

# Die Schnüffler im Rohr - HighTech-Sensortechnik im Fahrzeugbau

***Ohne Sensoren ist moderne Fahrzeugelektronik undenkbar. Die zum Einsatz kommende Sensorik besteht aber schon längst nicht mehr aus einfachen Kontakten, sondern ist in der Technologie und Komplexität ihres Aufbaus der folgenden Steuerelektronik ebenbürtig, wenn sie diese durch integrierte Auswerteelektronik nicht gar schon ersetzt. Wie moderne Sensoren aufgebaut sind, wie sie funktionieren und wo sie eingesetzt werden, zeigt unser Beitrag.***

Elektronische Systeme in Kraftfahrzeugen verfügen zur Bewältigung der unterschiedlichsten meßtechnischen Aufgaben über eine Vielzahl von Sensoren. Diese erfassen Größen wie Winkel, Drehzahl, Beschleunigung, Kraft, Druck, Temperatur, Gasdurchfluß oder Körperschall.

Sie sind im Kraftfahrzeug extremen mechanischen, klimatischen, chemischen und elektromagnetischen Einflüssen ausgesetzt und müssen daher auch besonders robust ausgeführt sein.

Diese oft gegensätzlichen Bedingungen in einem komplexen Bauelement zu vereinen, hat sich die Elektronikindustrie zur Aufgabe gestellt mit immer besseren und

preisgünstigeren Ergebnissen, so daß die elektronischen Helfer heute in allen Fahrzeugklassen zu finden sind.

Nach wie vor finden wir die meisten und auch komplexesten Sensoren innerhalb des Motormanagements, wo sie für die Erfassung von Drücken, Gasmengen, Beschleunigungen, Gaszusammensetzungen verantwortlich sind (Bild 1). Und deren Bedeutung wächst mit der zunehmenden Diskussion um geringeren Kraftstoffverbrauch und sinkende Abgasemission.

Naturgemäß wenden sich die Sensortechniker, in Deutschland auf dem Fahrzeugsektor vor allem bei Bosch beheimatet, diesen aktuellen Schwerpunkten zu. So

arbeiten die technologisch modernsten Sensoren, wie die Heißfilm-Luftmassensensoren von Bosch oder die neuen Zeolith-Sensoren von Mercedes Benz vorwiegend auf dem Gebiet der Abgasreinigung und der Optimierung des Motormanagements.

## **Alles auf einem Chip**

Sensoren sind von der Tradition her eigentlich rein mechanische Bauelemente, die ihre Informationen (meist sind dies Veränderungen von Spannungen) auf analogem Wege der Auswerteelektronik zu-leiten. Diese analoge Signalweiterleitung



**Bild 1: Sensoren beherrschen vor allem das moderne Motormanagement. Im Bild die verschiedensten Sensoren für Luftmassenmessung, Druckmessung, Gasanalyse und Einspritzdruck. (Foto: Bosch)**

ist speziell in einem Kraftfahrzeug extrem störanfällig, man denke da nur an Bordnetzschwankungen und Störungen durch Zündgeräte u. a.

Mit zunehmendem Integrationsgrad der Elektronik und gleichzeitiger Mehrfachausnutzung der Sensoren war es möglich und erforderlich, die Auswerteelektronik direkt in das Sensorgehäuse zu verlagern. So findet hier schon eine Umwandlung analoger in digitale Werte statt, deren Übertragung weit störanfälliger ist.

Der nächste Schritt war die Integration der Sensoren in den immer mehr angewandten Signalübertragungsbus (CAN - Controller Area Network, siehe Beitrag „Diagnosetechnik“ im „ELVjournal“ 1/96). Dazu war die Integration eines Mikrocontroller-Systems bereits im Sensor erforderlich (Bild 2).

So stellen zahlreiche Sensoren heute bereits hochkomplexe mikromechanische Systeme dar, die beliebig in eine genormte Busstruktur einbindbar sein müssen, ähnlich den Computer-Steckkarten.

