

Karl-Heinz Schimmelpfennig\*, Dietmar Rennich\*\*

Hinweise auf die Bedeutung  
der Fahrbahnquerneigung  
in der Unfallrekonstruktion

**Zusammenfassung**

Die Fahrbahnquerneigung kann in der Unfallrekonstruktion eine wichtige Rolle spielen. Diese Ausarbeitung erfaßt die seitliche Verlagerung, die unter dem Einfluß der Fahrbahnquerneigung auftritt, als Funktion der Ausgangsgeschwindigkeit und der Verzögerung. Außerdem wird auf ihre Bedeutung bei Bremsvorgängen und bei der Rekonstruktion von Pkw-Fußgänger bzw. Pkw-Zweiradunfällen hingewiesen.

**Summary**

The lateral inclination of the roadway may play an important role in the reconstruction of accidents. This elaboration takes into account the sideways displacement occurring under the influence of the lateral inclination of the roadway as a function of the original speed and the retardation. Its significance should also be pointed out in respects of braking processes and in the reconstruction of accidents involving cars and pedestrians or cars and two-wheeled vehicles.

**1 Einleitung**

Der Einfluß der Fahrbahnquerneigung wird in der Unfallrekonstruktion in der Regel vernachlässigt. Dies kann aber zu nichtzutreffenden Voraussetzungen und zu falschen Interpretationen der Ergebnisse führen.

Bei eigenen Versuchen [1, 2] wurde zur Bestimmung der Rutschweite von Fußgängern und Zweirädern eine seitliche Verlagerung bezüglich der Fahrbahnlängsachse beobachtet. Diese seitliche Verlagerung konnte der Fahrbahnquerneigung zugeschrieben werden.

In dieser Ausarbeitung wird die mathematische Berechnung der seitlichen Verlagerung unter dem Einfluß der Fahrbahnquerneigung vorgestellt. Anschließend wird auf ihre Bedeutung bei Bremsvorgängen und bei der Rekonstruktion von Pkw-Fußgänger bzw. Pkw-Zweiradunfällen hingewiesen.

**2 Mathematische Ausarbeitung**

Die Rutschbewegung eines Massenpunktes auf einer Fahrbahn mit Querneigung entspricht der Bewegung auf einer schiefen Ebene. Die Bewegung auf der schiefen Ebene setzt sich aus einer Bewegung in Längsachse (x-Achse) und einer dazu senkrechten zusammen (y-Achse). In **Bild 1** wird das gewählte Koordinatensystem dargestellt.

Der physikalische Vorgang wird mit Hilfe eines mathematischen Modells dargestellt. An dem sich auf der schiefen Ebene bewegenden Massenpunkt greift die Reibungskraft und die Hangabtriebskraft an. Die Reibungskraft ist der Bewegung entgegengesetzt und wirkt tangential an die Bewegungslinie (S). Diese Kraft kann in ihre Komponenten zerlegt werden:  $F_x$  und  $F_y$ . Die Reibungskraft bildet mit der x-Komponente den Winkel  $\gamma$ .

Die Kraftkomponente senkrecht zur Fahrbahnlängsachse bis zur

\*Dipl.-Ing. (TU) Karl-Heinz Schimmelpfennig, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle  
\*\*Dipl.-Ing. (TU) Dietmar Rennich, Mitarbeiter im Ing.-Büro Schimmelpfennig und Becke, Im Bilskamp 2 F, 4400 Münster-Wolbeck

