Methoden und Kriterien zur objektiven Beurteilung der Sicherheit von Fahrstabilitätssystemen

Torsten Wey
Ford-Werke AG
50725 Köln
Tel.: 0221-90-32463
twey@ford.com

Ulla Weimann
Ford-Werke AG
50725 Köln
Tel.: 0221-90-38104
uweimann@ford.com

Frank Esser
Ford-Werke AG
50725 Köln
Tel.: 0221-90-34844
fesser1@ford.com

Themenbereich: Funktionen und Systeme
Stichworte: Fahrstabilitätssysteme, objektive Fahrbeurteilung, aktive Sicherheit

Inhaltsübersicht
Dieser Beitrag befasst sich mit Beurteilung der Sicherheit von Fahrstabilitätssystemen. Diese Fragestellung ist dem Bereich der aktiven Sicherheit zuzuordnen und wird in naher Zukunft, ähnlich der Vorgehensweise bei der passiven Sicherheit, Gegenstand von Untersuchungen verschiedener Verbraucherschutzorganisationen sein. Unter anderem ist vom EuroNCAP-Konsortium die Erfassung und Beurteilung der aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen zum 1. Quartal 2005 vorgesehen, insbesondere soll auch deren Stabilitätsverhalten untersucht und beurteilt werden.

Ein wesentlicher Punkt bei der zukünftigen Beurteilung der aktiven Sicherheit wird zunächst die Funktion des Fahrstabilitätssystems ESP[1] sein. Deshalb soll gezielt auf dieses System eingegangen werden und an ihm exemplarisch die Vorgehensweise zur Generierung einer geeigneten Testprozedur beschrieben werden. In analoger Vorgehensweise könnten in Zukunft für weitere Bereiche der aktiven Sicherheit objektive Beurteilungskriterien entworfen werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 2
2 Analyse von ESP-Unfalldaten 3
2.1 Übersicht über eine Auswahl von Datenbanken 3
2.2 Auswahl des Datensatzes 3
2.3 Methodik der Auswertung 4
2.4 Ergebnisse 5
3 Objektive Testmethoden und Beurteilungskriterien 6
3.1 Potentielle Testverfahren 7
3.2 Definition von Metriken 8
3.3 Resultate und Auswertung 9
4 Schlussfolgerungen und Ausblick 10
5 Literatur 10

[1] Im weiteren wird das Akronym „ESP“ stellvertretend für die zahlreichen am Markt angebotenen Varianten von Fahrstabilitätssystemen wie DSC, VSC, DSTC, ... verwendet.

1 Einführung

Dieser Beitrag befasst sich mit Beurteilung der Sicherheit von Fahrstabilitätssystemen. Diese Fragestellung ist dem Bereich der aktiven Sicherheit zuzuordnen und wird in naher Zukunft, ähnlich der Vorgehensweise bei der passiven Sicherheit, Gegenstand von Untersuchungen verschiedener Verbraucherschutzorganisationen sein. Unter anderem ist vom EuroNCAP-Konsortium die Erfassung und Beurteilung der aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen zum 1. Quartal 2005 vorgesehen, insbesondere soll auch deren Stabilitätsverhalten untersucht und beurteilt werden.

Ein wesentlicher Punkt bei der zukünftigen Beurteilung der aktiven Sicherheit wird zunächst die Funktion des Fahrstabilitätssystems ESP sein. Deshalb soll gezielt auf dieses System eingegangen werden und an ihm exemplarisch die Vorgehensweise zur Generierung einer geeigneten Testprozedur beschrieben werden. In analoger Vorgehensweise könnten in Zukunft für andere Fahrstabilitätssysteme oder weitere Bereiche der aktiven Sicherheit objektive Beurteilungskriterien entworfen werden.

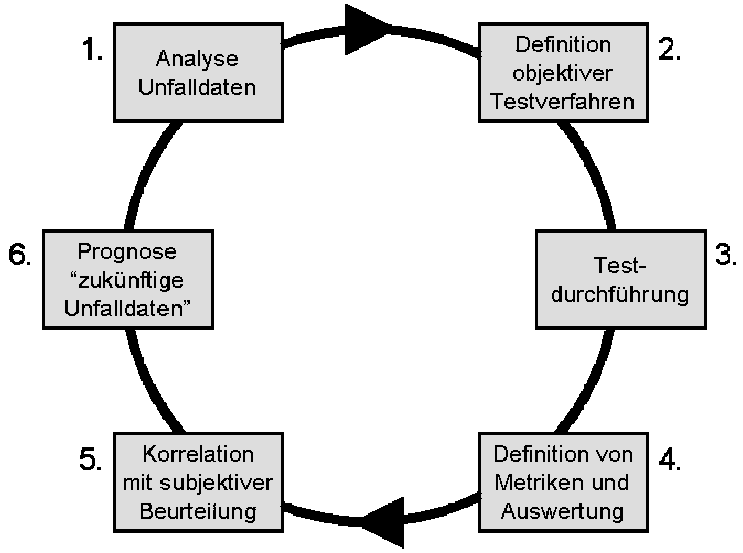

Bild 1: Vorgehensweise zur Entwicklung von Methoden und Kriterien für die Beurteilung der Sicherheit von Fahrstabilitätssystemen

