

Fahrerassistenzsysteme zur Unterstützung der Längsregelung im ungebundenen Verkehr

Christoph Mayser
BMW Group Forschung und Technik, München
Christian Lippold, Dirk Ebersbach, Matthias Dietze
TU Dresden, Lehrstuhl zur Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen

1 Einleitung

Die Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit ist eine zentrale politische und gesellschaftliche Aufgabe. Sicherheitsfördernde Entwicklungen auf den Gebieten der Kraftfahrzeugtechnik und des Straßenbaus führten zu einem Rückgang der Unfallschwere, insbesondere der Anzahl der Unfalltoten trotz einer stark steigenden Anzahl an Unfällen (Abb. 1). Potentiale zur Erhöhung der Verkehrssicherheit liegen im Bereich der aktiven und passiven Sicherheit. Auf der einen Seite wird das Regelwerk für die Straßenplanung ständig im Bezug auf Sicherheit verbessert und ergänzt. Auf der anderen Seite werden durch die Fahrzeugindustrie moderne Systeme entwickelt, welche die Sicherheit erhöhen.

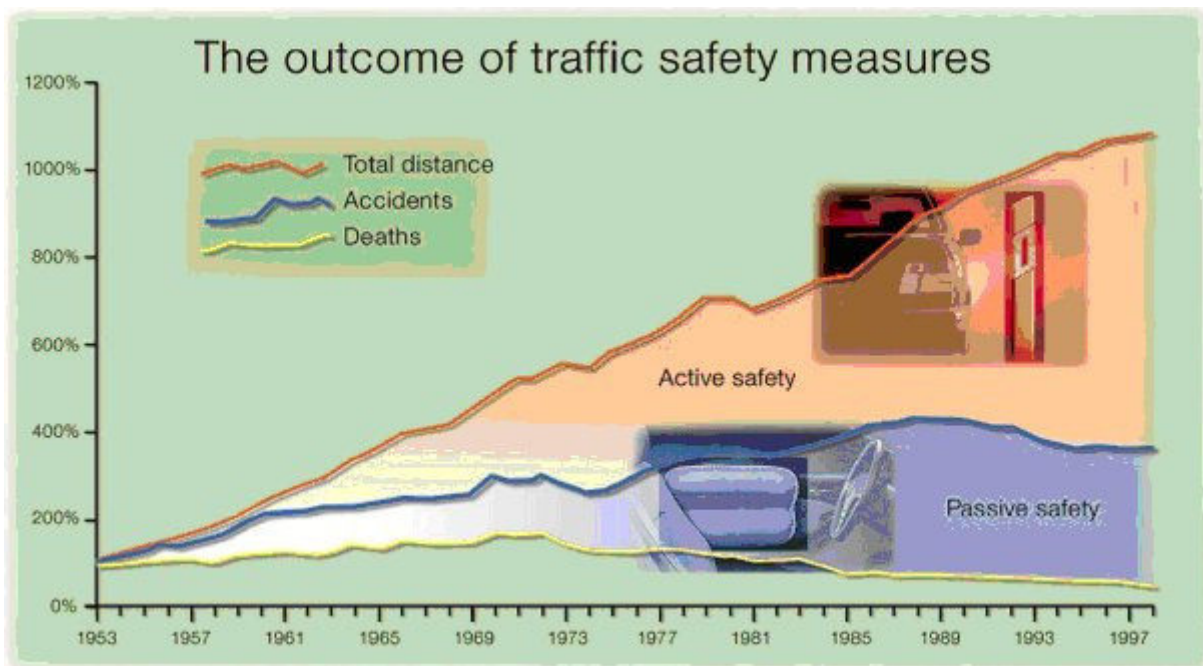


Abb. 1: Straßenverkehrssicherheit der letzten Jahre (BACHMANN U. A. 2000)

Fahrerassistenzsysteme sind seit ca. 20 Jahren in der Automobilindustrie ein bedeutsames Thema. Es werden Systeme entwickelt, die das Autofahren sicherer und komfortabler machen. Entsprechend den Aufgaben eines Fahrers:

- Planung der zu fahrenden Strecke,
- Wahl der Führungsgrößen (z.B. Sollspur) und
- Stabilisierung des Fahrzeuges

lassen sich Fahrerassistenzsysteme in die Ebenen:

- Navigation,
- Führung und
- Stabilisation

gliedern. Systeme der **Navigationsebene** sind mittlerweile bei vielen Automobilherstellern etabliert. Sie planen die Fahrtroute vom Standort zum gewünschten Zielort, geben dem Fahrer während der Fahrt Hinweise auf Abbiegestellen und Staus und entlasten ihn somit. Assistenzsysteme, die auf der **Stabilisierungsebene** wirken, sind seit einiger Zeit bereits in vielen Serienfahrzeugen integriert. So verhindert z.B. das Anti-Blockier-System (ABS) das Blockieren der Räder bei starken Bremsvorgängen, während die Anti-Schlupf-Regelung (ASC) das Durchdrehen der Räder bei starken Beschleunigungen unterbindet. Diese Systeme reagieren in der Regel schneller als es ein durchschnittlicher Fahrer könnte und tragen dadurch im Wesentlichen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bei. Systeme der **Führungsebene** (Wahl der Geschwindigkeit, Querregelung etc.) sind erst in der Entwicklung. Bekannt ist der Tempomat (engl. Cruise Control oder CC) welcher eine eingestellte Wunschgeschwindigkeit einregelt. Auf verkehrsreichen Strecken ist dieses System meist nicht kontinuierlich nutzbar, da der Fahrer aufgrund langsamerer Verkehrsteilnehmer oft eingreifen muss. Das Adaptive Cruise Control (ACC) kann zunächst als Erweiterung des Tempomaten gesehen werden. Neben der Regelung der Wunschgeschwindigkeit übernimmt das System auch die Einhaltung eines sicheren Abstandes zum vorausfahrenden Fahrzeug. Ist die Strecke wieder frei, beschleunigt das ACC wieder auf die zuvor eingestellte Wunschgeschwindigkeit. **Curve Speed Assistant (CSA)** ist ein weiteres Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung der Längsregelung im ungebundenen Verkehr. Es arbeitet ebenfalls auf der Führungsebene und soll den Fahrer bei der Wahl seiner Geschwindigkeit unterstützen.

