

---

## Automobil-Sensorik 2

---

Thomas Tille (Hrsg.)

# Automobil-Sensorik 2

Systeme, Technologien und Applikationen

**Dr.-Ing. Thomas Tille**

BMW AG  
Knorrstr. 147  
80788 München

Technische Universität München  
Arcisstr. 21  
80333 München

ISBN 978-3-662-56309-0

DOI 10.1007/978-3-662-56310-6

ISBN 978-3-662-56310-6 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, 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.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

# Vorwort

Die Sensorik nimmt im Automobil einen bedeutenden und stark wachsenden Stellenwert ein. Im Zuge der rasanten Entwicklungen auf dem Gebiet der Fahrzeugtechnik, wie Automatisiertes Fahren und E-Mobilität, sind immer genauere und robustere Sensorinformationen unabdingbar. Diese Informationen werden in komplexen Regelalgorithmen der Fahrzeugelektronik insbesondere zur Objekterkennung, Systemüberwachung, Motorsteuerung, Fahrstabilität, Sicherheits- und Komforterrhöhung genutzt. Zur Generierung dieser Informationen gewinnen neben der Optimierung bekannter Sensorprinzipien zunehmend auch neue Sensorkonzepte und -technologien an Bedeutung. Die resultierenden Sensorsysteme unterliegen neben den hohen technischen Anforderungen auch immer höheren Ansprüchen hinsichtlich Kosten, Miniaturisierung, Qualität und Zuverlässigkeit.

Um innovative Sensoren unter dem anwendungsbezogenen Fokus der Automobilindustrie zu diskutieren, wurde die Tagung *Sensoren im Automobil* im Jahre 2006 von mir erstmals initiiert. Die Beitragsinhalte der nunmehr 7. Tagung *Sensoren im Automobil 2018* sind in diesem Fachbuch zusammengestellt und spiegeln den Trend aktueller Sensorentwicklungen für spezielle Fahrzeug-Anwendungsgebiete wider.

Der Schwerpunkt dieser Ausgabe liegt auf Sensorprinzipien und -technologien für Automatisiertes Fahren, Batterie-Zellüberwachung in Elektrofahrzeugen, Motorsteuerungen, Abgasregelungen, Klimatisierung und aktive Sicherheit im Automobil.

Einführend werden aktuelle Trends in der Automobil-Sensorik an Hand der Marktentwicklung von Sensoren betrachtet und die wichtigsten Treiber für künftige Sensorik-Anwendungen herausgestellt. Einer dieser Treiber ist das Automatisierte Fahren. Dahingehend wird ein LiDAR-Sensorsystem zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung sowie zur Klassifizierung von Objekten im Straßenverkehr vorgestellt. Um einen langzeitstabilen Betrieb bei gleichzeitig geringer Baugröße von Radarsensoren zu ermöglichen, werden zudem porösisierte Glaskeramik-Substrate beschrieben. Ein weiterer Treiber für die Automobil-Sensorik ist die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Fahrzeugen im Rahmen der E-Mobilität. Für den Einsatz in Elektrofahrzeugen werden dahingehend Sensorsysteme auf Basis der optischen Batteriesensorik und der Impedanzsensorik zur Überwachung von

Lithium-Ionen-Akkus behandelt. Des Weiteren werden integrierte Fluxgate-Sensoren zur Strommessung in Hybrid- und Elektrofahrzeugen, hoch integrierte Strom- und Positionssensoren für elektrische Antriebssysteme und ein Störfeld-robuster Kurbelwellensensor für den Einsatz in Hybridfahrzeugen vorgestellt. Ein Sensorsystem zur dynamischen Drehmomentmessung für zukünftige Antriebsstrangregelungen wird beschrieben. Für die Anwendung im Abgasstrang wird eine Beladungsregelung eines  $\text{NH}_3$ -SCR-Katalysator-Systems auf minimale  $\text{NO}_x$ -Emissionen mittels Hochfrequenz-Sensorik behandelt. Aus dem Gebiet der Fahrzeugklimatisierung werden ein miniaturisierter, thermisch gepulster VOC/ $\text{CO}_2$ -Sensor zur Luftgütedetektion und ein intelligenter Temperatursensor zur Erfassung der repräsentativen Innenraumtemperatur des Fahrzeugs beschrieben. Zur Optimierung der automatischen Lichtfunktionen im Automobil wird ein optischer Sichtweitensensor zur Nebelerkennung vorgestellt. Des Weiteren wird ein Ansatz für Sensorik in intelligenten Steckverbindern im Automobil beschrieben.

