

mensch+
fahrzeug

3. Darmstädter Kolloquium
Februar 2007
TU Darmstadt

Herausgeber: R. Bruder und H. Winner



VORWORT

Die umfangreichen Anpassungsmöglichkeiten von Fahrzeugen an unterschiedliche Nutzer und unterschiedliche Nutzungsszenarien stellen zusammen ein wesentliches Ziel für die Fahrzeugentwicklung dar. Diese Anpassungsmöglichkeiten sollen auch in kritischen Fahrsituationen dazu beitragen, Unfälle zu vermeiden. Weiterhin soll auf unterschiedliche Nutzerwünsche und Bedürfnisse ebenfalls durch entsprechende Gestaltungslösungen reagiert werden. In jedem Fall stellen sich für die an der Fahrzeugentwicklung beteiligten Spezialisten u.a. folgende Fragen: Wie verhält sich der Nutzer in unterschiedlichen Situationen, wie beurteilt er das Erlebte und was wären die geeigneten Strategien zur Bewältigung bestimmter Situationen oder was will der Nutzer überhaupt.

Zur Beantwortung der genannten Fragen bietet es sich natürlich an, den Nutzer direkt zu fragen. Solche „Befragungen“ finden nicht selten im Rahmen von Fahrversuchen mit Probanden statt. Die Ergebnisse solcher Fahrversuche werden dann für die Qualitätsbewertung von Fahrzeugen und einzelnen Funktionen genutzt.

Die Schlussfolgerungen hinsichtlich Gestaltung und Auslegung von Fahrzeugen stellen hohe Anforderungen an die Qualität der Fahrversuchsmethodik und an die Datenauswertung, beispielsweise in Bezug auf die Interpretation und den Zusammenhang der Subjektivurteile mit fahrdynamischen Daten. Qualitätskriterien, die sich auf messtechnisch zugängliche Größen zurückführen lassen, sind notwendig für eine Qualitätsvorhersage.

Bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Fahrversuchen ergibt sich für diejenigen, die Fahrversuche in Wissenschaft und Praxis durchführen, eine Vielzahl von offenen Fragen. Welcher Aufwand ist minimal notwendig, um verlässliche Aussagen zu erhalten? Wie lässt sich eine hohe Reliabilität, Validität und Objektivität von Fahrversuchen mit vertretbarem Aufwand erreichen? Wo sollte auf eine Standardisierung der Datenerhebung und –auswertung geachtet werden und wo ist gerade die Einzigartigkeit der Untersuchungsmethoden ein hohes Gütekriterium für die Fahrversuche?

Die Suche nach Antworten auf die gestellten Fragen und nicht zuletzt auch die Beantwortung der Frage „Wie objektiv sind Fahrversuche?“ bilden den Rahmen für die dritte Veranstaltung in der Reihe des Darmstädter Kolloquiums **Mensch&Fahrzeug**, die von den Fachgebieten Arbeitswissenschaft (Leitung Prof. Bruder) und Fahrzeugtechnik (Leitung Prof. Winner) der Technischen Universität Darmstadt veranstaltet wird.

In dem einführenden Beitrag von Prof. Dr. H. Winner (Co-Autor S. Luh) wird die mittlerweile 15jährige Geschichte der Fahrversuche mit ACC-Systemen reflektiert und evaluiert. Die Verlagerung des Forschungsschwerpunktes von der Akzeptanz und Bedienbarkeit hin zur verstärkten Nutzenermittlung von Assistenzsystemen steht dabei im Mittelpunkt.

Dr. E. Sagan beschreibt die Problematik zwischen Standardisierung der Fahrversuche auf der einen Seite und der individuellen Abstimmung auf den

II

einzelnen Fahrer auf der anderen Seite. Unter Beachtung des Regelkreises Fahrer / Fahrzeug ist die Methodenvielfalt eine Möglichkeit der Erfassung einer ganzheitlichen Fahrdynamik.

Die Betrachtung der subjektiven Fahrdynamikbewertungen aus Sicht der Modellbildung stellen H. Tuve-Meyer und Prof. Dr. B. Heißing vor. Ihr modellbasierter Ansatz kann schon früh im Entwicklungsprozess eingesetzt werden.

Mit dem „Ridemeter – ein Werkzeug zur Berechnung des Fahrkomforts von Pkw“ erläutert Dr. D. Kudritzki, wie man aus objektiven Daten subjektive Werte vorhersagen kann.

Am Beispiel von Fahrbarkeits- und Geräuschkriterien gibt Dr. P. Schögl einen Überblick über weitere Möglichkeiten der Bewertung subjektiven Fahrempfindens.

Im zweiten Teil des Kolloquiums steht die Methode der Fahrversuche im Vordergrund. Der Beitrag von Prof. R. Bruder (Co-Autoren Dr. B. Abendroth und Prof. K. Landau) erläutert, wie unterschiedliche Untersuchungsbedingungen im Labor und hier insbesondere im Fahrsimulator, auf Testgeländen, im öffentlichen Straßenverkehr oder bei der Analyse von Alltagsfahrten im Verlauf eines nutzerorientierten Gestaltungsprozesses eingesetzt werden können.

MFA G.-D. Tuzar ordnet Fahrversuche in die Entwicklungsstadien der Analyse- und Test-Phasen ein und befasst sich mit dem praktischen Einfluss auf das endgültige Design.

Die Sicherheit durch Verbesserung des Fahrerverhaltens steht in dem Beitrag von Prof. M. Rötting im Vordergrund. Zur Verbesserung des Fahrverhaltens von LKW-Fahrern, durch qualitatives sowie quantitatives Feedback, werden von ihm verschiedene Ansätze evaluiert.

Auf die Sicherheit im PKW-Bereich konzentriert sich der Artikel von Dr. S. Mücke und Dr. J. Breuer. Verschiedene Assistenzsysteme wurden von ihnen in Fahrversuchen beurteilt und die Schnittstelle Mensch-Maschine untersucht.

Die beiden Herausgeber bedanken sich bei den Autoren für Ihre hochwertigen Beiträge zum Thema „Wie objektiv sind Fahrversuche?“. Die Vielfalt der Sichtweisen soll zur Erzeugung von interessanten Diskussionen beitragen und gleichzeitig Schlüssel zum besseren Einsatz von Fahrversuchen sein.

Dieses Kolloquium hätte nicht stattfinden können ohne die tatkräftige Unterstützung der Mitarbeiter der Fachgebiete Fahrzeugtechnik und Arbeitswissenschaft. Ein besonderer Dank gilt den Mitgliedern des Organisationsteams, insbesondere Frau Dr. Abendroth und Frau Dr. Didier vom Fachgebiet Arbeitswissenschaft, sowie Frau Dipl.-Ing. Schmidt und Herr Dipl.-Ing. Andree Hohm vom Fachgebiet Fahrzeugtechnik.

Darmstadt, im Februar 2007

Prof. Dr.-Ing. R. Bruder

Prof. Dr. rer.nat. H. Winner

INHALTSVERZEICHNIS

FAHRVERSUCHE ZUR FUNKTIONSBEWERTUNG VON ACC – EINE ZWISCHENBILANZ.....	1
H. Winner, S. Luh	
ANSÄTZE ZUR OBJEKTIVEN FAHRDYNAMIK.....	17
E. Sagan	
ERMITTLUNG QUANTIFIZIERBARER BEWERTUNGEN ZUR QUERDYNAMIK ÜBER EINEN MODELLBASierten ANSATZ.....	31
H. Meyer-Tuve, B. Heißing	
RIDEMETER - EIN WERKZEUG ZUR BERECHNUNG DES FAHRKOMFORTS VON PKW.....	41
D. Kudritzki	
OBJEKTIVIERUNG UND OPTIMIERUNG DES SUBJEKTIVEN FAHREMPFINDENS IN SERIE UND MOTORSPORT.....	55
P. Schöggel	
ZUM NUTZEN VON FAHRVERSUCHEN FÜR DIE GESTALTUNG.....	79
R. Bruder	
DER EINFLUSS VON FAHRVERSUCHEN AUF DAS HMI-DESIGN.....	97
G.-D. Tuzar	
QUALITATIVE UND QUANTITATIVE ANSÄTZE ZUR ERFORSCHUNG DES FAHRERVERHALTENS.....	107
M. Rötting	
BEWERTUNG VON SICHERHEITSSYSTEMEN IN FAHRVERSUCHEN.....	119
S. Mücke, J. Breuer	

FAHRVERSUCHE ZUR FUNKTIONSBEWERTUNG VON ACC - EINE ZWISCHENBILANZ

Hermann Winner, Steffen Luh

ZUSAMMENFASSUNG

Fahrversuche zur Untersuchung und Bewertung von Adaptive Cruise Control haben eine mittlerweile 15-jährige Tradition. Wie eine Kurzübersicht zeigt, lag der Schwerpunkt der Untersuchungen in den ersten zehn Jahren auf Fragestellungen zu Akzeptanz, Nutzungsverhalten und Übernahmesituationen bei Erreichen der Systemgrenzen. Damit war für die Serieneinführung in Europa eine hinreichende empirische Basis gelegt.

Für die Weiterentwicklung der Funktion stand hingegen eine systematische Nutzenermittlung im Vordergrund. Die in diesem Artikel ausführlich dargestellte Untersuchung basiert auf einem Vergleich der Funktion bei unterschiedlichen Sichtbereichsauslegungen. Dabei werden zwei Systeme mit $\pm 4^\circ$ bzw. $\pm 8^\circ$ Sichtbereich verglichen, was der Weiterentwicklung von der ersten zur zweiten Generation entspricht. Die erforderlichen Kennwerte zur Beschreibung der Systemgrenzen wurden aus in Probandenversuchen erhobenen Messdaten gebildet. Mittels Fragebogentechnik wurden die insgesamt 30 Versuchspersonen zu möglichen Unterschieden des Systemverhaltens befragt. Im Fokus standen für beide Systemvarianten Kurven-, Einscher- und Ausscherperformanz der ACC-Funktion, für die die Ergebnisse hier präsentiert werden. Darüber hinaus wurde der Einfluss des für die Auslegung von ACC-Systemen essentiell wichtigen Parameters *Fahrschlauchbreite* auf die Häufigkeit von Systemstörungen durch Fahrzeuge auf dem Nachbarfahrstreifen oder durch späte Reaktion bei neuen Zielen erstmals empirisch betrachtet und mit einer Kostenfunktion beschrieben.

Ein Fazit über die bisherigen Kenntnisse einerseits und weiterhin bestehende „weiße Flecken“ auf der Wissenslandkarte andererseits bildet den Abschluss.

1 EINLEITUNG

Seit mehr als 15 Jahren wird ACC mittels Fahrversuchen untersucht. Zu Beginn lag der Schwerpunkt der Untersuchungen auf der Nutzerakzeptanz und der Gebrauchssicherheit. Dies geschah auf Basis sehr früher Prototypsysteme, die in ihren Eigenschaften noch erheblich von den später in Serie eingeführten Systemen abwichen. Die damals verfügbare Technik unterschied sich nicht nur in der technischen Umsetzung, wie z. B. der Sensortechnik, sondern auch in der wahrnehmbaren Funktionalität. Aus heutiger Sicht wäre die damals vorgestellte Funktionsqualität für ein Serienprodukt nicht ausreichend gewesen. Trotzdem gelang es Untersuchungsteams in Deutschland (**Becker et al. 1993**) und in den USA (**Fancher et al., 1998**) wertvolle erste Erkenntnisse über ACC - oder AICC (Autonomous Intelligent Cruise Control) bzw. ICC (Intelligent Cruise Control), wie dieses System bis Mitte der neunziger Jahre genannt wurde - zu liefern.

Gab es nach diesen Ergebnissen keine grundsätzlichen Zweifel mehr am Sinn und Nutzen dieser Funktion, wurde das Hauptaugenmerk in späteren Versuchen

(**Filzek 2002, Weinberger 2001**) auf die potentiell kritischen Aspekte der Funktion gelegt. In dieser zweiten Phase wurden seriennahe Versuchssysteme eingesetzt und insbesondere die Auswirkungen der Funktionsgrenzen, z. B. bei Annäherung oder in Einschersituationen, untersucht. Rückblickend lässt sich sagen, dass die Methodik dieser Versuchsreihen faktisch zum Stand der Technik für eine Serienfreigabe einer neuen Assistenzfunktion erhoben wurde.

Nach der Markteinführung von ACC im Jahr 1999 in Europa, die erheblich reibungsloser vor sich ging als viele befürchtet hatten, rückte die Produktverbesserung in den Vordergrund. Dabei standen die Entwickler vor dem Problem, die möglichen Verbesserungsmaßnahmen zu gewichten. Grundsätzlich blieb den Entwicklern, wie die Autoren aus eigener Erfahrung wissen, nicht verborgen, welche Defizite die Funktion noch aufweist. Allerdings stehen einer Verbesserung oftmals zwei Haupthindernisse entgegen: einerseits die mit der Verbesserung verbundenen Kosten und andererseits die mit einer Verbesserung der einen Eigenschaft einhergehende Verschlechterung anderer Eigenschaften.

Für beide Fälle werden hier Ergebnisse gezeigt, die auf Basis eines weiterentwickelten ACC-Systems (2. Generation ACC) die Systemauslegungsparameter Sensorsichtbereich und Fahrschlauchbreite analysieren.

2 RÜCKBLICK AUF DIE ERSTEN 10 JAHRE (1993-2003)

Die Entwicklung von Adaptive Cruise Control (ACC) wurde von Beginn an von Probandenuntersuchungen begleitet. Die erste größere Untersuchung wurde Anfang der neunziger Jahre vom TÜV Rheinland (**Becker 1993**) durchgeführt. Sie nahm sich den allgemeinen Fragen zu Umgang und Akzeptanz der noch in den Kinderschuhen steckenden Funktion an. Anschließend wurden mehrere Grundvarianten mit unterschiedlicher Verzögerungsfähigkeit und verschiedenen Zeitlücken analysiert (**Nirschl & Kopf 1997; Nirschl et al. 1999**). Etwas später wurde vom UMTRI ein sehr aufwändiger Feldtest durchgeführt (**Fancher et al. 1998**), der erstmals auch Langzeitaussagen erlaubte, wenn auch die verwendete technische Basis bei weitem nicht dem heutigen Serienstand entspricht. Seriennahe Systeme wurden bei (**Abendroth 2001; Filzek 2002 und Weinberger 2001**) untersucht. Darüber hinaus sind in der Industrie weitere Probandenfahrversuche mit ACC durchgeführt worden, die aber nicht veröffentlicht wurden.

Insgesamt wurde eine Fülle an Ergebnissen zusammengetragen, aus der hier für einige ausgewählte Kategorien einzelne Ergebnisse vorgestellt werden.

2.1 Akzeptanz

Eindeutig fallen die Urteile der Versuchspersonen in allen bislang durchgeführten Studien bezüglich der Akzeptanz aus.

(**Becker & Sonntag 1993**) beschreiben in der Pilotstudie, dass die Probanden die Fahrt mit ACC subjektiv als sicherer, entspannender und weniger belastend einschätzen als das manuelle Fahren. Zu dieser Überzeugung kamen sie trotz des Prototypenstatus der Versuchsträger, die zum Teil erhebliche Sensorschwächen aufwiesen. Dennoch konnten die Erwartungen der Versuchsteilnehmer an das System voll erfüllt und zum Teil sogar übertroffen werden. Es wird somit deutlich,

dass die Probandenurteile hinsichtlich Akzeptanz und Komfort gegenüber dem Reifezustand von ACC weitgehend robust sind.

Selbst mit ACC-Systemen ohne Bremseneingriff äußern die Probanden in der UMTRI-Studie hohe Zufriedenheit, die **(Fancher et al. 1998)** auf die Reduktion des „Throttle-Stress“ zurückführt.

(Nirschl & Kopf 1997) stellen durch Untersuchung der Bearbeitungsqualität von Nebenaufgaben eine geringere mentale Belastung der Fahrer bei Nutzung von ACC. Diese geben in Subjektiväußerungen eine hohe Akzeptanz zu Protokoll und merken an, dass sie ACC eher als Komfort- denn als Sicherheitssystem sehen.

Neben der globalen Zufriedenheit und Akzeptanz der Fahrer analysiert **(Weinberger 2001)** den zeitlichen Verlauf in Langzeitfahrten. Sämtliche Aspekte wie „Spaß am System“, „Selbstverständlichkeit der Nutzung“, „Vertrautheit der Bedienung“, „Wohlfühlen“ und „Angestrenztheit“ werden prinzipiell als gut bis sehr gut eingestuft. Über der Versuchsdauer stellt sich nach anfänglicher Euphorie eine Phase relativer Ernüchterung ein, die schließlich zum Versuchsende durchgehend zu besseren oder deutlich besseren Bewertungen als zu Beginn führt.

Grundsätzlich negative Beurteilungen sucht man in sämtlichen bislang durchgeführten Untersuchungen vergebens, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass die freiwillige Teilnahme der Versuchsteilnehmer auf eine gewisse Technikaffinität hinweisen könnte, die mit einer entsprechend positiven Grundstimmung einhergehen dürfte.

Kundenbefragungen aus dem Feld, die sich auf die fertig entwickelte Funktion beziehen (aber leider nicht allgemein zugänglich sind), zeigen jedoch das gleiche Bild.

2.2 Nutzung

Gegenstand etlicher Untersuchungen ist das Zeitlückenverhalten von Fahrern im Vergleich zwischen manueller Fahrt und der Fahrt mit ACC. Bei reinen Folgefahrten finden sich bei **(Abendroth 2001)** sowohl beim Fahrer als auch mit ACC Mittelwerte der minimalen Zeitlücken von 1,1 s. Im Gegensatz hierzu kommen **(Becker & Sonntag 1993)** zu dem Ergebnis, dass die Fahrer manuell - allerdings mit großem Streuband - eine Häufung von Zeitlücken um 1,7 s realisieren. Als mögliche Erklärung hierfür wird auf die kurvigere Versuchsstreckenführung hingewiesen. Im ACC-Betrieb findet sich eine Zeitlücke von durchschnittlich 1,5 s, die in der Pilotstudie als Grundeinstellung des Systems vorgegeben war. **(Filzek 2001)** findet bei Wahlfreiheit der Probanden hinsichtlich der einstellbaren Stufen von 1,1, 1,5 und 1,9 s durchschnittliche ACC-Zeitlücken von 1,4 s.

Eine deutlich kürzere mittlere Zeitlücke von 0,8 s bei manueller Fahrt wird von **(Fancher et al. 1998)** berichtet. Dieser scheinbare Widerspruch gibt einen Hinweis auf die schwierige Übertragbarkeit zwischen Studien, die in unterschiedlichen Verkehrsnetzen, hier USA und Deutschland, durchgeführt wurden.

Quelle	$\overline{\tau}_{\text{Fahrer}}$	$\tau_{\text{ACC-Stufen}}$	$\overline{\tau}_{\text{ACC}}$	Bemerkungen
Abendroth 2001	1,1 s	1,1/1,5/1,9 s	1,1 s	BAB, BMW-Fahrer, Kurzzeit, 26 Versuchspersonen (VPn)
Becker 1993	-	1,5 s	1,5 s	BAB A3 Köln-Frankfurt, Pilotstudie, Prototypen, Kurzzeit, 20 VPn
Becker 1994	Nebenaufgabe	1,5 s	1,5-1,6 s	BAB A4 Köln-Aachen, Prototyp, Kurzzeit, 10 VPn
Fancher 1998	0,8 s	1,1/1,5/2,1 s	1,5 s	Langzeit (84 VPn 2 Wochen; 24 VPn 5 Wochen), USA-Highway, kein Bremseingriff
Filzek 2002	1,0 s	1,1/1,5/1,9 s	1,4 s	BAB, BMW-Fahrer, Kurzzeit, 29VPn

Tabelle 1: Mittlere Zeitlücken bei Nutzung von ACC (Ergebnis unterschiedlicher Untersuchungen)

Deutlich wird in allen Untersuchungen, dass bezüglich der eingestellten ACC-Zeitlücke eine Polarisierung stattfindet. Während die Probanden zu Beginn mit den Stufen „spielen“, nimmt die Verstellhäufigkeit mit zunehmender Versuchsdauer ab. Jeweils etwa zur Hälfte wählen die Versuchspersonen dann entweder eher kleinere oder eher größere Stufen. Angesichts der häufig gewählten kurzen Zeitlücken erscheint eine Begrenzung auf mindestens 1,0 s aus Sicherheitsgründen sinnvoll.

Tiefer im Detail untersucht wurde das Wahlverhalten von (Fancher et.al. 1998), der feststellt, dass die einstellbaren Stufen von 1,1, 1,5 und 2,1 s analog zum Alter der Versuchspersonen gewählt werden, d. h. ältere Fahrer wählen entsprechend größere ACC-Zeitlücken.

Sowohl (**Filzek 2001**) als auch (**Fancher et.al. 1998**) beschreiben, dass sehr kleine Zeitlücken im Bereich von unter 0,6 s mit ACC deutlich seltener gefahren werden (Fancher: 6 mal bei 108 Versuchspersonen).

2.3 Kompensation

(**Becker et al. 1994**) untersuchten das Kompensationsverhalten von Fahrern durch Auswertung der Zeitlücken, wenn parallel komplexe Nebenaufgaben zu bearbeiten waren. Während die Probanden beim manuellen Fahren automatisch größere Zeitlücken einhalten, ändern sie die Wunschzeitlücke im ACC-Betrieb nicht. Eine Analyse der Blickabwendungen zeigt zudem deutlich längere Abwendungszeiten bei ACC-Fahrt, wobei maximal bis zu acht Sekunden genannt werden. Bemerkenswert ist, dass die Fahrer hierbei subjektiv ein geringeres Sicherheitsrisiko empfinden als ohne ACC. Die Autoren kommen zu dem Schluss,

dass wegen dieses risikoreicheren Fahrerverhaltens ein Sicherheitsgewinn durch automatische Abstandsregelung erst dann zu erwarten sei, wenn das technische System sicherheitskritische Situationen besser behandeln kann als der durchschnittliche Fahrer.

2.4 Habituationseffekte

Untersuchungen von **(Weinberger et al. 2001)** mit Vielfahrern (> 1000 km/Woche) zeigen, dass frühestens nach zwei Wochen ACC-Nutzung ein stabiles Verhalten angenommen werden darf. Die für die Bestimmung der Lerndauer herangezogenen Merkmale waren die subjektive Beurteilung von Bedieneinfachheit und Transparenz der Übernahmesituationen sowie die Messung des Zeitpunktes (bezogen auf die Time-to-Collision, TTC) des Fahrereingriffs in Übernahmesituationen per Datenrekorder. Hier wird deutlich, dass Fahrer unterschiedlichen Fahrstils auch unterschiedliche Lernstrategien offenbaren. Fahrer, die sich selbst als eher sportlich bezeichneten, neigten dazu, zu Beginn der Versuche später einzugreifen als gegen Ende (kleinere TTC), um die Grenzen des Systems festzustellen, wohingegen Fahrer, die sich als eher komfortbetont einstufen, ausgehend von einem frühen „misstrauischen“ Eingriff zu Beginn im Verlauf der Lernphase eher später eingriffen.

Zusammenfassend heißt dies, dass die oben genannten Merkmale erst nach dieser Lernphase für den eingeschwungenen Zustand repräsentativ sind. Aussagen einer Bewertung nach kürzerer Dauer können zumindest für die obigen Merkmale nur mit erheblichen Einschränkungen auf den Hauptteil der Benutzungsdauer übertragen werden.

Ebenso bestätigen **(Nirschl & Kopf 1997)** ein Absinken der mentalen Beanspruchung des Fahrers, das mit dem sich über der Nutzungsdauer verfeinernden mentalen Modell einhergeht.

2.5 Übernahmesituationen

Der prinzipiellen Einfachheit des mentalen Modells von ACC beim Fahrer ist laut **(Becker et al. 1994)** auch zuzuschreiben, dass eine richtige Reaktion in Übernahmesituationen an Systemgrenzen bereits nach sehr kurzer Nutzung möglich ist. **(Fancher et al. 1998)** beschreibt, dass die Probanden sich subjektiv zu 60 % bereits nach einem Tag in der Lage sahen, Übernahmesituationen rechtzeitig und richtig zu erkennen. Nach einer Woche stimmten bereits 95 % der Probanden dieser Aussage zu.

Auch **(Nirschl et al 1999)** berichten, dass die meisten Testpersonen bereits nach kurzer Zeit einschätzen konnten, bei welchen ACC-Situationen ein Eingriff notwendig war. Allerdings führte die mittlere der drei untersuchten ACC-Varianten, bei der eine eher geringe Bremsverzögerung von 1 m/s^2 vorlag, zu einer größeren Unsicherheit bei der Einschätzung als die Varianten mit einem harten Bremsingriff bzw. ohne Bremsingriff.

(Weinberger 2001) beschreibt, dass die Einschätzung von Übernahmesituationen von den Probanden subjektiv als unkritisch eingestuft wird, wobei diese den Fahrern mit zunehmender Nutzungsdauer eher leichter fällt. Ebenso äußern die Probanden, dass insbesondere solche Situationen leicht zu entscheiden sind, die

von ACC prinzipiell nicht geleistet werden können (z. B. Einbremsen auf ein stehendes Fahrzeug). Es kann nachgewiesen werden, dass die mittlere Verzögerung des Fahrzeuges nach der Fahrerübernahme zu knapp 80 % im Bereich bis 2 m/s^2 liegt. Dieser Bereich wird auch von ACC abgedeckt, woraus geschlossen werden darf, dass auch objektiv keine kritische Situation vorgelegen hat.

2.6 Fazit für die ersten 10 Jahre

Die ersten 10 Jahre ACC-Fahrversuche mit Probanden zeigen bis auf wenige Ausnahmen eine einheitliche Tendenz, obwohl es genügend Gründe gäbe, die Ergebnisunterschiede gerechtfertigt hätten:

- Die Technik der untersuchten Systeme unterschied sich erheblich sowohl im Funktionsumfang als auch in der Reife.
- Die Verkehrsverhältnisse in den USA sind nur bedingt mit denen in Europa vergleichbar.
- Es wurden einerseits Kurzzeitversuche und andererseits Langzeitversuche durchgeführt, wobei in den Langzeitversuchen eindeutige Lerneffekte festgestellt werden konnten, die die Aussagekraft mancher Ergebnisse der Kurzzeitversuche abwerten.

Offensichtlich scheint ACC zumindest in seinem Grundumfang robust gegenüber den genannten Unterschieden in der Versuchsdurchführung zu sein. Die Kernfunktion wurde von den Fahrern von Beginn an verstanden und zwar unabhängig von den Einschränkungen der vorläufigen Systeme. Wie schon in **(Winner et al. 2003)** resümiert, liefern diese Untersuchungen bisher nur wenige Hinweise, welche Verbesserungen am wirkungsvollsten wären.

3 FUNKTIONALE BEWERTUNG VON ACC-SYSTEMEN

Aus den in Kapitel 2 genannten Gründen stand in den ab 2003 gemeinsam von den Fachgebieten für Arbeitswissenschaft (IAD) und Fahrzeugtechnik (FZD) der TU Darmstadt durchgeführten Versuchen die Identifikation der für die subjektive Beurteilung von ACC-Systemen relevanten Systemparameter im Vordergrund.

3.1 Komfortbeurteilung

Der Schwerpunkt der in **(Didier 2006)** dokumentierten Untersuchungen lag auf der Untersuchung des Komforts. Dazu wurden zwei Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller mit unterschiedlichen ACC-Systemen von insgesamt 36 Versuchspersonen gefahren. Die per Fragebogen ermittelten Subjektivurteile hinsichtlich ausgewählter Komfortkriterien wurden verglichen. Obwohl in beiden Fahrzeugen Seriensysteme vergleichbarer Funktionalität eingesetzt wurden, gelang es, schon geringe Unterschiede beider Systeme hinsichtlich des Komforts zu ermitteln. Die parallel dazu durchgeführte Analyse der objektiven, messtechnisch zugänglichen Kennwerte "Häufigkeit der Übersteuerung durch Fahrpedalbetätigung" und "Unterbrechung der Regelung durch einen Fahrerbremseneingriff" konnten hingegen in keinen eindeutigen Zusammenhang zur Komfortbewertung gebracht werden.

3.2 Leistungsfähigkeitsvergleich

Ein offensichtlich für die Leistungsfähigkeit eines ACC-Systems wichtiger Systemparameter ist der laterale Erfassungsbereich des ACC-Sensors, der allerdings nicht isoliert wirkt. Eingebunden in die Gesamtsystemabstimmung ist die Wirkung einer Veränderung auf die Leistungsfähigkeit nicht unmittelbar abzuleiten. Dies gilt sowohl für objektive Kenngrößen, sofern man überhaupt auf solche zugreifen kann, als auch für die subjektive Wahrnehmung einer Systemänderung. Analog zu **(Kudritzki 1998)** können beide "Welten" miteinander in Bezug gesetzt werden, wenn zu den Fahrversuchen Messgrößen und Subjektivurteile per Fragebogen erhoben werden, s. Bild 2.

3.2.1 Versuchsmethodik

Die Versuche wurden mit 30 männlichen Versuchspersonen (im Alter von 40 bis 71 Jahren) über einen 191 km langen, etwa 2 bis 2 ½ h dauernden Rundkurs im Rhein-Main-Gebiet und Odenwald durchgeführt, der einen etwa 35%igen zum Teil kurvenreichen Landstraßenanteil enthielt. Die Versuchspersonen hatten ACC-Erfahrung in einer vorhergehenden Untersuchung gesammelt. Die einzelnen

Versuchsabschnitte wurden in vier Kategorien eingeteilt:

- kurvenarme Landstraße,
- kurvenreiche Landstraße,
- zweistreifige Autobahn bzw. Kraftfahrstraße
- drei- bis fünfstreifige Autobahn.

In variierender Reihenfolge wurde je eine Fahrt mit einem auf $\pm 4^\circ$ reduzierten ACC-Sichtbereich bzw. mit dem vollen Sichtbereich des Sensors von $\pm 8^\circ$ durchgeführt. Am Ende jeder Fahrt wurden die Fahrer befragt. Aus der Vielzahl der Ergebnisse, die zum Teil bei **(Luh & Winner 2006)** und ansonsten in Gänze bei **(Luh 2007)** zu finden sind, werden im Folgenden einige auszugswise vorgestellt.

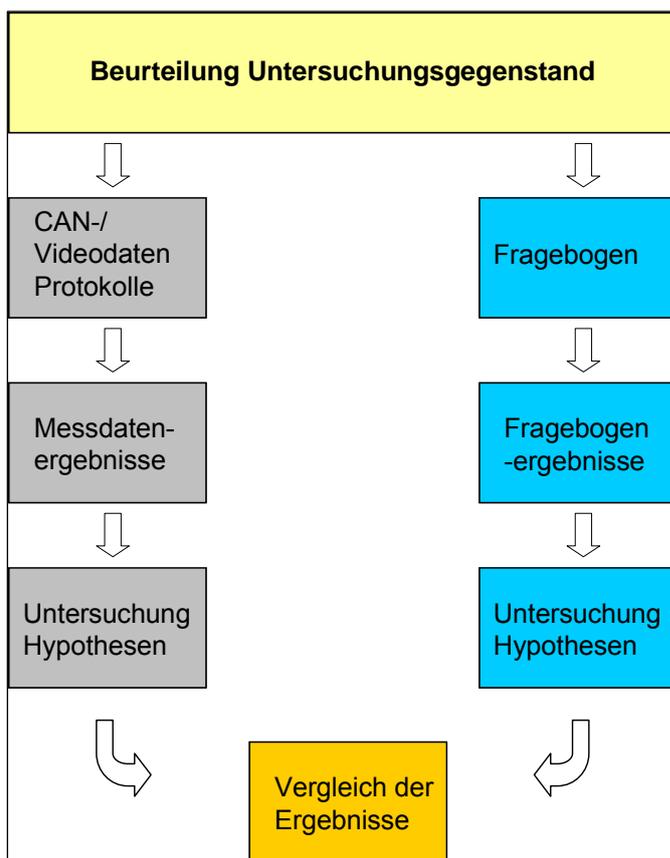


Bild 2: Zusammenführung der Erhebungsmethoden

3.2.2 ACC-Leistungsfähigkeit in Kurven

3.2.2.1 Auftreten von Zielverlusten bei Folgefahrt in Kurven

Eine Verbreiterung des Sichtfelds sollte erwartungsgemäß mit einer Verbesserung der Kurventauglichkeit von ACC einhergehen. Als objektive Kenngröße wurde die Verteilung der Zielverluste in Abhängigkeit von der Kurvenkrümmung (als Median der aus Gierrate und Fahrgeschwindigkeit bestimmten Momentankrümmung) bestimmt, siehe Bild 3.

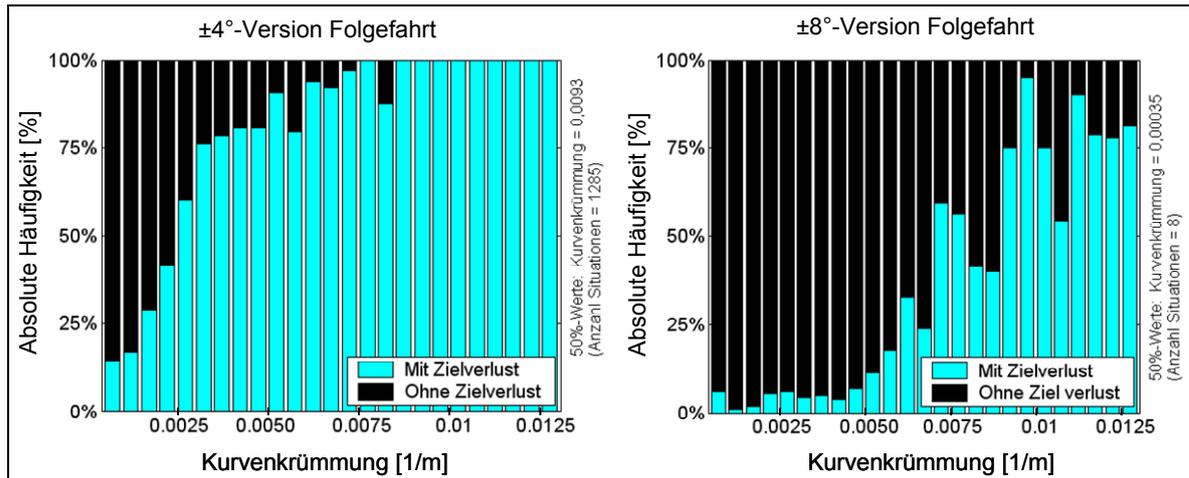


Bild 3: Häufigkeit der Zielverluste bei ACC-Folgefahrt in Abhängigkeit von der Kurvenkrümmung

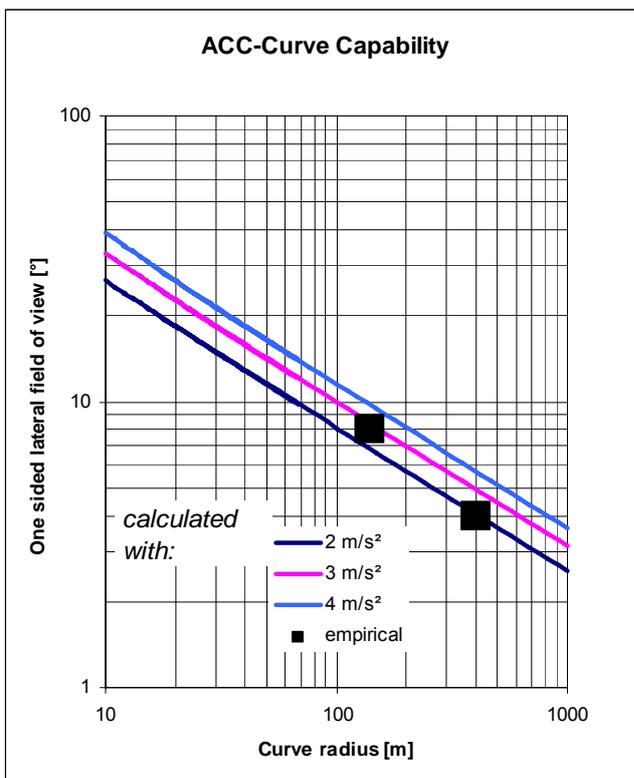


Bild 4: Berechnete und empirische Kurvenfähigkeit von ACC

Wie erwartet, treten bei der $\pm 4^\circ$ -Variante schon bei kleineren Krümmungen vermehrt Zielverluste auf. Nimmt man den 50 %-Wert als Kriterium für die Kurvenfähigkeit, so können dem bisher ausschließlich auf theoretischen Überlegungen basierenden Verlauf der (**ISO15622 2002**) erstmals empirische Werte entgegengesetzt werden, siehe Bild 4. Für $\pm 4^\circ$ ergibt sich ein Krümmungswert von $\kappa = 0,0025/\text{m}$ entsprechend $R = 400 \text{ m}$ und für $\pm 8^\circ$ $\kappa = 0,007/\text{m}$ entsprechend $R = 140 \text{ m}$. In sehr guter Übereinstimmung zur theoretischen Betrachtung für die bei der Berechnung zugrunde gelegte Kurvenquerbeschleunigung von 2 m/s^2 liegt der Wert für $\pm 4^\circ$. Dass der Wert für $\pm 8^\circ$ höher liegt, hängt mit der in der Praxis oft beobachteten, (vgl. z. B. (**Adiprasito 2001**)) höheren Querbeschleunigung in engeren und langsamer

durchfahrenen Kurven zusammen, so dass sich auch dies mit den vorherigen Erwartungen übereinstimmt.

3.2.2.2 Fahrereingriffe bei Kurvenfahrt

Mit einer geringeren Kurventauglichkeit erhöht sich erwartungsgemäß die Zahl der Zielverluste bei Kurvenfahrt. Bei den untersuchten Fahrten traten mit $\pm 4^\circ$ Sichtfeld 3,5-mal häufigere Zielverluste auf als mit dem breiten Sichtfeld. Allerdings führt nur jeder siebte dieser Zielverluste zu einem Fahrereingriff, so dass die Zahl der Fahrereingriffe (einschließlich der kleinen Zahl der Eingriffe ohne Zielverlust) mit 8,9 % pro Kurve insgesamt gering ist. Bei der $\pm 8^\circ$ -Variante wird bei etwa jedem fünften Zielverlust eingegriffen oder auf alle Kurven bezogen mit 4,6 % etwa nur halb so häufig wie bei $\pm 4^\circ$. Die geringe Zahl der Eingriffe bei Zielverlust lässt auf eine als hoch zu bezeichnende Wirksamkeit von über 80 % der "Blindflug-Regelung" schließen. Mit diesem Begriff bezeichnet man Algorithmen, die zu einer verzögerten Beschleunigung oder ggf. sogar Geschwindigkeitsabsenkung bei Zielverlust in Kurven führen.

Fahrereingriffe Kurvenfahrt	Sichtbereichsversion	
	$\pm 4^\circ$	$\pm 8^\circ$
Anzahl Kurven mit Folgefahrt	2.592	2.677
Anzahl Zielverluste	1335	442
Anzahl Fahrereingriff in Kurve mit Zielverlust	199	81
Fahrereingriff bei Zielverlust / Zielverlust	14,9 %	18,3 %
Anzahl Fahrereingriff in Kurve ohne Zielverlust	32	41
Anzahl Gesamt-Fahrereingriffe über alle Folgefahrten	231	122
Fahrereingriff / Folgefahrten	8,9 %	4,6 %

Tabelle 2: Statistische Daten zur Folgefahrt in Kurven

3.2.2.3 Subjektiv-Urteile

In den folgenden Aussagenverteilungen spiegelt sich die subjektive Wahrnehmung wieder. So wird die Frage: "Wie haben Sie die Anzahl der Zielverluste in Kurven empfunden?" bei der $\pm 4^\circ$ -Variante weitgehend mit *häufig* beantwortet, während bei der $\pm 8^\circ$ -Variante dies eher als *selten* eingestuft wird (vgl. Bild 5 links). Der objektive Funktionsvorteil wird also subjektiv nachempfunden. Damit einher geht ein Nachlassen des Verbesserungswunsches, der bei der $\pm 8^\circ$ -Variante eine ausgeglichene Verteilung zeigt. Bei der Rangfolge der wichtigsten Verbesserungswünsche fällt dieser vom ersten Rang bei $\pm 4^\circ$ auf den vierten.

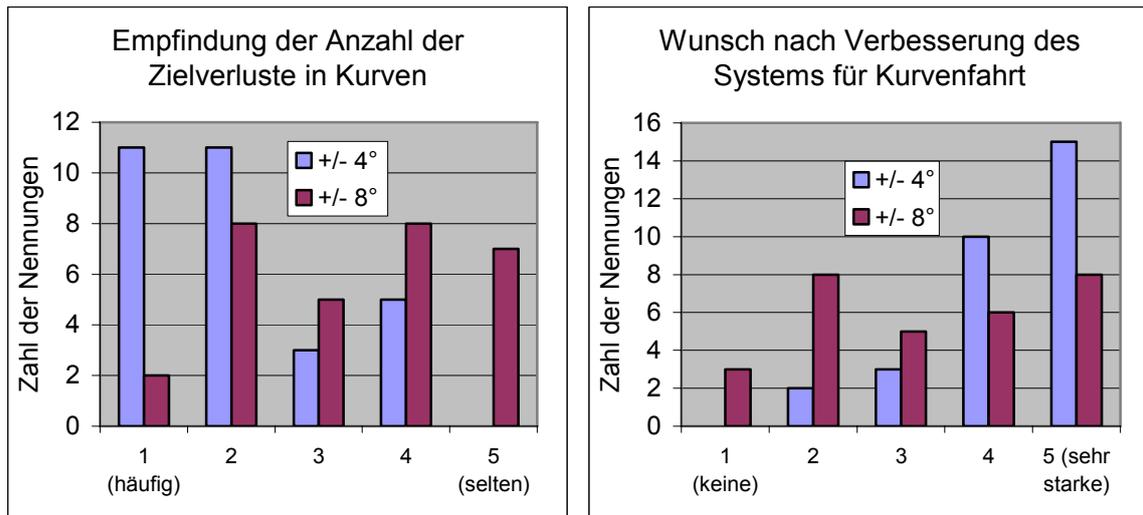


Bild 5: Subjektiveindrücke zur Kurvenleistung der ACC-Varianten
links: Empfindung der Anzahl der Zielverluste
rechts: Verbesserungswunsch für Strecken mit kleinen Kurvenradien

3.2.3 ACC-Leistungsfähigkeit in Ein- und Ausschersituationen

3.2.3.1 Zeitpunkt der Einscherer-Zielobjekterkennung

Eine andere Hoffnung, die mit einem verbreiterten Sichtfeld einhergeht, ist die frühere Erkennung von einscherenden Fahrzeugen. Dazu wurden bei den Fahrversuchen zwei charakteristische Zeiten ermittelt: der Zeitpunkt der ersten Erfassung des einscherenden Objekts und der Erkennungszeitpunkt, an dem das einscherende Objekt zum Reglerziel für ACC wurde. Beide Zeitpunkte werden auf den Einscherbeginn bezogen, der mit dem Überschreiten der Fahrstreifenmarkierung definiert ist. Wie zu erwarten war, werden die einscherenden Objekte deutlich häufiger vor dem Einscherbeginn erfasst, siehe Bild 6. Sind es bei $\pm 4^\circ$ noch 35 % der Einschersituationen, bei denen ACC das Objekt erst nach Einscherbeginn erfasst, so sind dies bei $\pm 8^\circ$ nur 10 %.

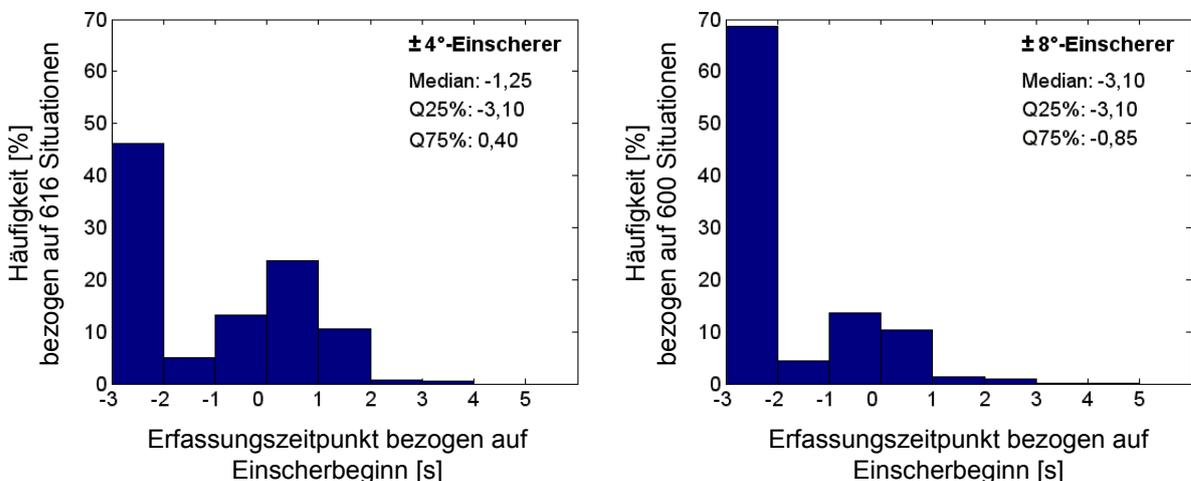


Bild 6: Erfassungszeitpunkt von einscherenden Fahrzeugen (Alle Werte < -3 s sind in der Häufigkeit von "-3" enthalten.)

Allerdings führt diese Verbesserung bei der Objekterfassung nur zu einem kleinen Funktionsvorteil. Die für das Kundenerleben relevante Zielerkennung verbessert sich lediglich um 0,15 s. Dies ist zwar in den Messdaten nachweisbar, dürfte aber kaum zu wahrnehmbaren Verbesserungen führen.

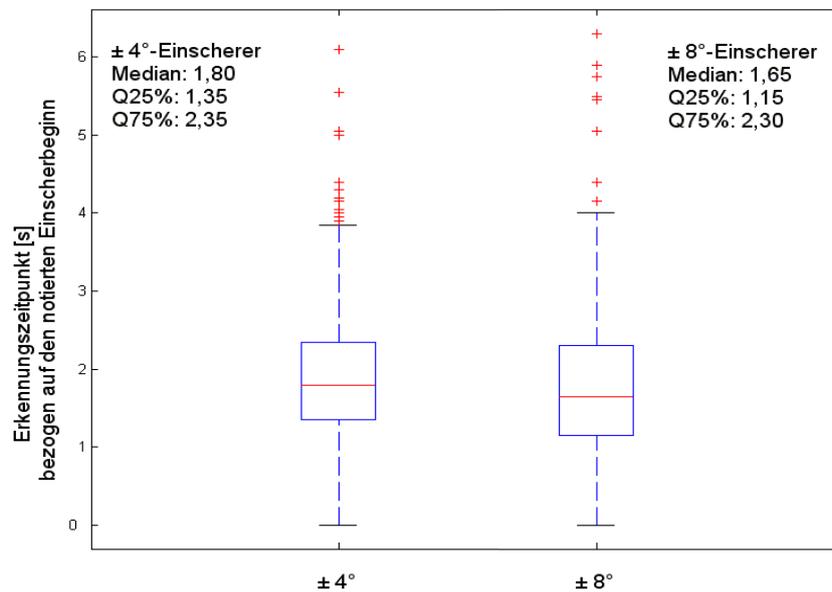


Bild 7: Erkennungszeitpunkte für die Übernahme als Zielobjekt von einscherenden Fahrzeugen

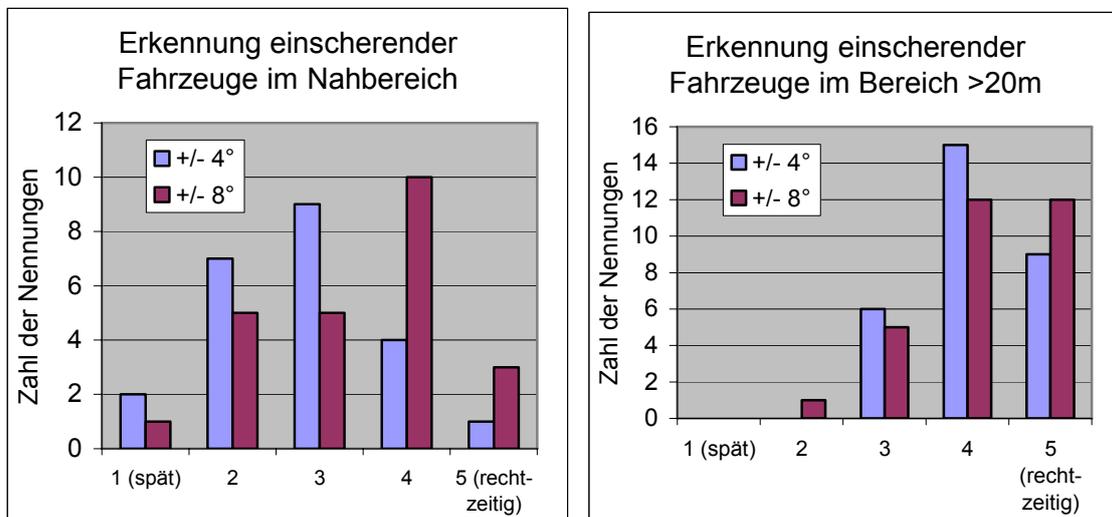


Bild 8: Wahrnehmung der Einschersituationen durch die Testpersonen (Wie wurden auf gerader Strecke vor Ihnen einscherende Fahrzeuge erkannt?)

Dies zeigen dann auch die in Bild 8 dargestellten Ergebnisse. Lediglich bei Situationen im Nahbereich ist eine Tendenz zur besseren Bewertung zu erkennen, wobei etwa ein Drittel der Versuchspersonen solche Situationen gar nicht erst wahrnahm.

3.3 Ermittlung der optimalen Fahrschlauchbreite

Die Fahrschlauchbreite ist der vielleicht wichtigste Funktionsparameter für ACC. Nur erfasste Objekte, deren Koordinaten in einem Korridor um den prädierten Kurs liegen, können zum Zielobjekt werden. Dieser Korridor wird als Fahrschlauch bezeichnet und entsprechend gelingt die Zielerkennung von Objekten leichter, wenn dieser Fahrschlauch breiter ist. Allerdings steigt mit zunehmender Breite auch die Gefahr, dass Objekte auf dem Nachbarfahrstreifen fälschlich als Zielobjekte erkannt werden, wodurch zumeist eine unbeabsichtigte und damit den Komforteindruck störende Verzögerung einhergeht. Die gegenläufigen Optimierungsrichtungen lassen nur eine Kompromisslösung zu, die in einer optimalen Weise die Summe der Nachteile beider Arten minimiert. Der einfachste Ansatz wäre die Bestimmung der zeitlichen Häufigkeit nicht relevanter Objekte, die in einem gegebenen Fahrschlauch liegen, und der Vergleich mit der Häufigkeit der relevanten Objekte außerhalb des Fahrschlauchs. Dazu wurden alle Zielerkennungen auf Basis der Videoaufzeichnungen nachträglich in die Kategorien "richtig" oder "falsch" eingeordnet.

Die Lage der Objektdaten im Fahrschlauch ist ein notwendiges, aber keinesfalls hinreichendes Kriterium für die Zielerkennung. Um auch die anderen Bedingungen vergleichbar zu halten, wurden Fahrten mit einer überbreiten Fahrschlauch-einstellung durchgeführt. Die Häufigkeit falsch erkannter Objekte wurde ebenso ermittelt wie der zeitliche Anteil der richtigen Objekte. Zu jedem Wert im Sekundenabstand wurde die laterale Ablage der Objekte von der Fahrschlauchmitte gespeichert. Letztere wird als ACC-Algorithmus vor allem durch die Gierrate und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ermittelt.

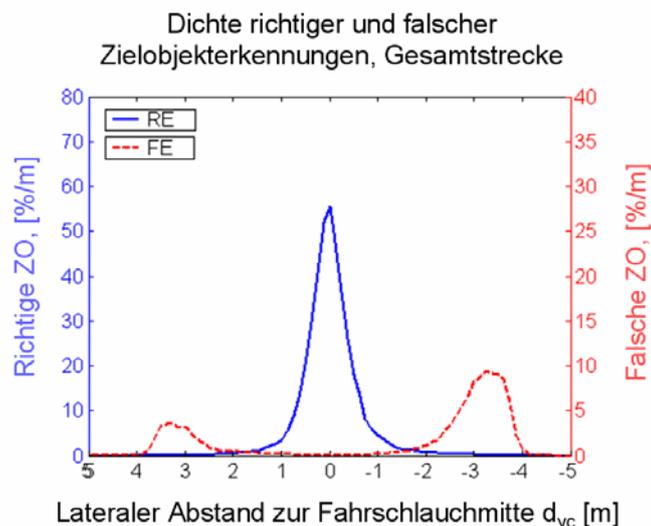


Bild 9: Zeitliche Häufung der Zielobjektablage zur Fahrschlauchmitte bei einem 8 m breiten Fahrschlauch (auf Breitenintervall bezogen)

Bild 9 zeigt, dass im Bereich von 1 m bis 2,5 m sowohl Richtig- als auch Falscherkennungen stattfinden. Da nun aber Falscherkennungen ein anderes, meist höheres Gewicht haben als Zielverluste oder späte Erkennungen, kann über einen Kostenfaktor k_{falsch} eine relative Gewichtung der Negativkriterien erfolgen. Mit diesem Kostenfaktor kann eine Kostenfunktion aufgestellt werden, die dann zur Minimierung herangezogen wird. Allerdings liegt zu damit noch kein Anhalts-

punkt für den wahren Wert des Kostenfaktors vor, so dass nur eine weitgehend als willkürlich anzusehende Variation verbleibt.

