

Erkennbarkeit bei Dunkelheitsunfällen

-

Betrachtung des Reflexionskoeffizienten

Ruth Paas
Pavel Pustina

Dieses Paper beschäftigt sich mit der Analyse von Verkehrsunfällen während der Dämmerung bzw. bei Dunkelheit. Der Schwerpunkt liegt auf der Sichtbarkeit von Personen auf der Fahrbahn.

In der Einleitung werden hierfür physikalischen Grundlagen kurz eingeführt. Darauf aufbauend wird erklärt, wie mit Hilfe der Reflexionsgesetze eine Leuchtdichteverteilung erstellt werden kann, anhand der die Sichtbarkeit beurteilt werden kann. Im Gegensatz zu bisher üblichen bildgebenden Verfahren kann mit dieser Herangehensweise eine sehr genaue Fehlerbestimmung der ermittelten Werte vollzogen werden. Abschließend wird ein Ansatz vorgestellt den Reflexionskoeffizienten zu messen.

1. Einführung

Bei der Bearbeitung von Verkehrsunfällen, die während der Dämmerung bzw. bei Dunkelheit stattfinden, spielt der schlecht erforschte Einfluss der Lichtverhältnisse eine große Rolle. Dabei steht oft die Frage im Raum, welche Objekte die Unfallbeteiligten hätten sehen müssen, um den Unfall vermeiden zu können.

Bei niedrigen Lichtstärken sieht das Auge nur noch mit den kontrastempfindlichen Stäbchen. Nach dem Kontrastwahrnehmungsmodell ist es möglich, bei gegebenen Kontrasten die Sichtbarkeit eines Objektes bzw. einer Person auf der Fahrbahn sowohl ohne als auch mit Blendung zu beurteilen [1]. Ein wesentliches Instrument des Sachverständigen bei der Behandlung von Unfällen während der Dämmerung und bei Dunkelheit besteht daher in der Erstellung von Leuchtdichteverteilungen. Es ist möglich, mit geeigneten photometrischen Messgeräten eine rekonstruierte Leuchtdichteverteilung zu messen. Diese Methode unterliegt aber den folgenden zwei gravierenden Nachteilen. Zunächst können, je nach Messverfahren, sehr leicht gravierende Fehler in der Messdurchführung auftreten, die eine korrekte Auswertung unmöglich machen. Außerdem ist es bei dieser Methode nahezu unmöglich die Wetterverhältnisse in die Beurteilung einzubeziehen, wenn diese für die Messung nur unzureichend nachempfunden werden können.

Dieses Paper befasst sich daher mit einer anderen, noch wenig beachteten Methode zur Rekonstruktion der zum Unfallzeitpunkt herrschenden Lichtverhältnisse. Dieses Verfahren liefert objektive Informationen basierend auf der Messung des Reflexionskoeffizienten. Dieses Vorgehen hat im Gegensatz zu

den bisher üblichen Herangehensweisen den Vorteil, dass man die Lichtquellen zwar kennen, die Unfallsituation aber nicht entsprechend nachstellen muss.

* * *

2. Physikalische Grundlagen

Licht kann Flächen auf ganz unterschiedliche Arten anstrahlen. Die Sichtbarkeit einer Person auf der Fahrbahn wird dabei durch den Kontrast festgelegt, den er zur Fahrbahn bildet. Anders ausgedrückt, wird die Sichtbarkeit bei gegebenen Lichtverhältnissen durch die Stärke und Art der Reflexion auf der Fahrbahn bzw. der Kleidung des Betroffenen bestimmt. Die nötigen physikalischen Begriffe für die Rechnung mit dem Reflexionskoeffizienten werden im Folgenden aufgeführt.

Leuchtdichte L

Als Leuchtdichte bezeichnet man das Verhältnis der von einer Fläche abgestrahlten Lichtstärke zu der scheinbaren Fläche (deren Aufsicht). Die Leuchtdichte einer Fläche bestimmt demzufolge die subjektiv wahrgenommene Helligkeit der Fläche (Bild 1).

