

Reaktionszeiten im Straßenverkehr

1. Einleitung

In Deutschland ereignen sich jährlich etwa 3,4 Millionen Verkehrsunfälle, die der Öffentlichkeit durch die Schadensregulierung der Versicherer bekannt werden [1]. Rund 330.000 Verkehrsunfälle ziehen Personenschäden nach sich. Hierbei wurden im Jahr 2006 5.091 Personen tödlich verletzt [2], darunter 711 Fußgänger. 38 % der getöteten Fußgänger versterben in der dunklen Jahreszeit, das heißt in den Monaten November bis Januar. Eine große Zahl der auftretenden Unfälle bedürfen hinsichtlich ihrer Verursachung und der Regulierung der daraus entstandenen Schäden der juristischen Aufarbeitung. So entfallen etwa 25 % der staatsanwaltschaftlichen Ermittlungsverfahren auf Verkehrsstrafsachen (Sach- und Personenschäden) [3]. Die juristische Beurteilung eines Verkehrsunfalls setzt die Kenntnis des Unfallablaufs voraus, sodass in vielen Fällen Sachverständige für Unfallanalytik zugezogen werden müssen. Deren Aufgabe ist es unter anderem auch, die Vermeidbarkeit der Kollision für die Beteiligten zu beurteilen. Hierbei kommt der anzusetzenden Reaktionszeit des Kraftfahrers ein erheblicher Stellenwert zu.

2. Definition der Reaktionszeit und Ablauf des Reaktionsvorganges

Unter Reaktion wird das zielgerichtete Handeln einer Person verstanden, das aufgrund eines vorangegangenen Ereignisses erfolgt. Eine Reaktion ist demnach die Antwort einer Person auf eine vorangegangene Veränderung in ihrer Umwelt. In Bezug auf den Straßenverkehrsunfall wird die Umweltveränderung, die die Einleitung einer Reaktion verursacht, als „objektive Reaktionsaufforderung“ bezeichnet. Aus obiger Definition folgt, dass eine Umweltveränderung bzw. „objektive Reaktionsaufforderung“ erst als solche wahrgenommen und erkannt werden muss, bevor eine Reaktion darauf eingeleitet werden kann. Die Zeit zwischen der „objektiven Reaktionsaufforderung“, also dem Beginn der Reaktion, und der Einleitung einer Antwort darauf heißt Reaktionszeit.

Im Straßenverkehr werden über 90 % der Informationen visuell aufgenommen [4]. Daher kommt dem Sehvorgang bei der Beurteilung eines Reaktionsablaufes bzw. der angemessenen Reaktionszeit eine wesentliche Bedeutung zu. Der Sehvorgang gliedert sich aus physiologischer Sicht, zB nach *Zimbardo* [5], in drei nacheinander ablaufende Vorgänge:

1. Stimulation durch die Umwelt/Empfindung (Sehen)
2. Wahrnehmen
3. Erkennen/Klassifizieren

Unter der Stimulation durch die Umwelt wird das „Sehen“, also das Aufnehmen eines Leuchtdichtemusters durch das

Auge verstanden. In dieser Phase des Sehvorgangs wird das Muster des zu erkennenden Gegenstandes auf der Netzhaut abgebildet. Daran schließt sich der Vorgang der „Wahrnehmung“ an, das heißt, aus dem Leuchtdichtemuster werden die Merkmale des Gegenstandes herausgefiltert. Nach dem Wahrnehmen des Gegenstandes erfolgt die Klassifikation. In diesem Stadium des Sehens wird der wahrgenommene Gegenstand mit bekannten, abgespeicherten Mustern verglichen und diesen zugeordnet.

Aus dem funktionalen Ablauf des Sehvorgangs wird ersichtlich, dass der präzisen Erfassung des zu erkennenden Gegenstandes für den Ablauf und die Dauer der nachgeordneten Prozesse eine hohe Bedeutung zukommt. Kann das zu erkennende Leuchtdichtemuster, abhängig von der Adaptationsleuchtdichte, nicht mit der erforderlichen Genauigkeit aufgenommen werden, beispielsweise aufgrund eines zu niedrigen Kontrastes, so wird sich die Zeitspanne vom ersten Auftreten des Reizes bis zu dessen Klassifikation, zB als querenden Fußgänger, zwangsläufig verlängern, da Wahrnehmung und Klassifikation erheblich erschwert, wenn nicht gar unmöglich, sind.

Dass die Dauer des oben beschriebenen Sehvorganges einen erheblichen Einfluss auf die Länge der Reaktionszeit hat, liegt auf der Hand. Weitere Einflussfaktoren auf die Dauer der Reaktionszeit sind unter anderem die Intensität der Reaktionsaufforderung sowie die Amplitude und die Verweildauer auf einem Blickpunkt. Einen ebenfalls erheblichen Einfluss auf den Ablauf der Reaktion hat die Position des reaktionsauslösenden Objekts zum Betrachter. Dies wird durch den Beobachtungs- und den Sehwinkel (Objektgröße), die in die entsprechenden Gleichungen Eingang finden, berücksichtigt.