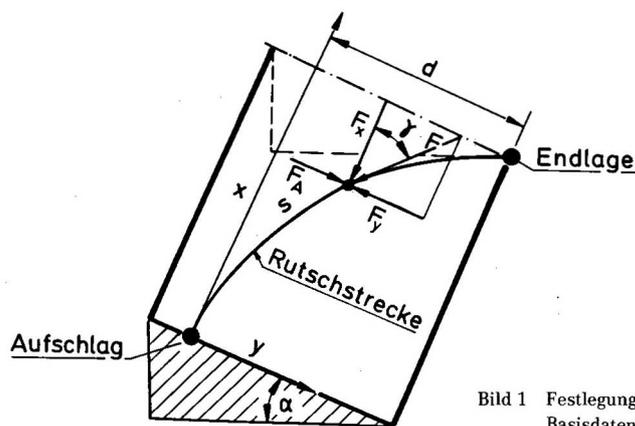


Bild 1 Festlegung der Basisdaten

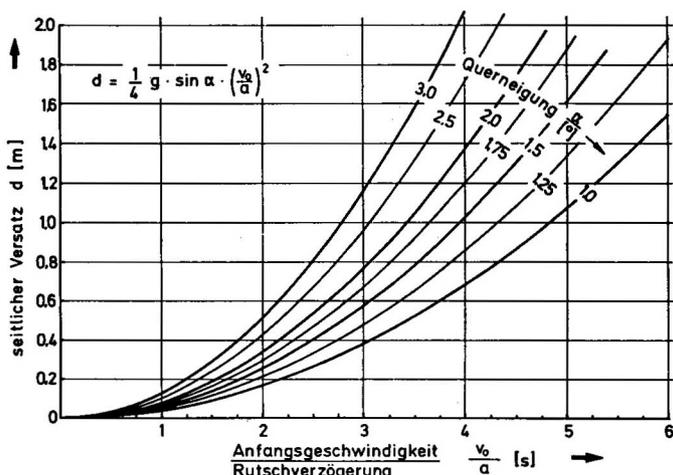


Bild 2 Seitliche Verlagerung in Abhängigkeit von Querneigung, Anfangsgeschwindigkeit und Verzögerung

Endlage erzeugt die seitliche Verlagerung. Sie wird im folgenden mit »d« bezeichnet. Es gelten folgende Bewegungsgleichungen:

$$\begin{aligned} m \cdot \ddot{x} &= -F_x = -F \cdot \cos \gamma \\ m \cdot \ddot{y} &= -F_y + F_A = -F \cdot \sin \gamma + F_A \end{aligned} \quad (1)$$

$F_A$  steht für die Hangabtriebskraft.

Für die Reibungskraft, Hangabtriebskraft und den Winkel  $\gamma$  können folgende Beziehungen geschrieben werden:

$$\begin{aligned} F &= m \cdot \mu \cdot g \cdot \cos \alpha \\ F_A &= m \cdot g \cdot \sin \alpha \\ \tan \gamma &= \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \end{aligned} \quad (2)$$

Da das Gleichungssystem (1) in geschlossener Form nicht lösbar ist, wird folgende Annahme getroffen:

$$\begin{aligned} \cos \gamma &\approx 1 \\ \sin \gamma &= \tan \gamma = \gamma = \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \end{aligned} \quad (3)$$

Durch Einsetzen von (2) und (3) in (1) erhält man folgende Differentialgleichung für die Bestimmung der seitlichen Verlagerung:

$$\ddot{y} + a \cdot \frac{\dot{y}}{\dot{x}} - g \cdot \sin \alpha = 0 \quad (4)$$

$\dot{y}$  und  $\dot{x}$  stellen die Geschwindigkeitskomponente des Massenpunktes dar.

$$\ddot{x} = v_x = v_0 - a \cdot t \quad (5)$$

$$\ddot{y} = v_y = \left(1 - \frac{a \cdot t}{v_0}\right) \cdot \left[-g \cdot \sin \alpha \cdot \frac{v_0}{a} \cdot \ln\left(1 - \frac{a \cdot t}{v_0}\right)\right] \quad (6)$$

Durch Integration der Beziehungen (5) und (6) erhält man:

$$x = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} y &= g \cdot \sin \alpha \cdot \frac{v_0^2}{4a^2} + g \cdot \sin \alpha \cdot \frac{v_0^2}{a^2} \cdot \left(1 - \frac{a \cdot t}{v_0}\right) \cdot \\ &\left[\left(1 - \frac{a \cdot t}{v_0}\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{a \cdot t}{v_0}\right) - \frac{1}{2}\right] \end{aligned} \quad (8)$$

Für die Endlage gilt:

$$t_E = \frac{v_0}{a}$$

und  $y$  ist gleich mit der seitlichen Verlagerung  $d$ .  
Es folgt:

$$d = g \cdot \left(\frac{v}{2a}\right)^2 \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

Mit Hilfe dieser Beziehung kann die seitliche Verlagerung als Funktion der Querneigung und der Verzögerung berechnet werden.

