

Konrad Reif (Hrsg.)

# Sensoren im Kraftfahrzeug

Bosch Fachinformation Automobil



  
VIEWEG+  
TEUBNER



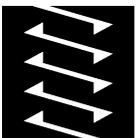
**BOSCH**  
Technik fürs Leben

Konrad Reif (Hrsg.)

# Sensoren im Kraftfahrzeug

Mit 221 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:  
Sensoren im Kraftfahrzeug  
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](http://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 978-3-8348-1315-2

## 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 „Sensoren im Kraftfahrzeug“ behandelt Grundlagen zu Sensoren im Kraftfahrzeug, Sensormessprinzipien und Sensorausführungen. Er entspricht dem früheren gelben Heft „Sensoren im Kraftfahrzeug“ in der bisherigen Form. Eine inhaltliche Neubearbeitung wird folgen. Neu erstellt wurde das Stichwortverzeichnis, um die Inhalte dieses Buchs rasch zu erschließen.

# Inhaltsverzeichnis

## Sensoren im Kraftfahrzeug

Grundlagen und Überblick .....	10
Einsatz im Kraftfahrzeug .....	13
Angaben zum Sensormarkt .....	16
Besonderheiten von Kfz-Sensoren .....	17
Sensorklassifikation .....	18
Fehlerarten und Toleranzanforderungen .....	20
Zuverlässigkeit .....	21
Hauptanforderungen, Trends .....	24
Übersicht der physikalischen Effekte für Sensoren .....	31
Übersicht und Auswahl der Sensortechnologien .....	33

## Sensormessprinzipien

Positionssensoren .....	34
Drehzahl- und Geschwindigkeitssensoren .....	63
Beschleunigungssensoren .....	75
Drucksensoren .....	80
Kraft- und Drehmomentsensoren .....	83
Durchflussmesser .....	92
Gassensoren und Konzentrationssonden .....	98
Temperatursensoren .....	102
Optoelektronische Sensoren .....	112

## Sensorausführungen

Motordrehzahlsensoren .....	120
Hall-Phasensensoren .....	122
Drehzahlsensoren für Getriebesteuerung .....	123
Raddrehzahlsensoren .....	126
Mikromechanische Drehratesensoren .....	130
Piezoelektrischer Stimmgabel-Drehratesensor .....	133
Mikromechanische Drucksensoren .....	134
Hochdrucksensoren .....	136
Temperatursensoren .....	137
Fahrpedalsensoren .....	138
Lenkwinkelsensoren .....	140
Positionssensoren für Getriebesteuerung .....	142
Achssensoren .....	145
Heißfilm-Luftmassenmesser .....	146
Piezoelektrische Klopfensensoren .....	149
OMM-Beschleunigungssensoren .....	150
Mikromechanische Bulk-Silizium-Beschleunigungssensoren .....	152
Piezoelektrische Beschleunigungssensoren .....	153
Kraftsensor iBolt™ .....	154
Drehmomentsensor .....	156
Ultraschallsensor .....	157
Regen-/Lichtsensor .....	158
Schmutzsensoren .....	159
Zweipunkt-Lambda-Sonden .....	160

Planare Breitband-Lambda-Sonde LSU4 .....	164
Climate Control Sensor .....	166
Abkürzungen .....	167
Sachwortverzeichnis .....	169

# Autorenverzeichnis

## Sensoren im Kraftfahrzeug

### Autoren und Mitwirkende

Dr.-Ing. Erich Zabler,  
Dr. rer. nat. Stefan Fingbeiner,  
Dr. rer. nat. Wolfgang Welsch,  
Dr. rer. nat. Hartmut Kittel,  
Dr. rer. nat. Christian Bauer,  
Dipl.-Ing. Günter Noetzel,  
Dr.-Ing. Harald Emmerich,  
Dipl.-Ing. (FH) Gerald Hopf,  
Dr.-Ing. Uwe Konzelmann,  
Dr. rer. nat. Thomas Wahl,  
Dr.-Ing. Reinhard Neul,  
Dr.-Ing. Wolfgang-Michael Müller,  
Dr.-Ing. Claus Bischoff,  
Dr. Christian Pfahler,

