

Manfred Krüger

# Grundlagen der **Kraftfahrzeug- elektronik**

Schaltungstechnik



4., aktualisierte Auflage

HANSER



**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**



Manfred Krüger

# Grundlagen der Kraftfahrzeugelektronik

Schaltungstechnik

4., aktualisierte Auflage

HANSER

**Autor:**

Prof. Dr.-Ing. Manfred Krüger  
Fachhochschule Dortmund



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en, Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. 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.

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2020 Carl Hanser Verlag München

Internet: [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: Anne Kurth

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Titelmotiv: © shutterstock.com/peterschreiber.media

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Druck und Bindung: Friedrich Pustet GmbH & Co. KG, Regensburg

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-46320-2

E-Book-ISBN 978-3-446-46361-5

# Vorwort

Die Kraftfahrzeugindustrie ist heute einer der zentralen Industriezweige in Europa und der Welt. Dabei handelt es sich nicht nur um die Fahrzeughersteller, sondern auch im verstärkten Maße um die Zulieferindustrie, da die Fertigungstiefe der Fahrzeughersteller ständig abnimmt und wichtige zentrale Entwicklungsaufgaben zunehmend in die Zuliefererebene verlagert werden.

Ein weiterer Aspekt ist die Zunahme der Elektronikanteile in modernen Kraftfahrzeugen. Allgemein anerkannt ist folgende Aussage:

90 % der Innovationen in Kraftfahrzeugen werden heute von oder mit der Elektronik realisiert.

Das heißt, fast alle verbauten Systeme sind elektronisch gesteuert. Nur so lassen sich heute und in Zukunft die Anforderungen an die Sicherheit, die Umweltbelastung, die Funktionalität und den Komfort neuer Fahrzeuggenerationen erfüllen.

Einem normalen Fahrzeugnutzer ist im Allgemeinen nicht bewusst, dass er beim Führen seines Fahrzeugs bereits heute von einer Vielzahl von Computern unterstützt wird, die zum größten Teil untereinander vernetzt sind und ihn in den verschiedensten Fahrsituationen mit Informationen versorgen, komplizierte Bedienungen erleichtern bzw. ganz abnehmen und in einer Krisensituation für die Sicherheit der Fahrzeuginsassen sorgen.

Diese Tendenz zu mehr Elektronik ist ungebrochen und wird in Zukunft einen weit höheren Wertanteil in einem Fahrzeug darstellen.

Daraus ergibt sich für die Fahrzeugindustrie ein immer größer werdendes Problem: für die Entwicklung höchst komplexer Fahrzeugsysteme entsprechend ausgebildete Ingenieure zu finden.

Die Zielgruppen, für die dieses Buch interessant ist, sind nicht nur die Studentinnen und Studenten der Fachgebiete Fahrzeug- und Verkehrstechnik mit Schwerpunkt Fahrzeugelektronik an den Hochschulen, sondern durchaus auch bereits ausgebildete Ingenieure.

Meine eigene Arbeit in der Fahrzeugindustrie hat gezeigt, dass es eine lange (und für die Firma teure) Zeit dauern kann, bis ein Ingenieur, der seine Ausbildung gerade beendet hat, bzw. ein Ingenieur aus anderen Berufsfeldern die speziellen hardware- und softwaretechnischen Besonderheiten in der Kraftfahrzeugelektronik sicher beherrscht, so dass er eigenverantwortlich in einem Entwicklungsprojekt wichtige Entscheidungen treffen und sie dann auch für eine Großserienfertigung zielgerichtet umsetzen kann.

Speziell die Probleme auf dem Hardwaregebiet werden von Neueinsteigern oft unterschätzt. Daher wird in diesem Buch der Schwerpunkt auf die Hardware gelegt und in einfacher und anschaulicher Form versucht, die Probleme bei der Integration einer Elektronik

in ein Kraftfahrzeug darzustellen und die dabei auftretenden Besonderheiten genauer zu erläutern und mit Beispielen anzureichern.

Allgemeine elektrotechnische Grundlagen und der Umgang mit Bauelementen werden dabei als bekannt vorausgesetzt.