Entsprechend Bild 1 umfasst eine geeignete Entwicklung von objektiven Beurteilungskriterien in einem ersten Schritt die Analyse von Unfalldaten, die den Real-World-Nutzen von Fahrstabilitätssystemen dokumentiert und insbesondere die Fahrsituationen analysiert, in denen ESP Wirkung zeigt. In einem zweiten Schritt werden dann Fahrmanöver diskutiert, die zum einen eine hohe Relevanz für das reale Fahrverhalten aufweisen und zum anderen allen Anforderungen an objektive Testverfahren genügen, z. B. gute Reproduzierbarkeit, Robustheit gegenüber Störgrößen, möglichst Open-loop-Test ohne Fahrer etc. Neben der Testprozedur selbst ist das Postprocessing der Daten und die Festlegung der Auswertungskriterien von Bedeutung, dieses sollte sich an einer Korrelation mit den Ergebnissen einer subjektiven Fahrbeurteilung orientieren. Die Validierung erfolgt, indem anhand der vorhandenen Unfalldaten geprüft wird, ob eine entsprechende Auslegung des ESP Systems einen Unfall verhindert oder zumindest in seiner Schwere reduziert hätte.

Im weiteren werden die Schritte 1 bis 4 ausführlich diskutiert, die Korrelation von objektiven Testresultaten mit einer subjektiven Beurteilung der Fahrstabilität ist dagegen nicht abschließend bearbeitet worden. Insbesondere auch die Prognose, ob und wie eine Korrelation zwischen objektiven Testresultaten und Veränderungen in Unfalldaten besteht, ist derzeit noch nicht möglich.

2 Analyse von ESP-Unfalldaten

Da das System ESP bereits seit einigen Jahren auf dem Markt angeboten wird, ist eine rückblickende Effizienzuntersuchung möglich. Nach einem Überblick über vorhandene Unfalldatenbanken in Abschnitt 2.1 und einer Auswahl in Abschnitt 2.2, werden die Methode der Analyse in Abschnitt 2.3 und die Ergebnisse in Abschnitt 2.4 vorgestellt.

2.1 Übersicht über eine Auswahl von Datenbanken

Es gibt eine Vielzahl von Unfalldatenbanken, die zu unterschiedlichen Zwecken aufgebaut wurden und sich für unterschiedliche Auswertungen anbieten. Fast alle Länder erfassen die Unfälle, die der Polizei gemeldet werden und haben somit nationale Unfalldatenbanken. Die Datenbank IRTAD, die im Auftrage der OECD von der Bundesanstalt für Straßenwesen gepflegt wird, enthält Daten 28 solcher nationaler Unfalldatenbanken. Diese Datenbanken enthalten zwar viele Fälle und können für repräsentative Aussagen über die Unfälle mit Personenschäden herangezogen werden. Sie sind aber trotzdem nur eingeschränkt zur Analyse der Effizienz von aktiven Sicherheitssystemen brauchbar, da sie unter anderem in der Regel keine Fahrzeugausstattungsinformationen enthalten und Teile der vorhandenen Variablen nur für wenige Fälle erfasst sind. Sobald Daten aus mehreren Ländern verglichen werden, kommt erschwerend hinzu, dass die Variablendefinitionen nicht immer einheitlich sind, und dies auch nicht immer mit Korrekturfaktoren ausgeglichen werden kann.

Zusätzlich zu nationalen Unfalldatenbanken werden z. B. von Forschungseinrichtungen Daten über Unfälle, die gründlicher untersucht wurden, angeboten. Diese gründlicheren Untersuchungen werden von Experten durchgeführt, die detailliert den Unfallhergang rekonstruieren. Als Beispiel für solche detaillierte Unfalldatenbanken aus dem europäischen Raum seien die UK Co-operative Crash Injury Study (CCIS), die German in-depth accident study (GIDAS), sowie die European accident causation study (EACS) genannt.

2.2 Auswahl des Datensatzes

Für die Quantifizierung des Einflusses aktiver Sicherheitssysteme scheiden nationale Unfalldatenbanken aus, da in ihnen keine Fahrzeugausstattungen berücksichtigt werden. Um die Ergebnisse einer Analyse verallgemeinern zu können, ist es weiter notwendig, dass die Datenbank für die Population, über die Schlüsse gezogen werden soll, repräsentativ ist. Dies ist für die GIDAS Datenbank, im Gegensatz zur EACS Datenbank, der Fall.

In der GIDAS Datenbank ist eine repräsentative Stichprobe aller Unfälle mit Notruf in den Räumen Hannover und Dresden beschrieben. Die Räume Hannover und Dresden sind wiederum bezüglich der Anteile an Stadt- und Landstrassen und Autobahnen für die Bundesrepublik repräsentativ. Insgesamt ist eine gleichmäßige Betrachtung von Unfällen zu sämtlichen Tageszeiten gewährleistet. Darüber hinaus sollen Gewichtungsfaktoren, die anhand der Daten der offiziellen Unfallstatistiken bestimmt werden, die Repräsentativität der Untersuchungen in den Erhebungsgebieten sicherstellen.