Dipl.-Ing. Peter Weiberle,  
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Papert,  
Dipl.-Ing. Christian Gerhardt,  
Dipl.-Ing. Klaus Miekley,  
Dipl.-Ing. Roger Frehoff,  
Dipl.-Ing. Martin Mast,  
Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Bauer,  
Dr. Michael Harder,  
Dr.-Ing. Klaus Kasten,  
Dipl.-Ing. Peter Brenner (ZF Lenksysteme  
GmbH, Schwäbisch Gmünd),  
Dipl.-Ing. Frank Wolf,  
Dr.-Ing. Johann Riegel,  
Dr. Michael Arndt

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

# Sensoren im Kraftfahrzeug

Der Begriff Sensor führte sich ein, als in den zurückliegenden 20...40 Jahren Messfühler auch in Konsumanwendungen (z. B. Kraftfahrzeug und Haugerätetechnik) einzogen. Sensoren - begrifflich identisch mit (Mess-)Fühlern und (Messwert-)Aufnehmern - setzen eine physikalische oder chemische (meist nichtelektrische) Größe  $\Phi$  in eine elektrische Größe  $E$  um; dies geschieht oft auch über weitere, nichtelektrische Zwischenstufen.

In Tabelle 1 sind die verschiedenen Sensoreinsatzgebiete zusammengestellt und verglichen. Bild 1 gibt einen Eindruck von der Fülle bereits bestehender elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen, deren Zahl sich in Zukunft zweifellos noch wesentlich erhöhen wird.

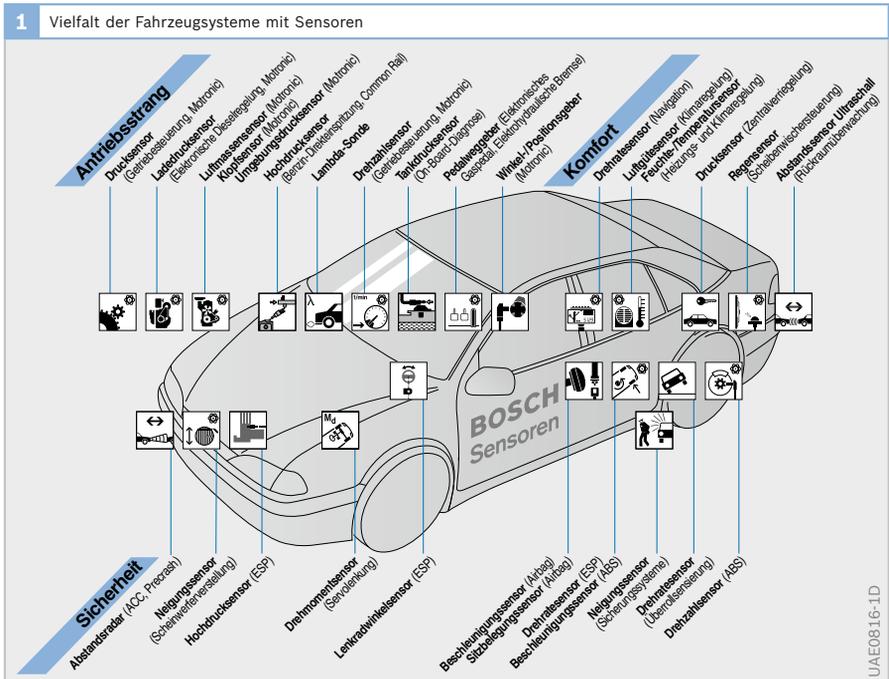
## Grundlagen und Überblick

### Begriff/Definition Sensor

Als elektrische Größen gelten hier nicht nur Strom- und Spannung, sondern auch Strom-/Spannungsamplituden, die Frequenz, Periode, Phase oder auch Pulsdauer einer elektrischen Schwingung sowie die elektrischen Kenngrößen Widerstand, Kapazität und Induktivität. Der Sensor lässt sich durch folgende Gleichungen charakterisieren:

- (1)  $E = f(\Phi, Y_1, Y_2, \dots)$   
Sensorausgangssignal
- (2)  $\Phi = g(E, Y_1, Y_2, \dots)$   
gesuchte Messgröße

Sind die Funktionen  $f$  oder  $g$  bekannt, so stellen sie ein Sensormodell dar, mit Hilfe dessen sich die gesuchte Messgröße aus dem Ausgangssignal  $E$  und den Einflussgrößen  $Y_i$  praktisch fehlerfrei auch ma-



