

Blickverhalten von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr

Vom Fachbereich 18
- Elektrotechnik und Informationstechnik -
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung der Würde eines
Doktor - Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

Dipl.-Ing. Carsten Diem
geboren am 02.11.1970 in Darmstadt

Referent: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmidt-Clausen

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Helmut Schlaak

Tag der Einreichung: 12. Januar 2004

Tag der mündlichen Prüfung: 09. November 2004

D17

Darmstädter Dissertation

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Inhaltsverzeichnis	6
Zusammenfassung	9
1 Einleitung und Aufgabenstellung	12
2 Auffälligkeit	15
2.1 Definitionen	15
2.2 Eigene Definition	17
3 Grundlagen	18
3.1 Aufbau des Auges	18
3.2 Adaptation des Auges	20
3.3 Auflösungsvermögen des Auges	21
3.4 Gesichtsfeld	23
3.5 Augenbewegung	25
3.5.1 Neuronale Kontrolle der Augenbewegung	33
3.5.2 Methoden zur Messung der Augenbewegung / Blickbewegung	34
3.5.2.1 Haftlinsenmethode	35
3.5.2.2 Elektrophysiologische Methode	35
3.5.2.3 Methoden mit optischer Abbildung	36
3.5.3 Augenbewegung und Wahrnehmung	37
3.6 Eingesetztes Meßsystem zur Blickerfassung	38
3.6.1 Auswertung	42
3.6.2 Fehlerbetrachtung	47
3.6.2.1 Meßsystem	49
3.6.2.2 Fahrzeug	49
3.6.2.3 Versuchsperson	50
3.6.2.4 Zusammenfassung Meßfehler	53
3.7 Wiederholbarkeit	54
3.8 Verkehrsraum	56
3.8.1 Straßenverläufe	59
4 Bisherige Forschungsarbeiten	61
4.1 Blickverhalten	61
4.2 Verkehrszeichen	65

5	Eigene Untersuchungen	67
5.1	Grundlagen.....	68
5.1.1	Meßstrecke.....	68
5.1.1.1	Verkehrszeichen.....	69
5.1.2	Testpersonen.....	70
5.1.3	Auswertung.....	71
5.2	Blickverhalten.....	72
5.2.1	Augenbewegung - Geschwindigkeit.....	72
5.2.2	Augenbewegung - Winkel.....	78
5.2.3	Pupillenöffnung.....	81
5.3	Fixationsverhalten.....	85
5.3.1	Stadtstraße.....	85
5.3.2	Landstraße.....	86
5.3.2.1	Geraden.....	87
5.3.2.2	Linkskurven.....	88
5.3.2.3	Rechtskurven.....	89
5.3.3	Autobahn.....	91
5.3.4	Verkehrsaufkommen.....	92
5.3.5	Fahrbahnoberflächen.....	93
5.3.6	Fahrbahnmarkierungen.....	95
5.4	Verkehrszeichen.....	98
5.4.1	Fixationsentfernung.....	99
5.4.2	Fixationszeit.....	100
5.4.2.1	Wegweisende Beschilderung.....	104
5.4.2.2	Wegweiser an Verkehrszeichenbrücken.....	107
5.4.3	Wiederholung von Verkehrszeichen.....	109
5.5	Notwendige Sehschärfe.....	111
5.5.1	Versuchsaufbau.....	112
5.5.2	Versuchsdurchführung.....	113
5.5.3	Ergebnisse.....	114
5.6	Weitere Objekte im Straßenraum.....	118
5.6.1	Verkehrssignalanlagen.....	118
5.6.2	Vorausfahrendes Fahrzeug.....	119
5.6.2.1	Überholen von LKWs.....	120
5.6.3	Bremsleuchten.....	120
5.6.4	Fahrtrichtungsanzeiger.....	123
5.6.5	Baustellen.....	124