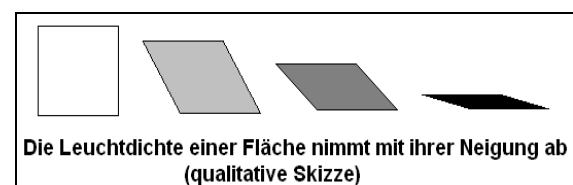


Bild 1: Die Leuchtdichte einer Fläche ist ihre scheinbare Helligkeit, die Neigung der Fläche wird hier einbezogen

Schaut man unter dem Winkel θ schräg zum Lichteinfall auf die Fläche, wird nur die Projektion in die Sichte ebene als Leuchtdichte wahrgenommen:

$$L = \frac{dD}{dA \cdot \cos(\theta)} = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos(\theta) \cdot d\Omega} \quad (1)$$

Dabei ist dD die Lichtstärke, die das Flächenstück dA abstrahlt und $d\Phi$ der Lichtstrom, den das Flächenstück dA in das Raumwinkelement $d\Omega$ abstrahlt. Der Reflexionskoeffizient der Fläche A muss in die Lichtstärke oder den Lichtstrom mit eingerechnet werden, um das korrekte Ergebnis zu erhalten.

Lichtquelle	Leuchtdichte
Sonne	$1,5 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$
Nacht	$1 \cdot 10^{-3} \text{ cd/m}^2$
Glühlampenlicht (mattiert)	bis zu $3 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$
Weißes Papier (400 lx)	100 cd/m^2
Mond	2000 cd/m^2

Tab. 1: Einige Beispielwerte ([2] u.a.) für die Leuchtdichte auf freiem Feld

Arten von Lichtquellen

Zur Berechnung einer konkreten Unfallsituation ist es sinnvoll, die auftretenden Lichtquellen in verschiedene Kategorien zu unterteilen. Je nach Ausbreitungsart des Lichts werden dabei folgende Klassifizierungen vorgenommen:

1. Ambientes Licht (Hintergrundlicht), welches durch annähernd gleiche Lichtstärke in alle Richtungen gekennzeichnet ist, **2. gerichtete bzw. direktionale Lichtquellen**, deren Lichtstärke in eine Hauptrichtung ausgestrahlt wird (Laser), **3. isotrope Punktlichtquellen**, die eine kleine Ausdehnung besitzen und in alle Richtungen gleichmäßig strahlen. Nähe-

rungsweise gilt diese Klassifizierung für alle Lichtquellen, deren Ausdehnung klein gegenüber der Entfernung zum Beobachter ist und die mit einer „geringen Einfassung“ ausgestattet sind. Das bedeutet, dass die Lichtquellen keine, eine vernachlässigbar kleine reflektierende Einfassung besitzen oder diese nur minimal reflektiert („geringe Einfassung“). **4. Als Spotlichtquellen bzw. Strahler** bezeichnet man alle Punktlichtquellen, deren Lichtstärke in eine durch eine reflektierende Einfassung oder Abschirmung vorgegebene Vorzugsrichtung strahlt (z.B. Straßenlaternen). **5. Flächenlichtquellen** sind Lichtquellen mit einer großen Flächenausdehnung im Verhältnis zur Entfernung eines Beobachters. Für jede Art von Strahlern gibt es ein festgelegtes Vorgehen zur Beurteilung, welches durch die Abhängigkeit der Lichtintensität von der Beobachtungsentfernung festgelegt wird.

Reflexionsgesetz

Strahlung besteht aus elektromagnetischen Wellen, die in den für uns interessanten Intensitätsbereichen dem Superpositionsprinzip unterliegt. Daher kann jede Lichtquelle getrennt von anderen behandelt werden, sodass die Ergebnisse anschließend nur noch addiert werden müssen. Eine Fläche, die von einer Lampe angestrahlt wird, strahlt eine bestimmte Leuchtdichte aus. Die entsprechende Rechnungsvorschrift liefert das Reflexionsgesetz.

Wir unterscheiden zwischen zwei Arten von Reflexion, der diffusen und der gerichteten. Bei diffuser Reflexion wird das eingestrahlt Licht in alle Richtungen reflektiert. Die Leuchtdichte, die von diffusen Reflexionen

herrührt, ist abhängig von der Beobachtungsrichtung, aber unabhängig vom Einstrahlwinkel. Je schräger eine Fläche betrachtet wird, desto dunkler erscheint sie.

