

Konrad Reif (Hrsg.)

Bremsen und Bremsregelsysteme

Bosch Fachinformation Automobil



**VIEWEG+
TEUBNER**



BOSCH

Technik fürs Leben

Konrad Reif (Hrsg.)

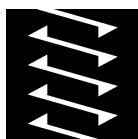
Bremsen und Bremsregelsysteme

Konrad Reif (Hrsg.)

Bremsen und Bremsregelsysteme

Mit 143 Abbildungen

Bosch Fachinformation Automobil



VIEWEG+
TEUBNER

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

Der Inhalt dieses Buches erschien bisher unter dem Titel:
Sicherheits- und Komfortsysteme
herausgegeben von der Robert Bosch GmbH, Plochingen

1. Auflage 2010

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2010

Lektorat: Christian Kannenberg | Elisabeth Lange

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Technische Redaktion: Gabriele McLemore

Satz: FROMM MediaDesign, Selters/Ts.

Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1311-4

Vorwort

Die Technik im Kraftfahrzeug hat sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt. Der Einzelne, der beruflich mit dem Thema beschäftigt ist, muss immer mehr tun, um mit diesen Neuerungen Schritt zu halten. Mittlerweile spielen viele neue Themen der Wissenschaft und Technik in Kraftfahrzeugen eine große Rolle. Dies sind nicht nur neue Themen aus der klassischen Fahrzeug- und Motorentechnik, sondern auch aus der Elektronik und aus der Informationstechnik. Diese Themen sind zwar für sich in unterschiedlichen Publikationen gedruckt oder im Internet dokumentiert, also prinzipiell für jeden verfügbar; jedoch ist für jemanden, der sich neu in ein Thema einarbeiten will, die Fülle der Literatur häufig weder überblickbar noch in der dafür verfügbaren Zeit lesbar. Aufgrund der verschiedenen beruflichen Tätigkeiten in der Automobil- und Zulieferindustrie sind zudem unterschiedlich tiefe Ausführungen gefragt.

Gerade heute ist es so wichtig wie früher: Wer die Entwicklung mit gestalten will, muss sich mit den grundlegenden wichtigen Themen gut auskennen. Hierbei sind nicht nur die Hochschulen mit den Studienangeboten und die Arbeitgeber mit Weiterbildungsmaßnahmen in der Pflicht. Der rasche Technologiewechsel zwingt zum lebenslangen Lernen, auch in Form des Selbststudiums.

Hier setzt die Schriftenreihe „Bosch Fachinformation Automobil“ an. Sie bietet eine umfassende und einheitliche Darstellung wichtiger Themen aus der Kraftfahrzeugtechnik in kompakter, verständlicher und praxisrelevanter Form. Dies ist dadurch möglich, dass die Inhalte von Fachleuten verfasst wurden, die in den Entwicklungsabteilungen von Bosch an genau den dargestellten Themen arbeiten. Die Schriftenreihe ist so gestaltet, dass sich auch ein Leser zurechtfindet, für den das Thema neu ist. Die Kapitel sind in einer Zeit lesbar, die auch ein sehr beschäftigter Arbeitnehmer dafür aufbringen kann.

Die Basis der Reihe sind die fünf bewährten, gebundenen Fachbücher. Sie ermöglichen einen umfassenden Einblick in das jeweilige Themengebiet. Anwendungsbezogene Darstellungen, anschauliche und aufwendig gestaltete Bilder ermöglichen den leichten Einstieg. Für den Bedarf an inhaltlich enger zugeschnittenen Themenbereichen bietet die siebenbändige broschierte Reihe das richtige Angebot. Mit deutlich reduziertem Umfang, aber gleicher detaillierter Darstellung, ist das Hintergrundwissen zu konkreten Aufgabenstellungen professionell erklärt. Die schnelle Bereitstellung zielgerichteter Information zu thematisch abgegrenzten Wissensgebieten sind das Kennzeichen der 92 Einzelkapitel, die als pdf-Download zur sofortigen Nutzung bereitstehen. Eine individuelle Auswahl ermöglicht die Zusammenstellung nach eigenem Bedarf.

Im Laufe der Neukonzeption dieser Schriftenreihe ist es nicht möglich, alle Produkte gleichzeitig inhaltlich neu zu bearbeiten. Dies geschieht demnach Zug um Zug.

Der vorliegende Band „Bremsen und Bremsregelsysteme“ behandelt Fahrsicherheit im Kraftfahrzeug, Grundlagen der Fahrphysik, Bremssysteme in Personenkraftwagen, Komponenten in Pkw-Bremsanlagen einschließlich Radbremsen, Fahrstabilisierungssysteme, automatische Bremsfunktionen, Hydroaggregate und die elektrohydraulische Bremse. Er ist ein Teil des Buches „Sicherheits- und Komfortsysteme“ in der bisherigen Form. Eine inhaltliche Neubearbeitung wird folgen. Neu erstellt wurde das Stichwortverzeichnis, um die Inhalte dieses Buchs rasch zu erschließen.

