

Untersuchung des Fußgänger-Fahrzeug-Unfalls hinsichtlich des Fahrerverhaltens

MATTHIAS KÜHN¹ & ARND ROSE¹ & KATHARINA SEIFERT²

⁽¹⁾ *Fachgebiet Kraftfahrzeuge, Prof. Schindler, TU Berlin*

⁽²⁾ *Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, Prof. Timpe, TU Berlin*

Schlüsselwörter: aktive Sicherheit, Blickbewegung, Fußgängerschutz, Unfallstatistik, Aufmerksamkeit

1. Einleitung

Der Fußgängerunfall verlangt, betrachtet man die Gesamtzahl der getöteten Personen im europäischen Straßenverkehr, besondere Aufmerksamkeit. So ist es nicht verwunderlich, dass der Fußgängerschutz eines der am meisten diskutierten Themen zur Fahrzeugsicherheit auf nationaler und europäischer Ebene ist. Dies führte zu einer Vereinbarung der europäischen Union, in der sich die Automobilhersteller zu verschiedenen Maßnahmen zum Fußgängerschutz verpflichten. Diese Vereinbarung umfasst unter anderem ein Komponententestverfahren, das ab 2005 zur Zulassung neuer Fahrzeugmodelle erfüllt werden muss. Außerdem verpflichten sich die Hersteller weitere Maßnahmen umzusetzen, die dem Fußgängerschutz dienen sollen. All diese Ansätze greifen erst, wenn der Fußgängerunfall unvermeidlich geworden ist und es zu einer Kollision mit einem Fahrzeug kommt. Da der Fußgänger bei einer solchen Kollision in jedem Fall der deutlich unterlegene Verkehrsteilnehmer ist, sind häufig schwere oder tödliche Verletzungen die Folge. Es ist leicht einsichtig, dass konstruktiven Maßnahmen am Fahrzeug physikalische Grenzen gesetzt sind und sie neben Maßnahmen zur aktiven Sicherheit und infrastrukturellen Maßnahmen nur einen Beitrag zur Minderung der Unfallfolgen leisten können. Um einen ganzheitlichen Ansatz zum Fußgängerschutz zu verfolgen, muss auch die Entstehung eines solchen Unfalls untersucht werden. Es muss also in den Bereich der aktiven Sicherheit vorgedrungen werden.

Der Ansatz, der in dieser Arbeit vorgestellt wird, versucht das Geschehen in der Zeit kurz vor einer Fußgänger-Fahrzeug-Kollision aus der Sicht des Kraftfahrzeugführers zu verstehen. Die Ursachen für Unfälle liegen im Zusammenwirken von Mensch, Fahrzeug und Straße, wobei eine oder mehrere dieser Komponenten fehlerbehaftet

sein können. Zumeist ist ein Überfordern der Wahrnehmungs- oder Handlungsfähigkeit bis hin zum menschlichen Versagen Hauptursache für Verkehrsunfälle. Die Wahrnehmung und das Erkennen von Situationen im Straßenverkehr sowie vom Geschehen am Straßenrand umschreibt dabei den Bereich, auf den sehr oft ein Fehlverhalten des Verkehrsteilnehmers zurückzuführen ist. Das ist der Fall, wenn Informationen über den Verkehrsraum, das Fahrzeug oder den Fußgänger nicht ausreichend wahrgenommen oder beachtet werden. Daraus entstehende Fehleinschätzungen von Situationen führen meist zu einem Unfall.

In dieser Arbeit wird mit Hilfe statistischer Angaben eine typische Fußgänger - Fahrzeug - Unfallsituation herausgearbeitet, die dann im realen Verkehrsgeschehen unter Erfassung der Blickbewegung des Fahrzeugführers und anderer Parameter nachgestellt wird. Die Auswertung der Blickbewegungen soll dann zu einem besseren Verständnis für den Zeitraum kurz vor einem Unfall genutzt werden.

2. Der Fußgänger-Pkw-Unfall

2.1 Die Kinematik des Fußgängerunfalls

Die Fußgänger – Fahrzeug - Kollision wird in drei zeitlich aufeinanderfolgende Phasen unterteilt (KÜHNEL 1980): Der Kontaktphase (Primäranprall) folgt die Flugphase an die sich dann die Rutschphase (Sekundäranprall, evtl. Tertiäranprall) anschließt. Besonders interessant für Maßnahmen zum Fußgängerschutz am Fahrzeug ist sicherlich der Primäranprall, da dieser mit zunehmender Geschwindigkeit (ab ca. 30km/h) die weitaus schwereren Verletzungen hervorruft als der Sekundär- bzw. Tertiäranprall (ASHTON 1975, OTTE, POHLEMANN 2002).

2.2 Statistik

Im gesamtdeutschen Durchschnitt ist jeder vierte Getötete ein Fußgänger oder Radfahrer (2000: 12,6 % Fußgänger, 13,2 % Radfahrer, zusammen 25,8 %). Innerorts sind sogar fast 60 % der im Straßenverkehr Getöteten Fußgänger oder Radfahrer (BMV 2001). Dabei werden die Fußgängerunfälle durch eine unübersehbare Vielfalt von Einflussfaktoren bestimmt. Für die Zwecke einer Untersuchung wird aus Unfall-

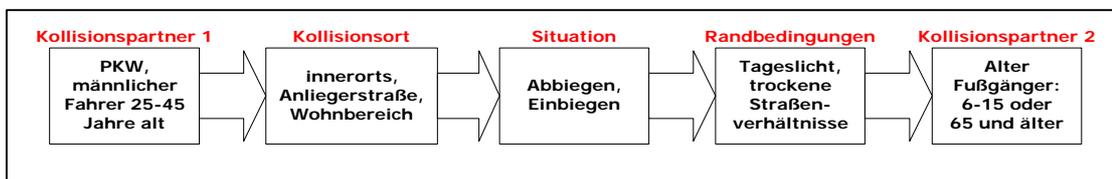


Abbildung 1: kritische Unfallkonstellation für einen Fußgängerunfall im Straßenverkehr

statistiken (STATISTISCHES BUNDESAMT 2001) durch Rose (ROSE, 2002) die in Abbildung 1 dargestellte kritische Konstellation abgeleitet.