Bei gerichteten Reflexionen sind zwei Winkel wichtig für die Leuchtdichte: Einstrahl- und Betrachtungswinkel. Bei dieser Reflexionsart ist die ausgestrahlte Leuchtdichte besonders hoch, wenn beide genannten Winkel gleich sind.

Bei beiden Reflexionsarten ist die Reflexion also richtungsabhängig.

Reflexion bedeutet aus verschiedenen Gründen immer einen Verlust von Helligkeit. Dies wird durch den entsprechenden Reflexionskoeffizienten R ausgedrückt, der im nicht idealen Fall immer kleiner als 1 ist (Tabelle 2).

$$D_{aus} = R \cdot D_{ein} \quad (2)$$

Dabei ist D_{aus} die von der Fläche abgestrahlte Beleuchtungsstärke und D_{ein} die von der Lichtquelle verursachte Beleuchtung der Fläche.

Farben	R	Material	R
weiß	0,8	Metallspiegel	0,98
hellgelb	0,7	Putz	0,8
hellgrün, rosa	0,4	Weißer Kachel	0,7
himmelblau	0,4	Ahorn, Birke	0,6
hellgrau	0,4	Eiche, hell	0,4
hellbraun	0,3	Beton	0,3
mittelgrau	0,2	Dunkles Holz, roter Backstein	0,2
dunkelrot	0,1	Bauglas	0,1
schwarz	0,1	Feine Gläser	0,035-0,04

Tab. 2: Einige Literaturwerte für quasiparallelen Lichteinfall (Näherung für Lampen mit ausreichender Entfernung) ([3] u.a.)

3. Erkennbarkeit nach dem Kontrastmodell

Die reflektierte Helligkeit verschiedenartiger Flächen erzeugt im Sichtfeld des Beobachters ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes Kontrastbild, anhand dessen die Sichtbarkeit beurteilt werden kann.

Hell-Dunkel-Kontrast oder Leuchtdichteunterschiedsempfindlichkeit

Der Gesamtkontrast bezeichnet den Leuchtdichteunterschied zwischen dem hellsten und dunkelsten Punkt des Gesichtsfeldes.

Physikalisch ist der Kontrast definiert als:

$$K_{ges} = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \quad (3)$$

$$K_{Punkt} = \frac{L_{Punkt} - L_{Bezug}}{L_{Bezug}} \quad (4)$$

Dabei ist L die Leuchtdichte. Der Kontrast eines Fußgängers auf einer Fahrbahn ist also

$$K_{Fu\beta g} = \frac{L_{Kleidung} - L_{Stra\beta e}}{L_{Stra\beta e}}$$

Der erforderliche Mindestkontrast, bei dem Objekte sichtbar sind, liegt bei

$$K_{min} = \frac{L_{Umfeld} + \Delta L_0}{L_{Umfeld}} = \frac{I}{I_0} = 0,02$$

Dabei ist L_{Umfeld} die mittlere Leuchtdichte des Sichtfeldes, ΔL_0 der Leuchtdichteunterschied des Sichtobjektes zum Umfeld und I sind die entsprechenden Intensitäten.

Das Wahrnehmungsvermögen in Bezug auf den Kontrast wird schlechter, je dunkler die absolute Umgebungsleuchtdichte ist. Im Gegensatz dazu wird die absolute Leuchtdichteempfindlichkeit (Blendempfindlichkeit) größer, je niedriger die absolute Umgebungsleuchtdichte ist. Je dunkler es wird, desto wichtiger ist es also, dass große Kontraste zur Umgebung gebildet werden, damit die Wahrnehmbarkeit ausreichend bleibt. Die Auswirkung von Blendung kann mit dem TI-Verfahren berechnet werden, welches die gerade genannten Aspekte berücksichtigt (für nähere Informationen siehe DIN EN 13201-3).

Ob ein Objekt sichtbar ist, kann man also leicht ausrechnen, wenn man die Leuchtdichten der gesehenen Flächen kennt. Diese kann man aus den Eigenschaften der Lampen berechnen, wenn man das Reflexionsverhalten der Flächen kennt. Die Berechnung erfolgt entweder nach dem rein empirischen Beleuchtungsmodell von Phong Bui-Tuong (1975, siehe [3]) oder dem physikalischen Schlick-Beleuchtungsmodell (1993, siehe [6]). Von grundlegender Wichtigkeit ist jeweils der Reflexionskoeffizient.