**Bild 2** zeigt die Darstellung dieser Funktion in Form eines Diagrammes: Anfangsgeschwindigkeit bezogen zur Verzögerung über seitlichen Versatz und Querneigung.

Im folgenden wird die Annahme nach Gleichung (3) anhand eines Beispiels überprüft. Folgende konkrete Werte werden zugrunde gelegt:

Fahrbahnquerneigung = 3°  
Verzögerung = 8 m/s<sup>2</sup>

Für  $\tan \gamma$  gilt folgende Beziehung:

$$\tan \gamma = \frac{g \cdot \sin \alpha}{a} \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - t/t_g} \right) \quad (10)$$

Im **Bild 3** wird die Abhängigkeit des Winkels  $\gamma$  bezüglich des Verhältnisses Zeit und Gesamtzeit wiedergegeben.

Der Winkel  $\gamma$  nimmt fast über die ganze Wegstrecke kleine Werte an. Daraus folgt, daß die Annahme (3) fast für die gesamte Bewegungslinie zutrifft.

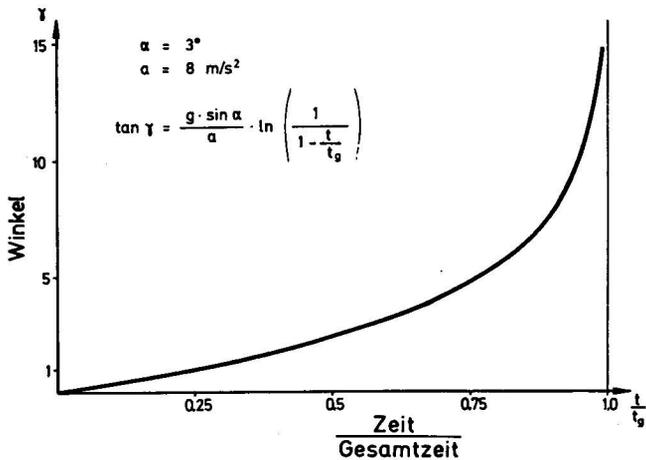


Bild 3 Abhängigkeit des Winkels von dem Verhältnis Zeit/Gesamtzeit

### 3 Bewegungsrichtung von Fußgänger und Zweiradfahrer

Der Einfluß der Fahrbahnquerneigung auf die Bewegungsrichtung von Fußgänger und Zweiradfahrer wird anhand eines Beispiels vorgestellt.

**Bild 4** zeigt die Unfallsituation:

Ein Fußgänger wird von einem pontonförmigen Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h auf einer nassen Fahrbahn mit 2% Querneigung angefahren. Die Querspurweite beträgt 1,5 m. Bei dieser Querspurweite ergibt sich nach [1] eine Geschwindigkeit des Fußgängers von ca. 6 km/h für eine ebene Fahrbahn.

Berücksichtigt man aber die Fahrbahnquerneigung von 2% und eine Rutschverzögerung von 4 m/s<sup>2</sup> (nasse Fahrbahn), so wird allein durch die Querneigung der Fahrbahn diese seitliche Verlagerung von 1,5 m erzwungen, siehe Bild 2. Es folgt also, daß bei Fußgänger-Pkw-Unfällen, bei denen Querspurweiten auftreten, nicht zwingend der Fußgänger in Bewegung war, die Querneigung beeinflusst das Ergebnis.

Eine Vernachlässigung der Fahrbahnquerneigung bei Fußgänger/Pkw und auch bei Kollisionen zwischen Pkw und Zweiradfahrern im Querverkehr kann zu falschen Interpretationen hinsichtlich der Bewegungsgeschwindigkeit und der Bewegungsrichtung des Fußgängers bzw. des Zweiradfahrers führen.