Befindet sich das zu erkennende Objekt nicht im Bereich der Fovea Centralis, deren Ausdehnung $\pm 2^\circ$ beträgt, so wird es zwar registriert, die weitere Signalverarbeitung erfolgt jedoch erst, wenn das Objekt von der Fovea Centralis fixiert wird, das heißt, vor dem eigentlichen Ablauf des oben beschriebenen Sehvorgangs muss das Auge dem Objekt zugewendet werden. Es ist eine Blickzuwendung erforderlich [6]. Die Augen führen Blicksprünge durch, die Sakkaden genannt werden. Nach einer Blickzuwendung mit mehr als 5° Abweichung zur Sehachse sind erneut Sakkaden erforderlich, um das Auge auf die neuen Gegebenheiten „einzustellen“. Diese Korrektursakkaden haben ebenfalls Auswirkungen auf die Länge der Reaktionszeit. Bei einem Abstand von mehr als 7° zur Sehachse wird ein Sehobjekt nicht mehr sicher erkannt. Das Auge arbeitet zwischen 7° Winkel zur Sehachse und der Sichtfeldgrenze (zirka $\pm 100^\circ$) als Aufmerksamkeitssensor, Abbildung 1 verdeutlicht dies.

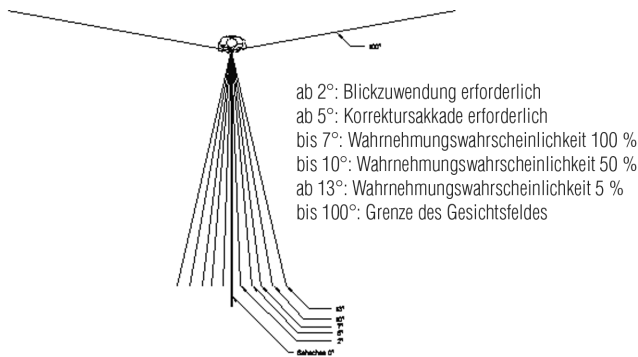


Abbildung 1: Menschliches Gesichtsfeld und Grenzen der peripheren Wahrnehmung

Übertragen auf den Verkehrsraum bedeutet dies, dass zB ein von links eingehender Fußgänger in einem Abstand von mehr als 7° zur Sehachse von einem Kraftfahrer nicht mehr sicher gesehen wird. Diese Grenze eignet sich demnach gut zur technischen Definition der objektiven Reaktionsaufforderung bei sich seitlich nähernden Objekten.

Sofern keine Auswahlentscheidungen (Lenken oder Bremsen) getroffen werden müssen, ist im Straßenverkehr davon auszugehen, dass Handlungsentscheidungen in Gefahrensituationen (Bremsung ja oder nein) automatisch und daher in geringer Zeit ablaufen. Die muskuläre Durchführung, in der Regel das Umsetzen des rechten Beines vom Gas- auf das Bremspedal, und das Treten des Pedals benötigt hingegen Zeit, die in die Reaktionszeit eingeht. Somit ergeben sich nachstehende Bereiche, in die die Reaktionszeit des Kraftfahrers unterteilt werden kann:

- Wahrnehmungszeit
- Blickzuwendungszeit, ggf mit Korrektursakkade
- Objektfixation und Sehvorgang
- Handlungsentscheidung
- Muskuläre Umsetzung

Insbesondere die Wahrnehmungszeit und die Objektfixationsdauer sind in hohem Maße abhängig von der Umgebungsleuchtdichte und dem Kontrast des wahrzunehmenden Objekts zu seiner Umgebung, sodass die gesamte Reaktionszeit von den genannten Parametern erheblich beeinflusst wird. Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Faktor ist die Blendung. Der Begriff umschreibt einen Sehzustand, der durch eine inhomogene Leuchtdichteverteilung oder durch zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld hervorgerufen wird. Er kann durch Adaptation nicht mehr kompensiert werden.

Beim Notbremsvorgang schließen sich an die Reaktionszeit des Kraftfahrers noch nachstehende Zeiten bis zum Stillstand des Fahrzeuges an:

- Ansprechzeit der Bremse, auch Anlegezeit genannt: Sie bezieht sich auf die Zeit vom Betätigen des Bremspedals bis zum Anliegen der Bremsklötze an der Brems Scheibe bzw der Bremsbeläge an der Bremstrommel.
- Schwellzeit der Bremse: Zeit vom Anliegen der Bremsklötze/-beläge bis zum Erreichen der maximalen Abbremsung.
- Vollbremszeit: Zeit vom Erreichen der maximalen Abbremsung bis zum Stillstand des Fahrzeuges.