2 Das S.A.N.T.O.S Projekt

Die immer größere Anzahl von technischen Systemen im Automobil verlangt weiterführende Konzepte bei der Realisierung von Assistenzsystemen. Der Grundgedanke des Projektes S.A.N.T.O.S war, durch eine individuelle, adaptive und integrierte Form von Assistenz für den Fahrer eine Entlastung sowie eine Sicherheits- und Komfortsteigerung zu bewirken. Unterschiedliche Nutzertypen haben in verschiedenen Fahrsituationen unterschiedliche Wünsche an die Auslegung von Assistenzsystemen im Fahrzeug. Der Fahrer kann einen Fahrstil von **entspannt** über **normal** bis **sportlich** bevorzugen oder sich je nach seiner momentanen Verfassung mehr oder weniger Unterstützung in Form von **Warnungen**, **Empfehlungen** oder tatsächlicher **Regelung** (Eingriffen) durch ein Assistenzsystem wünschen. Auf einer kurvigen Strecke wählt ein entspannter Fahrer eine geringere und gleichförmigere Geschwindigkeit als ein sportlicher Fahrer. Auf der „gemütlichen Fahrt zum Badeseesee“ hat ein Fahrer sicher weniger Bedarf an Unterstützung als auf einer langen, eintönigen Fahrtstrecke. Ändern sich die Bedingungen in der Umgebung, kann ein Assistenzsystem sein Verhalten durch adaptive Strategien anpassen. Die Geschwindigkeit für einen Streckenabschnitt ist auf regennasser Fahrbahn geringer zu wählen als bei trockener Fahrbahn. Ziel der integrierten Assistenz ist die Abstimmung mehrerer vorhandener Systeme aufeinander und die Priorisierung ihrer Systemausgaben. Führt der Fahrer ein Telefongespräch, so kann die Geschwindigkeit, die das System CSA empfiehlt, für die Dauer des Gespräches verringert werden. Oder eine ankommende SMS wird dem Fahrer erst dann signalisiert,

nachdem er eine kritische Situation, wie zum Beispiel das Abbremsen auf die Geschwindigkeit eines vorausfahrenden Fahrzeuges, bewältigt hat.

3 Entwicklung Curve Speed Assistant

In Analogie zu den Konzepten des Projektes S.A.N.T.O.S soll der Fahrer zwischen verschiedenen Fahrstilen (sportlich, normal, entspannt) und Unterstützungsformen (Warnung, Empfehlung, Regelung) wählen. Entsprechend den gewählten Parametern ermittelt das System CSA eine Geschwindigkeit, mit der der Fahrer den vorausliegenden Streckenabschnitt sicher und komfortabel befahren kann. Die Kenntnis der Geometrie und Charakteristik einer Strecke ist eine notwendige Eingangsgröße zur Geschwindigkeitsberechnung. Die Eingangsgrößen werden aus digitalen Straßenkarten, wie sie in ähnlicher Form bereits für Navigationssysteme zur Verfügung stehen, entnommen. Navigationskarten enthalten lediglich Informationen über Streckenlängen, Knotenpunkte und Straßentypen für die Ermittlung von Weglängen, Abbiegestellen und Fahrzeiten. Für die Geschwindigkeitsberechnung rückt nun die Kenntnis über den genauen Verlauf einzelner Streckenabschnitte in den Vordergrund. Dafür werden digitale Straßenkarten benötigt, die genauere Informationen über den Streckenverlauf enthalten als die derzeit verwendeten Navigationskarten. Aus diesem Grund wurde für begrenzte Gebiete prototypisch eine feindigitale Karte erstellt. In dieser Karte werden Streckenzüge in eine große Anzahl von Stützpunkten diskretisiert. Liegen die Punkte in ausreichend kleinem Abstand zueinander vor, lassen sich damit der Radius und der Öffnungswinkel einer Kurve berechnen. Das System CSA ermittelt aus dem vorausliegenden Streckenverlauf eine Geschwindigkeit, die sicher und komfortabel fahrbar ist.

3.1 Ableitung von Fahrerarten

Die Algorithmen sollen auf verschiedene Fahrergruppen abgestimmt werden. Im S.A.N.T.O.S Projekt wurden drei Fahrerarten (sportlich, normal und entspannt) definiert. Jeder Einzelfahrer und somit jedes Einzelprofil muss einem Fahrerart zugeordnet werden. Die Ermittlung des Fahrerart erfolgte im S.A.N.T.O.S Projekt unterschiedlich. Bei WINNER U. A. (2002) und LANDAU U. A. (2002) wurden fünf Fahrerarten definiert (sportlich-draufgängerisch, dynamisch-progressiv, routiniert-abgeklärt, unauffällig-konservativ und ängstlich-zurückhaltend). Der Fahrerart wurde bei den Probandenfahrten durch den Versuchsleiter bestimmt. Quantitative Größen (z.B. gemessene Geschwindigkeiten) bleiben unberücksichtigt. Bei BUBB U. A. (2002) erfolgte die Bestimmung des Fahrerart von Probanden durch einen Selbstbeurteilungsfragebogen nach ASSMANN (1985). Die Fahrerarten wurden von gelassen (1) bis dynamisch (6) definiert. Quantitative Messdaten werden nicht mit einbezogen. Durch MARSTALLER U. A. (2001) wurde nachgewiesen dass diese Beurteilung mit Messdaten korreliert. Zu den Messdaten maximale Längsbeschleunigung, maximale Querschleunigung (Abb. 2) und zu der Bremshäufigkeit konnte ein Zusammenhang nachgewiesen werden. Das Ergebnis der Korrelationen kann nur qualitativ auf andere Strecken übertragen werden. In LIPPOLD (1997) und MEWEES U. A. (1975) wurde nachgewiesen, dass der Absolutwert der auftretenden Längsbeschleunigung von der Streckencharakteristik abhängig ist.