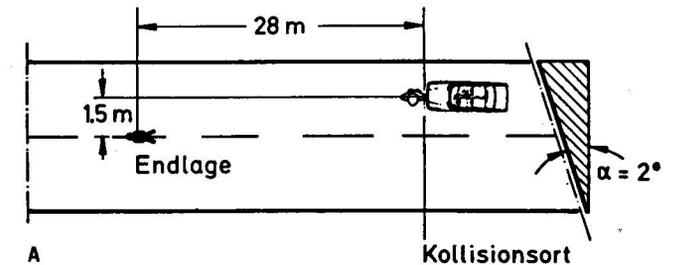
### 4 Bremsvorgang

#### 4.1 Bremsvorgang auf gerader Fahrbahn

Die Fahrbahnquerneigung hat auch einen Einfluß auf die Bewegungsrichtung eines abgebremsten Fahrzeuges. Eigene Bremsversuche [2], durchgeführt auf einer Fahrbahn mit 2,5% Querneigung, ergaben ein Spurenbild, wie es im **Bild 4a** wiedergegeben wird.

Bei diesem Bremsvorgang lagen keine überlagerte Ausweichbewegung und keine schiefe Bremsen vor. Die seitliche Verlagerung, infolge der Fahrbahnquerneigung, kann bis auf die Gegenfahrbahn reichen und zur Gegenverkehrsunfällen führen.

Bei einer Geschwindigkeit z.B. von 120 km/h, einer Blockierverzögerung von 8 m/s<sup>2</sup> und einer Fahrbahnquerneigung von 2,5% ergibt sich zwingend eine seitliche Verlagerung von ca. 1,9 m, die nur auf die Querneigung der Fahrbahn zurückzuführen ist.



Fahrtrichtung

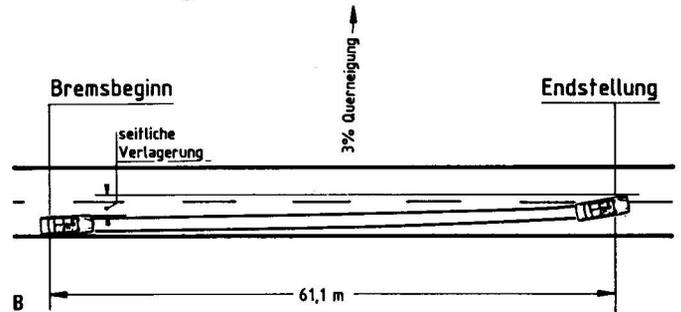


Bild 4 Lageplan zum Unfallbeispiel

#### 4.2 Bremsvorgang in der Kurve

Eine Blockierbremsung in der Kurve ohne Querneigung führt zu einem Spurenbild, wie es in **Bild 5** wiedergegeben wird.

Da durch das Blockieren der Vorderräder keine Seitenkräfte übertragen werden können, behält das Fahrzeug seine ursprüngliche Richtung bei und kommt auf die Gegenfahrbahn.

Unter dem Einfluß der Fahrbahnquerneigung ändert sich der Spurenverlauf. **Bild 6** gibt diese Situation wieder.

Wie festzustellen ist, behält das Fahrzeug in dieser Situation bei

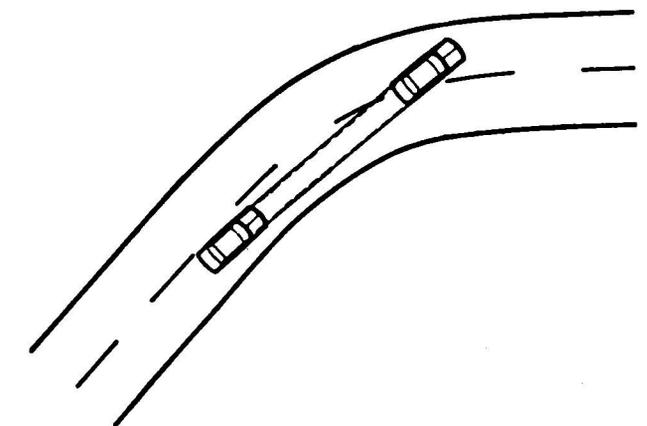


Bild 5 Blockierbremsung in einer Kurve auf einer Fahrbahn ohne Querneigung

blockierten Rädern seine Richtung nicht bei. Die seitliche Verlagerung, die eine Folge der Fahrbahnquerneigung ist, trägt dazu bei, daß das Spurenbild des vollverzögerten Pkw einen bogenförmigen Verlauf einnimmt.

