

Holger Ackert

Ergonomische Bewertung der Sicherheit beim Kraftfahrzeuglenken

Untersuchungen zum Zusammenhang von subjektiver
Bewertung und realisierten Fahrleistungen bei einer
parameterabhängigen Lenkungsgestaltung

Holger Ackert

Ergonomische Bewertung der Sicherheit beim Kraftfahrzeuglenken

Untersuchungen zum Zusammenhang von subjektiver
Bewertung und realisierten Fahrleistungen bei einer
parameterabhängigen Lenkungsgestaltung

**Bericht aus dem Institut für
Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt
(Leiter: Prof. Dr.-Ing. Kurt Landau)**

Holger Ackert

**Ergonomische Bewertung
der Sicherheit beim Kraftfahrzeuglenken**

Untersuchungen zum Zusammenhang von
subjektiver Bewertung und realisierten Fahrleistungen
bei einer parameterabhängigen Lenkungsgestaltung

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2007

Bei dem vorliegenden Buch handelt es sich um die vom Fachbereich Maschinenbau der Technischen Universität Darmstadt zur Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation von Dipl.-Ing. Holger Ackert, eingereicht am 30.10.2007 (Hochschulkennziffer D 17) mit dem Titel "Ergonomische Bewertung der Sicherheit beim Kraftfahrzeuglenken - Untersuchungen zum Zusammenhang von subjektiver Bewertung und realisierten Fahrleistungen bei einer parameterabhängigen Lenkungsgestaltung".

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7820-5

ISSN 1434-2677

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Die Gestaltung zukünftiger Fahrzeuglenkungen muss gewährleisten, dass einzelne Aufgaben informierender und unterstützender Assistenzsysteme übernommen werden. Hierbei ist eine geeignete ergonomische Generierung von Lenkungsparametern im Sinne einer Belastungsoptimierung zu realisieren. Vorrangig muss das Ziel der Gestaltung die Gewährleistung der Sicherheit beim Lenken eines Kraftfahrzeuges bzw. die Realisierung eines hohen Sicherheitsgefühls für den Nutzer sein.

Ist bekannt, aus welchen Größen und Faktoren der Nutzer das Lenkgefühl ableitet, so kann der Fahrerarbeitsplatz entsprechend angepasst werden und zu einer Erhöhung der Sicherheit bei der Fahrzeugführung beitragen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst ein Arbeitssystemmodell zum Kraftfahrzeuglenken erstellt. Auf Basis dieses Systemmodells wurden Fahrerhandlungen- bzw. Leistungen und Informationswege abgeleitet und klassifiziert, so dass mögliche Einflussgrößen auf die ergonomische Bewertung des Sicherheitsgefühls identifiziert werden konnten.

Zur Analyse des Zusammenhangs der vom Fahrer realisierten Leistungsgrößen beim Lenken sowie der subjektiven Bewertung der Sicherheit wurden Versuche im kontrollierten Feld durchgeführt. Hierfür wurden im Vorfeld Hypothesen abgeleitet und ein Versuchs- und Messkonzept entwickelt. Für die Versuche wurden bei einem Versuchsfahrzeug Lenkungsparameter für unterschiedliche Lenkungsvarianten generiert und ein geeigneter Parcours berechnet und realisiert. Die Hypothesen umfassen die Themen Informationspfade, Fahr- bzw. Leistungen beim Lenken und interindividuelle Leistungsmerkmale.

Für die Analyse der Abhängigkeit von subjektiver Bewertung und realisierten Fahrleistungen wurden jeweils Kennwerte aus den subjektiven und objektiven Daten gebildet. Diese Kennwerte wurden gegenübergestellt und auf Korrelation untersucht.

Durch Analyse der Zusammenhänge konnten Abhängigkeiten der subjektiven Bewertung von realisierten Leistungen beim Lenken nachgewiesen werden. Es gelang Informationspfade zu identifizieren, die Einfluss auf das Sicherheitsgefühl haben. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass einzelne Fahrerhandlungen in Abhängigkeit von der Gestaltung der Lenkungsparameter mathematisch vorhersagbar sind.