Inhaltsverzeichnis

Fahrsicherheit im Kraftfahrzeug

Sicherheitssysteme	10
Grundlagen des Fahrens	12

Grundlagen der Fahrphysik

Reifen	20
Kräfte und Momente am Fahrzeug	23
Fahrzeuginnenraum	30
Fahrzeugquerdynamik	32
Definitionen	34

Bremssysteme im Personenkraftwagen

Übersicht	36
Geschichte der Bremse	38
Einteilung von Pkw-Bremsanlagen	44
Bestandteile einer Pkw-Bremsanlage	46
Bremskreisauflösung	47

Komponenten für Pkw-Bremsanlagen

Übersicht	48
Bremspedal	49
Bremskraftverstärker	50
Hauptzylinder	55
Ausgleichsbehälter	57
Vordruckventil	57
Bauteile für konventionelle Bremskraftverteilung	58
Bremsleitungen	62
Bremsschläuche	62
Bremsschlauch	63

Radbremsen

Übersicht	64
Trommelbremsen	66
Scheibenbremsen	72
Bremsscheiben und Bremsscheiben	78

Antiblockiersystem ABS

Systemübersicht	82
Anforderungen an das ABS	84
Dynamik des gebremsten Rades	85
ABS-Regelkreis	86
Typische Regelzyklen	90
Raddrehzahlsensoren	98

Antriebsschlupfregelung ASR

Aufgaben	102
Funktionsbeschreibung	102
Struktur der ASR	104
Typische Regelsituationen	105
ASR für allradgetriebene Fahrzeuge	106

Elektronisches Stabilitäts-Programm ESP

Anforderungen	110
Aufgaben und Arbeitsweise	111
Fahrmanöver	112
Gesamtregelkreis und Regelgrößen	120
Mikromechanische Drehratesensoren	126
Lenkradwinkelsensoren	128
Hall-Beschleunigungssensoren	130

Automatische Bremsfunktionen

Übersicht	132
Standardfunktion	134
Zusatzfunktionen	136

Hydroaggregat

Entwicklungsgeschichte	142
Aufbau	143
Druckmodulation	146

Elektrohydraulische Bremse SBC

Aufgabe und Funktion	150
Aufbau	152
Arbeitsweise	152
Abkürzungen	154
Sachwortverzeichnis	155

Autorenverzeichnis

- Dipl.-Ing. Friedrich Kost (Grundlagen der Fahrphysik);
- Dipl.-Ing. Wulf Post (Komponenten für Pkw-Bremsanlagen);
- Dipl.-Ing. Heinz-Jürgen Koch-Dücker,
- Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Papert (Antiblockiersystem ABS);
- Dr.-Ing. Frank Niewels,
- Dipl.-Ing. Jürgen Schuh (Antriebsschlupfregelung ASR);
- Dipl.-Ing. Thomas Ehret (Elektronisches Stabilitäts-Programm ESP);
- Dipl.-Ing. (FH) Jochen Wagner (Automatische Bremsfunktionen);
- Dr.-Ing. Frank Heinen,
- Peter Eberspächer (Hydroaggregat);
- Dipl.-Ing. Bernhard Kant (Elektrohydraulische Bremse SBC);
- Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner,
- Dr.-Ing. Klaus Winter,
- Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Lucas,
- Dipl.-Ing. (FH) Hermann Mayer,
- Dr.-Ing. Albrecht Irion,
- Dipl.-Phys. Hans-Peter Schneider,
- Dr.-Ing. Jens Lüder (Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ACC);
- Dipl.-Ing. Dieter Fornoff,
- Dieter Graumann,
- Dipl.-Ing. Thomas Laux,
- Dipl.-Ing. Thomas Müller,
- Dipl.-Ing. Steffen Schumacher (Elektronische Getriebesteuerung);
- Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Rieger, ZF Lenksysteme Schwäbisch Gmünd (Aktivlenkung);
- Dipl.-Ing. Bernhard Mattes (Insassenschutzsysteme);
- Prof. Dr.-Ing. Peter Knoll (Fahrerassistenzsysteme);
- Prof. Dr.-Ing. Peter Knoll (Einparksysteme);
- Dipl.-Ing. Rainer Kurzmann,
- Dr.-Ing. Günter Hartz (Antriebs- und Verstellsysteme);
- Dipl.-Ing. Gebhard Schweizer, Behr GmbH & Co, Stuttgart (Heizung und Klimatisierung);
- Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Bowe,
- Andreas Walther,
- Dr.-Ing. B. Kordowski,
- Dr.-Ing. Jan Lichtermann (Fahrzeugsicherungssysteme);
- Dr.-Ing. Bernhard Herzog (Instrumentierung);
- Dr.-Ing. Gerhard Pitz,
- Dipl.-Ing. Gerald Spreitz,
- S. Rehlich,
- M. Neumann,
- Dipl.-Ing. Marcus Risse,
- Dipl.-Ing. Wolfgang Baierl,
- Bernd Knerr,
- Dipl.-Ing. Ernst-Peter Neukirchner,
- Dipl.-Kaufm. Ralf Kriesinger,
- Dr.-Ing. Jürgen Wazeck,
- Ralf Höchter,
- Dr. rer. nat. D. Elke (Themenbereich Audio, Navigation und Telematik);
- Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stephan Sohnle,
- Dipl.-Ing. Rainer Rehage,
- Rainer Heinzmann (Werkstatt-Technik);
- Dr.-Ing. Erich Zabler (Sensoren)