Ein solches mikromechanisches Bauelement, bei dem das Druckmeßelement mit der Auswerteelektronik bereits auf einem einzigen Siliziumchip vereinigt ist, zeigt das Titelbild unseres Beitrags. Dieser Drucksensor wird zur Erfassung des Saugrohrdrucks eingesetzt, der eine wichtige Komponente zur Errechnung der einzuspritzenden Kraftstoffmenge bildet.

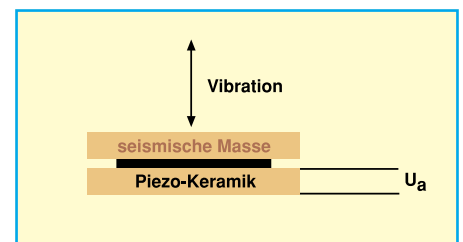
### Gequetschte Kristalle

Der Veteran unter den modernen Fahrzeugsensoren ist sicher der Klopfsensor, von Bosch schon vor ca. 20 Jahren einge-

führt. Dieser basiert auf dem bekannten Piezoeffekt, bei dem, vereinfacht gesagt, ein piezokeramisches Bauelement auf Druck durch Verformung reagiert und damit eine veränderliche Steuerspannung abgibt.

Der Klopfsensor mißt den am Motorblock auftretenden Körperschall und gibt die gemessenen Spannungswerte, die die Vibrationsfrequenz des Motorblocks repräsentieren, an die „Klopfregelung“ genannte Komponente des Motormanagements weiter. Bei bestimmten Vibrationsfrequenzen, die der erfahrene Kraftfahrer per Gehör ebenfalls als Klopfen definiert, werden Veränderungen im vorhandenen Kennlinienfeld der Motorelektronik (Veränderung des Zündzeitpunkts) vorgenommen, so daß sich der Motor wieder in einem sicheren Betriebsbereich befindet.

Dieser Sensor ist vergleichsweise einfach aufgebaut, er besteht aus einer piezokeramischen Ringelektrode, die die auf eine seismische Gegenmasse gleicher Form wirkenden Trägheitskräfte mißt (Bild 3).

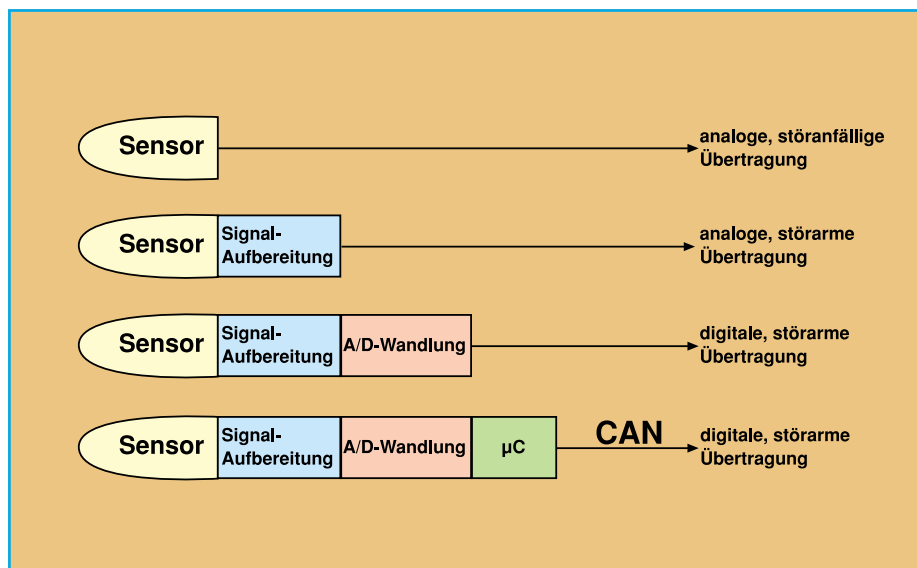


**Bild 3: Der Klopfsensor beruht auf dem piezokeramischen Effekt. (Quelle: Bosch)**

Prinzipiell ähnlich arbeiten die heute weitverbreiteten Brennraumdrucksensoren, die den Brennrauminnendruck direkt im Zylinder erfassen. Sie bestehen aus einer Druckmembran, die mit dem Zylinder bündig abschließt, einem zur thermischen Entkopplung von Brennraum im Zylinder und Piezosensor am Motorblock dienenden Druckübertragungsstößel, der wiederum den Verstellweg der Membran an das Piezoelement weitergibt. Der Brennraumdruck ist ein entscheidender Meßwert zur Einstellung der aktuellen Zündkennlinie.