Das Buch richtet sich an Professionals in Wirtschaft und Wissenschaft, insbesondere im Tätigkeitsfeld der Automobilindustrie, bei Sensorherstellern und Forschungseinrichtungen.

An dieser Stelle gilt mein besonderer Dank allen Autoren, durch deren Beiträge dieses Buch im Kontext der Tagung *Sensoren im Automobil 2018* entstehen konnte.

München, im April 2018

Dr. Thomas Tille

# Inhaltsübersicht

|  |     |
|--|-----|
| <b>Vorwort</b> .....   | 5   |
| <b>Kapitel 1</b>   |     |
| <b>Trends in der Automobil-Sensorik</b> .....  | 17  |
| <i>Richard Dixon</i>   |     |
| <b>Kapitel 2</b>   |     |
| <b>LiDAR-Sensorsystem für automatisiertes und autonomes Fahren</b> .....                           | 29  |
| <i>Jürgen Kernhof, Jan Leuckfeld, Guiseppa Tavano</i>  |     |
| <b>Kapitel 3</b>   |     |
| <b>Porösisierte Glaskeramik-Substrate für die Radarsensorik</b> .....                              | 55  |
| <i>Armin Talai, Alexander Kölpin, Achim Bittner, Frank Steinhäuser, Ulrich Schmid</i>              |     |
| <b>Kapitel 4</b>   |     |
| <b>Optische Batteriesensorik für Elektro-Fahrzeuge</b> .....                                       | 77  |
| <i>Valentin Roscher, Karl-Ragmar Riemschneider</i>   |     |
| <b>Kapitel 5</b>   |     |
| <b>Impedanzsensorik für Batteriezellen in Elektro-Fahrzeugen</b> .....                             | 99  |
| <i>Jan Philipp Schmidt, Thomas Hammerschmidt</i>   |     |
| <b>Kapitel 6</b>   |     |
| <b>Integrierte Fluxgate-Sensoren zur Strommessung in Hybrid- und Elektrofahrzeugen</b> .....       | 127 |
| <i>Christian Berger, Marco Wolf, Martin Rieder</i>   |     |
| <b>Kapitel 7</b>   |     |
| <b>Hoch integrierte Strom- und Positionssensoren für elektrische Antriebssysteme</b> .....         | 147 |
| <i>Leo Aichriedler, Peter Slama</i>  |     |
| <b>Kapitel 8</b>   |     |
| <b>GMR-basierter, störfeldrobuster Kurbelwellensensor für Hybridfahrzeuge</b> .                    | 177 |
| <i>Klaus Grambichler, Gernot Binder, Simon Hainz, Helmut Köck</i>                                  |     |
| <b>Kapitel 9</b>   |     |
| <b>Dynamische magnetoelastische Drehmomentsensorik für zukünftige Antriebsstrangregelung</b> ..... | 199 |
| <i>Johannes Gießibl</i>  |     |

**Kapitel 10**

**Beladungsregelung eines NH<sub>3</sub>-SCR-Katalysator-Systems auf minimale NO<sub>x</sub>-Emissionen mittels Hochfrequenzsensorik** . . . . . 225

*Ralf Moos, Markus Dietrich*

**Kapitel 11**

**Miniaturisierter, thermisch gepulster VOC/CO<sub>2</sub>-Sensor zur Luftgütedetektion** . . . . . 245

*Olaf Kiesewetter, Alexander Krauß, Nils Kiesewetter, Jürgen Müller, Marcus Bose, Stefan Schenk, Matthias May*

**Kapitel 12**

**Intelligente Innenraum-Temperatursensorik im Automobil** . . . . . 267

*R. Trapp, D. Nagel, E. Pankratz*

**Kapitel 13**

**Sichtweitensensor zur Optimierung der automatischen Lichtfunktionen im Automobil** . . . . . 291

*Benedikt Büttner, Hans-Michael Schmitt*

**Kapitel 14**

**Sensorik für intelligente Steckverbinder im Automobil** . . . . . 311

*Frank Ansorge, Christian Baar, Ixchen Elias Ilosvay, Christof Landesberger, Christoph Kutter*