In der mathematischen Beziehung der seitlichen Verlagerung kann die Geschwindigkeit  $V_0$  mit Hilfe des Bremsweges und der Verzögerung ersetzt werden. Es folgt dann für die seitliche Verlagerung:

$$d = g \cdot \sin \alpha \cdot \frac{s}{2a} \quad (11)$$

Da in der Unfallrekonstruktion im allgemeinen die Fahrbahnquerneigung, die seitliche Verlagerung und der Bremsweg bekannt sind, kann mit der Beziehung (11)

$$a = \frac{s \cdot g \cdot \sin \alpha}{2 \cdot d} \quad (12)$$

die mittlere Verzögerung überprüft werden.

### 5 Zusammenfassung

Die mathematische Beziehung zwischen dem seitlichen Versatz, der Geschwindigkeit, der Fahrbahnquerneigung und der Rutschverzögerung wurde aufgestellt.

Es wird auf den Einfluß der Fahrbahnquerneigung bei der Rekonstruktion von Pkw/Fußgänger-Unfällen und bei Bremsvorgängen hingewiesen.

Eine Vernachlässigung der Fahrbahnquerneigung kann zu falschen Beurteilungen bei der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen führen.

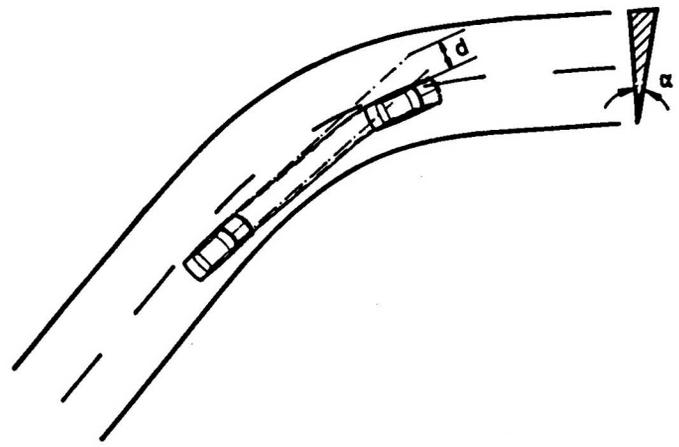


Bild 6 Blockierbremsung in einer Kurve auf einer Fahrbahn mit Querneigung

#### Literaturnachweis

- [1] Becke, M.: Zweiradrutschverzögerungen bei hohen Geschwindigkeiten, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Feb. 1985, Heft 2.
- [2] Becke, M., Golder U.: Rutschversuche mit Zweirädern auf nasser Fahrbahn und auf Gras, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, April 1986, Heft 4
- [3] Kühnel, A.: Der Fahrzeug-Fußgänger-Unfall und seine Rekonstruktion, Diss. TU Berlin, 1980
- [4] Schimmelpfennig, K.-H.: Geschwindigkeitsrückrechnung nach Spurenbild – Achskoppelverfahren, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Dez. 1984, Heft 12.

### Technische Kurzmitteilungen für die Schadenpraxis

(Mit freundlicher Genehmigung der Allianz Versicherungs AG)

#### Reich- und Sichtweite von Pkw-Abblendlicht

Häufig werden die Begriffe Reichweite und Sichtweite in der Literatur, vor allem aber in der Rechtsprechung verwechselt, nicht klar gegeneinander unterschieden und manchmal sogar gleichgesetzt.

Grundsätzlich ist festzuhalten, daß die **Reichweite** in erster Linie eine Eigenschaft des Scheinwerfers und seiner geometrischen Einbauverhältnisse ist, während die **Sichtweite**, die ein Beobachter im Licht seines Scheinwerferlichtes erzielt, zwar mit dieser Reichweite zusammenhängt, darüber hinaus aber ganz wesentlich durch die Eigenschaften des zu erkennenden Objekts bestimmt wird und im übrigen ja auch für die Lichtverhältnisse am Tag definiert ist, wenn überhaupt keine Scheinwerfer eingeschaltet sind und die Reichweite keinen Sinn hat.