Soweit nicht anders angegeben, handelt es sich um Mitarbeiter der Robert Bosch GmbH.

Fahrsicherheit im Kraftfahrzeug

Neben den Komponenten des Antriebsstrangs (Motor, Getriebe), die für den Vortrieb des Kraftfahrzeugs sorgen, übernehmen auch die Fahrzeugsysteme, die den Vortrieb begrenzen und das Fahrzeug abbremsen, eine wichtige Rolle. Erst sie machen das sichere Bewegen des Fahrzeugs im Straßenverkehr möglich. Aber auch Systeme, die die Insassen bei Unfällen schützen, werden immer wichtiger.

Sicherheitssysteme

Auf die Fahrsicherheit im Straßenverkehr haben viele Größen einen Einfluss:

- der Zustand des Kraftfahrzeugs (z. B. Ausrüstungsgrad, Reifenzustand, Verschleißerscheinungen),
- die Wetter-, Straßen- und Verkehrsverhältnisse (z. B. Seitenwind, Straßenbelag oder Verkehrsdichte) sowie
- die Qualifikation des Fahrers, also seine Fähigkeiten und Befindlichkeiten.

Leistete früher – natürlich neben der Fahrzeugbeleuchtung – im Wesentlichen nur die Bremsanlage mit dem Bremspedal, den Bremsleitungen und den Radbremsen einen Beitrag zur Fahrsicherheit, so kamen immer mehr Systeme hinzu, die in die Bremsanlage eingreifen. Diese Sicherheitssysteme werden wegen ihres aktiven Eingriffs auch als *Aktive Sicherheitssysteme* bezeichnet.

Fahrsicherheitssysteme, wie sie in Fahrzeugen nach dem neuesten Stand der Technik integriert sind, verbessern in hervorragender Weise die Fahrsicherheit des Fahrzeugs.

Die Bremse ist eine wichtige Komponente im Kraftfahrzeug. Sie ist für das sichere Bewegen des Kraftfahrzeugs im Straßenverkehr unverzichtbar. Bei den niedrigen Geschwindigkeiten und der geringen Verkehrsdichte in der Anfangszeit der Automobilgeschichte waren die Ansprüche an die Bremsanlage im Vergleich zu heute wesentlich geringer. Im Lauf der Zeit wurde die Bremsanlage immer weiterentwickelt. Letztendlich sind die hohen Geschwindigkeiten, die heute mit den Autos gefahren werden können, nur deshalb möglich, weil zuverlässige Bremsanlagen das Fahrzeug auch in Gefahrensituationen sicher abbremsen und zum Stillstand bringen können. Die Bremsanlage ist damit ein wichtiger Bestandteil der Sicherheitssysteme im Kraftfahrzeug.

Wie in allen Bereichen des Kraftfahrzeugs hat auch bei den Sicherheitssystemen die Elektronik Einzug gehalten. Die mittlerweile an die Sicherheitssysteme gestellten Anforderungen können nur noch mit elektronischer Hilfe erfüllt werden.