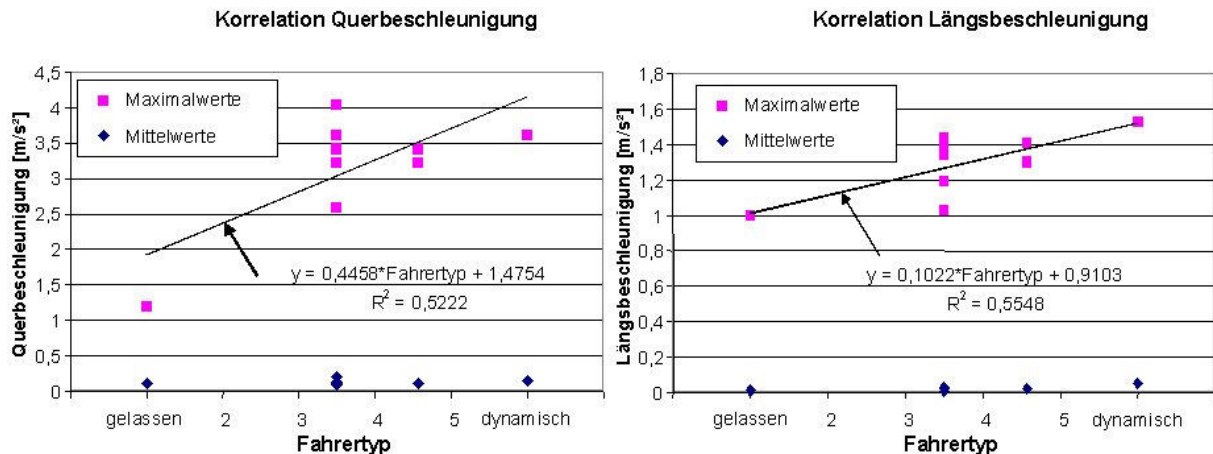


Abb. 2: Korrelation zwischen Messdaten und Fahrertyp (MARSTALLER U. A. 2002)

Für die Untersuchung im Rahmen dieses Projektes können die Fahrertypen nur aus gemessenen Geschwindigkeits- und Querbeschleunigungsprofilen von Verfolgungsfahrten abgeleitet werden. Eine Fahrertypisierung wurde auf Grundlage folgender Messdaten

- Maximale Längsbeschleunigung,
- Maximale Längsverzögerung,
- Maximale Querbeschleunigung,
- Maximale resultierende Beschleunigung (vektorielle Addition aus Längs- und Querbeschleunigung) und
- Kumulierte Geschwindigkeitsdifferenz über die Messtrecke

vorgenommen. Da der Absolutwert der Beschleunigungen von der Streckencharakteristik abhängig ist (LIPPOLD 1997), musste auf statistisch abgeleitete Werte zurückgegriffen werden. Es wurden die Verteilungen der Messgrößen auf jeder Messstrecke bestimmt. Aus der Verteilungsfunktion lassen sich folgende Werte berechnen:

- Mittelwert X und
- Standardabweichung σ .

Die Fahrertypen wurden auf Basis der maximalen Querbeschleunigung wie folgt zugeordnet:

- Messwert $< X$: geruhsam
- $X < \text{Messwert} < (X + \sigma)$: normal
- $(X + \sigma) > \text{Messwert}$: sportlich

Die Zuordnung des Fahrertyps nach dem Kriterium Querbeschleunigung liefert nach PATZAK (2002) eine gute Abgrenzung der Fahrertypen untereinander. Somit steht zu jedem Einzelprofil ein Fahrertyp (sportlich, normal und geruhsam) zur Verfügung.

3.2 Grundlagen für eine Geschwindigkeitsprognose

Die in der Literatur beschriebenen Algorithmen zur Fahrverhaltensprognose bzw. zur Geschwindigkeitsempfehlung lassen sich in drei Gruppen einteilen:

1. Berechnung über die Griffigkeit

Ist die Geometrie der Straße bekannt, lässt sich mit Hilfe eines vereinfachten fahrdynamischen Modells die erforderliche Griffigkeit in radialer Richtung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit berechnen (GLASER 2003). Durch

Superposition des erforderlichen radialen Anteils und eines erforderlichen tangentialen Anteils für Längsverzögerungen lässt sich eine zulässige Geschwindigkeit berechnen.

2. Berechnung über die zulässige Querbeschleunigung

Bei HAMBERGER (1999) wurde ein System umgesetzt, welches auf Grundlage einer zulässigen Querbeschleunigung eine Geschwindigkeit berechnet. Die empfohlene Geschwindigkeit ergibt sich zu:

$$V_{zul} = \sqrt{\frac{a_{quer}}{k}}$$

a_{quer} = zulässige Querbeschleunigung
 k = Krümmung

Die zulässige Querbeschleunigung wurde in Abhängigkeit des Fahrertyps und des Kurvenradius ermittelt (Abb. 3).

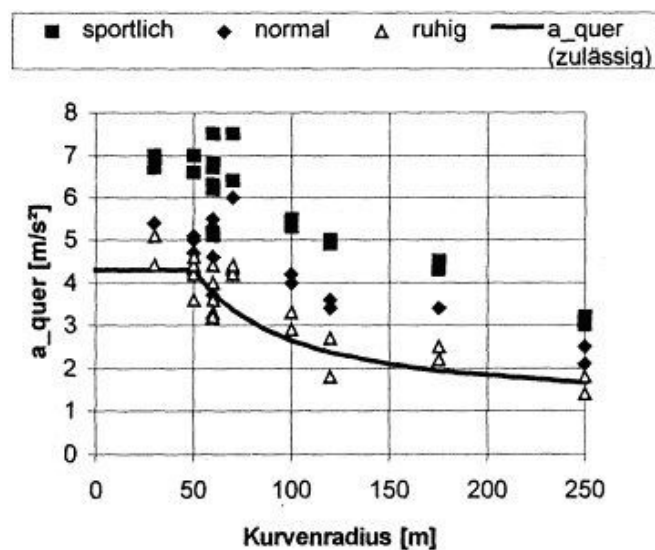


Abb. 3: Zusammenhang Querbeschleunigung, Radius und Fahrertyp nach HAMBERGER (1999)

3. Berechnung über Regressionsformeln aus Fahrverhaltensuntersuchungen

Durch SCHRAUT (2000) und KOHLHOF (2001) wurde ein System umgesetzt, welches auf Regressionsformeln von KOEPEL U. A. (1970) zurückgreift. Grundlage ist der empirisch ermittelte Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit, Radius, Richtungsänderung und Fahrbahnbreite. Für jeden Radius kann eine Geschwindigkeit bestimmt werden. Bei Testfahrten mit diesem System wurde die Geschwindigkeitsempfehlung als zu hektisch empfunden (KOHLHOF 2001 und MARSTALLER U. A. 2001).

Wird das Fahrverhalten analysiert, so ist zu erkennen, dass es Abschnitte gibt, in denen der Fahrer eine nahezu konstante Geschwindigkeit fährt. Dem gegenüber stehen einzelne Elemente oder Situationen an denen der Kraftfahrer seine Geschwindigkeit reduziert.