Im Rahmen der GIDAS Studie dokumentieren Erhebungsteams die Unfälle soweit möglich vor Ort. Das ein Vorteil gegenüber der UK CCIS Datenbank ist, deren Fälle rekonstruiert werden, eine Vorgehensweise, die die Erfassung einiger Daten unmöglich macht. Bei GIDAS werden neben der manuellen Erfassung der Unfallsituation mittels spezieller fotogrammetrischen Messausrüstung

Unfallspuren für eine spätere Rekonstruktion gesichert. Die GIDAS Unfalldokumentation umfasst Daten zu Umweltbedingungen an der Unfallstelle, Straßenführung und Verkehrssituation, Details zum Unfallablauf, Unfallursachen, Details zum Kollisionsverlauf und zu Fahrzeugbeschädigungen, technischen Fahrzeuginformationen, Informationen zu den beteiligten Personen und Verletzungen sowie Versorgung der Verletzten.

Ein weit verbreitetes Problem bei der Datenerhebung, welches auch im Falle GIDAS vorliegt, ist dasjenige fehlender Werte. Es resultiert daraus, dass Informationen zum Zeitpunkt der Erhebung nicht vorliegen oder bei der Erfassung und Verarbeitung verloren gehen. Somit liegen für die verschiedenen Objekte in der Untersuchung unterschiedliche Datengrundlagen vor. Standardvorgehensweise in solchen Fällen ist es, nur diejenigen Objekte zu untersuchen, zu denen man vollständige Daten hat. Dies ist allerdings nicht ganz unproblematisch und kann zu verzerrten Untersuchungsergebnissen führen. Bei der hier durchgeführten Analyse wurde das multiple Ersetzen mit Markov Chain Monte Carlo Methoden (vgl. z. B. Schafer (1997)) gewählt, um mit den fehlenden Werten umzugehen.

Die GIDAS Datenbank wurde als Datenbasis ausgewählt, da sie bei der zur Verallgemeinerung der Ergebnisse nötigen Repräsentativität der Daten eine große Variablenauswahl und verhältnismäßig gute Vollständigkeit der Daten mit sich bringt.

2.3 Methodik der Auswertung

Die zur Bewertung der Effizienz von ESP benutzten Unfalldaten aus der GIDAS Datenbank lassen eine direkte Schätzung der Wahrscheinlichkeit, einen Unfall zu haben, nicht zu, daher lässt sich der Einfluss eines Systems der aktiven Sicherheit auch nicht direkt daran überprüfen. Aus diesem Grund wird hier zur Messung des Einflusses von ESP auf die Unfallwahrscheinlichkeit eine Vorgehensweise gewählt, die nicht die absolute Unfallwahrscheinlichkeit, sondern die relative Veränderung dieser Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Vorliegen des interessierenden Sicherheitssystems ESP betrachtet.

Die in der GIDAS Datenbank dokumentierten Unfälle mit Personenschaden werden dafür in eine Fallgruppe von Unfällen durch Stabilitätsverlust und eine Kontrollgruppe mit den „sonstigen“ Unfällen aufgeteilt. Wichtig ist dabei, dass die Klasseneinteilung unabhängig von der Ausstattung eines Fahrzeugs mit ESP durchgeführt wird, ESP also keinen Einfluss auf die Zuordnung eines Fahrzeugs auf Fall- oder Kontrollgruppe hat. Darüber hinaus ist die Einteilung in dem Sinne konservativ, dass Unfälle eher als durch Stabilitätsverlust verursacht angesehen werden als umgekehrt. Diese Eigenschaft der Einteilung sorgt dafür, dass der Effekt von ESP eher zu niedrig als zu hoch angesehen und somit nicht überschätzt wird.

Beispielsweise wird ein Fahrunfall unter Mitwirken von Gefälle/Steigung auf einer Geraden (Unfalltyp 153 nach dem erweiterten Unfalltypenkatalog des HUK-Verbandes, Ausgabe 1977) als ‚sonstiger’ Unfall klassifiziert, außer die Fahrbahn ist glatt oder verschmutzt oder sonst als schlecht und das Fahrverhalten beeinflussend beurteilt, oder der Fahrer hat bei der Befragung angegeben, er hätte ein Ausweichversuch mittels Lenken durchgeführt. Diese eben genannten Kriterien führen immer dazu, dass ein Unfall als Unfall durch Stabilitätsverlust klassifiziert wird. Unfälle der Unfalltypen 151 und 152 (Fahrunfall unter Mitwirken von Gefälle/Steigung in Links- bzw. Rechtskurve) hingegen würden als Unfall durch Stabilitätsverlust klassifiziert, wenn die Geschwindigkeit des Fahrzeugs höher als eine festgelegte Mindestgeschwindigkeit ist. Die Analysen wurden mit einer Mindestgeschwindigkeit von 50 km/h durchgeführt.

Um die Einschätzung der Unfallsituation eines Fahrzeuges zu erleichtern und vor allem, um Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Fahrzeugen eines Unfalls auszuschließen, werden nicht alle Unfallteilnehmer berücksichtigt, sondern je Unfall nur derjenige, der als Verursacher identifiziert wurde.