Nach einer allgemeinen Einführung werden zuerst einige Fahrzeugsteuerungen beispielhaft erwähnt, um die heute bereits vorliegende Vielfalt der verschiedenen elektronisch gesteuerten Systeme in Kraftfahrzeugen zu verdeutlichen.

Danach folgt ein Kapitel, das sich mit den Umweltaanforderungen für Fahrzeugelektronik näher befasst. Schwerpunkt dabei sind die elektrischen Anforderungen, ergänzt durch die mechanischen, thermischen und chemischen Anforderungen. Dazu gehört auch die elektromagnetische Verträglichkeit (EMC).

Es werden dann einige grundlegende Methoden zur Erstellung einer Elektronik für Kraftfahrzeuge mit einigen kleinen Beispielen beschrieben. Dabei wird auf die in den vorherigen Kapiteln eingeführten Fachbegriffe und Sachverhalte zurückgegriffen.

Einen Schwerpunkt bildet die Hardwareentwicklung von Kraftfahrzeugelektronik inkl. der Integration von Mikrocontrollern in Steuergeräte.

Zum Abschluss werden in einem Spezialkapitel einige besondere Aspekte beschrieben, die in der täglichen Entwicklungsarbeit immer wieder zu Problemen führen können.

Ein kleines Tabellenwerk mit den am häufigsten während einer Entwicklung benötigten Informationen schließt sich an.

Diese Informationen stellen den theoretischen Unterbau dar, mit dessen Wissen es möglich ist, die einzelnen Strukturelemente einer Kraftfahrzeugelektronik im Einzelnen zu verstehen bzw. deren Notwendigkeit nachzuvollziehen. Damit ist dem Entwicklungsingenieur eine Grundlage an die Hand gegeben, mit der er sowohl als Einsteiger als auch als fortgeschrittener Entwickler für Kraftfahrzeugelektronik die wichtigsten Daten und Fakten griffbereit vorliegen hat.

Dabei kann es sich natürlich nur um eine Momentaufnahme handeln, da gerade in der Kraftfahrzeugelektronik ständig neue Entwicklungen stattfinden und neue elektronische Bauteile ihren Einzug halten, die in der Praxis meist ihre jeweiligen Eigenheiten produzieren.

Bei Beachtung der grundsätzlichen Prinzipien, wie sie in diesem Buch beschrieben werden, kann jedoch eine erhebliche qualitative Verbesserung der Entwicklertätigkeit in der Praxis erreicht werden.

Danken möchte ich der Fa. Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt, für die Unterstützung bei der Bereitstellung der in diesem Buche vorhandenen Fotografien.

# Vorwort zur vierten Auflage

Die weitere Entwicklung der Elektronik innerhalb der Kraftfahrzeuge schreitet schnell voran. Die inzwischen in den Vordergrund gerückten Themen sind unter anderem:

Elektromobilität, autonomes Fahren, Hybridisierung, Internetvernetzung und Sicherheit gegenüber kriminellen Angriffen von außen auf die Fahrzeuge.

Das wird in kurzer Zeit dazu führen, dass immer mehr Wertschöpfung bei den Fahrzeugen von der reinen Mechanik und klassischen Elektronik hin zur Entwicklung von Software verlagert wird. Tendenzen zeigen, dass in näherer Zukunft bis zu 80 % der Fahrzeugentwicklung aus Softwarearbeiten bestehen wird.

Das korrekte Funktionieren eines Fahrzeuges setzt in diesem Zusammenhang voraus, dass die verbaute Hardware, auf der die Software laufen muss, auch sicher und über lange Zeiträume fehlerfrei funktioniert. Außerdem darf sie nicht durch kriminelle Hardwareeingriffe manipulierbar sein.

Als Ergebnis aus den bisher gemachten Darstellungen ist festzustellen, dass es auch in Zukunft strenge Anforderungen an die elektronische Hardware (Steuergeräte und zentrale Domain-Controller) innerhalb eines Fahrzeuges geben wird, schon in Hinblick auf das autonome Fahren. Dort sind mit Sicherheit keinerlei Fehlfunktionen zu akzeptieren.