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Vorwort</b> .....  | <b>5</b>  |
| <br>  |           |
| <b>Kapitel 1</b>  |           |
| <b>Trends in der Automobil-Sensorik</b> .....                             | <b>17</b> |
| <i>Richard Dixon</i>  |           |
| 1.1 Einleitung .....  | 17        |
| 1.2 Übersicht von Sensoren im Automobil .....                             | 18        |
| 1.2.1 Anwendungen für Sensoren .....                                      | 18        |
| 1.2.2 Marktfaktoren .....   | 21        |
| 1.2.2.1 Preise von Sensoren im Automobil .....                            | 22        |
| 1.2.2.2 Consumer-Electronics Sensoren für Automobil-<br>anwendungen ..... | 23        |
| 1.3 Impulse und Trends für Sensoren im Automobil .....                    | 24        |
| 1.3.1 Sensoren für Autonomes Fahren .....                                 | 24        |
| 1.3.2 Sensoren für Intelligente Cockpits .....                            | 26        |
| 1.4 Zusammenfassung .....   | 27        |
| <br>  |           |
| <b>Kapitel 2</b>  |           |
| <b>LiDAR-Sensorsystem für automatisiertes und autonomes Fahren</b> .....  | <b>29</b> |
| <i>Jürgen Kernhof, Jan Leuckfeld, Guiseppe Tavano</i>                     |           |
| 2.1 Einleitung .....  | 29        |
| 2.2 LiDAR .....   | 30        |
| 2.3 Messtechnik. ....   | 32        |
| 2.3.1 Optische Distanzmessung .....                                       | 32        |
| 2.3.2 Messgenauigkeit. ....   | 34        |
| 2.3.3 Digitale Datenverarbeitung .....                                    | 37        |
| 2.4 Integriertes Messsystem. ....   | 43        |
| 2.4.1 Laserdioden .....   | 43        |
| 2.4.2 Fotodioden. ....  | 43        |
| 2.4.3 Analog-Digital-Wandler .....  | 45        |
| 2.4.4 Signalkonditionierung der Fotodiode .....                           | 45        |
| 2.4.5 Funktionale Sicherheit und Diagnose .....                           | 47        |
| 2.4.6 Taktsystem. ....  | 49        |
| 2.4.7 Lichtdatenerfassungs-Modul. ....                                    | 49        |
| 2.4.8 Architektur des Messsystems .....                                   | 50        |
| 2.5 Zusammenfassung .....   | 52        |



**Kapitel 3****Porösisierte Glaskeramik-Substrate für die Radarsensorik. . . . . 55***Armin Talai, Alexander Kölpin, Achim Bittner, Frank Steinhäuser, Ulrich Schmid*

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Einleitung . . . . .                             | 55 |
| 3.2 | Hochfrequenzradarsensoren. . . . .               | 56 |
|     | 3.2.1 Aufbaukonzepte . . . . .                   | 58 |
|     | 3.2.2 Glaskeramische Mehrlagensubstrate. . . . . | 60 |
| 3.3 | Porösisierte Glaskeramikssubstrate . . . . .     | 61 |
|     | 3.3.1 Nasschemisches Ätzen. . . . .              | 61 |
|     | 3.3.1.1 Ätzzvorgang . . . . .                    | 62 |
|     | 3.3.1.2 Poröses Substratmaterial . . . . .       | 63 |
|     | 3.3.2 Hochfrequenzcharakterisierung . . . . .    | 65 |
|     | 3.3.2.1 Messmethode. . . . .                     | 66 |
|     | 3.3.2.2 Ergebnisse . . . . .                     | 67 |
|     | 3.3.3 Eignung für Radarsensoren . . . . .        | 70 |
| 3.4 | Zusammenfassung und Ausblick . . . . .           | 72 |

**Kapitel 4 . . . . . 77****Optische Batteriesensorik für Elektro-Fahrzeuge. . . . . 77***Valentin Roscher, Karl-Ragnar Riemschneider*

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.1 | Einführung . . . . .   | 77 |
| 4.2 | Direkte optische Zustandserkennung . . . . .                   | 80 |
|     | 4.2.1 Beobachtung optischer Effekte . . . . .                  | 80 |
|     | 4.2.2 Messsystem für Laboruntersuchungen. . . . .              | 82 |
|     | 4.2.3 Elektrodenanordnung in der Testzelle . . . . .           | 84 |
|     | 4.2.4 Korrelation zwischen Ladung und Reflexion . . . . .      | 85 |
| 4.3 | Fasersensor für konventionelle Zellaufbauten . . . . .         | 87 |
|     | 4.3.1 Aufbau und Funktionsweise . . . . .                      | 87 |
|     | 4.3.2 Experimentelle Fasersensoren in Batteriezellen . . . . . | 90 |
|     | 4.3.3 Messergebnisse mit Fasersensoren . . . . .               | 91 |
|     | 4.3.4 Kalibrierung der Fasersensoren . . . . .                 | 91 |
| 4.4 | Zusammenfassung . . . . .                                      | 94 |

