

Karl-Heinz Schimmelpfennig*, Norbert Hebing**

Blendung und Kontrast im dynamischen Ablauf eines Fußgänger- unfalles

Silhouetten-Darstellung und Kontrastprofil

1 Einleitung

Bei nächtlichen Fußgängerunfällen auf unbeleuchteter Straße spielt die Ausleuchtung der Straße durch die Fahrzeugscheinwerfer eine entscheidende Rolle. In [1] wurde ein Verfahren aufgezeigt, daß es ermöglicht, die für diesen Fall ermittelten Erkennbarkeitsentfernungen bei der zeit-/wegmäßigen Analyse des Verkehrsunfallgeschehens zu berücksichtigen. Die Sichtverhältnisse und damit die Möglichkeiten, einen Fußgänger zu erkennen, werden sich grundlegend ändern, wenn sich ein Fahrzeug im Gegenverkehr befindet. Durch das Licht der Scheinwerfer dieses Fahrzeuges wird zum einen der Fahrer des Unfallfahrzeuges geblendet, das heißt, in seiner Sehfunktion eingeschränkt, und zum anderen ändern sich die Beleuchtungsverhältnisse, so daß die Bedingungen für die Erkennbarkeit eines Fußgängers verändert werden.

Man wird prinzipiell drei Typen von Fußgängerunfällen unterscheiden können. In jedem dieser Fälle wird die Rolle des Blendfahrzeuges eine andere sein. Im folgenden soll das Fahrzeug, das mit dem Fußgänger kollidiert, als Unfallfahrzeug, und das Fahrzeug, das sich im Gegenverkehr befindet, als Blendfahrzeug bezeichnet werden. Die Angaben »links« und »rechts« beziehen sich auf die Fahrtrichtung des Unfallfahrzeuges.

Die drei Typen sind:

- der Fußgänger tritt von rechts auf die Straße
- der Fußgänger tritt von links hinter dem Blendfahrzeug auf die Straße
- der Fußgänger tritt von links zwischen den Fahrzeugen auf die Straße

In den ersten beiden Fällen wird man insbesondere die Herabsetzung der Sehfunktion durch Blendung diskutieren müssen. Im dritten Fall kann es aufgrund von Silhouettenwirkungen zu einer Verbesserung der Wahrnehmungsmöglichkeiten kommen. Diese Situation soll im folgenden näher analysiert werden.

2 Versuch

Es wurde zunächst ein Versuch durchgeführt, um zu untersuchen, welche Effekte auftreten.

Die Versuchsfahrzeuge wurden in verschiedenen Entfernungen von der Fußgängerüberquerungsstelle aufgestellt. Die Entfernungen betrugen 10, 20 und 30 m für das Unfallfahrzeug und 10 bzw. 50 m für das Blendfahrzeug. Beide Fahrzeuge waren mit Halogenscheinwerfern ausgerüstet. Es wurde Abblendlicht eingeschaltet.

*Dipl.-Ing. (TU) Karl-Heinz Schimmelpfennig, Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle

**Dipl.-Physiker Norbert Hebing, Sachverständiger im Ing.-Büro Schimmelpfennig und Becke, Im Bilskamp 2f, 4400 Münster-Wolbeck

Ein Fußgänger ging langsam über die Straße. Im Versuchsfahrzeug saßen zwei Versuchspersonen auf Fahrer- und Beifahrersitz, von denen der Überquervorgang beobachtet und anschließend beschrieben wurde. Der Blick wurde dabei auf einen Fixierpunkt in ca. 30 m Entfernung vor dem Unfallfahrzeug gerichtet, was durch ein helles, reflektierendes Zeichen unterstützt wurde.

Während des Versuches herrschte Dunkelheit. Das Wetter war trocken, der Himmel klar. An der linken Fahrbahnseite befand sich ein Wald.

Es konnten folgende Versuchsergebnisse festgehalten werden:

- A Befand sich der Fußgänger auf einer Verbindungslinie zwischen dem Augpunkt des Beobachters und einem der Scheinwerfer des Blendfahrzeuges, so war dies für den Beobachter stets deutlich bemerkbar, da in seinem Blickbereich der helle Scheinwerferfleck abgedeckt wurde.
- B Befand sich das Blendfahrzeug 10 m von der Überquerstelle entfernt, so warfen die Beine des Fußgängers deutliche Schatten im Scheinwerferfeld des Blendfahrzeuges. Synchron zu den Bewegungen der Beine änderten die Schatten ihre Lage, wodurch eine hohe Auffälligkeit erreicht wurde.
- C Befand sich das Blendfahrzeug 50 m von der Überquerstelle entfernt, so kam es zu einem deutlichen Kontrast zwischen dem Fußgänger und dem durch die Scheinwerfer des Blendfahrzeuges ausgeleuchteten Straßenhintergrund.