Beide Modelle sind lokale Beleuchtungsmodelle. Das bedeutet, sie beziehen nur direkte Lichtquellen in die Rechnung mit ein, nicht die von anderen Flächen reflektierten Strahlen. Diese Näherung ist in einigen Fällen mit sehr hohen Leuchtstärken nicht ausreichend. Man muss dann auf ein globales Beleuchtungsmodell zurückgreifen, welches auch indirekte Strahlen berücksichtigt. Dadurch steigt allerdings der Rechenaufwand extrem an. Entsprechende Computersimulationen benötigen mit dieser Methode bereits

mehrere Stunden Rechenzeit für ein real aussehendes Bild. In diesen Fällen sollte man die Rechnung über den Reflexionskoeffizienten nicht anwenden.

* * *

4. Messverfahren

4.1 Wichtigste Eckpunkte im Phong-Modell

Lichtquellen

Die Berechnungsmethode nach Phong unterscheidet zwischen den verschiedenartigen Reflexionen, indem die Lichtarten wie ambivalente, diffuse

und gerichtete Lichtquellen getrennt betrachtet werden:

$$\begin{aligned}
 I_{aus} &= I_{amb} \cdot R_{amb} \\
 &+ I_{ein} \cdot R_{dif} \cdot \cos(\theta) \\
 &+ I_{ein} \cdot R_{spe} \cdot \cos^m(\psi)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Dabei sind I_{amb} die ambiente Strahlungsintensität des Umgebungslichts, I_{ein} die eingestrahlt Intensitäten der Lampen, R die der Streuart entsprechenden Reflexionskoeffizienten, *amb* = ambient, *dif* = diffus, *spe* = specular (spiegelnde Komponente), θ ist der Winkel zwischen Einfallrichtung \underline{l} des Lichts und dem Lot \underline{n} auf die Oberfläche und ψ ist der Winkel zwischen der idealen Reflexionsrichtung des ausfallenden Lichtstrahls \underline{r} und der Blickrichtung des Betrachters \underline{v} (Bild 2).

Anpassung an die Oberflächenstruktur

Im Phong-Modell wird die von einer Fläche reflektierte Leuchtdichte mit verschiedenen Betrachtungswinkeln gemessen. Es ergibt sich, dass die Winkelabhängigkeit näherungsweise \cos^m -förmig ist. Diese Annahme findet sich auch im letzten Summanden von Gleichung (5) wieder. Der Exponent m ist eine **Materialkonstante** und beschreibt die Auswirkung der Oberflächenstruktur des Materials bei der Reflexion. In Bild 3 sieht man die in verschiedene Richtungen reflektierten Lichtstrahlen, die Länge der Pfeile gibt dabei die Stärke der Reflexion an. Bild 4 zeigt \cos^m -Funktionen für ausgewählte Werte von m , die Stärke der Reflexion unter bestimmten Winkeln ψ ist auf der y-Achse angegeben. Bei $m = 1$ handelt es sich bei dem Material um einen **Lambert-Strahler**, also einen idealen diffusen Reflektor. Je größer m ist, desto weniger streut das Material das einfallende Licht.

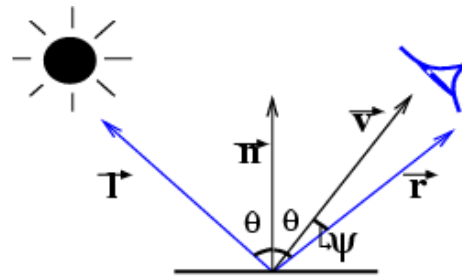


Bild 2: geometrische Skizze [7]

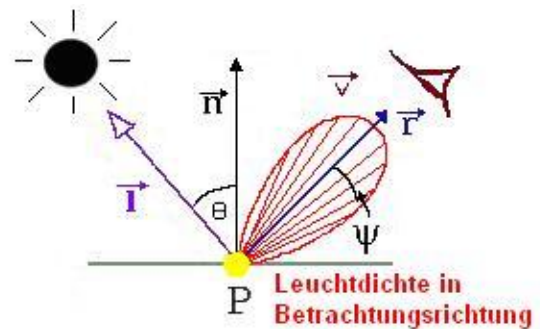


Bild 3: die ausfallenden Strahlen der teilspiegelnden Komponente der Oberfläche fallen mit größer werdendem $\psi \cos^m$ -förmig ab