Dieses Fahrverhalten wird durch das System CSA nachgebildet (Abb. 4) In Abschnitten ähnlicher Charakteristik wird eine konstante Geschwindigkeit empfohlen. Ist ein Bruch bzw. eine Inkonsistenz (Singularität), z.B. durch eine einzelne enge Kurve, in der Streckencharakteristik vorhanden, erfolgt die Geschwindigkeitsprognose auf Grundlage eines Einzelelementes. Dadurch wurde erreicht, dass in

Abschnitten mit ähnlicher Charakteristik eine konstante und an Singularitäten eine durch das Einzelement geprägte Geschwindigkeit empfohlen wurde. Bei ersten Probandenfahrten wurde dieser Ansatz positiv beurteilt (MARSTALLER U. A. 2001).

Abschnitt 1: Element 1 und 2

Abschnitt 2: mehrere Elemente

Abschnitt 3: Einzelement (Singularität)

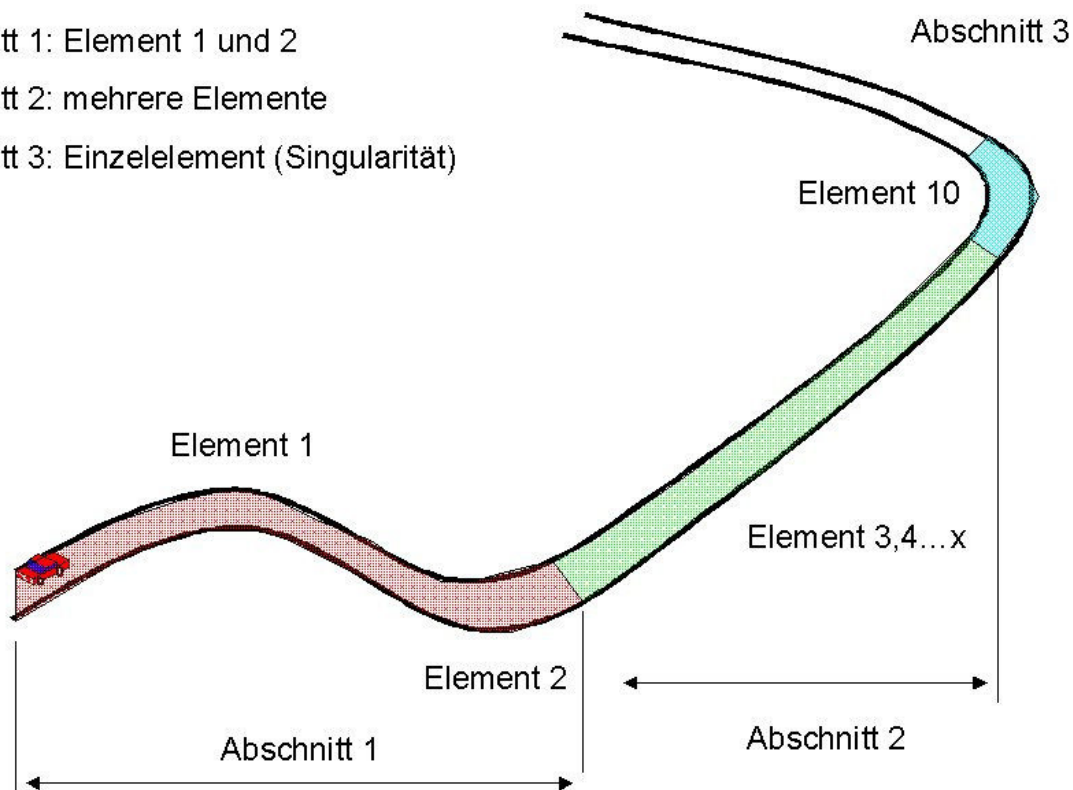


Abb. 4: Abschnittseinteilung

3.3 Bestimmung von Geschwindigkeitsansätzen

In dieser Untersuchung soll der Einfluss ausgewählter Streckenmerkmale für Singularitäten und Abschnitte ähnlicher Streckencharakteristik herausgearbeitet werden. Maßgebend für das vorliegende Projekt sind Einflussgrößen, welche aus der digitalen Karte entnommen bzw. berechnet werden können. Folgende bauliche Einflussgrößen wurden untersucht:

- Kurvenradius R ,
- Richtungsänderungswinkel λ ,
- Kurvigkeit KU und
- Fahrbahnbreite B .

Die Auswirkungen von Regen und Dunkelheit auf die Wahl der Geschwindigkeit wurden ebenfalls ausgewertet. In Abb. 5 ist als Beispiel das Ergebnis einer solchen Auswertung dargestellt. Am Ende der Untersuchung konnte ein Geschwindigkeitsmodell erstellt werden, welches in Abhängigkeit des Fahrertyps, des Unterstützungswunsches und der Umfeldbedingungen eine Geschwindigkeit prognostiziert.