3. Reaktionszeitenmodelle

3.1. Kölner Reaktionszeitenmodell

Das „Kölner Modell“ ist zumindest in Deutschland das bekannteste Reaktionszeitenmodell, das zu Beginn der achtziger Jahre von einer interdisziplinär besetzten Kommission erarbeitet und in mehreren Veröffentlichungen, die im Wesentlichen alle in der Fachzeitschrift „Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik“ publiziert wurden, vorgestellt wurde. In [7] sind die Erkenntnisse der damaligen interdisziplinären Arbeitsgruppe zusammengefasst. Es wird daher im Folgenden hauptsächlich auf die Arbeit von Burckhardt [7] Bezug genommen. Ein wesentlicher Punkt des Modells ist die Unterteilung des Notbremsvorgangs von Kraftfahrzeugen in einzelne Abschnitte gemäß Abbildung 2:

- Blickzuwendungszeit ggf mit Korrektursakkade
- Reaktionsgrundzeit
- Umsetzzeit
- Ansprechzeit
- Schwellzeit
- Vollbremszeit

Die Begriffe Blickzuwendungszeit, Reaktionsgrundzeit und Umsetzzeit sind dem Fahrer des Fahrzeuges zuzuordnen, während die Begriffe Ansprechzeit, Schwellzeit und Vollbremszeit fahrzeugspezifische Parameter darstellen. Aus der obigen Aufzählung wird weiter deutlich, dass die Wahrnehmungszeit und die damit verbundene Problematik in dem Modell nicht explizit berücksichtigt ist.

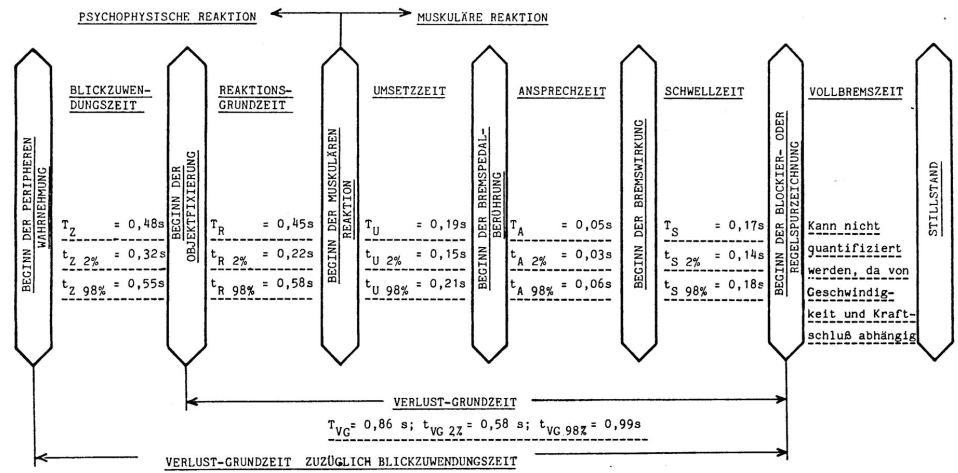


Abbildung 2: Zeitlicher Ablauf des Notbremsvorgangs nach Burckhardt [7]

Die Initiatoren des Kölner Modells gingen davon aus, dass zur Ermittlung der Reaktionszeiten von Kraftfahrern möglichst realitätsnahe Grundlagenversuche erforderlich sind. Dies wurde dadurch erreicht, dass zwei im öffentlichen Straßenverkehr hintereinander fahrende Pkw durch Funk miteinander verbunden waren. Der in seinem eigenen Pkw hinter dem „Signalfahrzeug“ fahrende Proband musste beim Aufleuchten der Bremslichter des Vordermannes seinerseits so schnell wie möglich die Bremse betätigen. Bei Betätigen des Bremspedals wurde eine Stoppuhr gestartet, die über Funk bei Betätigen des Bremspedals durch den Probanden wieder gestoppt wurde. Die Versuchsreihen wurden von *Schiemann* [8] und *Haag* [9] ausschließlich bei Tageslicht und trockener Witterung durchgeführt (Alter der Probanden zwischen 18 und 58 Jahren). In Ergänzung der Versuchsreihe von *Schiemann* untersuchte *Haag* den Einfluss von trockener und nasser Fahrbahn auf die Reaktionszeit (Alter der Probanden bis 30 Jahre).

Die Versuche erbrachten nachstehende Ergebnisse:

Die Reaktionsgrundzeit liegt zwischen 0,2 s (2%-Wert) und 0,6 s (98%-Wert), wobei der Medianwert bei rund 0,4 s liegt. Die Reaktionsgrundzeit einschließlich Umsetzzeit weist Werte zwischen gerundet 0,4 s und 0,8 s auf. Der Medianwert liegt bei 0,6 s.

Ferner wird die Blickzuwendungszeit von *Burckhardt* [7] mit 0,32 s bis 0,55 s und die Dauer einer Korrektursakkade mit 0,09 s bis 0,15 s angegeben. Aus dem Kölner Modell ergeben sich demnach für seitlich eingehende Fußgänger bei Tageslicht Reaktionszeiten von bis zu 1,5 s. Aus dem gewählten Versuchsaufbau ergibt sich auch, dass die ermittelte Reaktionsgrundzeit nur für eindeutige Signale (Bremsleuchten) und optimale Erkennbarkeitsbedingungen gilt. Die „Baukastenstruktur“ des Modells, gemeint ist hiermit die Möglichkeit, ausgehend von der Reaktionsgrundzeit sukzessive alle Phasen des Reaktionsablaufes zu erfassen, ermöglicht es jedoch, eine Vielzahl von Problemen in Bezug auf die Reaktionszeit von Kraftfahrern quantitativ zu lösen.