Neben der statischen Versuchsreihe wurde auch eine Versuchsreihe mit fahrenden Fahrzeugen durchgeführt.

3 Berücksichtigung der genannten Effekte bei einer zeit-/wegmäßigen Analyse des Unfallgeschehens

Die im Versuch beobachteten Effekte treten natürlich auch im realen Unfallgeschehen auf, wo Unfallfahrzeug und Blendfahrzeug ebenfalls in Bewegung sind. Für die Darstellung von Bewegungsvorgängen hat sich im Bereich der Verkehrsunfallrekonstruktion das Zeit-Weg-Diagramm bewährt. Es wurde daher versucht, die beschriebenen Effekte in einem Zeit-Weg-Diagramm darzustellen. Dies gelang für Punkt A der Versuchsergebnisse. Hierbei handelt es sich um eine ähnliche Darstellung, wie sie in [2] benutzt wurde, um den Einfluß von Glanzstreifen auf nasser Fahrbahn bei der zeit-/wegmäßigen Analyse zu berücksichtigen.

Zur Darstellung der weiteren Effekte wurde ein neues Verfahren entwickelt, das sog. Kontrastprofil.

3.1 Silhouettenbildung im Zeit-Weg-Diagramm

Bild 1 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise bei der Ermittlung der Scheinwerferlinien. In ein Zeit-Weg-Diagramm zeichnet man zunächst die Fahrlinien von Unfallfahrzeug und Blendfahrzeug ein. Für bestimmte Zeitpunkte ermittelt man die Verbindungslinien zwischen dem Augpunkt und den Scheinwerfern des Blendfahrzeuges. Diese Linien schneiden den Weg des Fußgängers beim Überqueren der Straße. Befindet sich der Fußgänger auf einem solchen Schnittpunkt, so kommt es zum Abdeckungseffekt. Da sich die Positionen von Unfallfahrzeug und Blendfahrzeug ändern, ändert sich auch die Lage der Scheinwerferlinie. Diese Änderung läßt sich erfassen und in das Zeit-Weg-Diagramm übertragen.

Dort kann dann ein Vergleich mit der Bewegungslinie des Fußgängers durchgeführt und ermittelt werden, wann der Fußgänger zum ersten Mal vor den rechten Fahrscheinwerfer des Blendfahrzeuges tritt und damit diesen Scheinwerfer im Gesichtsfeld des Fahrzeugführers abdeckt.

Die beschriebene Konstruktion bedarf keiner Rechnung und kann für die verschiedensten Fahrzustände und Straßenverläufe erarbeitet werden. Für den Fall, daß eine gerade Straße vorliegt und die Fahrzeuge mit konstanter Geschwindigkeit fahren, läßt sich eine einfache Berechnung der Scheinwerferlinien durchführen. Aus der geometrischen Überlegung, wie sie in **Bild 2** skizziert ist, läßt sich folgende Formel herleiten, die die zeitliche Wanderung