Zwei vor kurzem in Fachzeitschriften veröffentlichte Forschungsberichte [1,2] tragen nicht nur zur Klärung dieser beiden Begriffe bei, sondern zeigen sehr differenziert eine Reihe von Größen auf, von denen diese Erscheinungen beeinflusst werden.

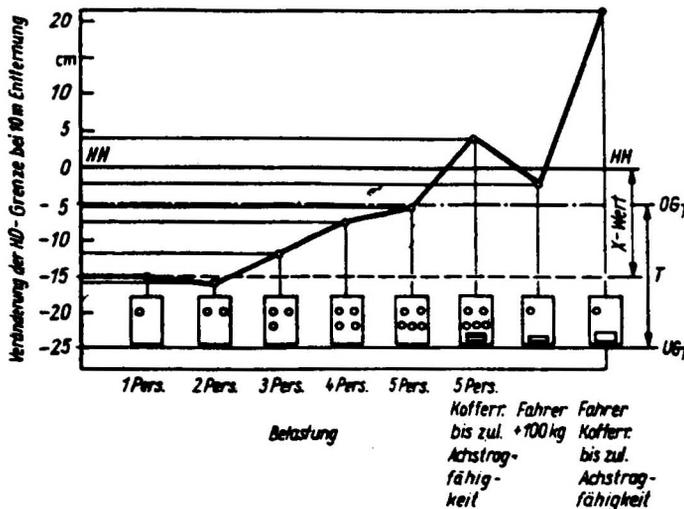


Bild 1 Veränderung der HD-Grenze in Abhängigkeit der Belastung des Fahrzeugs (allgemeine Darstellung) H = Lage der Hell-Dunkel-Grenze in cm/10 m Einstellentfernung in Bezug auf HH-HH (Horizontalebene durch Scheinwerfermitte)  
OG<sub>T</sub> = Obere Grenze des Toleranzfeldes  
UG<sub>T</sub> = Untere Grenze des Toleranzfeldes  
T = Toleranzfeld der Lage der Hell-Dunkel-Grenze

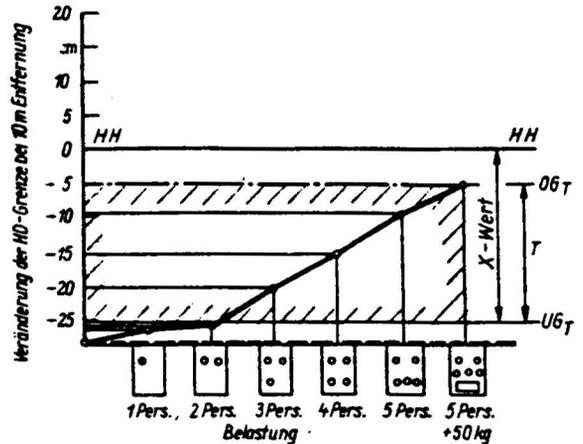


Bild 2 Veränderung der H-D-Grenze in Abhängigkeit der Belastung des Fahrzeugs für Mazda 323

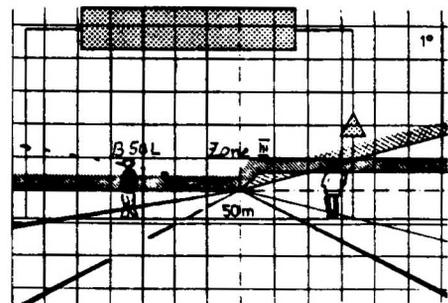


Bild 3 Perspektivisches Bild einer zweispurigen Straße, aus Scheinwerferhöhe gesehen

Die **geometrische Reichweite** eines Kfz-Scheinwerfers – über die hinaus das Scheinwerferlicht auch noch wirksam sein kann – ist diejenige Entfernung, in welcher der waagerechte Teil der Hell-Dunkel-Grenze eines Abblendscheinwerfers bei einer ganz bestimmten Belastung (eine Person auf dem Rücksitz), bei richtigem Reifendruck und auf ebener horizontaler Fahrbahn gerade die Fahrbahnoberfläche erreicht.