Hat nun ESP einen Einfluss auf das Risiko einen Unfall zu verursachen, so sollte sich dies auch in der Verteilung der mit ESP ausgestatteten Fahrzeuge innerhalb der Fall- und Kontrollgruppen niederschlagen. Wenn der Anteil der Fahrzeuge mit ESP in der Gruppe der Unfälle durch Stabilitätsverlust kleiner ist als derjenige in der Kontrollgruppe, so lässt sich ein protektiver Einfluss von ESP unterstellen.

Eine Möglichkeit, den Einfluss mehrerer Faktoren sowie ihrer eventuell vorliegenden Wechselwirkungen zu berücksichtigen und entsprechend adjustierte Ergebnisse zu erhalten, bietet die logistische Regression, die hier angewendet wurde. Aus einer logistischen Regression lassen sich Odds-Ratios schätzen, um den Einfluss von ESP zu quantifizieren. Das Odds-Ratio gibt an, um welchen Faktor die Chance, einen Unfall durch Stabilitätsverlust zu verursachen, steigt, wenn ein Fahrzeug mit ESP ausgestattet ist, wobei die Chance als Quotient der Zahl der interessierenden Fälle (Unfälle durch Stabilitätsverlust) und der Zahl der übrigen Fälle (sonstige Unfälle) definiert ist. Ein Faktor zwischen 0 und 1 steht dabei für den erhofften protektiven Einfluss von ESP. Das Odds-Ratio eines Einflussfaktors in einem Haupteffektenmodell einer logistischen Regression mit logit link ist dann durch den exponentiellen Parameterschätzer dieses Faktors gegeben (vgl. Kreienbrock & Schach). Aus dem logistischen Regressionsmodell läßt sich weiter noch das Unfallvermeidungspotential durch den Einbau von ESP für feste Kombinationen der sonstigen Einflußfaktoren vorhersagen.

2.4 Ergebnisse

Von den hier betrachteten Unfällen wurden 2467 (ca. 39%) als Unfälle durch Stabilitätsverlust und 3858 als sonstige Unfälle klassifiziert. Mit der Annahme, dass die Ausstattung eines Fahrzeuges mit ESP keinen Einfluss auf die „Risikofreudigkeit“ des Fahrers hat, lässt sich unter Berücksichtigung eines Odds-Ratio von 0,4878 folgern, dass sich, je nach Situation, zwischen 12,5% und 37% der Unfälle vermeiden liessen, wenn alle Fahrzeuge mit ESP ausgestattet würden.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5
ABS	nein	ja	ja	ja	ja
Alter des Fahrers	18	38	38	38	60
Mitfahrer	ja	nein	nein	ja	nein
Reifenprofil in mm	2	5	5	5	8
Regen	ja	nein	ja	nein	nein
Tag / Nacht	Nacht	Nacht	Tag	Tag	Tag
Unfallvermeidungspotential durch Einbau von ESP	36,8%	21,3%	26,3%	19,0%	12,5%

Tabelle 1: Beispiele für das Unfallvermeidungspotential durch Austattung mit ESP

Für eine Auswahl von Szenarien ist dies in Tabelle 1 dargestellt, wobei das durchschnittliche Alter der Fahrer in der GIDAS Studie 38 Jahre ist und die durchschnittliche Reifenprofiltiefe 5 mm. So könnte beispielsweise im Falle eines Wagens ohne ABS, dessen Reifen die Profiltiefe 2mm haben, der von einem 18-jährigen Fahrer Nachts und bei Regen gefahren wird, und bei dem Beifahrer mitfahren, durch Ausstattung mit ESP die Unfallwahrscheinlichkeit um 36,8% gesenkt werden. Im anderen Extrem könnten im Falle eines 60 jährigen Fahrers eines Wagens mit ABS und Reifen mit 8mm Profiltiefe, der keine Beifahrer hat und den Wagen tagsüber bei trockenen Witterungsbedingungen fährt, die Unfallwahrscheinlichkeit durch Ausstattung mit ESP um 12.5% gesenkt werden.

Diese Ergebnisse bestätigen die Resultate früherer Untersuchungen, die anhand anderer Datengrundlagen ermittelt wurden. Sferco et al (2001), die Ihre Analyse auf die EACS Datenbank gestützt haben, konstatieren, dass Experten in 34% der tödlichen Unfälle und in 18% der Unfälle

mit Verletzten einen Einfluss von ESP auf das Unfallverhalten als wahrscheinlich einstuften. In ihrer Analyse sind 67% der tödlichen Unfälle und 42% der Unfälle mit Verletzten durch Stabilitätsverlust verursacht. Aga und Okada (2003), die japanische Unfalldaten aus IRTAD analysieren, schreiben ESP das Potential einer Verringerung von 35% der Getöteten in Alleinunfällen und Frontalunfällen mit anderen Fahrzeugen zu. Aufgrund von Analysen schwedischer Unfalldaten, messen Tingvall et al. (2003) ESP ein Potential zur Verringerung der Zahl aller Unfälle um 22.1% bei. Basierend auf der Analyse von Versicherungsdaten kommen Langwieder et al (2003) zu dem Schluss, dass 27-60% aller Unfälle aus einem Stabilitätsverlust resultieren, und bei mindestens 60% dieser Unfällen ESP hilfreich wäre.