### Der Gasschnüffler im Rohr

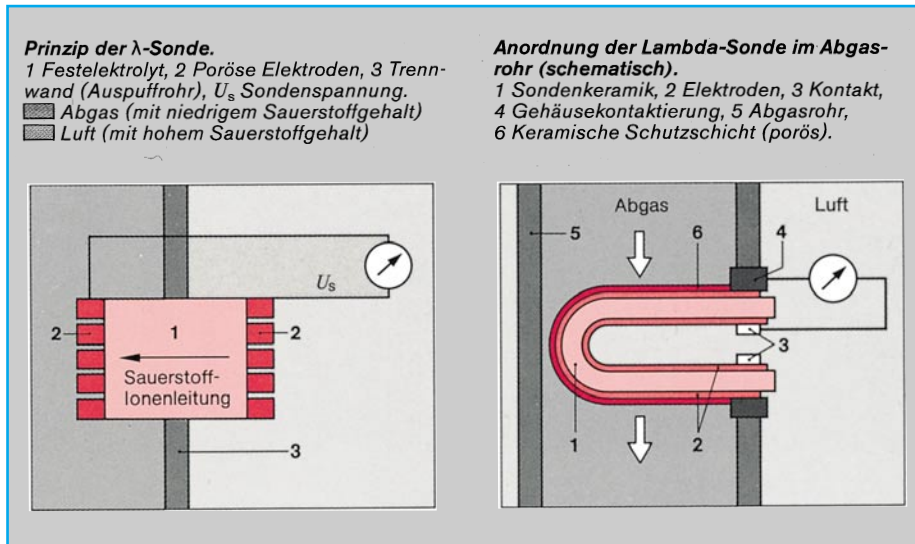
Allgemein bekannter ist heute die sogenannte Lambda-Sonde, die nichts anderes als den Sauerstoffgehalt der Abgase im Abgasstrang mißt und auf diese Weise das Verhältnis der Mischung Kraftstoff-Luft so einstellt, daß im Abgas ein Idealwert zwischen Sauerstoffgehalt des Abgases und der Umgebungsluft herrscht.



**Bild 2: Zunehmend wird die Auswerteelektronik bis zum Mikrocontroller für die Bedienung des CAN im Sensor integriert. (Quelle: Bosch)**

Der Sensor ist so aufgebaut, daß die eine Elektrodenseite in den Abgasstrom ragt und die andere Elektrodenseite mit der Außenluft in Verbindung steht. Durch die Verwendung von porösen Platinelektroden findet an der Elektrodenoberseite eine vollständige Umsetzung des Restsauerstoffs mit den im Abgas weiter vorhandenen Gasen statt.

Das Keramikmaterial der Sonde wird bei Temperaturen oberhalb etwa 300° C für Sauerstoffionen leitend. Ist der Sauerstoffanteil auf beiden Seiten der Sonden verschieden groß, so entsteht aufgrund der besonderen Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe zwischen den beiden Grenzflächen eine elektrische Spannung. Im Bereich des sog. Lambda-Wertes 1, des Idealwertes also, entsteht ein typischer Spannungssprung, der von der Motorelektronik ausgewertet wird (Bild 4).