Diese Unfallkonstellation fasst die häufigsten Unfallschwerpunkte bei Fußgänger-Fahrzeug-Unfällen zusammen. Der Untersuchungsaufbau für eine experimentelle Analyse der Fahrzeugführungsleistung basiert darauf, diese determinierenden Eigenschaften zu integrieren und systematisch zu variieren. In weiteren, bisher unveröf-

fentlichten, statistischen Auswertungen des Fachgebietes Kraftfahrzeuge der TU Berlin mit Daten des GDV und der MH Hannover konnten diese Bedingungen für eine kritische Situation einer Fußgänger - Fahrzeug - Kollision bestätigt werden.

3. Die Blickbewegungsanalyse als Instrument zur Untersuchung des Fahrerverhaltens

Der Fahrzeugführer kann nur eine bestimmte Anzahl von Informationen pro Zeiteinheit verarbeiten. Das Verhältnis aus dem objektiven, aktuellen Informationsangebot (Informationsmenge) und der zur Verarbeitung zur Verfügung stehenden Zeit gibt die Informationsdichte an (PFLEGER, LINAUER 2000). Mit Zunahme der Informationsdichte steigt die Notwendigkeit zur Selektion und damit die Gefahr, dass relevante Informationen, insbesondere aus dem peripheren Blickfeld, in dem sich Fußgänger meistens befinden, nicht wahrgenommen werden. Kreuzen sich dann die Wege von Fahrzeug und Fußgänger entstände eine unfallträchtige Situation.

Das Auge ist das wichtigste Sinnesorgan des Kraftfahrers. Ein sehr großer Anteil der zum Führen eines Kraftfahrzeuges wichtigen Informationen werden über das Auge wahrgenommen (HEINRICH 2002) (SIVAK 1996). Daher ist es naheliegend, das Blickverhalten als einen wesentlichen Bestandteil zur Untersuchung von wahrnehmungsbedingten Unfallursachen heranzuziehen. Aus dem Blickverhalten können wesentliche Erkenntnisse über Unfallursachen und Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit im Straßenverkehr gewonnen werden. Allerdings steht die Nutzung der Ergebnisse der Blickbewegungsanalyse für die Zwecke der Fahrzeugsicherheit, im Speziellen für die Unfallforschung, noch am Anfang.

Nach (RÖTTING 2001) kann zwischen Augenbewegung und Blickbewegung unterschieden werden. Augenbewegungen sind Bewegungen des Auges, die allein durch Beobachtung des Auges erfasst und interpretiert werden können. Im Gegensatz dazu werden als Blickbewegungen solche Bewegungen des Auges bezeichnet, die in Verbindung mit den vom Auge aufgenommenen Informationen interpretiert werden. Bei der Erfassung der Blickbewegungen muss also immer auch der „Zielort“ der Augen mit erfasst oder anderweitig bestimmt werden. Das Blickverhalten stellt also die ständig abwechselnde Folge von Sakkaden, Fixationen und gleitenden Augenbewegungen unter Berücksichtigung des „Blickzieles“ dar. Für den hier dargestellten Ansatz können nur die Blickbewegungen zielführende Ergebnisse liefern.

Entscheidend für die Anwendbarkeit des Blickverhaltens als Indikator für das Verhalten des Fahrzeugführers ist die folgende Argumentation: Führt der Fahrzeugführer seinen Blick zu einer Stelle und fixiert dort etwas, dann kann man nach (SCHROIFF 1987) davon ausgehen, dass die dort aufgenommenen Informationen auch gerade Gegenstand der internen Verarbeitung sind. Bei der Anwendung der Blickbewegung als Analyseinstrument in kognitionspsychologischen Untersuchungen gelten nach (SCHROIFF 1987) allgemein folgende Annahmen:

- Die visuelle Achse verläuft durch das Objekt der unmittelbar erfahrbaren visuellen Umwelt, das momentan Gegenstand der zentralen Verarbeitung ist („eye-mind assumption“).
- Die Fixationsdauer entspricht der Dauer der zentralen Verarbeitung („immediacy assumption“).

- Aus der Sequenz der Fixationen lässt sich die Abfolge der zentralen Verarbeitungsschritte rekonstruieren.

In der Literatur lassen sich Hinweise finden (SCHROIFF 1987), dass es in bestimmten Fällen sinnvoll erscheint, einzelne Fixationen zu sogenannten „gazes“ zu aggregieren. In diesen größeren Verhaltenseinheiten manifestieren sich größere kognitive Einheiten. Eine Identifikation von Fixationen erfolgt durch das Festlegen eines zeitlichen und räumlichen Fixationskriteriums (RÖTTING 2001). Bei der Anwendung auf die Auswertung der nachfolgend vorgestellten Versuche wurde ein zeitliches Fixationskriterium von mindestens 120 ms gewählt. Als räumliches Fixationskriterium wurden Bewegungen der Fovea in einem Bereich von 20 Bildpunkten durch das iView – System (SMI) als Fixation gewertet.