**Kapitel 5****Impedanzsensorik für Batteriezellen in Elektro-Fahrzeugen. . . . . 99***Jan Philipp Schmidt, Thomas Hammerschmidt*

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 5.1 | Einleitung . . . . .   | 99  |
| 5.2 | Stand der Technik Impedanzspektroskopie und Zellimpedanz . . . . . | 100 |
|     | 5.2.1 Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) . . . . .       | 100 |
|     | 5.2.2 Zellimpedanz . . . . .                                       | 102 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.3     | Sensitivitäten der Zellimpedanz und ableitbare Anwendungsfälle . . . . . | 104 |
| 5.3.1   | Temperatur. . . . .  | 105 |
| 5.3.2   | Ladezustand (SOC) . . . . .  | 107 |
| 5.3.2.1 | Einfluss auf Temperaturbestimmung . . . . .                              | 108 |
| 5.3.2.2 | Anwendungsszenario SOC-Bestimmung. . . . .                               | 108 |
| 5.3.3   | Alterungszustand (SOH). . . . .  | 109 |
| 5.3.3.1 | Einfluss auf die Temperaturbestimmung . . . . .                          | 109 |
| 5.3.3.2 | Anwendungsszenario SOH-Bestimmung. . . . .                               | 110 |
| 5.3.4   | Druck . . . . .  | 111 |
| 5.3.4.1 | Einfluss auf die Temperaturbestimmung . . . . .                          | 111 |
| 5.3.4.2 | Anwendungsszenario Deformationsdiagnose . . . . .                        | 111 |
| 5.3.5   | Strom . . . . .  | 112 |
| 5.4     | Impedanzsensor zur Temperaturmessung . . . . .                           | 113 |
| 5.4.1   | Prozessgleichung und Unsicherheitseinflüsse . . . . .                    | 114 |
| 5.4.2   | Wahl der optimalen Anregungsfrequenz $f_{EIS}$ . . . . .                 | 117 |
| 5.4.3   | Messunsicherheitsbudget und Optimierung . . . . .                        | 120 |
| 5.5     | Zusammenfassung . . . . .  | 124 |

## Kapitel 6

### Integrierte Fluxgate-Sensoren zur Strommessung in Hybrid- und

### Elektrofahrzeugen . . . . . 127

*Christian Berger, Marco Wolf, Martin Rieder*

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 6.1     | Einleitung . . . . .  | 127 |
| 6.2     | Technologieübersicht Stromsensoren . . . . .                  | 128 |
| 6.2.1   | Hall-Sensoren . . . . .                                       | 128 |
| 6.2.1.1 | Direkte Strommessung . . . . .                                | 129 |
| 6.2.1.2 | Kompensationsstromsensoren . . . . .                          | 129 |
| 6.2.2   | Shunt-Sensoren . . . . .                                      | 130 |
| 6.2.3   | Fluxgate-Sensoren mit Kern. . . . .                           | 131 |
| 6.3     | Strommessung mittels Integrierter Fluxgate-Sensoren . . . . . | 133 |
| 6.3.1   | Differentieller Fluxgate-Sensor . . . . .                     | 133 |
| 6.3.1.1 | Bus-bar Design. . . . .                                       | 134 |
| 6.3.1.2 | Sensor-PCB . . . . .  | 137 |
| 6.3.2   | Integration des Fluxgate-Sensors . . . . .                    | 141 |
| 6.3.2.1 | Versuchsaufbau zur Charakterisierung . . . . .                | 141 |
| 6.3.3.1 | Applikations- und Performancetest. . . . .                    | 143 |
| 6.3.3.2 | Performancevergleich im Applikationstest . . . . .            | 145 |
| 6.4     | Zusammenfassung . . . . .                                     | 145 |

**Kapitel 7****Hoch integrierte Strom- und Positionssensoren für elektrische****Antriebssysteme. . . . . 147***Leo Aichriedler, Peter Slama*