1 Sensoreinsatzgebiete				
Typische Merkmale	Primärstandards	Präzisionsmesstechnik	Industriemesstechnik	Konsumtechnik
Genauigkeit	$10^{-11} \dots 10^{-7}$	$2 \dots 5 \cdot 10^{-4}$	$2 \dots 5 \cdot 10^{-3}$	$2 \dots 5 \cdot 10^{-2}$
Kosten	100 TEUR... 1 Mio. EUR	einige TEUR	einige 100 EUR	1...10 EUR
Stück/a	einzelne	ca. 10	100...1 k	10 k...10 Mio.
Einsatz	- Forschung, - Prüfung Sekundärnormale	- Eichung	- Prozessinstrumentierung, - Fertigungsmesstechnik	- Kfz-Elektronik, - Haustechnik (Domotik)

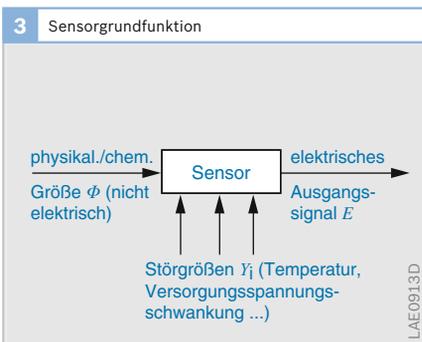
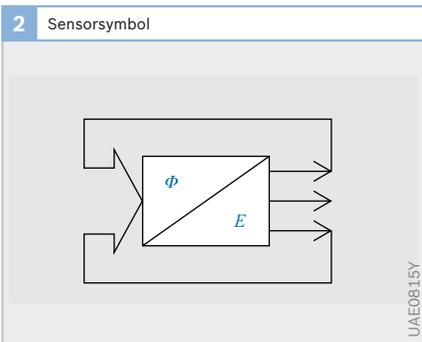
Tabelle 1

thematisch berechnen lässt (intelligente Sensoren, engl.: intelligent oder smart sensors).

**Abgleich**

Das Sensormodell enthält im realen Fall immer einige freie Parameter, mit denen in einer Art Abgleichvorgang (Bild 4a) das Modell an die tatsächlichen Eigenschaften des individuellen Sensorexemplars angepasst werden kann. Bei der inzwischen

vorherrschenden digitalen Aufbereitung der Sensorsignale werden diese Modellparameter meist in einem programmierbaren, nichtflüchtigen Speicherteil (PROM) abgelegt. Im Gegensatz zur herkömmlichen analogen Kompensation von Einflussgrößen können hier nicht nur etwa linear wirkende Einflüsse, sondern auch stark nichtlineare Verläufe gut korrigiert werden. Sehr vorteilhaft ist auch, dass bei dieser Art der Kalibrierung, die über eine rein elektrische Verbindung erfolgt, jeder Sensor während der Kalibrierphase leicht unter Betriebsbedingungen gehalten werden kann.



▶ Begriff Smartsensor

In etwas allgemeinerer Form lassen sich „Intelligente Sensoren“ (Smartsensor) folgendermaßen definieren: Intelligente, manchmal auch integrierte Sensoren oder Sensoren mit (exemplar-)spezifischer Elektronik vor Ort genannte Sensoren, erlauben die in einem Sensor steckende (statische und dynamische) Genauigkeit mit den Mitteln der (meist auch digitalen) Mikroelektronik bis zu einem weit höheren Maße auszunutzen als konventionelle Sensoren. Hierbei kann die Sensorinformation, insbesondere auch die komplexe Information von Multisensor-Strukturen, durch Weiterverarbeitung vor Ort verdichtet, d. h. auf ein höheres Niveau gebracht werden (als es der einfache Sensor vermag), ohne dazu eine Vielzahl von äußeren Anschlüssen zu benötigen.

Es gibt keine klare Festlegung, ob Sensoren einen Teil der Signalverarbeitung bereits beinhalten können oder nicht; es wird jedoch empfohlen, nicht beispielsweise zwischen Elementarsensor, Sensorzelle o. ä. und integriertem Sensor zu unterscheiden.