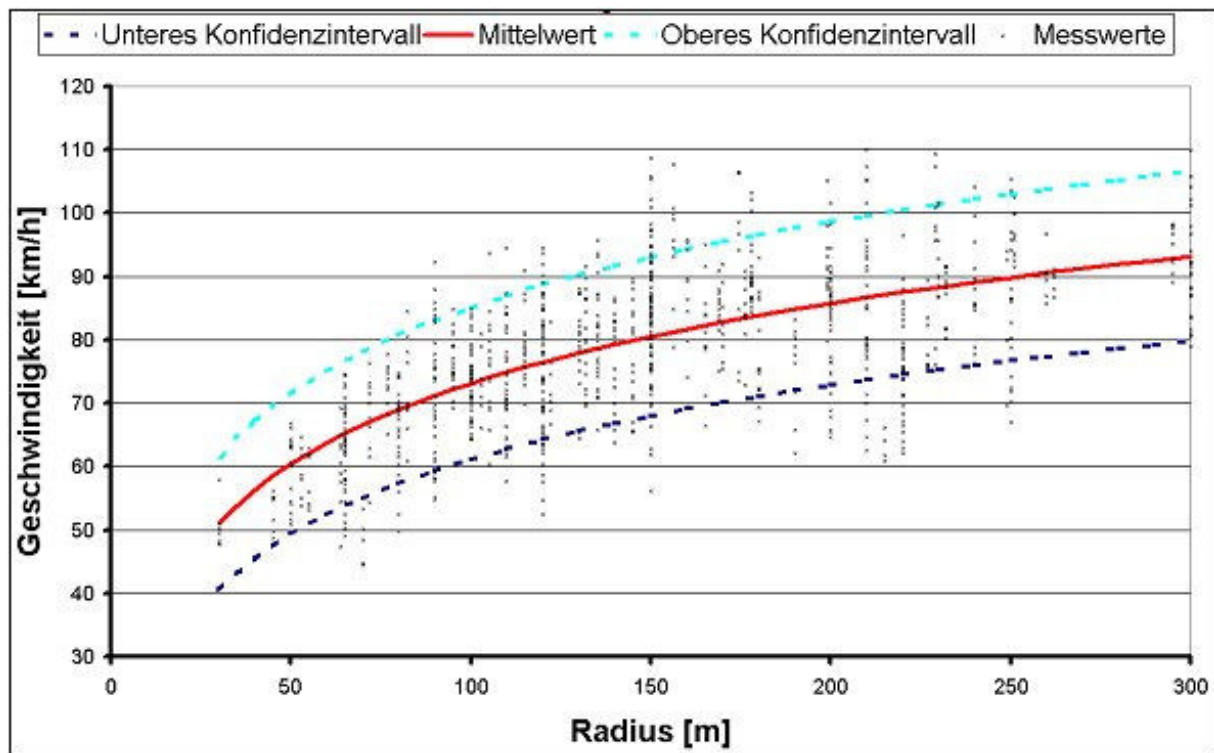


Abb. 5: statistische Auswertung über den Einfluss des Radius bei dem sportlichen Fahrer

3.4 Wahl der Längsbeschleunigung und des Empfehlungszeitpunkts

Die Kenntnis über das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten ist für die Ermittlung des Empfehlungszeitpunktes über eine Geschwindigkeitsänderung von wesentlicher Bedeutung. In den Untersuchungen von LIPPMANN (2000) wurde festgestellt, dass die Größe der gewählten Längsbeschleunigung von folgenden Einflussfaktoren bestimmt wird:

- Geschwindigkeitsdifferenz,
- Größe der Annäherungsgeschwindigkeit und
- vorhandene Übergangsbögen.

Für unterschiedliche Fahrertypen konnte nachgewiesen werden, dass die gewählten Parameter einen Einfluss auf die Größe der Längsbeschleunigung besitzen.

Der Verzögerungsvorgang lässt sich durch folgende Kenngrößen beschreiben (Abb. 6):

- maximale Verzögerung,
- durchschnittliche Verzögerung,
- Verzögerungsweg und
- Ort der maximalen Verzögerung.

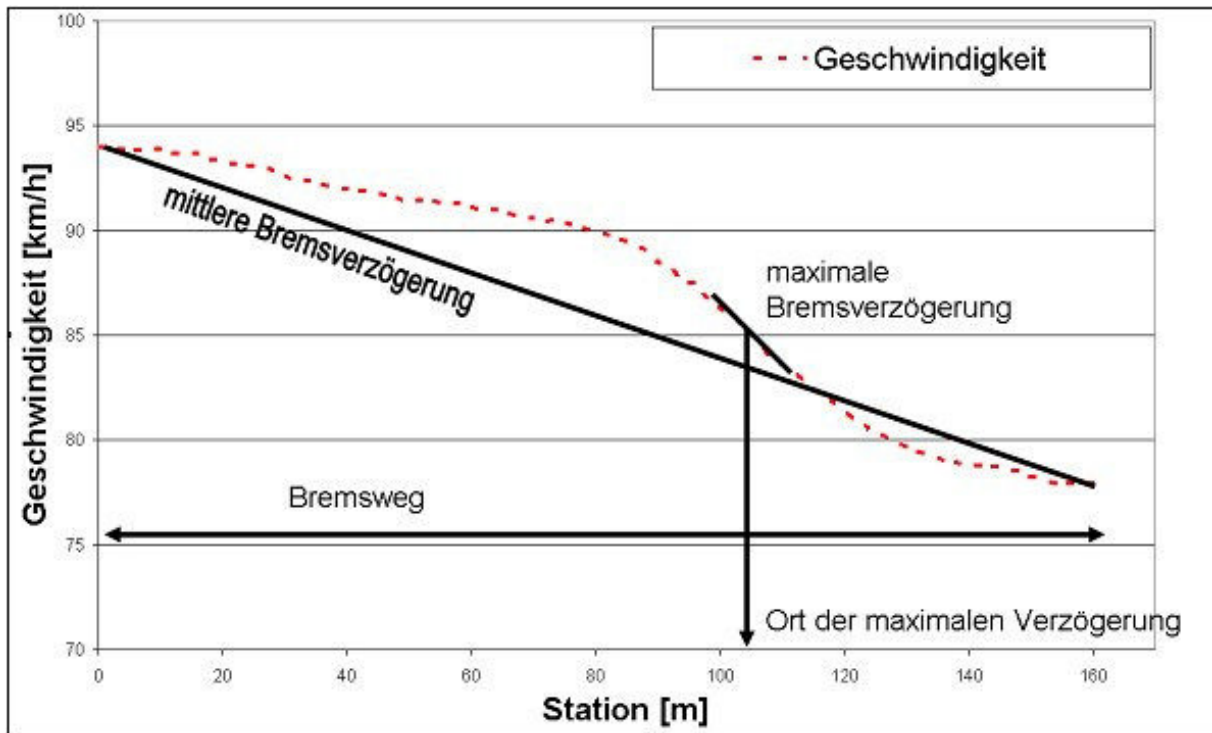


Abb. 6: Kennwerte für Längsverzögerungen

Die oben genannten Kennwerte wurden in Abhängigkeit des Fahrertyps statistisch ausgewertet. In Abb. 7 ist dies für den Zusammenhang zwischen maximaler Längsverzögerung und Geschwindigkeitsdifferenz dargestellt.