Trotzdem kann mit diesem Instrument eine wertvolle Analyse erfolgen, wie Bild 10 zeigt. Insbesondere der Vergleich der verschiedenen Streckenteile zeigt die unterschiedliche Lage der Minima bei gleichem Kostenfaktor. So kann der Fahrschlauch bei Fahrt auf der Landstraße erheblich breiter sein als bei Fahrt auf der Autobahn. Die in heutigen Systemen eingestellten Werte passen sehr gut zu den Kostenfaktoren 10 bis 30.

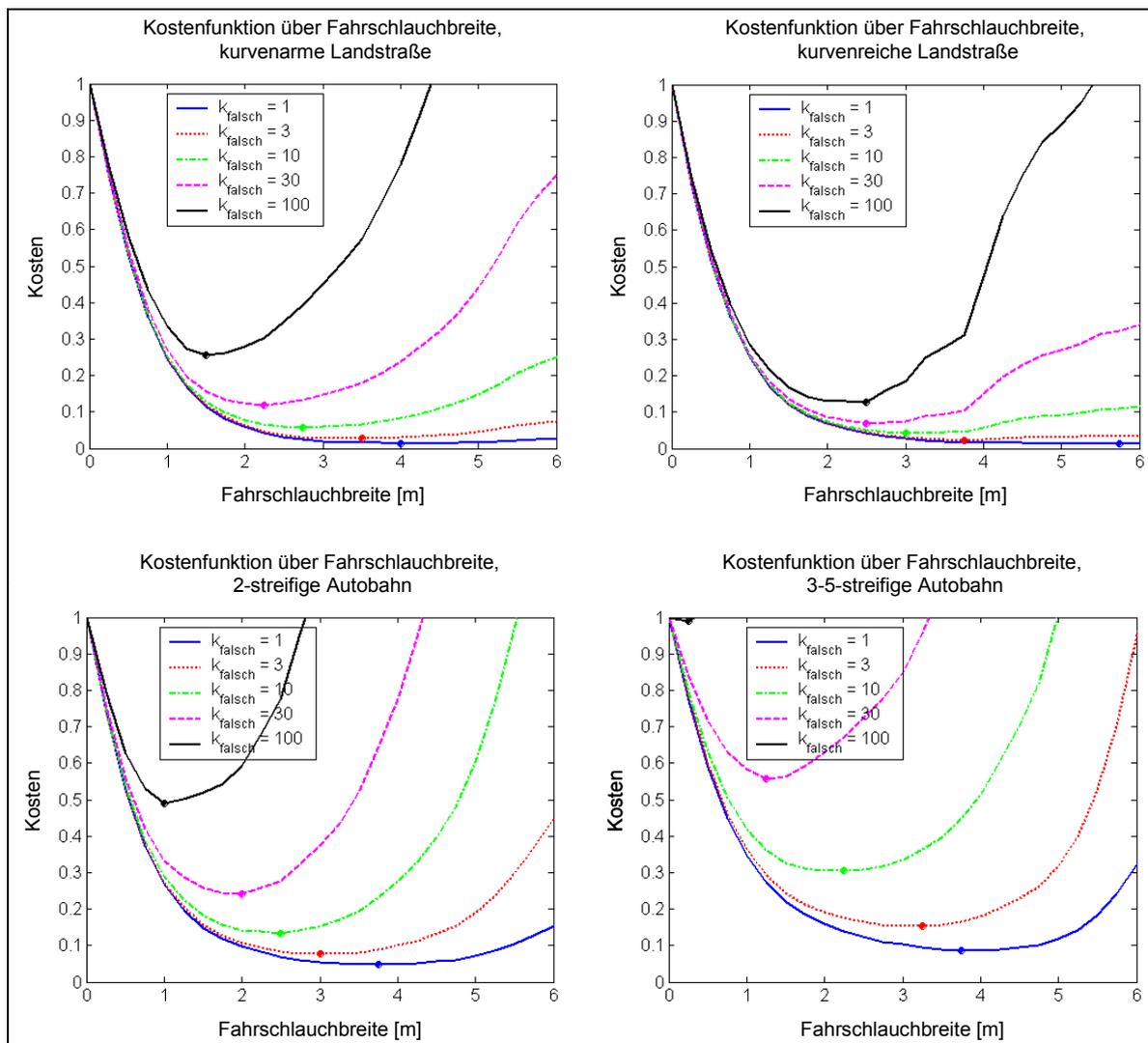


Bild 10: Kostenfunktion in Abhängigkeit der Fahrschlauchbreite und des Kostenfaktors k_{falsch} , der die Kosten von Falscherkennungen gegenüber Nichterkennung richtiger Objekte gewichtet

3.4 Fazit zur aktuellen Untersuchung

Anhand der Variation der Breite des Sichtfeldes wurde die funktionale Verbesserung durch ein breiteres Sichtfeld nachgewiesen. Dieses führte in der Untersuchung zu vom Nutzer wahrgenommenen Vorteilen bei Folgefahrt in der Kurve, da das Ziel seltener verloren wurde. Hingegen führte die objektiv verbesserte Fähigkeit, einscherende Fahrzeuge zu erkennen, zu keinem nachweisbaren Nutzervorteil. Obwohl keins der gefundenen Resultate für erfahrene ACC-

Entwickler überraschend war, lassen sich nun die folgende Aussagen auf der Basis der objektiven und subjektiven Ergebnisse belegen:

- Die Erweiterung des Sichtfelds von $\pm 4^\circ$ auf $\pm 8^\circ$ führt zu einer erheblichen Verbesserung bei Kurvenfahrt.
- Die Verbesserung bei einscherenden Fahrzeugen ist kaum erlebbar.
- Ein über $\pm 8^\circ$ hinausgehender Sichtbereich besitzt nur noch geringes Potential zur Verbesserung der Standard-ACC-Funktion.
- Aus der Analyse der Fahrschlauchsensitivität auf die Kostenfunktion der Systemstörungen *Falschziel* und *Nichtererkennung* lässt sich eine Fahrschlauchbreitenoptimierung sowohl für einen stationären Basiswert als auch für eine dynamische, straßentypabhängige Variation dieses Parameters ableiten.

Somit stellen diese Resultate etliche, bisher als Vermutungen zu kennzeichnende Aussagen auf eine solide Datenbasis. Methodisch sind weitere Untersuchungen aussichtsreich, allerdings ist der Aufwand für diese Resultate als beträchtlich einzuschätzen.

4 BILANZ

Nahezu allen, d. h. den frühen wie auch den späteren Untersuchungen ist gemein, dass zur Auswertung sowohl Subjektivurteile der Probanden als auch objektive Kenngrößen aus den Fahrversuchen herangezogen wurden. Damit hört die Gemeinsamkeit dieser Untersuchungen allerdings schon auf. Für ein Gesamtbild stellen sich die einzelnen Untersuchungen wie Teile eines Puzzles dar, die nicht zusammengehören. Es fällt leicht, widersprüchliche Ergebnisse mit den unterschiedlichen Testbedingungen zu erklären. Neben den technischen Ursachen der ständigen Weiterentwicklung der Komponenten und Funktionen können beabsichtigte Unterschiede der Versuchsauslegung hinzukommen. Dies ist oft dann der Fall, wenn eine neue Methodik erarbeitet werden soll, die wiederum den Kern einer wissenschaftlichen Arbeit bildet. Auch geografische und kulturelle Unterschiede sind nur schwer beeinflussbare Variablen, so dass durch die Festlegung des Untersuchungsteams spezifische Randbedingungen geschaffen werden. Im Prinzip hat jede Untersuchung für sich den Anspruch, objektiv oder zumindest intersubjektiv zu sein. Um diesen Anspruch aber erfüllen zu können, müsste es einen Arbeitsstandard für die Erhebungs- und Versuchsmethodik geben. Dieser ist bisher jedoch noch nicht absehbar.

Bei nahezu allen Untersuchungen wurden die Zeitlücken erfasst und zwar sowohl die tatsächlich gefahrenen als auch die eingestellten Sollzeitlücken. Wie bereits erwähnt, weisen die Untersuchungen zur Zeitlücke deutliche Unterschiede in den Ergebnissen auf. Dies als Widerspruch zu interpretieren, lassen diese Ergebnisse allerdings nicht zu. Die Hauptparameter sind so unterschiedlich, dass damit fast jede Abweichung erklärt werden kann. Selbst bei Untersuchungen mit sehr ähnlicher technischer Basis - (**Abendroth 2001; Filzek 2002**) und (**Weinberger 2001**) - gibt es deutliche Unterschiede, z. B. bei der Verteilung der Sollzeitlücken. Hier lassen die Unterschiede bei den Erhebungsstrecken, dem Versuchspersonenkollektiv oder der Dauer der Versuche genügend Raum für die Erklärung der Unterschiede.

Somit bleibt die Aussagekraft jeder Untersuchung auf eine bestimmte „Versuchinsel“ beschränkt, innerhalb derer Versuchsparameter variiert werden können. Werden auf diese Weise signifikante Unterschiede ermittelt, lassen sich Aussagen ableiten, die möglichst auch außerhalb dieser Insel gültig sein sollten, da eine Übertragung zumindest der Tendenz oder der Relationen sich leichter vornehmen lässt als die der gefundenen absoluten Ergebnisse. Dient die Untersuchung zur Klärung fundamentaler Akzeptanz- oder Risikofragen, so mag eine solche "Patchwork"-Vorgehensweise ausreichen. Eine die unterschiedlichen Untersuchungen übergreifende Funktionsbewertung erlaubt sie aber nicht.

Die in Kapitel 3 gezeigten Untersuchungen zeigen, dass Fahrversuche durchaus eine probate Methode zur Funktionsbewertung von ACC-Ausprägungen sind. Allerdings bedingt diese Methodik einen erheblichen Aufwand, der somit auf Fragestellungen konzentriert werden sollte, bei denen die Entwickler sich mit ihrem Expertenwissen zu unsicher sind, um die notwendigen Entscheidungen zur Systemauslegung ohne Versuche zu tätigen.

Grundsätzlich haben Fahrversuche zur Funktionsbewertung den Nachteil, dass die Funktion zur Verfügung stehen muss. Sie darf zwar in einem Hardware-Prototypenstadium dargestellt werden, funktional aber muss die Entwicklung weitgehend abgeschlossen sein, da ansonsten der subjektive Eindruck von den noch vorhandenen Fehlern bestimmt wird. Zur Vermeidung der realen Darstellung für die Vorhersage der Nutzerurteile würden sich - wie in anderen Entwicklungsbereichen - Simulationen anbieten, fehlen momentan noch die Grundlagen, nicht einmal Ansätze dazu sind bekannt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für eine Weiterentwicklung der Methodik zur Funktionsbewertung von ACC und ähnlichen anderen Fahrerassistenzsystemen vor allem Versuchstandards und Umrechnungsmetriken fehlen, die aus objektiven Daten auf die Nutzerbewertung schließen lassen.

LITERATUR

Adiprasito, Bartono: Fahrerassistenzsysteme bei der Längsführung von Kraftfahrzeugen im Niedergeschwindigkeitsbereich; 2. Braunschweiger Symposium: Automatisierungs- und Assistenzsysteme für Transportmittel, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 460, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001

Abendroth, Bettina: Gestaltungspotentiale für ein PKW-Abstandregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrertypen, Dissertation TU Darmstadt, Schriftenreihe Ergonomie, Ergonomia-Verlag Stuttgart, 2001

Becker, Stefan; Sonntag, Jörg: Autonomous Intelligent Cruise Control – Pilotstudie der Daimler-Benz und Opel Demonstratoren, Prometheus CED 5, TÜV Rheinland, Köln, 1993

Becker, Stefan; Sonntag, Jörg; Krause: Zur Auswirkung eines Intelligenten Tempomaten auf die mentale Belastung eines Fahrers, seine Sicherheitsüberzeugungen und (kompensatorischen) Verhaltensweisen, Prometheus CED 5, TÜV Rheinland, Köln, 1994

Didier, Muriel: Ein Verfahren zur Messung des Komforts von Abstandsregelsystemen (ACC-Systemen), Dissertation TU Darmstadt, Schriftenreihe Ergonomie, Ergonomia-Verlag Stuttgart, 2006

Fancher, P.; Ervin, R.; Sayer, J.; Hagan, M.; Bogard, S.; Bareket, Z; Mefford, M.; Haugen, J.: Intelligent Cruise Control Field Operational Test, Final Report, University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI), Michigan, 1998

Filzek, Björn: Abstandsverhalten auf Autobahnen – Fahrer und ACC im Vergleich, Dissertation Fachgebiet Fahrzeugtechnik, Dissertation TU Darmstadt, Fortschritt-Berichte Reihe 12, Nr. 536, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002

Kudritzki, Detlef: Möglichkeiten der Objektivierung subjektiver Beurteilungen des Fahrzeugverhaltens; Tagungsband Haus der Technik: Subjektive Fahreindrücke sichtbar machen, 1998

Luh, Steffen: Untersuchung des Einflusses des horizontalen Sichtbereichs eines ACC-Sensors auf die Systemperformance, Dissertation TU Darmstadt, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2007 (noch nicht erschienen)

Luh, Steffen; Winner, Hermann: Einfluss des horizontalen Sichtbereichs eines Radarsensors auf die ACC-System-Performance in Kurven- bzw. Ein/Ausschersituationen, Fahrerassistenzworkshop 2006, Löwenstein, 2006

Luh, Steffen; Winner, Hermann: Einfluss des horizontalen Sichtbereichs eines Radarsensors auf die ACC-System-Performance in Kurvensituationen , TÜV-Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, 04. und 05. April 2006, München, 2006

Nirschl, Günter; Blum, Ernst-Josef; Kopf, Matthias: Untersuchungen zur Benutzbarkeit und Akzeptanz eines ACC-Fahrerassistenzsystems, IITB Mitteilungen, Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung, 1999

Nirschl, Günter; Kopf, Matthias: Untersuchung des Zusammenwirkens zwischen dem Fahrer und einem ACC-System in Grenzsituationen, Tagung: "Der Mensch im Straßenverkehr", Berlin 1997, VDI Bericht 1317, VDI-FVT, Düsseldorf 1997

Weinberger, Markus; Winner, Hermann; Bubb, Heiner: Adaptive cruise control field operational test – the learning phase, JSAE Review 22 (2001) 487, Elsevier, 2001

Weinberger, Markus: Der Einfluss von Adaptive Cruise Control Systemen auf das Fahrverhalten, Dissertation TU München, Berichte aus der Ergonomie, Shaker-Verlag, Aachen, 2001

Winner, Hermann; Barthenheier, Thomas; Fecher, Norbert; Luh, Steffen: Fahrversuche mit Probanden zur Funktionsbewertung von aktuellen und zukünftigen Fahrerassistenzsystemen, in Landau&Winner (Hrsg.): Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko, Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug, 3./4.April 2003, TU Darmstadt, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, Nr. 557, VDI-Verlag Düsseldorf,2003

ANSÄTZE ZUR OBJEKTIVEN FAHRDYNAMIK

Dr.-Ing. Erich Sagan, BMW Group

ZUSAMMENFASSUNG

Zur objektiven Beschreibung der fahrdynamischen Eigenschaften von Fahrzeugen haben sich standardisierte Fahrversuche bewährt, die ohne Fahrereinfluss im „open-loop“ Verfahren meist auf trockenen Straßen angewendet werden. Durch genau beschriebene Randbedingungen wird einerseits eine ausreichende Reproduzierbarkeit erzielt, andererseits aber auch der Interpretationsbereich eingeschränkt, so dass die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf reale Verkehrs- und Straßenverhältnisse übertragbar sind.

Viele fahrdynamische Größen sind erst bewertbar, wenn Korrelationen zu subjektiven Eindrücken und Wahrnehmungen nachgewiesen werden. Je nach Fragestellung sind unterschiedliche Ansätze zu wählen. Die Untersuchung des querdynamischen Regelkreises Fahrer / Fahrzeug stellt hier eine besondere Herausforderung dar, weil die Fahrer durch verschiedene Gewohnheiten und Fähigkeiten auch unterschiedliche Vorlieben entwickeln, die zu stark streuenden Subjektivbeurteilungen führen können.

1 EINLEITUNG

Der Ingenieurwunsch und die Anforderung, das Zusammenwirken von Fahrer und Fahrzeug objektiv zu beschreiben, werden im modernen Fahrzeugentwicklungsprozess immer ausgeprägter. Neue Entwicklungs- und Optimierungsmethoden, wie z.B. die Simulation, basieren ausschließlich auf objektiven Größen und Funktionen und finden schon weit vor Fertigstellung erster Prototypen Anwendung.

Allerdings ist das Fahren eines Pkw ein sehr emotionaler Prozess, dessen objektive Beschreibung nach mathematischen und regelungstechnischen Gesetzmäßigkeiten nicht in einfacher Weise möglich ist. Die bisherigen Verfahren und Kriterien zur objektiven Fahrdynamik stellen immer nur einen Teilaspekt dar, eine gesamthafte objektive Beschreibung ist derzeit nicht möglich. Eine endgültige Fahrzeugabstimmung und –abnahme muss immer noch durch subjektive Bewertungen bestimmt werden.

Nachfolgend soll gezeigt werden, welche Methoden und Verfahren zur objektiven Beschreibung der Fahrdynamik angewendet werden und was bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten ist bzw. welche Randbedingungen zu berücksichtigen sind.

2 GRUNDLAGEN UND RANDBEDINGUNGEN

Das Zusammenwirken Fahrer / Fahrzeug lässt sich grob anhand des Regelkreises nach Bild 1 beschreiben. Der Fahrer ist dabei der Regler und mit seinen unterschiedlichen Empfindungen, Wahrnehmungen und auch Fähigkeiten ein nur schwer beschreibbares Element. Durch ihn verlieren viele Versuchsanordnungen und Testabläufe an Reproduzierbarkeit und Aussagefähigkeit. Um hier trotzdem ein gewisses Maß an Objektivität zu erreichen, trennt man den Regelkreis auf und „degradiert“ den Fahrer zum Bedienelement für genau vorgegebene Bedienfunktionen, wie z.B. Festhalten des Lenkrads, Freigabe Gaspedal u.ä. Ebenso werden die Störungen auf ein Minimum reduziert durch z.B. Vorgabe des Fahrbahnreibwertes, der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit usw., Bild 1. Die Regelstrecke besteht so nur noch aus den Eingangsgrößen, Lenkwinkel, Lenkmoment, Bremsdruck, Gaspedalstellung und Getriebegang, dem Fahrzeug selbst und dem Ausgang, den Fahrzeugbewegungsgrößen, Gieren, Wanken, Querschleunigung usw. nach Bild 2.

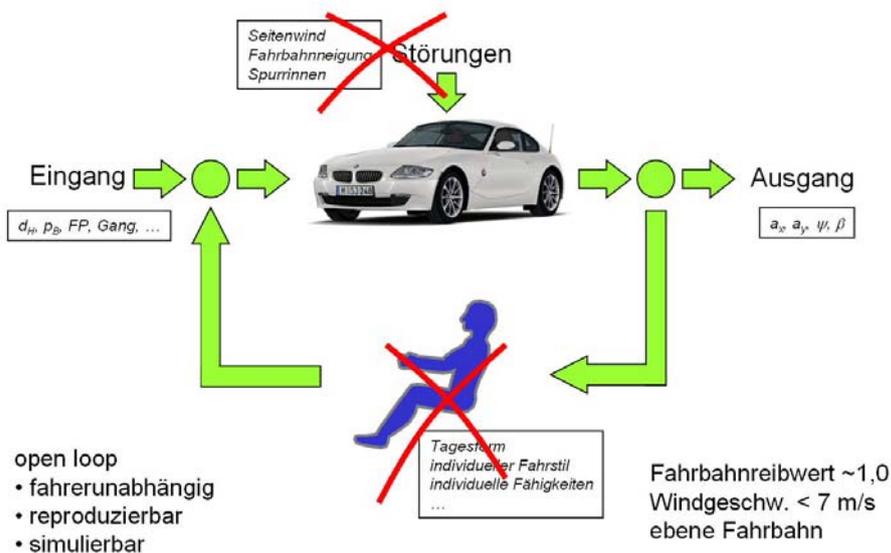


Bild 1: Aufgetrennter Regelkreis Fahrer / Fahrzeug

Die so im offenen Regelkreis definierten Fahrversuche sind sog. „open-loop“ Verfahren mit einer ausreichenden Reproduzierbarkeit und Fahrerunabhängigkeit. Durch die sehr stark eingeschränkten Randbedingungen sind sie auch leicht simulierbar und im frühen Entwicklungsprozess anwendbar.

Die Fahrbahnbedingungen werden unter diesen Voraussetzungen mit „eben“ und „trocken“ beschrieben, d.h. der Reibwert beträgt nahezu 1. Die Ergebnisse sind so natürlich auch nur für diesen Bereich gültig. Bei der Interpretation muss aber unbedingt berücksichtigt werden, dass sich die Eigenschaften von Fahrzeug und Reifen durchaus unterschiedlich mit dem Reibwert verändern können und auch die Rangfolge von Fahrzeugen bei verschiedenen Fahrbahnoberflächen unterschiedlich sein kann, Bild 3.

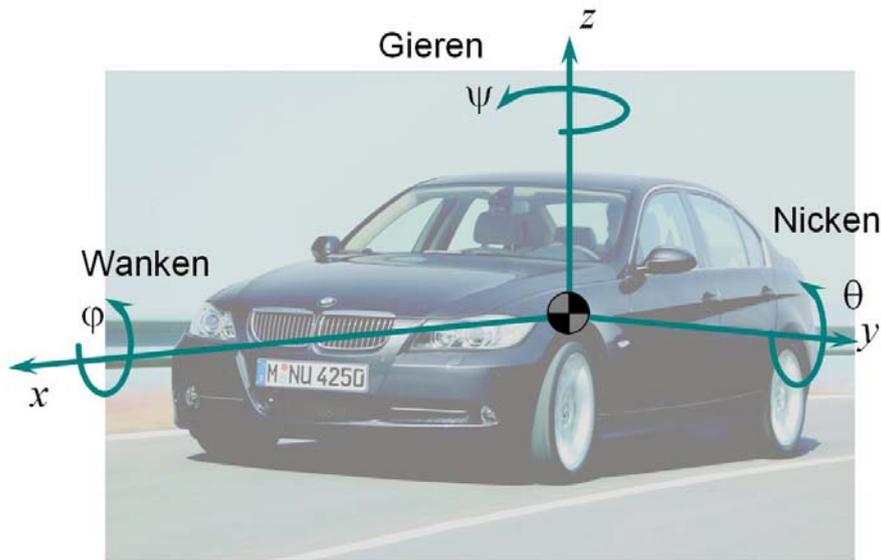


Bild 2: Fahrdynamische Bewegungsgrößen

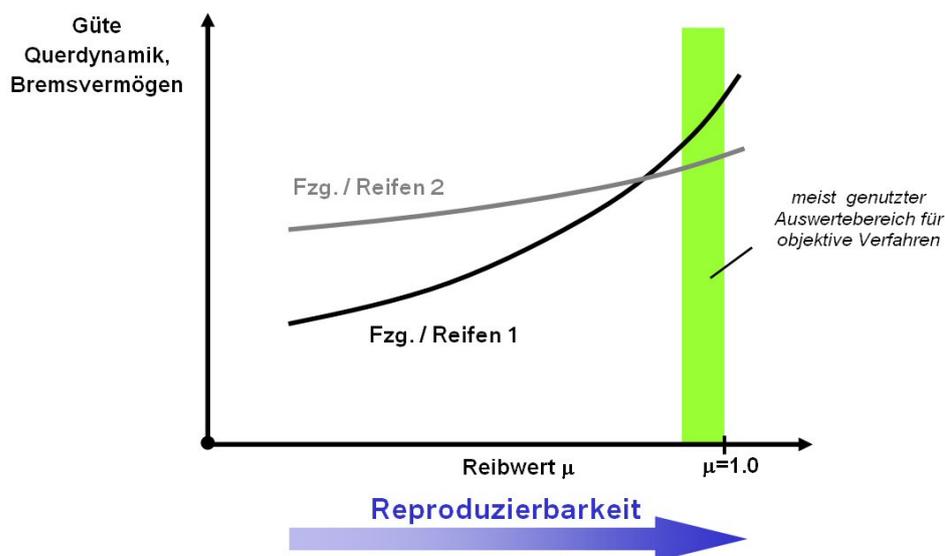


Bild 3: Beurteilungsbereich für objektive Verfahren

3 FAHRMANÖVER „OPEN-LOOP“

Aus den eingeschränkten Randbedingungen sind in den letzten 40 Jahren eine Reihe von Fahrmanövern entstanden, die eine bestimmte Fahrzeugeigenschaft objektiv beschreibbar machen (natürlich gerade nur für diese Bedingungen). Die Fahrmanöver sind größtenteils genormt und als ISO / DIN Standards veröffentlicht, Bild 4. Allen Versuchen gemeinsam ist eine bestimmte Messausrüstung im Fahrzeug, Bild 5, zur Bestimmung der Fahrzeugbewegungsgrößen nach Bild 2 und der Fahrereingaben.

<u>Fahrmanöver</u>	<u>nach ISO/ DIN</u>
- Stat. Kreisfahrt	4138
- Doppelspurwechsel	3888
- Lastwechsel aus stat. Kreisfahrt	9816
- Bremsen in der Kurve	7975
- Lenkwinkelsprung	7401
- Dreiecksimpuls	7401
- Sinuslenken/ stochastisches Lenken	7401
- Seitenwindverhalten (Seitenwindschleuse)	12021-1
- Fahrstabilität im Anhängerbetrieb	9815
- Bremsen auf μ -split	14512
- (Roll-Rate) Fish-hook	nach NHTSA NCAP
.....	

Bild 4: Genormte Fahrmanöver „open-loop“

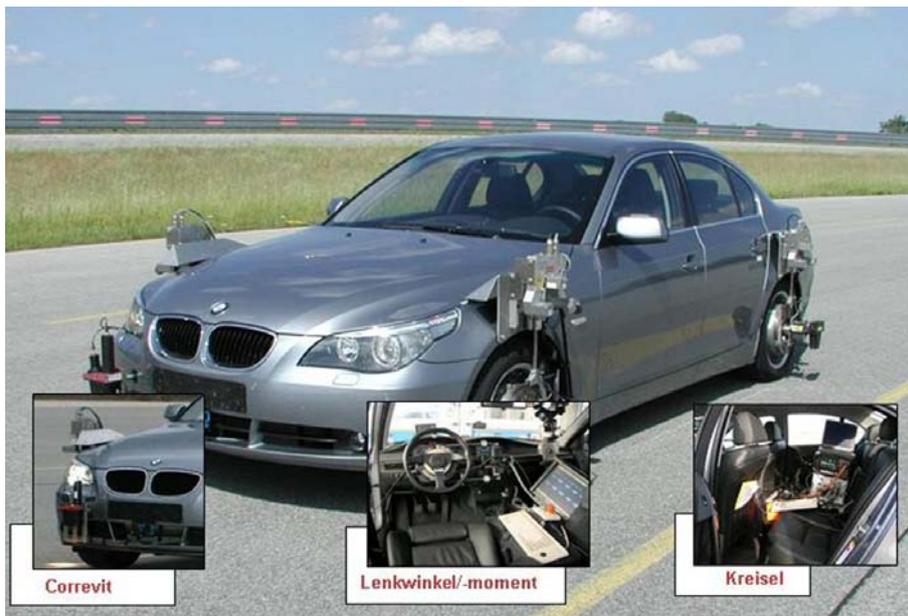


Bild 5: Messfahrzeug

Je nach Fahrmanöver lassen sich aus den gemessenen Zeitschrieben Kenngrößen und Funktionen ableiten.

Z.B. werden bei der stationären Kreisfahrt nach ISO 4138 der benötigte Lenkradwinkel und das auftretende Lenkmoment in Abhängigkeit der Querschleunigung aufgetragen, Bild 6. Zu beurteilen ist daraus neben dem für eine Kurvenfahrt absoluten Lenkwinkelbedarf und dem aufzubringenden Lenkmoment auch das Eigenlenkverhalten, d.h. die Zunahme des Lenkwinkels, und die „Ankündigung“ des Grenzbereichs durch das Lenkmoment. Messbar sind diese Größen nur auf speziellen Prüfgeländen, die es erlauben, mit einem Fahrzeug über eine längere Strecke stationär auf einem bestimmten Bahnradius zu fahren. Für ein umfassendes Bild sind Fahrten auf verschiedenen Kurvenradien notwendig.

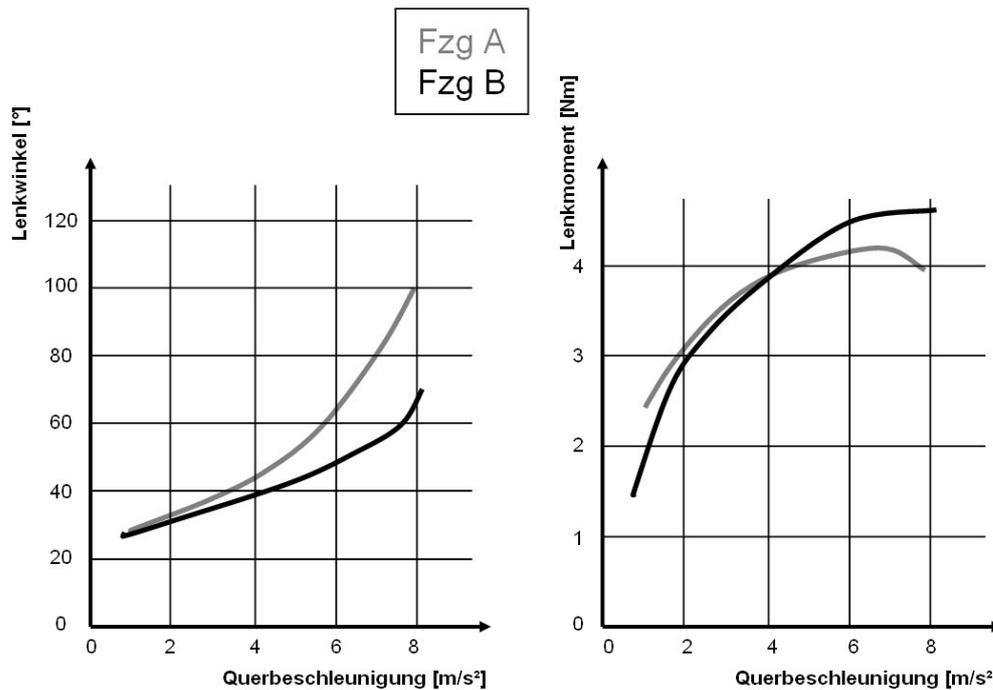


Bild 6: Messdaten der stationären Kreisfahrt, Lenkwinkel und Querbeschleunigung über der Querbeschleunigung

„Lastwechsel“ und „Bremsen in der Kurve“ Manöver werden aus stationärer Kreisfahrt durchgeführt, d.h. wenn das Fahrzeug konstant auf einem vorgegebenen Kreisradius fährt, gibt der Fahrer das Gaspedal frei oder beginnt zu bremsen. Bei diesen Manövern ist die Auswertung von „1-Sekundenwerten“ weit verbreitet. Der „1-Sekundenwert“ beschreibt die Änderung einer Fahrzeugbewegungsgröße, z.B. der Giergeschwindigkeit, 1 Sekunde nach dem Ereignis, hier also nach der Gaspedalfreigabe oder dem Bremsbeginn, Bild 7. Die 1 Sekunde wurde in Anlehnung an die menschliche Reaktionszeit gewählt, vor dem Hintergrund einer möglichen Ausregelbarkeit von Fahrzeugabweichungen nach der Reaktionszeit. Zu beachten ist dabei allerdings, dass

- der „Start“ der Reaktionszeit nicht unmittelbar mit einer Gaspedalfreigabe bzw. eines Bremsbeginns zusammenfallen muß, sondern eher von der beginnenden Fahrzeugreaktion abhängt [1],
- die ausregelnde Fahrzeugabweichung vom Straßenverlauf, z.B bei einer enger werdenden Kurve bei Autobahnausfahrten, abhängig ist und
- das Maximum der Fahrzeugreaktion auch schon innerhalb einer Sekunde erreicht werden kann.

Die „1-Sekundenwerte“ können deshalb nicht ohne Weiteres als Beurteilungsmaßstab verwendet werden.

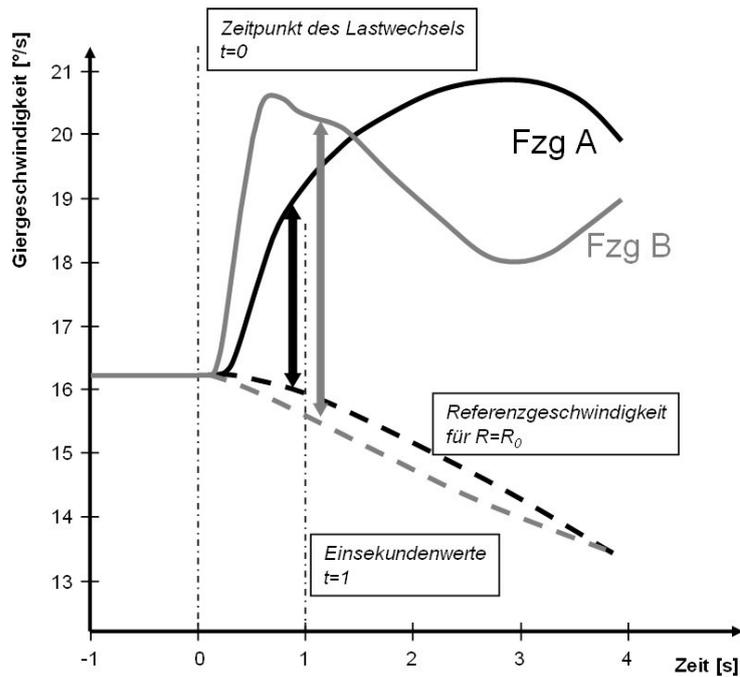


Bild 7: Fahrzeugreaktion beim Lastwechsel in der Kurve

Oftmals ist die Betrachtung mehrerer Größen notwendig. Beim „Bremsen in der Kurve“ ist z.B. neben der Giergeschwindigkeitsänderung auch die erreichbare Längsverzögerung ein wichtiges Kriterium. Nach Bild 8 besteht ein Zusammenhang zwischen der Gierreaktion bei leichten Abbremsungen und der erzielbaren max. Verzögerung bzw. dem Bremsweg in der Kurve. Es kann also nicht aus einem z.B. kleinen 1-Sekundenwert der Giergeschwindigkeitsänderung unbedingt auf ein gutes Verhalten beim Bremsen in der Kurve geschlossen werden. Vielmehr ist es wichtig, dass ein Fahrzeug im Gefahrenfall auch mit einem kurzen Bremsweg reagiert auch wenn dieser zu Lasten der Gierreaktion geht.

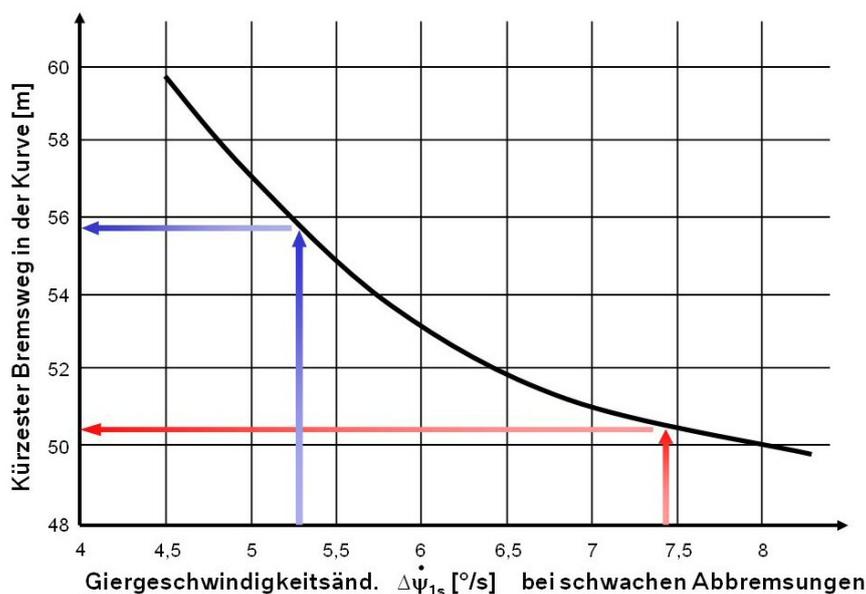


Bild 8: Bremsen in der Kurve, Zusammenhang Stabilität und Bremsweg

Die Fahrmanöver „Lenkwinkelsprung“, „Dreiecksimpuls“, „Sinuslenken“ dienen zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens der Regelstrecke Fahrzeug. Ein Ergebnisbeispiel, Frequenz- und Phasengang, zeigt Bild 9. Als charakteristische Werte werden hieraus die Eigenfrequenz mit der entsprechenden Überhöhung der Fahrzeugreaktion, die stationäre Gierverstärkung, das Verhältnis von Fahrzeugreaktion / Lenkeingabe, und die so genannte äquivalente Verzögerungszeit als Kehrwert der 45 Grad Nacheilfrequenz betrachtet.

Als einziges Fahrmanöver mit unterschiedlichem Reibwert ist „Bremsen auf μ -Split“ nach ISO 14512 genormt. Da es aufgrund des nicht genau definierbaren Niedrigreibwertes zu großen Einflüssen auf die Testergebnisse kommt, wird nur eine Abhängigkeitsdarstellung – Giergeschwindigkeitsänderung über Längsverzögerung – gewählt, Bild 10.

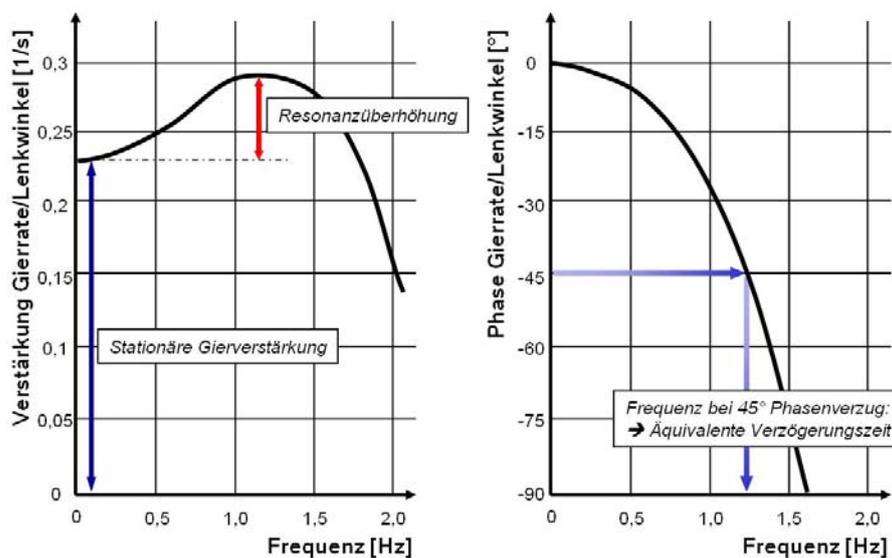


Bild 9: Charakteristische Größen des Frequenz- und Phasenganges

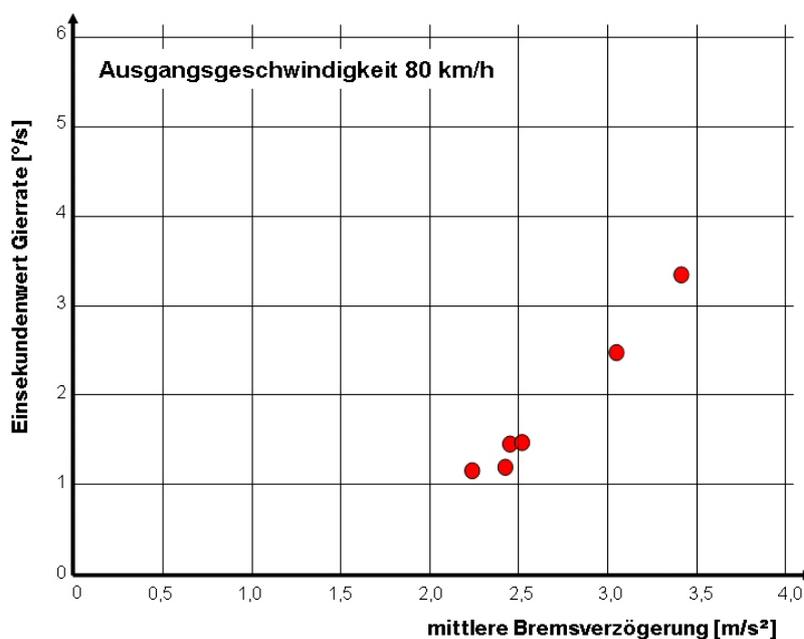


Bild 10: Messergebnisse Bremsen auf μ -split

4 FAHRMANÖVER „CLOSED-LOOP“

Neben den vielen „open-loop“ Manövern gibt es auch eine kleine Anzahl von „closed-loop“ Manövern zur objektiven Beschreibung der Fahreigenschaften. Nach ISO gibt es Fahrspurgassen, die sehr eng bemessen und von der Fahrzeugbreite abhängig sind um bei Durchfahrt den Fahrereinfluss möglichst gering zu halten. Man unterscheidet die Gasse für den doppelten Fahrspurwechsel nach ISO 3881, Part 1, Bild 11, und die Gasse zum Ausweichen vor einem Hindernis, Part 2. Wegen der Problematik des Fahrereinflusses gibt es keine Norm zur Beschreibung des Manövers, sondern nur die Vorgabe des Fahrspurverlaufs.

Im Entwicklungsprozess hat die Durchführung der Spurwechseltests große Bedeutung erlangt. Von erfahrenen Versuchsfahrern wird meistens die Durchfahrzeit gemessen und dabei die Fahrzeugbeherrschbarkeit und die Zielgenauigkeit beurteilt. Auch in Fachzeitschriften sind diese Verfahren weit verbreitet.

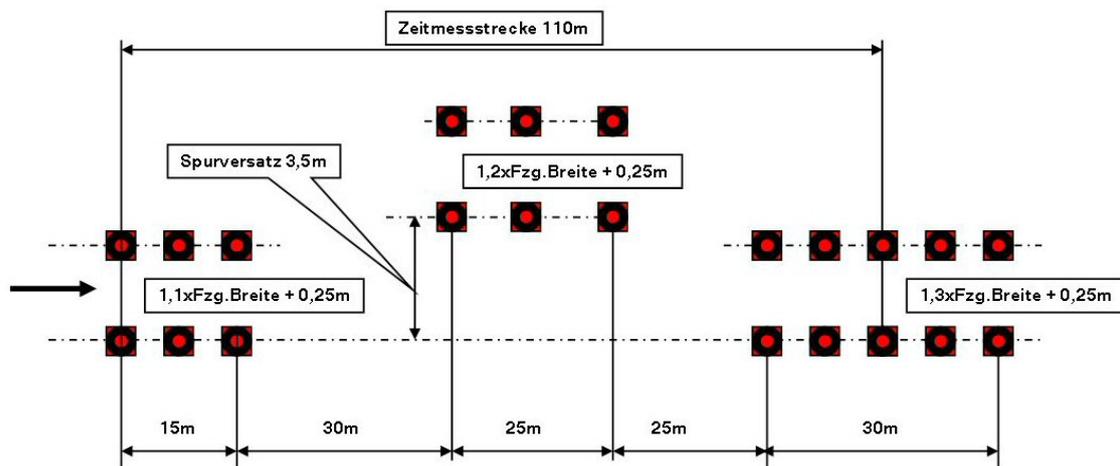


Bild 11: Doppelter Fahrspurwechsel nach ISO 3888

5 KORRELATIONEN OBJEKTIV – SUBJEKTIV

Viele objektive Größen und Funktionen sind nicht ohne Weiteres direkt bewertbar. Es müssen Korrelationen gefunden werden zum subjektiven Empfinden der Fahrzeuginsassen. Das übliche Vorgehen dazu besteht aus einer Abfrage der Subjektiveindrücke mittels Fragebogen und anschließende Korrelationsrechnungen mit „verdächtigen“ objektiven Kenngrößen. Der Fragebogen hängt natürlich von der Aufgabenstellung ab und ist auch oftmals unterschiedlich für Experten oder „Normalfahrer“. Die Beschreibungen (Fragen) sind meistens mit einer Notenskala hinterlegt, die eine spätere mathematische Behandlung und Darstellung ermöglicht.

Für die Wahrnehmung von Störgrößen im Fahrzeug hat sich ein Beurteilungsbogen mit Fragen nach der Abweichung von einem Referenzzustand bewährt, Bild 12 a). Geeignet wäre dieser Bogen z.B. für die Beschreibung von Fahrzeugschwingungen bei verschiedenen Fahrzeugvarianten, d.h. die Wahrnehmung in einem offenen Regelkreis ohne Auswirkungen auf eine

Fahraufgabe. Wirkt dagegen eine Störung / Änderung direkt auf die Regelgrößen im Kreis Fahrer / Fahrzeug, z.B. durch durch eine Kursabweichung, kann es zielführender sein, die Aufgabenbewältigung abzufragen. Neukum & Krüger [2] schlagen dazu die Störungsbewertungsskala nach Bild 12 b) vor.

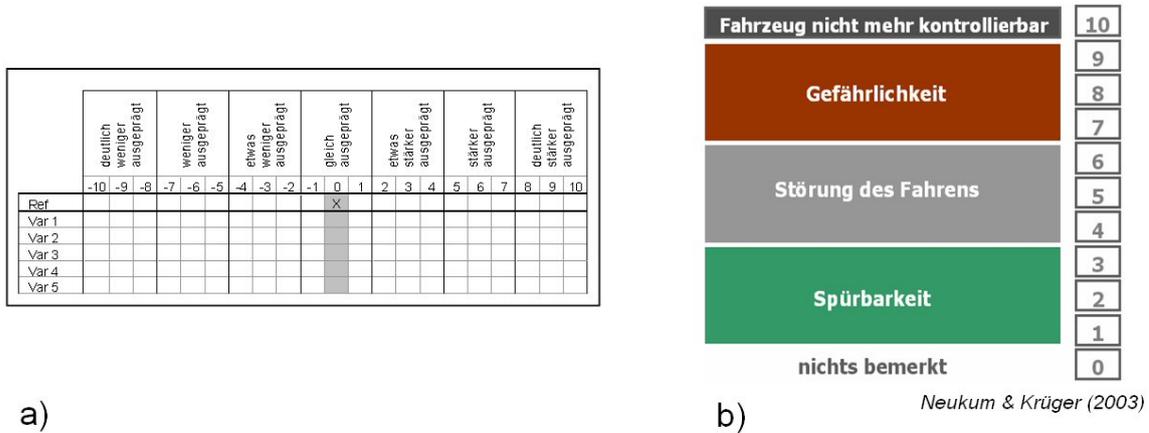


Bild 12: Fragebogen zur subjektiven Beurteilung, a) Wahrnehmung einer Störung / Schwingung relativ zu einer Referenzvariante, b) Störungsbewertungsskala nach [2]

Die objektiven Kenngrößen können unterschiedlichster Natur sein, und auch zusammengesetzte Größen sind denkbar. Der sog. TB-Wert ist z.B. das Produkt aus stationärem Schwimmwinkel und der Peak-Response-Time, der Ansprechzeit des Fahrzeugs nach einem Lenkwinkelsprung, und bereits 1973 als mögliche Größe zur Beschreibung der Querdynamik veröffentlicht [3]. Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob die objektiven Größen direkt in dem Versuch gemessen werden, in dem auch das Subjektivurteil abgefragt wird oder ob objektive Kenngrößen von dem Fahrzeug bzw. den Varianten in speziellen Versuchen (z.B. auch auf Prüfständen) ermittelt werden.

Zur Untersuchung des Schwingungskomforts wird meistens Mess- und Beurteilungsfahrt zusammengelegt. Bei Fahrt über eine unebene Strecke werden die Beschleunigungen am Fahrzeug und auf den Sitzen gemessen und gleichzeitig die Wahrnehmungen abgefragt, Bild 13. Aus den Zeitsignalen der Messungen müssen zunächst Kennwerte berechnet werden, die Korrelationsrechnungen zugeführt werden können. Für das in Bild 13 gezeigte Beispiel sind die K-Werte, Effektivwerte und Klassierungen. Die K-Werte berücksichtigen das bei verschiedenen Frequenzen unterschiedliche menschliche Schwingempfinden über Formfilter und auch die Gesetzmäßigkeiten beim Zusammenwirken verschiedener Schwingformen [4]. Das Ergebnis einer Korrelation des Effektivwertes mit den Subjektivurteilen aus dem Fragebogen nach Bild 12 a) zeigt Bild 14. Die zu beurteilende Eigenschaft „Abrollkomfort“ lässt sich hier sehr gut objektiv beschreiben und erreicht einen Determinationskoeffizienten von $r^2 = 0,975$. Man muss jedoch beachten, dass der gefundene Zusammenhang von dem Unebenheitsprofil der Strecke und der gewählten Fahrgeschwindigkeit abhängig ist und nicht direkt auf andere Anregungsformen übertragbar ist.

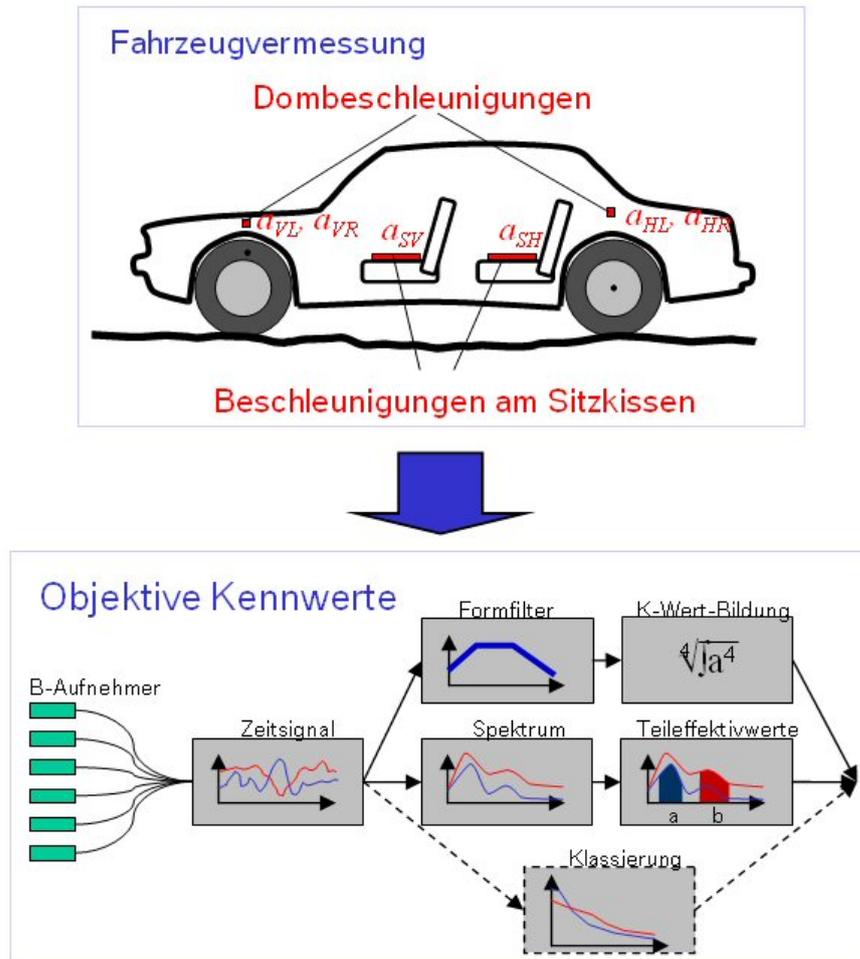


Bild 13: Objektive Kennwertermittlung in der Vertikaldynamik

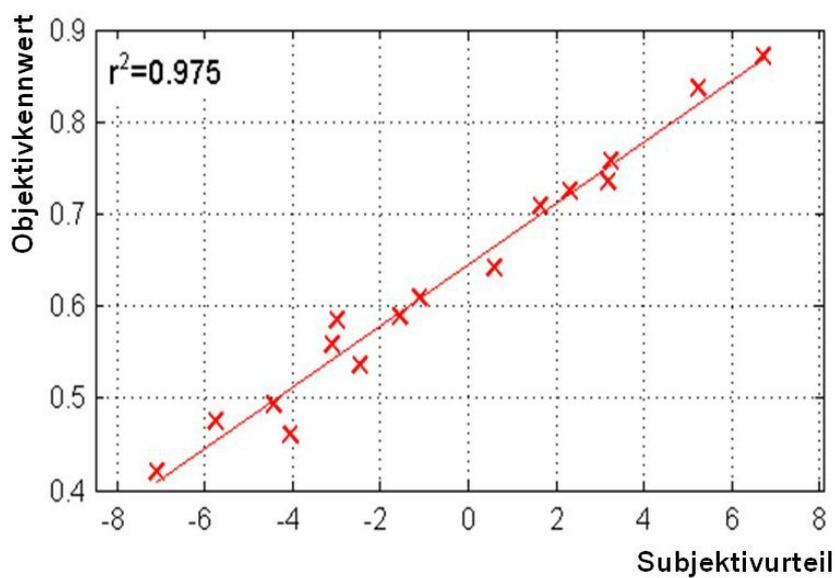


Bild 14: Korrelation zwischen Subjektivurteil und Kennwert

In der Querdynamik werden die objektiven Kennwerte meistens in separaten „open-loop“-Versuchen bestimmt und die Subjektivbeurteilungen in bestimmten

„closed-loop“ – Manövern abgefragt. Da es sich hier nicht nur um die Wahrnehmung einer Störung bzw. Eigenschaft sondern auch um den Umgang mit dieser Störung / Änderung geht, sind ausreichende Korrelationen viel schwieriger zu finden. Unterschiedliche Erfahrungen, Gewohnheiten, Fähigkeiten und auch Vorlieben der Fahrer sind weitere Dimensionen, die die Urteile stark schwanken lassen.