**Ableichvorgang**

Die Programmierung bzw. Kalibrierung eines Smartsensors erfolgt – entsprechend dem Abgleich herkömmlicher analoger Sensoren – meist mit Hilfe eines externen Rechners (Host) in drei Schritten (Bild 4):

**Istwertaufnahme**

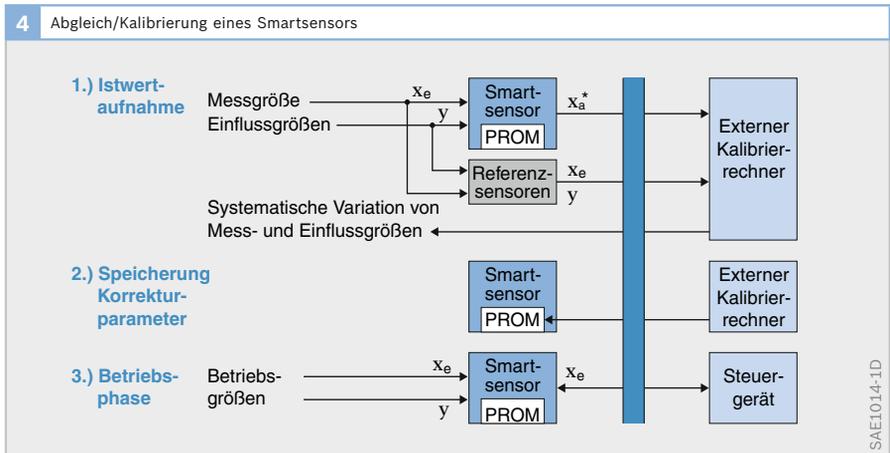
Der Hostrechner variiert sowohl die Messgröße  $x_e$  als auch die Einflussgröße(n)  $y$  systematisch und stellt dabei eine bestimmte Anzahl relevanter und repräsentativer Betriebspunkte ein. Dabei gibt der Smartsensor die noch unkorrigierten „Rohsignale“  $x_a^*$  an ihn aus. Über wesentlich genauere Referenzsensoren erhält der Host jedoch auch gleichzeitig die „wahren“ Größen  $x_e$  und  $y$ . Aus dem Vergleich beider Größen errechnet der Host die notwendigen Korrekturgrößen und interpoliert diese auf den gesamten Messbereich.

**Speicherung der Korrekturparameter**

Aus den zuvor gewonnenen Daten berechnet der Hostrechner die exemplarspezifischen Modellparameter z. B. für einen linearen Kennlinienverlauf und speichert diese in den PROM des Smartsensors ein. In einem Kontrolldurchlauf können diese auch zunächst in einem RAM des Hostrechners emuliert werden, bevor sie endgültig und nichtflüchtig im Smartsensor „eingebrennt“ werden. Werden Kennlinien mit Polynomen höheren Grades angenähert, können zur Vermeidung langwieriger Rechenprozesse im Smartsensor auch Kennfelder (Look-up tables) abgespeichert werden. Sehr bewährt hat sich auch die Abspeicherung eines grobmaschigen Kennfeldes in Verbindung mit einer einfachen linearen Interpolation zwischen den Stützstellen (Beispiel in Bild 5 dargestellt).

**Betriebsphase**

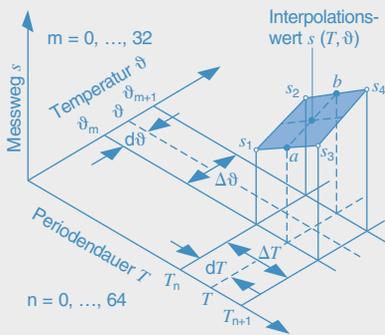
Der Smartsensor wird nun vom Hostrechner abgekoppelt und ist in der Lage, mittels der eingespeicherten Modelldaten selbst die Messgröße  $x_e$  sehr fehlerarm zu berechnen. Er kann sie an ein angeschlossenes Steuergerät z. B. in digitaler, bitserieller oder aber auch analoger Form (z. B. pulsdauermoduliert) übertragen. Mittels einer Busschnittstelle kann die Messgröße



digital auch an weitere Steuergeräte verteilt werden.

Dieser Vorgang kann - im Gegensatz zum herkömmlichen Laserabgleich - prinzipiell auch wiederholt werden, wenn ein löschrbares PROM verwendet wird. Dies ist gerade in der Entwicklungsphase von Sensoren ein Vorteil.