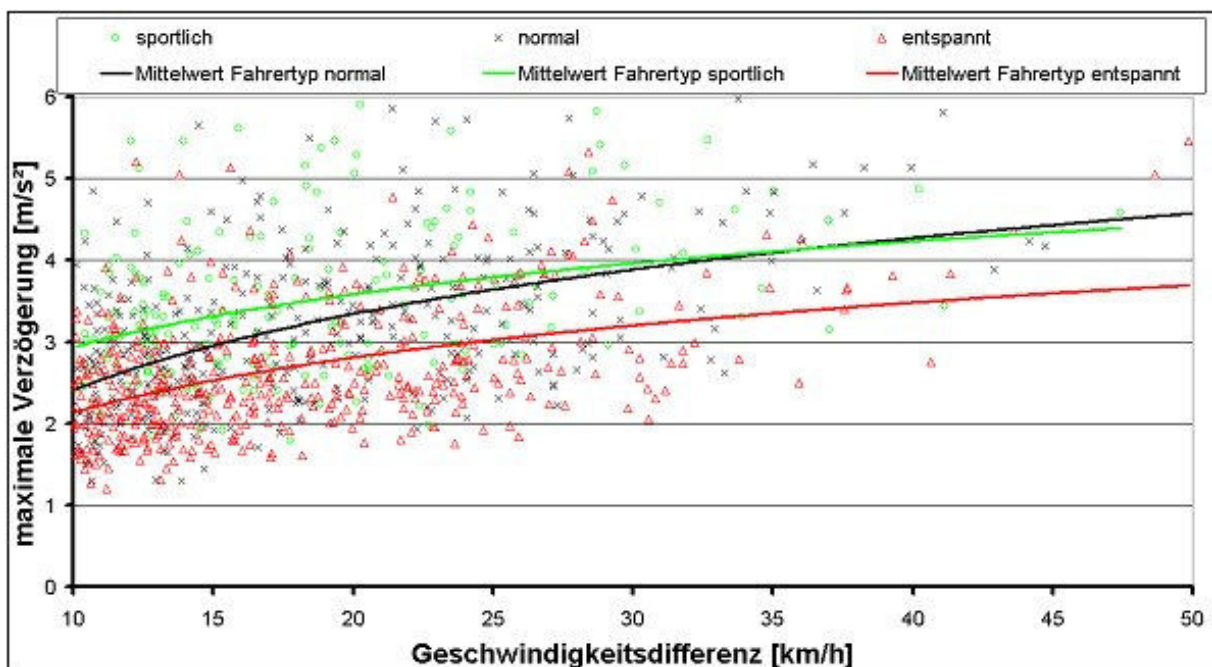


Abb. 7: Zusammenhang zwischen maximaler Verzögerung und Geschwindigkeitsdifferenz

3.5 Umsetzung

Das System CSA ist als ein Teilsystem im S.A.N.T.O.S Demonstrator integriert. Die technische Funktionsfähigkeit und die Akzeptanz von Probanden kann mit diesem Fahrzeug getestet werden. Datengrundlage für die Geschwindigkeitsempfehlung ist die feindigitale Karte. Mit Hilfe eines integrierten DGPS – Sensors wird die aktuelle Position des Fahrzeuges bestimmt. Das Software Paket EDDAS ordnet diese Position mittels eines map-matching Algorithmus einer in der digitalen Karte gespeicherten Strecke zu. Über eine Ethernetverbindung sendet die EDDAS Software die aktuelle Position auf der Straße und vorausliegende Streckenpunkte an das Software Paket CSA – im Projekt S.A.N.T.O.S noch als Speed Control (SC) System bezeichnet. Vom S.A.N.T.O.S System werden folgende Informationen an das System CSA gesendet:

- Aktuelle Geschwindigkeit,
- Fahrstilwunsch,
- Unterstützungswunsch,
- Straßenzustand (nass, trocken, glatt),
- Umgebungsbedingungen (hell, dunkel),
- Dynamikparameter für das ACC (maximale Längsbeschleunigung etc.) und
- Blinkersignal.

Aus den Informationen der EDDAS Software und der S.A.N.T.O.S Software muss das System CSA eine Geschwindigkeits- und Beschleunigungsempfehlung berechnen. Diese wird über eine Ethernetverbindung wieder an S.A.N.T.O.S gesendet und über eine integrierte MMI Lösung an den Fahrer weitergeleitet. Das Funktionsprinzip des Gesamtsystems ist in der Abb.8 dargestellt. Eine Aktualisierung der Daten erfolgt aller 0,1 Sekunden. Dies bedeutet für das System CSA, dass innerhalb dieser Zeit alle Daten berechnet werden müssen. Die Software muss folgende Aufgaben durchführen:

- Einteilung der vorausliegenden Strecke in Singularitäten und Abschnitte ähnlicher Streckencharakteristik.
- Berechnung einer Geschwindigkeitsempfehlung für jeden Streckenabschnitt in Abhängigkeit der Geometrie, der Tempolimits, des Fahrstilwunsches etc.
- Ermittlung des optimalen Warn- bzw. Bremszeitpunktes für die MMI Ausgabe (Vorausschau).