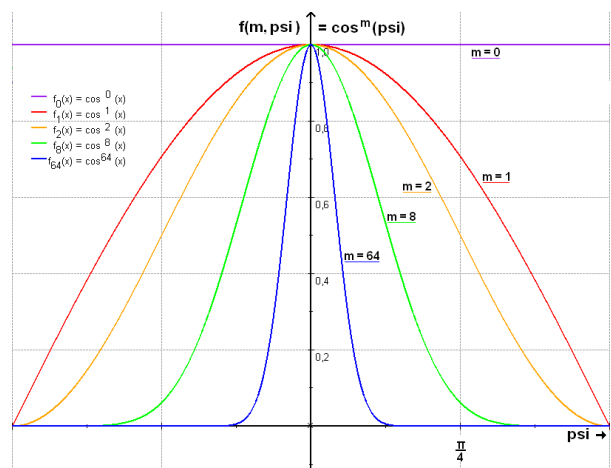


Bild 4: \cos^m -Funktionen beschreiben im Phong-Modell die Stärke des Lichtabfalls bei größer werdendem Winkel ψ (entspricht dem Winkel psi in der Grafik)

4.2 Vereinfachungen

Die Auswertung einer konkreten Unfallsituation erlaubt oft einige Vereinfachungen. Es muss nicht das gesamte Sichtfeld des Fahrers rekonstruiert werden, um die Sichtbarkeit einer Person auf der Fahrbahn zu beurteilen. Für den Fall, dass der Fahrer in seinem direkten Sichtfeld keine starke ausgedehnte Lichtquelle gesehen hat, ist nur die Straßenoberfläche sowie die Kleidung des Fußgängers zu vermessen (A). Zudem ist es sinnvoll, sich auf die Sichtbarkeitsbeurteilung zum letztmöglichen Reaktionspunkt (oder einem anderen willkürlich gewählten Punkt) zu beschränken (B). Es genügt dann, die durch die Position der Lampen, des Fußgängers und des gewählten Punktes ausgezeichneten Ein- und Ausstrahlrichtungen auszumessen (Bild 3). Diese werden im Folgenden nur noch als ausgezeichnete Richtungen bzw. Strahlen bezeichnet. Es ist also nicht unbedingt nötig, die Materialkonstante m genauer zu messen, da der \cos^m -Term praktisch in den richtungsabhängigen Reflexionskoeffizienten eingeht. Eine weitere Vereinfachung ist möglich, wenn das Umgebungslicht im Vergleich zu den auf den Fußgänger bzw. dessen direkte Umgebung strahlenden Lampen klein ist (C). Dann kann auf die Messung des ambienten Reflexionskoeffizienten verzichtet werden.

Letztendlich wird sich die Messung also auf relativ wenige Werte beschränken. Dazu zählen die Abmessungen der Fahrbahn, die ja auch zu anderen Zwecken aufgenommen werden müssen, die Positionen und Eigenschaften der Leuchten, die sich an den entsprechenden Stellen erfragen lassen, und die Messung des Reflexionskoeffizienten.

Vereinfachungen

- A) Situation: Die Leuchtdichte ist relativ konstant im Sichtfeld des Beschuldigten.
Folge: Nur die Kleidung und das unmittelbare Umfeld des Fußgängers müssen lichttechnisch vermessen werden.
- B) Situation: Es ist bereits eine Analyse des Unfallhergangs erfolgt und es steht nur die Frage nach der Sichtbarkeit im Raum.
Folge: Ein sinnvoll gewählter Beobachtungspunkt schränkt die Anzahl der erforderlichen Messungen ein.
- C) Situation: Das Umgebungslicht ist sehr dunkel im Vergleich zu den vorhandenen Lampen.
Folge: Die Messung und Berechnung des ambienten Reflexionskoeffizienten entfällt.

Aufzunehmende Werte

- 1) Lichtquellen
 - a. Ambiente Leuchtdichte
 - b. Beleuchtungsstärken der Lampen mit Verschmutzung
 - c. Strahlrichtung der Lampen
 - d. Position der Lampen
- 2) Oberflächen (Straße im Umfeld des Fußgängers, Kleidung des Fußgängers)
 - a. Ausmaße und Position
 - b. Reflexionskoeffizienten

4.3 Der Reflexionskoeffizient

Der Reflexionskoeffizient ist also die maßgebliche Größe in diesem Verfahren (Bild 5).