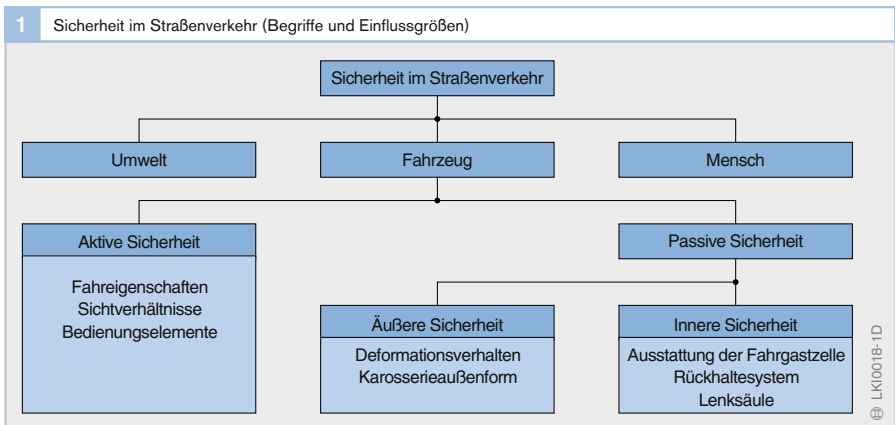


Tabelle 1

1 Sicherheitssysteme im Kraftfahrzeug

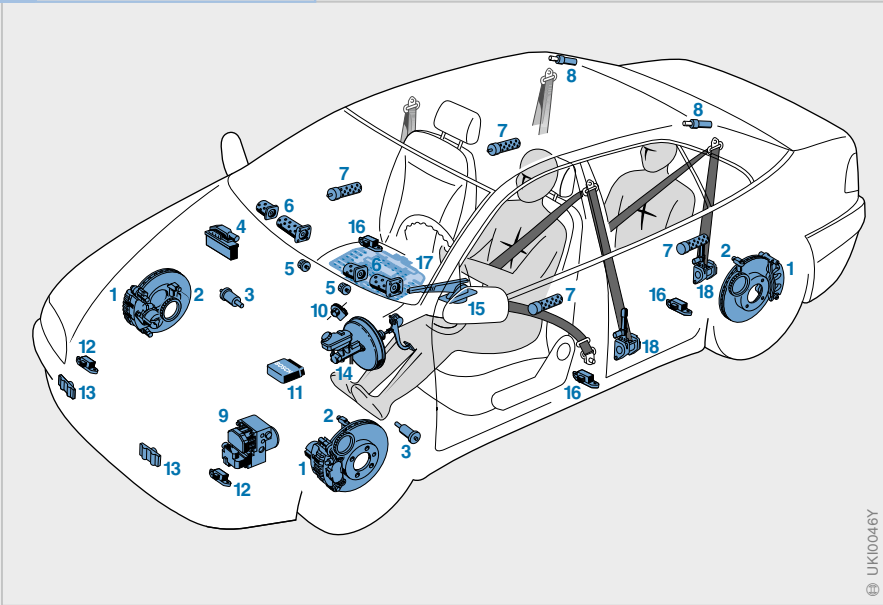


Bild 1

- 1 Radbremse mit Brems Scheibe
- 2 Raddrehzahlsensor
- 3 Gasgenerator Fußairbag
- 4 ESP-Steuergerät (mit ABS- und ASR-Funktion)
- 5 Gasgenerator Knieairbag
- 6 Gasgeneratoren für Fahrer- und Beifahrerairbag (2-stufig)
- 7 Gasgenerator Seitenairbag
- 8 Gasgenerator Kopfairbag
- 9 ESP-Hydroaggregat
- 10 Lenkwinkelsensor
- 11 Airbag-Steuergerät
- 12 Upfront-Sensor
- 13 Precrash-Sensor
- 14 Bremskraftverstärker mit Hauptzylinder und Bremspedal
- 15 Feststellbremse Bedienhebel
- 16 Beschleunigungssensor
- 17 Sensormatte für Sitzbelegungs-erkennung
- 18 Sicherheitsgurt mit Gurtstraffer

© UK0046Y

Aktive Sicherheitssysteme

Diese Systeme helfen, Unfälle zu vermeiden und tragen damit vorbeugend zur Sicherheit im Straßenverkehr bei. Beispiele für die aktiven Fahrsicherheitssysteme sind

- das ABS (Antiblockiersystem),
- die ASR (Antriebsschlupfregelung) und
- das ESP (Elektronische Stabilitäts-Programm).

Diese Sicherheitssysteme stabilisieren das Fahrzeug in kritischen Situationen und erhalten dabei deren Lenkbarkeit.

Systeme wie die adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung (ACC, Adaptive Cruise Control) leisten neben dem Beitrag zur Fahrsicherheit im Wesentlichen einen Beitrag zum Fahrkomfort, indem der Abstand zum vorderen Fahrzeug durch automatisches Gaswegnehmen oder auch durch aktive Bremsengriffe eingehalten wird.

Passive Sicherheitssysteme

Diese Systeme dienen dem Schutz der Insassen vor schweren Verletzungen im Fall eines Unfalls. Sie senken die Verletzungsgefahr und mildern die Unfallfolgen.

Beispiele für passive Sicherheitsausrüstung sind der gesetzlich vorgeschriebene Sicherheitsgurt sowie der Airbag, der inzwischen an verschiedenen Stellen innerhalb der Fahrgastzelle als Front- oder Seitenairbag zu finden ist.