3.2. Dresdner Nachtsichtmodell

Mit diesem Modell untersuchten *Eckert*, *Carraro* und *Rönnitsch* [10 bis 16] die Reaktionszeit in Abhängigkeit von lichttechnischen Parametern (Adaptationsleuchtdichte, Kontrast, Sehwinkel, Blickwinkel). Das Wahrnehmen und Erkennen stand als Aufgabe für die Probanden im Vordergrund. Für das Nachtsichtmodell wurde ein typischer Fußgängerunfall zugrunde gelegt:

Ein dunkel gekleideter Fußgänger überquert eine unbeleuchtete Straße mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h. Dieser Versuchsaufbau entspricht einem nächtlichen Außerortsunfall vom Typ Überschreitensunfall, der nach *Bäumler* [17] bei Kollisionen zwischen Pkw und Fußgängern einen Anteil von 45 % der Fälle aufweist. Die hier von den Probanden zu leistende Seh- bzw. Reaktionsaufgabe unterscheidet sich demnach fundamental von der in den Experimenten von *Schiemann* und *Haag*, die dem Kölner Reaktionszeitenmodell zugrunde lagen. Der Versuchsaufbau wurde so gestaltet, dass der Proband in einem Fahrtrainer saß und den rechten Fuß auf dem Bremspedal hatte. Damit entfällt bei diesem Versuchsaufbau die Umsetzzeit. Eine Blickzuwendung war nicht erforderlich. Die Versuche wurden bei Umfeldleuchtdichten von 0,01 cd/m² bis 1 cd/m² durchgeführt. Der Sehwinkel, der die Objektgröße definiert, betrug

unter anderem 38,2°. Die Kontraste des zu erkennenden Objektes zu seiner Umgebung lagen zwischen 1,3 und 21.

Als eines der wesentlichen Ergebnisse der Versuche ergibt sich unter anderem die Existenz eines Grenzkontrastes in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte, unter dem keine Reaktion mehr erfolgt. Dass dies auch im realen Unfallgeschehen so zu beobachten ist, zeigen die Untersuchungen von *Langwieder* und *Bäumler* [18 bis 20], die nachgewiesen haben, dass bei Pkw/Lkw-Kollisionen die Kollisionsarten bei Dunkelheit stark zunehmen, bei denen die schlecht erkennbaren Seiten und das Heck des Lkw vom Pkw getroffen werden.

Abhängig vom Alter der Probanden und den vorhandenen Kontrasten wurden Reaktionsgrundzeiten einschließlich Umsetzzeit von gerundet 1,2 s bis 1,8 s ermittelt.

4. Auswertung von Großzahluntersuchungen

Vom Autor wurde die Fußgängerdatenbank FS'90 des GDV, die 1.185 Unfälle mit verletzten Fußgängern enthält, im Hinblick auf die Veränderungen des Unfallgeschehens von Tag zu Nacht und in Bezug auf die Dauer der Reaktionszeit von Kraftfahrern ausgewertet [21]. Da sich das Unfallgeschehen innerorts und außerorts durch die Umfeldgegebenheiten, insbesondere durch die stationäre Straßenbeleuchtung innerorts, stark voneinander unterscheidet, wurde bei der Auswertung der Fälle diesbezüglich unterschieden.

Innerortskollisionen zeigen nachstehende Besonderheiten:

- 42 % der Fälle mit Verletzten und 57 % der Fälle mit Getöteten ereignen sich bei Dunkelheit und Dämmerung.
- Etwa ein Viertel der Fälle sind bei Dunkelheit an Fußgängerfurten und -überwegen lokalisiert.
- 86 % der Fußgänger sind nachts dunkel gekleidet.
- Bei Tag und Nacht überwiegt der Unfalltyp „Überschreiten der Fahrbahn“.
- Beim Überschreitensunfall „Fußgänger von links“ sind 70 % der Fälle bei Ansetzen einer Reaktionszeit von 0,8 s vermeidbar, das heißt, 70 % der Kraftfahrer würden bei Ansatz dieser Reaktionsdauer einen Reaktionsverzug aufweisen. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die unterschiedslose Verwendung immer der gleichen Reaktionsdauer, wie sie in der Unfallrekonstruktion vielfach zu finden ist, zu Fehlurteilen führen kann.

Die Auswertung der Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeiten der beteiligten Fahrzeuge zeigte, dass bei 50 % der Kollisionen tagsüber und bei 44 % nachts die Kraftfahrer keine vorkollisionäre Bremsung einleiten. Möglicherweise ist dieses nicht zu erwartende Verhältnis auf die geringere Verkehrsdichte und die geringere Ablenkung bei noch guten lichttechnischen Bedingungen im nächtlichen Innerortsverkehr zurückzuführen.