Die in diesem Buch aufgezeigten Maßnahmen zur Verbesserung der funktionalen Sicherheit einer Fahrzeugelektronik im Hardwarebereich gelten also auch weiterhin, wenn nicht sogar noch verschärft.

Die Einführung der 48-V-Spannungsebene im Hybridbereich der Fahrzeuge und die Einführung der Kommunikation mittels Ethernet im Fahrzeug sind neu aufgenommene Themen.

Dortmund, im Januar 2020

*Prof. Dr.-Ing. Manfred Krüger*





# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung: Grundlagen der Schaltungstechnik für Kfz-Elektronik .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Elektronische Systeme in Kraftfahrzeugen .....</b>	<b>19</b>
2.1	Elektronische Systeme im Motorraum .....	20
2.2	Elektronische Systeme innerhalb der Fahrgastzelle .....	20
2.3	Infotainment-Systeme .....	21
2.4	Fahrerassistenzsysteme .....	21
2.5	Weitere Systeme .....	22
2.6	Kommunikation mit externen Systemen außerhalb des Fahrzeuges (Telematik) .....	23
2.6.1	Telematik-Infotainment-/Büro-Bereich .....	24
2.6.2	Telematik-Navigationsbereich .....	24
2.6.3	Telematik-Fahrsituationsbereich .....	25
2.6.4	Telematik-Servicebereich .....	26
2.6.5	Telematik-Inkasso-Bereich .....	26
<b>3</b>	<b>Umgebungsanforderungen im Kraftfahrzeug und die Auswirkungen auf die Elektronik .....</b>	<b>28</b>
3.1	Allgemeine Bemerkungen .....	28
3.2	Definition von Umwelteinflüssen für Kraftfahrzeugelektronik .....	30
3.3	Elektrische Anforderungen, Lastsituationen .....	33
3.3.1	Allgemeines .....	34
3.3.2	Betrieb an einer Gleichspannung .....	35
3.3.3	Betrieb bei Überspannung .....	35
3.3.4	Start mit erhöhter Spannung (Jump Start, nur 12-V-Systeme) ...	36
3.3.5	Überlagerte Schwingung (Voltage Ripple Test, Bordnetzwelligkeits-Test) .....	36
3.3.6	Langsamer Spannungseinbruch bzw. Spannungsanstieg .....	38
3.3.7	Schneller Spannungseinbruch .....	38
3.3.8	Der RESET-Test .....	40
3.3.9	Verpolung .....	41
3.3.10	Offene Last .....	42
3.3.11	Kurzschluss .....	43

3.3.12	Lastprüfung .....	43
3.3.13	Schleichender Kurzschluss .....	45
3.4	Das 48-Volt-Bordnetz .....	45

## **4 Elektromagnetische Verträglichkeit in der Kfz-Elektronik ..... 48**

4.1	Allgemeines zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMC) .....	48
4.2	EMC-Anforderungen an die Kraftfahrzeugelektronik .....	51
4.2.1	Leitungsgebundene Störaussendung im Zeitbereich .....	52
4.2.1.1	Impuls 1: Abschalten einer Induktivität .....	53
4.2.1.2	Impuls 2: Abschalten eines Kollektormotors .....	54
4.2.1.3	Impuls 3: Allgemeine Schaltvorgänge .....	55
4.2.1.4	Impuls 4: Der Anlassvorgang .....	58
4.2.1.5	Impuls 5: Lastabwurf (Load-Dump) .....	59
4.2.2	Leitungsgebundene Störfestigkeit im Zeitbereich .....	61
4.2.3	Allgemeine Betrachtung für die Anforderungen im Frequenzbereich .....	62
4.2.4	Störaussendungen im Frequenzbereich .....	62
4.2.5	Störfestigkeit im Frequenzbereich .....	66
4.3	Elektrostatische Entladung (ESD) .....	67
4.4	EMC-Prüfeinrichtungen in der Kraftfahrzeugtechnik .....	70
4.4.1	Überprüfung leitungsgebundener Störimpulse im Zeitbereich ..	70
4.4.1.1	Leitungsgebundene Störaussendung .....	70
4.4.1.2	Störfestigkeit bei den Impulsen 1, 2, 4, 5 (Impulsgenerator) .....	71
4.4.1.3	Störfestigkeit bei den Impulsen 3a und 3b (Koppelzange) .....	71
4.4.2	ESD-Prüfeinrichtung .....	73
4.4.3	Überprüfung gestrahlter Störaussendungen/Störfestigkeit .....	73
4.4.3.1	TEM-Zelle (transversal-elektromagnetische Welle) .....	74
4.4.3.2	Strip-Line .....	76
4.4.3.3	Absorberhalle/Absorberraum .....	77
4.4.4	Überprüfung leitungsgebundener Störabstrahlung/ Störfestigkeit (Strom-Einkopplungszone) .....	79
4.5	Verhalten von Bauelementen unter EMC-Einfluss .....	81
4.5.1	Energiereiche Störimpulse auf Leitungen .....	81
4.5.2	Gestrahlte Störeinflüsse .....	83
4.6	Verbesserung des EMC-Verhaltens in einer Kfz-Elektronik .....	84