#### 5 Messwertinterpolation über Stützstellenkennfeld



UAE1044D

Beispiel: Zweidimensionales Stützstellenkennfeld  $s(T_n, \Theta_m)$  eines Smartsensors zur Messung eines Weges  $s$ :

Zur hochgenauen Auswertung des als variable Induktivität wirkenden Sensors wird seine natürliche Kennlinie sowie deren Temperaturgang jeweils mit Polynomen 5. Grades angenähert. Er gibt als frequenzbestimmendes Glied einer sehr einfachen Oszillatorschaltung als unkorrigiertes Ausgangssignal die Periodendauer  $T$  ab. Als Sensormodell für den Messweg  $s$  wird statt der insgesamt 36 Polynomkoeffizienten und einer langwierigen Polynomauswertung ein insgesamt nur  $32 \times 64 = 2048$  exemplarspezifische Werte  $s_{n,m}$  umfassendes, grobes Kennfeld (im PROM) und ein einfacher Interpolationsalgorithmus (im ROM) abgelegt. Tritt ein Signal  $T$  zwischen diesen Stützstellen  $T_n$  und  $T_{n+1}$  sowie eine Temperatur  $\Theta$  zwischen den Stützstellen  $\Theta_m$  und  $\Theta_{m+1}$  auf, so wird gemäß der Abbildung zwischen den „fehlerfrei“ abgespeicherten Eckwerten  $s_1, \dots, s_4$  zweidimensional interpoliert und so der gesuchte Messwert  $s(T, \Theta)$  als Interpolationsergebnis ermittelt.

## Einsatz im Kraftfahrzeug

Mit steigenden Anforderungen an alle Fahrzeugfunktionen wurden in den letzten 40 Jahren sukzessive die zunächst mechanisch realisierten Steuer- und Regelfunktionen durch elektronische Einheiten (ECU, electronically controlled unit) ersetzt. Daraus entstand zwangsläufig ein hoher Bedarf an Sensoren und Aktoren, mit denen diese elektronischen Steuereinheiten einerseits die relevanten Fahrzeugzustände erfassen und andererseits auch beeinflussen konnten. Die Kfz-Industrie wurde in diesen Jahren zu einem bis dahin beispiellosen Motor der Entwicklung von in großer Stückzahl herstellbaren Sensoren.

Hatten diese anfangs noch eine meist elektromechanische oder wie auch immer geartete makromechanische Form, so ging der Trend ausgangs der 1980er-Jahre eindeutig hin zu miniaturisierten, mit den Methoden der Halbleiterherstellung (Batch

#### 6 Meilensteine der Sensorentwicklung für das Kfz

1950	Lambda-Sonde
1960	Elektromechanischer Drucksensor Piezoelektrischer Klopfsensor
1970	Erster integrierter Hall-Sensor Dehnmessstreifen-Beschleunigungssensor für Airbag Erster Drucksensor auf Silizium-Basis
1980	Hitzdraht-Luftmassenmesser Dickfilm-Luftmassenmesser Integrierter Drucksensor
1990	Mikromechanischer Beschleunigungssensor für Airbag Piezoelektrischer Drehratesensor für ESP Mikromechanischer Luftmassenmesser Mikromechanischer Drehratesensor
2000	Drehratesensor für Überrollensierung

UAE1045D

Processing) in hohem Nutzen produzierten Sensoren. Vorübergehend spielten auch aus der Hybridtechnik hervorgegangene Sensoren in Dickschichttechnik eine nicht unwesentliche Rolle. Diese wird auch heute noch vereinzelt z. B. in den plättchenförmigen Sauerstoffsonden und Hochtemperatursensoren für den Abgasstrakt verwendet.

Ließen sich Temperatur- und Magnetfeldsensoren zunächst noch als schaltungsähnliche Strukturen realisieren und im Batch fertigen, so verstärkte sich dieser Trend, als es gelang, Silizium in mannigfaltiger Weise auch mikromechanisch in zwei bis drei Dimensionen zu strukturieren und mit sehr effizienten Methoden auch in mehreren Lagen funktionell sehr stabil zu verbinden

