	1,564	0,117
Holladay	2,68	16,03		3,22	1,265	0,086

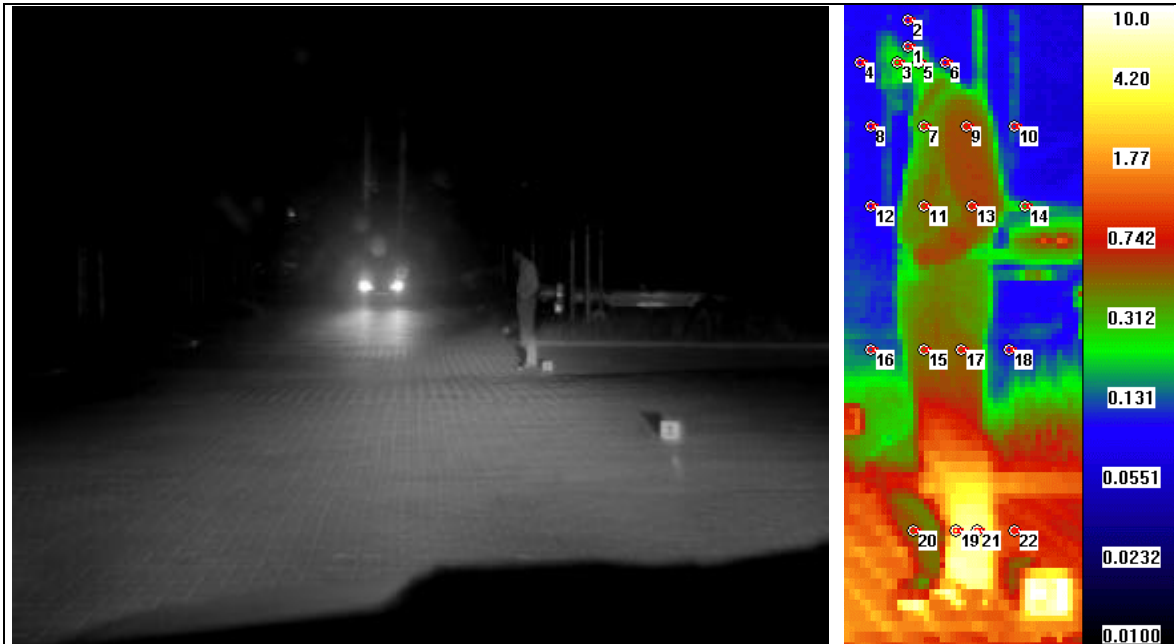
Tab. 9 - Berechnung der Parameter TI, A und B für 20m Beobachtungsentfernung, bildauflösend

Die mittlere Leuchtdichte des 20° Beobachterfeldes wurde bei der bildauflösenden Leuchtdichtemessung durch Auswertung aller Bildpunkte berechnet. Bei der punktförmigen Leuchtdichtemessung ergibt sie sich aus dem Mittelwert der Leuchtdichten, die an den entsprechend Abb. 3 gekennzeichneten Stellen erfaßt wurden. Wegen der Inhomogenität der Leuchtdichteverteilung innerhalb des 20° Beobachterfeldes und wegen der begrenzten Anzahl von Meßpunkten ist dieser Mittelwert (siehe Tab. 10) erwartungsgemäß geringer.

	$L_{\text{mittel, 20°}}$ [cd/m ²]	TI [%]		L_A [cd/m ²]	Parameter A, Blackwell	Parameter B, Blackwell
Carraro	1,46	137,81		3,83	1,353	0,095
Holladay	1,46	26,06		2,82	1,207	0,081

Tab. 10 - Berechnung der Parameter TI, A und B für 20m Beobachtungsentfernung, Punktmessung

Für die einzelnen korrespondierenden Meßpunkte an der zu erkennenden Person (siehe Abb. 2) können aus den Leuchtdichteunterschieden und den Parametern TI, A und B die Sichtwinkel und Sichtweiten berechnet werden. Die Sichtweitenberechnung ist lt. (Gleichung 8) ebenfalls von der zu erkennenden Objektgröße m (im Beispiel 0,15m und 0,30m) abhängig. Bei Sichtweiten über 20m sind die Objekte erkennbar. Die Werte dafür sind rot gekennzeichnet. Negative Werte und Werte, die kleiner als 20m sind, weisen auf Unsichtbarkeit hin.



