

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig  
zur Erlangung des Grades eines Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Dissertation

Eingereicht am	9. April 2009
Disputation am	18. Dezember 2009
Berichterstatter	Prof. Dr.-Ing. B. Friedrich Prof. Dr.-Ing. R. Hoyer



INSTITUT FÜR VERKEHR UND STADTBAUWESEN  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG  
UNIV.-PROF. DR.-ING. BERNHARD FRIEDRICH

**Schriftenreihe  
Heft 56**

**Karsten Heinig**

**Zur Wirkung ausgewählter  
Fahrerinformationssysteme  
auf die Verkehrssicherheit**

**SHAKER  
VERLAG**

**Aachen 2010**

**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.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9289-8

ISSN 1615-2948

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Zusammenfassung

Die Zahl der heute im Straßenverkehr Verletzten und Getöteten ist trotz erfolgreicher Anstrengungen der letzten Jahrzehnte seitens der Infrastrukturbetreiber und der Fahrzeughersteller nach wie vor nicht hinnehmbar. Eine große Zahl an Unfällen resultiert aus nicht angepasster Geschwindigkeit, teilweise mit einer gleichzeitigen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und geschieht an bereits bekannten, lokal begrenzten Unfallhäufungsstellen.

Zur Reduktion sowohl der mittleren Geschwindigkeit, als auch der jeweiligen Fahrgeschwindigkeit des einzelnen Fahrzeugs werden seit einigen Jahren Systeme entwickelt und untersucht, die den Fahrer über die aktuell zulässige Höchstgeschwindigkeit informieren und bei ihrer Überschreitung warnen. Diese Systeme sind unter dem Namen Intelligent Speed Adaptation – ISA bekannt. Zur Wirkung dieser Systeme liegen Veröffentlichungen aus dem Europäischen und Außer-europäischen Ausland vor, bislang wurde aber keine entsprechende Analyse mit deutschen Fahrern auf deutschen Straßen durchgeführt. Die vorliegende Arbeit holt dies nach, in dem zunächst die „Speed Limit Warning“ (SLW) – ein ISA-ähnliches System – entwickelt und die Implementierung in ein Versuchsfahrzeug integriert wurde. Die Implementierung der Speed Limit Warning informiert den Fahrer kontinuierlich über die aktuelle zulässige Höchstgeschwindigkeit und warnt ihn in zwei Stufen bei einer Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit um mehr als  $6 \frac{km}{h}$ , bzw. bei einer bußgeldrelevanten Überschreitung um mehr als  $20 \frac{km}{h}$ . Als Datengrundlage dient eine digitale Straßenkarte, in der die Geschwindigkeitsbeschränkungen für die vorher identifizierte Teststrecke eingepflegt wurden.

Zur Vermeidung von Unfällen, die an Unfallhäufungsstellen geschehen, wurde ein „Hot Spot Warning“ genanntes System entwickelt, das den Fahrer fahrsituationsabhängig an entsprechenden Stellen im Straßennetz warnt. Dazu wurden Daten von 700.000 Einzelunfällen des Landes Niedersachsen aus den Jahren 2001 bis 2004 analysiert und die auf der Teststrecke liegenden entsprechenden Unfallhäufungsstellen in der digitalen Karte im System hinterlegt. Bei einer ausreichenden Übereinstimmung der aktuellen Fahrsituation mit vorher festgelegten Risikoparametern (Geschwindigkeit, Witterungs- und Lichtverhältnisse) wird der Fahrer optisch und akustisch gewarnt.

Die Analyse der Wirkungen erfolgte durch Testfahrten in einem Mit-Ohne-Vergleich mit 64 Testpersonen, die eine festgelegte Teststrecke auf öffentlichen Straßen im normalen Straßen-

---

verkehr befahren. Indikatoren, aus denen Rückschlüsse auf potenzielle Veränderungen der Verkehrssicherheit, sowie die kognitive Arbeitsbelastung und visuelle Ablenkung zulassen, wurden während der Fahrten kontinuierlich vom Fahrzeug CAN-BUS aufgezeichnet und zusammen mit fragebogenbasierten Werten zur Brauchbarkeit und Zufriedenstellung der Probanden vor und nach den Testfahrten ausgewertet.

Die Speed Limit Warning führte bezogen auf die gesamte Testfahrt zu einer signifikanten mittleren Reduktion der Geschwindigkeit von  $3,07 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , sowie zu einer signifikant geringeren Anzahl und kürzeren Dauer bußgeldrelevanter Geschwindigkeitsüberschreitungen. Die Nutzerakzeptanz der Speed Limit Warning war ausgesprochen hoch. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen wurden sehr hohe Werte für die subjektive Bewertung der Zufriedenstellung der Nutzer und der Brauchbarkeit des Systems erreicht. Signifikante negative Einflüsse der SLW auf die kognitive Arbeitsbelastung der Probanden oder die visuelle Ablenkung konnten nicht festgestellt werden.