3 Objektive Testmethoden und Beurteilungskriterien

Die Fahrstabilität kann in erster Linie durch eine Beurteilung des Gierverhaltens (Schwimmwinkel β, Gierrate Ψ) und der Pfadabweichung Δ_y (vgl. Bild 2) eines Fahrzeugs ermittelt werden. Allerdings soll ein Fahrzeug nicht nur stabiles Verhalten zeigen, sondern auch dem Fahrerrichtungswunsch (und damit dem eingestellten Lenkwinkel) entsprechend gut folgen. Beide Kriterien konkurrieren, und nur ein geeigneter Kompromiss zwischen Gier- und Eigenlenkverhalten führt zu einem Fahrzeug, das z. B. ein Ausweichmanöver hinreichend gut absolviert. Nimmt man eine Verschlechterung einer Eigenschaft in Kauf, kann die jeweils andere nahezu beliebig verbessert werden.

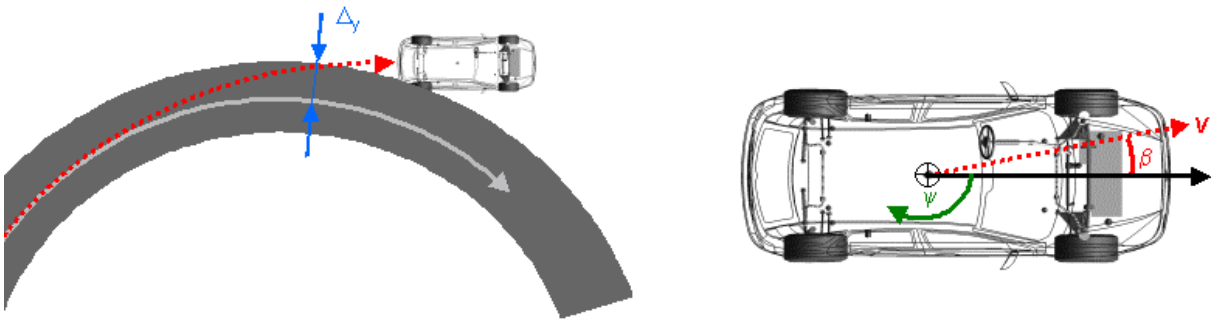

Bild 2: Fahrzeugkinematische Größen

Grundsätzliche Zielsetzung für die Beurteilung von Fahrstabilitätssystemen sollte daher sein, nur solche Fahrmanöver in Betracht zu ziehen, die gleichzeitig das Gierverhalten und das Eigenlenkverhalten beurteilen. Eine getrennte Beurteilung beider Kenngrößen in unterschiedlichen Fahrmanövern würde die Aussagefähigkeit eines Testverfahrens reduzieren oder zumindest das Ergebnis verzerren. Gleichzeitig sollen natürlich die grundsätzlichen Anforderungen an Testverfahren wie

- Reproduzierbarkeit,
- Robustheit gegen Umgebungs- und Störeinflüsse und
- Relevanz

erfüllt sein, was besonders im Falle der Fahrdynamik nicht trivial ist. Die Reproduzierbarkeit bedingt nahezu zwangsläufig, dass ein open-loop-Manöver ausgewählt wird, wo ein Roboter die Eingabe des Lenkwinkels vornimmt. Zwar können Testfahrer ebenfalls recht präzise Fahrmanöver absolvieren, allerdings ist bei Fragen der Fahrstabilität die Sensitivität gegenüber den eingegebenen Lenkwinkelverläufen hoch. Fahrzeugbeurteilung wird auch maßgeblich durch externe Einflüsse wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Bodenbelag, Reifenmarke und –alter etc. beeinflusst, so dass eine entsprechende Robustheit wünschenswert ist.

Hinsichtlich Relevanz soll das ausgewählte Fahrmanöver den typischen Fahrsituationen entsprechen, wie sie sich im täglichen Straßenverkehr ereignen können. Aus Sicht der

Fahrstabilität sind hier insbesondere Ausweichmanöver und/oder die Berücksichtigung von niedrigen Fahrbahn-Reibwerten zu nennen.

3.1 Potentielle Testverfahren

Basierend auf den genannten Vorgaben werden derzeit in den einschlägigen nationalen wie internationalen Facharbeitskreisen zwei grundsätzliche Testverfahren unterschieden:

- Sinuslenken: basierend auf einem „real world"-Ausweichmanöver,
- Pulslenken: basierend auf der Annahme, dass ein Impuls-Eingangssignal das Fahrzeug über einen großen Frequenzbereich anregt.

Für die Variante „Sinuslenken" werden zusätzlich drei Ausführungsformen unterschieden, die durch Variation der Amplitudenwerte entstehen. In Bild 3 sind alle Zeitverläufe von Lenksignalen gegenübergestellt.