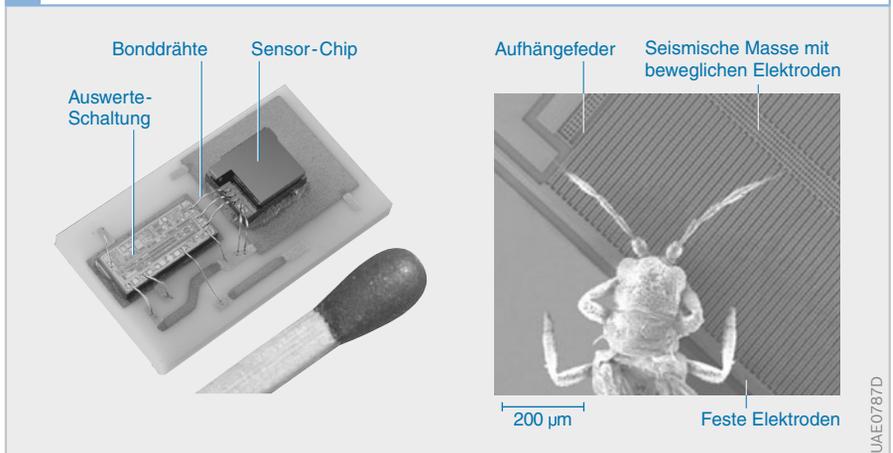
Beruheten die Technologien der elektronischen Halbleiterschaltungen praktisch ausschließlich auf Silizium als Grundwerkstoff, spielen bei den Sensoren durchaus auch noch andere Stoffe und Technologien eine nicht unwesentliche Rolle. So lässt sich z. B. Quarz mittels anisotroper Ätztechnik ebenfalls mikromechanisch formen, besitzt jedoch im Gegensatz zu Silizium auch sehr vorteilhafte piezo-

elektrische Eigenschaften. III-V-Halbleiter wie Galliumarsenid (GaAs) besitzen einen wesentlich größeren Betriebstemperaturbereich als Silizium, was gerade im Kfz an manchen Stellen sehr vorteilhaft sein kann. Dünne metallische Schichten eignen sich sehr zur Herstellung von präzisen Dehnwiderständen, genauen Temperatursensoren und magnetfeldabhängigen Widerständen.

Mit Silizium ist es möglich, in monolithischer Weise zum Sensor auch noch Elektronik zu integrieren. Diese Technik hat - abgesehen von wenigen Ausnahmen (z. B. Hall-IC) - wegen der meist sehr unterschiedlichen Zahl und Art von Prozessschritten sowie wegen der damit verbundenen Inflexibilität sehr an Bedeutung verloren. Hybride Integrationstechniken auf engstem Raum führen in aller Regel zu wesentlich kostengünstigeren, funktionell aber gleichwertigen Lösungen (Bilder 7).

War die Entwicklung von Sensoren in der Anfangszeit fast ausschließlich auf fahrzeuginterne Systeme des Antriebsstrangs, des Fahrwerks sowie der Karosserie und Fahrsicherheit konzentriert, so ist die Sensierungsrichtung von neueren Entwicklungen zunehmend nach außen auf die nähere

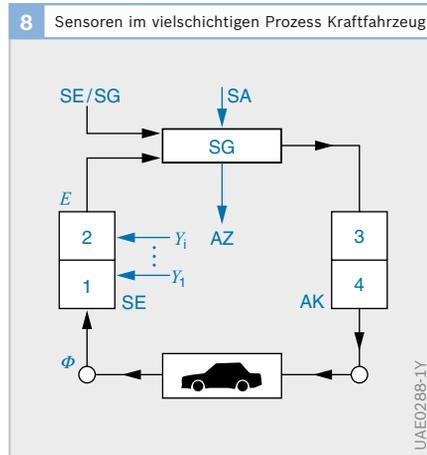
7 Hybride Integration von Sensor und Elektronik: Oberflächenmikromechanischer Beschleunigungssensor auf Mikrohybridschaltkreis



und weitere Umgebung des Fahrzeugs gerichtet:

- ▶ Ultraschallsensoren erfassen Hindernisse beim Einparken und werden - evtl. in Verbindung mit anderen Sensoren - in absehbarer Zukunft auch automatisches Einparken ermöglichen.
- ▶ Nahbereichsradar erfasst rings um das Fahrzeug Objekte, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Kollision verursachen könnten, um Zeit zu gewinnen und Sicherheitssysteme auch schon vor dem Aufprall zu schärfen (Precrash-Sensoren).
- ▶ Bildsensoren können nicht nur Verkehrsschilder erfassen und in das Fahrerdisplay übertragen, sondern auch die Fahrbahnkontur erkennen, den Fahrer vor gefährlichen Abweichung warnen und bei Bedarf langfristig auch automatisches Fahren ermöglichen. In Verbindung mit Infrarotstrahlern und einem Bildschirm im Sichtfeld des Fahrers lassen IR-empfindliche Bildsensoren auch nachts, selbst bei nebligen Verhältnissen, eine weitreichende Fahrbahnbeobachtung zu (Night Vision).
- ▶ Weitbereichs-Radarsensoren beobachten auch unter schlechten Sichtbedingungen die Fahrbahn auf 150 m vor dem Fahrzeug, um die Fahrgeschwindigkeit vorausfahrenden Fahrzeugen anzupassen und längerfristig auch automatisches Fahren zu unterstützen.