Bei einer Untersuchung der Auswirkungen der Fahrzeugkennwerte „Gierverstärkung“ und „äquivalente Verzögerungszeit“, vgl. Bild 9, ließen sich keine eindeutigen Zusammenhänge finden. Die Größen werden üblicherweise in dem Diagramm nach Weir DiMarco [5] dargestellt, Bild 15. Ausgehend von einem Referenzstand wurde die äquivalente Verzögerungszeit über verschieden schräglaufsteife Reifen und die Gierverstärkung über unterschiedliche Lenkübersetzungen variiert. Die daraus entstandenen Varianten ergeben bestenfalls einen Koeffizienten von $r^2 = 0,79$, Bild 16, wobei noch anzumerken ist, dass die Streubreiten der subjektiven Noten sehr groß waren.

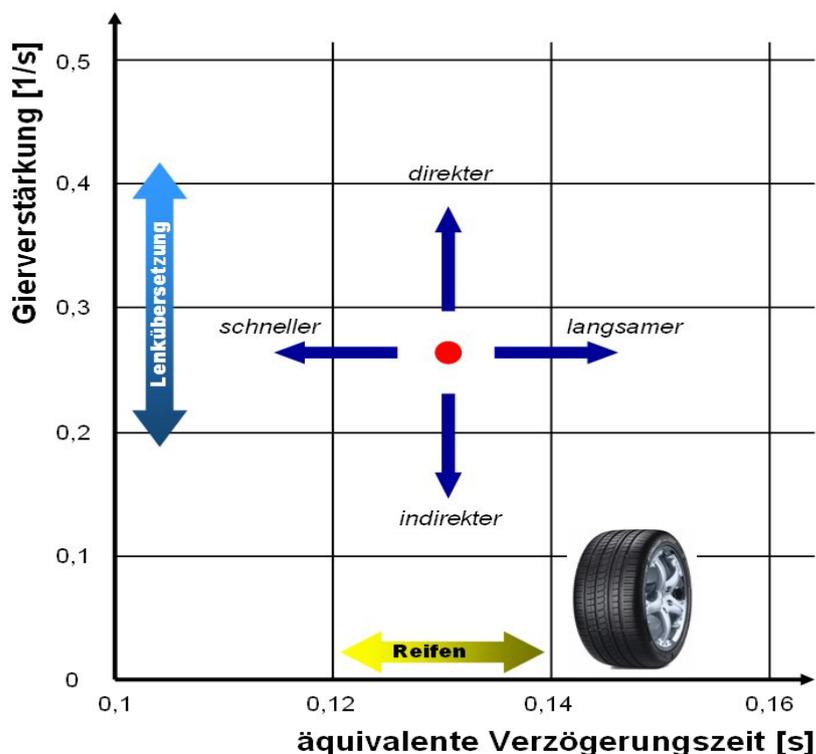


Bild 15: Fahrzeugkennwerte „Gierverstärkung“ und „äquiv. Verzögerungszeit“ im Diagramm nach Weir DiMarco [5]

Die Fahrurteile sind Mittelwerte aus Beurteilungen eines Spurwechsels, einer Slalom- und einer Autobahnfahrt, also recht unterschiedlich ausgeprägte Fahraufgaben. Aber auch bei Konzentration auf nur eine Fahraufgabe werden keine eindeutigeren Fahrerurteile erzielt, d.h. der Fahrerwunsch nach Direktheit und zeitlichem Ansprechen seines Fahrzeugs ist nicht für alle Fahrer gleich ausgeprägt. Natürlich muss bei solch einer Untersuchung immer beachtet werden, dass abgeleitete Varianten mit ihren speziellen unterschiedlichen Eigenschaften möglicherweise ein unabgestimmtes Bild der Gesamtfahreigenschaften abgeben und sich so durch eine nicht optimierte Abstimmung Abstriche in der Beurteilung ergeben.

Eine interessante Untersuchung zur Wahrnehmung von fahrdynamischen Größen ist in [6] beschrieben. Bei gleichzeitiger Quer- und Längsdynamikbeanspruchung wurde untersucht, welche fahrdynamischen Größen der Fahrer wahrnimmt bzw. ihn zu Reaktionen veranlassen. Mit einem Experimentalfahrzeug mit aktivem Fahrwerk gelang es, Hub-, Nick-, Wank- und Gierbewegung weitgehend unabhängig voneinander aufzuschalten. Als Ergebnis zeigte sich, dass vor allem die Gierbewegung gefolgt von der Wankbewegung das Fahrerurteil prägen.

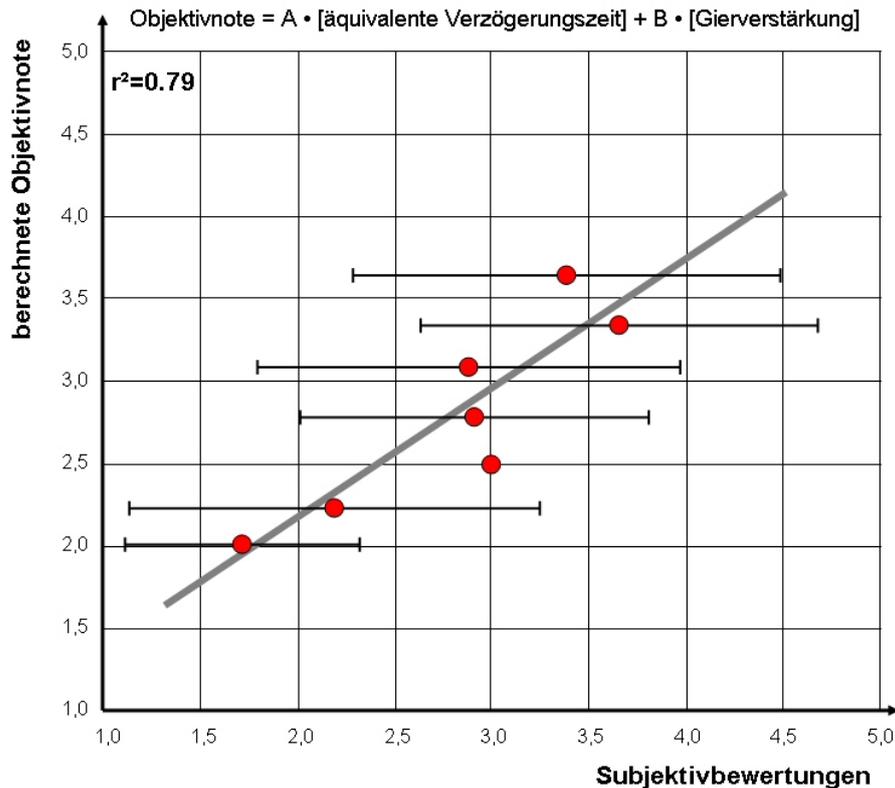


Bild 16: Zusammenhang Objektivnote und Subjektivnote, Beispiel aus der Querdynamik

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Obwohl es schon viele verschiedene und auf Hochreiwerten auch reproduzierbare Testverfahren gibt, ist eine umfassende objektive Beurteilung der Fahreigenschaften eines Fahrzeugs damit nicht möglich. Es können immer nur einzelne Aspekte unter speziellen Randbedingungen mit den „open-loop“-Verfahren bewertet werden. Für den Fahrzeugentwicklungsprozess sind diese Methoden unverzichtbar, zeigen sie doch dem Ingenieur die ihn interessierenden speziellen Eigenschaften der Regelstrecke „Fahrzeug“ unverfälscht auf.

Weiterentwicklungsbedarf besteht vor allem bei Verfahren, die den Fahrer mit einbeziehen. In zahlreichen Versuchsreihen wurde über viele Jahre versucht, Korrelationen zwischen Messgrößen und abgefragten Subjektivrteilen zu finden mit dem Ziel, die Fahreindrücke des Menschen objektiv zu beschreiben. In einzelnen Versuchsreihen wurden durchaus beachtliche Ergebnisse erzielt, eine breite, allgemeine Gültigkeit der Ergebnisse konnte aber meist nicht festgestellt werden. Die Ergebnisse sind auch hier oft nur für die jeweiligen Versuchsbedingungen anwendbar.

Neuere Ansätze mit breiter angelegten Variationen von fahrdynamischen Eigenschaften, die sich mit aktiven Fahrwerkssystemen moderner Fahrzeuge einfacher realisieren lassen, sind ein vielversprechender Weg, hier fundierte Erkenntnisse zu gewinnen. Auch grundsätzliche Untersuchungen zur menschlichen Fähigkeit und Einschätzung von fahrdynamischen Größen, losgelöst vom fertig optimierten Fahrzeug, sind aussichtsreiche Ansätze zur umfassenden Objektivierung von Fahreigenschaften.

LITERATUR

[1] SAGAN, E.: ZUR BEURTEILUNG VON FAHREIGENSCHAFTEN IN FAHRDYNAMISCHEN TESTVERFAHREN, VDI-BERICHTE NR. 1791, 2003, S. 343 - 359

[2] NEUKUM, A., KRÜGER, H.-P.: FAHRERREAKTIONEN BEI LENKSYSTEMSTÖRUNGEN – UNTERSUCHUNGSMETHODIK UND BEWERTUNGSKRITERIEN, VDI-BERICHTE NR. 1791, 2003, S. 297 - 318

[3] LINKE, W., RICHTER, B., SCHMIDT, R.: SIMULATION AND MEASUREMENT OF DRIVER VEHICLE HANDLING PERFORMANCE, SAE-PAPER 730489 (1973)

[4] HENNECKE, D.: ZUR BEWERTUNG DES SCHWINGUNGSKOMFORTS VON PKW BEI INSTATIONÄREN ANREGUNGEN, FORTSCHR.-BER. VDI REIHE 12 NR. 237, DÜSSELDORF 1995

[5] WEIR, D.H., DIMARCO, R.J.: CORRELATION AND EVALUATION OF DRIVER/VEHICLE DIRECTIONAL HANDLING DATA, SAE-PAPER 780010 (1978)

[6] SCHMIDT, G. ET AL : FAHRER – FAHRZEUG – WECHSELWIRKUNGEN BEI FAHRMANÖVERN MIT QUERDYNAMIKBEANSPRUCHUNGEN UND ZUSÄTZLICHEN VERTIKALDYNAMIKSTÖRUNGEN, FAT – SCHRIFTENREIHE NR. 208, 2007 (ERSCHEINT DEMNÄCHST)

ERMITTLUNG QUANTIFIZIERBARER BEWERTUNGEN ZUR QUERDYNAMIK ÜBER EINEN MODELLBASIERTEN ANSATZ

Dipl.-Ing. Harald Meyer-Tuve, Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing

ZUSAMMENFASSUNG

Die Modellierung ist die allgemeine mathematische Beschreibung von Zusammenhängen innerhalb eines Systems. Dabei werden Vereinfachungen angenommen, entweder um die bekannte Komplexität zu reduzieren, oder um fehlendes Detailwissen zu überbrücken.

Im Produktentstehungsprozess wird schon früh dieser Ansatz verwendet, da mit relativ wenig Aufwand erste fahrdynamische Ergebnisse zu berechnen sind. An dieser Stelle sind erste subjektive Einschätzungen wünschenswert, um eine genauere konzeptionelle Zielausrichtung bei der Projektdefinition zu erreichen.

In diesem Beitrag werden die einzelnen Bereiche der subjektiven Fahrdynamikbewertung aus Sicht der Modellbildung betrachtet, mit dem Ziel die virtuelle Fahrdynamik mit subjektiven Anhaltswerten zu erweitern.

Das Konzept der Vorgehensweise wird erläutert, so dass ein Weg der modellbasierten subjektiven Einschätzung auch im frühen Produktentstehungsprozess dargestellt wird.

1 MOTIVATION

Die Fahrdynamik ist ein Erlebnis eines Fahrers beim Fahren eines realen Fahrzeugs. Ein neues Fahrzeug wird erst dann für Kunden freigegeben, wenn die fahrdynamische Abstimmung abgeschlossen ist. Die Verantwortung bei der Entwicklung für ein spezielles Fahrzeug trägt meist ein einzelner Ingenieur, der die Interessen der Zielkunden vertritt. Er entscheidet die Richtung der Abstimmung und muß sich auf seine subjektive Beurteilung verlassen können. Dazu regt der Ingenieur das Fahrzeug im closed-loop Verfahren gezielt an und bewertet anhand der physikalischen Reaktionsgrößen das Übertragungsverhalten des Fahrzeugs.

In der frühen Entstehungsphase eines neuen Fahrzeugs können die Reaktionsdaten nur mit Simulationsprogrammen erstellt werden. Für konzeptionelle Entscheidungen, die zu diesem Zeitpunkt anstehen, muss der Ingenieur diese objektiven Daten bezüglich subjektiver Beurteilungen interpretieren. Aufgrund seiner Erfahrung mit vielen Vergleichsfahrzeugen kann er auf ein breites Wissen zurückgreifen, so dass er eine Vermutung der Bewertung anhand der objektiven Daten aufstellen muss (Heißing et al. 1989; Heißing & Brandl 2002).

Das Verfahren könnte beschleunigt und vereinfacht werden, wenn man seine subjektiven Eindrücke objektivieren und archivieren könnte.

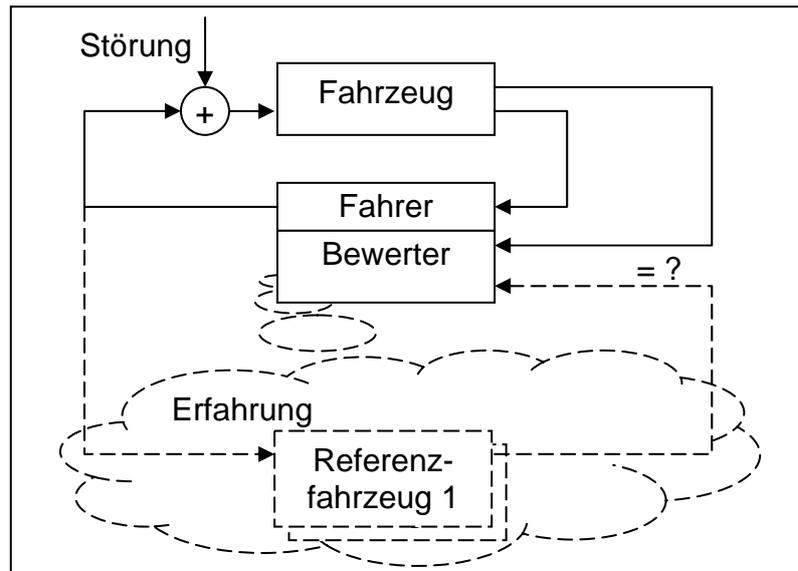


Bild 1: Ist-Stand der Fahrzeugbewertung

Mit dem modellbasierten Ansatz in diesem Beitrag soll exemplarisch eine Wissens-Datenbasis geschaffen werden, welche die Charakteristik der Referenzfahrzeuge und die Bewertungen eines qualifizierten Ingenieurs verknüpft. In Bild 1 ist dieser Bereich gestrichelt dargestellt. Diese Wissensdatenbasis kann herangezogen werden, um mit einer automatischen Routine auch Simulationsdaten subjektive Bewertungen zuzuordnen, die sich auf menschliche Urteile stützen.

2 MODELLBILDUNG

Modellbildung ist die allgemeine, einheitliche und mathematisch-physikalische Beschreibung eines Systems. Jedes Modell stellt eine Vereinfachung des realen Systems dar. Ein Modell hat erst dann eine Bedeutung, wenn sinnvolle Parameter dem Modell hinterlegt sind.

Grundsätzlich gilt, daß der Komplexitätsgrad gleich bleibt, um Ergebnisse gleicher Güte zu erzielen. Das bedeutet, daß mit einem einfachen Modell die Parametrierung aufwendiger gestaltet werden muß, um zu einem vergleichbar guten Ergebnis zu gelangen wie mit einem aufwendigen Modell mit einfachen Parametern.

Am einfachen Beispiel des Zweimassenschwingers, siehe Bild 2 und 3, kann das System entweder über *zwei* Elemente (Feder und Dämpfer) oder über *ein* Krafterelement beschrieben werden.

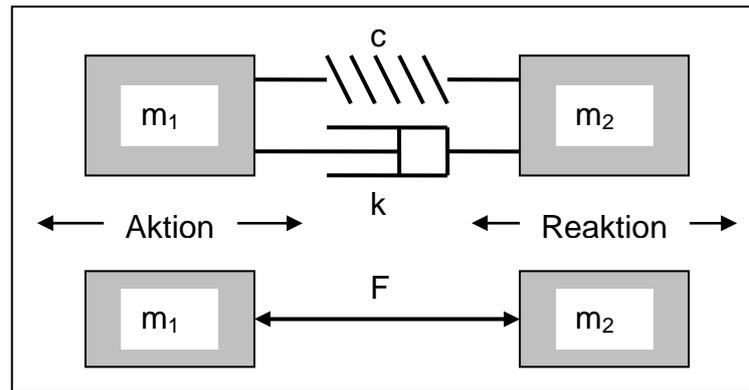


Bild 2: Modellierung eines Zweimassenschwingers

Jedes der masselosen Verbindungselemente ist zu parametrieren. Entsprechend der Anzahl sind entweder zwei einfache 2D-Kennlinien oder ein aufwendigeres 3D-Kennfeld notwendig, siehe Bild 4, damit gleiche Ergebnisse erzielt werden.

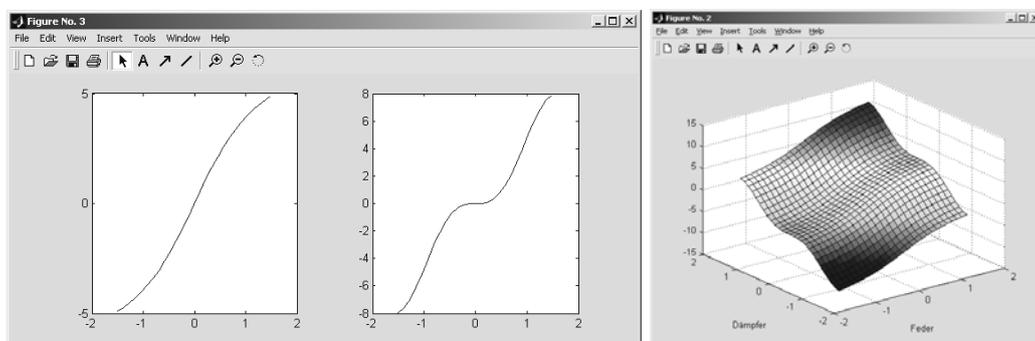


Bild 3: Kennlinien oder Kennfeld zur Zweimassenschwingerparametrierung

An diesem einfachen Beispiel soll verdeutlicht werden, daß nicht die Wahl des Modells, sondern die Kombination mit der Parametrierung die Güte der Ergebnisse bestimmt.

Bei der Fahrzeugmodellierung bedeutet es, daß auch ein einfaches Modell mit komplexen Parametern die gleichen Ergebnisse liefern kann wie ein detailliertes Modell. Gerade bei der Online-Parametrierung eines Fahrzeugs ist es jedoch wichtig, die Anzahl der zu identifizierenden Parameter möglichst gering zu halten (Kobetz 2004; Zomotor 2002).

2.1 Fahrermodelle

Der Fahrer im Beurteilungsprozess hat eine doppelte Aufgabe. Einerseits die Fahrzeugführung und andererseits die Beurteilung des Fahrzeugs im Gesamtsystem. Obwohl beides die gleiche Person erledigt, wird bei der Modellierung eine Differenzierung vorgenommen.

Für die Fahrzeugführung ist der Modellierungsansatz bereits kritisch, obwohl die Fahraufgabe klar definiert werden kann. Viele Untersuchungen, z.B. (Neukum 2002), zeigen eine Varianz bei der Regelungsstrategie. Jeder Fahrer führt selbständig aus seiner Wahrnehmung die Regelung durch, so dass auch Erfahrungen in der Wahrnehmung einen Einfluß auf die Regelstrategie haben.

Die elementare Grundaufgabe der Fahrzeugführung wird mit den meisten Fahrermodellen recht gut wiedergegeben. Der Grenzbereich oder überhöhte Steilkurven sind von einfachen Fahrermodellen nicht zu meistern. Obwohl man das physikalische Übertragungsverhalten zwischen Wahrnehmung und Reaktion nicht kennt, ist die zurückgelegte Fahrstrecke von Fahrermodell und realem Fahrer meist deckungsgleich. Dies ist erstaunlich, weil man bei der Fahrermodellierung eine Methode der Vereinfachung benutzt, ohne das wirkliche System zu kennen.

Aus der Fahrzeugführung wird in (Henze 2004) ein viel versprechender Ansatz für die Fahrdynamikbewertung abgeleitet. Dort ist der Regelaufwand zum Beispiel für die Spurhaltung die Basis für die Korrelation zum subjektiven Urteil.

Im Gegensatz zur Fahrzeugführung, bei der physikalisch eindeutige Reaktionen des Fahrers gemessen werden, ist ein direkter Modellierungsansatz für die Urteilsfindung extrem kritisch. Ein Grund ist die stark ausgeprägte Individualität jedes einzelnen Beurteilers. Auch statistische Auswertungen sind daher in diesem Bereich nicht Ziel führend. Die unterschiedlichen Ausprägungen der Wahrnehmung und Beurteilung haben ihren Ursprung unter anderem in den regional verschiedenen Wertvorstellungen oder den Erfahrungen, die sich bei jedem Fahrer unterscheiden.

Durch die ständige Weiterentwicklung von Sicherheitsansprüchen und Regelsystemen verändern sich auch die Erwartungen der Beurteiler an das Gesamtsystem. Dieser Fortschritt der Zeit trägt einerseits den Nachteil, dass gefundene Korrelationsansätze schnell veralten, gibt aber auch die Chance durch Extrapolation neue Entwicklungsziele zu konkretisieren.

2.2 Fahrzeugmodelle

Ein Fahrzeugmodell ist eine Abbildung des Gesamtsystems eines Fahrzeugs, das sich wiederum aus vielen Einzelmodellen zusammensetzen kann. Da die meisten physikalischen Zusammenhänge gut nachvollziehbar sind, ist es sicherlich sinnvoll, beim Fahrzeug den Modellierungsweg zu gehen, wie es die Historie des Einspurmodells zeigt.

Mit der Computerentwicklung hat die Modellbildung von Fahrzeugen stark an Komplexität zugenommen, so daß sich die Mehrkörpersimulation als Standardwerkzeug bei der Fahrzeugentwicklung bereits etabliert hat. Die Parametrierung dieser aufwendigen Modelle fordert jedoch ein sehr genaues Wissen über die Bauteildetails. Dieses Wissen ist in den ersten Entwürfen bei neuen Fahrzeugen meist nicht vorhanden, so dass sich dort die einfachen Modelle wie das Einspur- oder Zweispurmodell weiterhin behaupten können.

Unabhängig von der Fahrzeugmodellierung, ob MKS oder Einspurmodell, werden einzelne Teilsysteme weiterhin über Ersatzmodelle realisiert, wie zum Beispiel die Reibungs- oder Reifenmodellierung, da sie auch heute noch wegen der fehlenden physikalischen Beschreibung oder des zu großen Rechenaufwand an ihre Grenzen stoßen. Die Modellierung ist aber gerade bei den Reifen für einen geschlossenen Regelkreis zwingend erforderlich, so dass hier fehlendes Detailwissen überbrückt wird, siehe Bild 4.

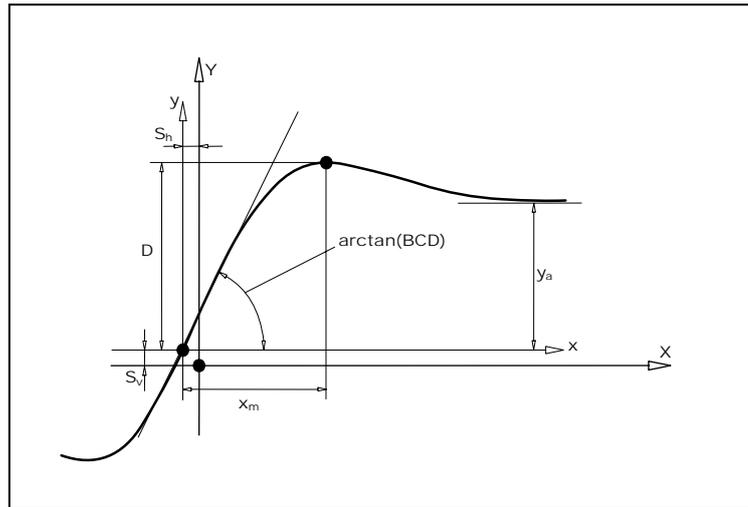


Bild 4: mögliche Kraftmodellierung, z.B. nach Dr. H. B. Pacejka

Mit:
$$Y(x) = D \sin[C \tan^{-1}\{Bx - E(Bx - \tan^{-1}(Bx))\}] \quad (1)$$

Eine detailliertere Beschreibung der Reifenmodellierung ist Bestandteil von aktuellen Forschungsarbeiten, siehe (Gipser 2000)

Weiterhin werden ganze Systeme bereits in Zulieferbetrieben entwickelt und von den OEM verbaut und abgestimmt. Aber gerade bei der Abstimmung, die schon vor der Produktion beginnt, ist eine verlässliche Modellierung der Systemkomponenten unumgänglich.

2.3 Umwelt

Die Reifenmodellierung ist zwar schon beim Fahrzeugmodell angesprochen, steht aber unweigerlich in der Interaktion mit der Strasse. Diese ist der entscheidende physikalische Bestandteil der Umgebungsmodellierung.

Es ist nicht ausreichend, die Geometrie der Strasse bis ins Detail wiederzugeben, sondern auch die chemische Zusammensetzung, die Temperatur und die Feuchtigkeit tragen einen großen Beitrag zur Übertragung von Kräften bei.

Neben der Kraftübertragung spielen auch Detailabbildungen für die subjektive Beurteilung eine Rolle, gerade wenn subjektive Untersuchungen auf einem Fahrsimulator durchgeführt werden. Da die menschliche Signalaufnahme beim Autofahren zu 90% über optische Reize läuft, sind diese Details, wie zum Beispiel Sonnenlicht, Windbewegung von Blättern und Fahrbahngestaltung, besonders zu berücksichtigen.

Auch die akustischen Reize beim Fahren beeinflussen einen Fahrer in seiner Beurteilung, so dass auch dieser Bereich genau wiederzugeben ist. Dabei sind nicht nur das Motor- und Abrollgeräusch, sondern auch deren Reflektionen und Windgeräusche und das Reifenquietschen als Ankündigung des Grenzbereichs notwendig.

Wegen der Vielzahl an Details wurden bei der Modellierung der Umwelt Vereinfachungen akzeptiert, da die benötigte Rechenleistung, z.B. eine CFD Co-Simulation der Vegetationsdynamik nicht gerechtfertigt wäre. Wie weit sich die

angenommenen Vereinfachungen auf den subjektiven Gesamteindruck niederschlagen, ist sicherlich von der Individualität des Beurteilers abhängig und ergibt ein weites Gebiet der Forschung.

3 VORGEHEN DER VIRTUELLEN FAHRDYNAMIKBEWERTUNG

Das übergeordnete Ziel ist es, eine reproduzierbare Bewertungsnote über bestimmte Fahreigenschaften zu bekommen, ohne das Fahrzeug von einem Beurteilungingenieur fahren zu lassen. Diese Bewertung basiert auf den Erfahrungen eines erfahrenen Versuchsingenieurs, die in einer Wissens-Datenbasis abgelegt wurden.

Das Analysetool hat den Anspruch, unabhängig von z.B. Achskonzepten und Spurweite eingesetzt zu werden. Es ergibt sich somit ein Bereich, der nicht a priori physikalisch festgelegt werden kann. Bei der Festlegung des hinterlegten Fahrzeugmodells ist darauf zu achten, dass es den Anforderungen genügt, möglichst wenig zu identifizierende Parameter zu besitzen und dabei die Fahrzeugreaktionen genau genug wieder zu geben, wie es in Kapitel 2 angesprochen wurde.

Die Modellierung beschränkt sich somit auf ein erweitertes Einspurmodell, wobei die Achsen mit Reifen durch mehrdimensionale Abhängigkeiten parametrisiert werden¹. Beschränkungen bei der Verwendung des Tools ergeben sich aus dem Modell, so dass zum Beispiel für Nutzfahrzeuge und Gespanne das Modell erweitert werden müsste.

Ein Grund für möglichst wenig Parameter in dem Modell ist der damit verbundene Aufwand, die nötige Sensorik in das Versuchsfahrzeug zu bringen. Diese Messtechnik darf den Fahrer nicht beim Beurteilen ablenken und die Sicherheit im öffentlichen Straßenverkehr gefährden.

Zum Aufbau einer Wissens-Datenbasis werden verschiedene Fahrzeugvarianten des Versuchsfahrzeugs erstellt, die eine große Streuung der Fahreigenschaften haben. Der erfahrene Versuchsingenieur hat nun die Doppelaufgabe die einzelnen Fahrzeugvarianten zu bewerten und so lange zu fahren, um zur Parametrierung genügend Messdaten zu generieren. Er soll diese Daten durch closed-loop-Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr erzeugen, da auch der Kunde sich in diesem Bereich bewegen wird.

Die Parametrierung teilt sich auf in die Bereiche der stationären und instationären Fahreigenschaften.

Während der Fahrt werden die mehrdimensionalen Schräglaufsteifigkeits-Kennfelder online angepasst, soweit die gefahrenen Sequenzen eine Auswertung dafür zulässt. Der Fortschritt der Parametrierung des Kennfelds wird dem Fahrer in einem grafischen Display verdeutlicht, siehe Bild 5. Somit hat er die Möglichkeit seine Route so abzustimmen, dass auch noch die fehlenden Bereiche abgedeckt werden.

¹ Erwähnt werden sollten Basisabhängigkeiten von Geschwindigkeit und Querschleunigung.

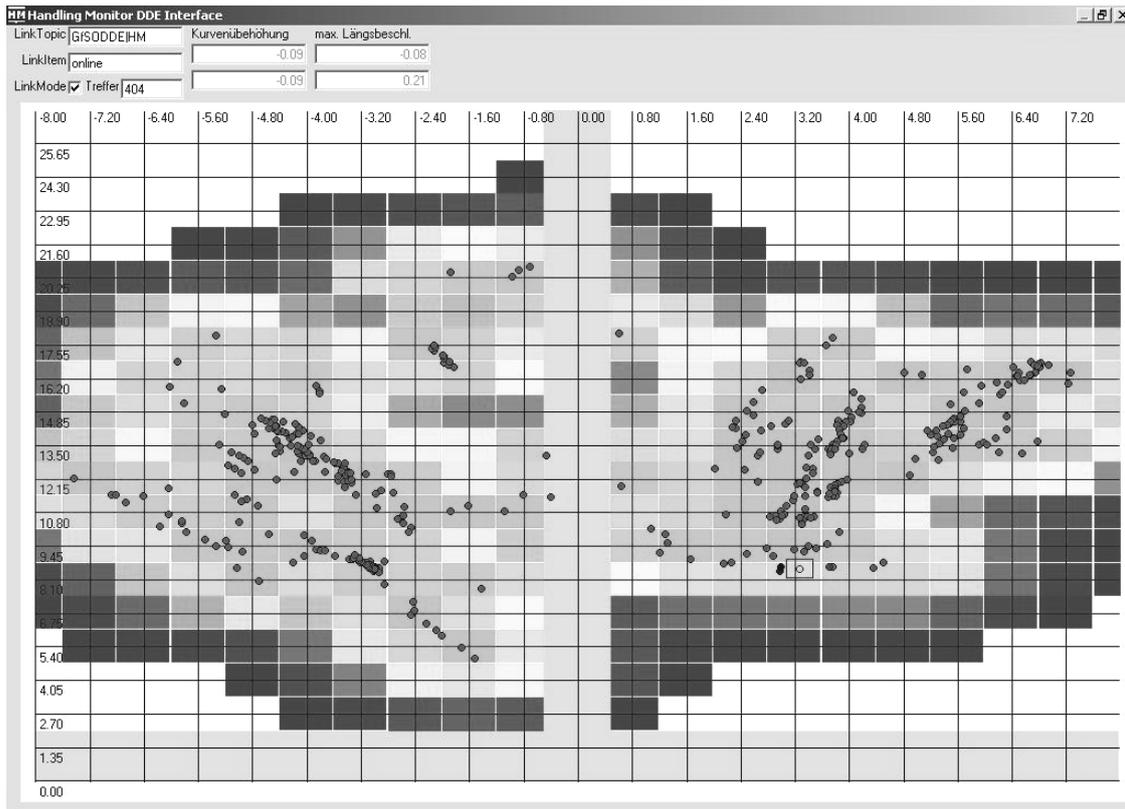


Bild 5: Grafisches Feedback für den Fahrer

Entsprechend zu dem stationären Feedback ist ein Display vorhanden, das dem Fahrer Informationen über die Diagnose von instationären Abschnitten gibt. Dabei werden die Frequenzen von Sinus-Lenksequenzen und Lenkwinkelsprungsequenzen jeweils in Abhängigkeit der Geschwindigkeit angezeigt.

In einem zweistufigen Optimierungsverfahren werden mit den Messdaten aus den instationären Sequenzen die Parameter des Gierträgheitsmoments und der Achseinlaufängen ermittelt. Die noch verbleibenden Unterschiede sind auf die Modellierungsunschärfe und unzureichende Vermessung zurück zu führen. Sie bleiben wegen der begrenzten Rechenleistung bestehen, soweit diese keinen Einfluss auf die Urteilsfindung haben.

Somit sind alle charakteristischen Parameter bestimmt und werden zusammen mit der Bewertung des Ingenieurs in der Wissens-Datenbasis abgelegt. Das parametrisierte Modell ist in der Lage, das zu beurteilende Fahrzeug in seiner physikalischen Eigenschaft wiederzugeben. Mit internen Simulationen im Analysetool können auch charakteristische Werte, CV, (Weir & DiMarco 1978; ISO 4138 2004) nach standardisierten Verfahren ermittelt und in dem Wissenspool abgelegt werden. Nach der Wiederholung für die einzelnen Varianten des Fahrzeugs füllt sich die Datenbasis und schließt die Vorbereitung ab.

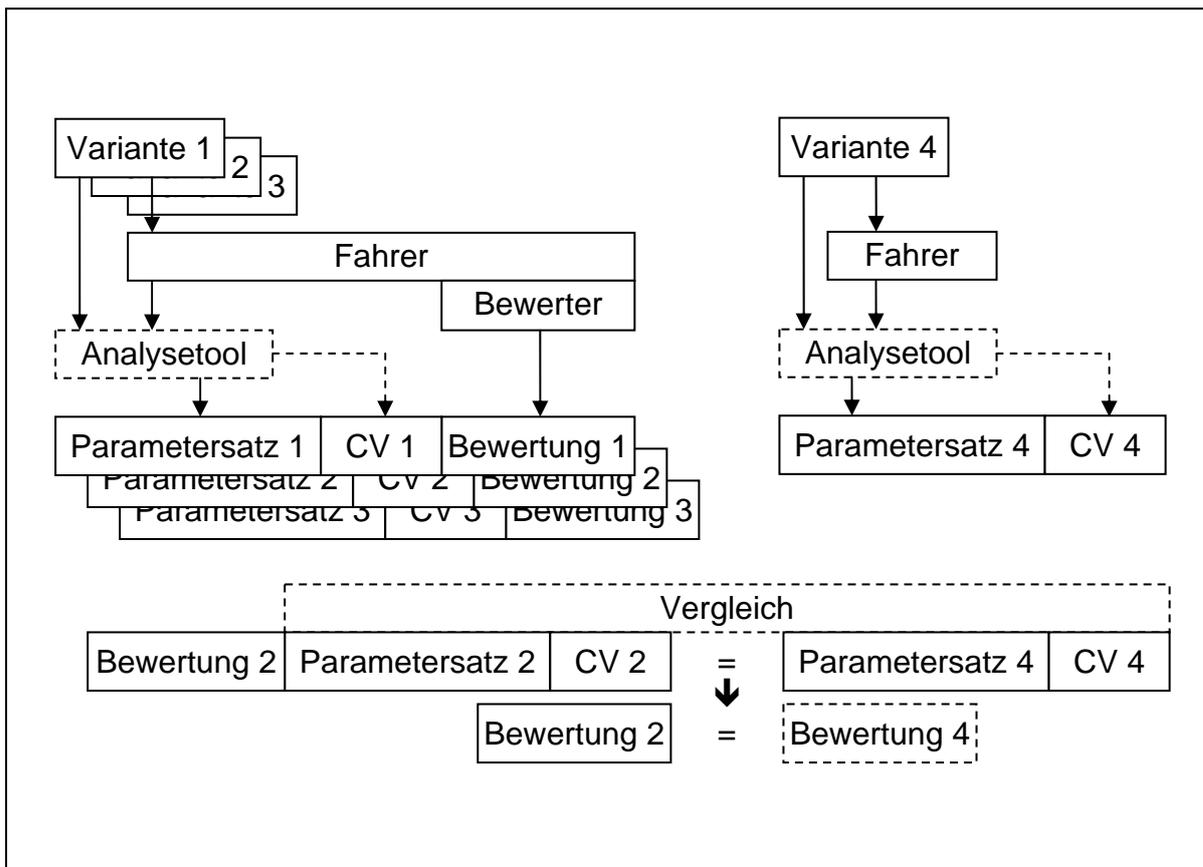


Bild 6: Vorgehensweise

Die Anwendung des Analysetools erfolgt mit einer unbekanntem Variante, in Bild 6 als Variante 4 dargestellt. Entscheidend ist, dass das Fahrzeug² fahrbereit ist. Es kann also davon ausgegangen werden, dass man zusammengehörnde Eingangs- und Ausgangssignale zur Verfügung hat. Damit lässt sich nach der gleichen Methode das Analysetool anwenden, um die objektiven Parameter des identischen Modells und die charakteristischen Werte zu erhalten.

Nachdem das zu beurteilende Fahrzeug über einen Parametersatz physikalisch vermessen ist, wird in der Datenbasis nach Übereinstimmung der objektiven Daten gesucht. Im Fall, dass die Parameter identisch sind, wird postuliert, dass die Bewertung aus der Datenbasis auch auf den gefundenen Parametersatz und damit zu dem vermessenen Fahrzeug passt. Kann kein identischer Parametersatz in der Datenbasis gefunden werden, wird über eine lineare Regressionsanalyse aus den bestehenden Datensätzen eine Bewertung interpoliert.

Am Beispiel der dargestellten Vorgehensweise wird verdeutlicht, dass die Modellbildung in den Bereichen, in denen die Systemzusammenhänge nicht bekannt sind, strikt vermieden wird. In den anderen Bereichen wird der Modellansatz verstärkt eingesetzt, so dass sogar die spezifizierenden Parameter als Charakteristik verwendet werden.

² Es ist nicht entscheidend, ob das Fahrzeug real, als MKS-Modell oder als Konzept-Simulation vorliegt.

4 AUSBLICK

Wir sind nicht in der Lage die Individualität jedes Beurteilers durch eine allgemeingültige Beschreibung zu erfassen. Der dargestellte Ansatz, für einen einzelnen Fahrer seine Eingangs- und Ausgangsgrößen zu erfassen, respektiert das Individuum und stützt sich auf die objektiven Fahreigenschaften. Gleichzeitig wird auch die bereits angesprochene Fahrervarianz vermieden. Im Gegensatz zu statistischen Datenanalysen kann man mit diesem Ansatz den Versuchingenieur zur Absicherung der Bewertung wieder direkt kontaktieren.

Die beschriebenen Untersuchungen können für die verschiedenen Bewertungskriterien und Fahrzeugklassen mit verschiedenen Beurteilungingenieuren wiederholt werden. Es entsteht eine Vielzahl von Datenbasen. Entsprechend dem zu beurteilenden Zielfahrzeug und dessen Fahreigenschaften muss eine angemessene Datenbank ausgewählt werden.

Die verschiedenen Datenbasen ermöglichen eine statistische Auswertung der Bewertungen. So können Rückschlüsse gezogen werden, inwieweit sich die einzelnen Parameter auf die Bewertung der Fahreigenschaften auswirken.

Der dargestellte Ansatz steht in keinem Widerspruch zu den herkömmlichen Methoden oder anderen neuen Ansätzen. Es bereichert die verfügbaren Methoden im frühen Produktentstehungsprozess und kann auch in realen Fahrzeugen Jungingenieure bei der Ausbildung zum subjektiven Bewerter unterstützen, siehe Bild 7.

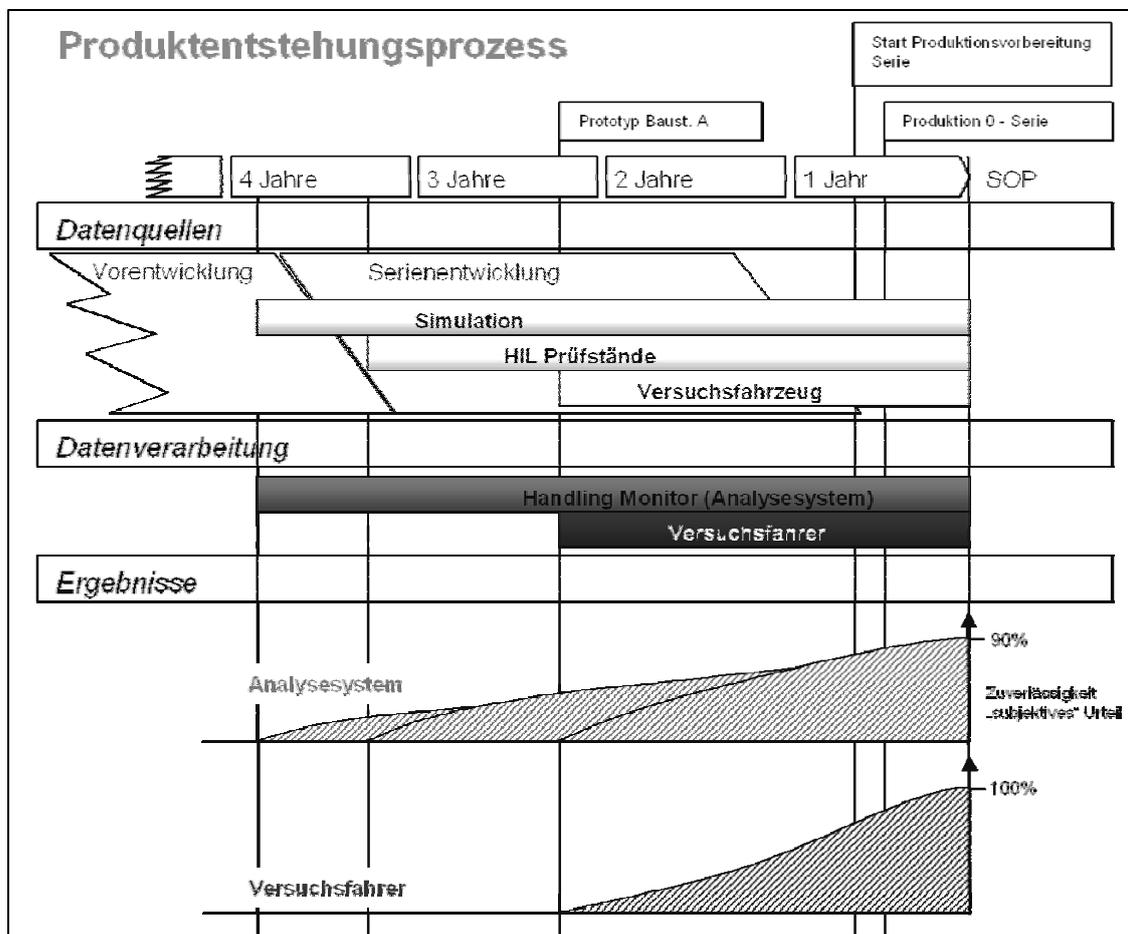


Bild 7: Einsatzgebiet im Produkt-Entstehungs-Prozess

LITERATUR

Gipser, Michael.:

ADAMS/FTire - A Tire Model for Ride & Durability Simulations. ADAMS User's Conference Tokyo, 2000

Heißing, Bernd; Müller, E.; Stockmar, J.:

Die Entwicklungsstufen von Pkw-Allradantrieben der AUDI AG
2. Aachener Kolloquium Fahrzeugtechnik und Motorentechnik, 24.-26.10.1989, Aachen

Heißing, Bernd; Brandl, Jürgen:

Subjektive Beurteilung des Fahrverhaltens
Vogel Buchverlag, Würzburg, 2002

Henze, Roman:

Beurteilung von Fahrzeugen mit Hilfe eines Fahrermodells
Dissertation, TU Braunschweig, 2004

ISO 4138: 2004

Passenger Cars - Steady-state circular driving behaviour - open loop test method

Kobetz, Christian:

Modellbasierte Fahrdynamikanalyse durch ein an Fahrmanövern parameter-identifiziertes querdynamisches Simulationsmodell
Shaker Verlag, Aachen, 2004

Neukum, Alexandra:

Subjektive Fahreindrücke sichtbar machen II
Expert Verlag, Renningen, 2002

Weir; DiMarco:

Correlation and Evaluation of Driver/ Vehicle Directional Handling Data
SAE, 1978

Zomotor, Zoltán:

Online-Identifikation der Fahrdynamik zur Bewertung des Fahrverhaltens von Pkw
Dissertation, Universität Stuttgart, 2002

RIDEMETER – EIN WERKZEUG ZUR BERECHNUNG DES FAHRKOMFORTS VON PKW

Dr.-Ing. Detlef Kudritzki, AUDI AG, Ingolstadt

ZUSAMMENFASSUNG

Der Ridemeter ist ein Entwicklungstool, welches einen Vorhersagewert für den subjektiv empfundenen Fahrkomfort aufgrund von objektiven Messwerten liefert.

Dieses Entwicklungswerkzeug, basierend auf der 10 Punkte Beurteilungsskala, wird sowohl online im Fahrzeug, als auch offline in der Auswertung verwendet. Der modulare Aufbau des ridemeters ermöglicht nicht nur die Verwendung gemessener Daten, sondern auch den Einsatz der aus Simulationsmodellen generierten Daten.

Während eines Fahrtests werden die Messwerte, welche die Schnittstelle Fahrer-Fahrzeug abbilden, erfasst und in geeigneter Weise bearbeitet. Hierdurch kann sowohl der aktuelle Wert als auch die Historie vom Anwender betrachtet werden. Die Messwerte werden entsprechend der subjektiven Wahrnehmung bearbeitet und zueinander gewichtet. Das nichtlineare Bewertungsverhalten des Fahrers wird ebenfalls berücksichtigt. Ein objektiver und konstant skaliertes Maßstab trägt dafür Sorge, dass nicht nur unterschiedliche Fahrzeuge, bzw. Zustände, auf einer Strasse verglichen werden können, sondern auch verschiedene Strassen und sogar Prüfstandfahrten.

1 EINLEITUNG

Subjektive Fahreindrücke transparent zu machen – das war die Idee, welche zu der Entwicklung des ridemeters führte. Der steigende Zeitdruck in der Entwicklungsphase eines Automobils und die immer komplexer werdenden Entwicklungsaufgaben machen eine stärkere Unterstützung der subjektiven Bewertung des Fahrverhaltens durch messtechnische Prüfmethode notwendig. Die Komplexität der Entwicklungsaufgaben drückt sich in der wachsenden Anzahl der Modelle multipliziert mit ihren Derivaten und dem steigenden Erprobungsumfang aus. Die Anwendung und Aussagekraft der Messungen zum Fahrverhalten hängt stark von der Korrelation zwischen subjektivem Urteil und objektiven Messwert ab. Dies gilt sowohl für den Bereich der Fahrdynamik, als auch für den Fahrkomfort.

Der wachsende Anspruch des Kunden, insbesondere an den Fahrkomfort eines Premiumfahrzeugs, führte in der Fahrwerksentwicklung der Audi AG zu dem Wunsch nach einem verlässlichen Beurteilungsmaßstab für den Fahrkomfort. Es entstand, nach intensiven Voruntersuchungen, ein Entwicklungstool, welches wir ridemeter nennen. Die intensive Validierung des ridemeters erlaubt es, aussagefähige Ergebnisse zu bekommen, welche eine hohe Akzeptanz beim Entwicklungsingenieur haben. Der ridemeter ist in der Lage berechnete Beurteilungen für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte auf unterschiedlichen Straßen zu liefern. Die unkomplizierte Handhabung des Gerätes ermöglicht einen Einsatz auf breiter Basis. Der ridemeter wird online als unterstützendes Werkzeug

während der Fahrtests verwendet, er bietet außerdem breite Anwendungsmöglichkeit offline in der Nachbereitung der Testfahrten. Ziel der Arbeiten am ridemeter ist nicht der Ersatz des menschlichen Urteils, sondern die Unterstützung der subjektiven Beurteilung des Fahrkomforts. Das Einsatzgebiet des ridemeters beschränkt sich auf die Audi Produktpalette und seiner direkten Wettbewerber.

2 ANSATZ

Der ridemeter liefert einen berechneten Notenwert für den subjektiv empfundenen Fahrkomfort aufgrund von objektiven Messwerten. Der berechnete Notenwert entspricht der üblichen 10er Skala (Bild 1).

Note	Stufung	Bewertung	Wahrnehmung
10	1	optimal	keine
9	1	sehr gut	Experte
8	0.5	gut	
7	0.25	noch gut	Kritischer Kunde
6	0.25	befriedigend	
5	0.25	Grenzfall	
4	0.5	mangelhaft	Durchschnittlicher Kunde
3	1	schlecht	
2	1	sehr schlecht	
1	1	völlig ungenügend	

Bild 1: subjektive Beurteilungsskala

Die Beziehung zwischen objektiven und subjektiven Daten wird physikalisch durch die Schnittstelle (Interface) Fahrer – Fahrzeug beschrieben. Die Schnittstelle ist definiert als der Kontakt des Fahrers mit dem Fahrzeug durch die Wahrnehmungen seiner Sinnesorgane [Kudritzki, 2000].

Wahrnehmung	Sinnesorgan	Meßgröße
Akustik	Ohr	Schall Innenraum
Optik	Auge	Strassenoberfläche
Haptik	Hautrezeptoren	Beschleunigung Sitz, Armlehne, Fußraum
Kinästetik	Verstibularorgan	Beschleunigung Fahrzeugaufbau

Tabelle 1: Wahrnehmung

Richtigerweise müsste der der Bewertung des Fahrkomforts vom Diskomfort [Leatherwood, 1984] besprochen werden, da alles, was der Fahrer diesbezüglich spürt, zu einer Verschlechterung der Komfortbewertung führt.

Deshalb lautet die Grundformel für den ridemeter:

$$rm = 10 - a \cdot k$$

a-Wichtungsfaktor

k-Kennwert

Mit dieser Formel werden 2 Datengruppen miteinander verknüpft, welche aus unterschiedlichen Gründen eine Unschärfe aufweisen. Die Datengruppe, welche

sich aus den Messsignalen speist, erhält ihre Unschärfe zunächst aus der Streuung der Messwerte, welche sich trotz gute Reproduzierbarkeit gerade bei singulären Ereignissen nicht vermeiden lässt. Die anschließende Komprimierung der Messsignale führt zu einer weiteren Unschärfe. Aber auch die subjektiven Urteile unterliegen einer Streuung, die sich sowohl auf eine Einzelperson, als auch auf eine Personengruppe bezieht.

Es ist offensichtlich, das ein subjektives Urteil nicht nur von einem Kennwert abhängen kann, deshalb ergibt sich die allgemeine Formel für den ridemeter zu:

$$rm = 10 - a_1 \cdot k_1 + a_2 \cdot k_2 + a_3 \cdot k_3 + \dots + a_n \cdot k_n$$

a-Wichtungsfaktoren

k-Kennwerte

Die Wichtungsfaktoren passen die messtechnischen Kennwerte der 10er Skala an. Die Kennwerte wiederum sind eine starke Komprimierung sämtlicher, während eines Fahrtests ermittelten, Meßsignale. Der statistische Zusammenhang, beschrieben durch die multiple Korrelation, war die Basis für die anschließende empirische Weiterentwicklung des ridemeters.

2.1 Verknüpfung von Subjektivurteil und Messdaten

Der grundsätzliche Weg der Ermittlung des Zusammenhangs zwischen objektiven und subjektiven Daten entsprechend der obigen Formel ist in Bild 2 dargestellt.