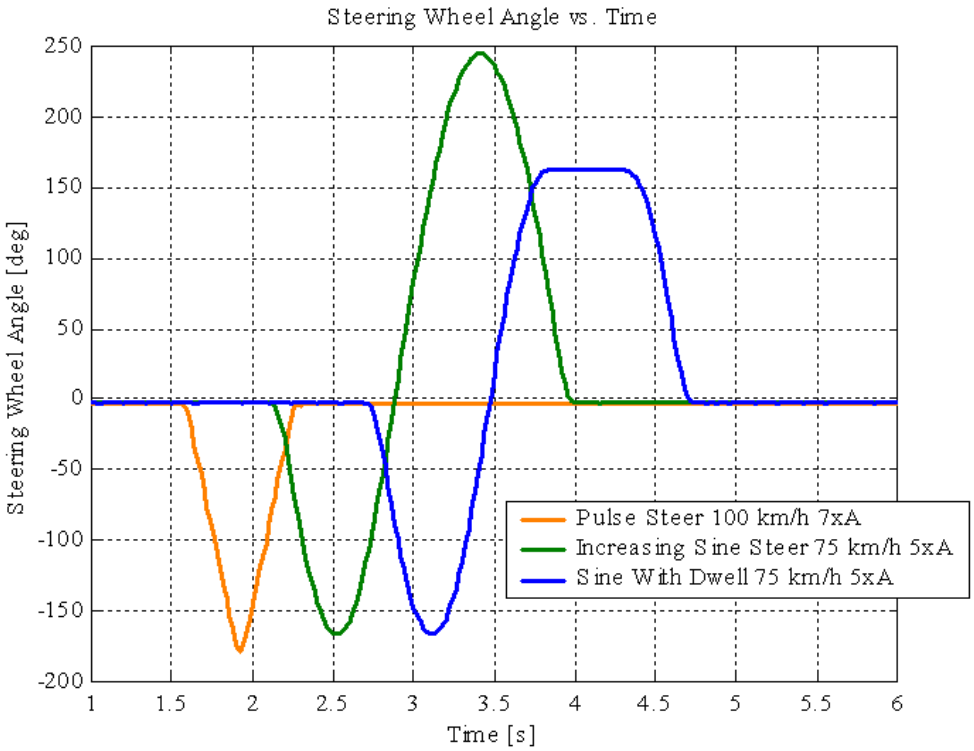

Bild 3: Beschreibung der Testverfahren zur Beurteilung der Fahrstabilität

Es bleibt festzustellen, dass alle diese Testverfahren geeignet sind, ESP-Funktionalität robust und reproduzierbar zu beurteilen. Damit ist zunächst eine ja/nein-Beurteilung von ESP gemeint, inwieweit die Testverfahren einen quantitativen Vergleich von Fahrzeugen erlauben, ist noch offen. Stellt man die Verfahren gegenüber und vergleicht neben der Relevanz auch Faktoren wie Fahrsicherheit, Testaufwand und Verschleiß, so ergibt sich die in Tabelle 2 dargestellte Übersicht.

Testverfahren	Puls-Lenken	Sinuslenken		Sinuslenken mit Haltezeit		Sinuslenken mit ansteigender Amplitude	
Fahrzeug-geschwindigkeit	100 km/h	75 km/h	100 km/h	75 km/h	100 km/h	75 km/h	100 km/h
1. Sicherheit	-	+	-	+	-	+	-
2. Reifenverschleiss	-	+	o	+	o	+	o
3. Robustheit	+	+	+	+	+	+	+
4. "Real world"-Relevanz	--	-	-	-	-	+	+
5. Fahrzeugklassen	+	+	--	-	--	o	o
6. Testdauer	+	+	+	+	+	+	+
Gesamtbeurteilung (Status Feb 2004)	o	+	-	o	-	+	o

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Testverfahren

Entsprechend dieser Gegenüberstellung ist aus Sicht der Ford-Werke AG das Sinuslenken mit ansteigender Amplitude das Verfahren mit dem größten Potential.

Ein typischer Verlauf von Messsignalen für das Sinuslenken mit ansteigender Amplitude ist in **Bild 4** dargestellt. Verglichen wird dort ein Fahrzeug mit ESP ein- bzw. ausgeschaltet, die Reaktion des Fahrzeugs ist differenziert für die Fälle Lenkverhalten und Stabilität.