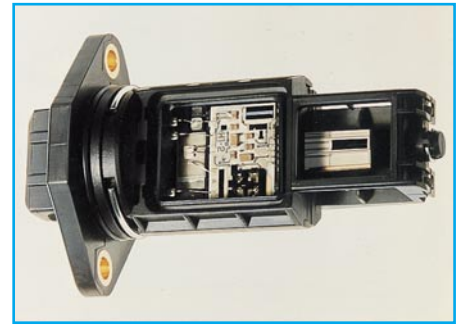
**Bild 4: Aufbau und Funktion der Lambda-Sonde. Ein katalytischer Prozeß zeigt den Sauerstoffgehalt im Abgas durch eine erzeugte Spannung an. (Quelle: Bosch)**

In neuerer Zeit werden oft zusätzlich beheizte Lambda-Sonden eingesetzt, die durch die Beheizung bereits unmittelbar nach dem Motorstart, bei dem üblicherweise noch keine Betriebstemperatur der Abgase erreicht ist, in der Kaltstart- und Warmlaufphase aktiv in die Motorregelung eingreifen können. Dazu kommen durch den dynamischeren Verlauf der Regelkennlinie weiter verringerte Abgaswerte.

Gezielt wird das typische Verhalten der geheizten Abgassonde auch bei den sog. Magermix-Konzepten einiger Fahrzeugbauer wie Toyota eingesetzt. Dabei wird der ideale Lambda-Wert von üblicherweise 1 hin zu höheren Werten verschoben, um den Motor zumindest im Teillastbereich mit einem mageren Gemisch laufen zu lassen. Resultierend daraus ergeben sich ein Kraftstoffspareffekt und geringere Abgase.

Wie Sie sehen, beruhen alle Sensoren auf der Ausnutzung chemischer, elektrochemischer und elektro-physikalischer Effekte. Die Auswertung dieser Effekte bzw. Katalysevorgänge geschieht in aller Regel über Spannungsänderungen, und erst die Intelligenz der Auswerteelektronik entscheidet über die sachgerechte Verarbeitung der vom Sensor gelieferten Daten. Zunehmend wird aber bereits direkt am Sensor intelligente Elektronik untergebracht, die vorwiegend der direkten Umsetzung in auswertbare Daten dient und Kompatibilität zum Datenbus der Fahrzeugelektronik herstellt.

Solch komplexe Sensoren haben einen beachtlichen Integrationsgrad erreicht, wie der noch relativ neue Heißfilm-Luftmassenmesser von Bosch beweist, dessen Funktionsweise wir uns nachfolgend näher ansehen wollen.



**Bild 5: Der Heißfilm-Luftmassensensor der neuen Generation. Deutlich sichtbar im oberen Teil der eigentliche Sensor und unten die zugehörige Elektronik. (Foto: Bosch)**

tiv komplizierten Aufbau den Nachteil, daß der kleine Platindraht, der im Luftstrom liegt, regelmäßig verschmutzt und so vor jedem Motorstart wieder durch erhöhten Strom „freigebrannt“ werden muß. Dies ruft einen verzögerten Einsatz der exakten Kraftstoffmengenregelung hervor und bedingt Mehrverbrauch und höhere Abgasemissionen.

Die Neuentwicklung des Heißfilmsensors bietet demgegenüber verschiedene Vorteile. Bei diesem Sensor sind die drei Einzelkomponenten Hitzdraht, Temperaturfühler und Präzisionsmeßwiderstand als Dickschichtwiderstände auf einem Keramiksubstrat integriert (Bild 5). Dieses Substrat befindet sich zudem dem Luftstrom abgewandt im Ansaugtrakt, so daß das Verschmutzungsproblem entfällt. Der Heißfilmsensor hat wesentlich geringere Wärmeverluste als das herkömmliche System und braucht darum nur noch einen kleinen Kühlkörper. Durch eine Optimierung der Gestaltung des Heißfilmwiderstands zeigt der Sensor ein verbessertes Ansprechverhalten.

Die nachfolgend im Sensor integrierten Elektronikbaugruppen sorgen für Stromversorgung, Auswertung und Signalumsetzung, so daß der Sensor problemlos in die verschiedensten Fahrzeugsysteme integrierbar ist.

**40 mm<sup>3</sup> = 500 m<sup>2</sup>**

Welche Leistungsfähigkeit in einem kleinen Sensor stecken kann, beweist der neue Zeolith-Sensor, den Mercedes-Benz einsetzen will, um die Zusammensetzung der Schadstoffe im Abgas noch genauer erfassen zu können.

