

Klaus Schmedding\*, Detlev Saat\*\*, Stephan Schal\*\*\*

## Zur Tragweite von Beleuchtungseinrichtungen im Nebel

### Zusammenfassung

Der Unfallanalytiker steht bei der Rekonstruktion von »Nebel-Unfällen« oftmals vor der Schwierigkeit, konkrete Aussagen zur Erkennbarkeit von unbeleuchteten und beleuchteten Objekten abzugeben. Dieser Artikel will versuchen, möglichst einfache Abschätzungen für die Tragfähigkeit von Beleuchtungserwartungen von Pkw bei Nebel zu liefern, da die bis dato entwickelten theoretischen Rechenmodelle zum Teil aufwendig sind und einen hohen operativen Meßaufwand erfordern.

### Summary

The main problem within the reconstruction of »fog-accidents« is to show up the visibility of luminescent and non-luminescent objects. This investigation shall show a simple relation between the density of fog and the recognition distance of parking lights, dimmed and full beam without a high level of optical measurement and using the theoretical, complicated physical/mathematical of the support of light.

## 1 Allgemeine Grundlagen

Jede Art von Strahlung wird beim Durchgang durch Materie geschwächt, die eine weniger (beispielsweise Röntgenstrahlung) die andere mehr (beispielsweise Licht oder Wärmestrahlung).

Allgemein gilt das Absorptionsgesetz für die Abnahme der Intensität  $I_0$  auf einer Strecke  $dx$  bzw. für die Intensität  $I$ , die nach der Schichtdicke  $x$  vorhanden ist:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (1)$$

$I_0$  ist üblicherweise die auffallende Intensität,  $\alpha$  heißt Schwächungskoeffizient. Da  $\alpha$  grundsätzlich von der Wellenlänge abhängig ist, gilt das Absorptionsgesetz in dieser einfachen Form eigentlich nur für monochromatische Strahlung.

Bekannt ist, daß Nebel die Intensität einer Lichtquelle mit zunehmender Beobachtungsentfernung von dieser Lichtquelle stark verringert – es tritt also eine Sichtverschlechterung ein, die von der Konzentration und Größe der einzelnen Nebeltröpfchen abhängt. Die Literatur [1] weist typische Tropfendurchmesser von 20 bis 80  $\mu\text{m}$  aus.

Die Schwächung des Lichtes wird zum einen durch die Streuung und zum anderen durch die Absorption der Strahlung bewirkt. Die in jedes Tröpfchen eindringenden Lichtstromanteile werden teilweise seitwärts reflektiert und ungerichtet gestreut. Die Intensität des Lichtstromes vor dem Tröpfchen hat also nach seinem Durchgang an Intensität verloren. Da die Größe der Nebeltröpfchen deutlich größer ausfällt als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes ist die Streuung nahezu unabhängig von der Wellenlänge der Strahlung [2]. Natürlich tritt in der Realität nicht nur Nebel in Form von Wassertröpfchen auf, es sind durchaus auch andere Lufttrübungen (Rußpartikel oder Abgasanteile in Industriegebieten) vorhanden, die aber in diesem Artikel nicht besprochen werden sollen.

\*Dipl.-Phys. Klaus Schmedding, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, c/o Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, Münsterstr. 101, 48155 Münster-Wolbeck

\*\*Detlev Saat, c/o Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, Münsterstr. 101, 48155 Münster-Wolbeck

\*\*\*Dipl.-Ing. Stephan Schal, c/o Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, Münsterstr. 101, 48155 Münster-Wolbeck

Prinzipiell wird zwischen unterschiedlichen Nebelarten unterschieden; diese Klassifizierung ist jedoch für den Unfallanalytiker wenig interessant, da dieser in der Regel nur mit der Frage betraut wird, aus welcher Entfernung der beispielsweise in einer untergeordneten Straße stehende Linksabbieger den vorfahrberechtigten Pkw hätte erkennen können.

Im Jahre 1976 entstand am Lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe eine Arbeit zu dieser Thematik, abgefaßt von Dr.rer.nat. Behrens und Dr.Ing. Kokoschka [1], in der neben einem theoretischen Berechnungsmodell auch Ergebnisse von Feldversuchen wiedergegeben wurden, um unter anderem die funktionale Abhängigkeit zwischen der Normsichtweite und dem Kontrast für unterschiedliche selbstleuchtende Objekte bzw. nicht selbstleuchtende Objekte zu ermitteln. Der Begriff Normsichtweite ist in der DIN 5037 der Sichtbezeichnung für Tageslichtbedingungen zugeordnet, **Tabelle 1**.