Für die Messung des Reflexionskoeffizienten spielt es prinzipiell keine Rolle, ob man die ein- und ausfallende Leuchtdichte L , die Beleuchtungsstärke E oder stattdessen die Intensität I misst. Daher können in diesem Abschnitt die Begriffe äquivalent verwendet werden. Es gelten die Formeln

$$\boxed{E_{aus} = R \cdot E_{ein}} \quad (6a)$$

$$\boxed{L_{aus} = R \cdot L_{ein}} \quad (6b)$$

$$\boxed{I_{aus} = R \cdot I_{ein}} \quad (6c)$$

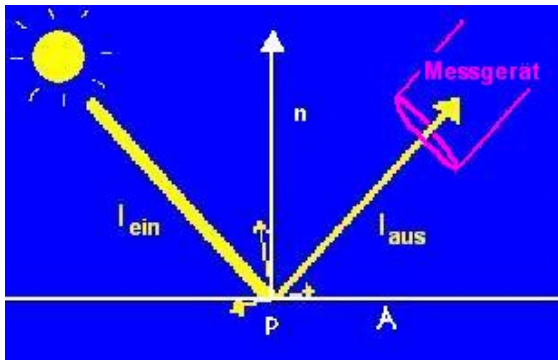


Bild 5: Reflexionsverluste wegen $R < 1$

Wie wir gesehen haben, müssen wir im schlechtesten Fall je drei verschiedene Reflexionskoeffizienten auf jeder wichtigen Fläche bestimmen. Dies sind:

1) der ambiente Reflexionskoeffizient

Dieser sollte möglichst ohne störenden Einfluss von Lampen gemessen werden. Entweder erfragt man die Umfeldleuchtdichte zur Messzeit beim Wetteramt oder misst sie selbst mit einem geeigneten Gerät. Die von der Fläche in

Beobachtungsrichtung ausgestrahlte Leuchtdichte gibt dann nach Formel (6b) den ambienten Reflexionskoeffizienten an.

$$\boxed{R_{amb} = \frac{L_{aus}}{L_{Umfeld}}} \quad (7)$$

2), 3) der spiegelnde und der diffuse Reflexionskoeffizient

Aus den durch die Lampenpositionen ausgezeichneten Richtungen lässt man einen quasiparallelen Lichtstrahl auf das zu untersuchende Material treffen, dessen Intensität bekannt ist. Dieser wird dann in Beobachtungsrichtung mit einem Messgerät mit kleinem Öffnungswinkel aufgefangen. Der Reflexionskoeffizient folgt dann aus Gleichung (6c):

$$\boxed{R(x) = \frac{I_{aus}}{I_{ein}}} \quad (8)$$

Dies sollte man an verschiedenen Stellen auf dem Material wiederholen, um einen aussagekräftigen Mittelwert bilden und die Fehlertoleranz der zu berechnenden Werte angeben zu können.

Nun gibt es zwei Möglichkeiten, weiter zu verfahren.

1. Man betrachtet ausgezeichnete Lichtstrahlen jeder Lampe auf verschiedenen Punkten der Oberfläche einzeln. Es ist dann nur noch der Mittelwert an den verschiedenen Orten zu bilden, um die ausgestrahlte Intensität der entsprechenden Lampe berechnen zu können. Die Leuchtdichte einer *Fläche* A unter einem *Betrachtungswinkel* $\varphi = \theta - \psi$ ergibt sich dann aus der Intensität mit Gleichung (9):

$$L = \frac{I_{aus}}{A \cdot \cos(\varphi)} \quad (9)$$

Die Leuchtdichten mehrerer Lampen werden zueinander addiert, um die Gesamtleuchtdichte der Fläche A zu erhalten.

Diese Möglichkeit liefert zwar keine Aussage über die Trennung zwischen diffusem und spiegelndem Reflexionskoeffizienten, ist aber bei wenigen Lampen nur mit wenig Aufwand verbunden.