4. Die Versuchsdurchführung

Um das Verhalten der Versuchspersonen vergleichen zu können, sollten die Fahr-situationen und Anforderungen für jeden Versuchsfahrer identisch sein. Aus diesem Grund wäre es naheliegend, die Untersuchung der Unfallsituation in einem Simulator durchzuführen. Da aber das Verhalten von Versuchspersonen bei komplexen Fahrzeugführungsaufgaben im Simulator nicht dem von Versuchspersonen im realen Straßenverkehr entspricht, ist eine virtuelle Versuchsumgebung keine Option für diese Versuche. Idealerweise sollten sich die Vorteile der hohen Reproduzierbarkeit von Simulatorversuchen mit denen der hohen Realitätsnähe im öffentlichen Straßenraum ergänzen. Aufbauend auf positiven Erfahrungen mit der Blickerfassung im Fahrzeug im öffentlichen Straßenraum (KÜHN 1999, JUNG 2002) wurde für diese Versuche ein wenig frequentierter, stadähnlicher, öffentlicher Verkehrsraum gewählt, in dem die Versuchspersonen mit ihrem Fahrzeug mit Statisten, deren Bewegungen in einem Regieplan festgelegt wurden, interagierten. Das stellt eine sehr hohe Realitätsnähe kombiniert mit einem hohen Grad an Reproduzierbarkeit für die durchzuführenden Versuche sicher. Die Versuchstrecke enthält typische Situationen, wie sie auch im täglichen Fahrbetrieb auftreten können, unter anderem die aus der Statistik ermittelte kritische Situation. Die Versuchstrecke hat Kleinstadtcharakter. Bebauung und freie Flächen wechseln sich ab. Es gibt eine Fahrbahn pro Fahr-richtung sowie Geh- und Radwege, die durch einen Grünstreifen von der Straße getrennt sind. Alle Strassen sind gleichberechtigt, so dass der Proband „rechts vor links“ beachten musste. Die Versuchstrecke wurde den Probanden während der Fahrt vom mitfahrenden Versuchsbegleiter bekannt gegeben.

Die Probanden trugen im Versuchsfahrzeug ein Blickerfassungssystem. Neben der Tätigkeit der Fahrzeugführung sollten die Probanden versuchen, im Blickfeld aufleuchtende Leuchtdioden (LED) wahrzunehmen und diese wenn möglich durch Druck auf den Pralltopf des Lenkrades (Hupe funktionslos) zu bestätigen. Um Rückschlüsse auf die physische Anspannung bei der Erfüllung der Fahraufgabe ziehen zu können, wurden der Puls und die Herzratenvariabilität der Fahrzeugführer vor und während der Versuche erfasst und ausgewertet.

4.1 Die Versuchspersonen

Die Gruppe der Versuchspersonen setzte sich aus 12 männlichen Probanden zusammen. Sie waren zwischen 24 und 50 Jahren alt. Die Körpergröße variierte zwischen 1,80 m und 1,85 m. Damit wurde sichergestellt, dass alle Probanden ein ähnliches Blickfeld aus dem Fahrzeug auf das Verkehrsgeschehen hatten. Die durchschnittliche jährliche Fahrleistung betrug 18000 km. Dabei waren vier der Probanden bereits einmal in Verkehrsunfälle (Fahrzeug-Fahrzeug) verwickelt.

Der kreuzende Fußgänger sowie weitere interagierende Personen auf der Versuchsstrecke wurden von einer 27-jährigen männlichen Person dargestellt. Damit wurde keine der ermittelten Fußgängerrisikogruppen abgedeckt, was aber für den Schwerpunkt dieser Versuche zur Fahrzeugführungsleistung zweitrangig war.

4.1.1 Der physische Zustand der Versuchsfahrer

Um Aussagen über die Situationswahrnehmung des Fahrers zu treffen, können physiologische Reaktionen (z.B. die sog. Orientierungsreaktion, SOKOLOV 1963) auf sich plötzlich verändernde Umgebungsbedingungen herangezogen werden. Einen Indikator für eine solche physiologische Anpassung an Umgebungsveränderungen stellt die Herzrate dar. Dabei beschreibt die Herzratenvariabilität (HRV) die Fähigkeit des Herzens, den zeitlichen Abstand von einem Herzschlag zum nächsten kontinuierlich und belastungsabhängig zu verändern und sich so flexibel und schnell wechselnden Herausforderungen anzupassen. Damit ist sie ein Maß für die allgemeine Anpassungsfähigkeit eines Organismus an innere und äußere Reize (MÜCK, MÜCK-WEYMANN 2002). Sie wird bereits erfolgreich in der Sportmedizin angewendet.

Es ist zu prüfen, ob die HRV auch bei diesen Versuchen im Bereich der Fahrzeugführung ein Indikator für die Art der Anspannung und der Leistungsfähigkeit des Fahrers sein kann. Eventuell kann sie ein Indiz für den wahrgenommenen Grad der kritischen Fahrsituation für den Fahrer liefern.

4.2 Der Versuchsaufbau

4.2.1 Die Blickerfassung

Für die Erfassung der Blickbewegung wurde das iView-System der Firma SensoMotoric Instruments (SMI) verwandt. Es handelt sich dabei um eine Erfassung der Augenbewegung, bei der mittels einer Videokamera ein Bild des Auges aufgezeichnet wird. Das Signal wird dann einer rechnergestützten Bildverarbeitung zugeführt, um die interessierenden charakteristischen Merkmale des Augenbildes herauszufiltern. Bei diesem Meßsystem wird von einem festen Punkt des Auges und einem Lichtreflex auf die Blickachse geschlossen. Es wird hier die Cornea-Reflex-Methode angewandt, die eine spezielle Form der Blickachsenmessung darstellt. Bei dieser Methode wird aus der Distanz zwischen dem Corneareflex und dem Mittelpunkt der Pupille auf die Blickachse geschlossen. Bei einer Bewegung des Kopfes verändert sich die relative Position der beiden Messpunkte nicht. Bewegt sich allerdings das Auge, verschiebt sich der Corneareflex gegenüber dem gewählten Fixpunkt (Pupillenmittel-

punkt) systematisch. Hieraus kann die Blickposition bestimmt werden. Die Ermittlung der Lage beider Bezugspunkte erfolgt durch Verfahren der automatischen Bildverarbeitung.

Das Gerät arbeitet mit einer zeitlichen Auflösung von 50 Halbbildern (Frames) pro Sekunde. Das bedeutet, dass Blickbewegungskordinaten im Abstand von 20 Millisekunden erhoben werden. Auf einem Monitor wird das Auge mit einem Fadenkreuz für die Pupille und dem Corneareflex dargestellt, so dass die Brennweite und die Lichtempfindlichkeit der Augenerfassung durch die Variation von Systemparametern optimiert werden können. Über eine weitere am Kopfband befestigte Kamera kann die von der Versuchsperson betrachtete Szene aufgezeichnet werden, wobei die Blickrichtung durch einen Marker angezeigt wird. In der Abbildung 2 ist das Kopf-Set mit den Aufnahmekameras des iView-Systems dargestellt.