Während in der herkömmlichen Lambda-Sonde die Katalysevorgänge zur Erfassung des Sauerstoffgehalts aufgrund des Aufbaus der Sensorflächen noch relativ grob erfolgt, besteht der Zeolith-Sensor aus kleinsten Silikatkristallen, die über zig Millionen winzigster Poren verfügen, die für Gasmoleküle gerade noch durchlässig

### Stabil geheizter Film - Maß der Dinge

Die wichtigste Steuergröße für die elektronische Benzineinspritzung ist die angesaugte Luftmasse. Bisher setzte man zur Messung der Luftmasse einen Hitzdraht-Luftmassensensor ein. Dabei wird der Ansaugluftstrom an einem stromdurchflossenen und dadurch erhitzten Draht vorbeigeführt. Je mehr Luft angesaugt wird, desto mehr Strom wird benötigt, um den Draht auf konstanter Temperatur zu halten, was eine Spannungsänderung innerhalb der Brückenschaltung, deren Bestandteil der Hitzdraht ist, hervorruft. Ein Temperaturfühler sorgt neben einem recht großvolumigen Kühlkörper dafür, daß das Ausgangssignal nicht von der Ansauglufttemperatur abhängt.

Diese Anordnung hat neben einem re-



**Bild 6: Mercedes-Benz setzt in der neuen E-Klasse einen Luftgütesensor ein, der die Abgase von Benzin- und Dieselmotoren exakt erfaßt. (Foto: Mercedes-Benz)**

lasind. Dadurch erweitert sich die wirksame Fläche des Sensors erheblich. Der Sensor in der Größe und Form einer herkömmlichen Rechteck-Leuchtdiode verfügt über eine aktive Reaktionsfläche von mehr als 500 Quadratmetern!

Daß hier eine Analyse bis auf das berühmte i-Tüpfelchen möglich ist, liegt auf der Hand und ist ein weiterer entscheidender Schritt zur Senkung der Emissionswerte moderner Fahrzeugmotoren.

Ganz ähnlich arbeiten übrigens auch modernste Sensoren für die Erfassung von Schadstoffkonzentrationen in der Außenluft. Diese „elektronischen Nasen“, erstmals bei Mercedes für mehrere Schadstoffarten eingesetzt, erfassen bereits geringe Konzentrationen von Kohlenmonoxid und Stickoxiden und reagieren damit unmittelbar auf die Luftbelastung vor allem durch Kraftfahrzeugmotoren. Besonders dramatisch steigen diese Abgaswerte in Tunnels und im Stadtverkehrsstau an (Bild 6).

Sobald die aktive Schicht des sog. Luftgütesensors eine der beiden Schadstoffe in der Außenluft „feststellt“, steuert sie unmittelbar die Lüftungs- oder Klimaelektronik an und sorgt so dafür, daß die Umluftklappen sofort geschlossen werden. Das geschieht wesentlich schneller, als dies der Mensch erfassen kann; zudem sind einige Schadstoffe auch noch geruchlos.

### Komfort durch Sensoren

Neben den zahlreichen Sensoren, die zur Steuerung des Motormanagements beitragen, spielen zunehmend Sensoren eine Rolle, die der Sicherheit im Verkehr und der Komfortsteigerung wie der eben beschriebene Luftgütesensor, dienen.

Dies beginnt bei einfachen Temperatursensoren für Außen- und Innentemperaturen mit entsprechender Ansteuerung z. B. von Klimaanlage, die auch heute noch im wesentlichen als NTC/PTC-Widerstände unterschiedlichster Technologie ausgeführt sind. Hinter so manch unerklärlicher Öffnung im Armaturenbereich versteckt sich

da ein Sensor, der die Klimaanlage unmittelbar steuert. Der Sensor, in modernen Fahrzeugen sind es gleich mehrere im gesamten Innenraum, steuert heute sogar schon, wie im aktuellen 7er BMW, eine intelligente Fuzzy-Logik an, die feine Temperaturunterschiede im Fahrzeug interpretieren und so etwa die richtige Schichtungsverteilung von warmer und kühler Luft im Fahrzeug ohne aufwendige manuelle Bedienung der Heizungsklappen- und -regler realisieren kann.