Außerortskollisionen zeigen in Bezug auch die Tag-/Nacht-Problematik nachstehende Charakteristika:

- 70 % der Fälle mit Verletzten und 80 % der Fälle mit Getöteten ereignen sich bei Dunkelheit und Dämmerung.
- 87 % der Fußgänger sind nachts dunkel gekleidet.
- 40 % der Fußgängerunfälle sind bei Dunkelheit tödlich gegenüber 28 % bei Tag.

- Der Anteil jüngerer Fahrer (bis 34 Jahre) ist nachts erheblich größer als am Tag (66 % zu 48 %).
- Unfälle im Längsverkehr nehmen bei Dunkelheit stark zu (von 18 % auf 45 %).
- Überschreitensunfälle (Querung) nehmen bei Dunkelheit stark ab (von 73 % auf 45 %).
- Die Auswertung der Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeiten belegt hier, dass bei Tag der Anteil von Kollisionen ohne vorangegangene Bremsung bei 26 % liegt. Dieser steigt bei Nacht auf 68 % an.

Für die reaktionszeitbezogene Auswertung des Unfallmaterials standen folgende Parameter zur Verfügung:

- Unfallort: innerorts/außerorts
- Straßenbeleuchtung vorhanden/in Betrieb
- Kleidung des Fußgängers: hell, dunkel, signalfarbig, reflektierend
- Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw
- Straßenzustand: nass, feucht, trocken, schneebedeckt
- Lichtverhältnisse: Tageslicht, Dämmerung, Dunkelheit, Dunkelheit mit Fremdbeleuchtung

Für die Verifizierung der Veränderung der Reaktionszeiten bei ungünstigen wahrnehmungs- und lichttechnischen Bedingungen wurde nachstehender Ansatz gewählt:

Die Reaktionszeit bei Tageslicht entspricht der Systemreaktionszeit bei optimalen Bedingungen, wie sie in den Dresdner bzw. Kölner Versuchen ermittelt wurden. Die hier zu fordernde Reaktionszeit entspricht dem 98-%-Wert der Versuche von *Schiemann/Haag* und *Carraro*.

Die bisherigen Untersuchungen zeigten, daß die in Nachtunfälle verwickelten Pkw-Fahrer erheblich jünger sind als die, die bei Tag an Fußgängerunfällen beteiligt sind. Jüngere Fahrer weisen zum einen kürzere Reaktionszeiten auf als ältere, zum anderen verfügen sie über eine bessere Sehkraft.

Der höhere Anteil von Unfällen im Längsverkehr bei Dunkelheit führt zu einer besseren Erkennbarkeit der Fußgänger, da einerseits die Darbietungszeit der Sehobjekte (Fußgänger) größer wird und sich andererseits die Sehobjektgröße annähernd verdoppelt. Dies erklärt sich dadurch, dass beim Überschreitensunfall der Fußgänger von der Seite gesehen wird und somit für den Pkw-Fahrer etwa 25 cm bis 35 cm breit ist, während der gleiche Fußgänger beim Unfall im Längsverkehr etwa 50 cm bis 60 cm breit ist. Bei einem Sehwinkel von 15,3° bedeutet das bei entsprechenden lichttechnischen Bedingungen eine Verdoppelung der Erkennbarkeitsentfernung von 56 m auf 112 m.

Bewegt sich ein Fußgänger parallel zum Fahrbahnrand, so befindet er sich im Blickfeld des Pkw-Fahrers. Eine Blickzuwendung und daraus resultierende Korrektursakkaden sind damit nicht erforderlich..

Durch das asymmetrisch ausgelegte, europäische Abblendlicht wird der rechte Fahrbahnrand besser ausgeleuchtet als der linke, sodass sich bei Unfällen im

Längsverkehr bessere Erkennbarkeitsbedingungen ergeben, als beim Überschreitensunfall von links, der bei Tag eine große Rolle spielt.

Ergeben sich bei Dunkelheit dennoch längere Reaktionszeiten als bei Tag, ist dies auf lichttechnische Einflüsse zurückzuführen.

Damit ist insgesamt festzustellen, dass eine vergleichende Untersuchung des Einflusses lichttechnischer Parameter auf die Länge der Reaktionszeit bei Tageslicht- und Dunkelheitsunfällen aufgrund der Ausprägung der jeweiligen Kollektive tendenziell eher zu kurzen Reaktionszeiten bei Dunkelheitsunfällen führt. Lassen sich unter den genannten Bedingungen bei ungünstigen lichttechnischen trotzdem Parametern längere Reaktionszeiten feststellen, so sind diese aus den genannten Gründen als Untergrenze zu betrachten.

Unter den oben angeführten Maßgaben können Unfallsituationen bei Tag und Nacht miteinander verglichen werden, sofern die Rahmenbedingungen

- gleicher Unfallort, zB außerorts
- gleiche Witterungsbedingungen, zB trockene Fahrbahn, kein Regen, übereinstimmen.

Eine Bestimmung der absoluten Systemreaktionszeit der Einheit Fahrer/Fahrzeug ist bei der hier vorliegenden Auswertung nicht möglich, da der Reaktionspunkt der Fahrer nicht nachträglich bestimmt werden kann. Aus den fallbezogenen Werten für die Fahr- bzw. Kollisionsgeschwindigkeit kann jedoch die jeweilige Bremszeit t_b berechnet werden:

$$t_b = \frac{V_f - V_k}{a_v}$$

Die anzusetzende Bremsverzögerung a_v wurde für trockene Fahrbahn einheitlich mit $a_v = 7,5 \text{ m/s}^2$ angesetzt.