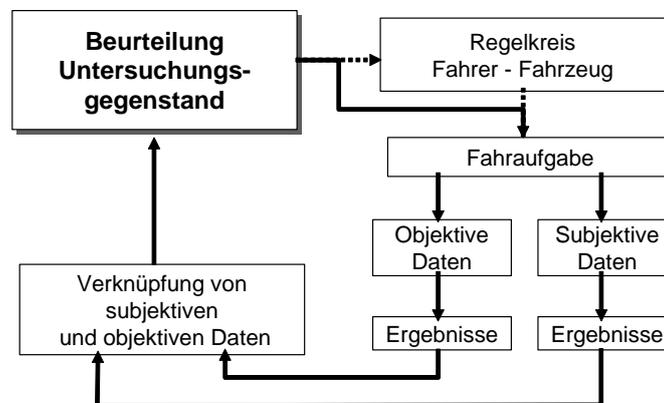


Bild 2: Korrelation subjektiver und objektiver Daten

Der ganz überwiegende Teil der Fahrsituationen, in denen der Fahrkomfort beurteilt wird, ist dem Bereich der open loop Fahrmanöver zu zuordnen. Aus diesem Grund entfällt eine Betrachtung des Regelkreises Fahrer – Fahrzeug und die Auswahl einer geeigneten Fahraufgabe reduziert sich auf die Wahl einer geeigneten Straßenanregung und eines entsprechenden Geschwindigkeitsprofils. Die während der Tests ermittelten subjektiven und objektiven Daten werden zunächst getrennt so aufbereitet, dass sie einer Verknüpfung zugänglich gemacht werden können. Mittels Partialkorrelationen werden redundante Informationen eliminiert, um einerseits auf diese Weise die Anzahl der Kennwerte zu reduzieren und andererseits die Informationsqualität zu steigern. Die Verknüpfung der Datenmengen wird durch eine multiple Korrelation realisiert.

$$\text{Multiple Korrelation : } R_n = \sqrt{\sum_k^{m=1} b_{mn} \cdot g_{mn}}$$

$$\text{Gewichtsmatrix : } \mathbf{G} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}$$

*g - Faktor, gebildet aus dem entsprechenden Wert der Gewichtsmatrix **G***

*b - Faktor, gebildet aus dem entsprechenden Wert der Matrix **B***

Matrix A: Die Matrix wird aus den Einzelkorrelationen der Prädiktorvariablen gebildet.

Matrix B: Die Matrix wird aus den Einzelkorrelationen zusammengesetzt, die sich aus den Prädiktor- und Kriteriumsvariablen zusammensetzen.

Matrix G: Die Matrix wird nach der angegebenen Formel aus Matrix A und B gebildet. Sie wird Gewichtsmatrix genannt und wichtet die Korrelationen der Matrix B im Gesamtergebnis.

Multiple Korrelation R_n : Die multiple Korrelation ergibt sich aus der Summe der Produkte aus den Matrizen B und G.

Das Ziel der multiplen Korrelation war der Kompromiss zwischen einer hohen Korrelation und einer geringen Anzahl an Kennwerten.

2.2 Kennwerte

Ziel der Entwicklung des ridemeters war die Berechnung des subjektiv empfundenen Fahrkomforts aufgrund von Messdaten. Aus dieser Zielsetzung erfolgt zwingend eine Auswahl von Messsignalen, welche die Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug beschreibt.

Die Messsignale sollten die Größen aufzeichnen, welche der Fahrer über seine Sinnesorgane direkt wahrnehmen kann. Zusätzlich noch jene, welche aus den direkt wahrnehmbaren abgeleitet werden können. Der Auswahl der Messsignale und der Messpositionen folgt die Komprimierung der Datenmenge. Aus den ermittelten Zeitverläufen müssen Kennwerte gebildet werden. Die Kennwerte der Signale ergeben sich sowohl aus dem Zeit- als auch Frequenzbereich. Es wurden neben den aus der Literatur [Bendat, Piersol, 1976; Cucuc, 1992; Klingner, 1996; VDI 2057, 1987; Hennecke, 1995] bekannten Kennwerten eine Vielzahl neuer Kennwerte gebildet. Obwohl sich durch den Schritt vom Messsignal zum Kennwert, bezogen auf den digitalen Speicherplatz, eine erhebliche Reduzierung der Datenmenge ergeben hat, ist die nun zur Verfügung stehende Datenmenge noch nicht geeignet das subjektive Urteil in ausreichender Güte zu beschreiben. Durch sehr umfangreiche Korrelationsrechnungen wurde ein Satz an Kennwerten und entsprechenden Wichtungsfaktoren ermittelt, welcher in hoher Qualität das subjektive Urteil beschreibt.

2.3 Wichtungsfaktoren

Ein besonderes Augenmerk in der Entwicklungsphase wurde neben der Auswahl der Kennwerte auf die Wichtungsfaktoren gelegt. Zwar sind die Wichtungsfaktoren das Ergebnis der multiplen Korrelation, aber durch eine geeignete Auswahl der Datenmenge, lassen sich die Faktoren auf ihre Robustheit überprüfen. Hierzu wurde der Einfluss der Datenmenge auf die Wichtungsfaktoren untersucht. Sowohl bei den ursprünglichen Daten, als auch bei den folgenden Untersuchungen ergaben sich geringe Schwankungen bei den Wichtungsfaktoren. In einer eigenen

Versuchsreihe wurden die Messpositionen Sitzschiene und Lenkrad bezüglich ihrer Wichtung über den Frequenzbereich analysiert. Es konnten die Kennwerte der multiplen Korrelation bestätigt werden. Zusätzlich konnte eine dBA-ähnliche Wichtungskurve für den Frequenzbereich ermittelt werden.

Nach Ermittlung des statischen Zusammenhangs zwischen Subjektivurteil und Messdaten war es unbedingt notwendig diese Formel einer breiten Erprobung zu unterziehen. Dies war der Schritt von einem Fahrzeug und einer Straße zu allen Fahrzeugen und allen Straßen. Wobei ein Fahrzeug und eine Straße symbolisch zu verstehen ist, denn der grundsätzliche statistische Zusammenhang wurde mit einer größeren Anzahl Fahrzeugen einer Modellreihe auf den unterschiedlichen Straßen des Audi Prüfgeländes ermittelt. Zwischenzeitlich ist die Gültigkeit des ridemeters auf den Prüfstand erweitert worden.

3 UMSETZUNG

Nach dem zuvor beschriebenen Verfahren wurde der ridemeter für den Fahrkomfort von Pkw entwickelt. Der ridemeter beschreibt den fühlbaren und hörbaren Fahrkomfort bei Geradeausfahrt. Der Übergang von der Geradeausfahrt zur Kurvenfahrt ist nicht nur beim Straßenbau durch die Klothoide fließend, sondern auch bei der fahrzeugtechnischen Definition von Fahrkomfort und Fahrdynamik. Aus diesem Grund kann der ridemeter auch bei kurvigem Streckenverlauf eingesetzt werden, da alle relevanten Messsignale erfasst werden.

Der ridemeter basiert auf einer Modulstruktur (Bild 3), welches ein flexibles Anpassen des ridemeter an sich ändernde Randbedingungen ermöglicht.

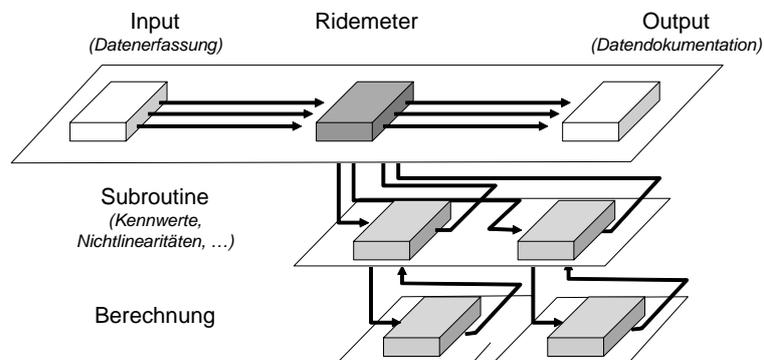


Bild 3: ridemeter - Datenstruktur

Im Folgenden wird auf die Hauptmerkmale des ridemeters eingegangen, eine Darstellung der Details wäre zu umfangreich und hängt sehr stark von der Firmenphilosophie ab.

Folgende Beurteilungskriterien werden vom ridemeter berechnet:

Fahrkomfort		Allgemeiner Fahrkomfort
Aufbau	Hub	Aufbaubewegung vertikal
	Wanken	Aufbaubewegung um die Längsachse
	Nicken	Aufbaubewegung um die Querachse
Stuckern	Motor	Aggregatbewegung durch Strassenanregung
	Achse	Achsbewegung durch Strassenanregung
Zittern		Karosseriebewegung durch rippige

		Strassenanregung
Harshness		Karosseriebewegung durch rauhe Strassenoberfläche
Lenkvibrationen	Schwingungen	Fahrzeugschwingungen, die vom Lenksystem auf das Lenkrad übertragen werden
	Zittern	Schwingungen der Lenksäule
	Kribbeln	Schwingungen des Lenkradkranzes
Akustik	Schlag	Geräusch beim Überfahren schlagartiger Hindernisse
	Abrollen	Geräusch bei Rauhasphalt

Tabelle 2: Beurteilungskriterien ridemeter

3.1 Messsignale

Prämisse bei der Auswahl der Messsignale war die Abbildung der Schnittstelle Fahrer- Fahrzeug. Folgende Messsignale werden vom ridemeter verarbeitet:

<i>Position</i>	<i>Signal</i>	<i>Standard</i>
Sitzschiene	Beschleunigung	X
Sitzkissen	Beschleunigung	X
Fahrzeugaufbau	Beschleunigung, Geschwindigkeit	X
Lenkrad	Beschleunigung	X
Fahrerohr	Schall	X
Armlehne	Beschleunigung	
Fußboden	Beschleunigung	
Vorderachse	Beschleunigung	
Hinterachse	Beschleunigung	
Motor	Beschleunigung	

Tabelle 3: Meßsignale

Aus diesen der optimalen Handhabung des Ridemeters, und vor dem Hintergrund geringer Korrelation zum subjektiven Urteil, konnte der Umfang der notwendigen Messsignale auf einen Standardumfang (siehe Tabelle) reduziert werden.

Aussagefähige und gut vergleichbare Ergebnisse lassen sich mit dem ridemeter nur erzielen, wenn an standardisierten Positionen gemessen wird. Jede Abweichung von diesen Standardpositionen wird mittels einer Impulshammermessung dokumentiert. Für die Position Sitzschiene kann ein Abgleich des ridemeters bei unterschiedlichen Messpositionen durchgeführt werden. Bei der Festlegung von Messpositionen sollten lokale Schwingungsformen vermieden werden.

Die Messsignale werden bis 500 Hz ausgewertet.

3.2 Kennwerte

Die vom Fahrer wahrnehmbaren Größen bilden die Grundlage für die Ermittlung der Kennwerte.

Für nahezu alle Messsignale werden folgende Größen benötigt:

- Weg
- Geschwindigkeit
- Beschleunigung
- Ableitung der Beschleunigung (Ruck)

Die Kennwerte der Korrelationsrechnung werden zu Kennsignalen verarbeitet, da die berechnete Note online, während der Testfahrt angezeigt werden soll.

<i>Position</i>	<i>Signal</i>	<i>Zeitbereich</i>	<i>Frequenzbereich</i>
Sitzschiene	Beschleunigung	Nichtlinearität Effektivwert	Filter: 6 – 150 Hz Teileffektivwert
Sitzkissen	Beschleunigung	Effektivwert	Filter: 1 – 150 Hz Teileffektivwert
Fahrzeugaufbau	Beschleunigung	Ableitung Integration (2x) Nichtlinearität Effektivwert	Filter: 0.5 – 6 Hz Teileffektivwert
Lenkrad	Beschleunigung	Effektivwert	Filter: 4 – 150 Hz Teileffektivwert
Fahrerohr	Schall		Filter: 30 – 500 Hz

Tabelle 4: Kennwerte

Die Signale werden im Zeitbereich und im Frequenzbereich bearbeitet.

Im Zeitbereich werden zunächst gleitende Effektivwerte unterschiedlicher Länge berechnet, um sowohl den allgemeinen Schwingungspegel, als auch die aktuelle Fahrsituation zu berücksichtigen. Die während eines Fahrtests auftretenden Amplituden lassen sich nicht direkt auf die 10er Skala übertragen. Der besonderen Wahrnehmung des Fahrers wird Rechnung getragen, indem die Skalierung der Messwerte dem Beurteilungsmaßstab angepasst. Zunächst werden die Spitzen, empirisch ermittelt, abgeschnitten und das verbleibende Signalband nichtlinear angepasst.

Im Frequenzbereich werden nur bestimmte Frequenzbereiche berücksichtigt, siehe Tabelle 2. Innerhalb dieses Bereiches findet eine Wichtung statt, welche dazu führt, dass einige Frequenzen gar nicht berücksichtigt werden. Für jeden Frequenzabschnitt wird ein gleitender Teileffektivwert gebildet. Für die Messpositionen Sitzschiene und Lenkrad wurden Wichtungskurven für den Frequenzgang ermittelt.

3.3 Nichtlinearitäten

Der Beurteilungsmaßstab des Fahrers ist nicht linear. Die Nichtlinearitäten beeinflussen das Urteil entscheidend. Die wesentlichsten Merkmale der nicht linearen Bewertung sind:

- Überproportionale Bewertung von Einzelereignissen
- Abschwächen extremer Ereignisse
- Anpassen der Benotung an die 10er Skala an beiden Enden

Das Bild 4 zeigt die Anpassung des ridemeters an die allgemeine nicht lineare Bewertung durch den Fahrer.

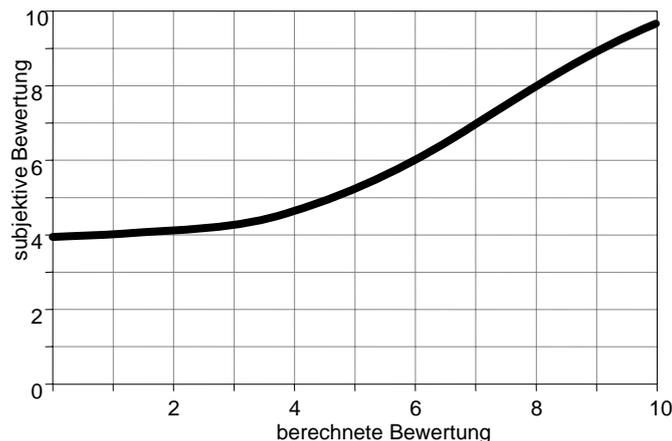


Bild 4: Nichtlinearität der Fahrerbewertung

3.4 Einfluss der Fahrzeugklasse

Das Subjektivurteil für den Fahrkomfort wird beeinflusst durch die Fahrzeugklasse für die es abgegeben wurde. Obwohl einige Fahrer angaben, dass sie in ihrem Urteil die Fahrzeugklasse nicht berücksichtigen, konnte durch zahlreiche Versuche belegt werden, dass die Klasse berücksichtigt wird. Der Benotungspegel des ridemeters ist auf ein Niveau zwischen Audi A4 und A6 abgestimmt. Es besteht die Möglichkeit der zusätzlichen Bewertung für bestimmte Fahrzeugklassen.

3.5 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit

Mit steigender Fahrzeuggeschwindigkeit steigen die Pegel der Sensoren. Unter der Voraussetzung einer stochastischen Anregung wird dieser Einfluss vom Fahrer eliminiert. Der ridemeter bietet die Möglichkeit einer Kompensation der Fahrgeschwindigkeit.

3.6 Zeitverhalten

Die Dauer einer Schwingungsbelastung beeinflusst die Beurteilung des Fahrkomforts. Dieses Verhalten hängt extrem von den Parametern: Zeitdauer, wahrgenommenes Signal, wahrgenommener Frequenzbereich und Anzahl der Wiederholung des Phänomens ab. Da sich in den diesbezüglichen Versuchen keine eindeutige Abhängigkeit ermitteln sich, wurde das Modul Zeitabhängigkeit von ridemeter wieder entfernt. Die praktische Bedeutung des Phänomens wird dadurch reduziert, dass Fahrversuche in der Regel vergleichend durchgeführt werden und somit die Einwirkungsdauer auf den Fahrer bei den Versuchen konstant ist.

4 FUNKTION

Der ridemeter kann in einer Online- und einer Offline Version eingesetzt werden. Der Funktionsumfang hängt von der eingesetzten Version ab.

4.1 Online Version

Die online Version dient der Unterstützung des Fahrers während der Testfahrt. Neben der Anzeige der aktuellen Note und dem Abspeichern von Noten für bestimmte Zeitabschnitte, liefert der ridemeter Informationen in Form von Kennwerten und Spektren, welche eine Analyse noch während des Testbetriebs ermöglichen. Die wesentlichsten Merkmale der Online Version sind:

- Darstellung der Note Fahrkomfort mit allen statistischen Angaben
- Berechnung von Einzelkriterien
- Spektren der wichtigsten Messgrößen
- Angaben zur Reifenunwucht
- Berechnung von statischen Kennwerten zu Messgrößen und ridemeter Note
- Zeitverläufe der Gesamtnote und der Einzelkriterien

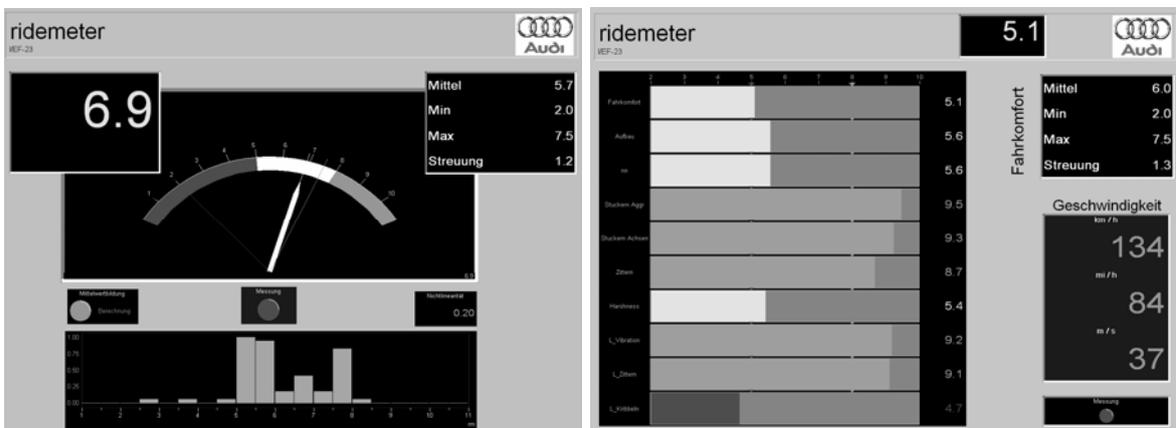


Bild 5, 6: Screenshots ridemeter online

4.2 Offline Version

Die Offline Version des ridemeters beinhaltet neben allen Funktionen der Online Version einige zusätzliche Auswertemöglichkeiten:

- Gewichtete Amplitudenspektren
- Weitere statistische Kennwerte aus der ridemeter Berechnung
- Detaillierte Analyse von zwei unterschiedlichen Fahrzuständen (oder Fahrzeugen)

5 ERGEBNISSE

Anhand von typischen Anwendungsbeispielen werden die Nutzungsmöglichkeiten des ridemeter aufgezeigt. Darüber hinaus hat die Anwendung des ridemeters zu einigen grundsätzlichen Erkenntnissen über die Wahrnehmung des Fahrkomforts geführt.

5.1 Optimierung des Fahrkomforts an einem Fahrzeug

Der ridemeter kann sehr effizient zur Optimierung des Fahrkomforts an einem Fahrzeug eingesetzt werden. Schon während der Fahrt kann die Analyse des Schwingungsverhaltens gestartet werden. Hier werden die Möglichkeiten der offline Analyse aufgezeigt.

Am Beispiel eines Fahrzeuges mit variabler Dämpfung kann sehr anschaulich gezeigt werden, wie der ridemeter das Ergebnis einer Probefahrt von ca. 30 min Dauer auf unterschiedlichen Straßen übersichtlich zusammenfassen kann.

Dargestellt ist im Bild 7 ein Zwischenstand während der Entwicklung des Dämpfungssystems. Es wird deutlich, dass die Stellung Normal ein Gewinn an Komfort gegenüber der Sportstellung aufweist. Dies gilt sowohl für ebene als auch unebene Streckenabschnitte. Anhand der absoluten Noten kann das breite Spektrum an Straßenanregungen abgelesen werden. Es ist allerdings auch ein Bereich (km 34-37) zu erkennen, innerhalb dessen die Stellung Normal keinen Vorteil aufweist. Aufgrund der guten Noten ist zu vermuten, dass es sich um einen Abschnitt mit glatter Oberfläche handelt. Weiteren Aufschluss ergibt ein Vergleich des Abschnitts 1 (0 bis 34 km) zu Abschnitt 2 (34-37km). Dargestellt sind in Bild 8 die Einzelkriterien in Stellung normal (n) und sport (s). Aus dem auffällig geringen Unterschied in der Disziplin Achsenstuckern zwischen den beiden Dämpferstellungen, kann gefolgert werden, dass Achsstuckern die Ursache für einen mangelnden Komfort in der Stellung normal ist. Durch eine entsprechende Wellenform der Strasse neigt das Fahrzeug (Bild 9, zwischen km 36 und 37) zu einem Achsstuckern. Eine Optimierung der Einstellungsparameter erbrachte eine deutlich spürbare Anhebung des Fahrkomforts (Bild 10)

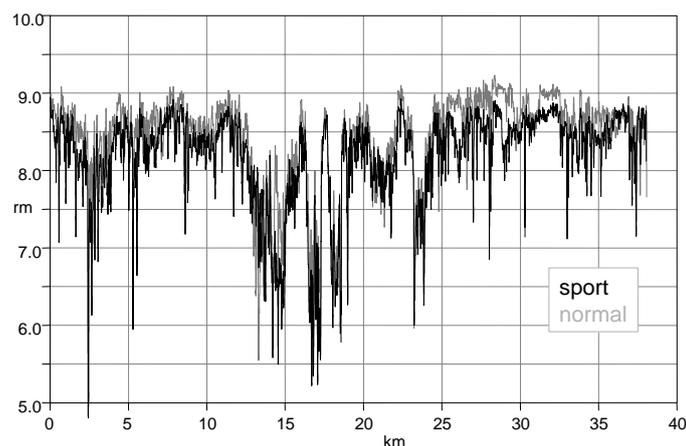


Bild 7: Zeitverlauf ridemeter, Stellung normal und sport

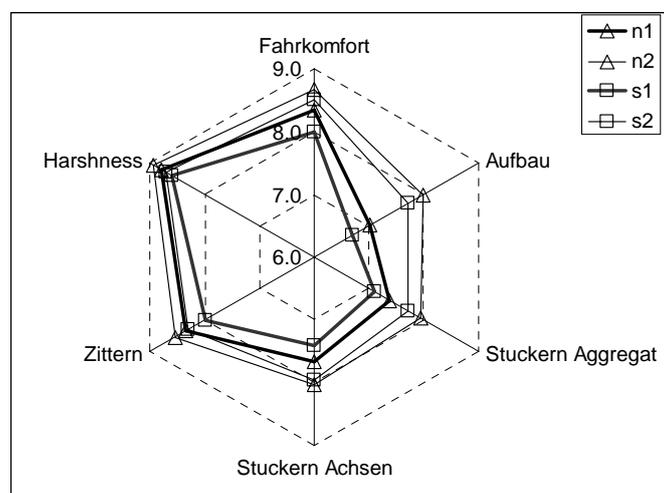


Bild 8: Spinnendiagramm mit Einzelkriterien

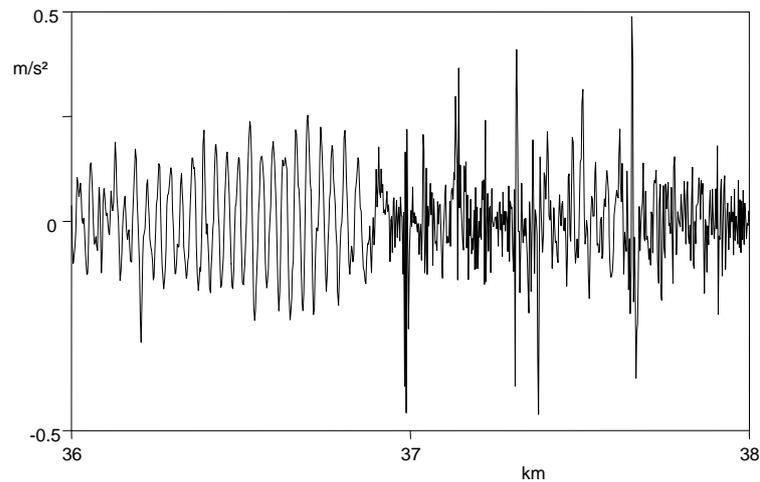


Bild 9: Sitzbeschleunigung X vs Weg

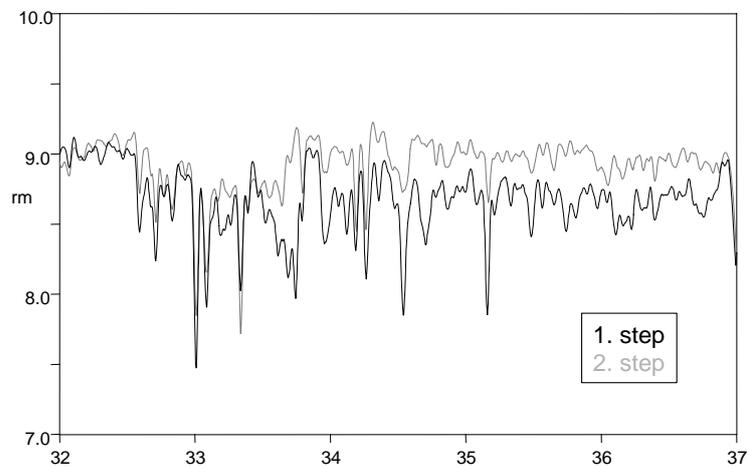


Bild 10: Zeitverlauf ridemeter, optimierte Abstimmung (2. Step)

5.2 Benchmark Untersuchungen

Benchmark Untersuchungen sind ein ideales Anwendungsgebiet für den ridemeter, da der Entwicklungsingenieur in die Lage versetzt wird, sich innerhalb kürzester Zeit einen Überblick über mehrere Fahrzeuge zu verschaffen.

Üblicherweise werden Benchmark Untersuchungen zum Thema Fahrkomfort auf unterschiedlichen Straßenanregungen mit den Wettbewerbern eines Fahrzeugsegmentes durchgeführt. Der ridemeter zeigt wie stark sich die Anregungen unterscheiden (Bild 11) und wie sich die getesteten Fahrzeuge verhalten (Bild 12). Auf Straße Nr. 6 weisen alle Fahrzeuge den schlechtesten Komfort auf. Fahrzeug D ist der beste Wagen im Test, während Fahrzeug C das Schlusslicht bildet.

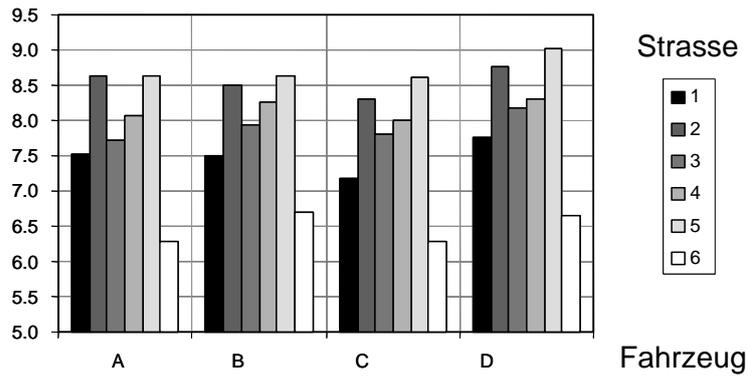


Bild 11: Straßenbewertung durch ridemeter

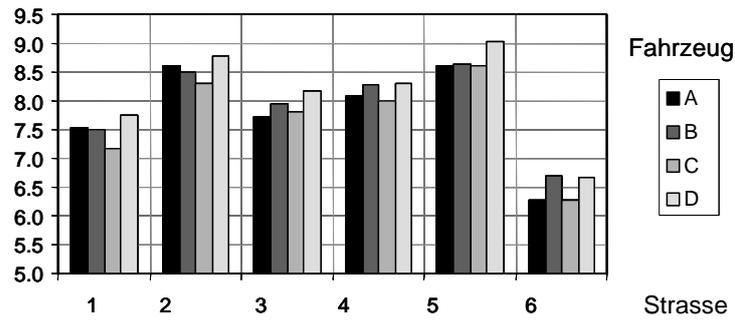


Bild 12: Fahrzeugbewertung durch ridemeter

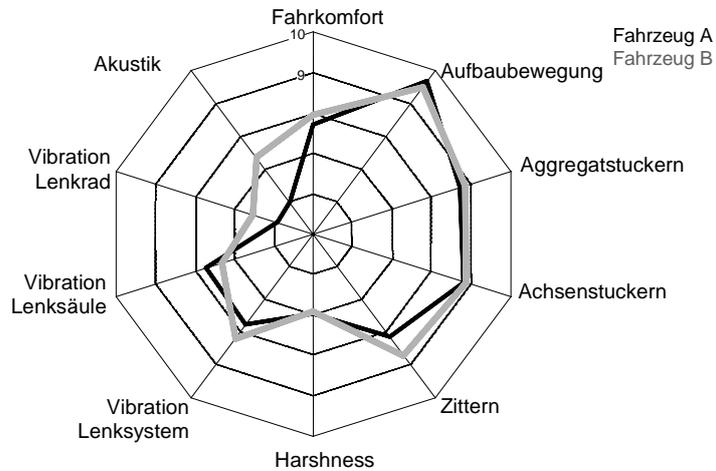


Bild 13: Bewertung der Einzelkriterien für 2 Fahrzeuge aus dem Test

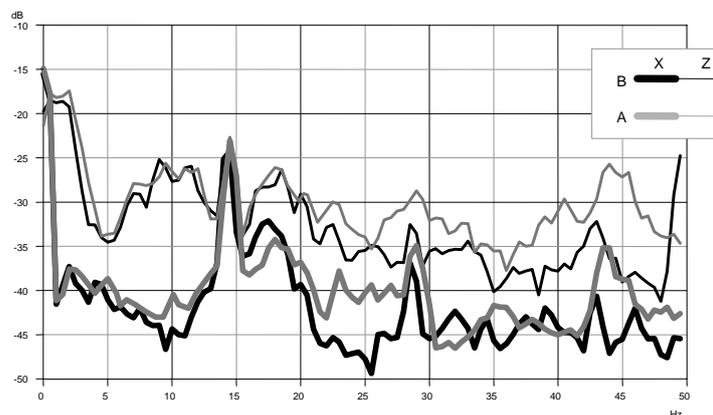


Bild 14: Amplitudenspektrum Sitzschiene, Fahrzeug A und B

Interessant ist der Vergleich zwischen Fahrzeug A und B. Je nach Straßenanregung ergibt sich eine unterschiedliche Reihenfolge. Der ridemeter erlaubt eine detaillierte Analyse indem die Note für den Fahrkomfort nach Einzelkriterien aufgelöst wird. Im so genannten Spinnendiagramm ist neben einem akustischen Problem ein Nachteil im Kriterium Zittern zu erkennen. Um die Ursache hierfür zu erkennen, wird das Amplitudenspektrum betrachtet. Das Spektrum bestätigt, dass sich für Fahrzeug A Nachteile im Zittern ab ca. 20 Hz ergeben. Der erhöhte Schwingungspegel in diesem Bereich resultiert aus Vertikalschwingungen. Zusätzlich angebrachte Sensoren weisen eine Karosserieschwingung als Ursache aus.

Dies Beispiel zeigt, wie aus der zunächst allgemeinen Betrachtung mit Hilfe des ridemeters in Zwischenschritten die Ursache für einen reduzierten Fahrkomfort in bestimmten Fahrsituationen gefunden werden konnte.

5.3 Grundsatzuntersuchungen

Der verbreitete Einsatz des ridemeters in unterschiedlichsten Situationen mit unterschiedlichen Fragestellungen gibt auch Hinweise auf grundsätzliche Beurteilungsmechanismen des Fahrers, welche wiederum in die Weiterentwicklung des ridemeters einfließen. Mit Hilfe der Offline Version ist es möglich jederzeit Berechnung auf Basis der aktuellen und früheren Versionen durchzuführen.

5.3.1 Bewertung von Einzelereignissen

Einzelereignisse werden vom Fahrer überproportional bewertet. Dies ist die Schlussfolgerung aus Reifentests auf dem Audi Prüfgelände. Es wurden Fahrversuche auf eine gute Straße mit schlechten Abschnitten durchgeführt. Der Reifendruck wurde zwischen 1.7 und 2.7 bar variiert. Diese Variation führt zu deutlich spürbaren Veränderungen im Fahrkomfort. Die berechneten Mittelwerte des ridemeters zeigten keine Differenzierung in Abhängigkeit vom Reifendruck.

Reifendruck	1.7	2.0	2.3	2.7
Mittelwert ridemeter	8.4	8.3	8.2	8.2

Dieses Ergebnis entsprach nur in der Tendenz dem subjektiven Fahreindruck. Im nächsten Schritt wurden nur die Minima während des gesamten Tests betrachtet. Das sich ergebende Bild entsprach weitaus mehr dem subjektiven Eindruck.

Reifendruck	1.7	2.0	2.3	2.7
Minima ridemeter	6.7	6.4	6.2	5.8

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der ridemeter ist ein geeignetes Tool zur Darstellung des berechneten Fahrkomforts. Er zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem subjektiven Urteil. Das Tool macht subjektive Beurteilungen transparenter. Die einzelnen Entwicklungsschritte können gut dokumentiert werden. Schnelle Beurteilung des Fahrkomforts und dessen Einzelkriterien anhand von. Eine Detailanalyse der Messdaten wird mit bekannten Methoden der Datenauswertung durchgeführt.

Der ridemeter dokumentiert die Audi Philosophie, die ermittelten Wichtungen der Wahrnehmungen sind deshalb nicht direkt übertragbar. Dies gilt nicht für die grundsätzlichen Wahrnehmungsmechanismen.

Der secondary ride wird vom ridemeter sehr präzise dargestellt. Im Bereich des primary ride gibt es noch Optimierungsbedarf bei den Hub- und Wankbewegungen.

LITERATUR

Bendat, J.S.; Piersol, A. G.:

Random Data - Analysis and Measurement Procedures
2nd Edition Wiley Interscience Publication, 1976

Cucuc, S.:

Schwingempfinden von Pkw Insassen. Auswirkungen von stochastischen Unebenheiten und Einzelhindernissen der realen Fahrbahn
Braunschweig, Technische Universität, Institut für Fahrzeugtechnik, Diss. 1992

Hennecke, D.:

Zur Bewertung des Schwingungskomforts von Pkw bei instationären Anregungen
VDI Fortschrittberichte, Reihe 12: Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Nr: 237
VDI Verlag Düsseldorf, Deutschland, 1995

Klingner, B.:

Einfluß der Motorlagerung auf Schwingungskomfort und Geräuschanregung im Kraftfahrzeug
Braunschweig, Technische Universität, Institut für Fahrzeugtechnik, Diss. 1996

Kudritzki, D.:

Fahrzeugschwingung – Fahrkomfort und Fahrwerk
Tagung Haus der Technik, Essen, 19.-20.6.2000

Leatherwood, J. D.; Barker, L. M.:

A user oriented and computerized model for estimating vehicle ride quality
NASA technical paper 2299, 1984, Langley, USA

VDI

Norm VDI 2057, Blatt 1+2, 1987

Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen
Grundlagen, Gliederung, Begriffe, Bewertung

Leatherwood, J. D.; Barker, L. M.:

A user oriented and computerized model for estimating vehicle ride quality
NASA technical paper 2299, 1984, Langley, USA

OBJEKTIVIERUNG UND OPTIMIERUNG DES SUBJEKTIVEN FAHREMPFINDENS IN SERIE UND MOTORSPORT

Dr. Peter Schöggel, AVL List GmbH

KURZFASSUNG

PKW Besitzer stellen heute sehr hohe Ansprüche an die Qualität des Fahrerlebnisses. Für den Hersteller liegt eine große Herausforderung darin, eine ständig steigende Produktqualität, gepaart mit speziellen Markenspezifika, in immer kürzeren Entwicklungszeiten zu realisieren. Dazu sind neue Prozesse und Werkzeuge notwendig.

Viel Potential liegt in der Verlagerung von Entwicklungsprozessen von der Straße in das Labor (Road to Rig), im breiten Einsatz der Echtzeitsimulation und im sogenannten „Virtual Engineering“. Die Voraussetzung hierfür bildet die Verfügbarkeit von objektiven Bewertungen für alle Zielgrößen, da eine subjektive Fahrzeugbewertung im Labor nicht möglich ist.

Der vorliegende Vortrag beschreibt Fahrbarkeits- und Geräuschkriterien, die für das Fahrerlebnis verantwortlich sind und zeigt Beispiele für optimale Auslegungen. Weiters werden Prozesse vorgestellt, mit denen die Größen Fahrbarkeitsqualität / Fahrbarkeitscharakter und Geräuschqualität / Sound objektiv meßbar gemacht werden. Gezeigt wird, wie eine Entwicklung / Verbesserung im Labor erfolgen kann und durch welche Maßnahmen eine besondere Erlebnisqualität erzielt werden kann.

Meßgrößen für Driveability und Sound am Prüfstand ermöglichen bei gleichzeitiger Verfügbarkeit von Echtzeitmodellen eine deutliche Straffung von Entwicklungsprozessen. Motor- und Triebstrangmodule können hinsichtlich ihres Komforteinflusses bewertet und optimiert werden, eine gemeinsame Bewertung von Motor, Triebstrang und Fahrzeug kann deutlich früher erfolgen. Abstimmungen von Motormanagementparameter können manuell oder automatisiert unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Emissionen und Verbrauch erfolgen. Parametrisierbare Echtzeitmodelle ermöglichen eine virtuelle Produktoptimierung, simulierte Varianten von Triebstrangmodellen können in Minuten virtuell verbaut, getauscht und getestet werden.

Die Verlagerungen von Entwicklungsaktivitäten von der Straße in das Labor bringen effektive Vorteile hinsichtlich Entwicklungskosten und Entwicklungszeit. In der Fahrzeugentwicklung bleibt mehr Zeit für eine markenspezifische Auslegung hinsichtlich höchster Kundenzufriedenheit.

1 FAHRBARKEIT / DRIVEABILITY

1.1 Subjektives Empfinden für Fahrbarkeit

Fahrbarkeit oder Driveability beschreibt die Fahreigenschaften eines Fahrzeuges in den 3 Bewegungsrichtungen (Längs- Quer- und Hochachse) und in den 3 Drehachsen (Gieren, Rollen und Nicken), inklusive aller Kombinationen.

Die menschliche Sensorik für Fahrzeugbewegungen in den genannten Richtungen liegt hauptsächlich in den Nerven im Bereich Kopf, Hals und Nacken. Der Kopf bildet dabei den Ruhepol für das Empfinden.

Empfindungen für Beschleunigungen, bis hin zu hohen Frequenzen (Vibrationen) werden zusätzlich über alle Kontaktstellen zwischen Mensch und Fahrzeug aufgenommen, also über Hände, Füße, Beine, Gesäß, Rücken, je nach Ausführung der Kopfstütze auch über den Kopf. Das über die Ohren aufgenommene Geräusch- und Soundempfinden wird in Kapitel 2 dieses Vortrages behandelt.

Der Mensch bewertet hauptsächlich die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsreaktionen des Fahrzeuges auf verschiedene Aktionen des Fahrers. Die Fahreraktionen werden hauptsächlich über die Stellgrößen Fahrpedal, Lenkung, Kupplungs- und Bremspedal eingeleitet. Zusätzlich werden aber auch die Fahrzeugreaktion auf die Betätigung von Schalt- oder Wählhebel wahrgenommen.

Die Wahrnehmungen von Kunden erfolgen zumeist unterbewußt und sind an die Erwartungshaltung des Fahrzeuges angepaßt. Sie hängen von der Konzentration und von der Art der Fahrt ab. Es stellt sich ein Gesamteindruck ein, der unterbewußt von einer Vielzahl von einzelnen Kriterien geprägt wird. Kunden bewerten zumeist in 3 Kategorien: Gefällt mir, ist okay, stört mich.

Testfahrer sind trainiert, eine höhere Zahl einzelner Kriterien zu detektieren und in Noten zu bewerten. Auch hier spielt jedoch die Vorerfahrung eine große Rolle, sowie die Firmenphilosophie einer optimalen Auslegung. Für die Bewertung steht in der Regel ein Prüfablauf zur Verfügung, der je nach geforderter Tiefe der Bewertung mehrere Stunden bis zu mehreren Tagen dauert.

Umfangreiche Untersuchungen und Fahrerbefragungen ergaben unter anderem folgende Ergebnisse:

1. Die Anzahl der genannten Einzelkriterien steigt mit der Anzahl durchgeführter Befragungen – der Fahrer lernt aus den Erfahrungen der vorigen Fahrzeuge, Abb. 1. Diese Steigerung ist erwartungsgemäß bei Testfahrer geringer.
2. Kriterien, bei denen das Fahrzeug schlechter abschneidet, bekommen automatisch einen hohen Stellenwert.
3. Kunden versuchen ihren Fahrstil so zu adaptieren, daß Betriebsbereiche mit Fahrbarkeitsproblemen vermieden werden.
4. Testfahrer fahren im Gegensatz zu 3.) Betriebsbereiche mit Fahrbarkeitsproblemen wiederholt bewußt an.

5. Subjektiv wird eine Fahrzeugreaktionen erwartet, deren Intensität proportional zur Fahreraktion ist. Bei rascher und intensiver Betätigung wird eine dementsprechende Reaktion erwartet (Differenzierbarkeit).
6. Unerwartete Reaktionen werden sehr kritisch bewertet. Drei Beispiele: Schubverzögerung setzt verspätet ein, Fahrzeugbeschleunigung ändert sich bei Konstantfahrt, Fahrzeug neigt zum plötzlichen Übersteuern bei Gasrücknahme in der Kurve
7. Für eine positive Bewertung des Fahrerlebnisses werden sowohl von Kunden, als auch von Testfahrern deutlich weniger Kriterien genannt, als für eine negative Bewertung. Positiv werden vor allem spontane, vorhersehbare Reaktionen auf Fahrpedaländerungen und auf Lenkwinkelvorgaben gewertet.
8. Da Kunden nicht trainiert sind, Bewertungen in Noten abzugeben, ergeben sich größere Streuungen der Bewertungen, Abb. 2.

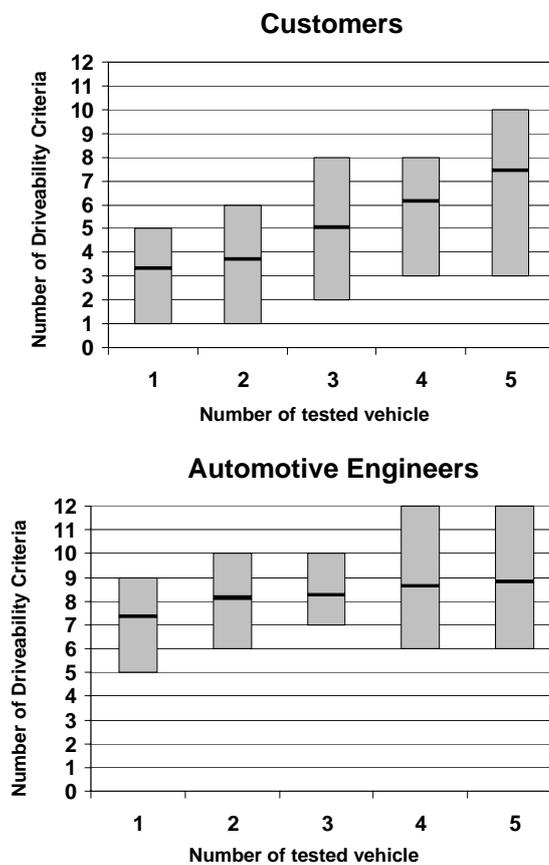


Abb. 1: Anzahl genannter Fahrbarkeitskriterien

Fig. 1: Number of named Driveability Criteria

Abb. 1 zeigt die Anzahl genannter Einzelkriterien von Kunden im Vergleich zu erfahrenen Testfahrern bei vier aufeinanderfolgenden Tests. Deutlich erkennbar die höhere Lernkurve der Kunden im Vergleich zu den Testfahrern.

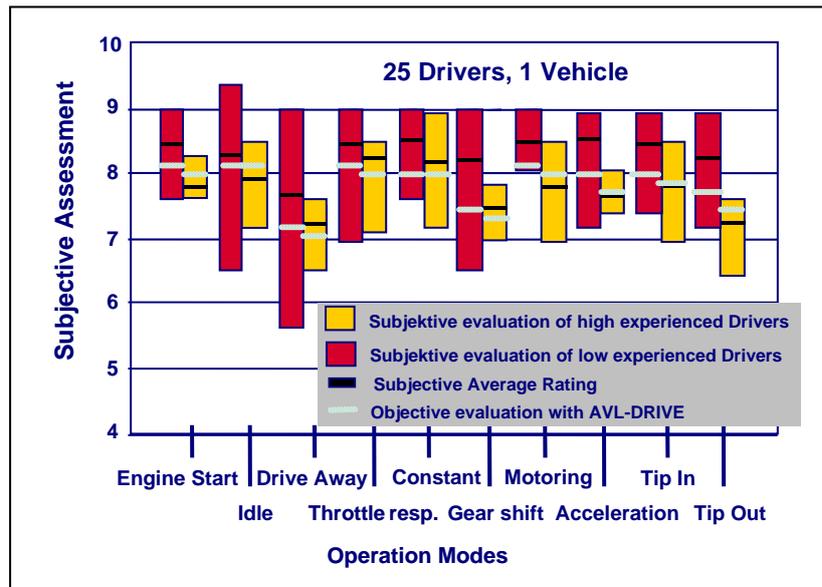


Abb. 2: Bewertungsunterschiede zwischen Kunden und Testfahrern, Bewertung von AVL-DRIVE

Fig. 2: Evaluation differences between Customers and Test Drivers, Evaluation with AVL-DRIVE

Abb. 2 zeigt Unterschiede in den subjektiven Bewertungen zwischen Kunden, Testfahrern und jeweilige objektive Bewertung durch AVL-DRIVE. Erwartungsgemäß ist die Streuung bei den Kunden größer. Die objektive DRIVE Bewertung liegt bei der Kundenfahrt zum größten Teil leicht über der Testfahrerbewertung. Der Grund liegt im unterschiedlichen Fahrstil von Kunden und Testfahrern und in der bereits erwähnten Tatsache, daß Testfahrer Problembereiche mehrfach anfahren, während Kunden diese Bereiche eher vermeiden. Zur Detektierung dieser Unterschiede steht in DRIVE ein Fahrerbewertungsmodul zur Verfügung, Kapitel 1.5.

1.2 Welches Fahrzeugverhalten wird als angenehm empfunden, was macht Spaß ?

Die durchgeführten Untersuchungen zeigten eindeutige Unterschiede zwischen dem Empfinden hinsichtlich Qualität- und Fahrzeugcharakter.

Hinsichtlich Qualität muß fahrzeugklassenabhängig in allen bewerteten Kriterien ein gewisser Grenzwert überschritten werden. Je nach festgelegter Skala liegt dieser Grenzwert bei 5,0, 5,5 oder 6,0. Dann wird das Fahrzeug in Ordnung befunden und weist keine störenden Phänomene auf.

Der Charakter eines Fahrzeuges wird oftmals höher empfunden, wenn das Verhalten einzigartige Phänomene aufweist, die durchaus mittelmäßige Bewertungen einschließen kann. Ein allzu gleichmäßiges Verhalten wird hinsichtlich Charakter eher als fad empfunden. Abb. 3 zeigt Untersuchungen aus mehreren Fahrzeugen und Fahrern. Gezeigt ist der subjektiv bewertete Fahrzeugcharakter im Zusammenhang mit der Streuung der subjektiven Fahrspaßbewertung von 14 Hauptbetriebszuständen.

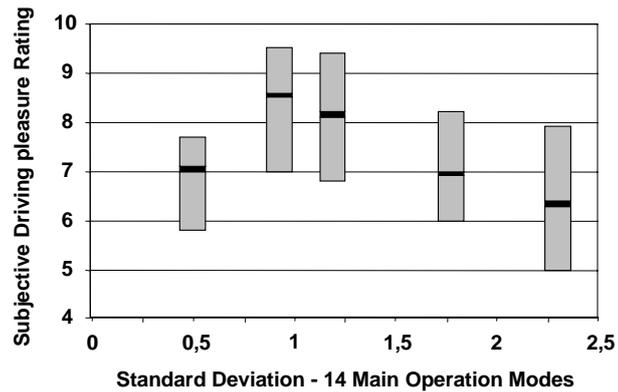


Abb. 3: Subjektive Fahrspaßbewertung als Funktion der Streuung der Fahrbarkeitsqualität in 14 Hauptbetriebszuständen

Fig. 3: Subjective Driving Pleasure Evaluation as Function of Spreading of Driveability Quality in 14 Main Operation Modes

Es wurde bereits erwähnt, daß subjektiv die Fahrzeugreaktionen nach Fahrerreaktionen bewertet werden. Die Intensität einer Fahrerreaktion hinsichtlich Geschwindigkeit, Amplitude oder Modulationsart variiert mit dem Fahrer, der Fahrstrecke und auch mit dem Fahrzeug. Für ein Fahrzeug, das ein hohes Fahrerlebnis bieten soll, sollten die Fahrzeugreaktionen möglichst stetig in bezug auf die Fahrerreaktionen sein. Dies gilt für viele Kriterien.

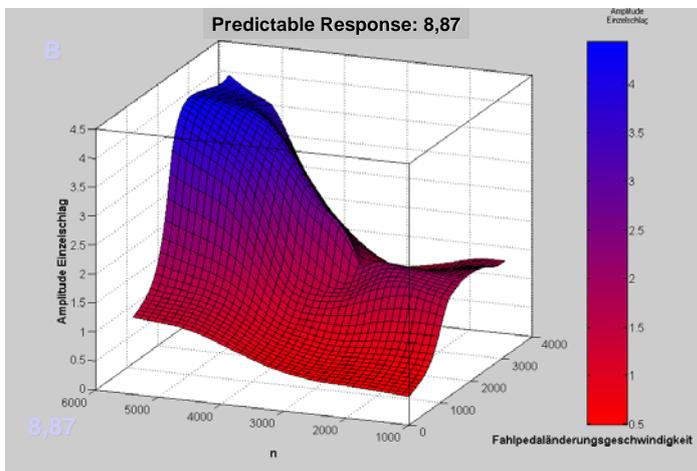


Abb. 4: Lastwechselreaktion „Kick“ als Funktion von Pedaländerungsgeschwindigkeit und Motordrehzahl, sehr gutes Verhalten

Fig. 4.: Load damping criteria „Kick“ as function of pedal change velocity and engine speed, very good behaviour

Dieses Prinzip ist in Abb. 4 gezeigt. Das Bild zeigt die Amplitude des ersten Schlages eines Lastwechsels, aufgetragen über der Motordrehzahl und der Pedaländerungsgeschwindigkeit. Der Trend ist bei diesem Fahrzeug stetig, dadurch wird das Verhalten vorhersehbar, das Fahrzeug bietet ein hohes Erlebnispotential. Abb. 5 zeigt dagegen einen weniger stetigen Verlauf eines anderen Fahrzeuges, das auch subjektiv weniger gut bewertet wird.

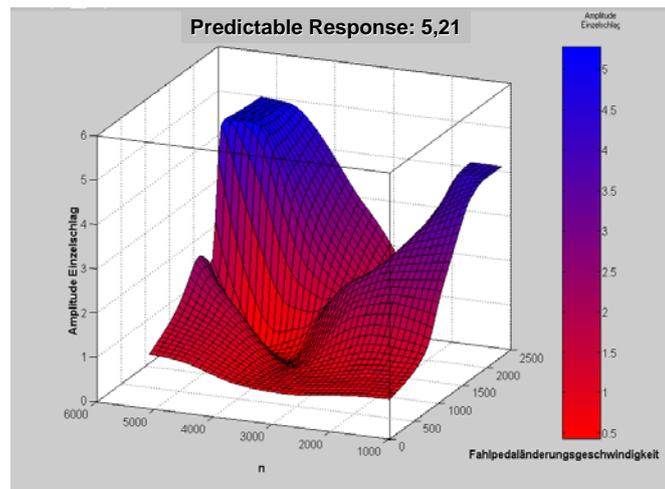


Abb. 5: Lastwechselreaktion „Kick“ als Funktion von Pedaländerungsgeschwindigkeit und Motordrehzahl, mittelmäßiges Verhalten

Fig. 5: Load damping criteria „Kick“ as function of pedal change velocity and engine speed, average behaviour

Für ein angenehmes Empfinden sollte die Intensität der Fahrzeugreaktionen somit vorhersehbar und auf die Intensität der Aktion abgestimmt sein. Der Verlauf der Reaktionen sollte in Abhängigkeit der Eingangsgrößen möglichst stetig sein. Die gilt für viele Fahrmanöver, etwa für Beschleunigungen, für Schaltvorgänge, für Anfahrvorgänge, für alle Arten von Pedaländerungen aber auch für Lenkbewegungen.

Bei starken Aktionen soll das Fahrzeug durchaus mit intensiven Reaktionen antworten, umgekehrt ist bei ruhiger Fahrweise ein dementsprechendes Verhalten gefordert.

1.3 Methodik zur objektiven Fahrbarkeitsbewertung

AVL bietet seit mehreren Jahren ein Tool zur objektiven Echtzeitbewertung der Driveability Qualität in Längsdynamik, Leerlauf und Motorstart an. Mit 10 / 2002 steht zusätzlich ein Modul für eine Querdynamik- und Handlingbewertung zur Verfügung.