Nach Koschmieder ist für die Wahrnehmung eines Objektes aus physiologischen Gründen ein bestimmter Mindestkontrast notwendig, der von ihm für große Ziele zu 2% angenommen wird. Die mathematische Definition jener Normsichtweite oder meteorologischen Sichtweite sieht folgendermaßen aus:

$$S = \frac{3,91}{a} \quad (2)$$

Mit  $S$  ist die Normsichtweite, mit  $a$  der Absorptionskoeffizient für die Lufttrübung bezeichnet. Für die Bewertung der Frage, ob ein Kontrast über eine gewisse Distanz in der getrübbten Atmosphäre erkennbar ist oder nicht, ist daher das Absorptionsgesetz, **Gleichung 1**, wie folgt umzuschreiben:

$$K = K_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (3)$$

Die Übertragung dieses allgemeingültigen Zusammenhangs auf ein konkretes Unfallgeschehen bereitet jedoch Probleme. Während beispielsweise bei einem normalen Dunkelheitsunfall die Unfallsituation auch zu einem späteren Zeitpunkt, zur Durchführung lichttechnischer Messungen, reproduziert werden kann, liegen bei einem Nebelunfall in der Regel nicht mehr wiederkehrende Sichtverhältnisse vor. Oft existieren dann bezüglich der Sichtweite nur vage Zeugenaussagen. Man erkennt, welche Schwierigkeiten auf einen Unfallanalytiker zukommen, wenn er nun zu beurteilen hat, ob das Abblendlicht des vorfahrberechtigten Pkw unter den Voraussetzungen am Unfalltag bereits aus 120 oder erst 60 m erkennbar war.

Zu diesem Zweck wurden einige trübe Novembertage genutzt, um im Rahmen von Feldversuchen die Tragweiten von Beleuchtungseinrichtungen in Abhängigkeit von der Nebeldichte zu bestimmen und möglichst einfache Zusammenhänge zu entwickeln, um derartige Fragestellungen mit befriedigender Genauigkeit beantworten zu können.

## 2 Eigene Messungen

Bei den Unfallaufnahmen der Polizei ist ein einheitliches Meßverfahren nicht zu beobachten. Häufig ist jedoch folgende Vorgehensweise bei der Ermittlung der Sichtweite vor Ort anzutreffen:

Der mit einem Meßrad »bewaffnete« Polizeibeamte entfernt sich von seinem unbeleuchteten Streifenwagen und notiert sich die Entfernung, in der der Streifenwagen gerade noch zu erkennen ist.

Ähnlich wurde auch bei der hier durchgeführten Versuchsreihe vorgegangen, wobei unterschiedlich lackierte Pkw-Typen benutzt wurden. Dabei muß beachtet werden, daß die Meßmethode sowie die daraus

Normsichtweite S [m]	Bezeichnung der Sicht
3250 bis 2000	starker Dunst
1850 bis 1000	sehr starker Dunst, Nebeldunst
900 bis 500	leichter Nebel
450 bis 200	mäßig dichter Nebel
197 bis 50	dichter Nebel
< 50	sehr dichter Nebel

Tabelle 1 Zuordnung von Normsichtweite und Sichtbezeichnung für Tageslichtbedingungen nach DIN 5037

folgenden Betrachtungen nur für annähernd lineare Straßenverläufe gelten; d.h. der Betrachter befindet sich im Lichtkegel der Lampen. Nachdem solchermaßen die Sichtweite auf das unbeleuchtete, definierte Objekt bestimmt war, wurde an den Fahrzeugen nacheinander das Standlicht, das Abblendlicht und das Fernlicht eingeschaltet. Unterschieden wurden zwischen normalen Parabolreflektoren und DE-Scheinwerfern. Bei der Rückansicht der Fahrzeuge wurden neben der Wirkungsweise des Schlußlichtes auch die des Bremslichtes, des Warnblinklichtes und der Nebelschlußleuchte geprüft. Gleichzeitig wurden lichttechnische Messungen zur Leuchtdichte durchgeführt, um die relative Kontrastabnahme gemäß dem Absorptionsgesetz objektiv nachvollziehen zu können.