Für feuchte bzw. nasse Fahrbahnen waren die Fallzahlen des Materials so gering, dass auf eine Auswertung verzichtet wurde.

In einem zweiten Schritt wurden aus den errechneten Bremszeiten für Tageslicht und Dunkelheit empirische Summenhäufigkeitskurven gebildet, die miteinander verglichen wurden. Eine Veränderung der Dunkelheits- zur Tageslichtkurve ergibt eine Verlängerung bzw. Verkürzung der ermittelten Bremszeiten. Nachdem die Auswahl der Fahrzeuge zufällig ist, scheidet für eine Verkürzung bzw. Verlängerung der Bremszeiten eine technische Ursache im untersuchten Kollektiv aus.

Die zu erwartende Verkürzung der Bremszeit bei Dunkelheit ist demnach auf lichttechnische Einflüsse, insbesondere Kontrast und Umfeldleuchtdichte, zurückzuführen und entspricht der Verlängerung der Reaktionszeit der Kraft-

Reaktionszeiten im Straßenverkehr

fahrer, da aus den Veränderungen im betrachteten Unfallkollektiv eher eine Verkürzung der Reaktionszeiten zu erwarten ist. Als weiterer Ansatz für die Untersuchung lichttechnischer Einflüsse auf die Reaktionszeiten der unfallbeteiligten Kraftfahrer bietet sich die Frage an, ob überhaupt gebremst wurde. Aus dem Vergleich der Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeiten der unfallbeteiligten Pkws kann festgestellt werden, ob eine Bremsung eingeleitet wurde oder nicht. Hierbei wird damit zu rechnen sein, dass auch bei Tageslicht ein bestimmter Prozentsatz an Fällen dabei ist, bei denen die Pkw-Fahrer erst nach der Kollision bremsen, wie bereits gezeigt. Für die hier zu untersuchende Problematik folgt hieraus:

$$t_b = 0$$

$$t_r = \infty$$

Ist dieser Prozentsatz bei Dunkelheit merklich größer, kann daraus ein Zusammenhang mit lichttechnischen Einflüssen gefolgert werden. Insbesondere ist der Schluss zu ziehen, dass der erforderliche Grenzkontrast zur Erkennbarkeit des Fußgängers in diesen Fällen nicht überschritten wurde. Für Ausserortsunfälle ist die Verlängerung der Bremszeit von Tag zu Nacht signifikant, wie der Vergleich der Abbildungen 3 und 4 zeigt.

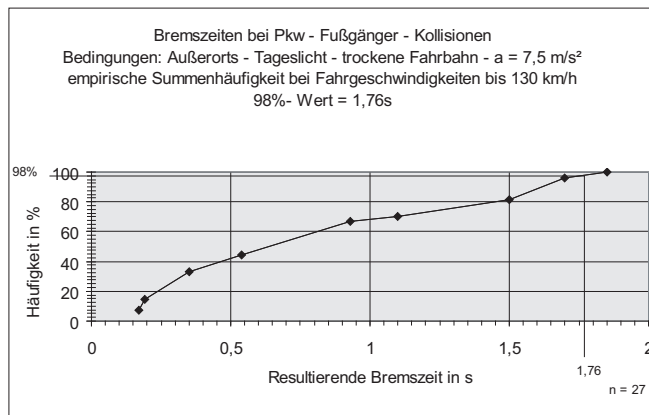


Abbildung 3: Verteilung der Bremszeiten der Pkw-Fahrer bei Außerortskollisionen bei Tageslicht und trockener Fahrbahn

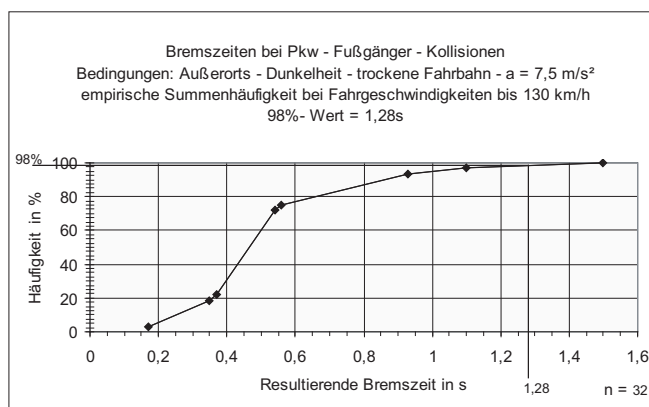


Abbildung 4: Verteilung der Bremszeiten der Pkw-Fahrer bei Außerortskollisionen bei Dunkelheit und trockener Fahrbahn, keine Straßenbeleuchtung

Bei Außerortskollisionen ergeben sich nachstehende Werte:

Außerorts		
	Tageslicht	Dunkelheit
2-%-Wert	0,15 s	0,17 s
Median	0,64 s	0,46 s
90-%-Wert	1,62 s	0,9 s
98-%-Wert	1,76 s	1,28 s

Abbildung 5: Bremszeiten bei Außerortskollisionen

Die oben angeführten Werte belegen, dass die Bremszeiten bei Dunkelheit ohne Fremdbeleuchtung erheblich kürzer sind als bei Tageslicht. Die 90-%-Werte unterscheiden sich um 0,7 s, die 98-%-Werte um rund 0,5 s. Auffallend an den Kurven ist ferner der wesentlich steilere Verlauf der Dunkelheitskurve, der insgesamt kürzere Bremszeiten bei Dunkelheit ohne Fremdbeleuchtung ausweist. Betrachtet man die Differenz der 90-%-Werte zwischen Tag und Nacht, ergeben sich bei Dunkelheit ohne Straßenbeleuchtung Bremszeitverkürzungen bzw Reaktionszeitverlängerungen des Gesamtsystems zwischen 0,5 und 0,7 s.

Daraus folgt eine Erhöhung der Reaktionszeit des Gesamtsystems Fahrer/Fahrzeug von 0,8 s bei Tageslichtbedingungen auf 1,3 bis 1,5 s bei Dunkelheit. Diese Werte korrelieren mit den in Laborversuchen ermittelten Werten. Die ebenfalls vorgenommene zusätzliche Einzelfallanalyse, die aufgrund der geringen Fallzahlen keinen Anspruch auf Repräsentativität erheben kann, zeigte Reaktionszeiten zwischen 0,7 s und „unendlich“ auf, wobei für die Auswertung der Fälle ohne erfolgte Reaktion eine „Reaktionszeitasymptote“ von 4 s angenommen wurde. Bei den untersuchten Fallbeispielen lag der 95-%-Wert für die Untergrenze bei 3,4 s und für die Obergrenze bei 3,6 s. Bei diesen Fällen zeigen sich demnach sehr hohe Reaktionszeiten der Pkw-Fahrer, die alle nicht älter als 45 Jahre waren. Die sich aus der vorgenommenen statistischen Bremszeitauswertung ergebenden Werte für die Reaktionszeit der Kraftfahrer liegen erheblich niedriger. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auch die für Wertepaare aus Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeit, die in der gleichen Größenordnung lagen, im Sinne einer Grenzwertabschätzung eine Bremsung unterstellt wurde. Geht man für den gegenteiligen Fall davon aus, dass die Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeiten der Pkw gleich waren, resultiert hieraus bei Außerortskollisionen, dass bei etwa zwei Drittel der Dunkelheitsunfälle die Erkennbarkeitsbedingungen so schlecht waren, dass die Pkw-Fahrer vor der Kollision keine Bremsung mehr einleiten konnten. Dies bedeutet für diese Fälle eine Reaktionszeit von unendlich bzw gemäß der hier vorgenommenen Grenzziehung von 4 s.

Bei Unfällen innerorts konnte bei etwa ein Viertel aller Kollisionen keine Bremsung der Pkw-Fahrer vor der Kollision festgestellt werden. Demnach liegen in diesen Fällen so ungünstige Erkennbarkeitsbedingungen vor, dass eine Reaktion der Pkw-Fahrer vor der Kollision nicht mehr erfolgen konnten. Insofern sind die aus der Analyse der Fußgängerdatei FS' 90 berechneten Reaktionszeiten als absolute Untergrenze zu sehen.

Die Analyse der vorliegenden Realunfälle zeigte demnach, daß die von *Eckert* ua im Laborversuch gefundenen Werte mit denen aus Unfalluntersuchungen gefundenen Werten gut korrelieren und in ihren Spitzenwerten unter den Realunfallwerten liegen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die besondere Situation im Labor, bei der die Probanden trotz durchgeführter „Ablenkungsmanöver“ wissen, dass sie sich in einer Ausnahmesituation befinden und während des Versuchs auf ein bestimmtes Zeichen reagieren müssen, während dies beim Fahren in der realen Umgebung nicht der Fall ist.

5. Zusammenfassung

Der Bestimmung der Reaktionszeit kommt in der Unfallrekonstruktion hohe Bedeutung zu. Eine schematische Anwendung nur eines Reaktionszeitenmodells führt zu Fehlbeurteilungen. Die Reaktionszeit des Kraftfahrers ist anhand der Unfallart, des Unfalltyps und der gegebenen Sicht- und Erkennbarkeitsbedingungen zu bemessen. Bei Tageslicht bietet sich hier das bisher meist verwendete Kölner Reaktionszeitenmodell an, wobei gegebenenfalls Blickzuwendungszeiten und Korrektursakkaden zu berücksichtigen sind. Bei Dunkelheit bzw ungünstigen Sichtbedingungen ist die Grundreaktionszeit einschließlich Umsetzzeit mit mindestens 1,2 s bis 1,5 s je nach vorhandenen Sichtbedingungen anzusetzen. Dies zeigen sowohl die Dresdner Laborversuche als auch die Unfallauswertungen des Autors. Gerade bei Dunkelheitsunfällen mit unbeleuchteten Objekten kommt jedoch neben der richtigen Bestimmung der Reaktionszeit auch der Ermittlung der Sichtbarkeitsentfernung hohe Bedeutung zu. Hier bieten sich Verfahren an, die auf der Messung von Umfeldleuchtdichten vor Ort beruhen.