5.7	Einfluß der Sichtfeldbegrenzung	126
5.7.1	Versuchsaufbau	126
5.7.2	Blickverhalten	127
5.7.3	Lenkwinkel.....	131
6	Schlußfolgerungen	133
7	Ausblick	140
8	Literaturverzeichnis	144
9	Formelzeichen, Abkürzungen, Definitionen	173
9.1	Formelzeichen.....	173
9.2	Abkürzungen	174
9.3	Definitionen	174
10	Anhang.....	177
10.1	Wiederholungen für verschiedene Fahrer.....	177
10.2	Darstellung Kurvenradien.....	178
10.3	Fixation Verkehrszeichen.....	179
10.4	Unterschied Verkehrszeichen	180
10.5	Überholvorgang eines LKWs	181
10.6	Fixation einer Verkehrssignalanlage	184

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Tätigkeit eines Kraftfahrers beim Steuern seines Wagens kann wie folgt zusammengefaßt werden:

Der Fahrer überwacht die Bewegungen des Fahrzeuges und korrigiert diese bei Bedarf. Sobald eine Abweichung zwischen dem Ist- und dem Soll-Wert erkannt wird, wird eine Korrektur vorgenommen.

Der Soll-Wert während der Fahrt ist keine Konstante, sondern eine permanent variable Größe. Der Fahrer legt den jeweiligen Soll-Wert sowohl aufgrund seiner individuellen, aktuellen, gewohnheits- und gefühlsmäßigen Voraussetzungen als auch in Abhängigkeit von den sich ändernden Verkehrskonstellationen, Straßenführungen, Straßenzuständen, Witterungsbedingungen, Sichtverhältnissen, Tageszeiten, Verkehrsregelungen etc. fest.

Als Entscheidungshilfe für die Festlegung des jeweiligen Soll-Wertes, d. h. der optimalen Fahrweise, dient die Informationsaufnahme, die grundsätzlich durch eine Zusammenarbeit aller Sinne erfolgt. Der Sehvorgang nimmt dabei die wesentliche Rolle ein, sein Anteil wird auf mehr als 90% geschätzt [65]. Zusätzlich ist das Auge die einzige Informationsquelle, die entfernungsorientiert arbeiten kann und damit die Bewegung von anderen Verkehrsteilnehmern (z. B. Auto-, Fahrradfahrern oder Fußgängern), aber auch Verkehrszeichen oder andere Gegenstände wahrnehmen kann.

Zur Festlegung des sich dynamisch ändernden Soll-Wertes werden das

- primäre Informationssystem sowie das
- sekundäre Informationssystem

und zusätzlich die

- gesetzlichen Rahmenbedingungen

verwendet [63] [136].

Das sogenannte *primäre Informationssystem* setzt sich aus primären Informationen der Straße, der Verkehrskonstellation, der Umgebung, der Witterung, der Tageszeit etc. zusammen, d. h. aus Informationen von realen Objekten im Straßenraum. Dazu gehören u. a. die Fahrbahn, die anderen Verkehrsteilnehmer, sowie erkennbare Gefahren und Begleitumstände (z. B. Glatteis, Nebel). Diese Informationen ermöglichen es dem Fahrer, mit der Erfahrung der zuletzt zurückgelegten Strecke, eine Pro-

gnose für die zu erwartende Konstellation der weiteren Strecke zu machen und die Soll-Werte bzw. seine Fahrweise entsprechend anzupassen.

Das *sekundäre Informationssystem* ist ein künstliches System von Zeichen und Markierungen, die das Verkehrsverhalten vorschreiben, den Verkehrsablauf regeln, den Fahrer vor Gefahren warnen, Hinweise geben usw. Die Informationenübermittlung erfolgt durch Piktogramme oder Worte auf Schildern (vertikale Einrichtungen) oder durch Fahrbahnmarkierungen (horizontale Einrichtungen).

Als drittes Informationssystem ist der *gesetzliche Rahmen* anzusehen, der den anderen Informationssystemen übergeordnet ist. Da der Inhalt des gesetzlichen Rahmens während der Fahrt konstant ist, wird dieses Informationssystem hier nicht weiter betrachtet.