Bild 1 zeigt ein Fahrzeug mit den Sicherheitssystemen und ihren Komponenten, wie sie in Fahrzeugen nach dem jetzigen Stand der Technik zu finden sind.

Tritt für Fahrer und Fahrzeug ein unvorhergesehenes Ereignis ein (z. B. unerwartet scharfe Kurve bei gleichzeitig behinderter Sicht o. Ä.), so kann der Fahrer falsch reagieren und in der Folge das Fahrzeug ins Schleudern geraten. Das Fahrzeug verhält sich dann nichtlinear, d. h. für den Fahrer nicht mehr vorhersehbar, und bewegt sich im physikalischen Grenzbereich. In dieser Situation sind sowohl der erfahrene als auch der unerfahrene Fahrer mit der Fahrzeugbeherrschung überfordert.

Unfallursachen und Unfallverhütung

Im Straßenverkehr ist der überwiegende Teil aller Unfallursachen bei „Unfällen mit Personenschaden“ auf personenbezogenes Fehlverhalten zurückzuführen. Unfallstatistiken zeigen, dass dabei eine nicht angepasste Geschwindigkeit die Hauptunfallursache ist. Weitere Ursachen sind

- falsche Straßenbenutzung,
- Abstandsfehler,
- Vorfahrts-/Vorrangfehler oder
- falsches Abbiegen und
- Fahren unter Alkoholeinfluss.

Technische Mängel (Beleuchtung, Bereifung, Bremsen usw.) bzw. fahrzeugbezogene Ursachen wurden in nur geringem Maße registriert. Andere, vom Fahrer nicht beeinflussbare, unfallbezogene Ursachen (z. B. Wetter) waren dagegen schon häufiger festzustellen.

Anhand dieser Fakten wird deutlich, dass die Sicherheitstechnik eines Fahrzeugs (in besonderem Maße die dafür notwendige Elektronik) immer weiter verbessert werden muss, um

- den Fahrer in Extremsituationen bestmöglich zu unterstützen,
- Unfälle zu vermeiden oder
- Unfallfolgen zu mildern.

In fahrkritischen Situationen gilt es deshalb, das Fahrzeugverhalten in Grenzbereichen und extremen Fahrsituationen für den Fahrer „vorhersehbar“ zu machen. Die Erfassung verschiedener Parameter (Drehzahl der

Räder, Querbeschleunigung, Giergeschwindigkeit usw.) und deren elektronische Weiterverarbeitung in einem oder mehreren Steuergeräten hilft, die Vorgänge in extrem kurzer Zeit durch geeignete Maßnahmen „beherrschbarer“ zu machen.

Folgende Situationen oder Gefahren sind Beispiele für mögliche Erfahrungen mit Grenzbereichen:

- sich verändernde Straßen-/Witterungsverhältnisse,
- Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern,
- Konflikte mit Tieren bzw. Hindernissen auf der Fahrbahn oder
- ein plötzlicher Schaden (geplatzter Reifen) am Fahrzeug.

Kritische Situationen im Straßenverkehr

Kritische Situationen im Straßenverkehr zeichnen sich dadurch aus, dass sich die Verkehrssituation sehr schnell ändert, etwa durch ein plötzlich auftauchendes Hindernis oder plötzlich wechselnden Fahrbahnzustand. Hinzu kommt oft auch ein Fehlverhalten der Autofahrer, die mangels Erfahrung in kritischen Situationen bei zu hoher Geschwindigkeit oder wegen Unaufmerksamkeit falsch reagieren.

In der Regel erkennt der Fahrer nicht, inwieweit er mit Ausweich- oder Bremsmanövern in kritischen Fahrsituationen einen physikalischen Grenzbereich berührt, da er fast nie in derart kritische Fahrsituationen gerät. Er erkennt nicht, inwieweit er das zur Verfügung stehende Kraftschlusspotenzial zwischen Reifen und Fahrbahn bereits „aufgebraucht“ hat oder ob das Fahrzeug gerade an der Grenze zur Manövrierunfähigkeit bzw. zum Schleudern steht. Demzufolge ist er in solchen Momenten unvorbereitet und reagiert deshalb falsch oder zu heftig. Unfälle oder Situationen, die andere Verkehrsteilnehmer gefährden, sind die Folge.

Unfälle können aber auch über die bereits genannten Unfallursachen hinaus, z. B. durch eine nicht angepasste Technik oder mangelhafte Infrastruktur (schlechte Ver-

kehrswegekonzepte, veraltete Verkehrsleitung), verursacht werden.