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 7.1 | Einleitung . . . . .  | 147 |
| 7.2 | Rotorlagesensorik. . . . .  | 150 |
|     | 7.2.1 Sensorsysteme . . . . .                                     | 150 |
|     | 7.2.2 Schnittstelle . . . . .                                     | 152 |
|     | 7.2.2.1 Sensor-Rohsignal. . . . .                                 | 154 |
|     | 7.2.2.2 Analoge Schnittstelle. . . . .                            | 155 |
|     | 7.2.2.3 Digitale Schnittstelle . . . . .                          | 157 |
|     | 7.2.2.4 Sensorbus GP-HSSI . . . . .                               | 161 |
| 7.3 | Stromsensorik. . . . .  | 167 |
|     | 7.3.1 Überblick Prinzipien zur Strommessung. . . . .              | 167 |
|     | 7.3.2 Magnetische Stromsensoren . . . . .                         | 168 |
|     | 7.3.2.1 Magnetische Stromsensoren mit Feldkonzentrator . . . . .  | 169 |
|     | 7.3.2.2 Magnetische Stromsensoren ohne Feldkonzentrator . . . . . | 171 |
| 7.4 | Zusammenfassung . . . . .   | 174 |

**Kapitel 8****GMR-basierter, störfeldrobuster Kurbelwellensensor für****Hybridfahrzeuge . . . . . 177***Klaus Grambichler, Gernot Binder, Simon Hainz, Helmut Köck*

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 8.1 | Einleitung . . . . .   | 177 |
| 8.2 | Fehlzündungserkennung . . . . .  | 178 |
|     | 8.2.1 Fehlzündungserkennung mit Klopfsensor . . . . .                                    | 179 |
|     | 8.2.2 Fehlzündungserkennung mit Drucksensor, Gassensor oder Drehmomentsensor . . . . .   | 179 |
|     | 8.2.3 Fehlzündungserkennung mit einem hoch wiederholgenauen Kurbelwellensensor . . . . . | 179 |
|     | 8.2.4 Wiederholgenauigkeit von Kurbelwellensensoren . . . . .                            | 180 |
|     | 8.2.5 TLE5028C als Demonstrator für hohe Wiederholgenauigkeit . . . . .                  | 182 |
| 8.3 | Stopp-Start-Anwendung . . . . .  | 183 |
|     | 8.3.1 TLE5028C für fehlerfreie Stopp-Start-Applikation . . . . .                         | 185 |
|     | 8.3.1.1 Temperaturkompensation der Signalamplitude durch magnetische Verluste . . . . .  | 186 |
|     | 8.3.1.2 Temperaturkompensation des Schaltpunktes (Offset) . . . . .                      | 186 |
|     | 8.3.1.3 Überwachung der Temperaturveränderung. . . . .                                   | 187 |
|     | 8.3.2 Verifikation der Stopp-Start Applikation am Prüfstand . . . . .                    | 189 |
| 8.4 | Backbias-Magnetdesign für GMR-Sensoren . . . . .   | 190 |
|     | 8.4.1 Magnetkreisdesign als Herausforderung. . . . .                                     | 190 |
|     | 8.4.2 Magnetkreisauslegung für GMR-Kurbelwellensensoren . . . . .                        | 192 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.5   | Robustheit gegen magnetisches Streufeld . . . . .               | 194 |
| 8.5.1 | Erzeugung von Streufeldern aufgrund Elektrifizierung . . . . .  | 194 |
| 8.5.2 | Vermeidung von magnetischen Einflüssen auf das Sensornutzsignal | 195 |
| 8.6   | Zusammenfassung . . . . .                                       | 195 |