Da nach den gesetzlichen Bestimmungen die Scheinwerfer eines normalen Pkw so einzustellen sind, daß die waagerechte Hell-Dunkel-Grenze pro 10 Meter Entfernung sich um 10 cm unterhalb der Scheinwerfermitte absenken muß, beträgt bei der üblichen Scheinwerferbauhöhe von 65 cm (Scheinwerfermitte) die geometrische Reichweite 65 m. Dieser Absenk-Koeffizient 10 cm/10 m der Hell-Dunkel-Grenze schwankt

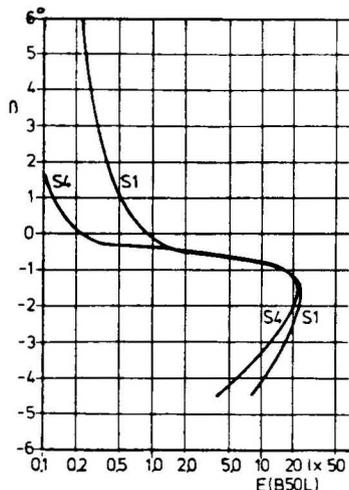
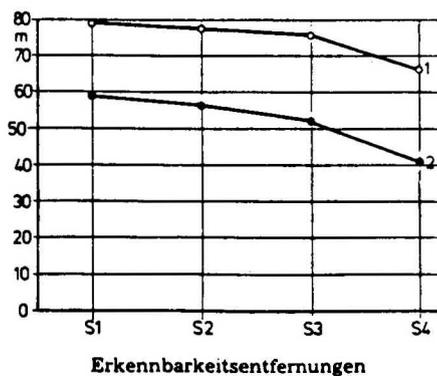
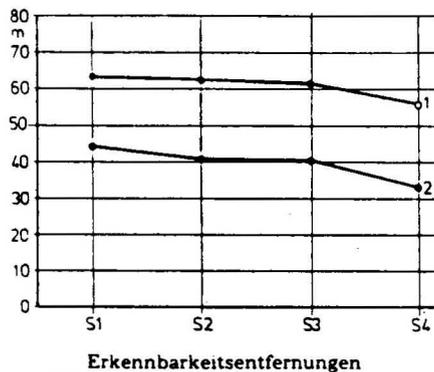


Bild 4 Vertikale Beleuchtungsstärkeverteilung für unterschiedliche Scheinwerfer  
Vertikale Meßebene durch den Meßpunkt B 50 L



weiße Objekte  
Objektgröße: Dummy  
Reflexionsgrad: 31%  
Objektposition: (1) rechter Fahrbahnrand  
(2) linker Fahrbahnrand

Bild 5



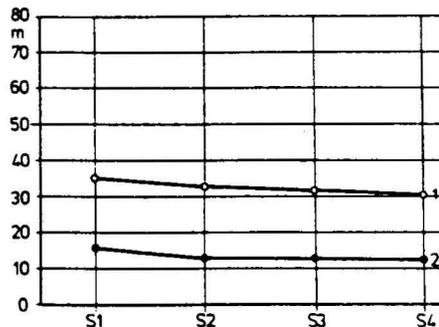
graue Objekte  
Objektgröße: Dummy  
Reflexionsgrad: 14%  
Objektposition: (1) rechter Fahrbahnrand  
(2) linker Fahrbahnrand

Bild 6

gegenüber der Normeinstellung selbstverständlich mit den unterschiedlich möglichen Beladungszuständen und mit der Federungscharakteristik, so daß die ECE-Regelung H 48 Toleranzen berücksichtigt und festlegt, in der der sogenannte »X-Wert« liegen darf.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Beladungs- und Belastungszustände sind prinzipiell dem Bild 1 und speziell für die Pkw-Typen Mazda 323 und Dacia 1300 aus Bild 2 zu entnehmen:

Bei fast allen untersuchten Pkw verläßt bei mehr oder weniger starker Belastung der Hinterachse die Hell-Dunkel-Grenze den ECE-Bereich unabhängig davon, ob eine Höhenverstellung benutzt wird oder nicht; eine alleinige Belastung der Vorderachse führt kaum zu einer Neigungsänderung. Die größten Lageänderungen werden durch die Belastungen über oder hinter der Hinterachse hervorgerufen; für den Gegenverkehr tritt dadurch erhöhte Blendgefahr auf.