## **5 Weitergehende Anforderungen an Kraftfahrzeugelektronik ... 87**

5.1	Mechanische Anforderungen .....	87
5.1.1	Mechanische Schwingung .....	88
5.1.2	Mechanischer Stoß .....	89
5.1.3	Freier Fall .....	89
5.2	Klimatische Anforderungen .....	90
5.2.1	Temperatur-Wechselprüfung .....	90

5.2.2	Temperatur-Schockprüfung .....	92
5.2.3	Klimaprüfung .....	93
5.2.4	Salznebel-Prüfung .....	94
5.2.5	Dichtigkeit gegen Wasser und Staub .....	95
5.3	Chemische Anforderungen .....	97

## **6 Grundlegende Methoden, Berechnungen und Sichtweisen für die Entwicklung von Kraftfahrzeugelektronik ..... 97**

6.1	Entwicklungsphasen .....	97
6.2	Musterphasen .....	100
6.3	Schritte für die Entwicklung einer Kraftfahrzeugelektronik .....	101
6.3.1	Strukturierung nach der Top-Down-Methode .....	101
6.3.2	Schnittstellendefinition im Hardwarebereich .....	102
6.3.3	Entwicklung einer Schaltung .....	104
6.3.4	Anwendung von Simulationswerkzeugen .....	105
6.3.5	Worst-Case-Rechnung .....	106

## **7 Modularisierung und Realisation von Kraftfahrzeugelektronik 115**

7.1	Grundsätzlicher Aufbau der Kraftfahrzeugelektronik .....	115
7.2	Stromversorgung .....	118
7.2.1	Standard-Spannungsregler .....	118
7.2.2	Ersatzschaltbild unter HF-Gesichtspunkten .....	119
7.2.3	Spannungsregler für den Kraftfahrzeugeinsatz .....	121
7.2.4	Beispiel einer kraftfahrzeugtauglichen Spannungsversorgung ..	122
7.3	Funktionserzeugung .....	125
7.3.1	Fest verdrahtete Logik (diskrete Hardware) .....	126
7.3.2	Verwendung eines applikationsspezifischen integrierten Schaltkreises (ASIC, integrierte Hardware) .....	127
7.3.3	Verwendung eines programmierbaren Steuerwerkes (Firmware) .....	128
7.3.4	Verwendung eines Mikrocontrollers ( $\mu$ C, Software) .....	130
7.4	Sensorik .....	130
7.4.1	Digitaler Eingang mit Verbindung zur Betriebsspannung .....	131
7.4.2	Digitaler Eingang ohne Verbindung zur Betriebsspannung .....	136
7.4.3	Analoger Eingang mit Verbindung zur Betriebsspannung .....	137
7.4.4	Analoger Eingang ohne Verbindung zur Betriebsspannung .....	139
7.5	Aktuatorik .....	142
7.5.1	Leistungsklassen (14-Volt-Bordnetz) .....	142
7.5.2	Realisation .....	142
7.5.3	Ansteuerung der Aktuatorik .....	143
7.5.4	Grundfunktionen .....	144
7.5.5	Analoge Leistungsregelung: Pulsweiten-Modulation (PWM) .....	145
7.5.6	Erzeugung der Diagnoseinformationen .....	150
7.5.7	Dynamische Abschaltvorgänge der Aktuatorik .....	154