Die Versuche wurden zunächst unter Tageslichtbedingungen durchgeführt, da die Bestimmung der Sichtweite auf ein dunkles, unbeleuchtetes Objekt bei Nacht naturgemäß seine Probleme mit sich bringt. Die Versuche fanden allesamt auf einer Überlandstraße ohne örtliche Bebauung oder Bepflanzung statt, also in einer Region, wo sich der Nebel sehr gleichmäßig ausbilden konnte.

### 3 Meßergebnisse

#### 3.1 Tageslicht

War beispielsweise ein dunkel lackierter Pkw (schwarz) aus einer Entfernung von 65 m gerade noch erkennbar, so zeigte sich, daß der vom Standlicht ausgehende Lichtstrom zu keiner wesentlichen Vergrößerung der Erkennbarkeitsentfernung beitrug. Grundsätzlich war eine Zunahme, und zwar relativ unabhängig von der jeweiligen Nebeldichte, von ca. 10% zu beobachten.

Bei eingeschaltetem Abblendlicht wurde bei größeren Nebelsichtweiten auf den unbeleuchteten Pkw wenigstens eine Verdoppelung der Erkennbarkeitsentfernung festgestellt. Bei dichtem Nebel, unterhalb von 70 m Sichtweite trat durch ein eingeschaltetes Abblendlicht bereits die 2,5-fache Sichtdistanz gegenüber dem unbeleuchteten Fahrzeug auf. Diese Verhältnisse galten auch für relativ unauffällig lackierte Fahrzeuge, z.B. mit einem mittlerem Grauton. Die relativen Entfernungsabnahmen gegenüber dem schwarzen Fahrzeug waren nicht prägnant.

Ein eingeschaltetes Fernlicht führte zu einer erheblichen Erhöhung der Erkennbarkeitsentfernung. Bei mäßig dichtem Nebel konnte etwa das 2,8-fache der Sichtdistanz, bei dichtem Nebel unterhalb von 70 m gar eine Verdreifachung derselben beobachtet werden.

Bei der Beobachtung der Heckpartie des Pkw war festzustellen, daß der Einfluß des Schlußlichtes relativ gering ist. Bei Lichtstärken unterhalb von gemittelt 10 cd war eine relative Zunahme bezüglich des unbeleuchteten Pkw um den Faktor 1,2 bis 1,4 zu beobachten. Ein eingeschaltetes Bremslicht führte zu einer ähnlichen Auffälligkeit wie beispielsweise die Warnblinkanlage, nämlich fast zu einer Verdoppelung der Sichtweite. Die Nebelschlußleuchte vermochte bei Tage die Auffälligkeit annähernd um den Faktor 2,5 zu vergrößern, **Tabelle 2**.

Ohne Licht x 1,1	= Standlicht
Ohne Licht x 2,0 + 2,5	= Abblendlicht
Ohne Licht x 2,5 + 3,2	= Fernlicht
Ohne Licht x 1,4 + 1,6	= Schlußlicht
Ohne Licht x 1,8 + 2,0	= Bremslicht/Blinklicht
Ohne Licht x 2,0 + 2,4	= Nebelschlußleuchte

Tabelle 2 Faustformeln (Tageslicht)

Standlicht = 1
Standlicht x 1,8 + 2,0 = Abblendlicht
Standlicht x 2,2 + 2,4 = Fernlicht

Tabelle 3 Faustformeln (Dunkelheit)