Verbesserungen des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs und der Fahrerunterstützung in kritischen Situationen können nur dann als solche gewertet werden, wenn sie nachhaltig sowohl Unfallzahlen als auch -folgen senken. Um eine solche kritische Situation zu entschärfen bzw. zu bewältigen, sind schwierige Fahrmanöver notwendig, z. B.

- schnelles Lenken und Gegenlenken,
- Fahrspurwechsel in Verbindung mit einer Vollbremsung,
- Spurhalten bei beschleunigter Kurvenfahrt oder wechselndem Fahrbahnbelag.

Die Folge davon ist fast immer ein fahrdynamisch kritisches Verhalten des Fahrzeugs, d. h., es verhält sich wegen zu geringer Haftung der Reifen nicht mehr so, wie es den Erwartungen des Fahrers entspricht und weicht vom gewünschten Kurs ab.

Der Fahrer ist aufgrund mangelnder Erfahrung in solchen Grenzsituationen häufig nicht mehr in der Lage, das Fahrzeug zu einer kontrollierten Bewegung zurückzuführen. Oft gerät er dadurch sogar in Panik und reagiert falsch oder zu stark. Hat er beispielsweise bei einem Ausweichmanöver das Lenkrad zu heftig eingeschlagen, lenkt er noch heftiger in die Gegenrichtung, um die Bewegung wieder auszugleichen. Mehrfaches Lenken und Gegenlenken mit immer stärkerem Lenkradeinschlag führen dann dazu, dass sich das Fahrzeug nicht mehr beherrschen lässt und zu schleudern beginnt.

Fahrverhalten

Das Verhalten eines Fahrzeugs im Straßenverkehr wird durch verschiedene Einflüsse bestimmt, die sich grob in drei Bereiche einteilen lassen:

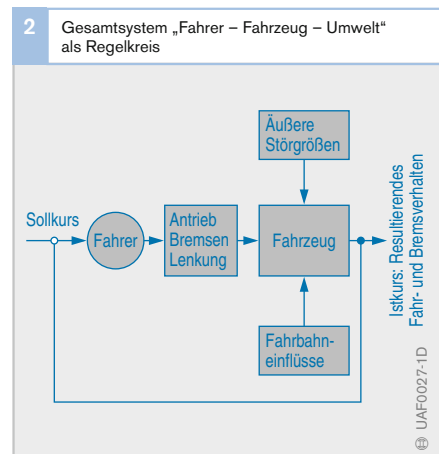
- Fahrzeugeigenschaften,
- Verhalten, Leistungsvermögen und Reaktionsfähigkeit des Fahrers und
- umgebende Bedingungen.

Die Bauweise und Auslegung eines Fahrzeugs beeinflussen dessen Bewegungen und dessen Fahrverhalten.

Das Fahrverhalten ist die Fahrzeugreaktion auf Fahrerhandlungen (z. B. Lenken, Gasgeben, Bremsen) und auf Störungen von außen (z. B. Fahrbahnzustand, Wind). Gutes Fahrverhalten zeigt sich in der Fähigkeit, den Kurs exakt zu halten und damit die Aufgabe eines Fahrers voll zu erfüllen. Dabei hat der Fahrer die Aufgaben,

- seine Fahrt den Verkehrs- und Straßenverhältnissen anzupassen,
- die geltenden Gesetze im Straßenverkehr zu befolgen,
- der Fahrstrecke, gegeben durch den Straßenverlauf, bestmöglich zu folgen und
- vorausschauend und verantwortungsbewusst sein Fahrzeug zu führen.

So gleicht der Fahrer die Fahrzeuglage und die Fahrzeugbewegungen immer wieder einem subjektiv empfundenen Idealzustand an. Er reagiert vorausschauend, handelt gemäß seiner Erfahrung und passt sich so dem aktuellen Straßenverkehrsgeschehen an.



Beurteilung des Fahrverhaltens

Zur Beurteilung des Fahrverhaltens ist die subjektive Beurteilung durch versierte Fahrer noch immer der wichtigste Beitrag. Subjektive Wahrnehmungen lassen nur relative Bewertungen zu, geben also keinen Aufschluss über objektive „Wahrheiten“. Subjektive Erfahrungen mit einem Fahrzeug können folglich nur vergleichend mit Erfahrungen an anderen Fahrzeugen eingesetzt werden.