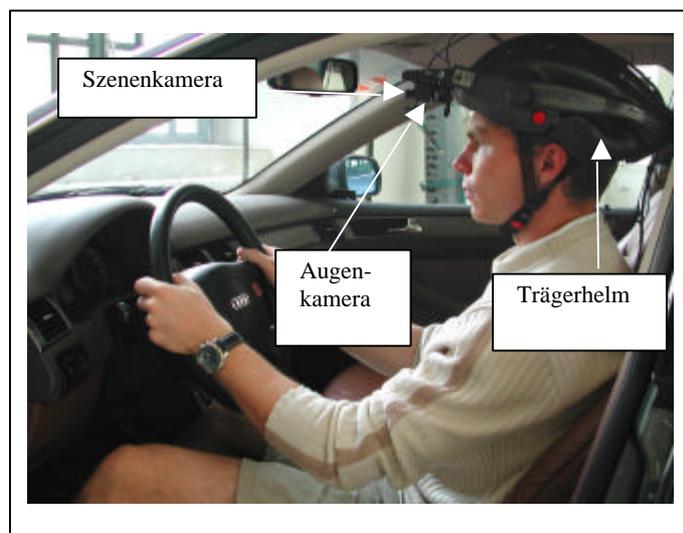


Abbildung 2: Versuchsperson mit iView - Messsystem

4.2.2 Die Erfassung des peripheren Gesichtsfeldes

Die Ausdehnung des peripheren Gesichtsfeldes in Abhängigkeit von verschiedenen Fahraufgaben und Fahrsituationen wurde durch acht innen an der Scheibenwurzel befestigte LEDs überprüft (vgl. Abb. 3). Die Bestätigung der Wahrnehmung des Aufleuchtens erfolgte durch die Betätigung der Huptaste im Lenkrad durch den Probanden. Dabei war die Hupe selbst funktionslos. Sie erzeugte aber durch das Schließen der Kontakte ein Signal, das aufgezeichnet wurde. Diese Aufgabe ist als Nebentätigkeit ausgelegt. Die Auslösung der jeweiligen LED erfolgte ortsabhängig durch den Versuchsbegleiter. Die jeweilige Reihenfolge des Aufleuchtens der LEDs wurde für alle Versuchsfahrer standardisiert.



Abbildung 3: Die im Cockpit angeordneten LEDs, im Bild eingekreist
 Nummerierung von 1, links, bis 8, rechts

4.2.3 Die Datenerfassung

Zusammenfassend wurden während der Fahrversuche folgende Daten detektiert und aufgezeichnet:

- Blickort (iView – System der Firma SMI),
- Aufnahme des Verkehrsraumes (Szenerie) mittels digitaler Weitwinkeldachkamera,
- Herzratenvariabilität (Ruhewerte und Werte während der Fahrt) mittels Polar-Messsystem,
- Puls, über 5 s gemittelt (Ruhewerte und Werte während der Fahrt) mittels Polar-Messsystem,
- Auslösung der LEDs und Bestätigung durch den Fahrer,
- Gas- und Bremspedalbetätigung durch den Fahrer, ermittelt durch das Aufleuchten zweier LEDs im Synchronisationsvideo.



Abbildung 4: Vier aufgezeichnete Videobilder zur Auswertung der Fahrversuche

Entscheidend für die Auswertung und die Interpretation der Daten ist die synchrone Datenaufzeichnung. Dazu wurden mittels eines Quadrantenteilers vier Videosignale zu einem zusammengefasst. Das aufgezeichnete Videosignal bestand dann, wie im Abbildung 4 dargestellt, aus vier Einzelbildern.

4.3 Szenarien

Die zu durchfahrende Versuchsstrecke beinhaltet unter anderem eine kritische Unfallsituation und eine genau analoge unkritische Situation. Diese beiden Situationen unterscheiden sich aus Gründen der Vergleichbarkeit nur durch das kritische Merkmal, das durch den kreuzenden Fußgänger eingebracht wird.

Die Versuchspersonen mussten in diesen beiden Situationen in einen gleichberechtigten Kreuzungsbereich einfahren, einem entgegenkommenden PKW die Vorfahrt gewähren und dann links in eine Straße einbiegen. Dabei sollten sie fünf verschiedene LEDs wahrnehmen und deren Wahrnehmung durch das Betätigen der Huptaste im Lenkrad bestätigen. In der kritischen Situation befand sich ein Fußgänger auf dem rechten Gehsteig der Straße, in die das Fahrzeug zuvor einbog. Der Fußgänger bewegte sich in Fahrtrichtung des Pkw, um dann spontan kurz vor dem PKW die Fahrbahn von rechts nach links zu kreuzen (vgl. Abb. 5).

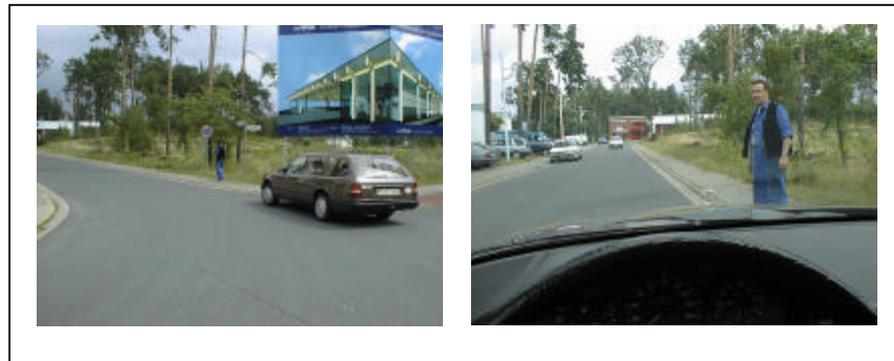


Abbildung 5: Kritische Situation – Fußgänger kreuzt die Fahrbahn nach dem Abbiegevorgang des Pkw

5. Erste Erkenntnisse

Die hier dargestellten Erkenntnisse beziehen sich auf eine erste Auswertung der in Kapitel 2.2.1 erarbeiteten kritischen Unfallsituation und einer genau analogen unkritischen Situation. Darüber hinaus beinhaltete die Versuchsstrecke weitere Interaktionen mit Statisten, wie z.B. das Überholen eines Radfahrers, Abbiegevorgänge, das Überholen eines parkenden Fahrzeugs und das Beachten eines auf freier Strecke kreuzenden Fußgängers. Die Auswertung dieses Datenmaterials ist noch nicht abgeschlossen, so dass an dieser Stelle nur Trends aufgezeigt werden können, die noch weiterer Auswertung bedürfen.