Bezogen auf die einzelnen Streckenabschnitte, die sich in ihrer Charakteristik unterschieden, wurden mittlere Geschwindigkeitsreduktionen zwischen  $1,93 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  und  $5,14 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  ermittelt. Diese Geschwindigkeitsreduktionen lassen sich in potenzielle Abnahmen der Unfallzahlen umrechnen. Bezogen auf das einzelne Fahrzeug können so zwischen 6 % und 16 % aller polizeilich registrierten Unfälle vermieden werden, bezogen auf tödliche Unfälle sogar zwischen 12 % und 29 % Unfälle. Reduziert sich die mittlere Geschwindigkeit des Fahrzeugkollektivs um die ermittelten Werte, können zwischen 9 % und 29 % der Unfälle mit Personenschaden vermieden werden.

Die Hot Spot Warning führte weder zu einer signifikant geringeren mittleren Geschwindigkeit der Probanden, noch zu einer signifikanten Reduktion der Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich einer Unfallhäufungsstelle. Die subjektive Bewertung der Hot Spot Warning zeigte, dass entsprechende Systeme von den Probanden als hilfreich und wünschenswert betrachtet werden und die Implementierung eine hohe Gebrauchstauglichkeit aufwies. Durch eine Analyse der Gaspedal- und Bremspedalreaktionen der Probanden konnte aber gezeigt werden, dass die Probanden aufmerksamer waren, wenn sie eine Warnung erhielten.

# Abstract

Over the past decades considerable efforts have been undertaken to decrease the number of traffic casualties and to mitigate accident consequences. Despite numerous and great achievements gained by road administrations and the automotive industry, the number of casualties is still not acceptable. Many accidents are related to unadapted speed, partly with exceeding the speed limit at the same time and reoccur at accident prone locations.

To reduce the mean speed and local speed of vehicles, driver support systems are currently developed and analysed to inform drivers in their vehicles about the speed limit and to warn them in case they are exceeding the speed limits. These systems are known as „Intelligent Speed Adaptation – ISA“. Studies investigating the impact of those systems have been conducted in most motorised countries in Europa, Australia and America, but such studies have never been undertaken in one of the countries with the strongest vehicle industry in Europe – Germany. Therefore, up to now, it was unclear how German drivers would react to ISA like systems, since they are used to unrestricted speed limits on Autobahnen and a rather high speed limit on rural roads. The study at hand describes the development and implementation of an ISA like system, its integration into a test vehicle and the experiments on German public roads and their results. The developed system, called „Speed Limit Warning“, informs the driver constantly about the current speed limit and issues a warning in two stages when the speed limit is exceeded by  $6 \frac{km}{h}$ , resp.  $20 \frac{km}{h}$ . A digital road map provides the necessary data base of speed limits, which had been identified and integrated beforehand.

A second application, the „Hot Spot Warning“, provides warnings to drivers at accident prone locations. This application issues warnings to the driver depending on the location of the vehicle and the accident prone location (the so called „Hot Spot“), the driving speed, as well as weather and light conditions. To identify Hot Spots, about 700.000 accidents in the state of Lower Saxony from 2001 to 2004 have been analysed and stored in the same electronic map as the one used for the Speed Limit Warning application.

To investigate the impacts of both systems on driver behavior and traffic safety, a between subjects design with 64 subjects has been selected to ensure statistically sound results. The subjects drove a predefined sequence of 100 km of public roads during daytime at normal traffic conditions. Indicators enabling the evaluation of potential changes in traffic safety, e. g. speed,

---

acceleration and brake pedal activations, and workload and distraction related measures have been recorded from the vehicle's CAN-BUS. They are analysed in combination with subjective measures for usefulness, satisfaction and usability.

Overall, the Speed Limit Warning application led to a significant reduction of mean speed between experimental and control group of about  $3,07 \frac{km}{h}$ , as well as to a significant reduction of quantity and duration of severe speed limit violations. User acceptance was extraordinary high. Compared to other studies, usefulness and satisfaction, as recorded by the van der Laan Scale, was very high, too. No significant impacts on workload and visual distraction of the drivers has been found.

With respect to road characteristics, differences in mean speed between  $1,93 \frac{km}{h}$  and  $5,14 \frac{km}{h}$  have been recorded. These reductions can be translated into potential changes of accidents. Considering a single vehicle, between 9% and 16% of all police recorded accidents can be avoided. Taking only accidents with fatalities into account even 9% to 29% of those accidents can be prevented.