Der Führer eines Fahrzeuges kann den dynamischen Soll-Wert seines Fahrzeuges erst anhand der Überlagerung der primären und sekundären Informationen unter Berücksichtigung der gesetzlichen Rahmenbedingungen festlegen. Um keine Information zu übersehen, sollten die unbedingt notwendigen Informationen so gut im Straßenraum angeordnet bzw. gekennzeichnet sein, daß der Fahrer diese mehr oder weniger automatisch erfaßt und situationsgerecht auswerten kann. Dazu gibt es in der Literatur umfangreiche Untersuchungen zur notwendigen Leuchtdichte von Objekten im Straßenverkehr bzw. zur Frage, welche Kontraste (Unterschiedsempfindlichkeit) vorhanden sein müssen, damit der Kraftfahrer Objekte im Straßenraum frühzeitig genug erkennen kann [14] [71] [77] [119] [124] [160].

Bei diesen Untersuchungen zur Unterschiedsempfindlichkeit wird vorausgesetzt, daß die physiologische Abfolge

Sehen → Wahrnehmen → Erkennen → Reagieren

schon durchlaufen wurde, da bei solchen Untersuchungen das Kriterium *Wahrnehmen* bzw. *Erkennen* verwendet wird. Der erste Schritt im visuellen Verarbeitungsprozeß im Auge bzw. Gehirn *Sehen → Wahrnehmen*, d. h. wie es zu einer Wahrnehmung kommt, wird dabei nicht oder nur bedingt berücksichtigt.

Da der Mensch nur das erkennen kann, was er aus seiner Erfahrung heraus kennt, scheint gerade der Prozeß vom *Wahrnehmen* zum *Erkennen* sehr wichtig zu sein. Um Objekte möglichst frühzeitig zu identifizieren und

bei eventuellen Gefahren rechtzeitig reagieren zu können, muß jedoch der gesamte visuelle Prozeß betrachtet werden, d. h. der Prozeß, der beim *Sehen* beginnt.

Auch beim Autofahren ohne besondere Vorkommnisse, z. B. auf einer Landstraße am Tage, muß sich der Fahrer im Straßenraum orientieren und den Straßenverlauf erfassen bzw. festlegen, um sein Regelverhalten anwenden zu können.

Eine Auswertung der bisherigen Publikationen zum Thema Blickverhalten bzw. Orientierungsverhalten von Kraftfahrern ergab, daß über den Prozeß der optischen Informationsaufnahme eines Kraftfahrers bisher sehr wenig bekannt ist.

Die optische Informationsaufnahme eines Kraftfahrers meßtechnisch zu erfassen, kann mit Hilfe der Messung und Auswertung des Blick- bzw. Orientierungsverhalten durchgeführt werden.

An diesem Punkt setzt diese Untersuchung mit dem Ziel ein, u. a. das Blick- und Orientierungsverhalten des Kraftfahrers von Grund auf zu analysieren und zu beschreiben, woran sich ein Kraftfahrer beim Autofahren orientiert. Betrachtet werden sollen dazu neben dem „normalen“ Autofahren bei Tag und Nacht die Beeinflussung des Blickverhaltens durch

- verschiedene Fahrumgebungen (Stadtstraße, Landstraße, Autobahn),
- die zur Orientierung im Straßenraum benötigten Objekte (u. a. Verkehrszeichen, Fahrbahnmarkierungen),
- das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer.

Aufbauend auf die Analyse des Orientierungsverhaltens sollen Verbesserungsmöglichkeiten für die Gestaltung des Verkehrsraumes und der visuellen Informationsquellen erarbeitet werden, damit die Informationen *auffälliger* gestaltet werden und dem Fahrer einfacher bzw. klarer übermittelt werden können.

Da die bisherigen Definitionen zum Begriff „*Auffälligkeit*“ sich als nicht ausreichend erweisen, ist zu definieren, was eine „*auffällige*“ Informationsquelle charakterisiert.