### Regentropfen steuern Scheibenwischer

Heute schon in der Mittelklasse verfügbar sind die rasant in Anwendung geratenden Regensensoren.

Wer kennt nicht das Problem: Es fängt an, leicht zu regnen, man schaltet den Scheibenwischer ein, nach kurzer Zeit läuft dieser trocken, auch im Intervallbetrieb - man schaltet ihn wieder aus, später wieder ein...

Diese lästige, im modernen Verkehr auch zunehmend ablenkende Tätigkeit übernimmt der Regensensor samt wieder-

um intelligenter Auswerteelektronik.

Wie erkennt der Sensor nun Wasser auf der Scheibe? Es ist, wie fast alles in der Technik, ganz einfach: Eine Lichtquelle (LED) schickt einen Lichtstrahl in genau definiertem Winkel durch das Glas der Scheibe. Das Licht wird an der Grenzschicht Scheibe-Luft reflektiert. Um diese Reflexion zur Erreichung einer größeren Überwachungsfläche mehrfach vollführen zu können, wird das Licht durch einen in die Sensormechanik integrierten Reflektor mehrfach durch die Scheibe „geschickt“, bis es wiederum genau definiert auf einen Fototransistor trifft, der die eintreffende Lichtintensität mißt.

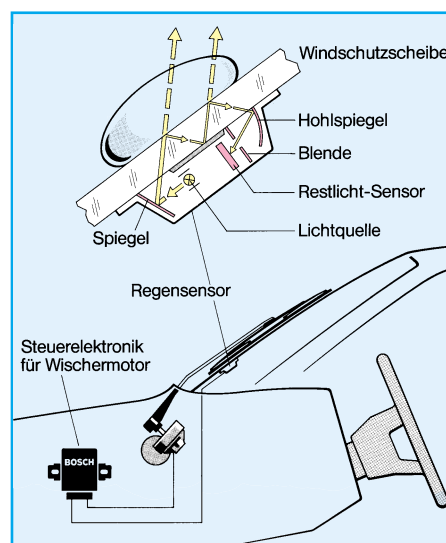
Befindet sich nun Wasser auf der Scheibenaußenfläche (Bild 7), so verschiebt sich die Grenz- (Reflexions-) Schicht, und ein großer Teil des Lichtstrahls wird nicht mehr an der Scheibenaußenkante definiert reflektiert, sondern im Wassertropfen „geschluckt“. Aus der Intensität des am Empfänger eintreffenden Restlichts schließt nun die Auswerteelektronik auf die Notwendigkeit des Wischens und setzt den Scheibenwischer in Gang, solange sich Wasser auf der Scheibe befindet. Hat man den Wischer bereits im Intervallbetrieb angeschaltet, werden diese Intervalle dann ebenfalls der Regenintensität angepaßt. Ein interessantes Sicherheitsmerkmal betrifft das Fahren im Nebel. Schneller als der Mensch erkennt der Sensor Beschlag auf der Scheibe und schaltet den Wischer schon ein, wenn der Mensch noch nicht deutlich den Wasserfilm wahrgenommen hat.

Eine genial einfache Idee - man fragt sich, wieso es so etwas nicht schon seit der Erfindung des Transistors gibt.