Erkennbarkeitsentfernungen  
schwarze Objekte  
Objektgröße: Dummy  
Reflexionsgrad: 5%  
Objektposition: (1) rechter Fahrbahnrand  
(2) linker Fahrbahnrand

Bild 7

Zur Beschränkung der Blendgefahr des Gegenverkehrs werden in der ECE-Regelung 20 die maximalen Blendbeleuchtungsstärken für den Punkt B 50 L und die abgeknickte bzw. abgestufte Zone III nach der Normnetztafel (Bild 3) vorgeschrieben.

$E(B 50 L) < 0,4 \text{ lx}$

$E(\text{Zone III}) < 0,7 \text{ lx}$

Eine Vorschrift für Minimalwerte in dieser Zone war bisher nicht notwendig, da durch die konventionellen Scheinwerferkonstruktionen immer eine bestimmte Blendungsbeleuchtungsstärke im oberen Straßenraum vorhanden war; mit Scheinwerfern nach dem Projektionssystem, wie sie heute schon angeboten werden, ist es dagegen möglich, Scheinwerfer blendungsarm zu bauen; Bild 4 zeigt die Beleuchtungsstärkeverteilung eines heute allgemein typischen Scheinwerfers (S1) bzw. eine blendarme (S4) in einer vertikalen Meßebene durch den Meßpunkt B 50 L.

Die Sichtweiten im Abblendlicht bei Nachtfahrten – in der zitierten Arbeit [2] werden sie als »Erkennbarkeitsentfernungen« bezeichnet – hängen nun, wenn die lichttechnischen Größen und die geometrischen Einbaubedingungen der Scheinwerfer als einwandfrei und konstant gegeben angesehen werden, von der Größe eines Objekts und seiner Position auf der Straße sowie von seinem Reflexionsgrad ab.

In den Bildern 5 bis 7 sind die gemittelten Ergebnisse der Versuch dargestellt:

Daß die Dummies am rechten Fahrbahnrand unbeeinflusst von allen anderen Parametern auf einen rund 20 m weiteren Abstand bereits erkannt wurden als am linken Fahrbahnrand, deckt sich mit den bekannten Erfahrungen jedes Pkw-Fahrers.

Die Abhängigkeit von den Scheinwerfertypen war nur für die hier speziell vorgelegene Fragestellung relevant; der heutige Scheinwerferbestand dürfte durch die Typen S1 und S2 abgedeckt sein.

Der außerordentliche Rückgang der Erkennbarkeitsentfernung eines am linken Fahrbahnrand stehenden hellen Dummy von 55 bis 60 m auf 12 bis 15 m für einen schwarzen Dummy sollte durch die Information relativiert werden, daß man im Straßenverkehr einem Fußgänger mit einer Gesamtbekleidung von nur 5% Reflexionsgrad kaum begegnen wird; die gängigen Kleidungsstücke und unbedeckte Gesichter, Hände usw. liegen mit ihren Reflexionsgraden im grauen Niveau. Ganz erheblich können Fußgänger die Erkennbarkeitsentfernung auf sich steigern, wenn sie Gürtel oder Bänder aus retroreflektierendem Material umbinden, durch die, wie bei Verkehrszeichen, Sichtweiten von 120 m und mehr resultieren.

Literaturnachweis

- [1] Torges, G. »Einflüsse technischer Parameter auf die Lage der Hell-Dunkel-Grenze des Pkw-Scheinwerfer-Lichtes« Kraftfahrzeugtechnik, Berlin 35 (1985) 11, Seite 333 f.
- [2] Schmidt-Clausen, H.-J. »Zur Blendungsbegrenzung von Scheinwerfern für das Abblendlicht« ATZ, Automobiltechnische Zeitschrift 87 (1985) 5, Seite 235 f