5.1 Wahrnehmung der LEDs

Die Versuchspersonen waren angehalten, nur dann auf die Wahrnehmung einer LED zu reagieren, wenn dies die Fahraufgabe nicht beeinträchtigte. Dabei leuchteten die LEDs 1 bis 5 beim Durchfahren der kritischen/unkritischen Situation hintereinander auf. Es ist festzustellen, dass die Wahrnehmung der fünf LEDs nicht von deren Positionierung im Fahrzeug abhängig war. Die Wahrnehmung war also sowohl in der kritischen, als auch in der unkritischen Situation nicht davon abhängig, wo ein peripherer Reiz stattfand. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass nicht von einer Hauptblickrichtung der Versuchspersonen ausgegangen werden kann, wie z.B. bei einer Geradeausfahrt. Vielmehr befanden sich die Versuchspersonen in der untersuchten Situation in einem Abbiegevorgang und mussten sich danach wieder in einer neuen Straße positionieren, was Blicke in verschiedene Richtungen erfordert.

An den Zahlenwerten ist zu erkennen, dass die Anzahl aller bestätigten LEDs in der kritischen Situation mit insgesamt 44 % gegenüber 64 % in der unkritischen Situation deutlich geringer ist. Eine mögliche Ursache hierfür könnte die Tatsache sein, dass die Versuchspersonen in der kritischen Situation fokussierter auf bestimmte potentiell kritische Dinge (Fußgänger) sind und mehr visuellen Input für das auszuführende Lenkmanöver benötigen. Die damit verbundene Einschränkung der Kapazität führt dann zu einer Nicht-Bestätigung der LEDs. Grund dafür kann einerseits die fehlende Wahrnehmung der LED sein oder andererseits die erhöhte motorische Anforderung, resultierend aus der Fahrzeugführungsaufgabe.

In der kritischen Fahrsituation ist die vom Erleuchten bis zur Wahrnehmungsbestätigung einer LED über alle Versuchspersonen gemittelte Reaktionszeit mit 1,2 s deutlich länger als in der unkritischen Situation mit 1,0 s. Auch hier könnte die erhöhte Aufmerksamkeitsausrichtung in der kritischen Situation eine Erklärung liefern. Da das menschliche Gehirn nur eine bestimmte Anzahl von Informationen pro Zeiteinheit verarbeiten kann, ist die Menge der koordiniert ausführbaren Handlungen von der geistigen Beanspruchung und hier insbesondere von unseren Ausführungsorganen abhängig – zwei Hände und zwei Füße. Dabei hilft die Aufmerksamkeitsfokussierung die Motorik effizient zu nutzen. Da es sich bei der Wahrnehmung und Bestätigung der LEDs um eine Nebentätigkeit handelte, führte dies dazu, dass zuerst alle Handlungen für die priorisierte Fahraufgabe ausgeführt wurden und danach erst die Wahrnehmungsbestätigung der LEDs erfolgte.

5.2 Die Bremsreaktionszeit

Um einen Unfall mit dem in der kritischen Situation plötzlich kreuzenden Fußgänger zu vermeiden, mussten die Versuchsfahrer eine Notbremsung einleiten. Diese musste allerdings nicht bis zum Stillstand des Fahrzeugs führen. In der Abbildung 6 sind die Abläufe, die dieses Szenario bestimmen, für drei Versuchsfahrer schematisiert dargestellt.

Der Fußgänger läuft dabei anfänglich mit dem Rücken zum Fahrzeug auf dem rechten Gehweg. Kurz vor dem Fahrzeug wendet er sich nach links und betritt die Fahrbahn. Ein Fahrzeugführer, der dieses Verhalten des Fußgängers wahrnimmt, muss eine Handlungsstrategie für diese Situation entwickeln und umsetzen. Bleibt der Fußgänger am Straßenrand stehen, so kann er seine Fahrt fortsetzen. Betritt der Fußgänger die Straße, muss er entweder ausweichen oder eine Bremsung einleiten. Im

Fall der in Abbildung 5 visualisierten Abläufe entschieden die Versuchsfahrer bereits bevor der Fußgänger die Straße betreten hat eine Bremsung auszuführen. Wann genau sie aber innerhalb der kritischen Situation dazu veranlasst wurden, konnte nicht geklärt werden. Da die Beobachtung der Bewegungen des Fußgängers meist peripher erfolgte, stieß das iView-System hier an seine Grenzen. Nach der Wahrnehmung des Objektes wird das Bewegungsmuster des Fußgängers im Gedächtnis gespeichert, welches dann durch Beobachtung mit dem realen Geschehen abgeglichen wird. Bei einer Abweichung der realen von den erwarteten Bewegungen kann es zu einer Handlungsauslösung kommen. Dieser Fakt wird auch in der Ablaufdarstellung (Abb. 6) verdeutlicht. Außerdem kann man erkennen, dass eine Handlungsauslösung auch schon vor der direkten Fixation des auslösenden Objektes erfolgt (VP 1).