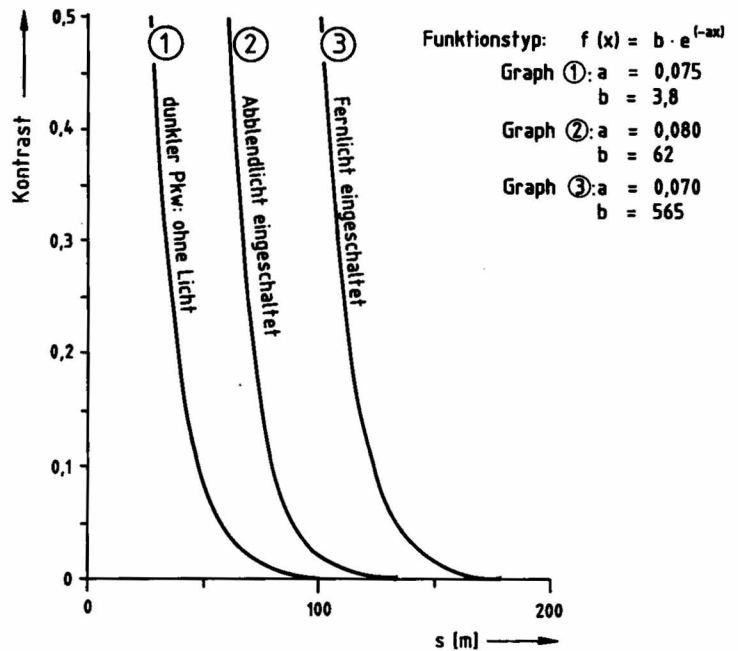


Bild 1 Kontrastabnahme in Abhängigkeit von der Beobachtungsentfernung

Wie schon erwähnt, wurden auch Leuchtdichtemessungen während der Feldversuche durchgeführt. Aus den unterschiedlichen Beobachtungsentfernungen wurden die Kontraste zwischen Objekt und Umgebung gemessen. Dies ermöglicht eine mathematische Aufbereitung der wesentlichen Zusammenhänge.

**Bild 1** zeigt die Abhängigkeit zwischen dem Kontrast und der Beobachtungsentfernung für den schwarz-lackierten Pkw. Der Graph 1 gilt für eine ausgeschaltete Pkw-Beleuchtung, der Graph 2 für eingeschaltetes Abblendlicht und der Graph 3 für eingeschaltetes Fernlicht.

Man erkennt die exponentielle Abhängigkeit der Achsenparameter. Der Funktionstyp entspricht erwartungsgemäß dem Absorptionsgesetz nach Gleichung 1, wobei sich für den Graph 1 der Schwächungskoeffizient zu 0,075, für den Graph 2 zu 0,08 und für den Graph 3 zu 0,07 ergibt. Gemäß Gleichung 2, die für einen 2%igen Kontrast gilt, hätte die Normsichtweite bei jener Messung zwischen 49 und 56 m gelegen. Dieses Maß entspricht ziemlich genau der gemessenen Sichtweite auf den unbeleuchteten Pkw, so daß bei Tageslicht grundsätzlich der nicht selbstleuchtende Pkw als Referenzgröße für die Bestimmung der Normsichtweite geeignet ist. Damit kann als erstes Teilergebnis festgehalten werden, daß es zweckmäßig erscheint, bei der Bestimmung der Sichtmöglichkeiten an der Unfallstelle, so zu verfahren, wie es häufig bereits von Polizeibeamten durchgeführt wird, nämlich, daß man sich vom Pkw mit einem Meßrad entfernt und die Position notiert, in der der Pkw gerade noch erkannt werden kann.

#### 3.2 Dunkelheit

Bei Dunkelheit scheidet das unbeleuchtete Fahrzeug als Referenzgröße verständlicherweise aus. Um die Sichtweite zu bestimmen, wurde analog zu der bereits beschriebenen Methode die Entfernung gemessen, bei der das Fahrzeug mit eingeschaltetem Standlicht noch erkennbar war. Der Unterschied zwischen drei unterschiedlichen Beleuchtungsarten vorne, nämlich Stand-, Abblend- und Fernlicht, kann so gemessen werden. Wird die Erkennbarkeitsentfernung des Standlichtes mit »1« definiert, so liegt sie bei eingeschaltetem Abblendlicht um etwa 1,8- bis 2,0-fach höher und bei eingeschaltetem Fernlicht um etwa 2,2- bis 2,4-fach höher, **Tabelle 3**.

Auf die Herleitung der Ergebnisse der anderen Feldversuche soll an dieser Stelle verzichtet werden, da sich fast identische funktionale Abhängigkeiten zum Kontrast und der Erkennbarkeitsentfernung ergeben. Es zeigte sich, daß jene von Koschmieder seinerzeit angegebene Formel, in diesem Artikel mit Gleichung 2 bezeichnet, sich durchaus für die Eingrenzung der tatsächlichen Erkennbarkeitsentfernung eignet.