## **Kapitel 9**

### **Dynamische magnetoelastische Drehmomentsensorik für zukünftige**

#### **Antriebsstrangregelung . . . . . 199**

*Johannes Gießibl*

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 9.1     | Einleitung . . . . .   | 199 |
| 9.2     | Grundlagen der Magnetoelastik . . . . .                                  | 201 |
| 9.2.1   | Messprinzip . . . . .  | 203 |
| 9.2.2   | Sensorelektronik . . . . .   | 203 |
| 9.2.3   | Sensorparameter . . . . .  | 205 |
| 9.2.3.1 | Messbereich . . . . .  | 205 |
| 9.2.3.2 | Linearität und Hysterese . . . . .                                       | 205 |
| 9.2.3.3 | RSU . . . . .  | 206 |
| 9.2.3.4 | RSE . . . . .  | 208 |
| 9.2.3.5 | Compassing . . . . .   | 208 |
| 9.2.3.6 | Bewegung und Temperatur . . . . .  | 209 |
| 9.2.3.7 | Risikofaktoren . . . . .   | 209 |
| 9.2.3.8 | Designparameter . . . . .  | 210 |
| 9.2.4   | Langzeitstabilität . . . . .   | 210 |
| 9.3     | Applikationsbeispiel Mitnehmerscheibe . . . . .                          | 212 |
| 9.3.1   | Sensorinstallation . . . . .   | 213 |
| 9.3.2   | Sensoraufbau . . . . .   | 214 |
| 9.3.3   | Kraftstoffqualität . . . . .   | 216 |
| 9.3.4   | Motorsteuerung . . . . .   | 217 |
| 9.3.5   | Getriebesteuerung . . . . .  | 218 |
| 9.4     | Applikationsbeispiel Hybridgetriebe . . . . .                            | 220 |
| 9.4.1   | Anpassung der Kupplung Kiss-Punktes . . . . .                            | 221 |
| 9.4.2   | Anpassung des Kupplungsmoments an Position . . . . .                     | 221 |
| 9.4.3   | Drehmomentregelung beim Schlupfstart des<br>Verbrennungsmotors . . . . . | 221 |
| 9.5     | Zusammenfassung . . . . .  | 222 |

**Kapitel 10****Beladungsregelung eines NH<sub>3</sub>-SCR-Katalysator-Systems auf minimale NO<sub>x</sub>-Emissionen mittels Hochfrequenzsensorik . . . . . 225***Ralf Moos, Markus Dietrich*

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 10.1   | Einleitung . . . . .  | 225 |
| 10.2   | Grundlagen und Stand der Technik . . . . .  | 227 |
| 10.2.1 | Grundlagen des hochfrequenzbasierten Verfahrens. . . . .                          | 227 |
| 10.2.2 | Prüfstandsuntersuchungen am SCR-Katalysator mit der Hochfrequenzmethode . . . . . | 227 |
| 10.3   | Umsetzung am Motorprüfstand . . . . .   | 230 |
| 10.3.1 | Versuchsaufbau. . . . .   | 230 |
| 10.3.2 | Stationärbetrieb mit einem Fe-Zeolithen als SCR-Katalysator . . . . .             | 232 |
| 10.3.3 | Transienter Betrieb mit einem Cu-Zeolithen als SCR-Katalysator . . . . .          | 233 |
| 10.4   | Zusammenfassung . . . . .   | 241 |

**Kapitel 11****Miniaturisierter, thermisch gepulster VOC/CO<sub>2</sub>-Sensor zur Luftgütedetektion . . . . . 245***Olaf Kiesewetter, Alexander Krauß, Nils Kiesewetter, Jürgen Müller, Marcus Bose, Stefan Schenk, Matthias May*

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 11.1   | Einleitung . . . . .  | 245 |
| 11.2   | Sensorprinzipien zur Detektion von CO <sub>2</sub> und VOC . . . . .  | 246 |
| 11.2.1 | Photoakustisches Messprinzip zur CO <sub>2</sub> -Detektion . . . . . | 246 |
| 11.2.2 | Metalloxid(MOX)-Gassensorelement zur Detektion von VOCs . . . . .     | 249 |
| 11.3   | Miniaturisierter VOC/CO <sub>2</sub> -Sensor . . . . .                | 249 |
| 11.3.1 | Aufbau und Funktionsweise . . . . .                                   | 249 |
| 11.3.2 | Technische Performance . . . . .                                      | 253 |
| 11.4   | Messergebnisse . . . . .  | 254 |
| 11.4.1 | Labortests . . . . .  | 254 |
| 11.4.2 | Praxistests: Luftqualitätsmessungen im Fahrzeuginnenraum. . . . .     | 261 |
| 11.5   | Zusammenfassung . . . . .   | 265 |