Durch den Versuchsaufbau wird es möglich, die Umsetzzeit in einer realen unfallträchtigen Situation zu ermitteln. Als Umsetzzeit wird die Zeit vom Lösen des Gaspedals, über das Umsetzen des Fußes auf das Bremspedal bis zum Betätigen der

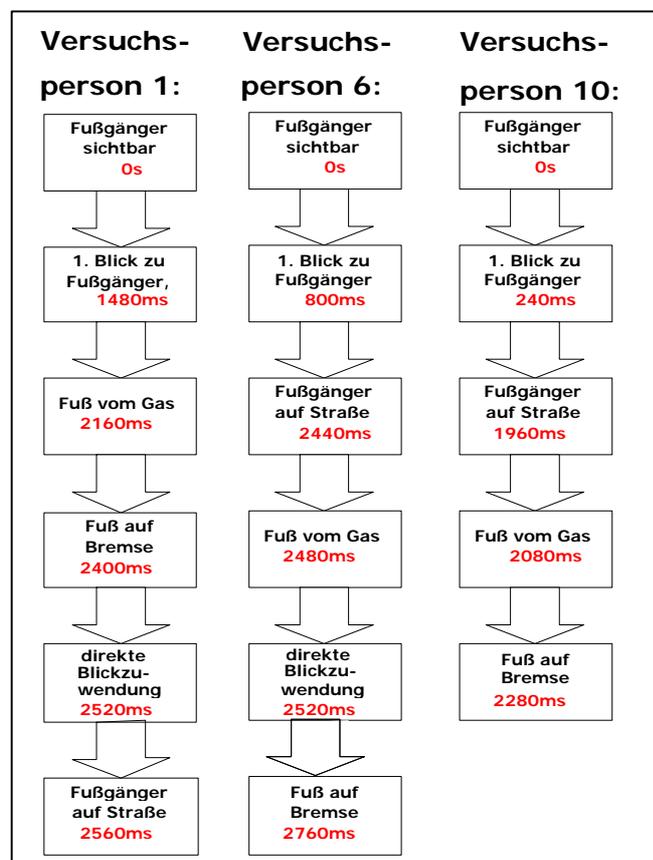


Abbildung 6: Reaktionsabläufe von drei Versuchspersonen (VP) für eine Notbremsung in der kritischen Situation

Bremse angenommen. Die Umsetzzeit beträgt bei den drei Versuchspersonen im Mittel 240 ms (Toleranz beträgt ± 40 ms) und liegt damit genau in den von (DANNER 1994) genannten Reaktionsbereichen für eine mittelstarke bis starke Reizaufforderung.

Die synchrone Aufzeichnung von Blickbewegung und Pedalbetätigung ermöglicht es prinzipiell, Reaktionszeiten von Probanden im realen Verkehrsgeschehen mittels Videoauswertung stabil zu ermitteln. Bei geeigneter Wahl der Verkehrssituationen

und der Probanden können so realistische Aussagen für die Unfallrekonstruktion gewonnen werden.

5.3 Die Herzratenvariabilität

Im Rahmen der Fahrversuche konnte die kritische Fahrsituation nicht mit charakteristischen Werten der HRV korreliert werden. Während der Versuchsfahrten variierten die Herzraten allerdings deutlich stärker als im Ruhezustand. Das kritische Moment der Fußgängerquerung war dazu mit einer Durchschnittsdauer von ca. 10 s zu kurz. Um eine entsprechende Aussage mit Hilfe der HRV-Werte treffen zu können, sollten sich die Veränderungen der Vitalwerte über einen Zeitraum von mindestens 3-4 min erstrecken. Außerdem ergibt sich das Problem der Interferenz der motorischen (Kurvenfahren) mit der mentalen Komponente. Um nun Aussagen über die mentale Beanspruchung des Fahrzeugführers ableiten zu können, ist es notwendig, die motorische Komponente aus den HRV-Daten herauszurechnen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich die HRV-Messung an einem Fahrzeugführer, bei Berücksichtigung der oben gemachten Anmerkungen, eignet, um verschiedene Fahrbedingungen hinsichtlich der Anspannung des Probanden miteinander zu vergleichen. So könnten damit verschiedene Versuchslayouts hinsichtlich ihrer Realitätsnähe dahingehend überprüft werden, ob z.B. eine Autofahrt in einem Simulator für eine Versuchsperson ähnliche Belastungen hervorruft wie eine Autofahrt im realen Verkehrsgeschehen. Damit wäre eine Aussage über die Güte der Versuchsbedingungen bezüglich der Realitätsnähe möglich.

5.4 Blickbewegungen und Fahrertypen

Die aufgezeichneten Videodaten wurden mit Hilfe der Software „Interact“ der Firma Mangold analysiert. Dabei wurden die Anzahl der Fixationen und ihre Dauer auf, für die Fahrzeugführung entscheidende, Objekte kodiert. Die Ergebnisse können aufgrund der zu geringen Anzahl an Versuchspersonen nur Tendenzen aufzeigen und Anhaltspunkte für weitere Arbeiten auf diesem Gebiet liefern. Es wird aber deutlich, dass die Blickbewegungsanalyse Rückschlüsse auf Handlungsstrategien liefern kann, die sie wiederum zu einem sinnvollen Werkzeug in der Fahrzeugsicherheit, so auch in der Unfallrekonstruktion, werden lassen.

5.4.1 Die Bedeutung von Objekten

Um auf die Bedeutung von Objekten für die Probanden während der Fahrzeugführung zu schließen, wird die normierte Fixationsdauer über alle Versuchspersonen betrachtet. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis der durchschnittlichen Fixationsdauer und der durchschnittlichen Anzahl der Fixationen.

Es ist zu erkennen, dass die Versuchspersonen sowohl in der unkritischen als auch in der kritischen Situation sehr viel Zeit für Blickzuwendungen direkt auf die Straße aufbringen. Da die Anzahl der Fixationen aber auch sehr hoch ist, nimmt die einzelne Blickzuwendung auf die Straße aber nur einen im Vergleich kurzen Zeitraum in Anspruch - durchschnittlich 0,46 s pro Fixation in der kritischen und 0,54 s in der unkritischen Situation. Damit ist auch schon die Obergrenze der normierten Fixationsdauer für Objekte zur Fahrzeugpositionierung beschrieben. Allgemein bewegen sich

die durchschnittlichen Fixationsdauer auf feste Objekte (Straßenrand links und rechts, Straße etc.) in der kritischen Situation zwischen 0,19 s und 0,47 s und in der unkritischen Situation zwischen 0,20 s und 0,54 s.