Abb. 6 zeigt die Methodik von AVL-DRIVE zur objektiven Beurteilung von Fahrbarkeitsqualität und Fahrzeugcharakter. Physikalische Größen wie Motordrehzahl, Fahrzeuggeschwindigkeit, Längs- und Quereschleunigung, Fahrpedalstellung, Bremse und Kupplung werden mittels im Fahrzeug vorhandenen oder mittels zusätzlich installierten Sensoren gemessen.

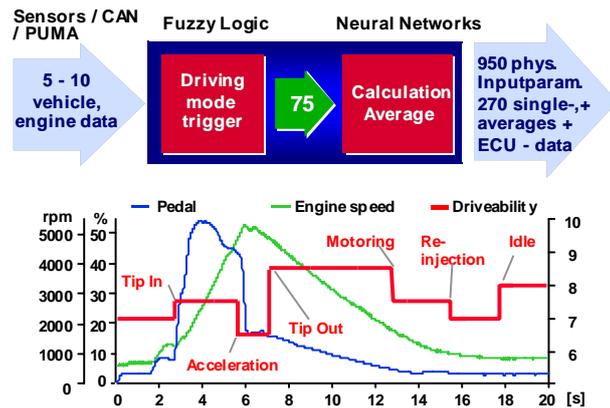


Abb. 6: Methodik von AVL-DRIVE

Fig. 6: Methodology of AVL-DRIVE

Mittels Fuzzy Logik erfolgt aus diesen Signalen eine Echtzeiterkennung der 75 Fahrzustände. Beispiele für Fahrzustände sind Motorstart, Leerlauf, Anfahren, Schalten, Anhalten. Parallel erfolgt die Berechnung der für die Fahrzustände charakteristischen 950 physikalischen Kenngrößen, die später zur Bewertung der Einzelkriterien verwendet werden. Einzelkriterien des Motorstarts sind beispielsweise die Starterdrehzahl, Zeit bis zum Anspringen des Motors, Überschwingdrehzahl, Einregelzeit bis in den Leerlauf, usw.

AVL-DRIVE besteht aus einer Recheneinheit mit Ein- und Ausschalter im Fahrgastraum, einem LCD Display zur Anzeige der Echtzeitbewertung am Armaturenbrett und einem Meß- und Auswertelaptop. Die Sensorik und CAN Anbindung ist in Abb. 7 gezeigt.

Sensorik:

Längsbeschleunigung an der Nackenstütze
Längsbeschleunigung an der Karosserie
Vibrationen Lenkrad
Vibrationen Schalthebel
Vibrationen Sitzschiene Fahrersitz
Geräusch an Nackenstütze Fahrersitz
Kupplungspedalstellung (bei Handschaltfahrzeugen)
Generatorstrommessung

CAN Größen:

Fahrzeuggeschwindigkeit
Motordrehzahl
Kühlwassertemperatur
Fahrpedalstellung
Status Klimakompressor
Status Bremsleuchten

Abb. 7: Sensorik und CAN Anbindung von AVL-DRIVE

Fig. 7: Sensors and CAN interface of AVL-DRIVE

Bei Fahrzeugen ohne CAN Bus stehen Sensoren zur Messung der Signale zur Verfügung. Zusätzliche Sensor- oder CAN Größen können mitgemessen werden.

AVL-DRIVE stellt folgende Ergebnisse zur Verfügung:

- Gesamtbewertung des Fahrzeuges, Abb. 8
- Bewertungsübersicht in 14 Hauptbetriebszuständen für Längsdynamik, Abb. 8
- Bewertung in 1 Hauptbetriebszustand Handling (Modul Handling)
- Bewertung in 3-5 Fahrzeugcharakternoten (zumeist kundenspezifisch angepaßt)
- Bewertungen in 75 Unterbetriebszuständen
- Bewertung in 270 Einzelkriterien (Handschalt), bzw. 340 Einzelkriterien (Automatik)
- Darstellung von knapp 950 physikalischen Eingangsgrößen, die für die Bewertung herangezogen werden
- 2D und 3D Graphikfunktionen

Die Funktionsweise ist in Abb. 8 dargestellt. Zusätzlich sind die Kriterien, Unterbetriebszustände und Hauptbetriebszustände fahrzeugklassenabhängig gewichtet.

- 1.) *Motorstart (erster Hauptbetriebszustand)*
- 2.) *Leerlauf*
- 3.) *Konstantfahrt*
- 4.) *Normalfahrt*
- 5.) *Beschleunigung*
- 6.) *Positiver Lastwechsel*
 - 6.1. *aus Schub (Unterbetriebszustand)*
 - 6.1.1. *Einzelschlag (Kriterium)*
 - 6.1.1.1. *Einzelschlagamplitude [m/s²] (Physikalische Größe)*
 - 6.1.1.2. *Dauer Einzelschlag [s]*
 - 6.1.1.3. *Gang [-]*
 - 6.1.1.4. *Fahrpedaländerung [%]*
 - 6.1.1.5. *Motordrehzahl [U/min]*
 - 6.1.1.6. *Fahrpedaländerung-sgeschwindigkeit [%/s]*

Abb. 8: Funktionsweise von AVL-DRIVE

Fig. 8: Functional Operation Mode of AVL-DRIVE

1.3.	Subjective rating	
10	excellent	Technical solution is 100% convincing
9	very good	The expectation to the vehicle is fulfilled
8	good	Small differences to the demand
7	satisfying	To be felt as disturbing from several customers
6	even satisfying	Disturbing for many customers
5	adequate	Disturbing for all customers
4	defective	Felt to be deficient by all customers
3	insufficient	Reclaimed as deficient by all customers
2	bad	Limited vehicle operating only
1	very bad	vehicle not operating

Abb. 9: Bewertungsschlüssel von AVL-DRIVE

Fig. 9: Evaluation Rating of AVL-DRIVE

Die Bewertung erfolgt mittels neuronalen Netzen, Matrizen oder Formeln in Noten von 1 .. 10, Abb. 9. In der Entwicklungsphase wurden subjektive Testfahrerbewertungen mit verschiedenen Fahrzeugabstimmungen bei gleichzeitiger Meßdatenerfassung durchgeführt. Die neuronalen Netze wurden anschließend mit den physikalischen Eingangsgrößen und den subjektiven Bewertungen trainiert. Die erzielbare Genauigkeit liegt bei über 90%. Aus den mehreren hundert Einzelbewertungen werden Gesamtbewertungen für die Fahrmanöver, für die Hauptbetriebszustände und für eine Gesamtbewertung erstellt. Dabei werden die Einzelnoten nach einem speziellen Schlüssel gewichtet.

Einflüsse durch die Straßenoberfläche werden bis zu einem gewissen Level kompensiert, ab Überschreitung dieses Levels wird die Bewertung ausgeblendet.

Um eine rasche Anpassung an beliebige Fahrzeugmodelle in den 7 Fahrzeugklassen zu ermöglichen, wurde ein Parametrisierungswizard entwickelt. Damit

wird der Einbau und Parametrisierungsaufwand für ein neues Modell in einigen Stunden ermöglicht.

Zur Erfassung der Erwartungshaltung an das Fahrzeug wurden 7 Fahrzeugklassen, vom Kleinwagen bis zum Sportwagen und SUV, jeweils mit Schaltgetriebe und automatischem Getriebe definiert. Die Benotung und Gewichtung der Kriterien kann markenspezifisch angepasst werden. Für Anwendungen im Benchmark- und Qualitätssicherungsbereich von Handschaltfahrzeugen wurde eine spezielle Variante (DRIVE Basic) mit 105 Kriterien entwickelt.

1.4 Diagnostikmodul gibt Verbesserungsvorschläge

Die hohe Zahl einzelner von DRIVE bewerteter Kriterien kann dazu genutzt werden, aus Kombinationen von Bewertungen Verhaltenshinweise, bzw. Muster für Ursachen für durchzuführende Verbesserungen abzuleiten. Mit Hilfe des Diagnostikmoduls werden Hinweise generiert: Was ist am Fahrzeug zu tun, um das Verhalten zu verbessern? Die Logik baut im wesentlichen auf eine logische Kombinationen von definierten Kriterien, wie in Abb. 10 gezeigt.

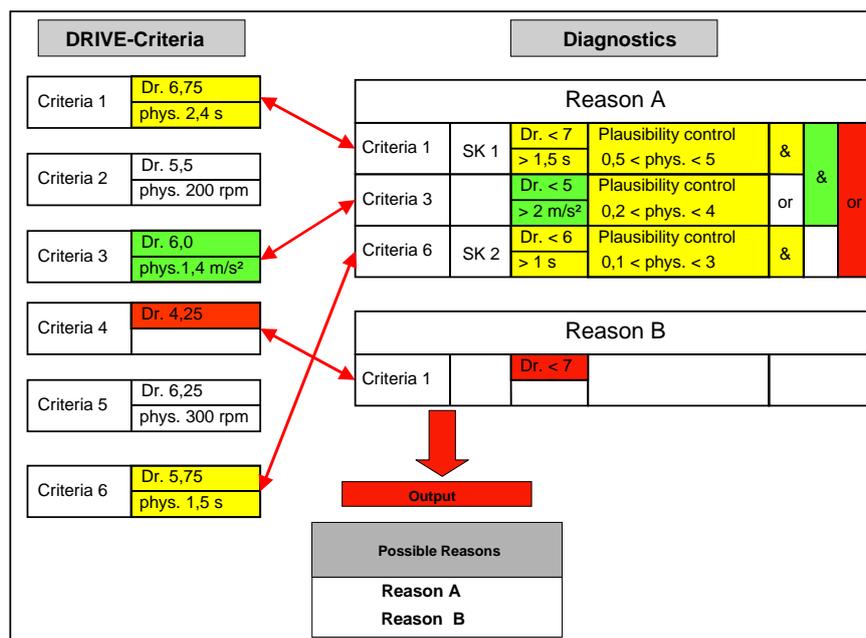


Abb. 10: Logik für AVL-DRIVE Diagnostikmodul

Fig. 10: Logic for AVL-DRIVE Diagnostic Module

Kriterium 1, 3 und 6 bilden ein Verhaltensmuster für ein diagnostizierendes Kriterium. Die Schwellen und logischen Verknüpfungen können vom Benutzer frei gewählt und geändert werden. Fall a wird im gezeigten Beispiel angezeigt, wenn die Driveability Bewertung von Kriterium 1 kleiner als 5 und Kriterium 3 kleiner als 6 liegt oder Kriterium 1 kleiner als 5 oder Kriterium 6 kleiner 4,5 beträgt.

Es wurden knapp 100 Phänomene aus den Bereichen Motormechanik, ECU Funktionalität und ECU Abstimmung definiert, Abb. 11.

Hardware	ECU
Battery	Start ignition timing
Starter motor	Basic injection
Crankshaft position detection	Cold-start enrichment
Combustion	Idle controller
Engine bearings	Idle speed
Exhaust gas turbocharger	Ignition timing correction
Wastegate valve	Boost-pressure control
Boost-pressure sensor	Fuel cut recovery
Hot-film air-mass sensor	Motoring fuel cutoff
Intake system	Driver demand torque map
Unmetered air in Intake system	Hot-film air-mass sensor control
Injection valve	Cylinder-selective injection
Fuel-pressure system	Mixture enrichment during motoring / acceleration transition
Fuel distributor	Battery charging control
Intake manifold air pressure sensor	Fan control
Engine misfire	A/C-control
Sparking plug	Torque reserve
Ignition system	Dashpot
A/C compressor	Load reversal damping
Dual-mass flywheel	Anti surge damping
Flywheel	Warmup enrichment
Clutch	Camshaft phasing control
Transmission line	Lambda control
Engine temperature sensor	Anti-knock control
Camshaft phaser	EGR control

Abb. 11: Beispiele für Ursachen des AVL-DRIVE Diagnostikmoduls

Fig. 11: Example for Causes of AVL-DRIVE Diagnostic Module

Die Berechnung der Ursachen dauert einige Sekunden und erfolgt in der Regel am Ende der Fahrt. Die Parameter, Ursachen und logischen Verknüpfungen können vom Benutzer frei editiert oder auch erweitert werden.

1.5 Objektive Fahrstilbewertung

Ein großer Vorteil von AVL-DRIVE liegt darin, daß am Prüfstand und im Fahrzeug beliebige Fahrstrecken von beliebigen Fahrer gefahren werden können. Um die Vergleichbarkeit zu erhöhen, wurde ein Fahrerbewertungsmodul entwickelt. Der Fahrstil des Fahrers wird in etwa 50 einzelnen Kriterien bewertet, ein Beispiel ist in Abb. 12 gezeigt. Abb. 13 zeigt die Fahrzeug - Driveability Bewertung von 4 Fahrten mit 2 Fahrern und 2 Fahrzeugen.

Count	Event	Index	S-Min	S-Max
107	Sporty	4.49	2.03	9.98
107	Comfortable	8.87	3.75	9.95
32	Experienced	9.41	6.49	9.88
78	Economic	8.84	4.74	9.94

Abb. 12: AVL-DRIVE Modul für objektive Fahrstilbewertung

Fig. 12: AVL-DRIVE Module for Objective Driving Style Evaluation

Event	Comfortable Driving Style		Sporty Driving Style	
	Count	Index	Count	Index
Engine Start	1	8.36	1	7.71
Idle	8	6.33	4	6.61
Constant speed	23	7.64	1	7.64
Normal driving	21	8.09	22	8.30
Acceleration	27	7.49	26	7.74
Tip In			6	6.86
Tip out			2	7.71
Motoring				
Drive Away / Stop	10	7.73	6	7.17
Throttle response	3	8.96		
Gear shift	20	8.20	14	6.38
Engine shut off				
Noise	46	6.12	43	6.80
Vibrations	71	6.97	47	6.90
Warm Up				
Total Driveability Index	230	7.02	172	6.92

Abb. 13: Driveability Fahrzeugvergleich bei unterschiedlichen Fahrstilen

Fig. 13: Driveability Vehicle Comparison at different Driving Styles

1.6 Objektive Bewertung des Fahrzeugcharakters

Der Fahrzeugcharakter wird aus vielen bestehenden Einzelkriterien berechnet, wobei teilweise die Benotung und die physikalischen Größen herangezogen werden. Übliche Charakterbeschreibungen sind Sportlichkeit, Komfort, Dynamik, Spontaneität, Trägheit und Fahrspaß. Die Benotung wird dabei zumeist an die Marke angepaßt.

Alle genannten Charakterbenotungen werden in der Regel unter Berücksichtigung fast aller 270, bzw. 340 Einzelkriterien berechnet, Abb. 14. Obwohl der Charakter nur durch eine bestimmte Anzahl von Kriterien positiv beeinflusst werden kann, können viele anderen Kriterien negativ auf ihn wirken.

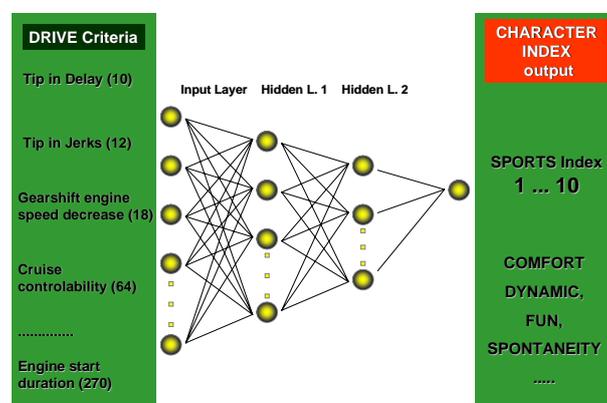


Abb. 14: Berechnung des Fahrzeugcharakters in AVL-DRIVE

Fig. 14: Vehicle Character Calculation in AVL-DRIVE

Abb. 15 zeigt die Bewertung eines Sportwagens in der Driveability Qualität in 3 Fahrzeugcharaktereigenschaften. Deutlich zeigt sich die hohe Bewertung der Sportlichkeit und die relativ niedrige Bewertung des Komforts.

Count	Event	Index	S-Min	S-Max
887	Dynamic	8.37	2.96	9.98
885	Comfort	3.60	1.49	9.98
335	Spontaneous	8.43	3.22	9.98

Abb. 15: Fahrbarkeitsqualität und Fahrzeugcharakterbewertung eines Sportwagens

Fig. 15: Driveability Quality and Vehicle Character Evaluation of a Sports Car

Der Prozeß einer Driveability Verbesserung, in den Schritten: Einbau des Systems, Basismessung, Definition durchzuführender Verbesserungsschritte, Virtuelle Verbesserung, reale Verbesserung, Evaluierung, wird in Abb. 16 gezeigt. Die gezeigten Schritte können sowohl im Fahrzeug, als auch am hochdynamischen Motoren- und am Rollenprüfstand durchgeführt werden.

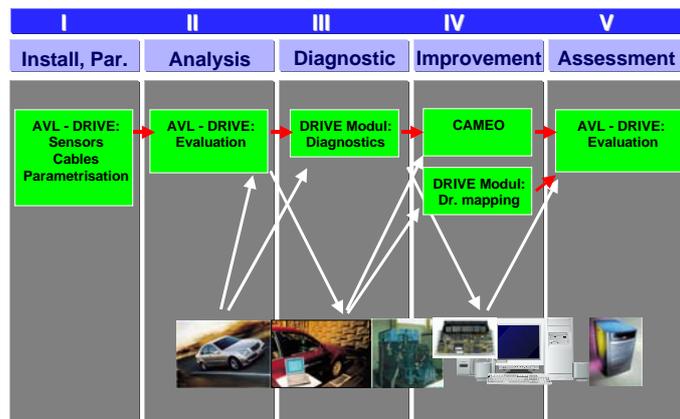


Abb. 16: Prozeß einer Driveability Qualitäts- und Driveability Charakterverbesserung mit AVL-DRIVE

Fig. 16: Driveability Quality- and Character Improvement Process with AVL-DRIVE

1.7 Methode zur Virtuellen Verbesserung

Einen weiteren Beitrag zur Erhöhung der Entwicklungseffizienz bildet eine Funktion zur virtuellen Simulation von Entwicklungsschritten. Geplante Änderungen können bevor sie tatsächlich durchgeführt werden auf ihre Auswirkung getestet werden. Nicht effektive Änderungen werden so vorab als solche erkannt und nicht durchgeführt.

Als wesentlicher Bestandteil von Design of Experience können hiermit Entwicklungsabläufe definiert und die erwarteten Ergebnisse vorab evaluiert werden.

Abb. 17 zeigt die Oberfläche der Funktion. Über eine Eingabemaske können physikalische Größen und Bewertungsnoten beliebiger Kriterien eingegeben werden. Die Neuberechnung der Auswirkungen auf die Gesamtnoten erfolgt in Sekunden.

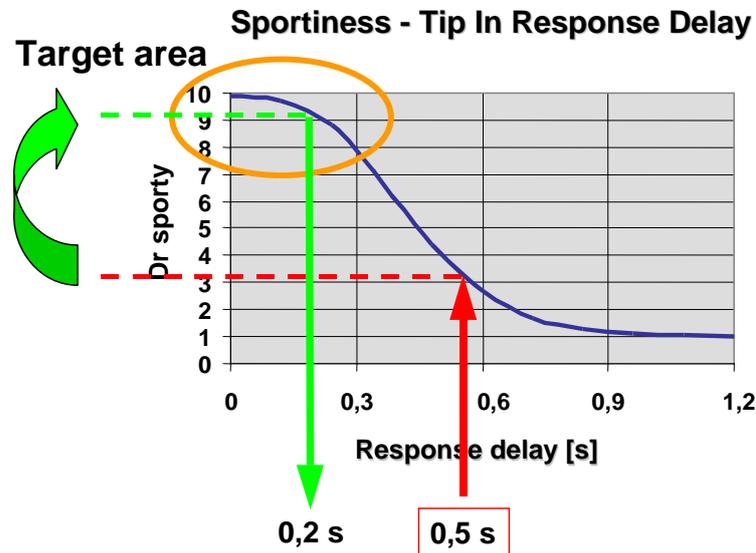


Abb. 17: Virtuelle Driveability Entwicklung am Beispiel Fahrzeugcharakter

Fig 17: Virtual Driveability Development, as Example Vehicle Character

1.8 DRIVE am Prüfstand - Der Testfahrer im Labor

Während die bis jetzt gezeigten Funktionalitäten zwar erheblich Zeit sparen und objektive Bewertungen liefern, könnten die Ergebnisse und Bewertungen auch subjektiv vom Testfahrer erstellt werden. Auf Prüfständen oder in der Simulation ist eine objektive Fahrbarkeitsbewertung jedoch zwingend erforderlich. Nur so kann die Produktqualität frühzeitig evaluiert werden.

Die Methode für AVL-DRIVE war von Anfang an für den Echtzeiteinsatz auf Prüfständen und in der reinen Simulation ausgelegt. Bei den Prüfständen handelt es sich um Rollenprüfständen, Antriebsstrangprüfstände und hochdynamische Motorenprüfstände. Diese Prüfstände zeichnen sich dadurch aus, daß das jeweils nicht in Hardware vorhandene Modul mittels Echtzeitsimulation dargestellt wird, Abb. 18. Vorteilhaft ist es, wenn die auf verschiedenen Prüfständen eingesetzten Simulationsmodelle identisch und austauschbar sind.

Prüfstandstyp	Echtzeitsimulation
Rollenprüfstand	Straße, u.U. Fahrerroboter
Antriebsstrangprüfstand	Reifen, Karosserie, Straße, Fahrer
Hochdyn. Motorenprüfstand	Antriebsstrang, Reifen, Karosserie, Straße, Fahrer

Abb. 18: Echtzeitsimulation auf Prüfständen

Fig. 18: Real Time Simulation on Test Beds

Für die Darstellung der Längsdynamikbewertung in AVL-DRIVE wurden die Prüfstände um eine Echtzeitsimulation der Nackenstützenlängs-beschleunigung erweitert. Im einfacheren Fall Rollenprüfstand wurde dieses Modul in DRIVE integriert. Beim Antriebsstrangprüfstand und beim hochdynamischen Motorenprüfstand wurden die Antriebsstrangsimulationen der Prüfstände erweitert. Spezielle Schnittstellenprogramme wurden entwickelt, um die auf den Prüfständen erforderlichen Simulationsparameter rasch von Straßenmessungen oder Ergebnissen von Simulationspaketen zu generieren.

Abb. 19 zeigt den Prozeß vom Fahrzeug zum hochdynamischen Prüfstand. Der Prüfstand benötigt etwa 300 Parameter für das Verhalten von Fahrer, Triebstrang und Fahrzeug. Da AVL-DRIVE im Fahrzeug bereits 80% dieser Parameter kennt, wurde eine Software AUTOSIM zum direkten Parametertransfer entwickelt.

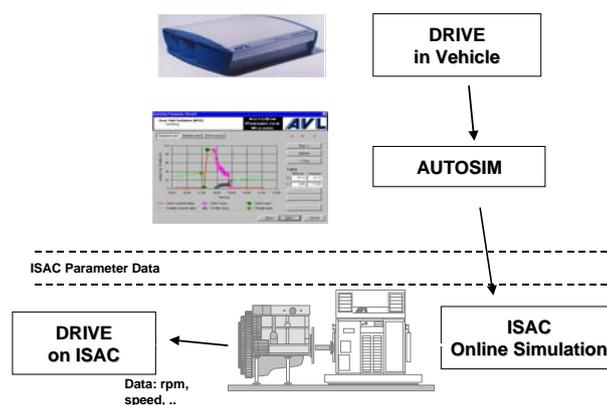


Abb. 19: Parametertransfer vom Fahrzeug zum hochdynamischen Prüfstand ISAC 30x

Fig. 19: Parameter Transfer from Vehicle to high dynamic Test Bed ISAC 30x

Dieses Prinzip läßt sich auch für einen Datentransfer von CAE Systemen zum Prüfstand nutzen.

Zur detaillierten Darstellung des Triebstranges und des Fahrzeuges auf Prüfständen wurde ein neues Echtzeitsimulationsmodell VSM (Vehicle Simulation Model) entwickelt. In MATLAB® Simulink® wurde ein gesamtes Fahrzeug mit den in Abb. 20 gezeigten Modulen abgebildet. Das Modell arbeitet in Echtzeit.

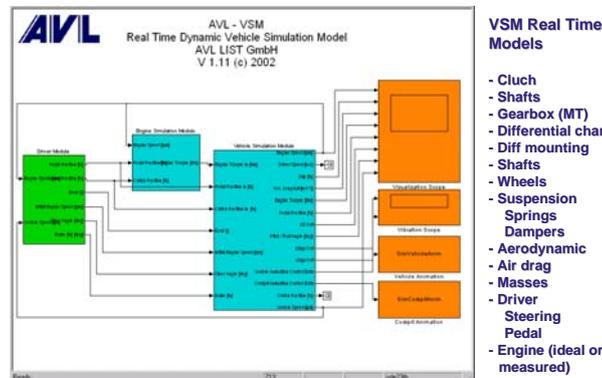


Abb. 20: MATLAB® Simulink® Oberfläche von VSM und implementierte Echtzeitmodelle

Fig. 20: MATLAB® Simulink® Surface of VSM and implemented Real Time Simulation

Die Modelle in VSM wurden speziell auf Echtzeitanforderungen entwickelt, mit dem besten Kompromiß zwischen Rechenzeit und Genauigkeit. Die Genauigkeit wurde speziell an die DRIVE Bedürfnisse angepaßt.

Ein Stabilisator wird etwa nicht in seiner Geometrie, sondern in seiner Wirkungsweise abgebildet: Wieviel Kraft wird pro Grad Fahrzeugneigung von einem zum anderen Rad übergeben. Die Fahrzeugfederung wird in Newton / Einfederweg am Rad beschrieben, ähnliches gilt für die Stoßdämpfer.

Die dafür erforderlichen Modellparameter können von den meisten CAE Systemen zur Verfügung gestellt werden.

VSM ist modular aufgebaut, nach Bedarf können Module ersetzt werden. Das System kann am Prüfstand und im Büro genutzt werden, wie in Kap. 1.10. gezeigt

Der rasche Zugang zu Modellparametern ermöglicht eine neue Art des „Virtual Engineerings“, wie in Kapitel 1.10.3 gezeigt. Module, wie Reifen, Motorlager, Hinterachsaufhängungen können im Minuten virtuell getauscht, geändert und mit DRIVE am Prüfstand oder im Büro hinsichtlich ihres Fahrbarkeitseinflusses bewertet werden.

1.9 Road to Rig

Das Vorhandensein einer objektiven Bewertungsmethode im Labor erlaubt die Verlagerung von Entwicklungsaktivitäten, die bis heute nur im Fahrzeug gemacht werden konnten, auf Prüfstände oder in die reine Simulation.

Es ergeben sich mehrere Vorteile:

- Sinnvolle Ergänzung zum Fahrversuch
- Durchführung langwieriger und kritischer Abstimmungen am Prüfstand
- Simultane Abstimmung / Entwicklung von Fahrbarkeit und Emissionen
- Klimaerprobung, Simulation kritischer Betriebsbedingungen (Hitze, Kälte)
- Einsparung kostspieliger Prototypfahrzeuge
- Frühzeitige Erkennung und Vermeidung von Fahrbarkeitsproblemen
- Händische Fahrbarkeitsabstimmung am Prüfstand
- Automatisierte Fahrbarkeitsabstimmung, teilweise unbemannt
- Bewertung von simulierten Modulen (mit VSM)
- Erprobung von Varianten am Prüfstand
- Virtuelles Engineering am Prüfstand (mit VSM)

Abb. 21 zeigt einen vereinfachten Fahrzeugentwicklungsprozess ohne objektiver Bewertung der Fahrbarkeitsqualität und des Fahrzeugcharakters. Eine Aussage der Driveability steht erst im Fahrversuch zur Verfügung. Trotz Nutzung von so genannten Aggregateträgern oder „Mulettos“ kann die richtige Driveability Bewertung und Entwicklung erst sehr spät im Fahrzeug erfolgen.

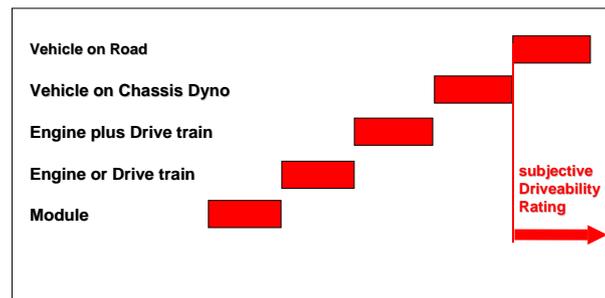


Abb. 21: Fahrzeugentwicklungsprozeß ohne AVL-DRIVE

Fig. 21: Vehicle Development Process without AVL-DRIVE

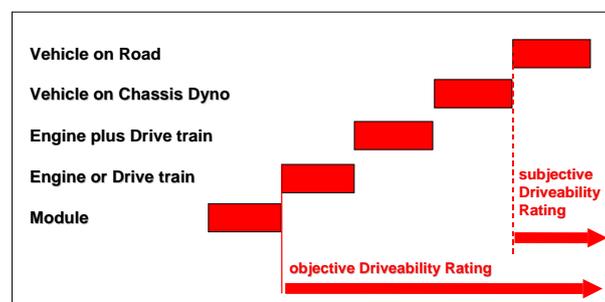


Abb. 22: Fahrzeugentwicklungsprozeß mit AVL-DRIVE

Fig. 22: Vehicle Development Process with AVL-DRIVE

Abb. 22 zeigt, daß durch die objektive Bewertung deutlich früher Aussagen über die Driveability zur Verfügung stehen. Auch kann die Entwicklung und Optimierung

viel früher starten. Eine Implementierung der objektiven Größe in die Automatisierung wird möglich.

Um Aufwandsvorteile hinsichtlich Anzahl von Entwicklungsfahrzeugen oder Verkürzung von Entwicklungszeiten zu erzielen, ist allerdings eine Anpassung von Entwicklungsprozessen erforderlich. Dies erfordert erfahrungsgemäß die Bereitschaft für Änderungen. Ohne diese Anpassung lassen sich aber auch schon Wiederholschleifen, etwa zwischen Emissions- und Fahrbarkeitsentwicklung einsparen.

1.10 Entwicklungsaktivitäten am Prüfstand mit Echtzeitsimulation

Die Kombination Prüfstand, Echtzeitsimulation und DRIVE ermöglicht mehrere neue Entwicklungsszenarien. Abb. 23 zeigt ein HIL Szenario. Der Verbrennungsmotor und die elektronische Motorsteuerung sind an einem hochdynamischen Prüfstand aufgebaut, der Triebstrang und das Fahrzeug sind in Echtzeit simuliert.



Abb. 23: Entwicklungsaktivitäten am Prüfstand mit Motor und ECU vorhanden

Fig. 23: Development Activities on Test Bed with real Engine and ECU

1.10.1 Manuelle ECU Abstimmung

Eine Anwendung für die manuelle ECU Abstimmung am Prüfstand ist in Abb. 24 gezeigt. Links die Basisabstimmung für Lastwechsel mit der zugehörigen DRIVE Bewertung, rechts die optimierte Variante.

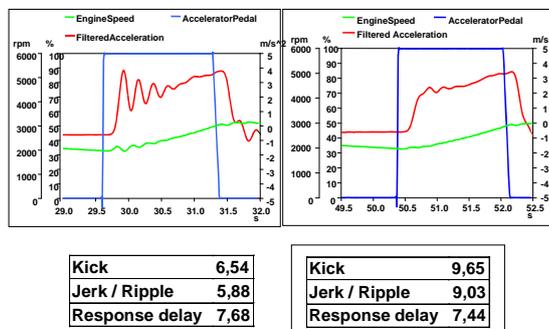


Abb. 24: Lastwechselabstimmung am hochdynamischen Motorenprüfstand

Fig. 24: Load damping calibration on high dynamic engine test bed

Um alle Abstimmungsänderungen im Fahrzeug zu reproduzieren, sind hohe Anforderungen an das dynamische Verhalten des Prüfstandes gegeben. Insbesondere die Simulation des ausgekuppelten dynamischen Verhaltens, das beim Motorstart, Gasstoß, Schalten, Anfahren und Abstellen notwendig ist, stellt höchste Anforderungen an die Prüfstandssteuerung.

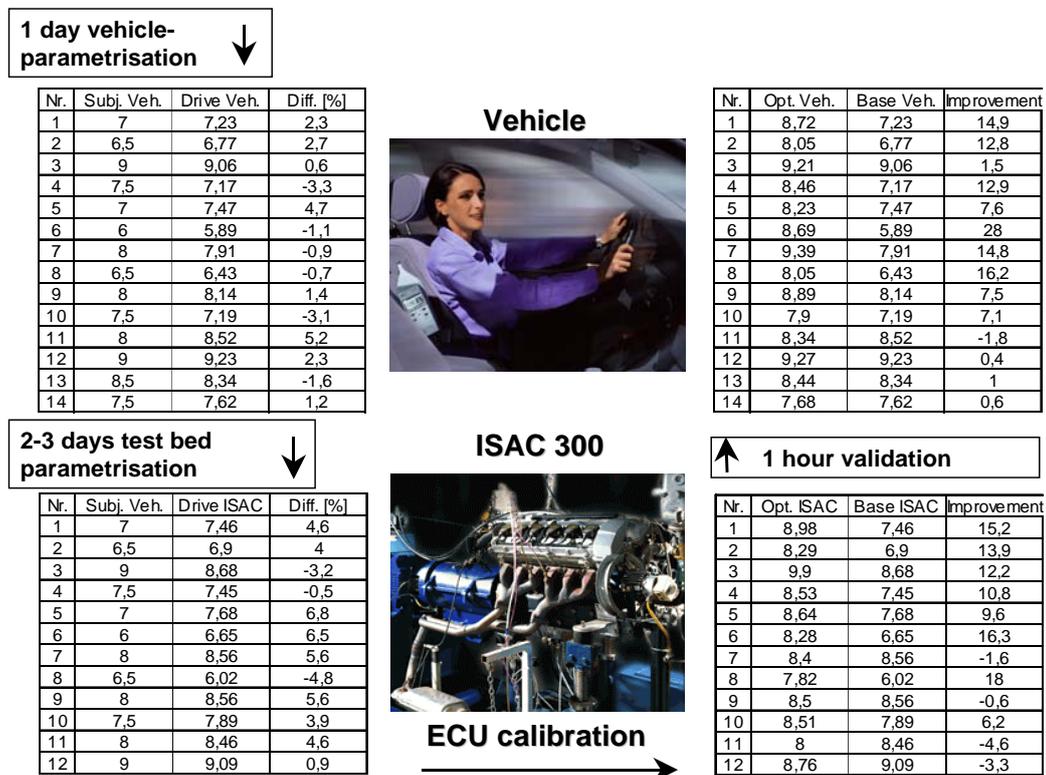


Abb. 25: Gesamte Fahrbarkeitsabstimmung am Prüfstand inkl. Fahrzeugevaluierung

Fig. 25: Full driveability calibration on high dynamic test bed

1.10.2 Unbemannte, automatische Fahrbarkeits-abstimmung am Prüfstand

Für die Abstimmung von ECU Parametern, die das Anfahren eine Vielzahl von Fahrmanövern erfordern, eignet sich die Automatisierung der Abstimmung zur automatischen, unbemannten (Closed loop) Fahrbarkeitsabstimmung.

Abb. 26 zeigt die Anordnung aller Systeme am Prüfstand. Der Prüfstand hat die Aufgabe, dynamische Fahrzyklen abzufahren und die Fahrzeugeigenschaften an DRIVE weiterzugeben. Dafür wurden spezielle Prüfläufe entwickelt, die alle möglichen Fahrbarkeitsmanöver steuern. Der Benutzer kann sich beliebige Sets von Prüfläufen zusammenstellen. DRIVE führt in Echtzeit die Fahrbarkeitsbewertung durch und sendet die Ergebnisse an CAMEO. CAMEO optimiert so lange ECU Parameter, bis die definierten Ziele erreicht sind. Dabei ist eine on-line und off-line Optimierung möglich. Emissionen können einfach zusätzlich als ziel- oder Randbedingungen inkludiert werden.

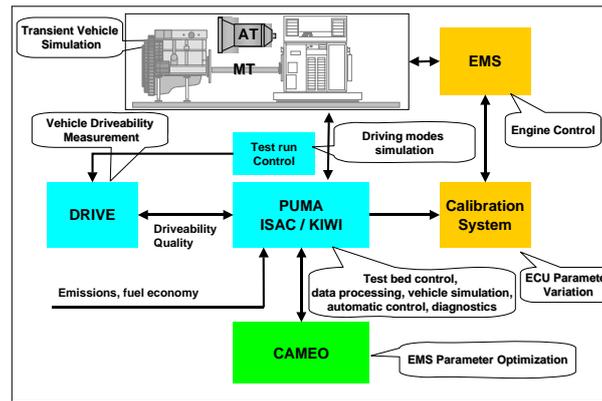


Abb. 26: Unbemannte, automatische Fahrbarkeitsabstimmung am Prüfstand

Fig. 26: Unmanned, Automatic Driveability Calibration on Test Bed

Ergebnis: Die im Fahrzeug sehr zeitraubende Abstimmung von Antiruckeldämpfung und Lastschlag konnte von einer Woche auf einen Tag und eine Nacht verkürzt werden, wobei am Prüfstand über Nacht 3000 einzelne Lastwechsel gefahren wurden. Ein sehr großer Vorteil liegt in der Vielzahl der gemessenen Punkte. Dadurch lassen sich mehrere Abstimmungen für den späteren Test im Fahrzeug ableiten. Auch können leicht verschiedene Abstimmungen in verschiedene Modelle verbaut werden, um den Fahrzeugcharakter modellspezifisch zu gestalten. Abb. 27 zeigt zwei Lastschlagdämpfungskennfelder, ein dynamisches und ein komfortableres.

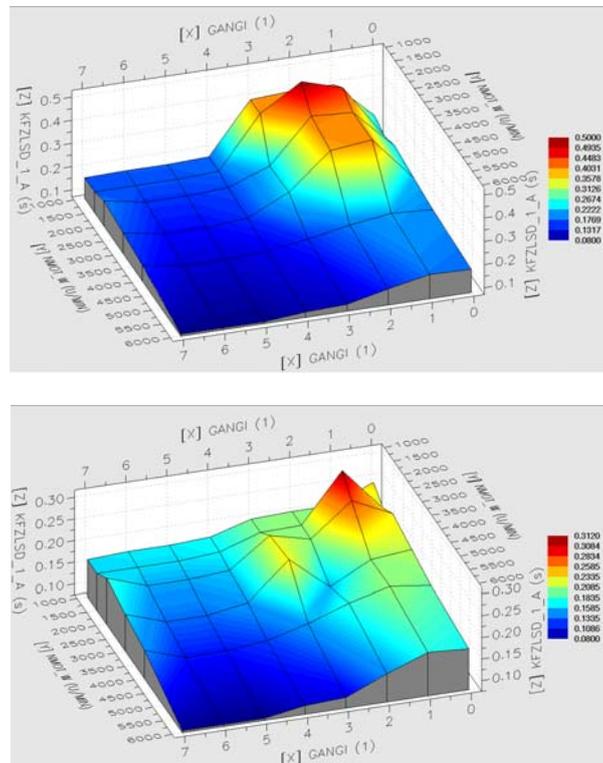


Abb. 27: Lastschlagdämpfung für zwei am Prüfstand optimierte Varianten – dynamischer und komfortabler Fahrzeugcharakter

Fig. 27: Load damping for two variants, improved on test bed – dynamic and comfortable vehicle character

Im gezeigten Fall wurden nur die für den Fahrzeugcharakter wesentlichen Funktionen Antiruckelfunktion, die Lastschlagfunktion und die Wunschkennfelder optimiert. Andere fahrbarkeitsqualitätsrelevante, automatisch optimierbare Funktionen sind:

- Leerlaufregelung, inkl. Last- u. Klimazuschaltungen
- Schaltabstimmung
- Regenerierstrategien von Abgasnachbehandlung

1.10.3 Virtual Engineering am Prüfstand und im Büro

Abb. 28 zeigt die reine Simulationsvariante im Büro zur virtuellen Triebstrangentwicklung, bzw. Produktauswahl. Der Motor und die ECU werden ebenfalls simuliert, entweder über Echtzeit – Motorsimulation oder einfach durch Simulation der am Prüfstand gespeicherten Motorgrößen.

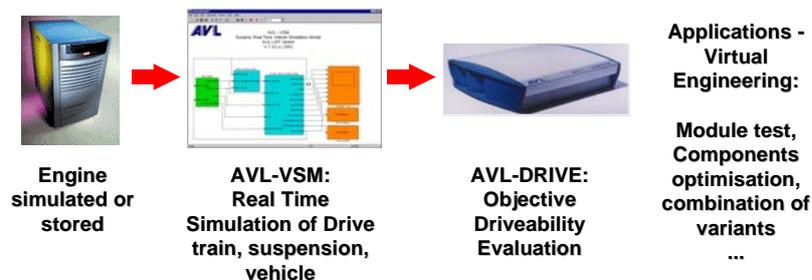


Abb. 28: Entwicklungsaktivitäten im Büro, Motor-, Triebstrang und Fahrzeug simuliert, Bewertung mit AVL-DRIVE

Fig. 28: Development activities in the laboratory, engine, drive train and chassis simulated, evaluation with AVL-DRIVE

Da der Tausch von Triebstrang-, Federungs- und Aufhängungskomponenten in VSM in Minuten möglich ist, wird eine Vielzahl neuer Varianten ermöglicht. Abb. 28 zeigt die DRIVE Bewertung von 5 Hinterachstypen in den Kriterien Gesamtbewertung, Charakternoten Komfort und Dynamik, Hauptbetriebszustand Tip In und Einzelkriterium Tip In Jerks. Achse 3 stellt die Basis dar, bei Variante 1 werden härtere Aufhängungen simuliert, Variante 5 stellt die weichste Variante dar.

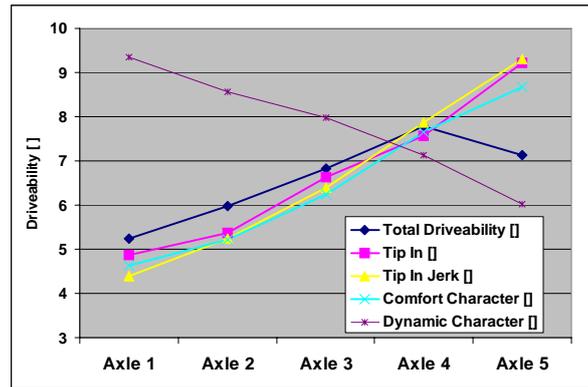


Abb. 29: Driveability Bewertung von 5 simulierten Hinterachstypen

Fig. 29: Driveability Evaluation of 5 simulated rear axles

In ähnlicher Art lassen sich Motorlager, Reifentypen, Wellen, Aufhängungen in kürzester Zeit bewerten und virtuell optimieren.

Im gezeigten Entwicklungsprozeß wird die Fahrzeugentwicklung keineswegs ersetzt. Durch die in den vorigen Kapiteln gezeigten Prozesse sollte die Qualität der Abstimmung zu Beginn der Fahrzeugtests jedoch bereits deutlich höher sein. Dadurch kann sich die Fahrzeugentwicklung mehr auf die Realisierung besonderer, auf die Marke und auf das Modell angepaßte Abstimmung konzentrieren.

1.10.4 AVL-DRIVE ermöglicht im Fahrzeug folgende Tätigkeiten:

Benchmarking

Rasche, detaillierte Fahrzeuganalysen

Zuliefererkontrolle

Alterungs- und Toleranzuntersuchung

Analyse des Umgebungseinfluß Winter / Sommer

Evaluierung Entwicklungsfortschritt

Tool zur Unterstützung des Applikateurs

Gemeinsame Definition von objektiven Entwicklungszielen

Tool zur Charakterentwicklung

Unterstützung bei Analyse von Kundenreklamationen

Diagnosesystem

Parametergewinnung für dynamischen Prüfstand und VSM

Abb. 30: Anwendungen von AVL-DRIVE im Fahrzeug

Fig. 30: Application of AVL-DRIVE in the vehicle

1.10.4 Benchmarking

Abb. 31 zeigt einen Vergleich von drei Fahrzeugen der oberen Mittelklasse mit Automatikgetrieben. Die Grenze für Serientauglichkeit liegt bei 6,0. Deutlich erkennbar die niedrige Schubbewertung von Fahrzeug B, die Ursache liegt in der geringen Schubverzögerung.

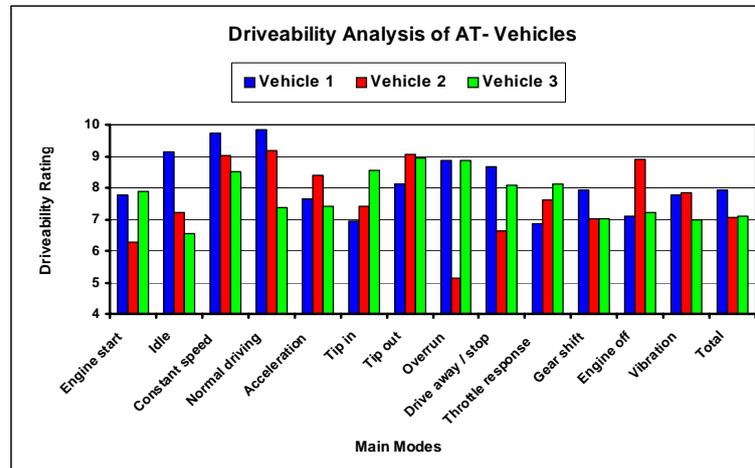


Abb. 31: AVL-DRIVE Bewertungsbeispiel

Fig. 31: Example of AVL-DRIVE Evaluation

1.10.5 Charakterverbesserung eines Sportwagens

Abb. 32 zeigt ein Beispiel einer markenspezifischen Verbesserung eines Sportwagens für die Kriterien Sportlichkeit und Komfort. Die Verbesserungen erfolgten hauptsächlich in den Betriebszuständen positiver und negativer Lastwechsel durch Änderungen in der ECU - Abstimmung und durch Weiterentwicklungen in der ECU Funktionalität. Die Spontaneität konnte um 53% verbessert werden, ohne daß sich der Komfortcharakter verschlechtert hat. Der Fahrspaß konnte um 15% erhöht werden.

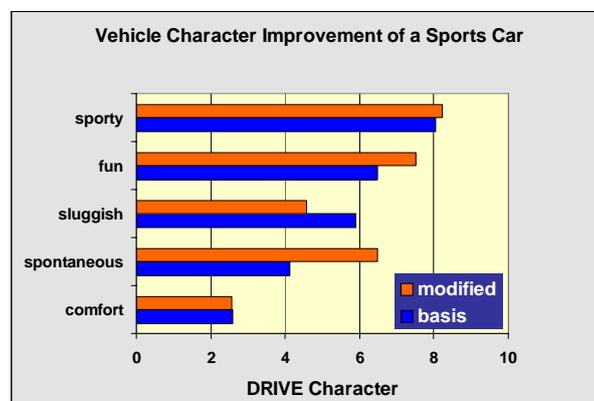


Abb. 32: Charakterverbesserung eines Sportwagens

Fig. 32: Character Improvement of a Sports Car

ZUSAMMENFASSUNG

Die Objektivierung der Fahrbarkeitsqualität und des Fahrzeugcharakters ermöglicht in Kombination mit dynamischen Prüfständen und neuen Echtzeitsimulationsmodellen völlig neue Entwicklungsszenarien.

Die Bewertung der Fahrbarkeit, bis heute nur im Fahrzeug subjektiv erfaßbar, kann bereits im Labor objektiv gemessen werden.

Eine Verlagerung der ECU Abstimmungen von der Straße auf den Prüfstand wird möglich, manuell oder automatisiert. Am Prüfstand lassen sich gleichzeitig Emissionen und Fahrbarkeit optimieren. Ergebnisse sind eine deutliche Erhöhung der Entwicklungseffizienz, die Möglichkeit der Reduktion von Entwicklungsfahrzeugen.

Die Kopplung mit Echtzeitmodellen ermöglicht am Prüfstand und im Labor ein „Virtual Engineering“. Per Software lassen sich in kürzester Zeit Triebstrangmodule austauschen, kombinieren und in ihren Parametern optimieren.

Die gleichzeitige Verfügbarkeit von Echtzeit – Simulationsmodellen für den gesamten Triebstrang, inkl. Federung und Fahrzeug ermöglicht einen neuartigen Entwicklungsprozess mit kombinierter Messung und Simulation.

LITERATUR

[1] **List H., Schoeggl P.:** Objective Evaluation of Vehicle Driveability. SAE 980204, Detroit, USA.

[2] **List H., Schoeggl P.:** Method for analysing the driving behaviour of motor vehicles, Europe patent EP 0846945A2, Japan Hei. 10-213524, 3332242/1997, US 53.940, 3.12.1997

[3] **Schoeggl P., Ramschak E.:** „Apaptive Driveability“ – Improvement of driving pleasure and individualisation of platform vehicles. Engine and Environment 2000, 7.-8.9.2000, Graz Austria

[4] **Martinelli P., Bollini M., Schoeggl P., Mundorff F.:** Methods for Driveability Improvement in Formula 1 Engines, 22nd International Vienna Motor Symposium, 26.-27. April 2001

[5] **Schoeggl P., Koegeler H.M., Gschweidl K., Kokal H., Williams P., Hulak K.:** „Automated EMS Calibration using Objective Driveability Assessment and Computer aided Optimization Methods“, SAE March 2002, Detroit USA

[6] **Schoeggl P., Steinmeier C.:** „Rollenprüfstände als fester Bestandteil der Fahrzeugentwicklungskette“; ATZ Artikel 7-8 2002

ZUM NUTZEN VON FAHRVERSUCHEN FÜR DIE GESTALTUNG

*Ralph Bruder, Bettina Abendroth, Kurt Landau
Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität*

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Anpassung von Fahrzeugeigenschaften an die Bedürfnisse und Wünsche von unterschiedlichen Nutzern bietet ein nutzerorientierter Gestaltungsprozess nach EN ISO 13407 eine gute Unterstützungsmöglichkeit. Zur Einbeziehung der zukünftigen und aktuellen Nutzer in den Gestaltungsprozess sind Fahrversuche in unterschiedlichen Untersuchungsumgebungen empfehlenswert. Allerdings sind nicht alle Untersuchungsumgebungen für alle Gestaltungsphasen zu empfehlen. In dem vorliegenden Beitrag werden daher zunächst mögliche Untersuchungsumgebungen für Fahrversuche vorgestellt und anhand von Beispielen aus Forschungsvorhaben des Instituts für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt näher erläutert. Dabei wird unterschieden zwischen idealtypischen und realtypischen Studien im Labor (wobei insbesondere Studien in Fahrsimulatoren von Bedeutung sind) und Feldstudien (Fahrversuche auf abgesperrtem Testgelände oder im öffentlichen Straßenverkehr sowie Analyse von Alltagsfahrten). Die zu bevorzugenden Untersuchungsumgebungen für die einzelnen Phasen einer nutzerorientierten Gestaltung werden daran anschließend vorgestellt. Zusätzlich erfolgt eine Beurteilung der Eignung der einzelnen Untersuchungsumgebungen für die Gewinnung von gestaltungsrelevanten Aussagen zur Sicherheit, zum Fahrerverhalten, zum Fahrzeugverhalten, zu Nutzungsgewohnheiten, zur Akzeptanz oder zum Komfort.

1 NUTZUNGSORIENTIERTER GESTALTUNGSPROZESS

Die hohe Anpassungsgüte an die Erfordernisse und Wünsche von unterschiedlichen Nutzern ist ein Kennzeichen der Produktentwicklung im Automobilbereich. Dabei ist die starke Ausrichtung an Nutzerinteressen nicht zuletzt ökonomisch motiviert, da in einem zunehmenden Wettbewerb auf globalen Märkten gerade die Berücksichtigung individueller Kundenwünsche zu einem kaufentscheidenden Differenzierungsmerkmal wird.

Die nutzerspezifische Produktpassung vollzieht sich auf unterschiedlichen Ebenen. Durch unterschiedliche Modellreihen (Limousine, Sportwagen, SUV etc.) wird auf prinzipiell unterschiedliche Nutzungsszenarien Rücksicht genommen, wobei mit jeder Modellreihe ein hinreichend großer Nutzerkreis angesprochen werden soll. Innerhalb der einzelnen Modellreihen erfolgt eine weitere Differenzierung beispielweise hinsichtlich des Antriebs, der Ausstattung und nicht zuletzt auch des Designs. Schließlich hat der einzelne Kunde noch die Möglichkeit, sich sein jeweils eigenes Fahrzeug über die Wahl von Farben, Sonderzubehör etc. zu spezifizieren.

Zur Beantwortung der Fragen, welche Modellreihen ein Hersteller neu entwickeln (oder weiter anbieten) soll, in welche Varianten die einzelnen Modellreihen zu

differenzieren sind und welche weiteren Ausstattungsmerkmale vom Kunden spezifiziert werden sollen, bietet sich ein Vorgehen gemäß des in der europäischen Norm EN ISO 13407 dargestellten nutzerorientierten Gestaltungsprozess an.