7.5.8	Laststufen zur Ansteuerung der Aktuatorik: Low-Side-Schalter ..	158
7.5.8.1	Low-Side-Schalter mit Standard-MOS-Power-Transistor	158
7.5.8.2	Verbesserung des Kurzschluss- und Überlast- verhaltens durch Verwendung eines selbst- schützenden Transistors .....	159
7.5.8.3	Low-Side-Schalter mit einem Logic-Level-MOS-Power- Transistor .....	160
7.5.9	Laststufen zur Ansteuerung der Aktuatorik: High-Side-Schalter	162
7.5.9.1	Einführung .....	162
7.5.9.2	High-Side-Schalter unter Verwendung einer Ladungspumpe .....	164
7.5.9.3	High-Side-Schalter für den getakteten Betrieb (PWM) ..	167
7.5.9.4	Verwendung eines N-Kanal-CMOS-Power-Transistors mit integrierter Elektronik zur Ansteuerung .....	170
7.6	Kommunikation und Diagnose .....	172
7.7	Schnittstelle zur Anzeige .....	173
7.7.1	Ansteuerung einzelner Anzeigeelemente .....	173
7.7.2	Anschluss von Displays .....	175

## **8 Mikrocontroller in der Kraftfahrzeugelektronik ..... 177**

8.1	Mikrocontroller: Hardware .....	178
8.1.1	Grundstruktur eines Mikrocontrollers .....	178
8.1.2	Verwendung eines Mikrocontrollers (Prinzip) .....	180
8.1.3	Startphase eines Mikrocontrollers .....	182
8.2	Mikrocontroller: Grundlegende Überlegungen zur Software .....	184
8.2.1	Dynamische Softwaregrundstruktur .....	185
8.2.2	Erzeugung eines Watch-Dog-Signals .....	187
8.2.3	Verarbeitung digitaler Signale .....	190
8.2.4	Verarbeitung analoger Signale .....	193
8.2.5	Betriebssysteme für Mikrocontroller .....	195
8.2.6	Verarbeitung relativ langsamer Ereignisse .....	197
8.3	Entwicklungswerkzeuge .....	198
8.3.1	Ausführungsformen eines Mikrocontrollers .....	198
8.3.2	Assembler/Compiler/IDE .....	200
8.3.3	Überprüfung eines Mikrocontroller-Programms durch Einsatz eines Softwaresimulators .....	203
8.3.4	In-Circuit-Emulator unter Verwendung des Original- Mikrocontrollers (In-Circuit-Debugger (ICD)) .....	204
8.3.5	In-Circuit-Emulator (ICE) unter Verwendung eines Bond-Out-Chips .....	206
8.3.6	Kombinationsmethoden (Hardware in the Loop) .....	208
8.3.7	Prüfung von Softwarefunktionen .....	209
8.4	Einbindung eines Mikrocontrollers in eine EMC-kritische Umgebung ...	211
8.4.1	Hauptoszillator .....	211
8.4.2	Versorgungsleitungen .....	213
8.4.3	Ein-/Ausgangsleitungen .....	214

8.4.4	Verwendung externer Speicher .....	214
8.4.5	Layout der Leiterkarte .....	215

## **9 Diagnoseschnittstelle und Kommunikation in Fahrzeugen ..... 218**

9.1	Diagnoseschnittstelle .....	220
9.1.1	K-(L)-Line .....	221
9.1.2	Diagnose-CAN .....	227
9.2	Kommunikation mit anderen Systemen innerhalb des Fahrzeuges .....	228
9.2.1	Controller Area Network (CAN) .....	229
9.2.2	Local Interconnect Network (LIN-Bus) .....	234
9.2.3	Zeitsynchrone Sicherheitskommunikation .....	235
9.2.3.1	FlexRay-Bus .....	236
9.2.3.2	Physikalische Bitübertragung beim FlexRay .....	239
9.3	Kommunikation im Entertainment-Bereich innerhalb des Fahrzeuges (MOST-Bus) .....	240
9.4	Ethernet im Fahrzeug .....	242
9.5	Zusammenfassung und Ausblick .....	246
9.5.1	Übersicht über die Kommunikationsformen .....	246
9.5.2	Ausblick auf die Zukunft .....	247