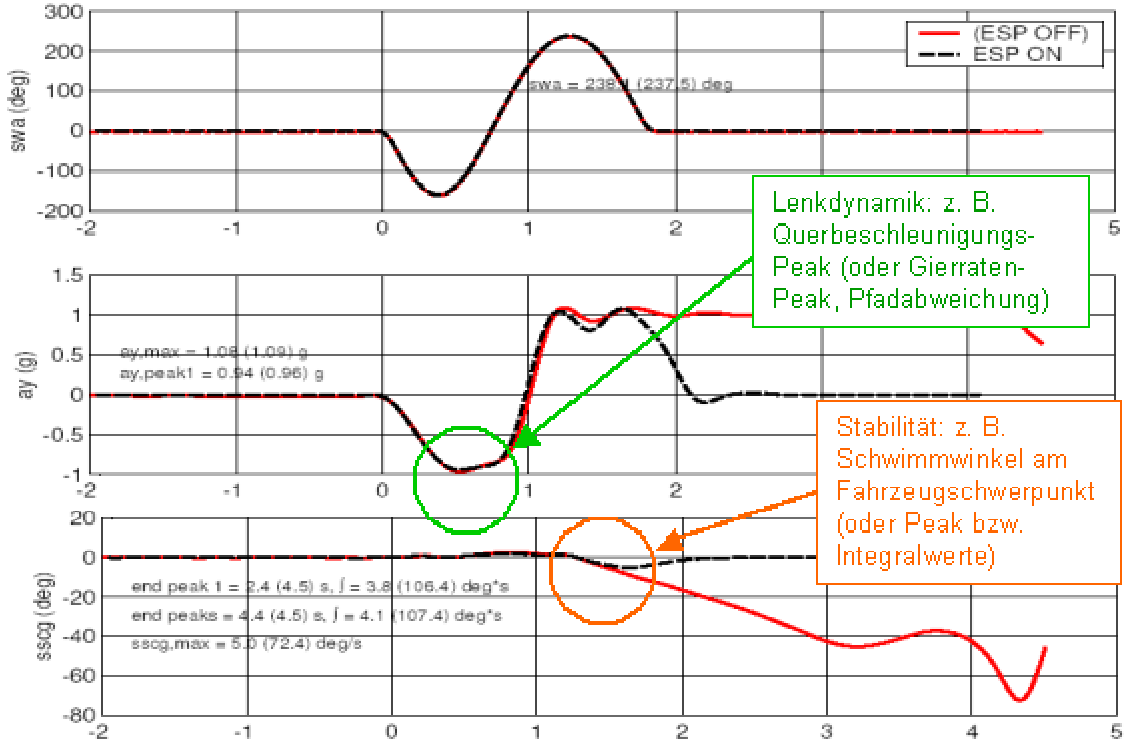

Bild 4: Beispielmessung eines Fahrmanövers "Sinuslenken mit ansteigender Amplitude" mit bzw. ohne ESP-Funktionalität

3.2 Definition von Metriken

Neben der genauen Definition eines Testverfahrens ist die Ermittlung geeigneter Metriken essentiell für die letztendliche Eignung zur objektiven Beurteilung. Gerade dieser Bereich bedarf

eines hohen Aufwands, da die Metriken eine physikalisch begründete Differenzierung von Fahrzeugeigenschaften erlauben soll, ohne dabei herstellereigene Auslegungsphilosophien zu bewerten. Beispielsweise neigen einige Hersteller dazu, sehr untersteuernde Fahrzeuge auszulegen, während andere stärker den sportlichen Charakter betonen und ggf. sogar leicht übersteuerndes Fahrverhalten erlauben. Dieser „Fahrzeugcharakter“ soll aber gerade nicht beurteilt werden, sondern nur die objektive Fahrstabilität, wie sie im Grenzbereich von einem Fahrstabilitätssystem generiert wird.

Aus Sicht der Physik bieten sich die Signale

- Gierrate,
- Querbeschleunigung,
- Schwimmwinkel und
- Pfadabweichung

für eine Auswertung der oben angesprochenen Fahrmanöver an. Neben den Signalverläufen selbst werden insbesondere Peak-Werte sowie das Integral unter den Signalen berücksichtigt, um den aussagekräftigen Teil der Messungen zu extrahieren und eine einfachere Vergleichbarkeit von Ergebnissen zu gewährleisten.

3.3 Resultate und Auswertung

Bild 4 zeigt Messsignale für ein Sinuslenken mit ansteigender Amplitude. Verglichen werden hier Fahrmanöver desselben Fahrzeugs einmal mit eingeschaltetem ESP und ohne ESP-Funktionalität. Zu erkennen ist, dass die Querbeschleunigung (ay) ein geeigneter Indikator für die Lenkdynamik bzw. das Eigenlenkverhalten des Fahrzeugs ist, während die Stabilität am Schwimmwinkel-Signal (sscg, side slip angle center of gravity) festgemacht werden kann.

Eine Auswertung entsprechend der beschriebenen Metriken liefert für derartige Fahrmanöver eine Übersicht wie in Bild 5.

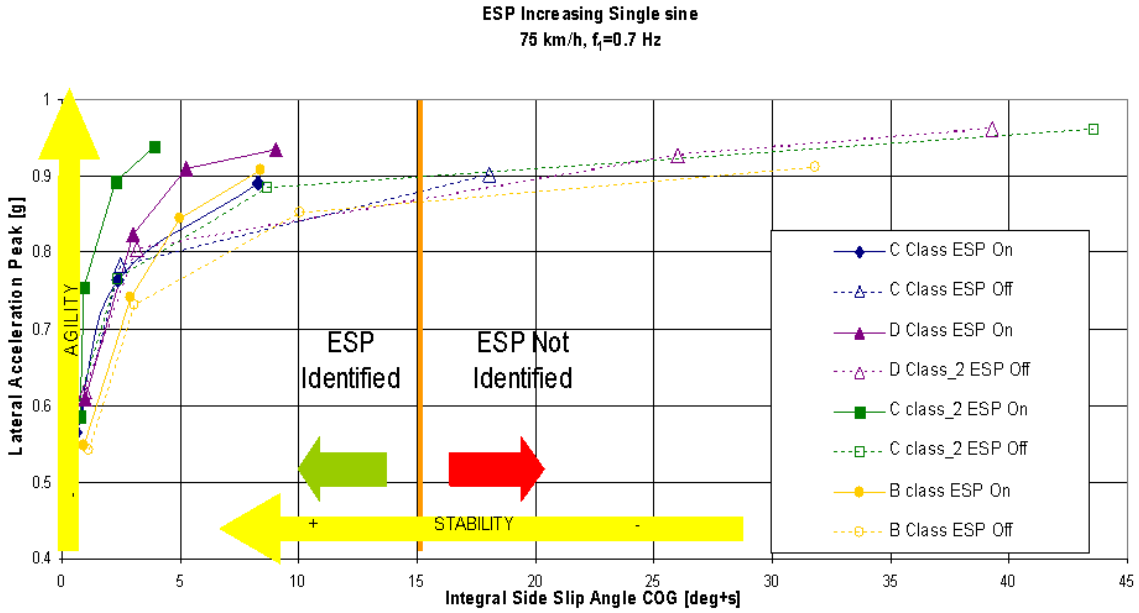

Bild 5: Auswertung und Vergleich von Fahrmanövern „Sinuslenken mit ansteigender Amplitude“