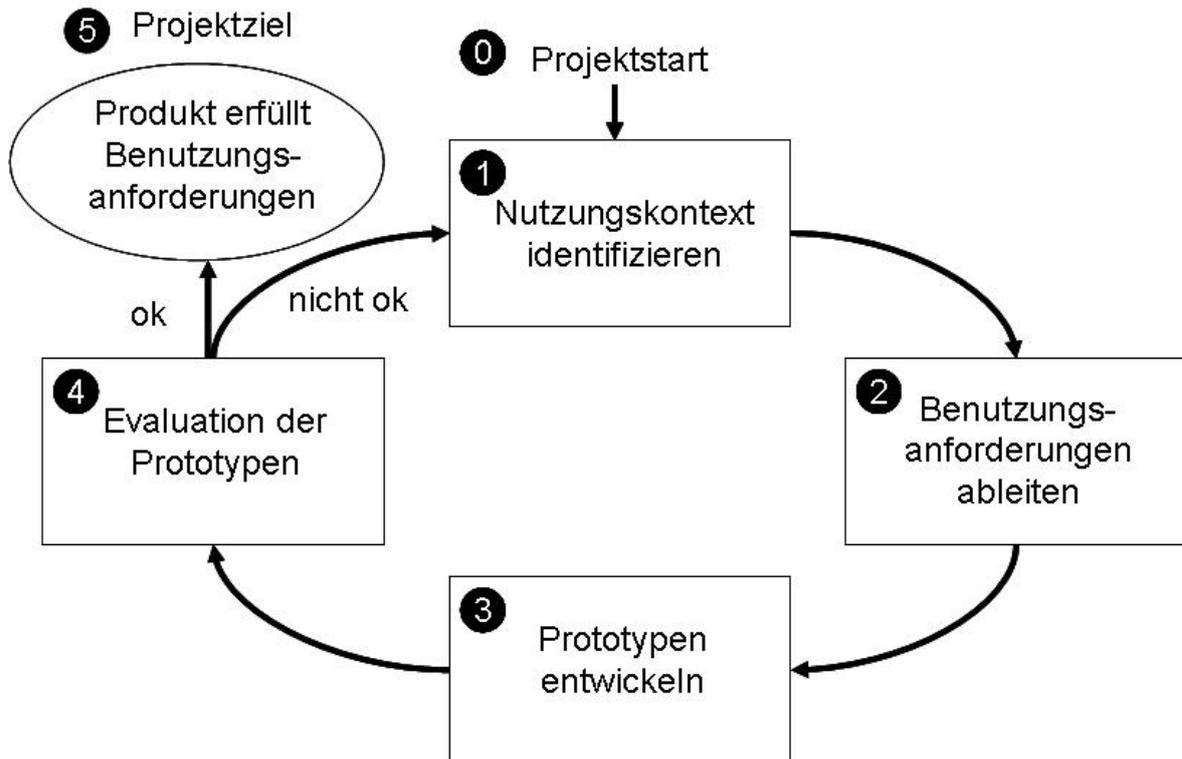


Bild 1: Benutzerorientierter Gestaltungsprozess nach EN ISO 13407 (1997)

In jeder der Phasen 1-4 des nutzerorientierten Gestaltungsprozesses wird die enge Abstimmung der Produktentwicklung mit den potentiellen Nutzern des Produktes erwartet. Es existieren eine Vielzahl von Methoden und Werkzeugen, die für die Einbindung von Nutzern in die jeweilige Gestaltungsphase empfohlen werden (siehe dazu u.a. BAGGEN & HEMMERLING, 2002).

Mit dem vorliegenden Beitrag soll die Unterstützung des nutzerorientierten Gestaltungsprozesses im Rahmen der Fahrzeugentwicklung mithilfe von Fahrversuchen aufgezeigt werden. Dazu werden zunächst Fahrversuche hinsichtlich ihres Echtheitsgrades und der Kontrollierbarkeit beschrieben, systematisiert und anhand von Beispielen erläutert (Kapitel 2). Daran anschließend erfolgt eine Beurteilung der Eignung einzelner Kategorien von Fahrversuchen für ausgewählte Fragestellungen des Gestaltungsprozesses (Kapitel 3).

2 UNTERSUCHUNGSUMGEBUNGEN ZUR DURCHFÜHRUNG VON FAHRVERSUCHEN

Fahrversuche können in unterschiedlichen Untersuchungsumgebungen stattfinden. In der Regel wird dabei zwischen Labor- und Feldstudien unterschieden. Im Labor können sowohl eher idealtypische Versuche beispielsweise in Form von einfachen Erkennungsaufgaben am Monitor als auch realtypische Versuche, z.B. im Fahrsimulator stattfinden. Auch die im Feld durchgeführten Versuche sind in unterschiedlichen Umgebungen möglich, so z.B. auf abgesperrtem Testgelände, auf einer ausgewählten Versuchsstrecke im öffentlichen Straßenverkehr oder auf nicht speziell festgelegten Strecken. Je nach Untersuchungsziel kommen auch unterschiedliche Versuchspersonen (vom Testfahrer bis zum „Normal“fahrer) zum Einsatz.

Die unterschiedlichen Untersuchungsumgebungen in Labor und Feld unterscheiden sich hinsichtlich des Echtheitsgrades der Testbedingungen sowie hinsichtlich der Kontrollierbarkeit der Randbedingungen (siehe Bild 2).

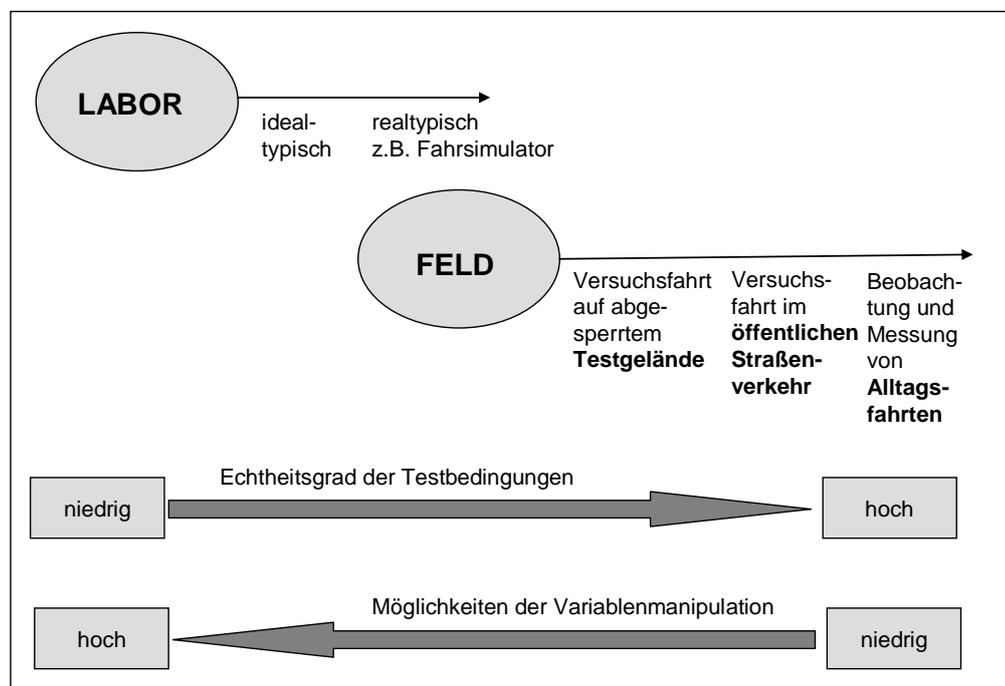


Bild 2: Abgrenzung unterschiedlicher Untersuchungsumgebungen für fahrzeugergonomische Fragestellungen in Anlehnung an ROHMERT (1988)

Die Auswahl der für eine Fragestellung geeigneten Versuchsumgebung ist von unterschiedlichen Kriterien abhängig. Das Untersuchungsziel, der Aufwand der Datenerhebung und –auswertung sowie die Kontrollierbarkeit der Randbedingungen und nicht zuletzt Sicherheitsaspekte gehören zu den entscheidenden Faktoren.

Zum Beispiel können Kenntnisse über die Reaktionen in Beinahe-Unfall-Situationen bei Versuchsfahrten im öffentlichen Straßenverkehr oder bei der Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten gewonnen werden. Während bei Versuchsfahrten nur „gestellte“ kritische Situationen möglich sind, ist das Erheben von Daten über reale Unfälle bei den Alltagsfahrten möglich. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass wahrscheinlich nur wenige Unfallsituationen auftreten

(entsprechend dem Kontinuum des Verkehrsverhaltens vom Normalverhalten bis zum Unfall, KLEBELSBERG 1982) und die Daten von nur wenigen Probanden erhoben werden können. Außerdem sind die Kosten zur Datenerhebung und -auswertung sehr hoch aufgrund der technischen Ausrüstung, der Untersuchungsdauer und der Datenmenge. Im Gegensatz dazu können bei Versuchsfahrten, zum Beispiel auf einem abgesperrten Gelände, Daten zum Verhalten von vielen Probanden beim Auftreten von gestellten kritischen Situationen gewonnen werden. Dabei können die Randbedingungen der Versuche kontrolliert werden, so dass eine hohe Vergleichbarkeit der Ergebnisse möglich ist. Weiterhin sind die Kosten für die Durchführung der kontrollierten Versuchsfahrten und der Auswerteaufwand für die aufgezeichneten Daten in der Regel geringer als bei der Durchführung und Auswertung von sogenannten Alltagsfahrten.

2.1 Fahrversuche in Laborstudien

Im Labor durchgeführte fahrzeugergonomische Untersuchungen finden häufig in Fahrsimulatoren statt. Diese können im Hinblick auf ihren Realitätsgrad sehr unterschiedlich ausgestaltet sein (Tab. 1).

Tab. 1: Beschreibung von Fahrsimulatoren anhand unterschiedlicher Kriterien

Fahrsimulator – Elemente	Ausprägung
Bewegungssimulation	Statisch..... dynamisch
Sichtsimulation	Monitor..... Leinwand 180° Sicht
Cockpitgestaltung	Sitz, Lenkrad komplettes Pedalerie..... Teil-Fahrzeug..... Fahrzeug
Haptisches Feedback an Lenkrad, Pedalerie, Bedienelementen	kein Feedback realistisches Feedback

Studien im Fahrsimulator sind gut geeignet, wenn es um die Untersuchung von klar abgegrenzten Fragestellungen geht. Eine typische Fragestellung für eine Studie im Fahrsimulator ist die Evaluation von unterschiedlichen Interfacevarianten für ein Fahrerassistenz- oder -informationssystem. Als Ergebnis von Simulatoruntersuchungen sollen Aussagen zur Funktionalität, zur Akzeptanz oder zur möglichen Ablenkung getroffen werden können.

Als Beispiel für eine Simulatoruntersuchung wird nachfolgend eine am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD) durchgeführte Untersuchung im Rahmen der Entwicklung eines neuen Bedienelementes für Fahrzeuge beschrieben.

Untersuchungsgegenstand der Simulatorstudien war ein Drehsteller mit programmierbarer haptischer Kennlinie. Untersucht wurde, welchen Einfluss die Gestaltung der haptischen Rückmeldung auf die Bedienbarkeit eines Systems, bestehend aus Display und Drehsteller, hat. bzw. in wieweit der Fahrer durch unterschiedliche Gestaltung der Nebenaufgabe (mithilfe der Bedienung des

Drehstellers) von der Hauptaufgabe (einer abstrahierten Fahraufgabe) abgelenkt wird.

2.1.1 Idealtypische Laborversuche

In einer ersten Untersuchungsphase wurden idealtypische Versuche durchgeführt, um die nutzungsorientierte Auslegung der Kennlinien des Drehstellers zu bestimmen. In den idealtypischen Studien lag der Schwerpunkt weniger auf einem möglichst hohen Echtheitsgrad der Testbedingungen im Vergleich zu realen Autofahrten, sondern in einer möglichst hohen Beeinflussbarkeit und Änderbarkeit der Testbedingungen.

Die idealtypischen Versuche fanden im Usability-Labor des IAD statt. Es wurden Versuche nach dem Prinzip der Doppeltätigkeit durchgeführt, bei denen die Ablenkung von der Hauptaufgabe bei unterschiedlicher Gestaltung der Nebentätigkeit überprüft wurde (MUSSGNUG & MEYER 2000). Die Hauptaufgabe bestand aus einer eindimensionalen Trackingaufgabe und die Nebenaufgabe in der Bedienung des Drehsteller-/Displaysystems. Der Schwierigkeitsgrad der Nebentätigkeit wurde durch Veränderung der Drehstellerkennlinien variiert.

Zur Beurteilung der Ablenkung von der Hauptaufgabe wurde unter anderem der statistische Regelfaktor bei der Trackingaufgabe erfasst. Zusätzlich erfolgte eine Aufzeichnung und Auswertung der Blickbewegungen der Probanden. Außerdem wurden die zu bedienenden Systeme von den Probanden subjektiv beurteilt.

2.1.2 Realtypische Laborversuche

Auf der Basis der Ergebnisse der idealtypischen Versuche wurde die zweite Versuchsreihe in dem statischen Fahrsimulator des IAD durchgeführt, wo eine Anordnung des Drehstellers im realen Fahrzeugcockpit möglich war. Zusätzlich zur Variation der Drehstellerkennlinien wurde in diesen Versuchen die Einbauposition des Drehstellers im Fahrzeugcockpit verändert.

Analog zu den idealtypischen Versuchen wurde auch hier das Prinzip der Doppeltätigkeit eingesetzt. Während die Nebenaufgabe unverändert blieb, wurde die eindimensionale Trackingaufgabe durch eine Fahraufgabe ersetzt, die darin bestand, einem vorausfahrenden Fahrzeug in einem bestimmten Abstand zu folgen. Zur Ermittlung der Regelleistung bei der Fahraufgabe wurden verschiedene Größen während der Versuchsfahrt aufgezeichnet. Es hat sich gezeigt, dass die Werte für das Spurhalten am besten geeignet waren, um den Einfluss der Nebenaufgabe zu beurteilen. Wie auch bei den idealtypischen Versuchen wurden die Blickbewegungen der Versuchspersonen während der Versuche aufgezeichnet.

Aus beiden Versuchsreihen (idealtypisch und realtypisch) konnten Aussagen zur Auslegung des Drehstellers hinsichtlich der haptischen Rückmeldung sowie zur Positionierung des Drehstellers im Cockpit abgeleitet werden (MUSSGNUNG & MEYER, 2000).

2.1.3 Vergleich Simulatorversuche vs. Feldstudien

Laborversuche bieten zur Gewinnung grundlegender Erkenntnisse das Bedienverhalten des Fahrers betreffend eine geeignete Umgebung. Geht es allerdings darum, das Fahrerverhalten in dynamischen Fahrsituationen zu analysieren, ist die Fahrsimulation aufgrund fehlender Fahrzeugbewegung oder nur simulierter Fahrzeugbewegung sowie veränderter Gefahrenwahrnehmung und folglich geänderten Risikoverhalten der Fahrer aufgrund fehlender Konsequenzen im Falle eines Unfalls nicht die zu bevorzugende Untersuchungsumgebung.

Die Übertragbarkeit des im Fahrsimulator erhobenen Fahrerverhaltens in dynamischen Fahrsituationen auf das Fahrerverhalten in vergleichbaren Situationen im realen Straßenverkehr wurde am IAD am Beispiel der Situation Linksabbiegen von einer Hauptstraße mit Gegenverkehr in eine Nebenstraße analysiert (MEYER & DIDIER 2003).

An der Versuchsreihe im Fahrsimulator nahmen 28 weibliche und männliche Probanden aus drei Altersgruppen teil. Aufgezeichnet wurde die Anzahl und Länge der nicht genutzten Lücken zwischen den entgegenkommenden Fahrzeugen sowie die Wartezeit. Die Probanden hatten nach einer Übungsphase acht Abbiegemanöver zu fahren. Die Lücken zwischen den mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h entgegenkommenden Fahrzeugen betrug 2,5, 3, 3,5 oder 4 Sekunden.

Das bei den Versuchen im öffentlichen Straßenverkehr genutzte Fahrzeug war im Hinblick auf Lenkcharakteristik, Beschleunigungsverhalten sowie Fahrzeuggröße mit dem IAD-Fahrsimulator vergleichbar. Die Versuche fanden auf einer Hauptstraße in Darmstadt zur Hauptverkehrszeit statt, so dass die Verkehrsdichte der im Fahrsimulator realisierten vergleichbar war und die sich ergebenden Zeitlücken zwischen den entgegenkommenden Fahrzeugen einen großen Bereich abdeckten. Jeder Fahrer hat nach einer Übungsphase zwei verschiedene Einbiegemanöver jeweils drei Mal durchgeführt.

An den Feldversuchen haben 30 Fahrer teilgenommen, das Probandenkollektiv war wie bei den Simulatorversuchen auf drei Altersgruppen aufgeteilt. Mit einer auf dem Fußgängerweg angebrachten Kamera wurden das Versuchsfahrzeug sowie die entgegenkommenden Fahrzeuge aufgenommen. Wartezeit, Anzahl und Länge der nicht genutzten Lücken zwischen den entgegenkommenden Fahrzeugen wurden mit der Software „Observer“ aus den Videoaufnahmen ermittelt.

Die Gegenüberstellung der im Feld und im Simulator erhobenen Daten zeigt, dass das Fahrerverhalten trotz des vergleichbaren Versuchsaufbaus unterschiedlich ist. Alle Fahrer haben im Simulator Zeitlücken im Bereich von 2,5 bis 4 Sekunden zum Linksabbiegen genutzt. Unterschiede zwischen den Fahrern gab es bei der Anzahl der nicht genutzten Zeitlücken. Bei den Feldversuchen im öffentlichen Straßenverkehr sind die Fahrer bei Zeitlücken von mehr als 4,4 Sekunden links abgebogen. Diese Unterschiede können darauf zurückgeführt werden, dass den Probanden im Fahrsimulator das Empfinden von Gefahren fehlt und dass die Wahrnehmung von Geschwindigkeit und Abständen eingeschränkt ist.

Trotz der genannten Unterschiede zwischen dem Fahrverhalten im Simulator und im realen Straßenverkehr bieten sich Simulatorstudien für eine Vielzahl von Fragestellungen als die geeignete Untersuchungsumgebung an. So sind alle

Untersuchungen, die die Leistungsvoraussetzungen des Fahrers einschränken, z.B. durch Müdigkeit, Einfluss von Medikamenten, Alkohol und Drogen aufgrund von Sicherheit und ethischen Bedenken nur im Fahrsimulator durchzuführen. Um die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Simulatorstudien auf reale Fahrsituationen abzusichern, sollten allerdings Vergleichsstudien im Feld ebenfalls durchgeführt werden.

2.2 Fahrversuche in Feldstudien

Versuchsfahrten im Feld bieten den Vorteil, dass sie das reale Fahren abbilden. Mit zunehmendem Realitätsgrad können hier die drei Versuchsformen

- Versuchsfahrt auf Testgelände
- Versuchsfahrt im öffentlichen Straßenverkehr
- Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten

unterschieden werden (Tab. 2).

Bei Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr ist der Fahrer in das reale Verkehrsgeschehen mit anderen Fahrzeugen eingebunden und es werden unterschiedliche Streckenprofile befahren. Die Datenauswertung wird durch diese Situationseinflüsse aufwendiger, da die Daten entsprechend der Einflussfaktoren klassifiziert werden müssen.

Tab. 2: Differenzierung der Untersuchungsumgebungen im Feld

	Feld	
Umgebung	abgesperrtes Testgelände	öffentlicher Straßenverkehr
Versuchsleiter im Fahrzeug	ja (i.d.R.)	
Kontrollierte Randbedingungen	stark kontrolliert	eingeschränkt kontrolliert
Gezielte Variablenmanipulation	ja	
Fahrtmotiv	vorgegeben (Versuchsfahrt)	frei (Alltagsfahrt)
		
	Versuchsfahrt auf Testgelände	Versuchsfahrt im öffentlichen Straßenverkehr
		
		Beobachtung und Messung von Alltagsfahrt

2.2.1 Testgelände

Testgelände werden für Fahrversuche genutzt, wenn sicherheitskritische Fahrmanöver und –situationen gefahren werden sollen, die Versuchsträger über

keine Zulassung für den Straßenverkehr verfügen oder das Versuchsdesign kontrollierte Randbedingungen oder standardisierte Fahrmanöver vorsieht.

Von der TU Darmstadt wird ein ehemaliger Flugplatz (der August-Euler-Flugplatz in Griesheim) als Testgelände für Fahrversuche genutzt (Bild 3). Wie das Testgelände für Fahrversuche genutzt werden kann, soll anhand eines Projektbeispiels erläutert werden. Das Ziel der Studien auf dem Testgelände war dabei die Analyse des Fahrerverhaltens bei automatischen Brems- und Lenkeingriffen eines entsprechend ausgerüsteten Fahrzeugs (BENDER et al. 2006).

Das abgesperrte Testgelände wurde als Untersuchungsumgebung ausgewählt, da zum einen sicherheitskritische Situationen nachgestellt wurden und zum anderen im Straßenverkehr nicht zugelassene Systemprototypen im Versuchsträger eingesetzt wurden. Dort wurden drei Versuchsreihen mit jeweils 28 bis 42 Probanden und unterschiedlichen Untersuchungszielen (Tab. 3) gefahren.

Tab. 3: Im Rahmen des Projektes analysierte Fragestellungen

Systemauslegung	Systemwirkung
<ul style="list-style-type: none"> – Wann muss der automatische Eingriff erfolgen? – Wie soll der automatische Eingriff gestaltet sein? 	<ul style="list-style-type: none"> – Wie reagieren die Fahrer, wenn keine Unterstützung erfolgt bzw. bei automatischem Bremsengriff oder automatischem Lenkeingriff? – Akzeptieren die Fahrer die automatischen Eingriffe?

Die Fahrer hatten den Auftrag, einen Parcours zu durchfahren, in dem aus einem Streckenelement heraus plötzlich von rechts ein Hindernis erschien (4). Das Hindernis war derart konstruiert, dass im Falle einer Kollision keine Schäden entstanden. Es wurden unterschiedliche automatische Brems- und Lenkeingriffe eingeleitet und das Fahrerverhalten in den verschiedenen Situationen analysiert. Reaktionszeiten, Pedal- und Lenkradbetätigungen, erfolgte Kollisionen mit dem Hindernis, Blickverhalten, Mimikreaktionen und Akzeptanz der Fahrer wurden während der Versuche erfasst.



Bild 3: Testgelände der TU Darmstadt, August-Euler-Flugplatz in Griesheim



Bild 4: Eingesetztes Hindernis: Gummischlauch, der sich aus einem Eimer entfaltet

In der ersten Versuchsreihe wurde das Fahrerverhalten bei einem plötzlich erscheinenden Hindernis, ohne automatischen Systemeingriff untersucht. Jeder Proband hat insgesamt 5 Fahrten durch den Parcours durchgeführt. Variiert wurde die „Plötzlichkeit“ des Erscheinens des Hindernisses, also die Zeit, die für den Fahrer blieb, um eine Kollision zu vermeiden. Hierbei wurden die Versuche bewusst so ausgelegt, dass für die meisten Fahrer bei der ersten Konfrontation mit dem Hindernis eine Kollisionsvermeidung nicht möglich war. Außerdem wurden Ausweichbreite und Geschwindigkeit derart gewählt, dass unter fahrdynamischen Gesichtspunkten ein Lenkmanöver besser zur Kollisionsvermeidung geeignet war als eine Notbremsung. Die Ergebnisse zeigen, dass mehr als 1/3 der Probanden weder mit Bremsen noch mit Lenken auf das Hindernis reagiert haben. Ebenso viele Fahrer haben nur gelenkt und nur ein kleiner Teil der Probanden hat gebremst oder gebremst und gelenkt (Bild 5).

In Versuchsreihe 2 wurden mit 28 Probanden Fahrten durchgeführt, bei denen im Fall des Erscheinens des Hindernisses ein automatisches Bremsmanöver eingeleitet wurde. Variiert wurden der vorgegebene Bremsdruck sowie die Zeitpunkte von Hindernisereignis und automatischer Notbremsung. Auffällig war, dass die Probanden in 88 % der Fahrten mit Notbrems-Eingriff mit einer Betätigung des Gaspedals reagierten, was auf die Trägheitswirkung bei der Verzögerung zurückzuführen ist. Ein Beispiel zeigt Bild 7. Es ist somit für dieses System nicht sinnvoll, die Gaspedalbetätigung als Übersteuerungs- bzw. Abschaltkriterium zu verwenden, wie dies zum Beispiel bei ACC-Systemen üblich ist.

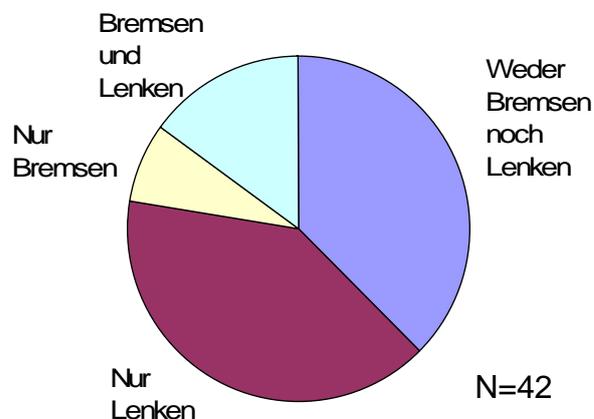


Bild 5: Reaktionen der Fahrer auf ein plötzlich und unerwartet erscheinendes Hindernis

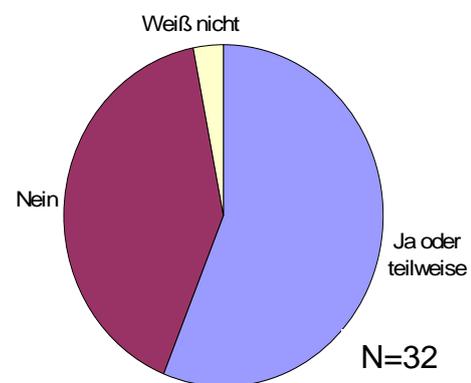


Bild 6: Antwort auf die Frage: "Hat das Fahrzeug im Bereich des Hindernisses ihren Lenkbewegungen gehorcht?" bei regeltem automatischem Lenkeingriff

Automatische Ausweichmanöver wurden bei Erscheinen des Hindernisses in Versuchsreihe 3 eingeleitet. Die Art des Lenkeingriffs wurde variiert, die Varianten Lenkimpuls, komplette Ausweichtrajektorie mit Übersteuerungsmöglichkeit für den Fahrer und Ausweichtrajektorie ohne Übersteuerungsmöglichkeit wurden eingesetzt. Bei der Fahrt mit regeltem automatischem Lenkeingriff haben über die Hälfte der Fahrer auf die Frage: "Hat das Fahrzeug im Bereich des Hindernisses ihren Lenkbewegungen gehorcht?" geantwortet ja oder teilweise (siehe Bild 6). Dies zeigt, dass die Versuchspersonen zu einer Schwierigkeiten

bei der Einschätzung ihrer Übersteuerungsmöglichkeit haben und zum anderen der Eingriff erwartungskonform verläuft.

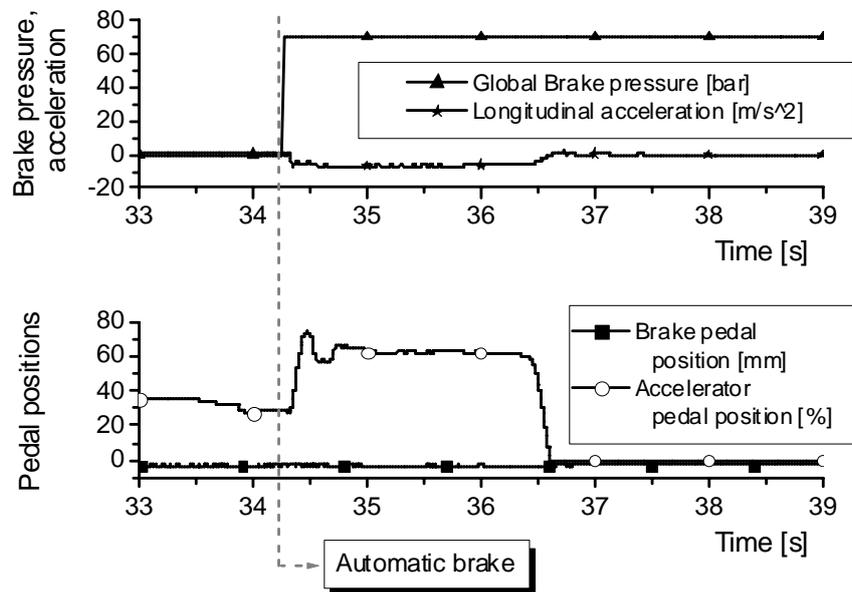


Bild 7: Gaspedalbetätigung bei automatischer Notbremsung (exemplarischer Messwertverlauf)

Die in diesen Versuchsreihen ermittelten Ergebnisse geben das Fahrerverhalten in ausgewählten, genau definierten kritischen Situationen wieder. Die Studie zeigt, dass prinzipielle Auslegungen von neuen Systemen im Rahmen von Fahrversuchen auf Testgeländen gut möglich sind. Ebenso ermöglichen die Fahrversuche auf dem Testgelände Aussagen zur Akzeptanz neuer Assistenzsysteme.

2.2.2 Öffentlicher Straßenverkehr

Insbesondere für die Evaluation neuer Produktkonzepte ist die Durchführung von Fahrversuchen in möglichst realen Nutzungskontexten ein häufig gewählter Untersuchungsansatz. Dabei soll beispielsweise die Nutzung und die Akzeptanz von neuen Systemen durch potentielle Nutzer möglichst im realen Fahrkontext beurteilt werden. Hierzu bieten sich Fahrversuche im öffentlichen Straßenverkehr an. Mit dem steigenden Echtheitsgrad der Untersuchungsbedingungen sinkt bei den Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr allerdings häufig auch die Beeinflussbarkeit der Untersuchungsbedingungen. Durch entsprechende Auswahl von Versuchsstrecken im öffentlichen Straßenverkehr kann allerdings die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten gewünschter Ereignisse beeinflusst werden. So stellen Fahrten im Innenstadtbereich größerer Städte in der Regel erhöhte Anforderungen an die Aufmerksamkeit und bieten ein höheres Potential für Reizüberflutung als beispielsweise Fahrten auf Landstraßen. Dagegen bieten sich Fahrten auf Autobahnen für Untersuchungen zur Funktionsnutzung von Fahrerassistenzsystemen oder zum Komfortempfinden von Sitzen an. Auf Landstraßen sind Fahrsituationen zu erwarten, die Aussagen über die fahrdynamische Auslegung von Fahrzeugen ermöglichen, aber auch die Funktionalität von Fahrerassistenzsystemen betreffen.

Als Beispiel für eine Studie im öffentlichen Straßenverkehr werden nachfolgend die am IAD durchgeführten Fahrversuche zur Untersuchung von ACC-Systemen (Adaptive Cruise Control) beschrieben.

In einer ersten Studie zu ACC-Systemen untersuchte ABENDROTH (2001) das Fahrerverhalten beim Fahren ohne und mit ACC-Unterstützung. Dazu fanden Versuchsfahrten auf einer 230 km langen Autobahnstrecke statt, die u.a. hinsichtlich des Aspektes der Geschwindigkeitsbegrenzung zusammengestellt wurde (ca. 50% der Strecke war nicht Geschwindigkeitsbegrenzt). Aus den Fahrversuchen im realen Straßenverkehr konnten Aussagen zur Auslegung von ACC-Systemen hinsichtlich der Größen Abstand, Längsbeschleunigung und – verzögerung getroffen werden. Insbesondere folgte aber aus den Fahrversuchen die Notwendigkeit, das ACC-System an das Fahrverhalten (manuell oder automatisch) anzupassen.

In einer zweiten Studie wurden von DIDIER (2006) verschiedene ACC-Systeme hinsichtlich des Komfortempfindens der Fahrer verglichen. Ein Teilaspekt der gesamten Studie betraf den Langstreckenkomfort von ACC-Systemen. Dabei bezieht sich der Begriff Langstreckenkomfort auf das Befahren langer Einzelstrecken, insbesondere auf Schnellstraßen und Autobahnen. Der Langstreckenkomfort wird vom Begriff des Dauerkomforts unterschieden, der die Nutzung des Fahrzeugs über einen längeren Zeitraum (mehrere Wochen) beschreibt, ohne dass ein spezifisches Streckenprofil gefahren wird.

Die Übernahme von Tätigkeiten der primären Fahraufgabe und hier besonders der Führungsaufgabe durch ein Fahrassistenzsystem birgt neben Sicherheitsgewinnen vor allem ein erhebliches Entlastungspotential für den Fahrer, was sich auf Langstrecken in einer Komfortsteigerung des Fahrers bemerkbar machen sollte. Dieser Komfortzuwachs wurde in bisherigen Studien kaum quantifiziert. Zur Definition des Begriffs Komfort im Zusammenhang mit ACC-Systemen wird hier auf DIDIER (2006) verwiesen.

Für die Langstreckenversuche wurde ein mit einem ACC-System ausgestattetes Oberklassenfahrzeug genutzt. Auf Basis der potenziellen Relevanz für den Komfort auf Langstrecken und einer durchgeführten Bewertung des Mess- und Auswertungsaufwandes wurden die nachstehend aufgeführten Daten für die Erfassung im Rahmen der durchgeführten Vorversuche ausgewählt.

- Fahrverhalten (Fahrzeuggeschwindigkeit, Brems- u. Fahrpedalbetätigung, ...)
- ACC-System-Nutzung (System aktiviert, Wunschgeschwindigkeit, -abstand)
- Fußposition (Bewegungen des rechten Fußes)
- Subjektive Beurteilung von Akzeptanz und Komfort

Jeder Proband absolvierte im Laufe der durchgeführten Versuche drei Fahrten. Nach der ersten begleiteten Versuchsfahrt auf der Versuchsstrecke folgte eine zweite, unbegleitete Fahrt, die zur weiteren Übung des Umgangs mit dem ACC-System diente, wobei die Probanden dazu angehalten waren, mindestens 400 Kilometer zu fahren. Je mehr Übung die Fahrer mit dem Versuchsträger und dem ACC-System hatten, desto besser war es für die abschließende Fahrt, da während

dieser die ACC-Beurteilung nach abgeschlossener Lernphase erfasst werden sollte. Die Länge der unbegleiteten Fahrt lag im Durchschnitt bei 453 km.

Bei der dritten Fahrt handelte es sich wieder um eine Versuchsfahrt mit Versuchsbegleiter auf der festgelegten Versuchsstrecke. Waren die Probanden während der ersten Versuchsfahrt aufgefordert, das ACC-System zu nutzen, soweit es ihr Sicherheitsempfinden und die aktuelle Verkehrssituation zuließen, so lautete die Anweisung für die abschließende Versuchsfahrt lediglich, das ACC-System so einzusetzen, dass es für die Versuchsperson mit einem möglichst hohen Komfortempfinden verbunden ist.

Um ideale Bedingungen für die intensive Beanspruchung des ACC-Systems zu gewährleisten, wurde die Versuchsstrecke so ausgewählt, dass ein großer Anteil von Autobahnen hoher Verkehrsbelastung garantiert war. Die ausgewählte Versuchsstrecke war 368 km lang und nahm ca. 3,5 h Fahrtzeit in Anspruch. Insgesamt wurde für die durchgeführten Versuche ein relativ homogenes Kollektiv von 7 männlichen Probanden im Alter über 50 Jahren ausgewählt. Da Langstreckenfahrten auf Autobahnen für die ausgewählten Probanden keine außergewöhnliche Situation darstellen sollten, waren spezielle Anforderungen an die Fahrerfahrung der Probanden gestellt.

Ein auffälliges Ergebnis der Fahrversuche ist der geringe Zusammenhang zwischen den objektiven Messgrößen und den subjektiven Komfortbeurteilungen. Besonders das objektive Fahrverhalten, wozu neben der Wunschgeschwindigkeit und dem Wunschabstand auch die Bremsbetätigungen und die Übersteuerungen gehören, kann nicht als Prädiktor für die Komfortbewertung angesehen werden. So hatten einige Probanden deutliche Auffälligkeiten in ihren Komfortbewertungen, die sich aber in keiner Weise im Fahrverhalten widerspiegelten. Demgegenüber gaben auch Probanden mit außergewöhnlich vielen Fahreingriffen (und einem demnach vermuteten geringen Komfortempfinden) ein hohes Komfortempfinden an.

Dies zeigt, dass Übersteuerungen und Bremseingriffe vom Fahrer nicht durchweg als negativ und den Komfort mindernd beurteilt werden. Allerdings wurde in den Fahrversuchen auch festgestellt, dass die von den Fahrern wahrgenommene Eingriffshäufigkeit mit der tatsächlichen nicht immer übereinstimmt. Gleiches gilt neben den Messgrößen des Fahrerverhaltens auch für die Nutzungszeit des ACC-Systems und die Fußposition.

Die beiden Untersuchungen zum ACC-System zeigen, wie mit Versuchsfahrten im öffentlichen Straßenverkehr unterschiedliche Fragestellungen abgedeckt werden können. Dabei zeigte sich insbesondere für die Beantwortung von Fragen zur Akzeptanz und zum Komfortempfinden von Fahrerassistenzsystemen die Notwendigkeit, Fahrversuchen mit möglichst langen Fahrstrecken über einen längeren Zeitraum im öffentlichen Straßenverkehr durchzuführen. In Fahrversuchen mit kürzeren Fahrstrecken konnten Aussagen zur Funktionalität und Auslegung von Fahrerassistenzsystemen getroffen werden.

2.2.3 Alltagsnutzung

Nur sehr wenige Untersuchungen haben bis jetzt in Form der Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten stattgefunden. Bei diesen Alltagsfahrten steht im

Vordergrund, dass die Fahrer unbegleitet fahren, möglichst sogar mit ihrem eigenen Fahrzeug, das mit unauffälliger Messtechnik zur Datenaufnahme ausgestattet ist. Darüber hinaus werden keine speziell ausgewählten Versuchsstrecken gefahren, sondern die Daten der täglichen Fahrten der Fahrer werden aufgezeichnet. Diese Art der Untersuchung wird üblicherweise über einen längeren Zeitraum durchgeführt.

Bei der Methode der Untersuchung der Alltagsnutzung handelt es sich um eine systematische, wissenschaftliche Beobachtung von Verhalten unter natürlichen Bedingungen. Sie stellt eine Erweiterung in den Freiheitsgraden zu Versuchsfahrten im öffentlichen Straßenverkehr dar und ist gegensätzlich zu Laboruntersuchungen angelegt. Wo bei Experimenten im Labor nur wenige Variablen manipuliert werden, können bei Versuchsfahrten spezifische Fragestellungen zum konkreten Fahrverhalten untersucht werden und bei der Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten auch spontan auftretendes Verhalten auf einer Mikro-Ebene aufgezeichnet werden. Dieses Vorgehen unterstützt insbesondere die Generierung von Hypothesen in einem so genannten „context of discovery“, welche in einem zweiten Schritt dann auch unter Laborbedingungen überprüft werden können.

Die Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten ist ein Untersuchungsansatz, der die Lücke zwischen Versuchsfahrten mit einem Fahrerkollektiv und dem unbeobachteten Fahren schließen soll. Erste Studien aus den USA (z.B. NEALE et al. 2002) sind bereits veröffentlicht, auch in Europa gibt es bereits erste Untersuchungen (TATTERSAL & RENNER 2006, SACHER & BUBB 2006).

In Bezug auf das Gütekriterium der Validität lässt sich allgemein sagen, dass besonders die externe Validität (also die Übertragbarkeit der Ergebnisse) bei Studien mit Alltagsfahrten im Allgemeinen hoch ist. Dagegen müssen in der Regel Abstriche bei der internen Validität (Finden von kausalen Zusammenhängen) gemacht werden.

Das Verfahren der Untersuchung von Alltagsfahrten ist häufig nicht standardisiert, da die Probanden ihre eigenen Fahrstrecken wählen können, jedoch sollte die Auswertung und Interpretation der Daten vom Untersucher unabhängig und standardisiert sein. Durch die Kombination exakter und auf unterschiedlichen Ebenen aufzeichnender Systeme kann das Fahrerverhalten detailgetreu beschrieben werden, Rückschlüsse über realistisches Fahren können gezogen werden und Einblicke gewonnen werden, die in kurzen, standardisierten Laborsituationen so nicht möglich sind. Kritisch anzumerken ist jedoch, dass durch dieses Verfahren möglicherweise die Anzahl der Daten für spezifische Situationen sehr gering ausfallen können, wenn die Situationen beim freien Fahren nur sehr selten auftreten, oder die Personen diese Situationen lieber umgehen.

3 ZUORDNUNG VON UNTERSUCHUNGSUMGEBUNGEN ZU GESTALTUNGSFRAGEN

In der nachfolgenden Tabelle 4 werden die im vorherigen Kapitel beschriebenen Untersuchungsumgebungen für Fahrversuche hinsichtlich ihrer Unterstützungsmöglichkeit für den nutzerorientierten Gestaltungsprozess nach EN ISO 13407 (siehe Kapitel 1) beurteilt.

Tab. 4: Bevorzugte Untersuchungsumgebungen für einzelne Gestaltungsphasen

Gestaltungsphase	Bevorzugte Untersuchungsumgebung
Nutzungskontext identifizieren	Alltagsnutzung, Straßenverkehr
Benutzungsanforderungen ableiten	Fahrsimulator, Testgelände, Straßenverkehr
Prototypen entwickeln	Fahrsimulator, Testgelände
Prototypen evaluieren	Testgelände, Straßenverkehr, Alltagsnutzung

Gerade die Identifikation von Nutzungskontexten für zukünftige Produkte gewinnt zunehmend an Bedeutung, da mit der Beschleunigung bei der Entwicklung neuer Technologien und Techniken entsprechend Moore's Law (MOORE, 1965) die Suche nach Anwendungsmöglichkeiten für die neu entwickelten Technologien und Techniken zugenommen hat (BRUDER, 2002). Hier bieten Studien mit Alltagsfahrten ein großes Potential zum Aufzeigen von möglichen Anwendungsfeldern für neue Systementwicklungen in Fahrzeugen.

Für die detaillierte Ableitung von Anforderungen an neu zu entwickelnde Fahrzeuge bzw. Teilsysteme von Fahrzeugen bieten sich Studien mit definierten Eingriffsmöglichkeiten an. Hier kann der Verzicht auf den Echtheitsgrad der Untersuchungsumgebung sinnvoll sein, wenn dafür eine hohe Aussageschärfe zur Auslegung von Systemelementen getroffen werden kann.

Zur Unterstützung der Prototypenentwicklung bleibt aus rechtlichen Gründen in der Regel nur die Durchführung von Fahrversuchen auf nicht öffentlichen Strecken bzw. die Durchführung von Laborstudien. Zudem haben Hersteller in der Phase der Prototypentwicklung häufig wenig Interesse ihre jeweilige Neuentwicklung zu früh im öffentlichen Straßenverkehr zu präsentieren.

Für die Evaluierung von Gestaltungslösungen sollten dagegen in jedem Fall auch Fahrten mit möglichst hohem Echtheitsgrad im Vergleich zu Alltagsfahrten vorgesehen werden.

Neben der Frage welche Untersuchungsumgebung für welche Gestaltungsphase empfehlenswert ist, gilt es auch nur klären, welche Untersuchungsziele in den jeweiligen Umgebungen verfolgt werden können.

Zu den Untersuchungszielen gehören beispielsweise Aussagen zur Sicherheit, zum Fahrerverhalten, zum Fahrzeugverhalten, zu Nutzungsgewohnheiten, zur Akzeptanz oder zum Komfort. Die genannten Untersuchungsziele werden dabei im Zusammenhang mit unterschiedlichen Untersuchungsobjekten (z.B. Fahrerassistenz- und -informationssysteme (FAS/FIS), Bedienelemente und Anzeigen, Fahrzeugelemente oder fahrdynamische Eigenschaften) verfolgt. Im Folgenden wird die Eignung der Untersuchungsumgebungen Fahrsimulator, abgesperrtes Testgelände, öffentlicher Straßenverkehr und Alltagsnutzung für unterschiedliche Untersuchungsziele beurteilt (Tabelle 5).

Für die Beurteilung des Komfort, den das gesamte Fahrzeug oder einzelne Fahrzeugsysteme, z.B. FAS und FIS, dem Fahrer bieten, ist der Fahrsimulator nur bedingt geeignet. Die zur Komfortbeurteilung notwendigen Fahrzeugbewegungen in den drei Raumachsen fehlen häufig in Simulatoren bzw. deren Simulation

erfordert einen hohen technischen Aufwand. Auch das Testgelände ist für Komfortuntersuchungen nur bedingt geeignet, da dem Fahrer die durch die Einbindung des Fahrzeuges in den Straßenverkehr auftretenden Belastungen (und deren Auswirkung auf das subjektive Komfortempfinden) fehlen. Versuchsfahrten im öffentlichen Straßenverkehr sowie die Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten bieten hingegen eine sehr gute Umgebung für die Untersuchung von Komfort. Hier ist jedoch zu beachten, dass eine hinreichende Gewöhnung des Fahrers an das Untersuchungsobjekt vorliegen sollte.

Zur Analyse der Nutzungsgewohnheiten einzelner Systeme durch den Fahrer sowie des Fahrerverhaltens bei Einsatz unterschiedlicher Systeme bieten weder der Fahrsimulator noch das Testgelände eine angemessene Umgebung. Das Testgelände kann jedoch die einzige mögliche Untersuchungsumgebung sein, wenn das eingesetzte System noch nicht für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen ist oder sicherheitskritische Fahrmanöver zur Analyse des Fahrerverhaltens notwendig sind. Besser geeignet als Versuchsfahrten im öffentlichen Straßenverkehr ist die Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten für die Analyse von Nutzungsgewohnheiten und Fahrerverhalten. Es ist davon auszugehen, dass sich insbesondere die Nutzungsgewohnheiten mit zunehmender Gewöhnung an das Untersuchungsobjekt erst ausbilden werden.

Für die Analyse der Auswirkungen von Fahrzeuggestaltungsmaßnahmen auf die Sicherheit sind prinzipiell alle Untersuchungsumgebungen geeignet, wobei jedoch die Übertragbarkeit der Ergebnisse mit zunehmendem Realitätsgrad der Untersuchungsumgebung besser wird. Die Auswahl der Untersuchungsumgebung wird stark davon beeinflusst, welches Risiko für Fahrer, Fahrzeug und Umgebung die Fahrmanöver bzw. die Versuchsstrecke mit sich bringen.

Für Analysen der Funktion einzelner Fahrzeugssysteme insbesondere hinsichtlich der Bewertung von Bedienelementen und Anzeigen ist der Fahrsimulator gut geeignet. Dagegen sind Studien im Fahrsimulator nur bedingt geeignet, wenn Funktionen untersucht werden sollen, die in die Fahrzeugdynamik des Fahrzeuges eingreifen. Je nachdem, ob die Funktion in speziellen Fahrmanövern oder in der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern analysiert werden soll, sind das Testgelände oder Versuchsfahrten im öffentlichen Straßenverkehr gut geeignete Untersuchungsumgebungen. Die Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten ist zwar auch für die Funktionsanalyse geeignet, aber nicht notwendig und aufgrund des großen Durchführungs- und Datenauswertungsaufwandes nur bedingt zu empfehlen.

Tab. 5: Beurteilung der Eignung unterschiedlicher Untersuchungsumgebungen für die Analyse verschiedener Untersuchungsziele; - (nicht geeignet), o (bedingt geeignet), + (gut geeignet)

	Komfort- beurteilung	Nutzungsge- wohnheiten & Fahrerverhalten	Sicherheits- analyse	Funktions- analyse
Fahrsimulator	-	-	+	+/-
Testgelände	o	-	+	+
Straßenverkehr	+	o	+	+
Alltagsnutzung	+	+	+	o

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, die die Objektivität der Ergebnisse von Fahrversuchen unterstützen und als Input für Gestaltungslösungen verwendet werden können, ist es wichtig, dass für alle Versuche, unabhängig von der gewählten Untersuchungsumgebung, der Fahrauftrag, d.h. die Anweisung an den Fahrer, klar definiert und dem Fahrer kommuniziert wird. Darüber hinaus ist der Einfluss unterschiedlicher Ausprägungen von Variablen bei der Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen.

LITERATUR

ABENDROTH, B.: Gestaltungspotentiale für ein PKW-Abstandsregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrertypen. Stuttgart, Ergonomia, 2001

BAGGEN, R.; HEMMERLING, S.: Evaluation von Benutzbarkeit in Mensch-Maschine-Systemen. In: Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T.; Kolrep, H. (Hrsg.): Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation. 2. Auflage, Düsseldorf, Symposion Publishing GmbH, 2002, S. 233-284

BENDER, E.; LANDAU, K.; BRUDER, R.: Driver reactions in response to automatic obstacle avoiding manoeuvres. In: Proceedings IEA 2006 Congress, 16th World Congress on Ergonomics, 10.-14.07.2006, Maastricht, Niederlande, CD-ROM-Ausgabe

BRUDER, R.: Natürlich künstlich. Zum gestalteten Verhältnis von Menschen und neuen Medien. In: Essener Unikate: Design und neue Medien. Universität-GH-Essen. Essen, Universität-GH-Essen. 17. Ausgabe 2002, S.56-61

DIDIER, M.: Ein Verfahren zur Messung des Komforts von Abstandsregelsystemen (ACC-Systemen). Stuttgart, Ergonomia, 2006

EN ISO 13407: Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme. Brüssel: CEN, 1997

KLEBELSBERG, von D.: Verkehrspsychologie. Berlin usw., Springer, 1982

MEYER, O.; DIDIER, M.: Driver Behavior During Left Turn – A Field and Simulator Experiment. In: Quality of Work and Products in Enterprises of the Future. Proceedings of the Annual Spring Conference of the GfA on the Occasion of the Foundation of the Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) and the XVII Annual Conference on the International Society for Occupational Ergonomics & Safety (ISOES), 7 – 9 Mai 2003, München, S. 63 – 67

MOORE, G.E.: Cramming more components onto integrated circuits. Electronics, Volume 38, Number 8, 1965

MUSSGNUG, J.; MEYER, O.: Entlastung der visuellen Informationsaufnahme durch Anpassung der haptischen Rückmeldung an spezielle Bedienungsaufgaben. In: Gärtner, K.-P. (Hrsg.): Multimodale Interaktion im Bereich der Fahrzeug- und Prozessführung, 42. Fachausschusssitzung Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e. V., 24. – 25. Oktober 2000, München, S. 309 – 317

NEALE, V.L., KLAUER, S.G., KNIPLING, R.R., DINGUS, T.A., HOLBROOK, G.T., PETERSON, A.: 100 car naturalistic driving study, Phase I - Experimental Design; Report Nr. DOT HS 809 536; Virginia, Virginia Tech Transportation Institute 2002. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-12/100CarPhase1Report.pdf>

ROHMERT, W.: Laborstudien versus Feldstudien. In: Rohmert, W.; Rutenfranz, J. (Hrsg.): Die Bedeutung von Feldstudien für die Arbeitsphysiologie. Festkolloquium aus Anlaß des 75. Geburtstags von Herbert Scholz, Dortmund 10. Juni 1987. Dokumentation Arbeitswissenschaft Bd. 17, Köln, Dr. Otto Schmidt Verlag, 1988

SACHER, H.; BUBB, H.: Was bedient der Fahrer? Feldversuche zur Erfassung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion. MMI Interaktiv, (2006) 11, 14-25

TATTERSAL, S.; RENNER, G.: Untersuchungen von Kundenanforderungen an aktive Sicherheit und an Fahrerassistenzsysteme durch den „Real-life Analysis“ Ansatz, Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht 1960, Düsseldorf, VDI-Verlag, 2006

DER EINFLUSS VON FAHRVERSUCHEN AUF DAS HUMAN-MACHINE-INTERACTION-DESIGN IN FAHRZEUGEN

Gert-Dieter Tuzar (MFA)
Industrial Design
Principal Designer HMI

Johnson Controls GmbH
Automotive Experience

ABSTRACT

Der Design-Prozess, der die Schnittstelle zu Mensch und Maschine optimiert, nutzt eine Reihe von Methoden, um einen Beitrag zur besseren Benutzbarkeit zu leisten. Fahrversuche gehören in den Analyse- und Test-Phasen dazu. Die entscheidende Frage ist, wie kann man abschätzen, welche technologischen Neuerungen oder Benutzungsphilosophien im Fahrzeugkontext vielversprechend sind? Im Folgenden wird aufgezeigt, zu welchem Zweck Fahrversuche im HMI Design bei Johnson Controls eingesetzt werden, welche Erkenntnisse man daraus schließen kann und welchen Einfluss Fahrversuche auf das Interaction Design haben.

1 EINLEITUNG

In den letzten zehn Jahren hat der Umfang an elektronischen Systemen in den Automobilen stark zugenommen. Die Vielfalt an elektronischen Systemen im Automobil ist für Verbraucher kaum noch überschaubar. Assistenz-, Navigations-, Informations-, Multimedia-, Komfort-, und Kommunikationsfunktionen können vom Kunden ab Werk bestellt, im Zubehörhandel nachgerüstet werden oder erhalten als nomadische Systemkomponenten Einzug in den Fahrzeuginnenraum.

Durch diese Entwicklung hat das Autofahren aufgrund der Kontrolltätigkeit an Komplexität zugenommen. Um die reine Fahraufgabe zu bewältigen, müssen neben den üblichen Koordinations- und Synchronisationsaufgaben zunehmend neuartige Systeme im Fahrzeuginnenraum betätigt werden. Somit müssen von Fahrern zwei Aufgaben bewältigt werden; erstens, Kontrollaufgaben im dichter gewordenen und hoch dynamischen Verkehrsraum und zweitens, Koordinationsaufgaben welche durch die Vielzahl an elektronischen Systemen welche ebenso überwacht und bei Bedarf gesteuert werden müssen.

Daher berichten Benutzer über Betätigungsprobleme, die sie mit dem zunehmend hohen Automationsgrad haben. Marktforscher stellen neuerdings fest, dass kritische Neuwagenkunden in anbetracht von zu vielen Optionen und Funktionen abgeschreckt werden, und den Kauf dieser Systeme ablehnen. In manchen Fällen tätigen sie den Neuwagenkauf gar nicht – „Decision-Freeze“. Auch in der Verkehrsstatistik sind die Unfälle durch Ablenkung beim Fahren durch neuartige Systeme angestiegen.