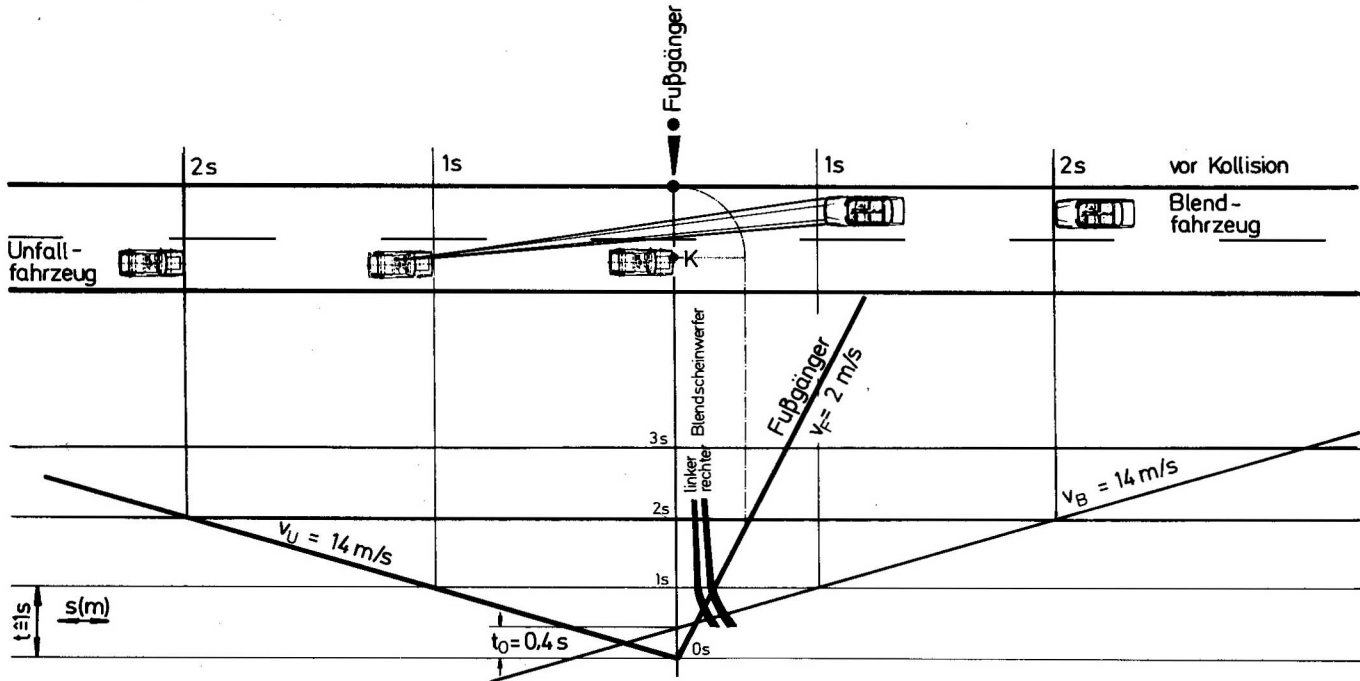


Bild 1 Darstellung der Scheinwerferlinien im Zeit-Weg-Diagramm

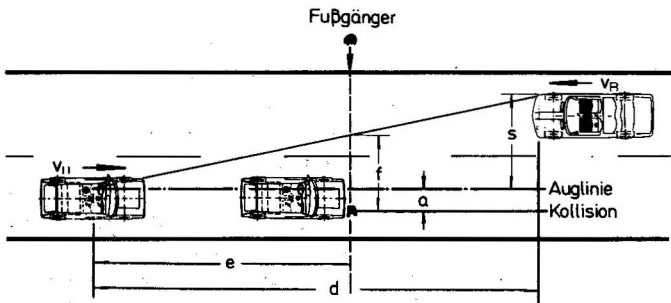


Bild 2 Geometrie zur Erarbeitung der Scheinwerferlinien

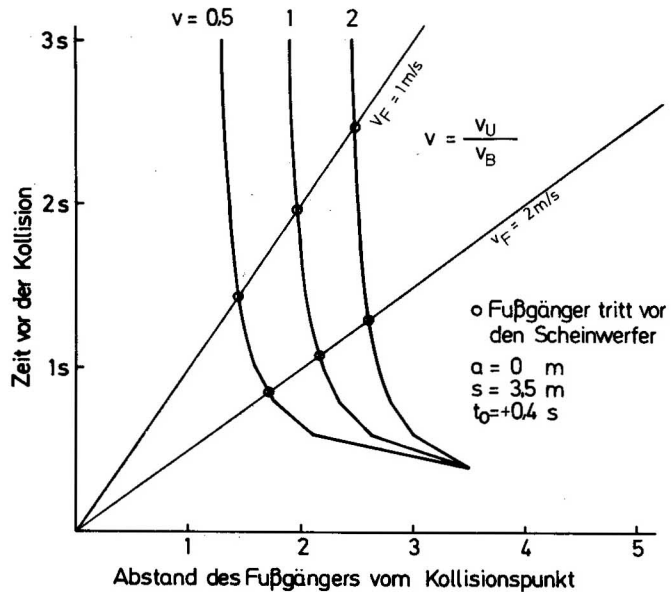


Bild 3 Scheinwerferlinien und Bewegung des Fußgängers

der Scheinwerferlinie auf dem Überquerweg des Fußgängers beschreibt.

$$f = \frac{v}{1 - t_0/t} \cdot s + a$$

Hierbei ist v das Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit des Unfallfahrzeuges v_U und der Geschwindigkeit des Blendfahrzeuges