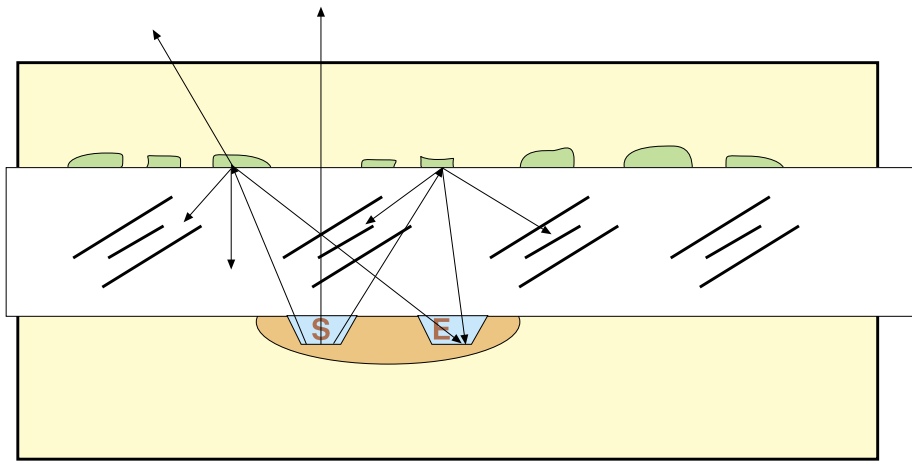
### Sensor gegen Schmutz

Ganz ähnlich funktioniert der Schmutzsensoren, der die Verschmutzung von Autoscheinwerfern registriert und bei stärkerer Verschmutzung die Scheinwerferreinigungsanlage selbstständig aktiviert.

Eine innen an der Streuscheibe angebrachte LED-Lichtquelle sendet ihren



**Bild 7: Der Bosch-Regensensor: Aufbau und Funktion eines Regensensors (Bosch-Pressbild)**



**Bild 8: Wirkungsweise des Schmutzsensors zur Scheinwerferreinigung (Quelle: Bosch)**

Lichtstrahl durch die Scheibe und auch durch eventuelle Regentropfen hinaus ins Freie. Befindet sich Schmutz auf der Streuscheibe, so wird der LED-Lichtstrahl mit zunehmender Verschmutzung auf der Schmutzschicht reflektiert, als Streulicht durch die Streuscheibe zurückgeschickt und trifft dann auf den Fototransistor, der die Scheinwerferreinigungsanlage aktiviert (Bild 8).

Auch Ultraschallsensoren spielen in der Fahrzeugtechnik eine immer größere Rolle. Sie empfangen von oft mit im gleichen Gehäuse integrierten Gebern ausgesandte und an einem Hindernis reflektierte Signale im Ultraschallbereich. Aus der Zeitdifferenz zwischen Aussendung und Empfang des Signals errechnet die Elektronik die unterschiedlichen Entfernungen zum reflektierenden Gegenstand.

Neben den bekannten Einparkhilfen und den kurz vor dem Einsatz befindlichen Abstandswarnern gibt es inzwischen eine interessante Anwendung, die ein großes Verkehrssicherheitsproblem endlich zu lösen verspricht - die „Blender“.

### Mit Ultraschall gegen Blender

Diese sind ein erhebliches Sicherheitsrisiko, das zunehmend Bedeutung erlangt. Unzählige Nachtunfälle gehen auf das Konto falsch eingestellter Scheinwerfer.

Doch jede Scheinwerfereinstellung stimmt eben nur für den Beladungszustand des Fahrzeugs zum Einstellzeitpunkt. Verändert sich dieser, dann müssten die Scheinwerfer eigentlich neu eingestellt werden - es sei denn, man verfügt über eine Niveauregelung.

Mit der seit 1990 in Deutschland für alle Neufahrzeuge vorgeschriebenen Leuchtweiteregelung ist die Anpassung der Scheinwerfereinstellung an den Beladungszustand nur eine Kleinigkeit. Doch aus Kostengründen haben sich die meisten