No significant effect of the Hot Spot Warning application on mean speed or on local speed at Hot Spots was found. The subjective rating of the Hot Spot Warning application revealed a high appraisal, the system was rated especially useful and desirable. Usability was rated equally high. Driver reactions, as shown by the analysis of accelerator pedal and brake pedal activation, showed an increase in situation awareness, when a warning had been issued.

# Abkürzungen und Begriffserklärungen

Nur einmalig benutzte Abkürzungen sowie abweichende Bedeutungen werden ausschließlich im Text erläutert.

ABS	Antiblockiersystem
CAN	Controller Area Network, asynchrones, serielles Bussystem für die Vernetzung von Steuergeräten in Automobilen (Robert Bosch GmbH, 1991)
$\alpha$	Cronbach- $\alpha$ : Gütemaß für die interne Konsistenz eines Fragebogens statistisch: Fehler erster Art beim Hypothesentest
CI	Konfidenzintervall
$\Delta$	Differenz zweier Werte
Dist_NLS	Abstand zum nächsten Speed Limit
DSW	Driver Warning System, Fahrerinformationssystem bestehend aus Speed Limit Warning (SLW) und Hot Spot Warning (HSW)
ESC	Electronic Stability Control
FAS	Fahrerassistenzsystem
FIS	Fahrerinformationssystem
GDF	Geographic Data Format, in der ISO 14825 definiertes Format zur Speicherung digitaler Karten (ISO 14825, 2004)
GIDAS	German In-Depth Accident Study. Kooperationsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. zur Erhebung detaillierter Daten am Unfallort (BASt, 2006)
HMI	Mensch-Maschine-Schnittstelle (engl: Human Machine Interface)
$HR_{RnSm}^K$	Trefferquote (hit rate) im Peripheren Erkennen in Runde n, Sektion m der Kontrollgruppe
$HR_{RnSm}^U$	Trefferquote im Peripheren Erkennen in Runde n, Sektion m der Untersuchungsgruppe
HS	Hot Spot; Kartenattribut, das einen Punkt erhöhten Risikos im Straßennetz abbildet
HSW	Hot Spot Warning (vgl. Kapitel 3.4 auf Seite 17)

---

ISA	Intelligent Speed Adaption; eine Gruppe aktiver Sicherheitssysteme, die den Nutzer über aktuelle Geschwindigkeitsbeschränkungen informieren, bzw. warnen.
K	Kontrollgruppe
MFD-II	Multifunktionsdisplay der Volkswagen AG, dass unter anderem im T5 als zentrales Instrument für Radio und Navigation genutzt wird. In der vorliegenden Studie wurde das MFD-II als Anzeigedisplay für die Informationen und Warnungen des DWS verwendet.
NIAM	Natural language Information Analysis Methodology. Methode zur Modellierung von Objekt-Rollen-Beziehungen.
NSL	Next Speed Limit
PD	Preview Distance
PDT	Peripheral Detection Task, Methode zur Ermittlung optischer und kognitiver Ablenkung (vgl. Abschnitt 4.5.1 auf Seite 43).
ppm	parts per million, $1ppm = 10^{-6}$
PSL	Previous Speed Limit
r	Korrelationskoeffizient, der als Effektgröße verwendet wird, vgl. Tabelle 7.1 auf Seite 75
$RT_{RnSm}^K$	Reaktionszeit (reaction time) im Peripheren Erkennen in Runde n, Sektion m der Kontrollgruppe
$RT_{RnSm}^U$	Reaktionszeit im Peripheren Erkennen in Runde n, Sektion m der Untersuchungsgruppe
SAT	Kennwert für die Zufriedenstellung (Satisfaction) eines Nutzers bei der Benutzung eines Systems, ermittelt nach Van der Laan u. a. (1997)
SL	Speed Limit; Kartenattribut, das eine Geschwindigkeitsbeschränkung abbildet.
SLW	Speed Limit Warning (vgl. Kapitel 3.3 auf Seite 14)
SUS	System Usability Scale, nach Brooke (1996) berechnete Kenngröße zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit (vgl. Abschnitt 4.5.4 auf Seite 47).
SWRR	Lenkwinkelumkehrtrate (Steering Wheel Reversal Rate)
$SWRR_{RnSm}^U$	Lenkwinkelumkehrtrate in Runde n, Sektion m der Untersuchungsgruppe
TS	Teilstrecke des Untersuchungsstrecke, vgl. Abschnitt B auf Seite 193
U	Untersuchungsgruppe
USE	Kennwert für die Brauchbarkeit (Usefulness) eines Systems, ermittelt nach Van der Laan u. a. (1997)