Das Fahrzeugverhalten beurteilen Testfahrer in Fahrversuchen mit ausgewählten Fahrmanövern, die in ihrer Konzeption direkt am „normalen“ Verkehrsgeschehen orientiert sind. In einem geschlossenen Regelkreis (englisch: *closed loop*) wird das Gesamtsystem (einschließlich Fahrer) beurteilt. Dabei wird der bezüglich seines Verhaltens nicht präzise zu definierende Fahrer durch eine objektiv vorgegebene Einleitung von Störgrößen ersetzt und die daraus resultierende Fahrzeugreaktion analysiert und beurteilt. Folgende, durch die ISO genormte oder sich im Normierungsprozess befindende Fahrmanöver (durchgeführt auf trockener Fahrbahn) dienen als anerkannte Verfahren der Fahrzeugbeurteilung bezüglich der Fahrzeugstabilität:

- Stationäre Kreisfahrt,
- Übergangsverhalten,
- Bremsen in der Kurve,
- Empfindlichkeit bei Seitenwind,
- Geradeauslaufverhalten und
- Lastwechsel bei Kreisfahrt.

Hierbei sind die Führungsgröße wie z. B. der Fahrbahnverlauf oder Fahreraufgaben von grundlegender Bedeutung. Der jeweilige Fahrer versucht seine Eindrücke und Erfahrungen während der Fahrmanöver, die er anhand seiner Fahreraufgaben durchführt, zu sammeln, um sie anschließend z. T. mit Eindrücken und Erfahrungen anderer Fahrer zu vergleichen. Die oft gefährlichen Fahrmanöver (z. B. von VDA standardisierter Ausweichtest, auch „Elch-Test“ genannt), die von mehreren Fahrern durchgeführt werden, geben über die Eigenschaften und

die Dynamik des zu untersuchenden Fahrzeugs Aufschluss:

- Stabilität,
- Lenk- und Bremsbarkeit sowie
- das Verhalten in Grenzsituationen sollen beschrieben und mit diesen Versuchen verbessert werden.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind:

- das Gesamtsystem („Fahrer–Fahrzeug–Umwelt“) kann geprüft werden und
- viele Situationen des täglichen Verkehrsalltages können realistisch simuliert werden.

Die Nachteile dieses Verfahrens sind:

- die große Streuung der Ergebnisse, da die Fahrereigenschaften, Wind- und Fahrbahnverhältnisse sowie die Anfangsbedingungen eines jeden Manövers unterschiedlich sind.
- Subjektive Wahrnehmungen und Erfahrungen können individuell interpretiert werden.
- Das Leistungsvermögen eines Fahrers kann über Erfolg oder Misserfolg einer Versuchsserie entscheiden.

Tabelle 1 (nächste Seite) enthält die wichtigsten Fahrmanöver zur Beurteilung des Fahrverhaltens im geschlossenen Regelkreis.

Eine objektive Festlegung der fahrdynamischen Eigenschaften im geschlossenen Regelkreis („Closed Loop“-Betrieb, d. h. mit dem Fahrer, Bild 2) ist bis heute in der Praxis noch nicht vollständig gelungen, da das Regelverhalten des Menschen subjektiv ausgeprägt ist.

Trotzdem gibt es neben objektiven Fahrtests verschiedene Testfahrten, die geübten Fahrern Aufschluss über die Fahrstabilität eines Fahrzeugs geben können (z. B. ein Slalomkurs).

1 Beurteilung des Fahrverhaltens					
Fahrzeugverhalten	Fahrmanöver (Fahrervorgaben und vorgegebene Fahrsituation)	Fahrer greift ständig ein	Lenkrad fest	Lenkrad frei	Lenkwinkelvorgabe
Geradeausverhalten	Geradeauslauf-Spurlhaltung	•	•	•	
	Lenkungsansprechen/Anlenken	•			
	Anreißen – Lenkung loslassen			•	
	Lastwechselreaktion	•	•	•	
	Aquaplaning	•	•	•	
	Geradeausbremsen	•	•	•	
	Seitenwindempfindlichkeit	•	•	•	
	Auftrieb bei hohen Geschwindigkeiten			•	
	Reifendefekt	•	•	•	
Übergangs-/Übertragungsverhalten	Lenkwinkelsprung				•
	Einfaches Lenken und Gegenlenken				•
	Mehrfaches Lenken und Gegenlenken				•
	Einfacher Lenkimpuls				•
	„Zufällige“ Lenkwinkleingabe	•			•
	Einfahrt in einen Kreis	•			
	Ausfahrt aus einem Kreis	•			
	Rückstellverhalten			•	
	Einfacher Fahrbahnwechsel	•			
Doppelter Fahrbahnwechsel	•				
Kurvenverhalten	Stationäre Kreisfahrt		•		
	Instationäre Kreisfahrt	•	•		
	Lastwechselreaktion bei Kreisfahrt	•	•		
	„Reinfallen“ der Lenkung			•	
	Bremsen in der Kurve	•	•		
	Aquaplaning in der Kurve	•	•		
Wechselkurvenverhalten	Wedeln, Slalom um Pylonen	•			
	„Handling-Pacours“ (Teststrecke mit starken Kurven)	•			
	Pendeln – Anreißen/Beschleunigen			•	
Gesamtverhalten	Kippsicherheit	•			•
	Reaktions- und Ausweichtests	•			