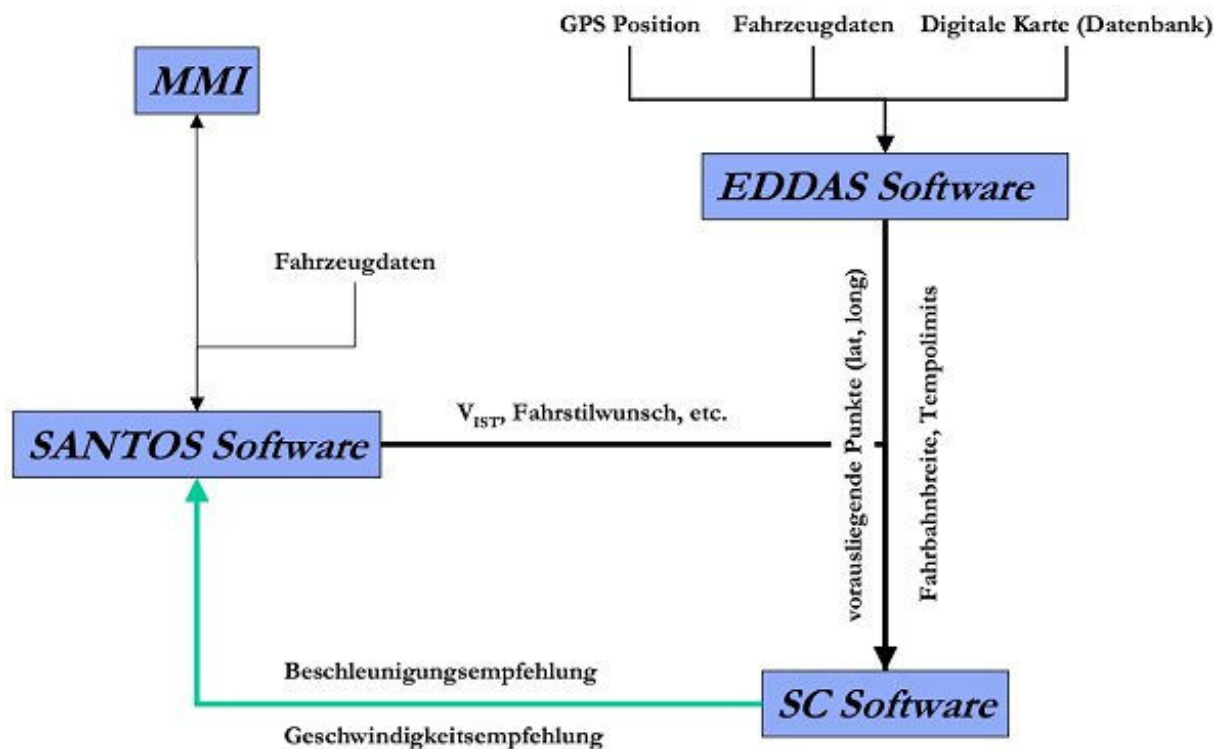


Abb. 8: Funktionsprinzip des Systems CSA / SC im S.A.N.T.O.S Demonstrator

Für jeden Punkt des vorausliegenden Streckenabschnittes kann eine Geschwindigkeit zugeordnet werden. Fährt der Kraftfahrer auf einen Streckenabschnitt zu, für den eine geringere Geschwindigkeit empfohlen wird als seine derzeitige, muss er rechtzeitig darüber informiert werden. Dabei sind folgende Fälle zu beachten:

1. Der Fahrer will nur informiert werden (Warnung oder Empfehlung) und passt seine Geschwindigkeit selbst an oder
2. Das Fahrzeug soll die Geschwindigkeit allein regeln.

Der Zeitpunkt des Eingreifens durch das System ist unterschiedlich. Will der Fahrer nur informiert werden, muss die Systemreaktion eher erfolgen, da der Kraftfahrer eine gewisse Wahrnehmungs- und Reaktionszeit benötigt. Regelt das Fahrzeug selbstständig die Geschwindigkeit, muss Zielgeschwindigkeit genau am Beginn des neuen Abschnittes erreicht sein.

3.6 Nutzerstudie

An der Nutzerstudie nahmen 20 Probanden mit höherer Qualifizierung teil. Nach einer ca. 1 stündigen Eingewöhnungsfahrt an das Fahrzeug konnte das System CSA mit allen Einstellungen ausprobiert werden. Im Anschluss an diese Erprobung fand die eigentliche Probandenfahrt statt. Der Fahrer konnte neben dem Fahrstilwunsch auch angeben, in welcher Höhe die zulässigen Geschwindigkeiten überschritten werden sollen. Folgende zwei Varianten der Mensch-Maschine Interaktion (MMI) wurden von jedem Probanden getestet:

1. **Regelungsmodus**, dies bedeutet, das Fahrzeug regelt die Geschwindigkeit selbstständig in Abhängigkeit des gewählten Fahrstilwunsches ein. Der Fahrer setzt mit Hilfe der Lenkradtasten eine Wunschgeschwindigkeit für die Geschwindigkeitsregelung, die als grüne LED im Tacho (Abb. 9) angezeigt

wird. Ist eine Geschwindigkeitsanpassung aufgrund der Streckengeometrie oder einer Geschwindigkeitsbegrenzung notwendig, regelt das System diese Geschwindigkeit so rechtzeitig ein, dass sie am Kurvenanfang bzw. am Beginn des Tempolimits erreicht ist. Die Geschwindigkeitsanpassung wird dem Fahrer durch einen gelben LED Kranz im Tacho (Abb. 9) circa eine Sekunde vor Beginn der Regelung angezeigt.

2. **Empfehlungsmodus**, dies bedeutet, dem Fahrer wird eine sichere und komfortabel fahrbare Geschwindigkeit in Abhängigkeit des gewählten Fahrstilwunsches empfohlen. Diese Geschwindigkeit wird durch eine einzelne gelbe LED im Tacho angezeigt. Soll die Geschwindigkeit aufgrund der Streckengeometrie oder eines Tempolimits verringert werden, wird dies dem Fahrer durch die gelbe LED rechtzeitig angezeigt. Überschreitet der Fahrer die empfohlene Geschwindigkeit um bis zu 10 km/h erfolgt eine optische Warnung durch Blinken der LED. Bei einer Überschreitung um mehr als 10 km/h wird zusätzlich eine akustische Warnung ausgegeben.



Abb. 9: LED Tacho

Zusätzlich wurde die Persönlichkeit (Big Five nach SCHALLENBERGER 1999), das momentane Befinden (RICHTER U. A. 2002), das Kontrollerleben (FAHRENBERG 1994) und die subjektiv erlebte Anstrengung (Mental Effort nach EILERS U. A. 1986) mit erhoben. In Abb. 10 ist das Ergebnis der Befragung nach dem Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmodell für Probanden im sportlichen Fahrstilwunsch dargestellt. Die erarbeiteten Modelle wurden von den Versuchspersonen bestätigt.

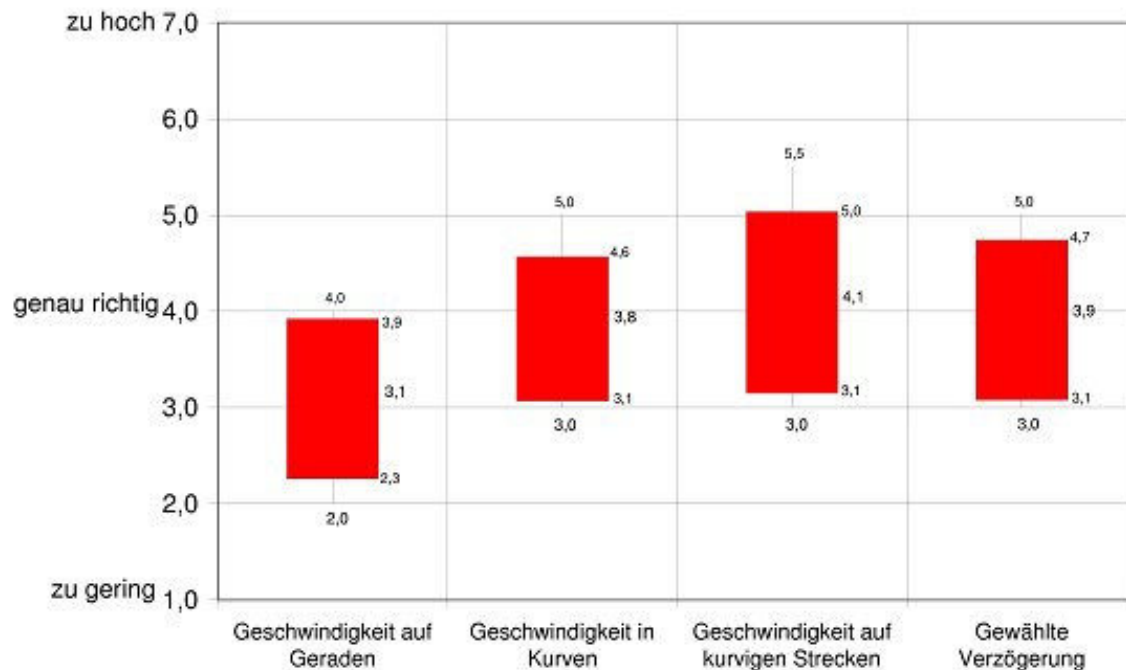


Abb. 10: Bewertung des Regelungsmodus durch Probanden, die den sportlichen Fahrstilwunsch wählten