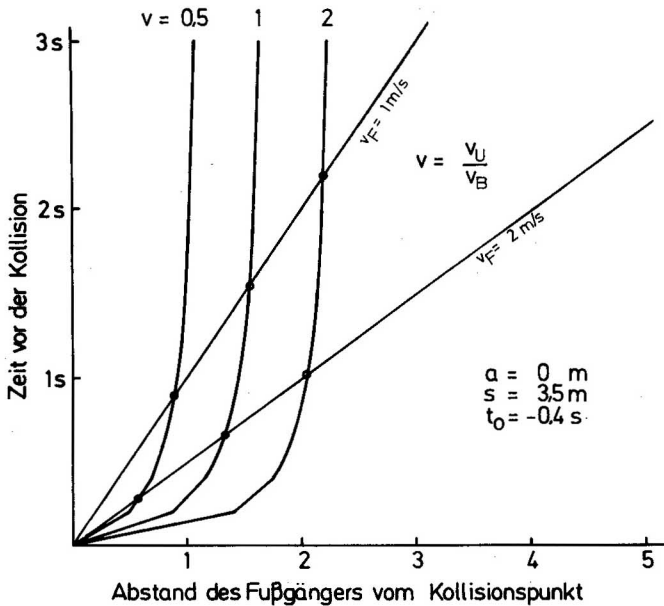


Bild 4 Scheinwerferlinien und Bewegungen des Fußgängers

v_B . Mit t_0 wird der Zeitpunkt bezeichnet, zu dem sich das Blendfahrzeug an der Überquerstelle befindet. Ist t_0 positiv, so passiert das Blendfahrzeug den Überquerweg des Fußgängers noch vor der Kollision und ist t_0 negativ, so erfolgt der Passiervorgang nach der Kollision. In den folgenden drei Bildern (Bild 3, 4, 5) sind die Scheinwerferbewegungslinien für drei verschiedene Fälle dargestellt. Es lassen sich folgende allgemeine Feststellungen treffen:

- Je schneller das Blendfahrzeug gegenüber dem Unfallfahrzeug ist (v größer 1) und je später es an die Unfallstelle kommt ($t_0 < 0$), desto eher tritt der Fußgänger für den Fahrzeugführer des Unfallfahrzeuges vor den rechten Scheinwerfer des Blendfahrzeuges.
- Der Zeitpunkt, wo es zum ersten Mal zu einem Abdecken des Blendscheinwerfers kommt, ist desto später, je langsamer das Blendfahrzeug gegenüber dem Unfallfahrzeug ist und desto später es an die Unfallstelle kommt.

3.2 Kontrastprofil

Die Wahrnehmung des Fußgängers kann immer dann erfolgen, wenn ein ausreichender Kontrast zum Hintergrund vorliegt. Es wird also darauf ankommen, für jeden Zeitpunkt vor der Kollision die

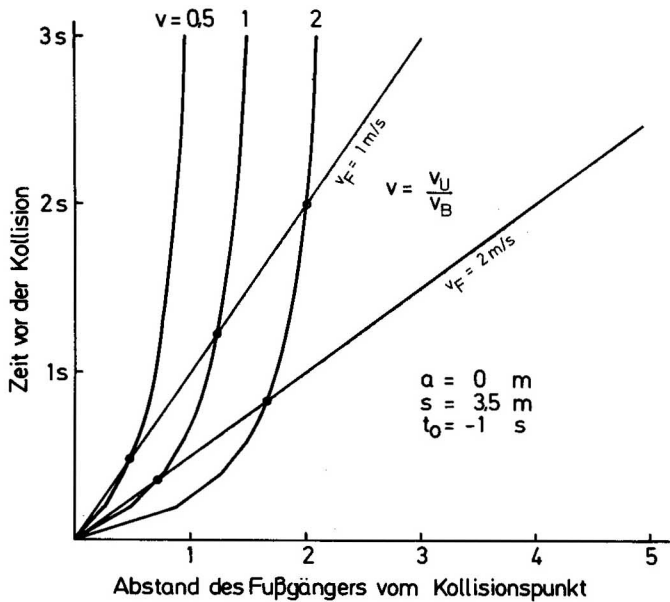


Bild 5 Scheinwerferlinien und Bewegung des Fußgängers

Beleuchtungsverhältnisse im Hintergrund unmittelbar hinter dem Fußgänger zu ermitteln. Die einzelnen Hintergrundsituationen lassen sich zeitlich nebeneinander setzen, so daß man in einem Kontrastprofil die zeitliche Änderung des jeweiligen Hintergrundes ablesen kann. Ein Kontrastprofil beschreibt somit die zeitliche Änderung des Hintergrundes, auf den sich der Fußgänger für den Beobachter projiziert.

Die Erstellung eines Kontrastprofils kann sehr zeitaufwendig sein und soll daher zunächst einmal für einen einfachen Fall vorgestellt werden. Es wird davon ausgegangen, daß die Straße gerade verläuft und durch die Scheinwerfer des Blendfahrzeuges lediglich die Straße ausgeleuchtet wird. Die seitliche Bebauung der Straße habe einen so geringen Reflexionsgrad, daß trotz schwacher Beleuchtung der Hintergrund als dunkel anzusehen ist.