2. Man macht zunächst Messungen an mehreren Punkten der Oberfläche, bei denen das Licht parallel zum Lot auf die Fläche fällt. Dadurch wird der Faktor $\cos(\theta)$ aus Gleichung (5) zu 1 und entfällt somit. Wenn der Ausfallwinkel ψ variiert wird, ähneln die Messdaten einer \cos^m -Funktion. Eine entsprechende Anpassung kann mit den folgenden Parametern durchgeführt werden:

$$I_{aus}(\psi) = c_1 + c_2 \cdot \cos^m(\psi) \quad (10)$$

$$c_1 = I_{amb} \cdot R_{amb} + I_{ein} \cdot R_{dif} \quad (11)$$

$$c_2 = I_{ein} \cdot R_{spe} \quad (12)$$

Gängige mathematische Programme liefern bei der Eingabe der zu messenden Wertepaare (I_{aus}, ψ) die Konstanten c_1 , c_2 und m . Mit Hilfe der anderen bereits bekannten Variablen können so aus den Gleichungen (11) und (12) die Reflexionskoeffizienten ausgerechnet werden.

Allerdings müssen im Fall des diffusen Reflexionskoeffizienten noch weitere Messungen erfolgen, da dieser i.A. abhängig vom Einstrahlwinkel θ ist. Es

wird dazu geraten, die Vorzugsrichtungen mit festem ψ auszumessen und anhand der insgesamt gesammelten Daten mit Gleichung (5) den diffusen Reflexionskoeffizienten zu bestimmen.

4.4 Anforderungen an die Messgeräte

Bei der Messung muss grundsätzlich darauf geachtet werden, dass eine ausreichende Genauigkeit vorliegt, da die Werte sonst ohne jeden Wert für die Beurteilung der Sichtbarkeit sind. Je nachdem, welche Größe gemessen wird, muss dabei auf unterschiedliche Punkte geachtet werden [1]. Selbstverständlich müssen alle in Frage kommenden Messgeräte für den tragbaren Gebrauch ausgelegt sein.

Leuchtdichtemesser sollten einen Messfehler von höchstens 7% besitzen, damit der gesamte durch das Gerät hervorgerufene Fehler weniger als 10% beträgt. Der kleinste Öffnungswinkel (durch Aufsätze o.Ä.) sollte im Bereich von höchstens $0,2^\circ$ liegen. Im Idealfall kann das Gerät Leuchtdichten bis zu $0,001 \text{ cd/m}^2$ messen. Wenn die ambiente Leuchtdichte keine Schwierigkeiten bereitet, z.B. wenn sie vernachlässigt werden kann oder ausreichend hoch ist, sind auch Geräte bis zu $0,01 \text{ cd/m}^2$ nutzbar. Bei der Messung muss darauf geachtet werden, dass kein Streulicht von einer anderen Lichtquelle als der Messlampe in das Gerät gelangt.

Beleuchtungsstärkemesser müssen unbedingt mit einer guten $V(\lambda)/V'(\lambda)$ - und $\cos(\varphi)$ -Anpassung ausgestattet sein, da sonst Ungenauigkeiten von weit über 100% entstehen können. Sie

sind dem Empfinden des menschlichen Auges auf technisch hohem Niveau angepasst. Die Verwendung dieses Gerätes hat den Vorteil, dass die Lichtfarben mit einbezogen werden, auf die das Auge bei unterschiedlicher Umfeldleuchtdichte unterschiedlich reagiert, wodurch die Messgenauigkeit verbessert wird. Der Nachteil besteht darin, dass die nutzbaren Geräte aufgrund der technischen Komplexität eher im höheren Preissegment liegen.

Bei der Messung muss beachtet werden, dass weder Streulicht eingefangen noch Messlicht abgeschirmt werden darf.

* * *

5. Vorteile des Verfahrens

Das hier vorgestellte Verfahren weist einige Differenzen zu den bisher üblichen Verfahren auf. Der Schwerpunkt liegt auf den Eigenschaften des Materials bei bekannten Eigenschaften der Lampe und nicht auf der Messung einer nachgestellten Situation. Es ist leicht möglich, Aussagen von Verfahrensbeteiligten zu überprüfen, d.h. auf der subjektiven Grundlage eine objektive Beurteilung zu finden. Da die Intensität eine grundlegende physikalische Größe ist, können Störfaktoren wie das Wetter leichter in die Bewertung einfließen. Ein deutlicher Unterschied zu bildgebenden Verfahren besteht darin, dass die Toleranz des Verfahrens bestimmt werden kann.