6. Literatur

[1] *Verband der Schadenversicherer*: Gesamtstatistik Kraftfahrtversicherung 2006, Hamburg 2007
 [2] *Statistisches Bundesamt Wiesbaden*: Verkehrsunfälle 2006, Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart 2007
 [3] Homepage des Bayerischen Staatsministeriums des Inneren, http://www.justiz.bayern.de/olgn/sta-nuernberg_in_zahlen.htm, Stand 4/2002
 [4] *Eckert M.*: Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Straßenverkehr, Verlag Technik Berlin, München, 1993
 [5] *Zimbaro P. G.*: Psychologie, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1992

[6] *Bäumler H.*: Neue Erkenntnisse zu Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen, 48. Fachtagung des Münchner Arbeitskreis für Straßenfahrzeuge – MAS, München Oktober 2004
 [7] *Burckhardt M.*: Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1985
 [8] *Schiemann G.*: Experimentelle Untersuchung zur Reaktions- bzw. Verzugsdauer von Fahrzeuglenkern, Diplomarbeit am Institut für Maschinenkonstruktionslehre Abt. Kraftfahrzeugbau der TH Karlsruhe, Datum nicht bekannt
 [9] *Haag H.*: Experimentelle Untersuchung zur Reaktions- bzw. Verzugsdauer von Fahrzeuglenkern bei trockenen und nassen Fahrbahnen, Diplomarbeit am Institut für Maschinenkonstruktionslehre Abt. Kraftfahrzeugbau der TH Karlsruhe, Datum nicht bekannt
 [10] *Eckert M.*: Sehen und Gesehenwerden im Straßenverkehr, 1. Gemeinschaftstagung der Technischen Universität Dresden und des Münchner Arbeitskreis für Straßenfahrzeuge, Dresden November 1994
 [11] *Rönitsch H.*: Einfluss der Licht- und Sichtverhältnisse auf den Reaktionsverlauf bei Notbremsvorgängen, 1. Gemeinschaftstagung der Technischen Universität Dresden und des Münchner Arbeitskreis für Straßenfahrzeuge, Dresden November 1994
 [12] *Carraro U.*: Möglichkeiten und Notwendigkeiten der messtechnischen Erfassung lichttechnischer Parameter bei der Unfallrekonstruktion, 1. Gemeinschaftstagung der Technischen Universität Dresden und des Münchner Arbeitskreis für Straßenfahrzeuge, Dresden November 1994
 [13] *Eckert M.*: Optische und akustische Wahrnehmungsfähigkeit im Verkehr – Reaktionsdauer in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen, 32. Deutscher Verkehrsgerichtstag 1994, Goslar Januar 1994
 [14] *Rönitsch H.*: Der Einfluss des Alters auf die Höhe und Verteilung der Reaktionsdauer, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 5/1994
 [15] *Rönitsch H.*: Die Sehwinkelabhängigkeit der Reaktionsdauer von Fahrzeugführern, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 2/1994
 [16] *Rönitsch H.*: Die Kontrastabhängigkeit der Reaktionsdauer von Fahrzeugführern, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik Heft 10/1993
 [17] *Bäumler H.*: Typische Auftretensformen von Nachtunfällen, 2. Internationales PAL-Symposium, TH Darmstadt, September 1997
 [18] *Langwieder K., Bäumler H.*: Ursachen von tödlichen Autobahnunfällen mit Lkw-Beteiligung, 11. Internationale Lastkraftwagen-tagung, Technische Universität Budapest, September 1994
 [19] *Langwieder K., Bäumler H.*: Der Einfluss der Erkennbarkeit auf das Unfallrisiko von Lastkraftwagen, 9. Internationale Tagung für Straßentransport und Verkehrssicherheit, Budapest 1992
 [19] *Langwieder K., Bäumler H.*: Risikosituationen bei Lkw-Unfällen – Die Notwendigkeit einer verbesserten Erkennbarkeit von Nutzfahrzeugen, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 10 und 11/1992
 [20] *Langwieder K., Bäumler H.*: Typical Risk Situations in Car to Truck Accidents – The Necessity of Improving the Conspicuity of Trucks, 13th ESV-Conference, Paris, November 1991
 [21] *Bäumler H.*: Vergleichende Untersuchung von Fußgängerunfällen bei Tag und Nacht unter Berücksichtigung der Reaktionszeitproblematik bei Dunkelheit, Dissertation, TU Dresden Oktober 2003

Korrespondenz:
Prof. Dr.-Ing. Hans Bäumler
Hochschule München
Fakultät 03 Maschinenbau-Fahrzeugtechnik-Flugzeugtechnik
Dachauerstraße 98b
D-80335 München
Tel: 0049 / 9622 / 719930
Baeumler.Ureko@t-online.de