Für verschiedene Fahrzeugenklassen vom B- bis zum D-Segment sind hier die jeweiligen Resultate mit und ohne ESP-System festgehalten. Die y-Achse, auf der die Querbeschleunigung

abgetragen ist, kann als Maß für die Agilität des Fahrzeugs interpretiert werden, während der Schwimmwinkel auf der x-Achse die Stabilität charakterisiert. Nur für Fahrzeuge ohne ESP-Funktion werden Werte rechts von der Stabilitätsgrenze erreicht, das heißt das Integral des Schwimmwinkels überschreitet einen Maximalwert von 15°s. Damit ist eine klare Identifizierung von ESP gewährleistet, eine quantitative Differenzierung ist hingegen nicht ohne weiteres möglich.

In dem Diagramm wird deutlich, dass die beiden Beurteilungskriterien Agilität und Stabilität durchaus konkurrieren, im höheren Agilitätsbereich werden durchweg Stabilitätswerte erreicht, die näher an der Grenze von 15°s liegen. Dies ist unmittelbar einzusehen, weil mit sportlich abgestimmten Fahrzeugen höhere Querbeschleunigungen erzielt werden können, gleichzeitig aber die physikalischen Grenzen nach wie vor gültig bleiben: der Grenzbereich eines solchen Fahrzeugs wird entsprechend kleiner.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Insgesamt kann festgestellt werden, dass eine objektive Differenzierung zwischen Fahrzeugen mit und ohne Fahrstabilitätssystem ESP durchaus möglich ist. Unter Einhaltung entsprechender Vorgaben können damit reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Deutlich aufwendiger und weniger robust wäre eine quantitative Beurteilung, da hier die Einflussparameter stark auf das Ergebnis Einfluss nehmen und bei leichter Variation von Testbedingungen schon andere Test-Rankings auftreten können.

Schwierig ist derzeit die Korrelation von objektiven Ergebnissen mit subjektiven Fahreindrücken. Es ist sehr wichtig, genaue Sprachvereinbarungen zu treffen, damit die subjektiven Ergebnisse nicht zu widersprüchlichen Resultaten führen und objektiv als „besser“ eingestufte Fahrzeuge subjektiv als „schlechter“ klassifiziert werden und umgekehrt. Des weiteren ist nicht geklärt, ob und welchen Einfluss eine Verschiebung der Stabilitätsgrenze in Bild 5 auf die statistisch ermittelte Vorhersage zur Unfallvermeidung infolge von Fahrstabilitätssystemen hat. Damit kann der Kreis in Bild 1, der einen Rückschluss auf die zukünftigen Unfallzahlen zulassen würde, derzeit nicht geschlossen werden. Diese Situation wird sich dann verbessern, wenn mehr und genauere Unfalldaten erhoben und in einer Datenbank erfasst werden.

Zur Beurteilung von kürzlich oder neu zu entwickelnden aktiven Fahrwerksystemen (elektronische Dämpferregelung, Active-Body-Control, DynamicDrive,...) sind die vorgeschlagenen Testmethoden ebenfalls einzusetzen. Denn das Testverfahren hebt auf die Fahrstabilität des Gesamtfahrzeugs ab, unabhängig davon, ob diese durch einen Bremseneingriff oder einen Lenkeingriff oder andere technische Eingriffsmöglichkeiten erzeugt wird. Insbesondere sind diese Ergebnisse vergleichbar, so dass eine Relation zwischen verschiedenen technischen Lösungen aufgestellt werden kann.

5 Literatur

Aga, M., Okada, A. (2003): Analysis of vehicle stability control (VSC) effectiveness from accident data, ESV Conference 2003, Nagoya.

Langwieder, K., Gwehenberger, J., Hummel, T., Bende, J. (2003): Benefit potential of ESP in real life accident situations involving cars and trucks, ESV Conference 2003, Nagoya.

Kreienbrock, L., Schach, S. (1997): Epidemiologische Methoden, 2. Aufl., Fischer, Stuttgart.

Sferco, R., Page, Y., Le Coz, J.-Y., Fay, P.A., (2001): Potential effectiveness of electronic stability programs (ESP) -- What european field studies tell us, ESV Conference 2001, Amsterdam.

Schafer, J.L. (1997): Analysis of Incomplete Multivariate Data, Chapman & Hall, London.

Tingvall, C., Krafft, M., Kullgren, A., Lie, A. (2003): The effectiveness of ESP (electronic stability programme) in reducing real life accidents, ESV Conference 2003, Nagoya.