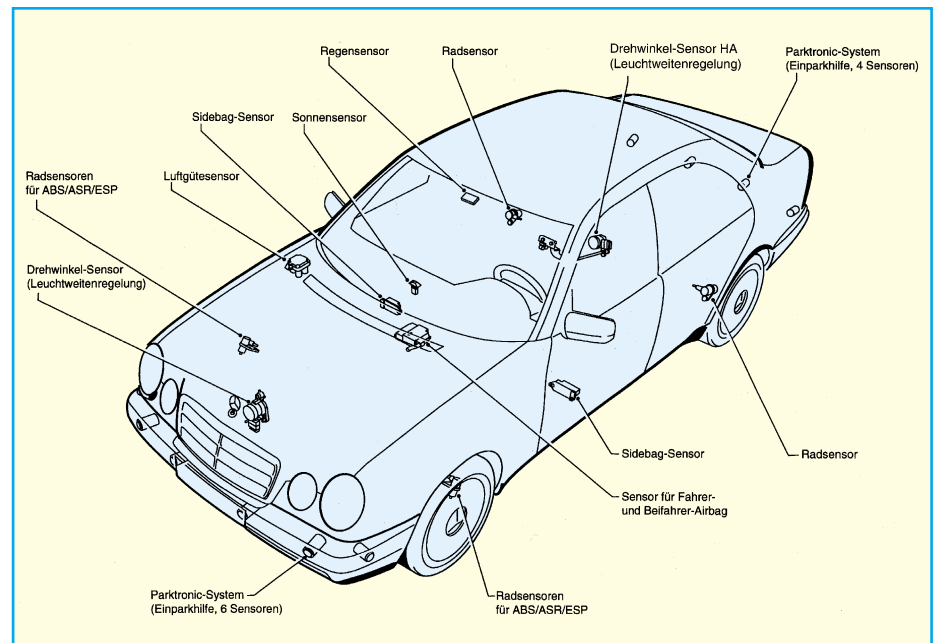
Hersteller für von Hand zu bedienende Systeme entschieden. Da passiert es dann immer wieder, daß man das Justieren vergisst oder die Karosserielage falsch einschätzt und eine falsche Einstellung wählt.

Gerade mit Blick auf immer leistungsfähigere Scheinwerfersysteme gewinnen automatisch arbeitende Leuchtweiteregelungen immer mehr an Bedeutung. Deren sichere Funktion setzt allerdings ein genaues Erkennen der Karosserieneigung voraus. Hier haben sich bei Bosch Ultraschallsensoren als besonders zuverlässig erwiesen.

gebenenfalls. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, daß nicht nur die Beladung, sondern auch Beschleunigungs- und Bremsvorgänge in den Regelprozeß einbezogen werden. Die Unterschiede erkennt das System selbständig und wählt einen entsprechenden Regelmodus.

Um auf alle Bedingungen vorbereitet zu sein, unterscheidet das System zwischen Konstantfahrt und Beschleunigungs- bzw. Bremsvorgängen. Dazu wird das Tachosignal ausgewertet. Bei normaler Fahrt, während der sich das Niveau entweder durch den zunehmend leereren Tank oder unterschiedliche Beladungszustände verändert, wird die Leuchtweiteregelung langsam angepaßt, bei Beschleunigen und Bremsen dagegen sehr schnell zur optimalen Fahrbahnausleuchtung. Eines der ersten Systeme dieser Art setzt Mercedes in der neuen E-Klasse ein, allerdings wird hier zur Ermittlung des Neigungswinkels der Karosserie auf Neigungssensoren zurückgegriffen, die bei einigen Modellen auch für die Traktions- und Neigungskompensationsysteme genutzt werden.

An einem weiter perfektionierten System arbeitet Hella, hier wird auch die Ausleuchtung von Kurven oder die Bergauf- oder Bergabfahrt durch entsprechende Sensoren (Neigungssensoren) erfaßt und die Scheinwerfer angesteuert, so daß diese etwa mit in die Kurve hineinleuchten.



**Bild 9: Moderne Fahrzeuge verfügen über eine ungeheure Vielzahl an Sensoren auch außerhalb des Motormanagements. (Bild: Mercedes-Benz)**

Vorn und hinten unter dem Fahrzeug montierte Ultraschallsensoren messen mehrmals je Sekunde den genauen Abstand zur Fahrbahn. Aus den Meßwerten errechnet ein Steuergerät die Karosserieneigung, überprüft die aktuelle Scheinwerfereinstellung und korrigiert diese ge-

Fazit also ist die Erkenntnis, daß moderne Fahrzeuge heute ohne eine entsprechende Anzahl von Sensoren (Bild 9) kaum mehr denkbar sind und deren Anwendungsbreite und Anzahl wohl in Zukunft noch genauso wachsen wird wie ihre zunehmende Integration und Komplexität. **ELV**