Beim Vergleich der beiden Modi (Empfehlung – Regelung) wurde festgestellt, dass:

- Unter dem Regelungsmodus stärker Monotonie erlebt wird, aber auch tendenziell mehr Fahrfreude.
- Unter dem Empfehlungsmodus eine positive Einstellung zum Autofahren mit einer positiven Einstellung zum System CSA korreliert.
- Die Akzeptanz des Systems von Persönlichkeitsmerkmalen abhängt.

Aus den Untersuchungen lässt sich ableiten, dass der Empfehlungsmodus, der dem Prinzip des „Aktiven Operateurs“ am nächsten kommt, sich als die günstigere MMI Variante zu erweist. Der Empfehlungsmodus ist besonders für Menschen, die einen sportlichen Fahrstil bevorzugen und zudem eine ausgeglichene, anpassungsbereite Persönlichkeitsstruktur aufweisen geeignet.

4 Zusammenfassung / Ausblick

Das entwickelte fahrzeugbasierte System CSA ist in der Lage, dem Fahrer Geschwindigkeiten vorzuschlagen, mit denen er sicher und komfortabel einen vorausliegenden Streckenabschnitt befahren kann. Dem Fahrer bleibt die Möglichkeit, die berechneten Geschwindigkeiten durch die Wahl seines Fahrstilwunsches zu beeinflussen und sich vom Fahrzeug entweder warnen, sich diese Geschwindigkeiten empfehlen oder sie einregeln zu lassen. Mit Probanden wurde dieses bezüglich:

- Der Akzeptanz der ermittelten Geschwindigkeiten,
- Der Art der Unterstützungsform sowie
- Verschiedener MMI Varianten

untersucht. Trotz der schlechten MMI Umsetzung im Empfehlungsmodus (LED Tacho, akustische Warnung) wird dieser Modus vor allem von sportlichen Fahrern mit Freude am Autofahren akzeptiert und als sicherheitsfördernd eingestuft. Das System

sollte unter Langzeitbedingungen und mit weiteren MMI Varianten (z.B. Aktives Gaspedal im Empfehlungsmodus) erneut validiert werden.

5 Literatur

Assmann, E.

Untersuchung über den Einfluss einer Bremsweganzeige auf das Fahrverhalten, Dissertation, Technische Universität München, 1985

Bachmann, T. / Schraut, M. / Naab, K.

BMW's Driver Assistance Concept for Integrated Longitudinal Support, In: 7th World Congress on Intelligent Transport Systems Turin Italy, 2000

Bubb, H. / Marstaller, R. / Sträter, O.

Abschlussbericht S.A.N.T.O.S des Lehrstuhles für Ergonomie (LfE), Schlussbericht, Technische Universität München, 2002

Eilers, K. / Nachreiner, F. / Hänecke, K.

Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung erlebter Anstrengung, In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Bd. 40, S. 215–224, 1986

Glaser, S. / Aguilera, V.

Vehicle - Infrastructure-Driver Speed Profile: Towards the Next Generation of Curve, Warning Systems Paper Number 4107, In: Proceeding of the ITS Congress 2003 in Madrid, 2003

Hamberger, W.

Verfahren zur Ermittlung und Anwendung von prädiktiven Streckendaten für Assistenzsysteme in der Fahrzeugführung, Fortschrittsberichte VDI, Reihe 12 Verkehrstechnik / Fahrzeugtechnik, VDI Verlag, 1999

Kohlhof, S.

Längsregelung von Pkw basierend auf digitalen Karten, Diplomarbeit, Technische Universität München, Institut für Produktionstechnik, 2001

Köppel, G. / Bock, H.

Kurvigkeit, Stetigkeit und Fahrgeschwindigkeit, In: Straße und Autobahn, Heft 8, 1970

Landau, H. / Weiße, J.

Abschlussbericht S.A.N.T.O.S des Instituts für Arbeitswissenschaft (IAD), Schlussbericht, Technische Universität Darmstadt, 2002

Lippmann, R.

Analyse der Längs- und Querdynamik von unbehindert fahrenden Pkw auf Außerortsstraßen, Studienarbeit, Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Verkehrswegebau, Lehrstuhl Planung und Entwurf von Straßenverkehrsanlagen und Anlagen des Luftverkehrs, 2002

Lippold, C.

Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen, Promotion, Darmstadt, Technische Hochschule Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen, Dissertation A, 1997

Marstaller, R. / Mayser, C. / Kohlhof, S. / Bubb, H.

Akzeptanzuntersuchungen zu einer automatischen Längsregelung im Kfz, In: 4. Berliner Werkstatt Mensch - Maschine - Systeme vom 10.10.2001 bis 12.10.2001, 2001

Meewes, V. / Gerz, U. / Leins, W.

Zur Beschreibung des Verkehrsablaufes auf Straßen mit und ohne Richtungstrennung, Technischer Bericht, 1975

Patzak, J.

Analyse des Fahrverhaltens von Pkw auf Außerortsstraßen, Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Verkehrswegebau, Lehrstuhl Planung und Entwurf von Straßenverkehrsanlagen und Anlagen des Luftverkehrs, 2002

Richter, P. / Debitz, U. / Schulz, F.

Diagnostik von Arbeitsanforderungen und kumulativen Beanspruchungsfolgen am Beispiel eines Call Centers, In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft

Schraut, M.

Umgebungserfassung auf Basis lernender digitaler Karten zur vorausschauenden Konditionierung von Fahrerassistenzsystemen, Promotion, Technische Universität München, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, 2000

Winner, H. / Fecher, N.

Abschlussbericht S.A.N.T.O.S des Instituts für Kraftfahrzeugtechnik (fzd), Schlussbericht, Technische Universität Darmstadt, 2002