Die Herangehensweise ist daher besonders geeignet für Unfallsituationen in der Dämmerung oder Dunkelheit, bei denen

- 1) nur die Strahlen einiger weniger Lampen im Sichtfeld des Beschuldigten liegen
- 2) eine Rekonstruktion der realen Lichtverhältnisse zwecks abfotografieren o.ä. nur schwer möglich ist
- 3) eine nicht optimale Sicht herrscht, da die Sichtweite mit der Restintensität in einem bestimmten Abstand direkt zusammenhängt
- 4) die Leuchtdichte im Sichtfeld des Fahrers nicht stark variiert

Man sollte auf ein anderes Verfahren zurückgreifen, wenn

- 1) zum Unfallzeitpunkt ein Wasserfilm auf der Straße lag, dessen ungefähre Höhe später nicht sicher rekonstruierbar ist
- 2) sich stark reflektierende Flächen wie Schaufenster in unmittelbarer Nähe zum Unfallort befinden
- 3) die durchschnittliche Leuchtdichte im Sichtfeld des Beschuldigten stark von der Leuchtdichte der Straße in der Umgebung des Fußgängers abweicht. In diesem Fall kann durch geometrische Betrachtungen die Analyse zwar ähnlich durchgeführt werden, es müssen jedoch deutlich mehr Messwerte aufgenommen und Berechnungen angestellt werden, sodass hier mit einem Simulationsprogramm gearbeitet werden sollte.

* * *

6. Zusammenfassung und Ausblick

Behandelt wurde ein Ansatz, der zur Klärung der Sichtbarkeitsfrage bei Unfällen in der Dämmerung oder Dunkelheit dient. Dabei sind die zwei physikalischen Größen **Reflexionskoeffizient** und **Leuchtdichte** die Grundlage der Berechnungen. Wie in diesem Paper beschrieben, ist es prinzipiell möglich, auf empirischer Basis ohne bildgebendes Verfahren das Sichtfeld des Fahrers zu rekonstruieren. Das Besondere an diesem Ansatz ist, dass eine sehr genaue Fehlerbetrachtung der ermittelten Werte möglich ist.

Der Rechenaufwand ist zwar höher als bei bildgebenden Verfahren, die vorgestellte Methode bietet aber mit der beliebig genauen Fehleranalyse und den

im Paper genannten Möglichkeiten enorme Vorteile.

Da die technischen Möglichkeiten weiter anwachsen, werden zukünftig möglicherweise für die erforderliche Messung nutzbare Messgeräte zur Verfügung stehen. Anschließend könnten aus den gesammelten Messwerten Erfahrungs- und Schätzwerte bezogen werden. Zudem wäre denkbar, ein auf diesen Ansatz zugeschnittenes Simulationsprogramm zu erstellen, welches mit Hilfe der gemessenen Werte eine vollständige Kontrastverteilung aus der Sicht des Fahrers berechnen könnte.

Die in diesem Paper vorgestellte Vorgehensweise könnte daher in absehbarer Zeit ein nützliches Werkzeug bei der Bearbeitung des Sichtbarkeitsproblems darstellen.

Quellen:

[1] Burg, Heinz / Moser, Andreas: Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Wiesbaden 2007, S. 829 - 854

[2] <http://www.ubicampus.mh-hannover.de/~physik/vorlesung/kap46/kap46.html>, Stand: 18.11.2007

[3] http://www.osram.com/osram_com/Tools_&_Services/Training_&_Knowledge/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption24475.jsp, Stand: 18.11.2007

[4] Gramberg-Danielsen, Berndt: Der Dunkelheitsunfall / Berndt Gramberg-Danielsen, Erwin Hartmann u. Heinz Giehring. - Stuttgart: Enke, 1984

[5] <http://web.inf.tu-dresden.de/~wm1/Mascolus/cg.pdf/Licht.pdf>, Stand: 10.04.2007

[6] <http://dept-info.labri.fr/~schlick/DOC/ewr3.html>, Stand: 18.11.2007

[7] <http://medien.informatik.uni-ulm.de/lehre/courses/ss02/ModellingAndRendering/04-beleuchtungsmodelle.pdf>, Stand: 18.11.2007