An den Ursachen dieser Probleme forschen Arbeitswissenschaftler seit dem Einzug der Automation in Cockpits. Zwischenzeitlich liegen internationale arbeitswissenschaftliche Ergebnisse aus den unterschiedlichsten Domänen vor, welche dem Systementwickler helfen, die Phänomene wie Stress, Workload-Bottleneck, Aufmerksamkeit, und Re-Orientierung, um nur einige zu nennen, besser zu verstehen. Entwicklungs-Teams nutzen dieses Verständnis in der komplexen Beziehung zwischen Mensch und Maschine und transferieren dann Problemstellungen, um Spezifikationen für ihre neuen Produktentwicklungen abzuleiten.

2 ZWECK VON FAHRVERSUCHEN

Die Firma Johnson Controls ist eines der weltweit führenden Unternehmen in der automotiven Innenausstattung und Elektronik sowie für Batterien. Insbesondere der Bereich Elektronik wird durch sich verändernde Technologien und Kundenwünsche stark gefordert. Die Wünsche nach technischer Innovation, leichter Bedienbarkeit, hohem Funktionsnutzen und mehr Komfort bei gleichzeitigem Preisdruck repräsentieren die wichtigsten an das Unternehmen.

Neben neuen technischen Entwicklungen fokussiert das Unternehmen auch innovative gestalterische Lösungen rund um das Produktportfolio. HMI-Design ist eine Kompetenz innerhalb der Industrial-Design-Abteilung und beschäftigt sich mit Problemlösungen um Mensch-Maschine-Interaktion im fahrenden und stehenden Fahrzeug. Die Positionierung und Wirkung von HMI-Design innerhalb der Designabteilung ermöglicht eine frühe Einflussnahme auf Produktentwicklungen und nutzt das Leistungsspektrum aus Industrial Design, Grafik Design und Prototypenbau, um Hypothesen kosteneffizient zu testen. Ein weiterer Vorteil dieser Positionierung stellt die hohe Umsetzungsgeschwindigkeit dar, mit deren Hilfe rasch auf gewonnene Erkenntnisse eingegangen werden kann.

Der HMI Entwicklungsprozess besteht aus sechs ineinandergreifenden Phasen: (1) Problem/Analyse, (2) Design Konzeption, (3) Model Erstellung/Prototyp, (4) Testen, (5) Optimierung, (6) Implementierung. Der Einsatz von Fahrversuchen erfolgt je nach Problemstellung in der Analyse- und in der Test-Phase.

Der Zweck in der Analysephase liegt darin zu prüfen ob

- bekannte kognitive Phänomene, welche in anderen Domänen bekannt sind, auch im dynamischen Fahrzeugkontext ihre Gültigkeit haben,
- ob durch das Zusammenspiel von bestimmten Eingabe-/Ausgabeelementen neue beobachtbare Effekte auf das Fahrerverhalten erkennbar sind und
- abzuschätzen inwieweit bestimmte Veränderungen positive Effekte haben könnten.

Der Zweck in der Testphase liegt darin, die zuvor als Prototyp formulierten HMI Hypothesen auf ihr

- Potenzial zu testen,
- ihre Leistung im Vergleich zu einem Referenzsystem aufzuzeigen und

- in der Komplexität der Entwicklungsthematik und unter Berücksichtigung der Testlayouts, ein bestimmtes Maß an Objektivität zu gewährleisten.

In diesem Zusammenhang ist es erforderlich, kurz die Art der Fahrversuche zu beleuchten, welche im HMI Design bei Johnson Controls durchgeführt werden. Im Absatz zum Thema Methoden wird genauer beschrieben mit welchen Werkzeugen die Beobachtungen zur Auswertung aufgezeichnet werden. Es handelt sich nicht um High-Fidelity-Fahrversuche bei denen Fahrzeuge mit einer Vielzahl von Sensoren und Messinstrumenten als Laboratorien ausgerüstet sind. Die Tests werden auch nicht von Test-Ingenieuren quantitativ und wiederholbar durchgeführt. Es handelt sich vielmehr um qualitative Low-Fidelity-Fahrversuche mit dem Ziel, das Verhalten von Menschen zu beobachten wie sie mit elektronischen Produkten beim Fahren interagieren. Die für das Produkt Design relevanten Faktoren werden diagnostiziert, um diese durch Design zu optimieren.

Serienfahrzeuge oder modifizierte Fahrzeuge werden mit einer Probandengruppe von maximal 20 Personen im öffentlichen Straßenverkehr getestet. Um den Vorwurf von naiver Vereinfachung zu entkräften, ist man sich durchaus bewusst, dass diese Art von Versuchen in keiner Konkurrenz zu den High-Fidelity-Tests der wissenschaftlichen Institute oder der Fahrzeughersteller stehen. Vielmehr repräsentiert diese Art von Methodik eine effektive interne und externe Entwicklungsumgebung. Die vielseitigen Erkenntnisse, welche man aus diesen Versuchen mit Probanden im Verkehrsgeschehen gewinnt, sind sehr hilfreich. Bei Bedarf werden Aufträge an unabhängige Institute vergeben, um ausgesuchten Phänomenen wissenschaftlich auf den Grund zu gehen.

Ein weiterer Aspekt stellen zunehmend die Anfragen von Kunden dar, ob man selbst schon fahrdynamische Erfahrung mit einer neuen Technologie sammeln konnte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass diese Art von Fahrversuchen nicht nur einen bedeutenden Nutzen für das HMI-Design haben. Strategische Produktplanung, Vertrieb, Produktvermarktung, Konsumentenforschung sowie die Verbesserung der internen und externen Schnittstellen für die Gesamtproduktentwicklung profitieren von den Arbeitsergebnissen.

3 METHODIK

D. Woods und Eric Hollnagel definieren in ihrem Buch *Joint Cognitive Systems* (Taylor & Francis, 2006) drei Varianten um Beobachtungsbedingungen zu beschreiben. (1) Natural History - in freier/natürlicher Umgebung ohne Fremdeinwirkung, (2) Staged World Observation – weitgehend natürliche Umgebung mit simulierten/vordefinierten Problemstellungen und (3) Spartan Lab – innerhalb einer künstlichen Umgebung mit vordefinierten Problemstellungen.

Im Rahmen der fahrdynamischen Versuche bei Johnson Controls wird die Methode Staged World Observations angewendet. Sie stellt einen guten Kompromiss dar, um zum einen gezielt auf HMI-Design relevante Probleme zu fokussieren und zum anderen die Probanden in ihrer möglichst vertrauten Interior Umgebung und Straßenverkehrsumgebung ohne störendes Equipment zu testen.

Das Testequipment besteht je nach Aufgabenstellung aus ein bis zwei kleinen DV-Kameras, einem bis zwei Stativen und bei Kopfausrichtungsindikationen einer transparenten Werkstattsschutzbrille an deren Bügel sich ein Laserpointer befindet. Trotz der unkomplexen Testwerkzeuge können reichhaltige extrinsische Daten erfasst werden. Bei der Auswertung der Daten kann der geübte Beobachter Blickhäufigkeit, Blickorientierung, Anzahl der manuellen Schritte, Anzahl der visuellen Schritte, manuelle Aufgabenausrichtung, und Aufgabenbewältigungszeit aufzeichnen (Abb. 1). Diese Parameter definieren zugleich einen Teil des Referenzrahmens innerhalb dessen die Systemleistungsindikation stattfindet (Abb. 2).

Abbildung 3 stellt grafisch gegenüber wie Systemleistungsindikationen innerhalb des Referenzrahmens verglichen werden können (Tuzar, 2005). Eine große Fläche im Referenzrahmen bedeutet „schlechtere“ und eine kleine Fläche „effektivere“ Systemleistung.

Neben dem Erfassen von metrischen Werten werden die Probanden im stehenden Fahrzeug gebeten eine subjektive Usability-Bewertung des Systems abzugeben. Objektive und subjektive Datenerfassung stellen somit pro Proband zwei Perspektiven auf das zu testende System dar.

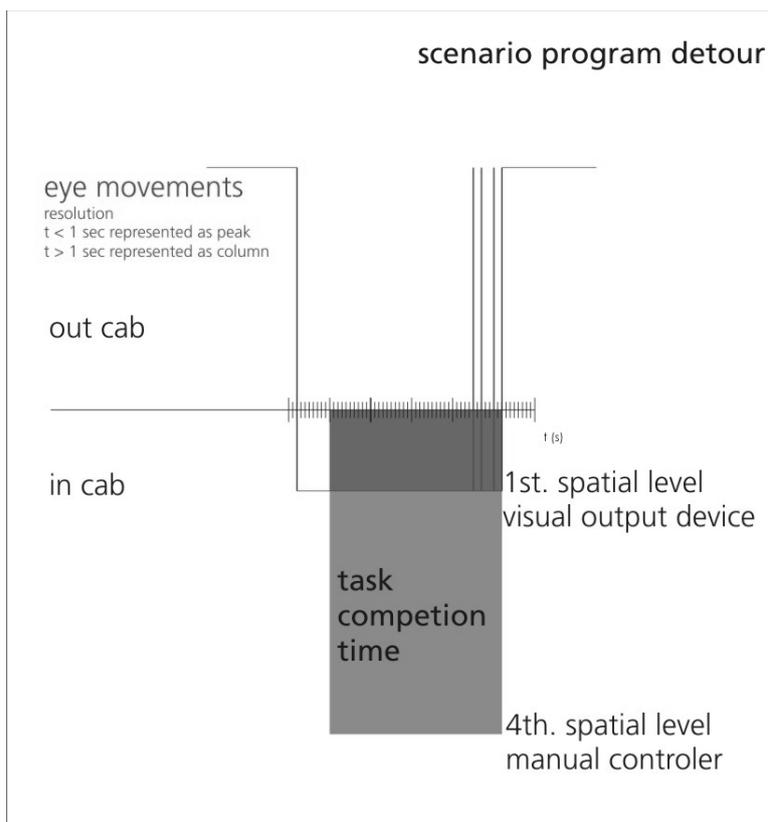


Abbildung 1: Analyse - Datenvisualisierung an einer Beispielaufnahme (Tuzar, 2005)

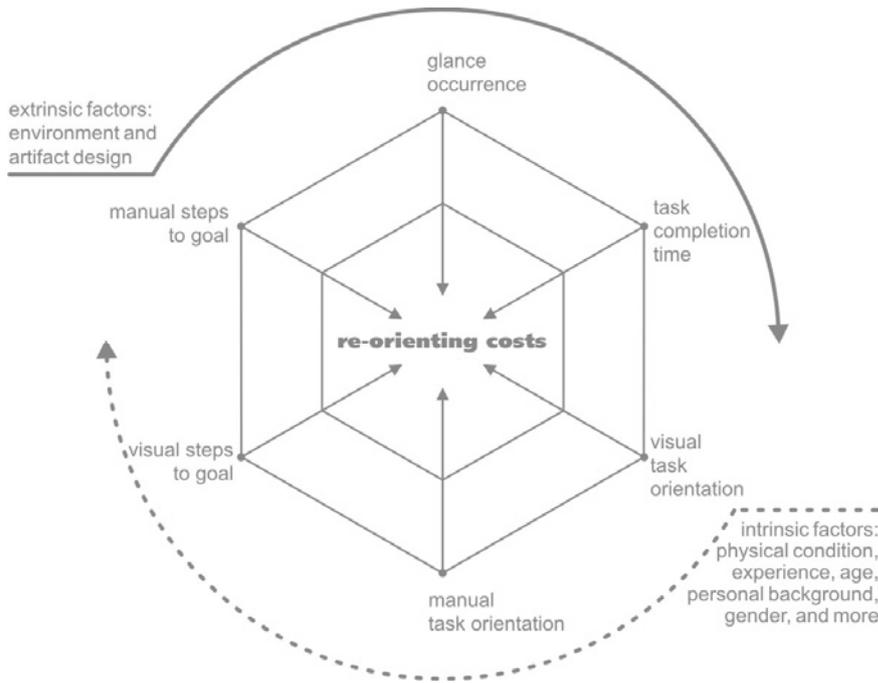


Abbildung 2: Der Referenzrahmen für HMI Tests (Tuzar, Woods, 2005)

scenario program detour

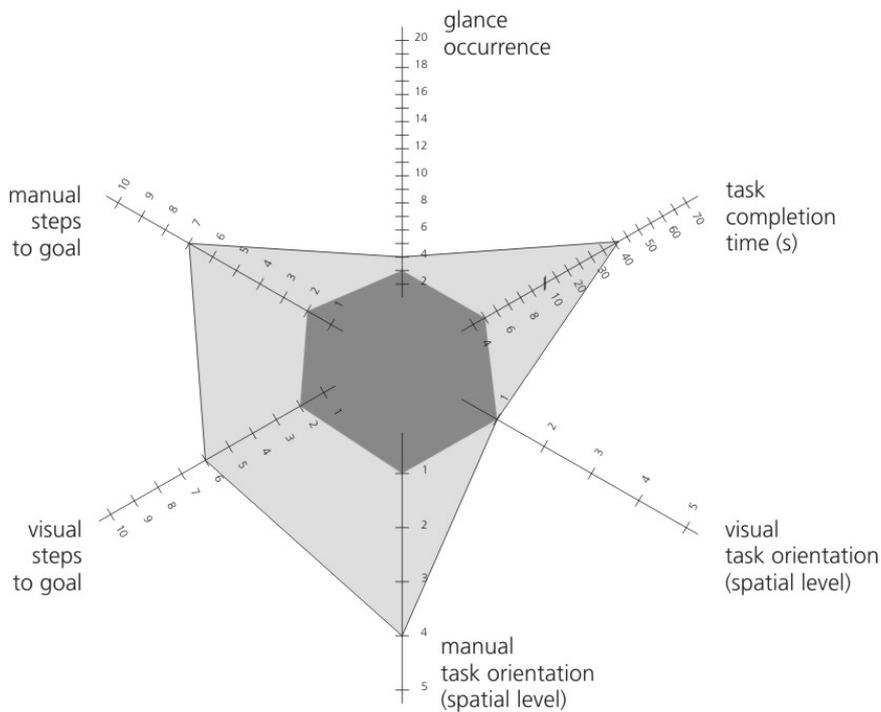


Abbildung 3: Vergleichstest – Erfolgreiche Leistungsindikation eines neuen HMI Konzepts (mitte) zu einem Referenzsystem (aussen), (Tuzar, 2005)

4 EINFLÜSSE VON FAHRVERSUCHEN AUF DAS HMI DESIGN – EIN FALLBEISPIEL

Unterschiedliche Technologien kommen zum Einsatz, wenn es um das Thema Kombiinstrumentierung in Fahrzeugen geht. Eine Alternative zu mechanischen Instrumenten oder TFT-Displays stellt die Projektionstechnologie dar. Hierbei erzeugt eine spezielle Spiegeloptik in der Instrumentenanzeige eine Tiefenwirkung. Dadurch nimmt der Fahrer die Information auf der Kombianzeige vergrößert in einem Abstand von zwei Metern wahr (Abb. 4). Im Rahmen der Entwicklung des Projection Cluster Modules (PCM) bei Johnson Controls trugen auch Fahrversuche bei der HMI-Entwicklung dazu bei, dass durch mehr Objektivität diese komplexe Produktentwicklung qualitativ vorangetrieben wurde.

Die Ziele waren (a) festzustellen, ob durch diese Art der Informationsdarstellung nachteilige Effekte auf Fahrer beobachtbar sind, (b) zu testen, ob sich Menünavigation in diesem Kontext nachteilig auswirken könnte, und (c) ob Projektion für die Instrumentierung eine vielversprechende Richtung darstellt.

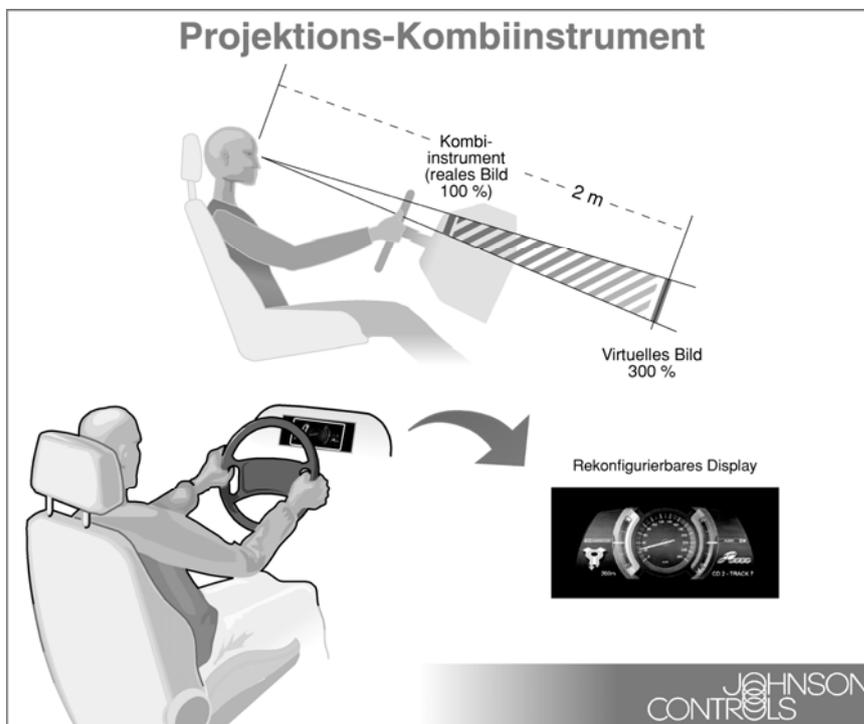


Abbildung 4: Projektions-Kombiinstrument (Johnson Controls, 2006)

Ein Versuchsfahrzeug mit einem Projection Cluster wurde konzipiert, gestaltet und gebaut (Abb.5). Im Folgenden sollten Indikationen im Hinblick auf die Untersuchungsziele abgegeben werden. Interaktionen mit dem Instrument wurden durch ein im Instrument zu betätigendes Menü realisiert. Die manuelle Eingabe wurde mit einem Multi-Controller, welcher zwischen den Sitzen positioniert ist, ermöglicht (Abb. 6). Vergleichende Fahrversuche zwischen einem Fahrzeug mit einem konventionellem Instrument, einem Fahrzeug mit einem TFT-Display als Instrument und dem PCM, wurden durchgeführt. Probandenanzahl, Individuen und Aufgaben wurden zur besseren Vergleichbarkeit gleich gehalten. Die Software auf dem TFT-Instrument und dem Projection Cluster war identisch. Gemessen wurde die Zeit, in der die gestellten Aufgaben bewältigt worden sind. Ein kleiner Wert impliziert einen geringen Grad an Ablenkung von der Fahraufgabe.



Abbildung 5: Versuchsfahrzeug (Johnson Controls, 2006)



Abbildung 6: Multi-Controller (Johnson Controls, 2006)

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Aufgabenbewältigungszeiten mit dem PCM im Durchschnitt pro Aufgabe bei den fünf von sechs getesteten Fällen niedriger sind als mit dem konventionellen Instrument oder durch das TFT-Instrument (Abb. 7).

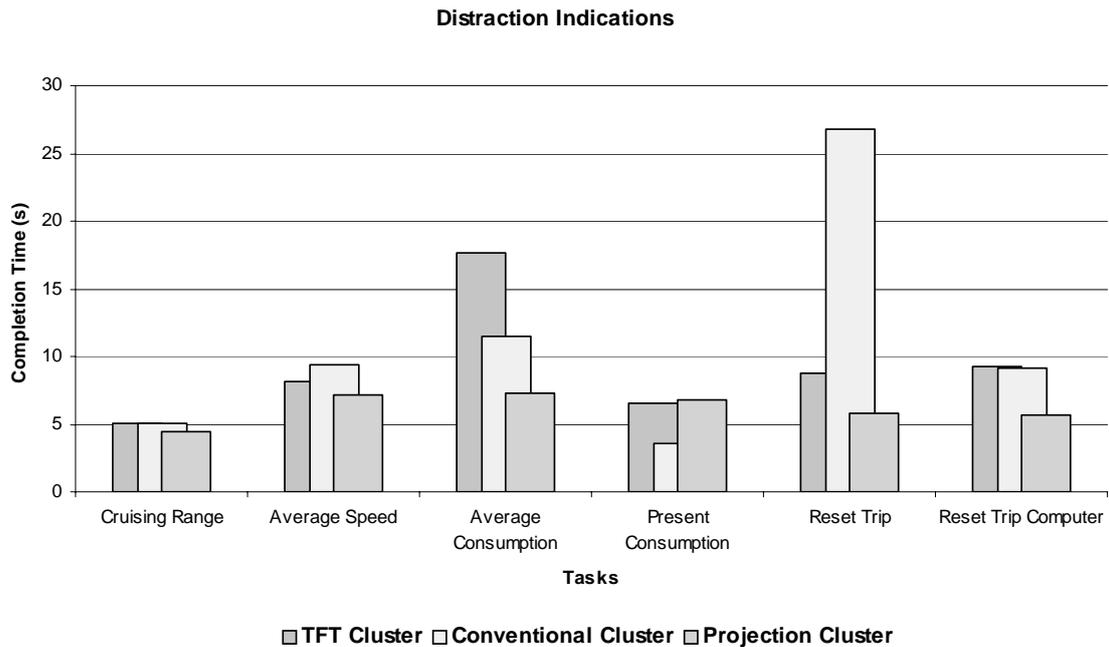


Abb. 7: Ablenkungs-Indikationen durch das HMI (Tuzar, 2006)

Für die Erstellung eines subjektiven Usability-Profiles wurden die Probanden gebeten nach dem Fahrversuch einen Fragebogen auszufüllen. Auch hier zeigen die Durchschnittsergebnisse im Vergleich deutlich das positive Abschneiden der neuen Technologie (Abb. 8).

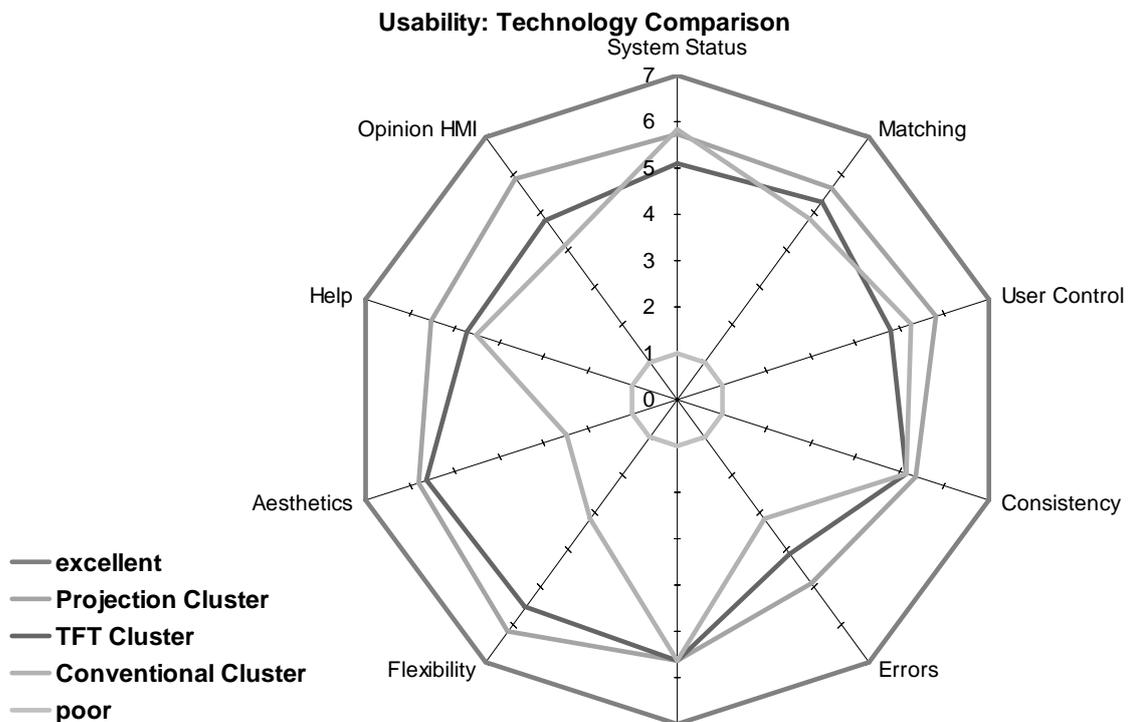


Abb. 8: Subjektives Usability Profil im Technologievergleich (Tuzar, 2006)

Durch diese Fahrversuche konnten aufschlussreiche metrische und subjektive Werte erschlossen werden, um Annahmen aus dem HMI-Design zu testen. Nach einer sehr kurzen Eingewöhnungsphase waren keine negativen kognitiven Effekte wie zum Beispiel Übelkeit, Schwindel, Desorientierung oder Aufmerksamkeitsverlust der Fahrer beobachtbar. Auch Informationsverarbeitung und Menünavigation hat nicht zu übermäßiger Ablenkung geführt. Die relativ positive Usability-Bewertung der Probanden zeigt eine weitere Bewertungskomponente auf welches Potenzial diese Art von Technologie in Zukunft haben könnte.

Nach den gesammelten Erfahrungen aus den Fahrversuchen wären nächste Schritte denkbar, welche eine Produktentwicklung hinsichtlich mehr Freiraum für Produktdifferenzierung, Styling, graphischer Leistung und Kundenerwartungen erkunden. Wissenschaftliche Untersuchungen, ob die reduzierte Adaption und Akkomodation der Augen zu DEN leistungssteigernden Ursachen gehört, müsste noch durch ein unabhängiges Institut bewiesen werden.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND OBJEKTIVITÄT

Fahrversuche innerhalb des HMI-Entwicklungsprozesses bei Johnson Controls stellen ein wichtiges Werkzeug für Analyse- und Testzwecke dar. Testergebnisse helfen Designern und Ingenieuren die komplexen Problemstellungen bei der Interaktionsgestaltung zu verstehen und geeignete Maßnahmen zu treffen um Produktinnovation und Wertschöpfung zu stimulieren.

Die Fragestellung nach der Objektivität dieser Art von Fahrversuchen kann mit dieser Low-Fidelity-Methode mit „nur teilweise“ beantwortet werden. Die Hauptgründe liegen hauptsächlich darin, dass die Reproduzierbarkeit der Testsituationen, also die Kontrolle der Testparameter, bei dieser Art von dynamischen Tests kaum durchführbar ist.

Jedoch, man könnte die Frage stellen „Wie objektiv müssen Fahrversuche innerhalb bestimmter Entwicklungsumgebungen sein damit sie ihren Zweck erfüllen?“. Dann würde die Antwort lauten, sie sind ausreichend objektiv, um innerhalb des Referenzrahmens Systemleistungsindikationen abzuleiten, welche es erlauben Mensch-Maschine-Interaktion weiterzuentwickeln und aus subjektiven Bereichen herauszulösen.

LITERATUR

Fastenmeier, W., Gstalter, H. (1997). Ablenkungseffekte Durch Neuartige Systeme Im Fahrzeug. ZMMS, Band 5.

Gibson, J.J. (1979). The Ecological Approach To Visual Perception. Boston: Houghton Mifflin.

Norman, D. (1988). The Psychology of Everyday Things. New York: Basic Books.

Norman, D. (1993). Things That Make Us Smart. Cambridge, Massachusetts: Perseus Books, ISBN 0-201-62695-0.

Norman, D. (2004). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. New York : Basic Books.

González, V. and Mark, G. (2004). Constant, Constant, Multi-tasking Craze, Managing Multiple Working Spheres. CHI 2004 Paper, Volume 6, Number 1. Vienna, Austria.

Tuzar, G.D. (2005). *An Interaction Design Concept to Reduce Re-Orienting Costs While Driving*. The Ohio State University. Columbus OH. USA.

Watts-Perotti, J. and Woods, D. (1999). How Experienced Users Avoid Getting Lost in Large Display Networks. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 11 (4), 269-299.

Woods, D. and Watts, J. (1997). How Not To Have To Navigate Through Too Many Displays. *Handbook of Human-Computer-Interaction*. Elsevier Science, 2nd edition. Amsterdam, The Netherlands.

Woods, D., Patterson, E., and Roth, E. (2002). Can We Ever Escape from Data Overload? A Cognitive Systems Diagnosis. *Cognition, Technology, and Work*, 4(1), 22-36.

Woods, D. (1984). Visual Momentum: A Concept to Improve the Cognitive Coupling of Person and Computer. *International Journal of Man-Machine Studies*, 21, 229-244.

Woods, D. (1988). Coping With Complexity: The Psychology of Human Behaviour in Complex Systems. In L.P. Goodstein, H.B. Andersen, and S.E. Olsen, editors, *Mental Models, Tasks and Errors*, Taylor & Francis, London, (p. 128-148).

Woods, D., Hollnagel, E. (2006). *Joint Cognitive Systems: Patterns in Cognitive Systems Engineering*. Taylor & Francis Group.

QUALITATIVE UND QUANTITATIVE ANSÄTZE ZUR ERFORSCHUNG DES FAHRERVERHALTENS

Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting

ZUSAMMENFASSUNG

In einer Reihe von Untersuchungen am Liberty Mutual Research Institute in Hopkinton, MA, USA wurde die Übertragung des „Behavior Based Safety“-Ansatzes auf LKW erforscht. Statt dem bei diesem Ansatz üblichen Feedback durch Kollegen soll den allein fahrenden Fahrern maschinell generiertes Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens angeboten werden. Ziel ist eine Erhöhung der Fahrsicherheit durch positives Feedback. Aufbauend auf einer ersten qualitativen Untersuchung mittels Fokus Gruppen wurde in einer zweiten Phase quantitative Daten zur Einstellung der LKW Fahrer gegenüber solchem maschinell generierten Feedback erhoben. In einer dritten Phase wurde die Übertragbarkeit des Ansatzes von den USA auf die Verhältnisse in China exploriert.

1 EINFÜHRUNG

1.1 Unfallbeteiligung von LKWs in den USA

Hintergrund für die Studien sind u.a. die Zahlen der Unfallstatistik, die die Bedeutung des LKW-Verkehrs für die Verkehrssicherheit herausstellen. In den USA liegt die Unfallbeteiligung von LKW bei 48,7% der Beteiligung von PKW, wenn die Unfallzahlen auf die gefahrene Strecke bezogen werden und bei 104,9% der Beteiligung von PKW, wenn als Bezugsgröße die Zahl der Fahrzeuge genommen wird (nach NHTSA 2002). LKW Unfälle kosteten in den USA im Jahr 1997 geschätzte \$24,4 Milliarden (Zaloshnja et al. 2000). LKW sind im Vergleich zu PKW an weniger Unfällen mit Verletzten, aber an mehr Unfällen mit Getöteten beteiligt: 1,33-mal so häufig wie PKW sind LKW an solchen Unfällen beteiligt, wenn die gefahrene Strecke, und 2,86-mal so häufig, wenn die Zahl der Fahrzeuge als Bezugsgröße genommen wird. Jeder LKW Unfall mit Todesfolge kostet geschätzte \$3,4 Millionen (Zaloshnja et al. 2000).

1.2 Neue Technologien und der Behavior Based Safety Ansatz

Technische, organisatorische und verhaltensbasierte Ansätze können zur Erhöhung der Arbeitssicherheit im Allgemeinen und zur Erhöhung der Verkehrssicherheit im Speziellen genutzt werden. In den letzten Jahren wurden verstärkt Anstrengungen unternommen, mittels Technik die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen. Heutige fahrzeugbasierte Technologien, wie zum Beispiel GPS, Spurverlassenswarnung, Collision Avoidance System, Fahrerzustandsüberwachung oder Autonomous Cruise Control, können die Fahrsicherheit erhöhen und sicherheitsrelevante Aspekte des Fahrverhaltens erfassen. Solche Technologien haben teilweise schon Einzug in moderne LKW gefunden und ihre Verbreitung wird in den nächsten Jahren sicherlich zunehmen.

Ein verhaltensbasierter Ansatz zur Verbesserung der Arbeitssicherheit ist unter dem Namen „Behavior Based Safety (BBS)“ bekannt. Die Arbeitnehmer werden dabei in den Verbesserungsprozess eingebunden und sie identifizieren in kleineren Gruppen sicherheitsrelevantes Verhalten in ihrem jeweiligen Arbeitsbereich. Für die wichtigsten dieser Verhaltensweisen setzen sie sich dann qualitative und quantitative Ziele für die Verhaltensänderung. Dieses sicherheitsrelevante Verhalten wird dann entweder durch die Arbeitnehmer selbst oder externe Personen beobachtet. Den Arbeitnehmern wird zurückgemeldet, wie oft sie die angestrebten Verhaltensweisen gezeigt haben. Die erhobenen Daten werden weiterhin genutzt, um das Arbeitssystem zu verbessern (vgl. Krause et al. 1999). Wie alle verhaltensbasierten Ansätze der Arbeitssicherheit sollte BBS erst eingesetzt werden, wenn alle technischen und organisatorischen Veränderungsmöglichkeiten ausgeschöpft wurden (vgl. z.B. Luczak 1998). BBS Ansätze haben sich in einer Vielzahl unterschiedlicher industrieller Arbeitsplätze als erfolgreich erwiesen (vgl. z.B. Grindle et al. 2000; Sulzer-Azaroff & Austin 2000).

Die Mehrheit der LKW-Fahrer (in den USA) arbeitet allerdings alleine und interagiert nicht mit Kollegen. Daher kann in dieser Domäne kein herkömmlicher BBS Ansatz verfolgt werden. Neben der theoretisch auch möglichen Selbstbeobachtung bietet sich in diesem Fall eine technologische Lösung an. Von den Fahrern für wichtig erachtete sicherheitsrelevante Verhaltensweisen werden durch technische Sensoren erfasst und den Fahrern zurückgemeldet. Eine Untersuchung von Wouters & Bos (2000) zur Einführung von „black boxes“ (Unfalldatenschreiber) in verschiedenen Fahrzeugflotten lässt die beiden Autoren vermuten, dass es zu einer Reduzierung der Unfälle um 20% gekommen ist.

1.3 Szenario

Rötting et al. (2004) beschreiben in dem folgenden Szenario, wie ein solcher BBS Ansatz mit technischer Unterstützung aussehen könnte: „Peter ist seit 8 Jahren als Fernfahrer tätig. Obwohl er noch nie in einen Unfall verwickelt war, gab es doch einige Situationen, bei denen sein Verhalten oder das Verhalten anderer Fahrer zu einem Beinaheunfall geführt haben. Daher erklärte er sich freiwillig zur Mitwirkung bereit, als seine Firma ein Programm einführte, in dessen Rahmen den Fahrern Rückmeldung über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens gegeben wurde. Peter traf sich einige Male mit Kollegen um gemeinsam mit ihnen über sicheres Fahrverhalten zu diskutieren und eine Liste von fünf Verhaltensweisen aufzustellen, die sie als sicherheitsrelevant ansahen und wo sie Verbesserungsmöglichkeiten für ihr eigenes Verhalten sahen. Als wichtig erachteten sie zum Beispiel die Einhaltung eines genügenden Sicherheitsabstandes zu vorausfahrenden Fahrzeugen. Im Rahmen des Projektes wurde ein kleiner Computer in Peters Fahrzeugkabine installiert. Der Computer nutzt Sensordaten verschiedener bereits standardmäßig in Peters modernem LKW installierter Systeme, um sicherheitsrelevante Aspekte von Peters Fahrverhalten zu erfassen. So liefert zum Beispiel das Collision Avoidance System Daten über den Abstand zu den vorausfahrenden Fahrzeugen. Am Ende jeder Fahrt erhält Peter eine Übersicht, wie oft er einen genügend großen Sicherheitsabstand eingehalten hat und über die anderen vier von ihm und seinen Kollegen gewählten sicherheitsrelevanten Verhaltensweisen. Da er und seine Kollegen in den letzten Wochen ihr selbst gesetztes Ziel bezüglich des Sicherheitsabstandes immer erreicht hatten, werden sie wohl in einem ihrer nächsten Treffen ein neues Fahrverhalten wählen, das sie verbessern wollen.“

Ist ein solches Szenario durchführbar und würden LKW-Fahrer Feedback von einem Gerät erhalten wollen und es akzeptieren? Diese Fragen wurden im Rahmen der im Folgenden vorgestellten Studien untersucht. Insbesondere wurde untersucht, welche Einstellung LKW-Fahrer in den USA und China zu einem solchen Ansatz haben, welche Art Feedback die Fahrer gerne hätten und wie (Modalität, z.B. optisch oder akustisch) und wann (Häufigkeit, z.B. regelmäßig alle x Stunden, am Ende einer Fahrt; „Push“- oder „Pull“-Prinzip) es ihnen angeboten werden sollte.

2 HERANGEHENSWEISE

Es wurde ein kombinierter qualitativer und quantitativer Ansatz verfolgt (Bild 1).

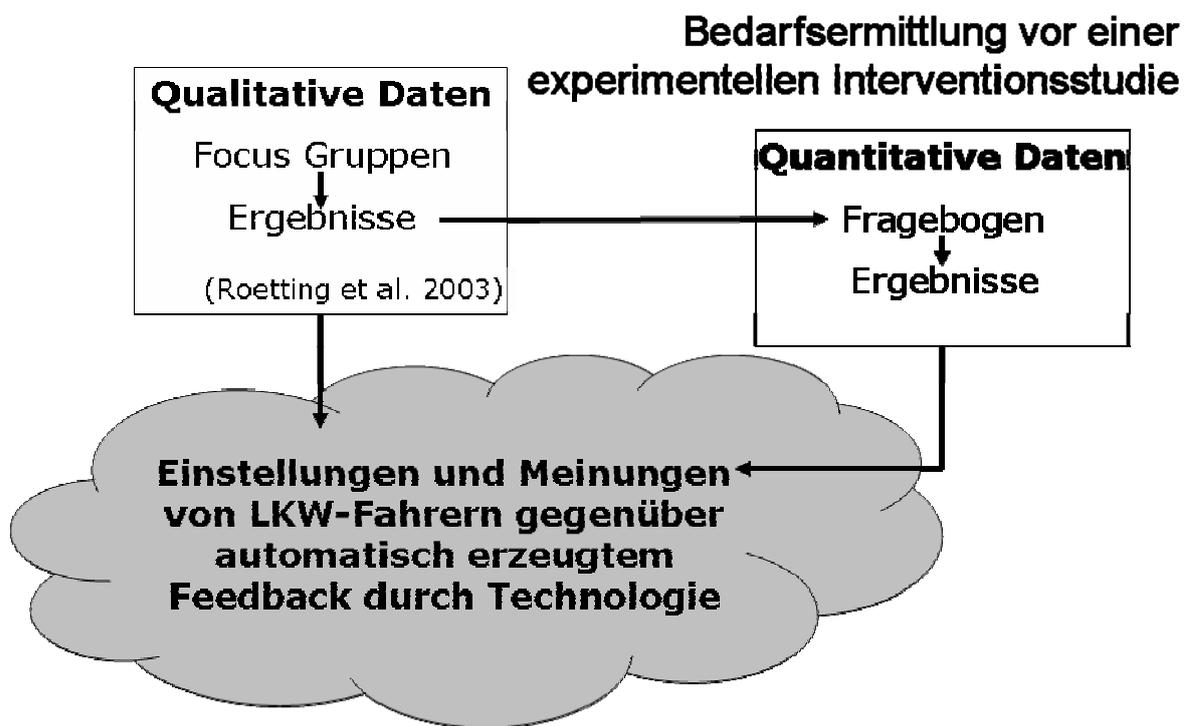


Bild 1: Kombination qualitativer und quantitativer Methoden zur Ermittlung der Einstellungen und Meinungen von LKW-Fahrern gegenüber automatisch erzeugtem Feedback durch Technologie.

Im Rahmen der ersten Studie wurden neun Fokusgruppen mit insgesamt 66 nordamerikanischen Teilnehmern und Teilnehmerinnen zu der Einstellung von LKW-Fahrern gegenüber solcher Technik durchgeführt. (Roetting et al. 2003). Die Ergebnisse der Fokusgruppen wurden dann im Rahmen der zweiten Studie zur Entwicklung eines 52-Item Fragebogens genutzt. Mit dem Fragebogen wurde die Einstellung von 198 nordamerikanischen Langstrecken LKW-Fahrern und Fahrerinnen zu den sich aus der ersten Studie ergebenden Themenbereichen erhoben (Rötting et al. 2004).

Im Rahmen der dritten Studie in Zusammenarbeit mit Kollegen der Tsinghua University in Peking wurde die erste Studie mit 48 chinesischen Fahrern, Vorgesetzten und Polizisten repliziert (Zhang et al. 2006).

3 STUDIEN

3.1 Qualitativer Studie USA

3.1.1 Methode

Die Teilnehmer für die Fokusgruppen wurden an einer Raststätte, in ihrer Firma oder während der Teilnahme an einem Sicherheitskurs angesprochen. Insgesamt wurden die Diskussionen mit neun Gruppen mit zusammen 66 Teilnehmern und einer Dauer von jeweils bis zu 3 Stunden durchgeführt. Achtundvierzig Teilnehmer waren LKW-Fahrer, zwölf hatten Vorgesetztenfunktion in einer Spedition und sechs waren Experten eines Versicherungsunternehmens. Die beteiligten LKW-Fahrer erhielten je \$100, Vorgesetzte und Versicherungsexperten ein T- bzw. Poloshirt. Nachdem der Moderator die Studie erläutert hatte und die Teilnehmer schriftlich ihr Einverständnis gegeben hatten, diskutierten die Teilnehmer zu den in Tabelle 1 aufgeführten Fragebereichen. Der Moderator hielt wesentliche Punkte der Diskussion sichtbar auf einem Flipchart fest und mindestens eine Person führte Protokoll. Zusätzlich wurde die Diskussion auf Band aufgezeichnet.

Tabelle 1: Fragebereiche der Fokusgruppen Diskussionen

1. Tell us your name, where you live, and what you most enjoy doing when you are not driving a truck.
2. What makes a truck driver a good and safe driver?
3. Please tell us about comments on your driving performance you have received that were
helpful to you.
not helpful to you.
4. What in-cab technology can help in safe driving?
5. Now, I would like to ask you how you would feel about getting comments on your driving performance by in-cab technology.
What would be the benefit of receiving comments on your driving performance from in-cab technology? (Benefits)
What would be the drawback (concerns) of receiving comments on your driving performance from in-cab technology? (Concerns, Restrictions)
6. How would you like to receive comments on your driving performance from technology?
7. If a company wants to develop a program to use in-cab technology to provide comments on driving performance, what advice do you have for them?
8. Do you have any suggestions or comments about the focus group?

3.1.2 Auswertung

Zunächst wurden die Aufzeichnungen aller Mitgliedern des Forschungsteams für jede Fokus Gruppe zusammengeführt. Im darauf folgenden Schritt wurden die Aufzeichnungen aller neun Fokus Gruppen zusammengeführt. Drei Mitglieder des Teams haben jeweils individuell die gesammelten Aussagen sortiert und Kategorien identifiziert. Auf Grundlage dieser Vorarbeiten wurden dann vom gesamten Team die Hauptthemen identifiziert. Die während der Fokusgruppen gemachten

Tonaufnahmen wurden ggf. konsultiert um Unklarheiten in den Aufzeichnungen zu klären.

3.1.3 Ergebnisse

Die Folgenden sechs Bereiche stellten sich in den Fokusgruppen als Schwerpunkt der Diskussion heraus. Angegeben sind zu den Punkten dann jeweils wichtige Punkte, die in der Diskussion von den Teilnehmern der Fokusgruppen genannt wurden.

- **Gutes und sicheres Fahrverhalten:** Gute, sichere Fahrer haben gute Angewohnheiten und bestimmte Persönlichkeitsmerkmale. Anderen Gruppen wird oft die Schuld an gefährlichen Situationen zugewiesen. Hier werden besonders häufig „4-wheelers“ (PKW-Fahrer), Vorgesetzte, Verkehrsbehörden und die Polizei genannt. Als weitere Faktoren, die gutes und sicheres Fahrverhalten behindern, wurden die Inkonsistenz der gesetzlichen Regelungen in den verschiedenen Bundesstaaten der USA und fehlende sichere Rastplätze genannt.
- **Erhaltenes Feedback:** Die Fahrer geben an, nicht genug Feedback zu erhalten. Feedback wird erwünscht vom Management und Personen, die von den Fahrern respektiert werden. Feedback wird als hilfreich empfunden, wenn es spezifisch, konstruktiv, respektvoll, individuell und positiv ist sowie mit Zeichen der Anerkennung verbunden wird. Es stellte sich heraus, dass die Art des in einer Firma üblichen Feedbacks auch die Sicherheitseinstellung der Firma widerspiegelt. Die Fahrer gaben auch an, dass sie den Eindruck haben, Firma und Behörden würden ihnen nicht vertrauen. Als wenig hilfreich wurde negatives Feedback bezeichnet, wenn es öffentlich gegeben wird, wenn wiederholte ein bestimmtes Ereignis genannt wird oder wenn den Fahrern vorher nicht die richtige Verhaltensweise genannt wurde.
- **Nützliche Technologien:** Besonders häufig wurden Kollisionswarnsysteme, die Verbesserung von Licht, Scheiben und Spiegeln, Systeme zur Überwachung der Fahrer (z.B. Ermüdung, Diabetes, Infarkt), Systeme zum „Location tracking“, Kommunikationssysteme, Technologien für Verwaltungsaufgaben (z.B. papierloser Fahrtenschreiber oder Routenplanung) und Unfalldatenschreiber („Black Box“) als Technologien mit Potential zur Verbesserung der Fahrsicherheit genannt.
- **Feedback durch Technologie:** Für die Einführung von Feedback durch Technologie sprachen aus der Sicht der Teilnehmer die zu erwartende Leistungsverbesserung (Sicherheit und Effizienz), das Potential zur Verminderung von Stress, die Kosteneffektivität und die Möglichkeit, mit Hilfe der aufgezeichneten Daten die Unschuld des Fahrers im Falle eines Unfalls oder eines Zwischenfalls zu beweisen. Bedenken gegen die Einführung von Feedback durch Technologie wurden vorwiegend aus Datenschutzgründen geäußert. Darüber hinaus wurde von einigen Teilnehmern befürchtet, dass solche Technologie zu einer Gefährdung des Berufsbildes führen könnte und Fahrer übertriebenes Vertrauen in solche Technik setzen könnten mit entsprechenden Risiko-Homeostase Effekten. Ebenso wurden eine mangelnde Verlässlichkeit und hohe Kosten als mögliche negative Gesichtspunkte angeführt.

- **Wie Feedback gewünscht wird:** Bei maschinell Feedback wird zusätzliches Feedback durch Menschen gewünscht. Uneinheitlich waren die Teilnehmer bezüglich der Modalität und des Zeitpunkts des Feedbacks. Konsens bestand darin, dass Warnungen sofort erfolgen sollten. Uneinheitlich war die Meinung bezüglich „push“ oder „pull“-Prinzip, der Frequenz (von einmal pro Fahrt bis einmal pro Monat) und der Zufällig- oder Regelmäßigkeit des Feedbacks. Bezüglich der Übermittlung von negativem Feedback wurde darauf hingewiesen, dass es selten, konstruktiv und mit positivem Feedback kombiniert sein sollte.
- **Rat an Firmen:** Bei der Entwicklung der Technik und der Einführung sollte ein Systemansatz verfolgt werden, der Fahrer und Management einbezieht, Training für alle Beteiligten vorsieht und die Kultur der Organisation berücksichtigt. Insbesondere sollten Fahrer frühzeitig an der Entwicklung und Einführung der Technologie beteiligen werden. Wichtig ist auch den Fahrern die Usability des Systems (Mensch-Maschine-Schnittstelle; keine Beeinträchtigung der Fahraufgabe; keine bzw. minimale Ablenkung; Zuverlässig). Unbedingt muss aus Sicht der Fahrer sichergestellt werden, dass die erhobenen Daten nicht für andere als die ursprünglich kommunizierten Zwecke verwendet werden.

3.2 Quantitativer Ansatz

3.2.1 Methode

Zur Ergänzung der qualitativen Ergebnisse wurde daraufhin eine Fragebogen Erhebung durchgeführt (vgl. Tabelle 2). An einer großen Raststätte in Neuengland wurden die Fragebogen an unterschiedlichen Tagen und zu unterschiedlichen Zeiten verteilt. Von den insgesamt 239 ausgefüllt zurückgegebenen Fragebogen stammten 198 von der gewünschten Gruppe der „long haul truck drivers“. Diese 198 Fahrer stammten aus 40 verschiedenen US Bundesstaaten und Kanada, 11% waren weiblich und 32% selbständig tätig („owner-operator“). Bezüglich ihrer Erfahrung mit Technologie gaben 26,2% „none“, 54,4% „some“, 19,5% „a lot“ an.

Tabelle 2: Fragebereiche Fragebogen

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Würden LKW-Fahrer gerne mehr Rückmeldungen über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens erhalten? Sollten die Rückmeldungen eher eine positive oder negative Konnotation haben? 2. Welche Vorteile sehen die Fahrer in maschinell generiertem Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens? 3. Welche Nachteile und Gefahren sehen die Fahrer in maschinell generiertem Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens? 4. In welcher Form würden Fahrer maschinell generiertes Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens erhalten wollen? In welcher Modalität sollte es dargeboten werden und wie oft würden Fahrer Feedback erhalten wollen? 5. Von wem möchten Fahrer Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens erhalten? 6. Was sind die wichtigsten sicherheitsrelevanten Fahrverhalten? |
|--|

Die Fahrer und Fahrerinnen wurden gefragt, inwieweit sie den im Fragebogen vorgelegten Aussagen zustimmen und sollten unter einer der fünf Antwortmöglichkeiten „strongly agree“, „somewhat agree“, „neither agree or disagree“, „somewhat disagree“ oder „strongly disagree“ wählen. In der folgenden Darstellung der Ergebnisse werden „strongly agree“ und „somewhat agree“ als Zustimmung sowie „somewhat disagree“ und „strongly disagree“ als Widerspruch bzw. Ablehnung zusammengefasst.

3.2.2 Ergebnisse

- **Würden LKW-Fahrer gerne mehr Rückmeldungen über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens erhalten?** Fahrer standen Feedback über ihr Fahrverhalten aufgeschlossen gegenüber: 42% der Fahrer stimmten zu, dass sie genug Feedback erhalten, 45% würden gerne mehr Feedback erhalten, 48% der Fahrer, die angaben genug Feedback zu erhalten, würden sich noch mehr Feedback wünschen. Positives Feedback (55%) wurde häufiger als negatives Feedback (33%) berichtet und positives Feedback wurde als hilfreicher als negatives Feedback empfunden (59%).
- **Welche Vor- und Nachteile sehen die Fahrer in maschinell generiertem Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens?** Der größte Vorteil von maschinell generiertem Feedback über die Sicherheit des Fahrverhaltens wurde in einem Nebenprodukt der Technologie gesehen, nämlich das die aufgezeichneten Daten zur Verteidigung des Fahrers oder der Fahrerinnen im Falle eines Unfalles oder einem anderen Vorfalles dienen könnte. Immerhin 56% der befragten Fahrer und Fahrerinnen stimmten einer entsprechenden Aussage zu. Mehr Zustimmung (46%) als Ablehnung (32%) erhielt die Aussage, dass Feedback über die Sicherheit des Fahrverhaltens die Fahrer sicherer machen würde. Umgekehrt waren die Verhältnisse für die Frage, ob ein solches Feedback den mit dem LKW-Fahren verbundenen Stress reduzieren könnte: nur 32% stimmten der Aussage zu und 46% lehnten sie ab. Die größten Gefahren und Befürchtungen wurden in Aspekten des Schutzes der Privatsphäre und der Datensicherheit gesehen. Die befragten Fahrer und Fahrerinnen waren mit 35% Zustimmung und 35% Ablehnung unentschieden, ob sie Technologien wünschen, die ein Protokoll ihres Fahrverhaltens anlegen. Fast Zweidrittel der Fahrer und Fahrerinnen stimmten der Befürchtung zu, dass die aufgezeichneten Daten in verkehrte Hände gelangen könnten. Hingegen befürchtete nur eine Minderheit (19%), dass die einzuführende Technik zu kompliziert für sie sein würde. Ebenso wurde mehrheitlich (62%) die Aussage zurückgewiesen, dass solche Technologien den Beruf des LKW-Fahrers zu einfach machen würden. Rund die Hälfte (52%) der Befragten stimmte zu, dass Fahrer, die zu sehr auf solche Technologien vertrauen würden, die Fähigkeit zum sicheren Fahren verlieren könnten. Neunundvierzig Prozent stimmten der Befürchtung zu, dass maschinell generiertes Feedback zu einer Ablenkung führen könnte und 42% waren besorgt, dass die Technologie nicht sehr zuverlässig sein könnte.
- **In welcher Form würden Fahrer maschinell generiertes Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens erhalten wollen?** Keine klaren Präferenzen zeigten sich bei den Aussagen zu Modalität, Zeitpunkt und Häufigkeit von maschinell generiertem Feedback. Als Modalität bevorzugten 47% eine Anzeige im Armaturenbrett, 37% einen Computerausdruck am Ende der

Schicht und 20% eine maschinelle Sprachausgabe. Bezüglich des Zeitpunktes bevorzugten 51% der Befragten ein System, bei dem sie das Feedback anfordern können („Pull“-Prinzip) und 43% ein System, bei dem das Feedback zu regelmäßigen Zeitpunkten dargeboten wird („Push“-Prinzip). Über die Hälfte der befragten Fahrer und Fahrerinnen stimmte der Aussage zu, dass sie Feedback über ihr Fahrverhalten sofort nach dem Ereignis erhalten wollen würden. Nach längeren Intervallen im Bereich von einmal pro Tag bis einmal pro Jahr befragt, ergab sich mit Zustimmungen zwischen 34% und 47% kein klarer Trend.