Aufbauend auf die Ergebnisse wurde die Übertragbarkeit der Untersuchung und deren praktische Relevanz diskutiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse bedingt übertragbar sind. Weiterhin konnten Gestaltungsempfehlungen für die Parametergestaltung einer Lenkung aufgezeigt werden.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG

ABKÜRZUNGEN, FORMELZEICHEN UND INDIZES

1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
2	ARBEITSSYSTEM KRAFTFAHRZEUGFÜHREN	5
2.1	SYSTEMELEMENT FAHRER	5
2.1.1	INFORMATIONSPROZESS	9
2.1.1.1	Informationsaufnahme	10
2.1.1.2	Informationsverarbeitung	13
2.1.1.3	Informationsausgabe	14
2.1.2	INTERINDIVIDUELLE LEISTUNGSMERKMALE	15
2.2	SYSTEMELEMENT KRAFTFAHRZEUG	19
2.3	UMGEBUNGSEINFLÜSSE	20
3	STAND DER FORSCHUNG	21
3.1	FAHRZEUGLENKUNG	22
3.1.1	ANFORDERUNG AN DIE FAHRZEUGLENKUNG	22
3.1.2	LENKUNGSARTEN	24
3.1.3	TECHNISCHE AUSFÜHRUNGEN VON FAHRZEUGLENKUNGEN	24
3.1.3.1	Manuelle Lenkung	24
3.1.3.2	Hilfskraftlenkungen mit hydraulischer Lenkkraftunterstützung	26
3.1.3.3	Hilfskraftlenkungen mit elektrischer Lenkkraftunterstützung	28
3.1.3.4	Fremdkraftlenkung	28
3.2	LENKMOMENT UND LENKÜBERSETZUNG	30
3.3	RELEVANTE UNTERSUCHUNGEN ZUM LENKGEFÜHL	32
3.4	FAZIT	40
4	EIGENE VERSUCHE	46
4.1	MOTIVATION UND ABLEITUNG VON ARBEITSHYPOTHESEN	46
4.2	ANFORDERUNGEN AN DAS UNTERSUCHUNGSKONZEPT	52

4.3	FESTLEGUNG DES UNTERSUCHUNGSANSATZES -----	53
4.3.1	VERSUCHSTRÄGER-----	54
4.3.1.1	Technische Attribute-----	54
4.3.1.2	Generierung der Lenkungsparameter-----	57
4.3.2	PROBANDEN-----	66
4.3.3	VERSUCHSUMGEBUNG-----	68
4.3.3.1	Auswahl geeigneter Fahrmanöver-----	68
4.3.3.2	Definition und Entwicklung eines Parcours-----	71
4.3.4	ERHEBUNGSMETHODIK-----	80
4.3.4.1	Belastung-----	81
4.3.4.2	Individuelle Charakteristik-----	82
4.3.4.3	Fahrerverhalten-----	83
4.3.4.4	Akzeptanz-----	84
4.3.5	VERSUCHSABLAUF-----	87
5	AUSWERTUNGSMETHODIK -----	89
5.1	DATENERFASSUNG -----	89
5.2	DATENAUFBEREITUNG UND KENNWERTGENERIERUNG -----	90
5.2.1	AUFBEREITUNG DER SUBJEKTIVEN DATEN-----	91
5.2.2	AUFBEREITUNG DER FAHRZEUGTECHNISCHEN DATEN-----	93
5.3	GEGENÜBERSTELLUNG DER KENNWERTE -----	98
5.4	STATISTISCHE PRÜFMETHODIK -----	100
5.4.1	ÜBERPRÜFUNG VON ZUSAMMENHÄNGEN-----	101
5.4.2	ÜBERPRÜFUNG VON UNTERSCHIEDEN-----	101
5.4.3	ÜBERPRÜFUNG DER VORHERSAGBARKEIT-----	102
5.5	GRAPHISCHE DARSTELLUNG UND KODIERUNG -----	103
6	ERGEBNISSE -----	105
6.1	EINFLUSS VON LENKAKTIVITÄT UND RÜCKMELDUNG FAHRZEUG -----	105
6.1.1	EINFLUSS DER KINÄSTHETISCH/HAPTISCHEN RÜCKMELDUNG-----	105
6.1.2	EINFLUSS DER VISUELLEN RÜCKMELDUNG-----	110
6.1.3	EINFLUSS DER FAHRERLEISTUNG-/LENKAKTIVITÄT-----	113
6.1.4	EINFLUSS DER HAPTISCHEN RÜCKMELDUNG LENKRAD-----	120
6.1.5	EINFLUSS DER STEERING SENSIVITY-----	124
6.2	IDENTIFIKATION LENKUNGSPARAMETERABHÄNGIGER EINFLÜSSE -----	126
6.2.1	ANALYSE WEITERER KENNWERTE ZUR LENKAKTIVITÄT-----	126
6.2.2	ZUSAMMENHÄNGE EINZELNER EINFLUSSGRÖßEN-----	130
6.2.3	IDENTIFIZIERUNG DER LENKVARIANTENEINFLÜSSE-----	135
6.2.4	PARAMETEREINFLUSS AUF DAS LENKVERHALTEN-----	137