Zunächst einmal muß ermittelt werden, in welcher Weise sich der Fußgänger für den Beobachter vom Straßenhintergrund abhebt. Dies ist wiederum eine geometrische Aufgabe. Die verwendeten

Maßbezeichnungen sind in **Bild 6** zusammengefaßt. Aus dem oberen Bild läßt sich ablesen:

$$\frac{h_a}{h} = \frac{d'}{e'}$$

und aus dem unteren Bild:

$$\frac{s}{f-a} = \frac{d'}{e'}$$

Daraus folgt, daß

$$h = \frac{f-a}{s} \cdot h_a \text{ ist.}$$

Geht man von einer konstanten Fußgängergeschwindigkeit aus, so läßt sich der Abstand des Fußgängers vom Kollisionspunkt f berechnen aus der Fußgängergeschwindigkeit v_F und der Zeit t :

$$h = \frac{v_F \cdot t - a}{s} \cdot h_a$$

Hieraus ergibt sich die Projektion des Fußgängers gegen den Straßenhintergrund als eine Funktion der Zeit. Damit läßt sich der Straßenverlauf in ein Kontrastprofil übertragen, siehe **Bild 7**. Es wurde von einem Straßenverlauf ausgegangen, wie er in Bild 1 dargestellt ist.

Es gilt nun zu erarbeiten, welche Straßenbereiche durch die Scheinwerfer des Blendfahrzeuges ausgeleuchtet sind. Hierzu muß einerseits die Geschwindigkeit des Blendfahrzeuges und der Zeitpunkt bekannt sein, zu dem es an die Unfallstelle kommt und andererseits die Leuchtstärkenverteilung des Blendscheinwerfers. Durch die Konstruktion des Scheinwerfers für das asymmetrische Abblendlicht wird erreicht, daß sich eine scharfe Hell-Dunkel-Grenze auf der Fahrbahn einstellt. Geht man von einer ca. 6 m breiten Straße aus, so liegt die Hell-Dunkel-Grenze am rechten Straßenrand in ca. 90 m Entfernung, unmittelbar vor dem Fahrzeug in ca. 70 m Entfernung und auf der Fahrbahnmittle in ca. 60 m Entfernung.

In das Kontrastprofil im **Bild 7** wurden zwei Ausleuchtungsgrenzen eingezeichnet und zwar einmal für eine Geschwindigkeit des