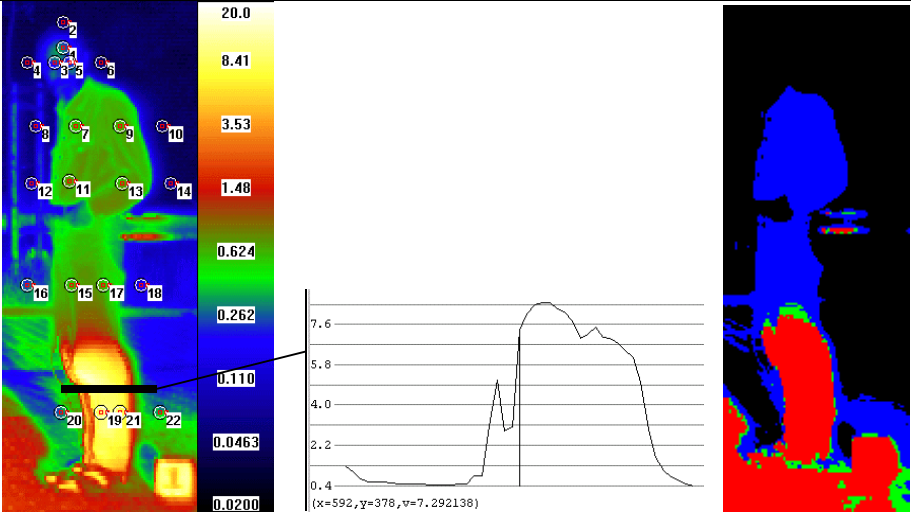
Punktpaar lt. Abb. 2	?L [cd/m ²]	Objektgröße [m]	Sichtwinkel a _{Carraro} [°]	Sichtweite s _{Carraro} [m]	Sichtwinkel a _{Holladay} [°]	Sichtweite s _{Holladay} [m]
1	0,09	0,15	-20,29	-25,43	-34,94	-14,77
2	0,15	0,15	-23,86	-21,62	-58,42	-8,83
3	0,14	0,15	-23,25	-22,19	-53,06	-9,72
4	0,28	0,3	-33,42	-30,88	634,41	1,61
5	0,46	0,3	-57,71	-17,88	47,12	21,90
6	0,38	0,3	-44,35	-23,27	76,45	13,49
7	0,4	0,3	-47,18	-21,87	65,83	15,67
8	0,34	0,3	-39,42	-26,17	115,14	8,96
9	0,41	0,3	-48,70	-21,19	61,63	16,74
10	5,33	0,15	8,30	62,13	4,24	121,80
11	5	0,15	8,75	58,96	4,41	116,87

Tab. 11 - Sichtweitenberechnung für 20m Beobachtungsentfernung, bildauflösend

Punktpaar lt. Abb. 2	?L [cd/m ²]	Objektgröße [m]	Sichtwinkel a _{Carraro} [°]	Sichtweite s _{Carraro} [m]	Sichtwinkel a _{Holladay} [°]	Sichtweite s _{Holladay} [m]
1	0,09	0,15	-22,62	-22,81	-37,01	-13,94
2	0,08	0,15	-21,89	-23,57	-34,14	-15,11
3	0,04	0,15	-18,93	-27,25	-24,83	-20,78
4	0,46	0,3	-85,93	-12,01	43,31	23,82
5	0,46	0,3	-85,93	-12,01	43,31	23,82
6	0,46	0,3	-85,93	-12,01	43,31	23,82
7	0,46	0,3	-85,93	-12,01	43,31	23,82
8	0,3	0,3	-43,72	-23,60	172,42	5,98
9	0,35	0,3	-52,37	-19,70	86,10	11,98
10	3,62	0,15	10,66	48,39	5,40	95,60
11	3,81	0,15	10,20	50,58	5,21	98,97

Tab. 12 - Sichtweitenberechnung für 20m Beobachtungsentfernung, Punktmessung

Die Leuchtdichten aus bildauflösender und punktförmiger Messung weichen geringfügig voneinander ab. Betrachtet man die Sichtweiten, die deutlich über 20m sind, so ist bei beiden Verfahren der untere Beinbereich als deutlich sichtbar berechnet worden. Die visuelle Betrachtung unterstützt das, da die zu beobachtende Person sich nur im Fuß- und unterem Beinbereich deutlich erkennbar von der Umgebung abhob. Die Bewertung von Leuchtlichteverhältnissen in der Szene kann mit bildauflösender Technik um viele Möglichkeiten erweitert werden:

Punktförmig messendes Leuchtdichtemeßgerät	Vermessung korrespondierender Meßpunkte. Probleme entstehen bei großen Entfernungen, wo Meßpunkte nur schwer angepeilt werden können.
Fotografische Leuchtdichtemessung	Vermessung korrespondierender Meßpunkte an Beobachtungspositionen. Der zeitliche Aufwand der densitometrische Vermessung beschränkt die Punktzahl.
Bildauflösende Leuchtdichtemessung	 <ol style="list-style-type: none"> Vermessung korrespondierender Meßpunkte an Beobachtungspositionen <ul style="list-style-type: none"> Form und Größe der zu vermessenden Regionen sind frei wählbar. Pseudocholorierung hilft bei der visuellen Einschätzung der Leuchtdichten Beliebige Leuchtdichtebereiche sind linear oder logarithmisch darstellbar. Winkelschnitte helfen bei der Bewertung von Leuchtdichteverläufen. Mittels Iso-cd/m² Darstellung können Leuchtdichtebereiche entsprechend den Sichtweitenberechnungen dargestellt werden. <p>15cm (1,24 cd/m² - ..) ROT 30cm (1,0 cd/m² - ..) ROT + GRÜN</p>

Tab. 13 - Bewertung der Meßergebnisse

Neue Möglichkeiten zur Bewertung optischer Wahrnehmungsprozesse

Der Einsatz von Leuchtdichteszenen mit bildauflösender Meßtechnik vereinfacht die Bewertung optischer Wahrnehmungsprozesse erheblich. Neben den schon erwähnten erweiterten Möglichkeiten im Rahmen der konkreten Messung kommen vor allem folgende Vorteile zum tragen:

- **Örtliche Verteilung:** Da alle Informationen über eine Szene mit einem Leuchtdichtebild erfaßt werden können, ist der Bezug zwischen verschiedenen Meßorten visuell und meßtechnisch leicht möglich. So können bei entsprechender Kalibrierung des Kamerasystems Winkelbeziehungen, Raumwinkel und Ausdehnungen von Objekten berechnet werden.
- **Zeiteinsparung bei der Messung:** Die Messung einer Vielzahl von Objekten benötigt nur einen Bruchteil der Meßzeit von punktförmig messenden Systemen, da alle Meßorte auf einmal erfaßt werden. Eine weitere Datenerfassung wie bei der densitometrischen Leuchtdichtevermessung von Negativfilmen entfällt.
- **Konstanz der Lichtverhältnisse:** Alle Meßdaten werden zum gleichen Zeitpunkt gewonnen.
- **Reproduzierbarkeit:** Das Leuchtdichtebild kann gespeichert werden und gestattet die beliebige Wiederholung der Auswertung zu einem späteren Zeitpunkt.
- **Programmgestützte Auswertung der Daten:** Dabei kommen vielfältige Auswerteverfahren zum tragen, die auf den enorm großen Datensatz aufsetzen.

Die Entwicklung von hochempfindlichen Sensoren und hochgeöffneten, streulichtarmen Objektiven ermöglicht heute den Einsatz von bildauflösenden Leuchtdichtemeßkameras auch zur Bewertung von dynamischen Wahrnehmungsprozessen. So werden u.a. die Bewertung von Straßen und Tunnel aus fahrenden PKW möglich. Die exakte rechentechnische Anbindung zur Erfassung kompletter Leuchtdichteszenen mit einer bildauflösenden Leuchtdichtemeßkamera ist dabei unverzichtbar.

- /ECK93/ Eckert, Martin: Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Straßenverkehr, 1. Aufl. –Berlin; München; Verlag Technik GmbH 1993
- /HOL26/ Holladay, L.L.: The fundamentals of glare on visibility. j. Opt. Soc. Am 12. 1926 S 271-319
- /ADR69/ Adrian, W.: Die Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung. Lichttechnik, Berlin 21 1969 H. 1, S. 1A-7A