6.2.5	NICHTPARAMETRIERTER EINFLUSS AUF DAS LENKVERHALTEN -----	140
6.3	FAZIT -----	141
7	DISKUSSION -----	143
7.1	METHODENBEZOGENE DISKUSSION -----	143
7.1.1	VERSUCHS- UND MESSKONZEPT -----	143
7.1.2	AUSWERTUNGSMETHODIK -----	144
7.2	ERGEBNISBEZOGENE DISKUSSION -----	147
7.2.1	ÜBERPRÜFUNG DER ARBEITSHYPOTHESEN -----	147
7.2.2	KLASSIFIZIERUNG DER EINFLUSSPARAMETER -----	148
7.2.3	VORHERSAGBARKEIT VON ERGEBNISSEN -----	149
7.3	PRAKTISCHE RELEVANZ DER UNTERSUCHUNG -----	150
7.3.1	ÜBERTRAGBARKEIT UND GÜLTIGKEIT -----	150
7.3.2	ERGEBNISBEZOGENE GESTALTUNGSHINWEISE -----	150
7.3.3	METHODISCHE UND KONZEPTIONELLE GESTALTUNGSHINWEISE -----	151
7.4	FAZIT UND AUSBLICK -----	152
8	ANHANG -----	154
9	LITERATURVERZEICHNIS -----	160

Abkürzungen

GR	Kennwert der Gierrate
GR_delta	Normierter Kennwert von GR
LA	Kennwert des Lenkaufwands
LA_delta	Normierter Kennwert von LA
LI	Kennwert des Lenkindex'
LI_delta	Normierter Kennwert von LI
LK	Kennwert der Lenkkorrekturen
LK_delta	Normierter Kennwert von LK
LL	Kennwert der Lenkleistung
LL_delta	Normierter Kennwert von LL
LRW	Kennwert des Lenkradwinkels
LRW_delta	Normierter Kennwert von LRW
LRWp	Kennwert der Lenkradwinkelgeschwindigkeit
LRWp_delta	Normierter Kennwert von LRWp
LW	Kennwert des Lenkwinkels
LW_delta	Normierter Kennwert von LW
M	Kennwert des Lenkradmoments
M_delta	Normierter Kennwert von M
N	Anzahl
QD	Kennwert der Querdynamik
QD_delta	Normierter Kennwert von QD
RF	Kennwert des Fahrzeugrucks
RF_delta	Normierter Kennwert von RF
RL	Kennwert des Lenkradruks
RL_delta	Normierter Kennwert von RL
SE	Steering Effort
SU	Subjektivurteil
SW	Steering Wheel
SS	Kennwert der Steering Sensivity
SS_delta	Normierter Kennwert von SS

Formelzeichen

α	Signifikanzniveau
a	Querbeschleunigung
B	Bremskraft
c	Federkonstante
d	Dämpfungskonstante
δ	Lenkradwinkel
Δ	Differenz
ε, ψ	Gierwinkel
g	Erdbeschleunigung

F	Kraft
φ	Winkel
i	Lenkübersetzung
J	Lenkbelastung
K	Stabilitätsfaktor
k	Konstante
l	Radstand
M	Moment
m	Masse
n	Nachlauf
r	Korrelationskoeffizient
r^2	Gütemaß einer Korrelation
ρ	Radius
r	Lenkrollhalbmesser
t	Zeit
Θ	Trägheitsmoment
SE	Steering Effort
v	Geschwindigkeit
V	Lenkverstärkung

Indizes

a	Außen-
eff	Effektiv-
i	Innen-
H	Hand-
L	Lenk-
n	Anzahl
q	Quer-
s	Steering-
x, y, z	Koordinaten