---

$v$	Geschwindigkeit
$v_{AO}$	Geschwindigkeit außerorts
$v_{IO}$	Geschwindigkeit innerorts
$v_{Zul}$	zulässige Höchstgeschwindigkeit
$\bar{v}_{RnSm}^K$	Mittlere Geschwindigkeit in Runde n, Sektion m der Kontrollgruppe
$\bar{v}_{RnSm}^U$	Mittlere Geschwindigkeit in Runde n, Sektion m der Untersuchungsgruppe



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand der Technik</b>	<b>5</b>
2.1. Intelligent Speed Adaptation . . . . .	5
2.2. Warnung vor Unfallhäufungsstellen . . . . .	6
<b>3. Systembeschreibung</b>	<b>11</b>
3.1. Funktion . . . . .	11
3.2. Navigation und digitale Karten . . . . .	12
3.3. Speed Limit Warning . . . . .	14
3.4. Hot Spot Warning . . . . .	17
3.5. Mensch-Maschine-Schnittstelle . . . . .	26
<b>4. Entwicklung der Bewertungsmethodik</b>	<b>29</b>
4.1. Grundüberlegungen . . . . .	29
4.2. Nutzerorientierte Analysen . . . . .	31
4.3. Forschungsfragen zum Einfluss des DWS auf die Verkehrssicherheit . . . . .	36
4.4. Hypothesen und Indikatoren zum Fahrverhalten . . . . .	37
4.5. Hypothesen und Indikatoren zur Gebrauchstauglichkeit . . . . .	38
4.6. Untersuchungsdesign und Statistik . . . . .	49
4.7. Zusammenfassung der zu testenden Hypothesen und Indikatoren . . . . .	51
<b>5. Versuchsträger</b>	<b>53</b>
5.1. Trägerfahrzeug . . . . .	53
5.2. Einbauten und Datenerfassung . . . . .	54
<b>6. Aufbau der Untersuchungen</b>	<b>63</b>
6.1. Voruntersuchungen . . . . .	63
6.2. Kriterien für die Probandenauswahl und den Stichprobenumfang . . . . .	65

6.3. Teststrecke . . . . .	67
<b>7. Ergebnisse</b>	<b>73</b>
7.1. Probandenrekrutierung und Gruppenzusammensetzung . . . . .	76
7.2. Subjektive Bewertungen . . . . .	78
7.3. Klassifizierung der Probanden für weitere Untersuchungen . . . . .	89
7.4. Geschwindigkeiten . . . . .	89
7.5. Lokale Geschwindigkeiten in Sektion 2 . . . . .	96
7.6. Geschwindigkeitsüberschreitungen . . . . .	99
7.7. Peripheres Erkennen . . . . .	110
7.8. Lenkwinkelumkehrrate . . . . .	114
7.9. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	119
<b>8. Diskussion</b>	<b>123</b>
8.1. Überblick . . . . .	123
8.2. Subjektive Bewertungen . . . . .	124
8.3. Arbeitsbelastung und visuelle Ablenkung . . . . .	126
8.4. Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsüberschreitungen . . . . .	128
8.5. Bewertung der Systeme . . . . .	131
8.6. Fazit . . . . .	137
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>139</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>171</b>
<b>Anhang</b>	<b>177</b>
<b>A. Driver Warning System</b>	<b>177</b>
A.1. Datensatzbeschreibung Unfalldaten . . . . .	177
A.2. Algorithmen . . . . .	181
<b>B. Teststrecke</b>	<b>193</b>
B.1. Lage und Eigenschaften der Teilstrecken . . . . .	193
<b>C. Probanden</b>	<b>199</b>
<b>D. Verwendete Fragebogen</b>	<b>201</b>

D.1. Erhebung biographischer Daten . . . . .	202
D.2. Erhebungen vor Antritt der Fahrt . . . . .	206
D.3. Erhebungen nach Fahrt mit Driver Warning System . . . . .	210
<b>E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung</b>	<b>215</b>
E.1. Speed Limit Warning . . . . .	215
E.2. Hot Spot Warning . . . . .	231
<b>F. Auswertung der Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit</b>	<b>247</b>
<b>G. Mittlere Geschwindigkeiten</b>	<b>259</b>
<b>H. Geschwindigkeitsüberschreitungen</b>	<b>269</b>
<b>I. Peripheres Erkennen</b>	<b>289</b>
<b>J. Lenkwinkelumkehraten</b>	<b>303</b>
J.1. Voraussetzungstests . . . . .	303