Damit liegen sie deutlich unter denen auf bewegte Objekte (Fußgänger, entgegenkommendes Fahrzeug) und Bereiche, in denen bewegte Objekte vermutet werden (Vorfahrt in gleichrangiger Straße beachten). Hier liegen die normierten Fixationsdauern zwischen 0,67 s und 0,92 s in der kritischen und zwischen 0,63 s und 0,81 s in der unkritischen Situation. Mit 0,92 s dauert die Fixation auf den Fußgänger im Durchschnitt am längsten. Daraus wird der Stellenwert des betrachteten Objektes deutlich. Es ist also zu erkennen, dass bewegte Objekte, und hier vor allem der Fußgänger, längere Fixationen erfordern, um die Bewegungsrichtung und das Verhalten der Objekte zu erschließen und Vorhersagen für das interne Modell der Verkehrssituation zu erarbeiten.

Der prozentuale Anteil der Fixationsdauern auf den Fußgänger im Verhältnis zur Gesamtdauer der Fixationen variiert in der Gruppe der Versuchspersonen zwischen 10,7 % - 34 %. Das bedeutet, dass im Mittel die Fixationsdauer auf den Fußgänger 21 % der Gesamtfixationszeit während der kritischen Situation betrug. Es ließen sich aber keine Tendenzen bezüglich des Einflusses der Fahrerfahrung auf diesen Wert o.ä. ableiten.

5.4.2 Informationsgewinnung der Versuchsfahrer

Um das Vorgehen bei der Informationsgewinnung der Versuchsfahrer zu untersuchen, wurden die betrachteten Objekte in der kritischen und unkritischen Situation in zwei Kategorien zusammengefasst. Die erste Kategorie enthält alle Objekte, die zur Ausübung der Fahraufgabe notwendig sind (Straße, Straßenrand, Kreuzungsbereich, entgegenkommender Pkw, etc.). Die zweite Kategorie beinhaltet Objekte, die Zusatzinformationen liefern. Dazu gehören z. B. der Fußgänger, der Rückspiegel und das Armaturenbrett. Diese Unterteilung ist notwendig, um zu bewerten, in welchem Verhältnis die zur Positionierung auf der Straße notwendigen Informationen zu den Zusatzinformationen stehen.

Keiner der Probanden sah während der kritischen Situation zum Tacho oder auf andere fahrzeuginterne Anzeigen. Das bedeutet, dass alle Versuchsfahrer die Annäherungsgeschwindigkeit an den Kreuzungsbereich und die Abbiegegeschwindigkeit intuitiv bestimmten, also mit Erfahrungswissen arbeiteten.

Während der unkritischen Situation (kein Fußgänger vorhanden) nahmen vier Versuchsfahrer keine Zusatzinformationen aus dem „Nebenraum“ auf und die übrigen Probanden tätigten nur sehr wenige und kurze Fixationen zu den entsprechenden Objekten. Dabei betrug die durchschnittliche Fixationsdauer 0,25 s. Mit dem Erscheinen des Fußgängers in der kritischen Situation änderte sich dieses Verhalten. Bis auf drei Personen, die ihr Blickverhalten nicht änderten, fixierten die anderen acht Versuchsfahrer deutlich länger die Objekte der Kategorie 2 (Zusatzinformationen). Die durchschnittliche Fixationsdauer erhöhte sich auf 0,51 s. Das könnte bedeuten, dass der Informationsgehalt der unkritischen Situation zu gering war, um direkte Fixationen zu Objekten, die nicht der Fahrzeugführung dienten, auszulösen. In der kritischen Situation (Fußgänger erscheint) wird nun über einen längeren Zeit-

raum zu Objekten der Kategorie 2 geschaut. Möglicherweise wird nun Zusatzinformationen mehr Aufmerksamkeit geschenkt, um sich auf eine mögliche Reaktion besser vorzubereiten. Das minimiert die Fixationsdauer zu Objekten die für die Fahrzeugpositionierung (Kategorie 1) wichtig sind.

Eine Ursache für die unterschiedlichen Strategien der Versuchspersonen könnte ihre Erfahrung im Straßenverkehr sein. Bei der Auswertung der Blickerfassungsvideos fällt auf, dass die älteren Versuchsfahrer mehr Objekte fixieren, um ihre Position im Straßenverkehr zu bestimmen, als es jüngere, unerfahrenere tun. Dadurch sinkt zwar die Fixationsdauer zu den einzelnen Objekten, doch der Pool aus dem sie ihre Informationen gewinnen und sich damit ein Bild des Verkehrsgeschehens erarbeiten, ist größer. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Objekte und Personen eher oder überhaupt wahrgenommen werden können. Dies gilt nur für Fälle, in denen die Fahrzeugführer nicht abgelenkt oder ihre Aufnahmefähigkeit, zum Beispiel durch Müdigkeit, eingeschränkt sind.

Es zeigte sich auch, dass die Zeitspannen vom Erscheinen des Fußgängers bis zu ersten Blickzuwendung zum Fußgänger bei älteren, erfahreneren Probanden deutlich kürzer sind als bei jüngeren Versuchspersonen.

Vor allem junge und unerfahrene Fahrer müssen Objekte länger fixieren, um deren Informationsgehalt zu erfassen. Dadurch beschränkt sich ihre Wahrnehmungsbreite auf einen kleineren Teil des Verkehrsgeschehens. Tritt ein unvorhersehbares Ereignis ein, könnten sie möglicherweise nicht so reagieren, wie es die Situation verlangen würde.

Durch zahlreichere Fixationen der Umgebung ist es dem „scannenden“ Fahrer möglich, ein noch genaueres Abbild der Umgebung zu erfassen. Damit können auch Nebentätigkeiten, wie das Bestätigen von wahrgenommenen LEDs, ausgeübt werden, ohne dabei die Fahraufgabe zu vernachlässigen.