Sensoren und Aktoren bilden als Peripherie die Schnittstellen zwischen dem Fahrzeug mit seinen komplexen Antriebs-, Brems-, Fahrwerk- und Karosseriefunktionen sowie auch Leit- und Navigationsfunktionen und dem meist digitalen elektronischen Steuergerät als Verarbeitungseinheit (Bild 8). In der Regel bringt eine Anpassschaltung die Sensorsignale in die für das Steuergerät erforderlich, standardisierte Form (Messkette, Messwerterfassungssystem).



**Bild 8**

- 1 Messwert-aufnehmer
  - 2 Anpassschaltung
  - 3 Treiberschaltung
  - 4 Stellglieder
- AK Aktor  
AZ Anzeige  
SA Bedienschalter  
SE Sensoren  
SG Steuergerät  
 $\Phi$  physikalische Größe  
 $E$  elektrische Größe  
 $Y_1$  Störgrößen

Diese auf spezielle Sensoren maßgeschneiderten, kundenspezifischen Anpassschaltungen stehen in integrierter Form und in großer Zahl zur Verfügung. Sie stellen eine ganz wesentliche und sehr wertvolle Ergänzung der hier dargestellten Sensoren dar, ohne die deren Einsatz nicht möglich wäre und deren Messqualität genau genommen nur mit diesen zusammen definiert ist.

In dem dargestellten, vielschichtigen Prozess „Kraftfahrzeug“ können auch Sensorinformationen anderer Verarbeitungseinheiten (Steuergeräte) ebenso wie der Fahrer über einfache Bedienschalter Einfluss auf den Prozess nehmen. Anzeigeneinheiten informieren den Fahrer über den Stand und Verlauf des Gesamtprozesses.

## Angaben zum Sensormarkt

Der Wertschöpfungsanteil der Elektrik und Elektronik in Fahrzeugen liegt heute bei ca. 26 %. Inzwischen wird fast jeder zweite Sensor in ein Fahrzeug eingebaut – bei jährlichen Steigerungsraten, die immer noch teilweise im zweistelligen Bereich liegen. Seit ausgangs der 1990er-Jahre nehmen die mikromechanischen und mikrosystemtechnischen Sensoren einen stark zunehmenden Anteil ein, der 2005 schon bei etwa einem Drittel liegt.

Im Gegensatz zum allgemeinen Sensormarkt hat Europa auf dem Sektor der Kfz-Sensoren mit einem Marktanteil von derzeit 41 % und Bosch als Weltmarktführer Amerika mit einem Anteil von nur 34 % bereits deutlich überflügelt. Insgesamt soll der Sensormarkt für automobiler Anwendungen von 8,88 Milliarden US-\$ in 2005 auf etwa 11,35 Milliarden US-\$ in 2010, also um insgesamt 28 % steigen (Bild 9).

Es gibt drei typische Gruppen von Firmen, die für das Automobil Sensoren anbieten:

- Die Halbleiterindustrie: Hier sind die Sensoren aus der Halbleiterfertigung durch Anwendung einiger Sonderprozessschritte hervorgegangen. Sie bedienen den gesamten Sensormarkt inklusiv der Automobilindustrie und haben

ein gut funktionierendes Vertriebssystem. Mikromechanische Prozesse zur Herstellung von Sensoren werden hier zusammen mit den Halbleiterprozessen stetig weiterentwickelt. Diese Firmen haben jedoch kein spezifisches Know-how auf dem Gebiet der fahzeuggerechten Spezifikation, Prüfung und Verpackung.