Tabelle 1

Fahrmanöver

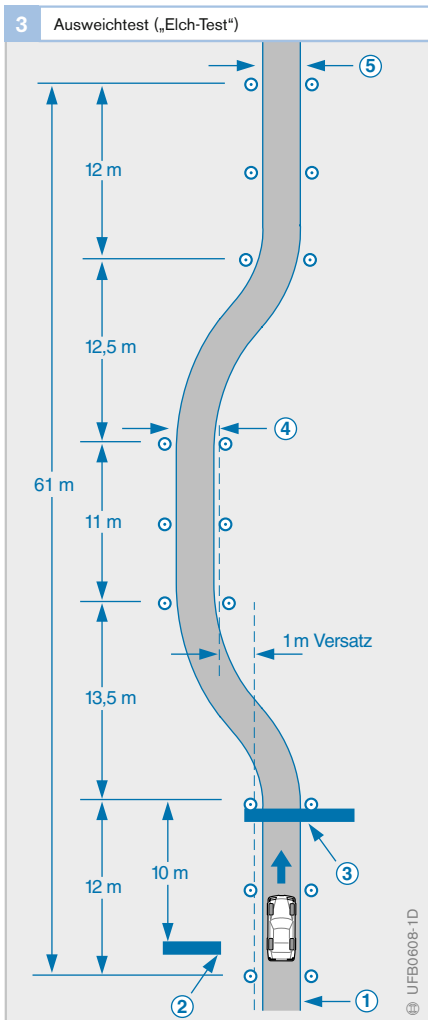
Stationäre Kreisfahrt

Bei der stationären Kreisfahrt wird die maximal erzielbare Querbeschleunigung ermittelt. Außerdem lässt sich erkennen, wie sich die einzelnen fahrdynamischen Größen in Abhängigkeit von der Querbeschleunigung bis zum Erreichen des Maximalwertes ändern. Daraus lässt sich das Eigenlenkverhalten des Fahrzeugs beurteilen (Begriffe: Unter-, Über- und Neutralsteuern).

Übergangsverhalten

Neben dem stationären Eigenlenkverhalten (bei stationärer Kreisfahrt) ist auch das Übergangsverhalten eines Fahrzeugs von Bedeutung. Dazu zählen z. B. schnelle Ausweichmanöver nach anfänglicher Geradeausfahrt.

Der „Elch-Test“ simuliert eine extreme Fahrsituation, wie sie beim abrupten Umfahren eines Hindernisses entsteht. Auf einer 50 m langen Teststrecke muss ein Fahrzeug bei einer bestimmten Geschwindigkeit ein Hindernis sicher umfahren, das vier Meter in die Fahrbahn hineinragt und eine Länge von 10 m hat (Bild 3).



Bremsen in der Kurve – Lastwechselreaktionen

Eines der im täglichen Fahrbetrieb kritischsten und deshalb für die Fahrzeugkonzeption wichtigsten Fahrmanöver ist das Bremsen in der Kurve.

Ob der Fahrer eines Fahrzeugs in einer Kurve plötzlich das Gaspedal zurücknimmt oder einfach bremst, ist physikalisch betrachtet nicht von Bedeutung; beides erzielt einen ähnlichen Effekt. Wegen der resultierenden Achslastverlagerung von hinten nach vorne wird der Schräglaufwinkel an der Hinterachse größer und an der Vorderachse kleiner, da sich die erforderliche Seitenkraft durch den vorgegebenen Kurvenradius und die Fahrzeuggeschwindigkeit nicht ändert: das Fahrverhalten verschiebt sich in Richtung „übersteuern“.

Bei heckgetriebenen Fahrzeugen hat der Reifenschlupf einen geringeren Einfluss auf die Änderung des Eigenlenkverhaltens als bei frontgetriebenen Fahrzeugen. Daraus resultiert in diesem Fall ein stabileres Fahrverhalten bei heckgetriebenen Fahrzeugen.

Die Reaktionen des Fahrzeugs bei diesen Manövern müssen einen bestmöglichen Kompromiss zwischen Lenkfähigkeit, Fahrstabilität und Abbremsung darstellen.

Bild 3
 Testbeginn:
 Phase 1:
 Höchster Gang
 (Schaltgetriebe)
 Schaltstufe D
 bei 2000 min⁻¹
 (Automatikgetriebe)

Phase 2:
 Gaswegnahme

Phase 3:
 Geschwindigkeitsmes-
 sung mit Lichtschranke

Phase 4: Lenkeinschlag
 nach rechts

Phase 5:
 Testende