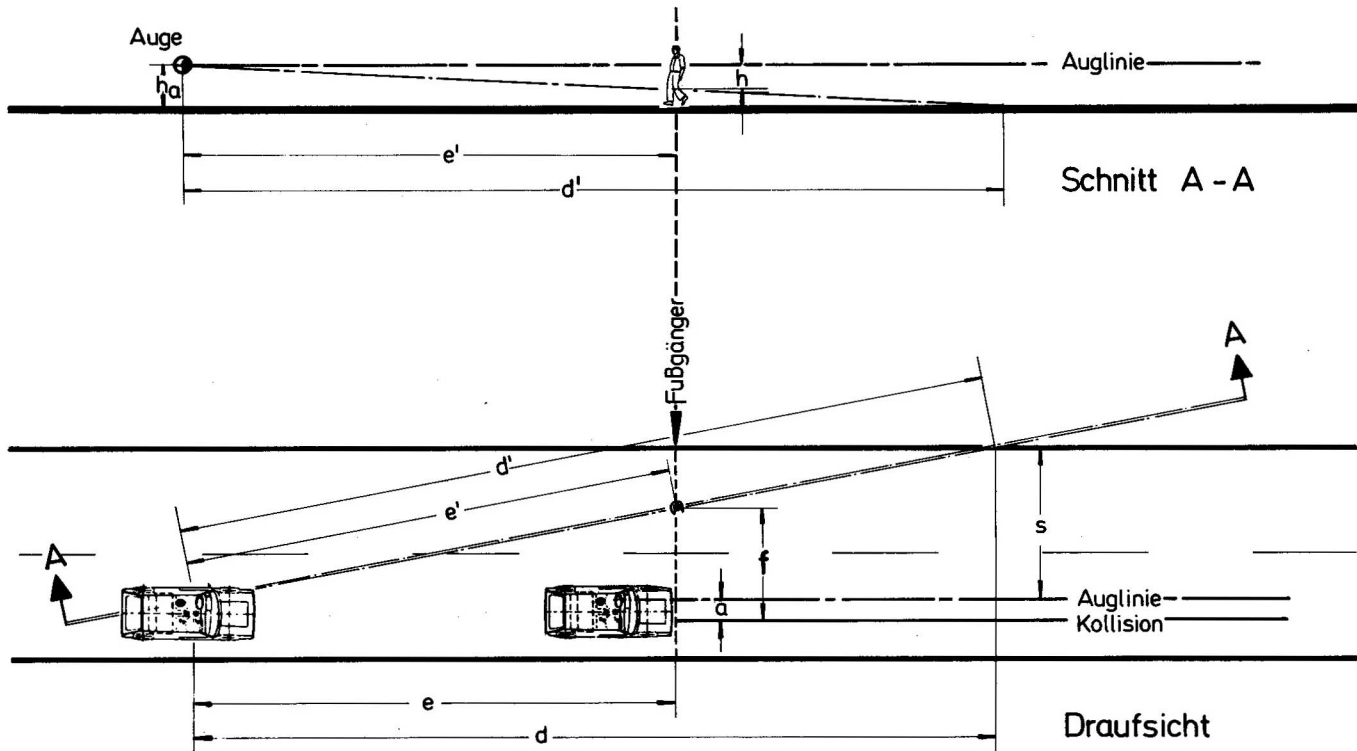


Bild 6 Geometrie zur Erarbeitung des Kontrastprofils

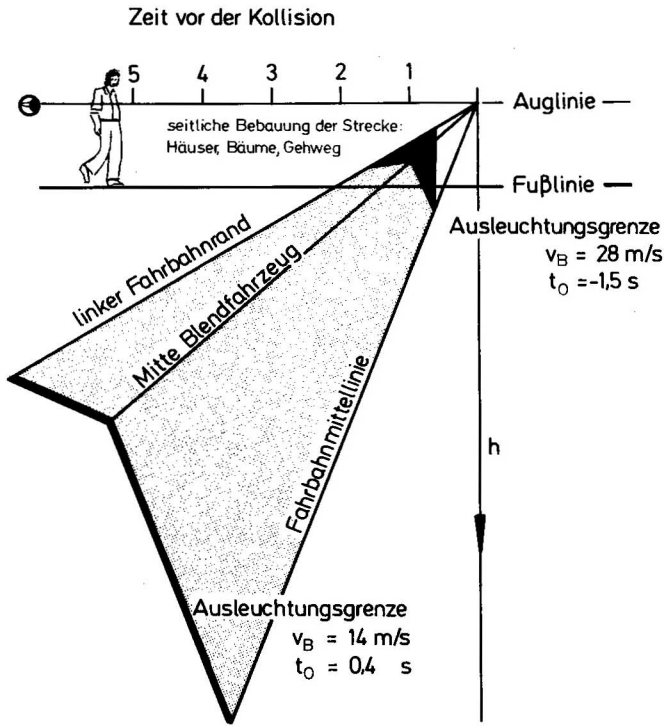


Bild 7 Kontrastprofil

Blendfahrzeuges von 14 m/s und einen Zeitpunkt $t_0 = 0,4 \text{ s}$. Aus dem Kontrastprofil ist dann abzulesen, daß der Fußgänger durch den Scheinwerferkegel des Blendfahrzeuges hindurchläuft. Da die Straße auch vor dem Fußpunkt ausgeleuchtet ist, kann auch mit Schattenwirkungen gerechnet werden.

Anders verhält es sich, wenn das Blendfahrzeug etwa doppelt so schnell fährt und erst $1,5 \text{ s}$ nach der Kollision an die Unfallstelle kommt. In diesem Fall tritt der Fußgänger auf die Straße, wo der linke Fahrbahnrand noch nicht durch die Scheinwerfer des Blendfahrzeuges ausgeleuchtet ist. Erst nach und nach befindet sich etwa in Kniehöhe ein ausgeleuchteter Straßenbereich. 1 s vor der Kollision vergrößert sich dieser Bereich, so daß erst ab einem Zeitraum von ca. $0,8 \text{ s}$ beide Beine sich ganz gegen den hell ausgeleuchteten Straßenhintergrund abheben.

Prinzipiell kann in dieses Kontrastprofil auch die seitliche Bebauung der Straße, wie Häuser, Bäume und Gehwege eingearbeitet werden.

4 Einfluß der Blendung

In der Einleitung wurden zwei weitere Fußgängerunfalltypen vorgestellt.