- Spezielle, meist mittelgroße Sensorhersteller, die keine Halbleiterschaltungen herstellen, sondern sich meist einige wenige Sensortypen als Produkt ausgewählt haben, um den gesamten Sensormarkt oder sogar Vorzugssparten wie den Kfz-Markt zu beliefern.
- Große Automobilzulieferer und Systemhersteller (z. B. Bosch) oder große Tochterfirmen von Automobilherstellern, die sich auf den Bedarf und Support ihrer Mutterkonzerne spezialisiert haben. Auch hier hat man seit Einführung der Elektronik in das Kfz Erfahrung mit der Herstellung von Halbleiter- und Hybrid-schaltkreisen erworben, in enger Zusammenarbeit mit Halbleiterherstellern (Prozessentwicklung, Lizenznahme). Aufgrund der Systemkenntnisse hat man sich hier ein umfangreiches Know-how auf dem Gebiet der Kfz-gerechten Spezifikation, Prüfungs- und Verpackungstechnik erarbeitet.

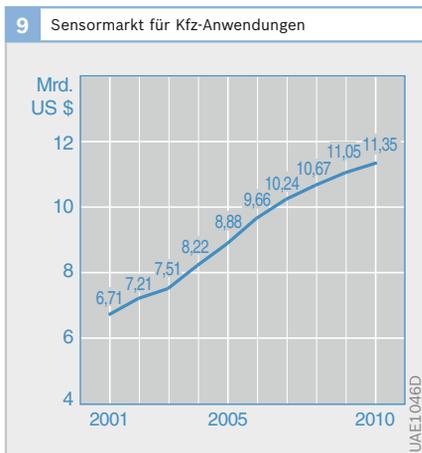


Bild 9

Quelle: Bosch

## Besonderheiten von Kfz-Sensoren

Während allgemeine Sensoren für einen möglichst breiten Anwenderkreis und in gestaffelten Messbereichen entwickelt werden, ohne dass der Hersteller oft die Anwendung kennt, sind Kfz-Sensoren in aller Regel für eine spezielle Anwendung spezifiziert und optimiert. Sie sind Teil eines Systems und oft im Handel nicht frei verfügbar. Ihre Entwicklung dauert meist nicht nur wegen der erhöhten Ansprüche länger als bei handelsüblichen Sensoren. Sie ist vielmehr an die Entwicklung des Systems gekoppelt und dauert in aller Regel ebenso lange wie diese, da sich bis zum Schluss der Systementwicklung noch die Sensorspezifikation ändern kann.

Der hohe Innovationsschub der Kfz-Branche auf der Systemseite zwingt sehr oft auch zur Entwicklung neuer Sensortechnologien, bzw. zu wesentlichen Erweiterungen von deren Spezifikation. Bild 10 zeigt die typischen Entwicklungsphasen, die Kfz-Sensoren beim Zulieferer durchlaufen.

Der Entwicklungsprozess beginnt naturgemäß bei der Systemidee des Fahrzeugherstellers oder des Zulieferers. Hier gilt es zunächst – noch unabhängig von der Realisierbarkeit – eine Auswahl der erforderlichen Messgrößen zu treffen. In diesem Stadium werden die Sensoren auch im Rahmen der bei den Systemtechnikern üblichen Systemsimulation in ihrer Funktion simuliert und eine erste Spezifikation erstellt. Kommt man mit einer bereits eingeführten Sensortechnologie aus, werden die Sensorwünsche unmittelbar an die Produktentwicklung bzw. den produzierenden Bereich weitergeben. Ist keine Technologie unmittelbar verfügbar, werden nach und nach immer mehr auch Sensor- und Technologieexperten der Vorausentwicklung und Forschung eingeschaltet. Hier können mit bekannten Technologien und oft auch mit Hilfe externer

Partner erste Labormuster erstellt werden, die der Produktentwicklung für erste Tests zur Verfügung gestellt werden.

Sind keine Sensorprinzipien für die gestellten Anforderungen bekannt, wird notfalls nach neuen Verfahren und Methoden zur Messung der gewünschten Größen geforscht. In dieser Phase ist die Grundlagenforschung eingeschaltet, die schließlich auch neuartige erste Technologiemuster liefert. Dieser Vorgang kann sich rekursiv wiederholen, bis eine aussichtsreiche Lösung gefunden ist, die ihren Weg in die Produktentwicklung nimmt. Nicht selten muss diese Entwicklungsschleife auch nochmals in ihrer ganzen Länge wiederholt oder eine neue Auswahl der Messgrößen getroffen werden.