**Kapitel 12****Intelligente Innenraum-Temperatursensorik im Automobil . . . . . 267***R. Trapp, D. Nagel, E. Pankratz*

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 12.1   | Einleitung . . . . .   | 267 |
| 12.2   | Messverfahren zur Ermittlung der Kabinentemperatur . . . . . | 268 |
| 12.2.1 | Zwangselüftete Temperaturmessung . . . . .                   | 269 |
| 12.2.2 | Messung der Infrarotstrahlung . . . . .                      | 269 |
| 12.2.3 | Simulation der Kabinentemperatur . . . . .                   | 271 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 12.3   | ITOS <sup>®</sup> -Sensorsystem . . . . .         | 273 |
| 12.3.1 | Sensorprinzip. . . . .                            | 273 |
| 12.3.2 | Kompensation direkter Solarstrahlung . . . . .    | 277 |
| 12.3.3 | ITOS <sup>®</sup> -Algorithmus . . . . .          | 278 |
| 12.3.4 | Experimentelle Ergebnisse . . . . .               | 279 |
|        | 12.3.4.1 Messaufbau . . . . .                     | 279 |
|        | 12.3.4.2 Messergebnisse . . . . .                 | 279 |
| 12.3.5 | Einbaulage und Bewertung. . . . .                 | 282 |
| 12.3.6 | ITOS <sup>®</sup> mit LIN-Bus Interface . . . . . | 283 |
| 12.3.7 | Intelligenter ITOS <sup>®</sup> . . . . .         | 285 |
| 12.3.8 | Technische Daten. . . . .                         | 286 |
| 12.4   | Zusammenfassung . . . . .                         | 288 |

## Kapitel 13

### **Sichtweitensensor zur Optimierung der automatischen Lichtfunktionen im Automobil . . . . . 291**

*Benedikt Büttner, Hans-Michael Schmitt*

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 13.1 | Einleitung. . . . .                                      | 291 |
|      | 13.1.1 Motivation . . . . .                              | 291 |
|      | 13.1.2 Funktionen des automatischen Fahrlichts . . . . . | 292 |
|      | 13.1.3 Definition Sichtweite. . . . .                    | 294 |
| 13.2 | Sichtweitenerkennung - Stand der Technik . . . . .       | 294 |
| 13.3 | Sichtweitensensor. . . . .                               | 296 |
|      | 13.3.1 Funktionsprinzip . . . . .                        | 296 |
|      | 13.3.2 Aufbau . . . . .                                  | 299 |
|      | 13.3.2.1 Optik . . . . .                                 | 299 |
|      | 13.3.2.2 Hardware . . . . .                              | 301 |
|      | 13.3.2.3 Software. . . . .                               | 302 |
|      | 13.3.2.4 Mechanik . . . . .                              | 303 |
| 13.4 | Experimentelle Ergebnisse . . . . .                      | 304 |
|      | 13.4.1 Messaufbau. . . . .                               | 304 |
|      | 13.4.2 Messergebnisse. . . . .                           | 307 |
| 13.5 | Zusammenfassung und Ausblick . . . . .                   | 309 |

**Kapitel 14****Sensorik für intelligente Steckverbinder im Automobil . . . . . 311**

*Frank Ansorge, Christian Baar, Ixchen Elias Ilosvay, Christof Landesberger,  
Christoph Kutter*

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 14.1     | Einleitung . . . . .  | 311 |
| 14.2     | Motivation und Innovationspotential . . . . .                                       | 312 |
| 14.3     | Anforderungen und Anwendungen intelligenter elektrische<br>Steckverbinder . . . . . | 313 |
| 14.3.1   | Definition. . . . .   | 313 |
| 14.3.2   | Anforderungen . . . . .   | 313 |
| 14.3.3   | Steckverbinder für Anwendungen in höheren<br>Leistungsbereichen. . . . .            | 315 |
| 14.4     | Kontaktphysikalische Grundlagen . . . . .   | 316 |
| 14.4.1   | Engewiderstand und ruhender Kontakt. . . . .  | 316 |
| 14.5     | Sensorik. . . . .   | 319 |
| 14.5.1   | Stromsensorik . . . . .   | 320 |
| 14.5.1.1 | Shunts . . . . .  | 320 |
| 14.5.1.2 | Hall-Sensoren . . . . .   | 320 |
| 14.5.1.3 | Fluxgate-Sensoren. . . . .  | 322 |
| 14.5.2   | Temperatur-Sensorik . . . . .   | 322 |
| 14.5.3   | Intrinisch-inhärente Sensorik. . . . .  | 323 |
| 14.6     | Packaging-Technologie . . . . .   | 324 |
| 14.7     | Erwartete Degradationseffekte . . . . .   | 326 |
| 14.8     | Zusammenfassung . . . . .   | 326 |