Würde man aus den ersten Ergebnissen der Blickauswertung der Fahrversuche eine vorläufige Einteilung der Probanden in verschiedene Gruppen vornehmen, so wären das die Gruppen der „Scanner“ und der „Fixierer“. Als „Scanner“ werden hier die erfahrenen und als „Fixierer“ die unerfahrenen Kraftfahrer bezeichnet. Diese Vermutung muss aber noch durch eine detaillierte Analyse des Videomaterials untermauert werden. Eine Einteilung der Versuchspersonen nur anhand der kritischen und unkritischen Situation war nicht möglich.

6. Ausblick

Die Anwendung der Blickbewegungsanalyse für Zwecke des Verständnisses von potentiell kritischen Fahrsituationen kann als ein erfolgversprechendes Werkzeug angesehen werden. Damit wird es möglich, das Verhalten des Fahrers anhand seiner Blickbewegung besser zu verstehen und mögliche Unfallursachen abzuleiten. So können Bewertungen infrastruktureller Maßnahmen, wie die Gestaltung eines Kreuzungsbereiches oder auch fahrzeugseitige Maßnahmen, vorgenommen werden. Speziell für die Unfallrekonstruktion könnte ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, das es erlaubt, bestimmte Unfallsituationen nachzustellen und aus der Perspektive des Unfallfahrers zu bewerten.

Die veröffentlichten Ergebnisse sollen Auswertemöglichkeiten darstellen und sind in weiteren Arbeiten zu überprüfen. Sie stellen nur einen Ausschnitt des durch die Ver-

suche erhaltenen, umfangreichen Materials dar. Es konnte gezeigt werden, dass sich der gewählte Versuchsaufbau als grundsätzlich tauglich erwiesen hat, Blickbewegungsdaten im Fahrzeug unter realen Umweltbedingungen zu erzeugen. Vor allem die Konzeption der Versuchstrecke, als eine Kombination aus realem Straßenverkehr mit regieplangesteuerten Interaktionen, hat sich als sehr sinnvoll herausgestellt. Damit wurden reale Bedingungen und hohe Reproduzierbarkeit gleichermaßen berücksichtigt.

Natürlich wurden Punkte deutlich, die bei weiteren Versuchen einer Verbesserung bedürfen. So bewährte sich das POLAR-Messsystem zur Aufnahme der HRV-Werte nur bedingt für die Anwendung im Fahrzeug. Auch der gewählte Messaufbau zur Analyse des peripheren Gesichtsfeldes eignete sich nur bedingt für die Anwendung während der kritischen Situation. Prinzipiell allerdings zeigt sich dieser Aufbau zur Überprüfung der Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers durch die Nebentätigkeit des Bestätigen von LEDs im Fahrzeug als gut geeignet. Das iView-System hat seine Anwendbarkeit für Untersuchungen im Fahrzeug schon mehrfach unter Beweis gestellt (KÜHN 1999, JUNG 2002). Allerdings kann es noch verbessert werden. So kommt es bei schnellen Augenbewegungen, z.B. in Seitenstraßen bei einer Vorbeifahrt, zum Datenverlust. Aufgrund des Messprinzips ist die Anlage anfällig für starke Infrarotstrahlung (Sonnenschein), was eine stabile Datenerzeugung an sehr hellen Sonnentagen behindert.

7. Literatur

- ASHTON, (1975). *The Cause and Nature of Head Injuries sustained by Pedestrians, Proceedings, IRCOBI 1975.*
- BMV, (2001). *Verkehr in Zahlen 2001/2002*, Bundesministerium für Verkehr, Deutscher Verkehrs-Verlag 2001.
- DANNER, Halm (1994). *Technische Analyse von Verkehrsunfällen.* Eurotax 1994.
- HEINRICH, U. (2002). Der Dunkelheitsunfall. *Polizei Journal, Januar/Februar 2002, S. 55-63.*
- JUNG, R. (2002). *Formale Bewertung der Benutzungskomplexität bildschirmgestützter Informations- und Unterhaltungssysteme im Kraftfahrzeug.* Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 Nr. 11. Düsseldorf: VDI Verlag 2002.
- KÜHN, M. (1999). *Exemplarische Ermittlung der Kognitiven Komplexität bei der Bedienung von Fahrzeugkomfortelektronik durch Blickbewegungsanalyse.* Diplomarbeit. TU Berlin. ILS Kraftfahrzeuge
- KÜHNEL, A. (1980). *Der Fußgänger-Fahrzeug-Unfall und seine Rekonstruktion.* Dissertation. TU Berlin. ILS Kraftfahrzeuge.
- MÜCK, H. MÜCK-WEYMANN, M (2002). *Informationen und Hintergrundwissen rund um die HRV.* www.hrv24.de. Köln 12.06.2002.
- OTTE, D., POHLEMANN, T (2002). Analyse und Bewertung des Sekundäraufpralls auf die Straße bei Pkw-Fußgängerkollisionsabläufen. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 12/2002, S. 316-321.

- PFLEGER, E., LINAUER, M (2000). Untersuchung des Blickverhaltens in Abhängigkeit von Straßenlage und Verkehrsgeschehen.. In *9. Jahrestagung des Europäischen Vereins für Unfallforschung und Unfallanalyse e.V.* 2000. Berlin.
- ROSE, A. (2002). *Analyse des Fußgänger-Fahrzeug-Unfalls zur Ableitung von Indikatoren des Fahrerverhaltens*. Diplomarbeit 06/02. TU Berlin. ILS Kraftfahrzeuge.
- RÖTTING, M (2001). *Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen*. Dissertation. Shaker Verlag Aachen.
- SCHROIFF, W. (1987). Zum Stellenwert von Blickbewegungsdaten bei der Mikroanalyse kognitiver Prozesse, *Zeitschrift der Psychologie*, 195/1987, S. 189-208.
- SIVAK, M. (1996). The information that drivers use: is it indeed 90% visual?, *Perception* 1996, volume 25, S. 1081-1089, <http://www.perceptionweb.com>.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2001). *Verkehr 2000*, Fachserie 8, Reihe 7, Wiesbaden: Metzler Poeschel Verlag 2001.