- **Von wem möchten Fahrer Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens erhalten?** Rückmeldungen von Vorgesetzten, Sicherheitsdirektoren/-beauftragten und Managern wurde mit Zustimmungsraten von 57% bis 68% gegenüber Rückmeldungen von z.B. PKW-Fahrern (22%) bevorzugt. Siebenunddreißig Prozent der Fahrer gaben an, dass eine Rückmeldung per Technologie genauso gut sei wie eine Rückmeldung durch einen Menschen (Bild 2).

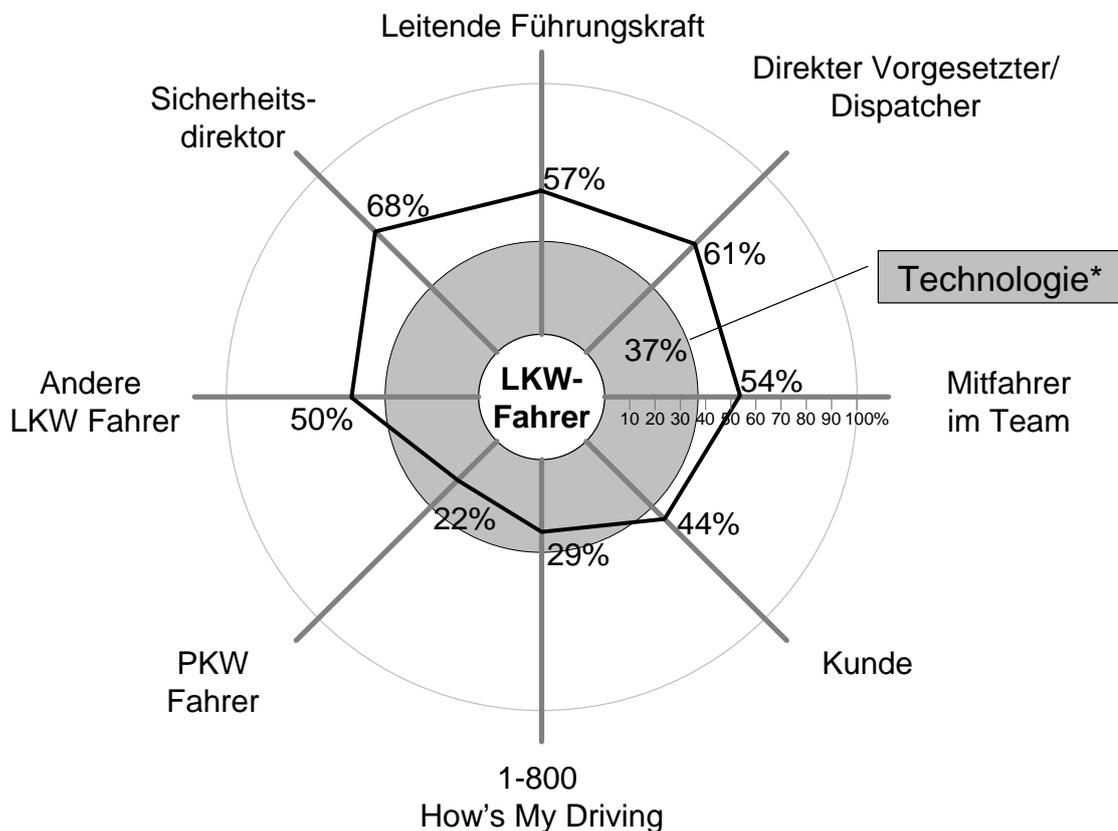


Bild 2: Von LKW-Fahrern und Fahrerinnen bevorzugte Quelle für Feedback über ihr Fahrverhalten. *Prozent Zustimmung zu der Frage „Receiving feedback about how I drive from technology is as helpful as feedback from a real person“ (Roetting et al. 2004).

Was sind die wichtigsten sicherheitsrelevanten Fahrverhalten?

Auf Grundlage der Diskussionen in den Fokusgruppen wurde den Fahrern und Fahrerinnen eine Liste mit zehn sicherheitsrelevanten Fahrverhaltensweisen vorgelegt und sie gebeten, die drei für sie bedeutendsten auszuwählen. Vierundsiebzig Prozent der Befragten wählten „Weit vor meinem Fahrzeug vorausblicken, um

mich auf das einstellen zu können, was vor mir geschieht“. „Erwarten, das andere Fahrer Fehler machen und bereit sein darauf reagieren zu können - erwarte das unerwartete“ wurde von 55% der Befragten gewählt und 49% wählten „Blinker benutzen, um andere Fahrern zu warnen, wenn ich die Spur wechsele oder abbiege“. Die sieben anderen aufgelisteten sicherheitsrelevanten Verhaltensweisen wurden von 9% bis 29% der Befragten gewählt.

Im Rahmen dieses Beitrages ist es interessant aufzuzeigen, dass diese drei als wichtig erachteten Verhaltensweisen auch durch Technik erfasst und beurteilt werden könnten. Die beiden ersten Fahrverhaltensweisen können als „defensives Fahren“ klassifiziert werden. Defensives Fahrverhalten sollte u.a. die Anzahl starker Bremsmanöver und heftiger Lenkbewegungen verringern. Beides kann durch Sensordaten erfasst und könnte dem Fahrer oder der Fahrerin zurückgemeldet werden. Ebenso lassen sich Spurwechsel und Abbiegevorgänge in Sensordaten identifizieren und sich somit entsprechendes Verhalten rückmelden.

3.2.3 Diskussion

Die Ergebnisse des Fragebogens stimmten meistens gut mit den Ergebnissen der Fokusgruppen Diskussion (Roetting et al. 2003) überein. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die meisten Fahrer gewillt sind, Rückmeldungen über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens per Technik zu akzeptieren. Technik innerhalb des Fahrzeuges könnte Rückmeldungen über das Fahrverhalten liefern, wenn keine Kollegen und Kolleginnen vorhanden sind. Somit würden Fahrer und Fahrerinnen mehr Rückmeldungen erhalten, als es heute der Fall ist. Da die Befragten Feedback von Vorgesetzten, Sicherheitsbeauftragten und Managern schätzen, sollte das maschinelle Feedback durch menschliches Feedback ergänzt werden. Darüber hinaus könnten Manager, Sicherheitsbeauftragte und Vorgesetzte die mittels Technik gesammelten Informationen nutzen, um besseres Feedback zu geben.

Ein System zur Generierung maschinellen Feedbacks würde Sensordaten verschiedener bereits im Fahrzeug installierter Warnsysteme (z.B. Collision Avoidance System) nützen. Warnsysteme sind ein wichtiges Instrument zur Unfallreduzierung. Die gleichen Sensordaten könnten aber auch genutzt werden, um den Fahrern und Fahrerinnen Rückmeldung über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens zu geben und sie so zu einem sichereren Fahrverhalten zu bewegen.

Insbesondere die Ergebnisse der Fokusgruppen Diskussionen haben aufgezeigt, dass nicht nur die Fahrer und Fahrerinnen, sondern alle relevanten Teile der Organisation in eines solches System mit einbezogen werden sollten. Fahrer und Fahrerinnen sollten von Anfang an bei der Auslegung der Technik und bei der weiteren Gestaltung eines solchen Systems mitwirken. Rund die Hälfte der von uns befragten Fahrern und Fahrerinnen war zu einer Mitwirkung auch bereit.

3.3 Studie China

3.3.1 Entwicklung der Transport Industrie in China

Das Bild 3 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Transportindustrie in China. LKW waren z.B. im Jahre 2003 an 23% aller Unfälle mit Todesopfern beteiligt (CRTAS 2003).

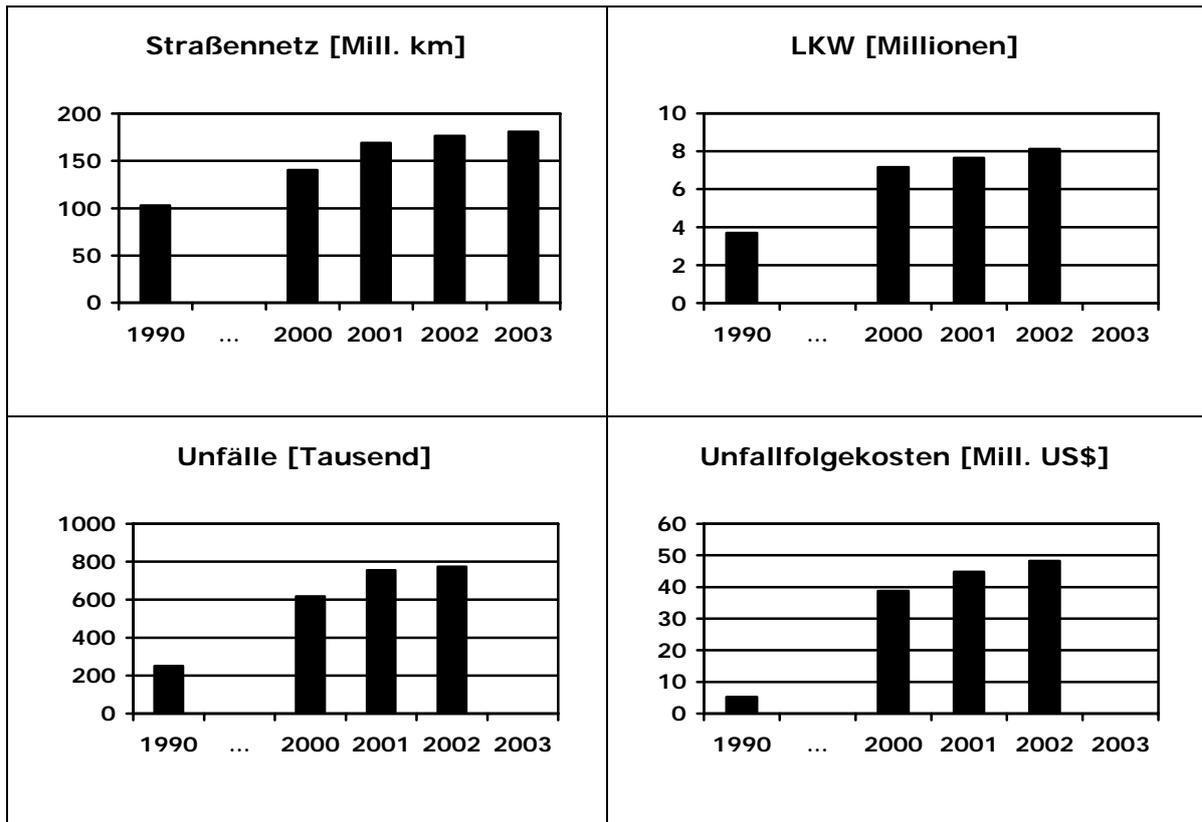


Bild 3: Entwicklung der Transportindustrie in China: Entwicklung des Straßennetzes, der Anzahl der LKWs, der Unfälle und der Unfallfolgekosten seit 1990 (basierend auf Daten aus China Development & Reform Committee 2004 und Ministry of Communication 2005, www.moc.gov.cn)

3.3.2 Methode

Ebenso wie in den USA wurden auch die Teilnehmer der Studie in Peking mit Hilfe eines sehr erfahrenen LKW-Fahrers angesprochen. Es konnten insgesamt 48 Teilnehmer für 6 Fokusgruppen (4 mit LKW-Fahrer, $n=36$; eine mit Vorgesetzten, $n=6$; eine mit Verkehrspolizisten, $n=6$) gewonnen werden. Die Teilnehmer wurden für ihre Teilnahme bezahlt. Die Fragen waren identisch mit denen der Fokusgruppe in den USA (vgl. Tabelle 1), waren aber ins Chinesische übersetzt worden. Auch das weitere Vorgehen wurde analog zu der Studie in den USA durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.1.1 und 3.1.2).

3.3.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Fokusgruppen Diskussionen in China wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit nach den gleichen Schwerpunkten wie die Ergebnisse der US-amerikanischen Fokusgruppen analysiert:

- **Gutes und sicheres Fahrverhalten:** Zu schnelles Fahren wurde als größtes Problem bezeichnet. Weiterhin wurden auch das Überladen der Fahrzeuge und die geringe Qualität der LKWs aus chinesischer Produktion angeführt. Ähnlich wie in den USA hielten sich die meisten Fahrer für sichere Fahrer und gaben anderen die Schuld an gefährlichen Situationen, so wurde z.B. das ag-

gressive Verhalten anderer LKW-Fahrer für gefährliche Situationen verantwortlich gemacht.

- **Erhaltenes Feedback:** Für die meisten Chinesen ist es normal, kein Feedback zu erhalten. Wenn Feedback gegeben wird, dann hat es eine negative Konnotation. So wird dann auch positives Feedback als unangenehm, unnötig und fremd empfunden. Am ehesten wird Feedback noch durch Kollegen, die Familie und die Firma akzeptiert.
- **Nützliche Technologien:** Zurzeit sind nur wenige Technologien in China verfügbar. Interesse wurde an Technologien geäußert, die zu schnelles Fahren und Überladung verhindern, die vor Kollisionen warnen oder die die Fahrer überwachen. Generell wurde eine positive Einstellung zu Feedback durch Technologie geäußert, da dieses als objektiver, wissenschaftlicher und vertrauenswürdiger als menschliches Feedback angesehen wurde.
- **Feedback durch Technology:** Aus Sicht der Teilnehmer in China überwiegen die Vorteile. Es wird erwartet, dass solche Technologien zu einer Leistungsverbesserung insgesamt, zu einer Schonung des LKW und zu weniger Stress und Beanspruchung bei den Fahrern führen würde. Als Negativpunkte wurden das Potential zur Ablenkung und die hohen Kosten gesehen. Es wurden auch die Befürchtung zu vieler Warnungen und ein Verlust der Kontrolle über das Fahren angeführt. Wegen des im Allgemeinen geringeren Bildungsstands der chinesischen LKW Fahrer wurde auch deren Überforderung befürchtet.
- **Wie Feedback gewünscht wird:** Bezüglich der Modalität des Feedback wird Sprache bevorzugt, da es bereits zu viel visuelle Informationen gibt. Das Feedback sollte der Situation und der Dringlichkeit angemessen sein. Gewünscht wurde humorvolles Feedback und dieses regelmäßig am Ende der Schicht. Wichtig war einigen Teilnehmern, dass das Feedback nicht dem Chef oder der Familie zugänglich sein sollte.
- **Rat an Firmen:** Die Technologie sollte so einfach und zuverlässig wie möglich sein. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere auf den geringen Bildungsstand der LKW Fahrer hingewiesen. Das Feedback sollte weiterhin z.B. an Ort und Straßenzustand adaptierbar sein und vor dem Abschalten durch die Fahrer geschützt sein.

4 DISKUSSION UND AUSBLICK

In den Studien hat sich der kombinierte qualitative und quantitative Ansatz sowohl innerhalb eines Kulturkreises als auch im Vergleich zwischen den USA und China bewährt. Es sind aber auch die sehr unterschiedlichen Bedingungen zwischen China und den USA hervorgetreten. Diese zeigen sich nicht nur bei den (auch aus den statistischen Daten ablesbaren) Unterschieden im Verkehrsgeschehen, sondern betreffen auch Bildungsstand, Einsatzbedingungen und das hier im Fokus stehende Konzept von Feedback.

Die Übertragung der Ergebnisse von einem Land aufs andere muss den unterschiedlichen Bildungsstand der LKW-Fahrer berücksichtigen. Ebenso sind auch die Bedingungen des Einsatzes unterschiedlich: In China fahren in der Regel zwei

Fahrer im LKW und der zweite Fahrer unterbricht und gibt Ratschläge. Feedback ist, insbesondere in der Form von positivem Feedback, in China nicht bekannt. Wenn Feedback doch gegeben werden sollte, dann wurde in China der Wunsch nach objektivem und wissenschaftlichem Feedback deutlicher geäußert als in den USA.

LITERATUR

CRTAS. *China Road Traffic Accidents Statistics*. Traffic Administration Bureau of China State Security Ministry, Beijing, China, 2003.

Grindle, A.C., Dickinson, A.M. & Boettcher, W. Behavioral Safety Research in Manufacturing Settings: A Review of the Literature. *Journal of Organizational Behavior Management*, 20, 29-68, 2000.

Krause, T.R., Robin, J.L., & Knipling, R.R. The potential application of behavior-based safety in the trucking industry (Report No. FHWA-MC-99-071). Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Motor Carrier and Highway Safety, 1999. Available: via <http://isddc.dot.gov>.

Luczak, H. *Arbeitswissenschaft*. 2, Auflage. Berlin: Springer, 1998.

NHTSA. Traffic safety facts 2001: A compilation of motor vehicle crash data from the fatality analysis reporting system and the general estimates system. Report No. DOT HS 39 809 484. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), National Center for Statistics and Analysis, US Department of Transportation, 2002. Verfügbar unter <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-30/NCSA/TSFAnn/TSF2001.pdf>.

Roetting, M., Huang, Y.H., McDevitt, J.R. & Melton, D. When Technology Tells You How You Drive - Truck Drivers' Attitude towards Feedback by Technology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 6, no. 4, 275-287, 2003.

Rötting, M., Huang, Y.-H., McDevitt, J.R. & Melton, D. Einstellung von LKW-Fahrern zu maschinell generiertem Feedback über die Sicherheit ihres Fahrverhaltens. *Useware 2004: Nutzergerechte Gestaltung Technischer Systeme* (S. 109-116). Düsseldorf: VDI-Berichte Nr. 1837, 2004.

Sulzer-Azaroff, B. & Austin, J. Does BBS Work? Behavior-Based Safety & Injury Reduction: A Survey of the Evidence. *Professional Safety*, 45, 19-24, 2000.

Wouters, P.I., Bos J.M. Traffic accident reduction by monitoring driver behavior with in-car data recorders. *Accident Analysis and Prevention*, 32, 643-650, 2000.

Zaloshnja, E., Miller, T.R., & Spicer, R. *Cost of large truck- and bus-involved crashes*. Washington, DC: Federal Motor Carrier Safety Administration. Final Report, 2000. Verfügbar unter http://ai.volpe.dot.gov/CarrierResearchResults/CarrierResearchResults.asp?file=PDFs/CCT_FinalReport.pdf

Zhang, B., Huang, Y.-H., Rau, P.-L.P., Roetting, M. & Liu, C. A study of Chinese truck drivers' attitudes toward feedback by technology. *Safety Science*, vol. 44 (2006) 747-752, 2006.

BEWERTUNG VON SICHERHEITSSYSTEMEN IN FAHRVERSUCHEN

Dr. Stephan Mücke, DaimlerChrysler AG Sindelfingen
Dr. Jörg Breuer, DaimlerChrysler AG Sindelfingen

ZUSAMMENFASSUNG

Assistenzsysteme sollen den Fahrer in bestimmten Fahrsituationen bei seiner Fahrzeugführung entlasten (Komfortsysteme, wie z.B. Tempomat) oder bei der Bewältigung kritischer Manöver unterstützen z.B. durch Warnung oder Eingriff von Regelsystemen (Sicherheitssysteme wie z.B. ABS).

Schon in frühen Entwicklungsphasen muss die Leistung solcher Assistenzsysteme menschenbezogen bewertet und optimiert werden, damit ihre sichere Nutzung durch den Fahrer gewährleistet werden kann. Die Bewertung des kundenrelevanten Nutzens und die Absicherung von Sicherheitssystemen im Fahrzeug erfordern daher neben Expertenurteilen umfangreiche Fahrversuche mit Probanden.

Am Beispiel verschiedener aktueller Mercedes-Sicherheitssysteme, die den Fahrer in der Längsführung seines Fahrzeugs unterstützen, wird das Vorgehen bei der objektiven Evaluierung sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme im Entwicklungsprozess aufgezeigt.

1 ENTWICKLUNGSAUFGABE AKTIVE SICHERHEIT

In den letzten Jahren ist trotz einer Zunahme der zugelassenen Kraftfahrzeuge die Zahl der im deutschen Straßenverkehr Getöteten und Verletzten weiter deutlich zurückgegangen (Bild 1).

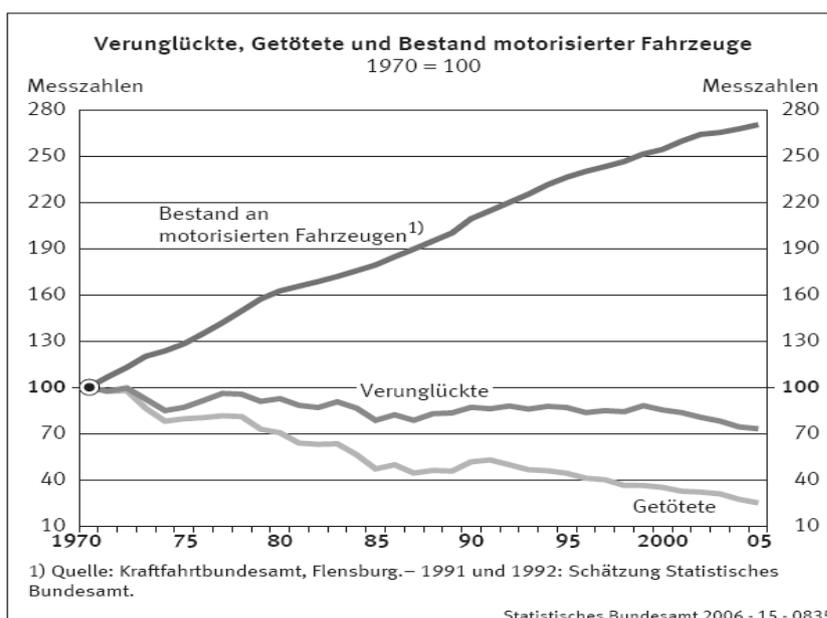


Bild 1: Verunglückte, Getötete und Bestand motorisierter Fahrzeuge (Statistisches Bundesamt, 2006)

Neben infrastrukturellen und gesetzgeberischen Maßnahmen ist dies vor allem den Anstrengungen der Automobilhersteller im Bereich der Fahrzeugsicherheit zu verdanken. Wichtigen Meilensteinen der passiven Sicherheit, von der Sicherheitskarosserie über Airbags bis zu reversiblen Rückhaltesystemen, steht eine lange Geschichte von Systemen der aktiven Sicherheit gegenüber, die der Vermeidung von Unfällen dienen.

Die Entwicklung von Sicherheitssystemen hat bei Mercedes-Benz ihren Ursprung grundsätzlich in der Analyse des aktuellen Unfallgeschehens, um Handlungsfelder sowohl der Unfallvermeidung als auch der Unfallfolgenminderung zu identifizieren. Der Bereich Aktive Sicherheit hat dabei neben der Unterstützung der Unfallanalyse das funktions- und baureihen-übergreifende Mandat der Bewertung und Absicherung neuer Assistenzsysteme wahrzunehmen.

Fahrversuche im Fahrsimulator und Feld sind dabei die wichtigsten Methoden zur Überprüfung neuer Assistenzsysteme. Sowohl Experten-Ratings als auch breit angelegte Untersuchungen mit Repräsentanten unterschiedlicher Fahrergruppen liefern wichtige Erkenntnisse zur Optimierung und Absicherung neuer Assistenzsysteme.

Der Kreis schließt sich -zunächst- mit dem Nachweis der Wirksamkeit bereits im Markt befindlicher Sicherheitssysteme im realen Unfallgeschehen durch Analyse repräsentativer Unfalldaten.



Bild 2: Entwicklungsaufgabe Sicherheit

2 VERKEHRSSICHERHEIT – ERFOLGE UND HERAUSFORDERUNGEN

Betrachtet man die deutsche Unfallstatistik, so bildet der Fahrnfalle, bei dem der Fahrer ohne Einwirkung Dritter die Kontrolle über sein Fahrzeug verliert, mit 43% den größten Anteil der Unfälle mit Getöteten und 20% der Unfälle mit Verletzten.

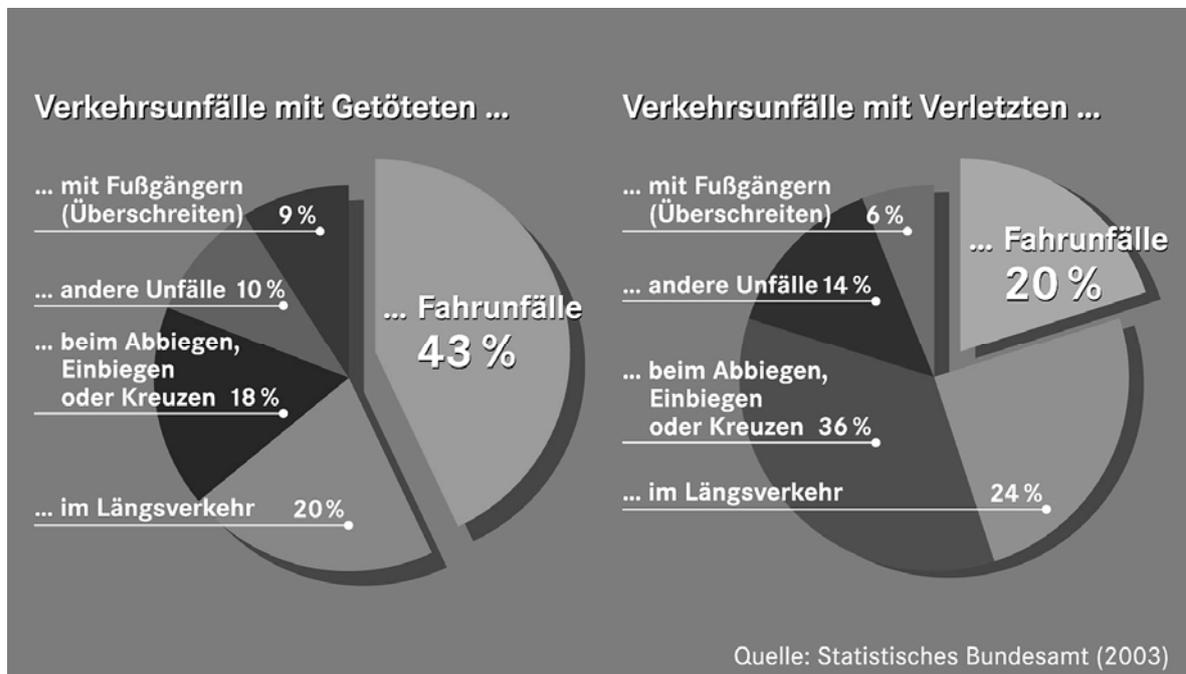


Bild 3: Verkehrsunfälle mit Getöteten und mit Verletzten (Statistisches Bundesamt, 2003)

Fahrnfälle ereignen sich typischer Weise auf Landstraßen oder innerorts. In mehr als der Hälfte der Fälle ist die Fahrbahn nass oder vereist. Der Kontrollverlust über das Fahrzeug endet in drei Viertel der Fahrnfälle mit einem Abkommen von der Fahrbahn, oft gefolgt von extrem gefährlichen Seitenkollisionen mit Bäumen, Masten oder anderen Hindernissen am Fahrbahnrand.

2.1 Elektronisches Stabilitäts Programm ESP

Funktion

Mercedes PKW adressierte diesen Unfalltyp mit der Einführung des Elektronischen Stabilitäts Programms ESP[®] – erstmals 1995 in der S- und CL-Klasse und seit 1999 serienmäßig in allen Mercedes-PKW. ESP[®] unterstützt den Fahrer in kritischen Situationen, indem es die Schleudergefahr in Kurven, beim Ausweichen oder Bremsen durch gezielte Einzelradbremsung verringert.

Evaluierung

Inzwischen ist die Marktdurchdringung so groß, dass es gelingt, die Wirksamkeit von ESP im realen Unfallgeschehen statistisch zu belegen. So konnte DaimlerChrysler bereits 2002 und 2004 anhand einer Auswertung anonymisierter Daten des Statistischen Bundesamts einen Rückgang der Fahrnfälle von Mercedes-PKW um mehr als 40% nachweisen. Wie Bild 4 verdeutlicht, belegen

auch die Analysen anderer Hersteller und internationale Studien unabhängiger Institutionen diesen Effekt.

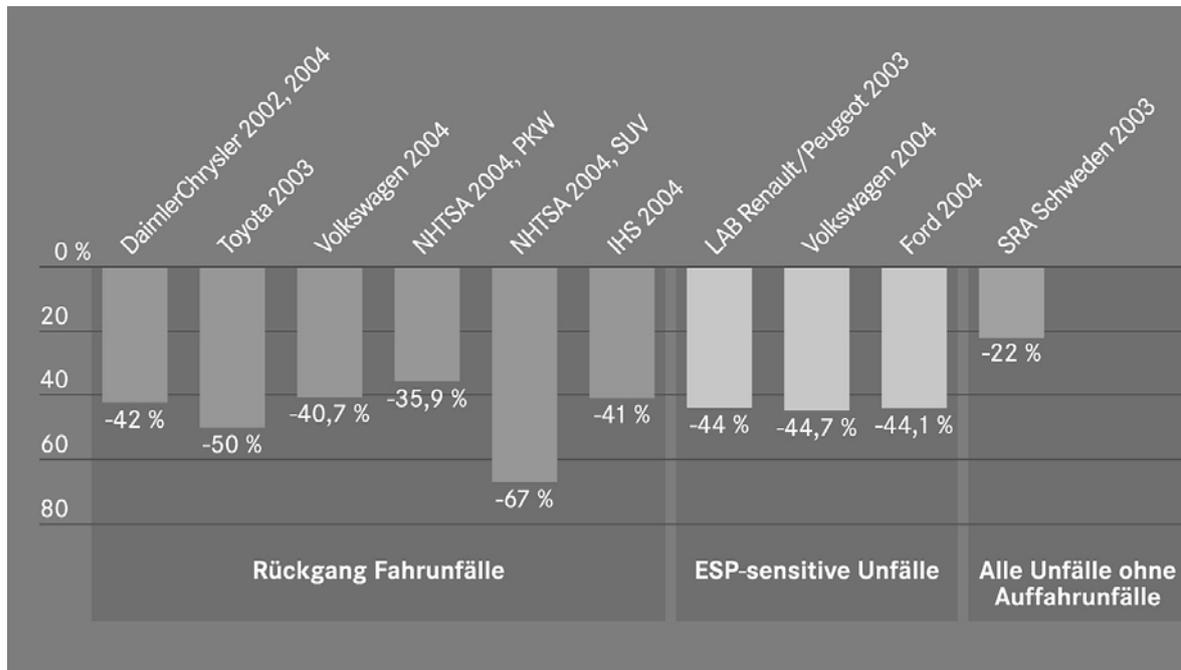


Bild 4: Effizienz von ESP® im realen Unfallgeschehen

Neben dem Fahrurfalle bildet der Unfall im Längsverkehr mit einem Fünftel aller Verkehrsunfälle mit Getöteten und einen Viertel der Unfälle mit Verletzten die zweite große Herausforderung im Unfallgeschehen (vgl. ebenfalls Bild 3).

Ursächliche Faktoren sind häufig eine

- zu schwache Reaktion, z.B. zaghafte Bremsen
- Fehleinschätzung der Verkehrssituation, insbesondere der Verzögerung des Vorfahrers
- zu späte Reaktion, z.B. aufgrund von Ablenkung

2.2 Bremsassistent BAS

Die erste Ursache hat Mercedes bereits vor mehr als 10 Jahren (1996) bewogen, den Fahrer in Notbremssituationen mit der Einführung des Bremsassistenten (BAS) in S- und CL-Klasse zu unterstützen.

Funktion

Die Assistenzfunktion stellt dem Fahrer bei reflexartigen Bremsen die volle Bremskraftunterstützung zur Verfügung und kompensiert dadurch eine zu schwache Fahrerreaktion.

Bereits ein Jahr später wurde der Bremsassistent in allen Mercedes Personenwagen serienmäßig verbaut. Seit 2002 ist die Auslösung des BAS mit der Aktivierung von PRE-SAFE® verknüpft. Fahrer- und Beifahrergurte werden

gestrafft und die Stützpolster in Sitz aufgeblasen, um Fahrer und Beifahrer für eine möglicherweise drohende Kollision in eine günstige Position zu bringen.

Evaluierung

Auch für den Bremsassistent lässt sich das Sicherheitspotential bereits im Unfallgeschehen nachweisen.

Bei den Auffahrunfällen sank die Unfallquote von Mercedes-Pkw nach serienmäßiger Einführung des Bremsassistenten gegenüber anderen Marken um acht Prozent, wie die Analyse einer anonymisierten 50-Prozent-Stichprobe des Statistischen Bundesamtes belegt (vgl. Bild 5).

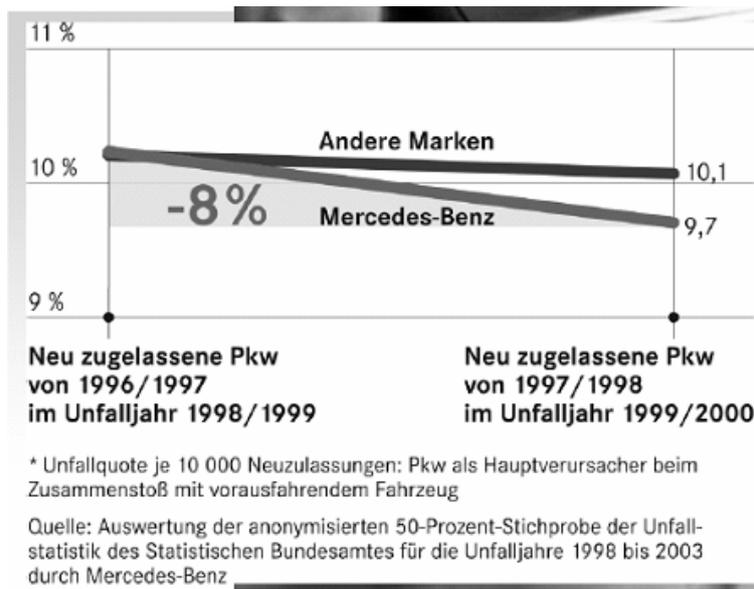


Bild 5: Effizienz des Bremsassistenten bei Auffahrunfällen

Eine weitere Auswertung der deutschen Unfallstatistik durch Mercedes-Benz zeigt, dass mit der Einführung des BAS auch ein Rückgang der schweren Fußgängerunfälle verbunden ist (vgl. Bild 6).

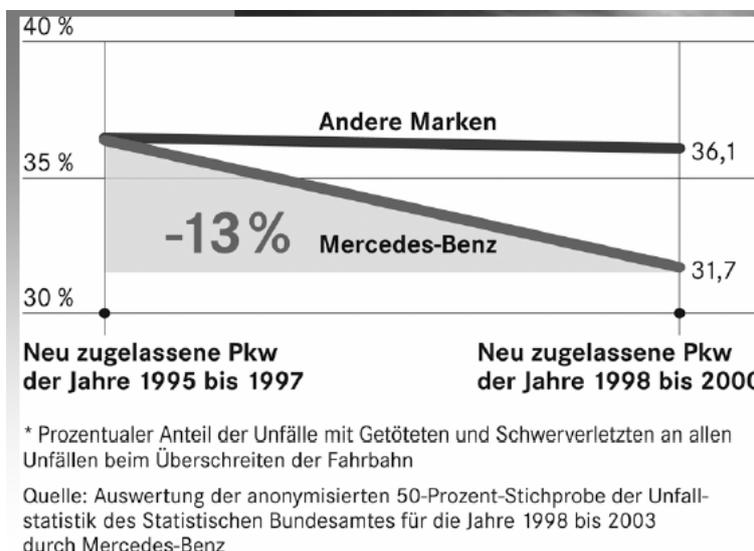


Bild 6: Effizienz des Bremsassistenten bei schweren Fußgängerunfällen

Dieses Sicherheitspotential des Bremsassistenten ließ sich bereits früher durch Fahrsimulatorversuche zu Überschreiten-Unfällen und durch Feldversuche zur Verkürzung des Bremswegs durch den BAS prognostizieren (Unsel et.al. 2004).

3 BEWERTUNG UND ABSICHERUNG VON SICHERHEITSSYSTEMEN AM BEISPIEL DER NEUEN ASSISTENZSYSTEME ZUM EIGEN- UND PARTNERSCHUTZ VOR AUFFAHRUNFÄLLEN

Die Einführung umfeld-erfassender Radar-Sensoren erlaubt eine Erweiterung des Assistenzansatzes zur Vermeidung von Unfällen im Längsverkehr.

Die 1998 erstmals in der S-Klasse eingeführten Komfortfunktion DISTRONIC erweitert den Tempomat um eine Abstandsregelung zu langsamer fahrenden Fahrzeugen. Ein Radarssensor erfasst dazu vorausfahrende Fahrzeuge in der eigenen Spur und verzögert das eigene Fahrzeug nötigenfalls mit bis zu 2 m/s^2 , um bei freier Fahrbahn wieder auf Wunschgeschwindigkeit zu beschleunigen. Einsatzbereich ist 30 bis 180 km/h.

Zugleich erlaubt die Kenntnis von Abstand und Relativgeschwindigkeit zu vorausfahrenden Fahrzeugen oder auch stehenden Hindernissen eine separat aktivierbare optisch-akustische Abstandswarnung, wenn sich der Fahrer zu schnell nähert.

3.1 BAS PLUS

Zusätzliche Nahbereichsradarsensoren, die den Bereich unmittelbar vor dem Fahrzeug erfassen, erlauben die Erweiterung der DISTRONIC auf einen Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 200 km/h, seit 2005 als in DISTRONIC PLUS in der Mercedes S-Klasse und seit 2006 in der CL-Klasse auf dem Markt.

Systemfunktion

Neben der Abstandswarnung lässt sich aus Abstand und Relativgeschwindigkeit zum vorausfahrenden Fahrzeug auch eine optimale Bremskraftunterstützung berechnen, die nötig ist, einen Auffahrunfall zu vermeiden. Zusätzlich zum herkömmlichen BAS verstärkt der BAS PLUS - bei sicher erkannter Gefahr eines Auffahrunfalls - die Fahrerbremsung, so dass es zu einer geregelten Zielbremsung kommt. Die Systemphilosophie setzt neben der sicher erkannten Kollisionsgefahr einen eindeutigen Bremswunsch des Fahrers voraus, die Vermeidung von Falschauslösungen hat dabei oberste Priorität (vgl. Bild 7). Die Kenntnis der Kollisionsgefahr aus der Umfelderkennung ermöglicht gegenüber dem BAS eine Absenkung der Auslöseschwellen.

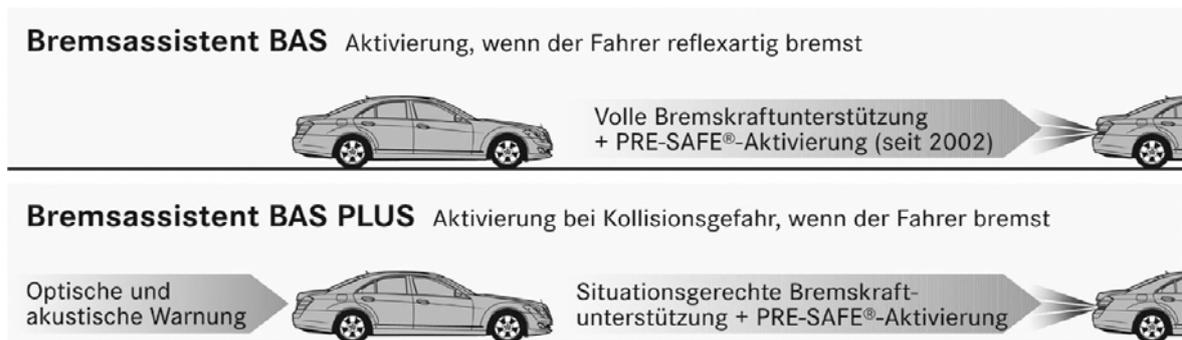


Bild 7: Wirkungsweise von Bremsassistent BAS und BAS PLUS

Evaluierung

Ein objektiver Nachweis des Sicherheitsgewinns durch den BAS PLUS in der Entwicklungsphase ist vor allem aus Sicherheitsgründen nur in Simulatorversuchen möglich. Dazu wurde ein Fahr Simulatorversuch mit 110 Probanden eines breiten Alters- und Fahrerfahrungsspektrums durchgeführt.

Die Versuchsteilnehmer wurden nach ausreichender Eingewöhnung an Fahrzeug und Fahr Simulator reproduzierbar in drei typische, aus dem realen Unfallgeschehen abgeleitete Situationen mit großer Gefahr eines Auffahrunfalls gebracht:

- Bei Autobahnfahrt scherte plötzlich ein Fahrzeug knapp vor dem eigenen Fahrzeug ein
- Sowohl auf einer Autobahnfahrt und als auch auf einer Landstrasse führte das Vorausfahrzeug unvermittelt eine Gefahrenbremsung durch, wobei es zunächst nur leicht und erst nach 1 s voll verzögerte.

In einem Gruppenversuchsdesign wurde die Situationsbewältigung mit und ohne BAS PLUS verglichen, wobei beiden Gruppen der herkömmliche Bremsassistent zur Verfügung stand. Als objektive Bewertungsgrößen wurden vor allem die Anzahl der Kollisionen sowie die Kollisionsgeschwindigkeiten ausgewertet.



Bild 8: Unfallquoten mit BAS PLUS im Fahr Simulatorversuch

Die Versuchsergebnisse belegen deutlich das Unfallvermeidungspotential in den drei untersuchten typischen Fahrsituationen. Die Unfallquote sank im Mittel über alle Teilnehmer und Situationen von 44% auf 11% (Bild 8).

3.2 PRE-SAFE®-Bremse

Systemfunktion

PRE-SAFE®-Bremse geht in der Unterstützung des Fahrers noch einen Schritt weiter. Ebenfalls gestützt auf die Daten der Fern- und Nahbereichs-Radarsensoren leitet das System für den Fall, dass der Fahrer auf die optisch-akustische Warnung aus dem Cockpit nicht reagiert, eine automatische Teilbremsung ein. Sie bremst das Fahrzeug mit einer Verzögerung von maximal 4 m/s². Das entspricht rund 40% der maximalen Bremsleistung. Die autonome Teilbremsung gibt dem Fahrer neben der optisch-akustischen Warnung ein weiteres spürbares Signal zu handeln. Betätigt er dann sofort die Bremse, steht die maximale Bremskraft zur Verfügung und der Unfall kann – je nach Fahrsituation – im letzten Moment verhindert werden. Ist dies nicht mehr möglich, so werden durch PRE-SAFE®-Bremse die Aufprallsschwere und damit das Verletzungsrisiko der Fahrzeuginsassen verringert. Bild 9 verdeutlicht den zeitlichen Ablauf von Warnung und Eingriff.

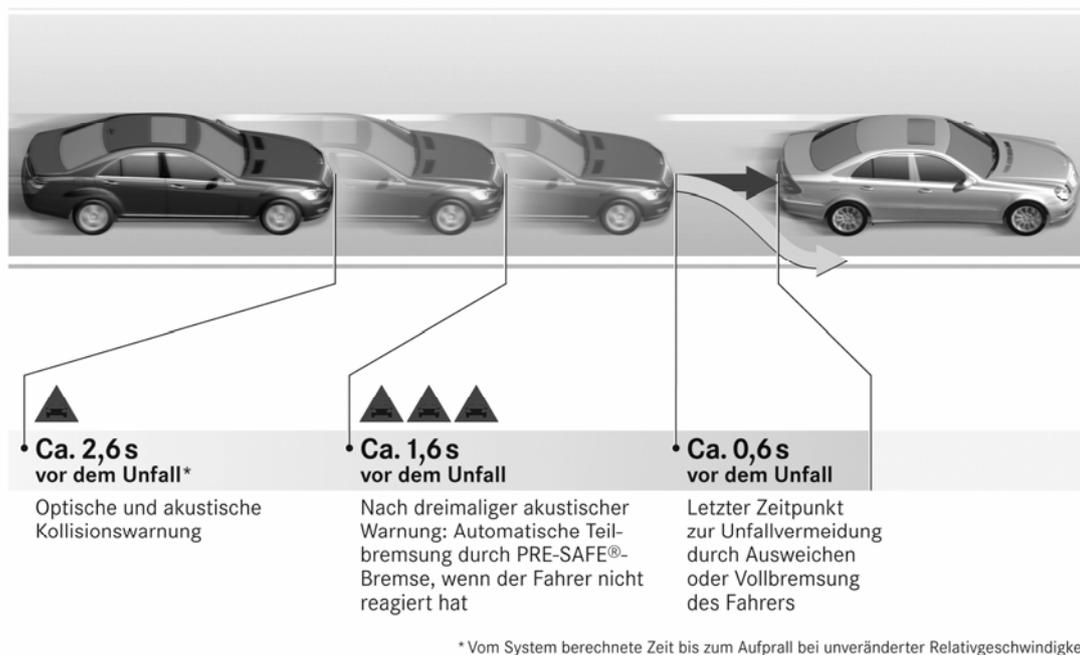


Bild 9: Wirkungsweise der PRE-SAFE®-Bremse

Evaluierung

Auch hier lässt sich die Wirksamkeit des Assistenzsystems nur in einer Fahrsimulatorstudie untersuchen. Um einen typischen Nutzungs-Szenarien des Systems nachzustellen, wurden 70 Probanden auf einer Landstrassenfahrt durch einen Unfall auf der Gegenfahrbahn gezielt abgelenkt. Im gleichen Augenblick bremste die vorausfahrende Autokolonne plötzlich ab. Der Untersuchung lag ein Gruppenversuchsdesign mit und ohne PRE-SAFE®-Bremse zu Grunde.

Insgesamt 70% der Fahrten blieben dank schneller Fahrerreaktion und Unterstützung von BAS PLUS und PRE-SAFE®-Bremse unfallfrei. Bei den 30% der Versuchsteilnehmern, die einen Auffahrunfall nicht mehr vermeiden konnten, sorgte die autonome Teilbremsung für eine deutliche Reduktion der Kollisionsgeschwindigkeit, die einer rund 40-prozentigen Verringerung der Aufprallenergie entspricht (vgl. Bild 10). Ein Praxistest des ADAC (Brieter 2006) bestätigt dieses Ergebnis und belegt in einem Crash-Versuch ein deutlich kleineres Verletzungsrisiko der Insassen.



Bild 10: Wirksamkeit von PRE-SAFE®-Bremse

Breitenerprobung

Neben der gezielten Bewertung des System-Nutzens ist auch die Absicherung der Zuverlässigkeit der Assistenzsysteme in umfangreichen Felderprobungen Aufgabe der Aktiven Sicherheit. So wurden die neuen radarbasierten Assistenzsysteme der aktuellen S-Klasse in Deutschland und den USA in 30 Versuchsfahrzeugen im Alltagsverkehr erprobt. Dabei legten 500 Autofahrer rund eine Million Kilometer zurück. Kameras und Messcomputer an Bord der Testwagen zeichneten kritische Verkehrssituationen auf und erlauben eine genaue Analyse, wie zuverlässig die Systeme arbeiten und den Fahrer unterstützen.

3.3 Adaptive Bremsleuchten

Als letztes Beispiel für das Vorgehen bei der Bewertung von Fahrerassistenzsystemen sollen die Adaptiven Bremsleuchten dienen, die sowohl dem Eigen- als auch dem Partnerschutz im Längsverkehr dienen und 2005 erstmals in der S-Klasse in Serie gingen. Bei einer Gefahrenbremsung blinken die drei LED-Bremsleuchten mit einer Frequenz von 5,5 Hz, wenn das Fahrzeug – aus mehr als 50 km/h Ausgangsgeschwindigkeit – mit mehr als $7,5\text{m/s}^2$ verzögert wird. Kommt das Fahrzeug dabei aus hoher Geschwindigkeit sogar zum Stillstand, aktiviert sich automatisch die Warnblinkanlage. Dieses System ist bereits in vielen Baureihen von Mercedes-Benz Bestandteil der Serienausstattung.

Evaluierung

Der Nutzen der Adaptiven Bremsleuchten wurde in einem Fahrversuch im kontrollierten Feld bewertet. 39 Probanden im Alter zwischen 18 und 63 Jahren (39% Frauen) folgten dabei einem Vorausfahrzeug durch einen Parcours mit unterschiedlichen Fahrmanövern. Unter definierten Bedingungen (80 km/h, Folgeabstand etwa 40m entsprechende „Halber-Tacho-Regel“) leitete das Führungsfahrzeug eine Vollbremsung ein. Mit Hilfe einer Funkmessstrecke wurde die Fahrerreaktion im Folgefahrzeug auf unterschiedliche Bremsleuchten-Varianten gemessen. Zudem wurde die Akzeptanz der Adaptiven Bremsleuchten erfragt.

Im Vergleich zu herkömmlichen Bremsleuchten konnte eine Reduktion der normierten Fahrerreaktionszeit von im Mittel bis zu 0,2 Sekunden durch schnell blinkende Bremsleuchten nachgewiesen werden (vgl. Bild 11). Umgerechnet ergibt sich für das untersuchte Fahrscenario eine Verkürzung des Anhaltewegs von bis zu 4,4 m.



Bild 11: Wirksamkeit Adaptiver Bremsleuchten

4 AUSBLICK - DIE PRE-SAFE® CRASHBREMSE

Als letzten Schritt in der Warn- und Assistenzkette bei Gefahr eines Auffahrunfalls arbeitet die Mercedes PKW-Entwicklung an der autonomen Vollbremsung. Reagiert ein Fahrer auch nach optisch-akustischer Warnung und der deutlich spürbaren automatischen Teilbremsung von PRE-SAFE®-Bremse immer noch nicht, so wird unmittelbar vor dem sicher erkannten Aufprall eine autonome Vollbremsung ausgelöst. Ziel ist es, vor einer unausweichlichen Kollision noch einmal Aufprallenergie abbauen.

Bild 12 gibt einen Überblick über die gesamten Mercedes Sicherheits-Assistenzsysteme zur Unterstützung des Fahrers im Längsverkehr.

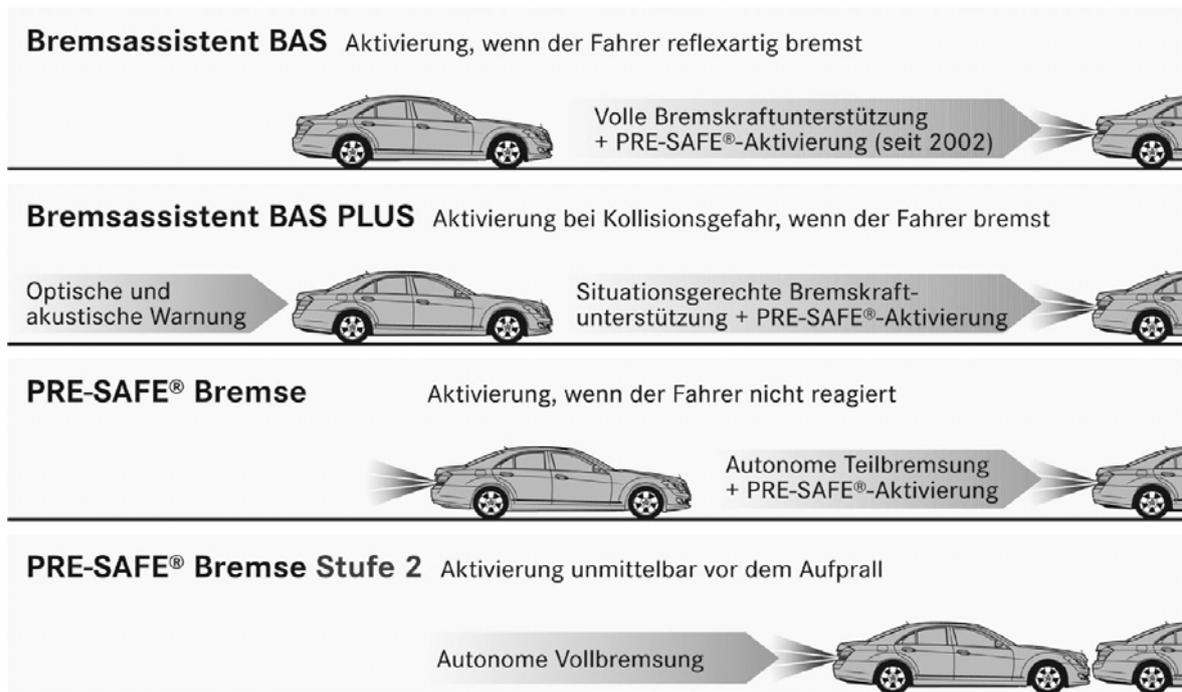


Bild 12: Mercedes Sicherheits-Assistenzsysteme zur Unterstützung im Längsverkehr

Die bereits erzielten Erfolge bei der Bekämpfung von Risiken im Straßenverkehr geben Ansporn zur Entwicklung weiterer Sicherheitsinnovationen, die auch durch die zukünftig mögliche Kommunikation zwischen Fahrzeugen bzw. zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur einen weiteren Schub erhalten wird.

LITERATUR

Brieter, K.: Der Crashbeweis: Die denkende Bremse hilft. In: ADAC Motorwelt Heft 12/2006, S.42–43, München: 2006

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Unfallgeschehen im Straßenverkehr 2005. Wiesbaden: Destatis 2006

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Unfallgeschehen im Straßenverkehr 2003. Wiesbaden: Destatis 2004

Unsel, T.; Breuer, J.; Eckstein, L.: Fußgängerschutz durch Bremsassistenten. In: "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme", Technische Universität München, 11.-12.03.2004 (www.ftm.mw.tum.de/zubehoer/pdf/Tagung_AS/14_unsel.pdf)