Für den Unfallanalytiker weitaus wertvoller, weil praktikabler und ohne versuchstechnischen Aufwand anwendbar, sind die in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellten Faustformeln. Es kann grundsätzlich festgehalten werden, daß bei Tageslicht ein unbeleuchteter Pkw aus etwa 1,1-fach größeren Entfernung erkannt wird, wenn das Standlicht eingeschaltet wird und aus der 2,5- bis 3,2-fachen Entfernung dann, wenn Fernlicht in Betrieb ist. Diese Richtwerte gelten für dichten bzw. sehr dichten Nebel mit homogener Verteilung, also bei einer Sichtweite unterhalb von 200 m. Gerade diese verhältnismäßig starken Lufttrübungen sind für den Unfallanalytiker von größter Wichtigkeit, da in der Regel erst solch geringe Erkennbarkeitsentfernungen zur Entstehung unfallträchtiger Situationen bei Nebel führen.

Zudem konnte festgestellt werden, daß der in der Literatur stets nachzulesende Begriff Normsichtweite durchaus mit der Erkennbarkeitsweite eines unbeleuchteten Pkw (unter Tageslichtbedingungen) bei getrüübter Atmosphäre vergleichen läßt.

#### 4 Zusammenfassung

Nach durchgeführten Feldversuchen war es möglich, unter Nebelsichtbedingungen Faustformeln für die Erkennbarkeitsweiten von unbeleuchteten bzw. verschiedenartig beleuchteten Pkw bei homogener Nebelverteilung zu bestimmen. Ferner konnte durch Leuchtdichtemessungen geprüft werden, ob der Begriff der Normsichtweite mit der Beobachtungsentfernung auf einen dunklen, unbeleuchteten Pkw übereinstimmt – wendet man die Grundgleichungen von Koschmieder an, so ist ein solcher Vergleich durchaus gestattet.

Somit erscheint zur Bestimmung der Nebelsichtweite ein definiertes Objekt wie der Pkw geeignet. Mit Hilfe der in den Tabellen 2 und 3 angegebenen Faktoren ist es nunmehr möglich, einfache Aussagen zur Erkennbarkeitsentfernung von Pkw mit eingeschalteten Signaleinrichtungen abzugeben. Die Leuchtdichteuntersuchungen haben gezeigt, daß sich gemäß dem Absorptionsgesetz die mathematische Verknüpfung zwischen Erkennbarkeitsentfernung und dem Kontrast exponentiell gestaltet. Jene Ergebnisse, d.h. auch die Faustformeln, in den Tabellen 2 und 3, sind für dichte bis sehr dichte, gleichmäßige Lufttrübungen vom Techniker anwendbar, wobei deren Übertragbarkeit auf ein konkretes Unfallereignis stets für den Einzelfall zu prüfen ist.

#### Literaturnachweis

- [1] Behrens, H. Kokoschka, S.: Beleuchtung der Kraftfahrzeuge bei Nebel, DFK-Heft 19  
[2] Gerthsen, Kneser, Vogel: Physik, Springer Verlag 1974 ■

## PKW SCHADENKATALOGE AUS CRASH - VERSUCHEN

Beschädigungsbilder von PKW nach häufig auftretenden Anstoßkonfigurationen mit Dokumentation der Auslaufbewegungen und teilweiser Angabe der EES als Versuchssammlung für Unfallanalytiker. Zur Verfügung stehen ausgewertete Versuchsreihen zu folgenden Themen:

- **Kreuzungsunfälle**  
16 Versuche bei Variation von Anstoßwinkel und -geschwindigkeit mit 1 bzw. 2 bewegten Fahrzeugen
- **Auffahrunfälle**  
12 Versuche bei 100% Überdeckung bzw. 30% Überdeckung bei Variation der Heckstruktur und der Kollisionsgeschwindigkeit mit Angabe der EES
- **Fußgängerunfälle**  
9 Versuche mit Pkw und bewegtem Dummy bei Variation der Geschwindigkeit und der Anstoßkonfiguration
- **PKW Baumaufprall**  
20 Versuche bei verschiedenen Anstoßkonfigurationen und Geschwindigkeiten mit Angabe der EES

Die Schadenkataloge zu den jeweiligen Themenbereichen können zum Preis von 500,- DM zzgl. MWSt je Ausgabe bezogen werden bei:



INGENIEURBÜRO  
SCHIMMELPFENNIG + BECKE

Münsterstraße 101  
48155 Münster  
Tel.: 02506 / 2091 Fax: 02506 / 7629