Geht man davon aus, daß der Fußgänger von rechts auf die Straße tritt, so wird man erwarten, daß sich die Sehweiten durch die Blendung verringern. In [1] wurde ein Verfahren vorgestellt, daß es erlaubt, die ermittelten Sehweiten ohne Blendung in ein Zeit-Weg-Diagramm einzuarbeiten. Die Erkennbarkeitsentfernungen müßten auch für den Fall erarbeitet werden, wo Blendung vorliegt. Solange Blendfahrzeug und Unfallfahrzeug noch nicht aneinander vorbeigefahren sind, liegt eine unmittelbare Blendung vor. Die Herabsetzung der Sehfunktion bei Blendung läßt sich beschreiben durch die sog. Schleierleuchtdichte, die wiederum eine Funktion der Bleuchtungsstärke am Auge und dem Blendwinkel ist. Geht man davon aus, daß die Straße 6 m breit ist und die Fahrzeuge jeweils inmitten ihrer Fahrspur fahren, so ist die Blendwirkung sicherlich eine Funktion des Begegnungsabstandes.

Sind Blendfahrzeug und Unfallfahrzeug aneinander vorbeigefahren, so wirkt die Blendung noch ein wenig nach und die Erkennbarkeitsentfernungen werden sich erst nach und nach dem Zustand annähern, wie er ohne Blendung vorliegt.

Um diese Einflüsse berücksichtigen zu können, wird vorgeschla-

gen, die Erkennbarkeitsentfernungen, wie sie in [1] vorgestellt worden sind, in geeigneter Weise zu modifizieren. Die beiden folgenden Bilder (Bild 8 und 9) zeigen beispielhaft, wie noch zu ermittelnde Versuchsergebnisse dargestellt werden könnten, damit der Sachverständige, der mit der Unfallrekonstruktion beauftragt ist, diese Ergebnisse sinnvoll anwenden kann.

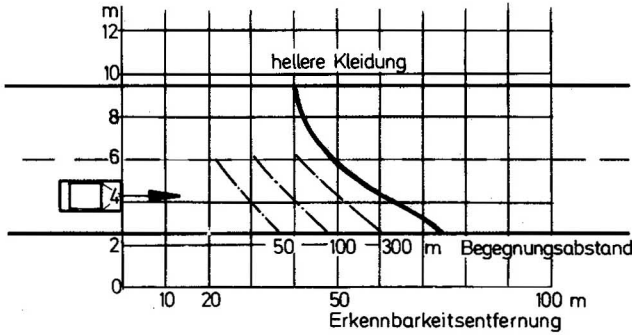


Bild 8 Beispiel zur Modifizierung der Erkennbarkeitsentfernungen in Abhängigkeit vom Begegnungsabstand zwischen Blend- und Unfallfahrzeug

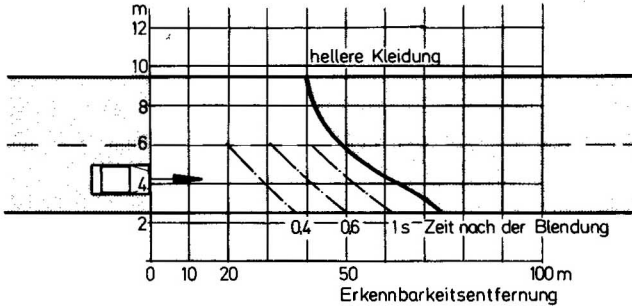


Bild 9 Beispiel zur Modifizierung der Erkennbarkeitsentfernung in Abhängigkeit von der Zeit nach der Blendung

Tritt der Fußgänger von links hinter dem Blendfahrzeug her, so ist einerseits zu berücksichtigen, daß der Fußgänger, solange er sich im Sichtschatten befindet, nicht zu erkennen ist, und andererseits aufgrund der Nachwirkung der Blendung der Fahrer des Unfallfahrzeuges in das sog. schwarze Loch fährt. Eine Möglichkeit der Darstellung der Zeitdauer der Nachwirkung der Blendung ist in Bild 10 vorgestellt. Die dargestellten Zeiträume sind als Beispiel anzusehen. Von Hartmann wird genannt, daß die Nachwirkung der Blendung etwa ein Zehntel der Zeit dauert, in der Blendung vorgelegen hat. Es wäre also noch zu klären, ab welchem Begegnungsabstand der Fahrzeuge die Blendung so deutlich ist, daß sie eine Nachwirkung hervorruft.

5 Zusammenfassung

Tritt ein Fußgänger von links auf die Straße und läuft dabei vor einem weiteren Fahrzeug im Gegenverkehr her, so kann nicht pauschal davon ausgegangen werden, daß der Fußgänger aufgrund von Silhouettenwirkungen besser erkannt werden kann. Es muß vielmehr der zeit-/wegmäßige Zusammenhang zwischen Unfallfahrzeug und Blendfahrzeug und Fußgänger erarbeitet werden. Hierbei interessiert insbesondere die Position des Fußgängers zur Lage der Scheinwerfer des Blendfahrzeuges und zum ausgeleuchteten Straßenhintergrund. Zur Darstellung der Position der Scheinwerfer lassen sich sog. Scheinwerferlinien in ein Zeit-Weg-Diagramm eintragen, wodurch deutlich wird, wann zum ersten mal der Fußgänger für den Fahrer des Unfallfahrzeuges vor die Scheinwerfer des Blendfahrzeuges tritt und damit möglicherweise eine Reaktion auslösen kann.

A: Position der Fahrzeuge, wenn der Fußgänger auf die Straße tritt

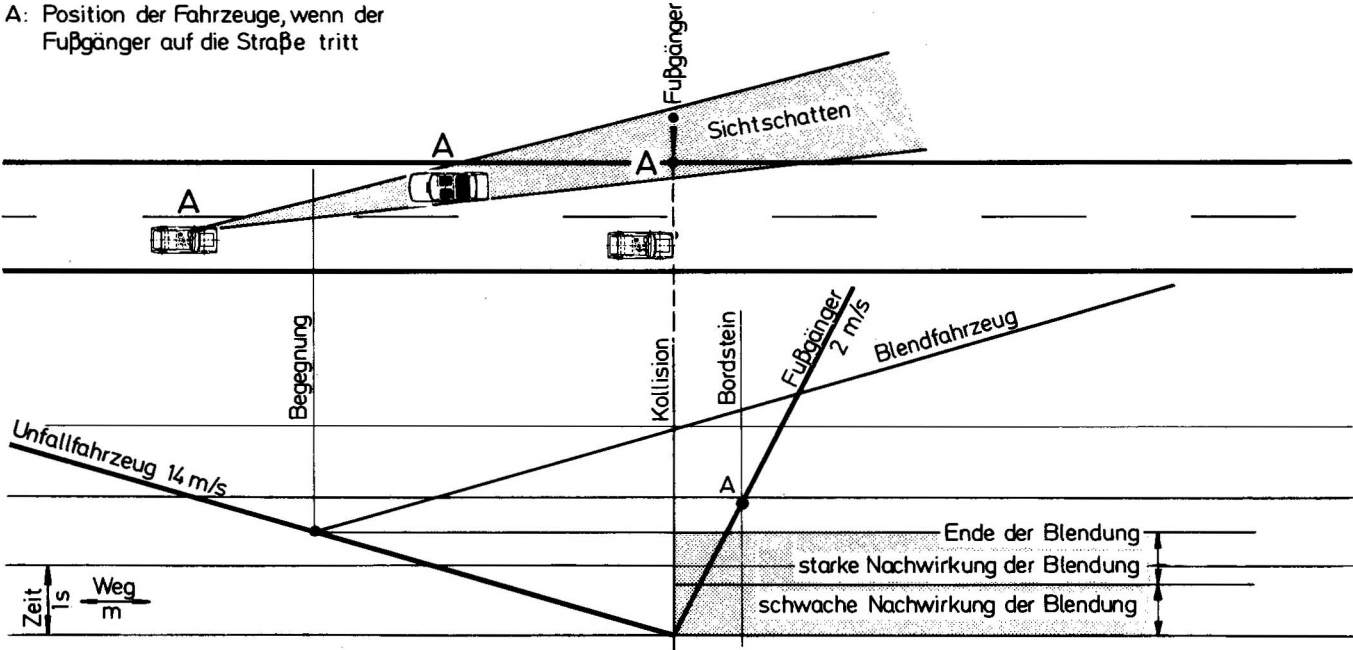


Bild 10 Beispielhafte Darstellung der Nachwirkung der Blendung im Zeit-Weg-Diagramm

Für die Darstellung des Fußgängers vor dem erleuchteten Straßenhintergrund wurde das sog. Kontrastprofil eingeführt, das aufzeigt, wie sich der Hintergrund zeitlich ändert. In diesem Kontrastprofil kann diskutiert werden, inwieweit der Kontrast ausreicht, um eine Wahrnehmung auszulösen.

Durch diese Ausarbeitung und die in [1] und [2] dargestellten Punkte ist versucht worden, den dynamischen Ablauf bei Dunkelheitsunfällen anschaulich zu machen.

Die stetige Veränderung der Situation wird durch ein lichttechnisches Gutachten allein nur selten erfaßt.

Literatur

[1] Becke, Manfred:
Erkennbarkeits-Zeit-Weg-Kurven (EZW-Kurven)
Der Verkehrsunfall 1982 Heft 12

[2] Schimmelpfennig, Karl-Heinz:
Zeitwegmäßige Erfassung der Glanzstreifenwanderung bei Fußgängerunfällen auf nasser, beleuchteter Fahrbahn.
Der Verkehrsunfall 1983