## **10 Spezialthemen der Kfz-Hardwareentwicklung ..... 247**

10.1	Verpolschutz .....	247
10.1.1	Die Verpolschutzdiode .....	247
10.1.2	Verpolschutz durch Abschmelzen einer Sicherung .....	248
10.1.3	Inverser Betrieb eines N-Kanal-MOS-Power-Transistors .....	250
10.1.4	Verpolung bei einem N-Kanal-MOS-Power-Transistor .....	252
10.1.5	Verpolschutz durch einen invers betriebenen N-Kanal-MOS-Power-Transistor .....	255
10.1.6	Verpolschutzrelais .....	258
10.2	Grundsätzlicher Einfluss der nicht elektrischen Umgebungsbedingungen auf die Elektronik .....	261
10.2.1	Temperatur .....	261
10.2.2	Feuchtigkeit und Staub .....	264
10.2.3	Mechanische Einflüsse .....	265
10.3	End-of-Line (EOL)-Programmierung .....	265
10.3.1	Verschiedene Abgleichverfahren .....	266
10.3.1.1	Abgleich durch Verwendung eines Potentiometers .....	266
10.3.1.2	Abgleich durch eine Auswahlkette .....	266
10.3.1.3	Abgleich auf voll elektronischem Wege unter Verwendung des Mikrocontrollers .....	267
10.3.2	Prinzip der End-of-Line-Programmierung .....	267
10.3.3	Beispiel für den Abgleich eines analogen Einganges eines Mikrocontrollers .....	267
10.3.4	Korrektur des Temperaturverhaltens einer Kraftfahrzeugelektronik .....	271



# 1

## Einleitung: Grundlagen der Schaltungstechnik für Kfz-Elektronik

Vergleicht man die Anforderungen an moderne Kraftfahrzeuge mit denen vor 15 oder 20 Jahren, so ist festzustellen, dass sich neben der reinen technischen Verbesserung des Systems Kraftfahrzeug auch der Stellenwert des Fahrzeuges innerhalb der modernen Gesellschaft drastisch verändert hat. Die individuelle Mobilität der Menschen in den hoch industrialisierten Ländern, speziell außerhalb der Ballungsgebiete, wird heutzutage als ein Grundrecht betrachtet und auch so ausgeführt.

Dabei wird vorausgesetzt, dass das Transportmedium (z.B. das Auto) zu jeder Zeit und unter jeder Umgebungsbedingung perfekt funktioniert und eine lange Lebensdauer ohne Störungen aufweist. Hinzu kommt, dass durch die aktuellen Diskussionen innerhalb der Gesellschaft und auf der politischen Ebene ständig neue Anforderungen an moderne Kraftfahrzeugsysteme formuliert werden, die dann innerhalb weniger Jahre als Standard in die Fahrzeuge Einzug halten.

Es ist festzustellen, dass der größte Anteil dieser neuen Forderungen in Systemveränderungen resultiert, die ohne den Einsatz modernster Elektronik nicht mehr zu realisieren wären. Die wichtigsten Schwerpunkte dieser Veränderungen sind:

- ständig neue und verschärfte Abgasrichtlinien
- ständige Verringerung des Kraftstoffverbrauchs pro gefahrener Strecke
- Verschärfung der Sicherheitsanforderungen für die Fahrzeuginsassen im Falle eines Unfalls
- Sicherheit in der Bedienung des Fahrzeuges
- aktive Unterstützung des Fahrers im normalen Fahrbetrieb durch moderne Systeme, die in das Fahrverhalten des Fahrzeuges eingreifen, wie z.B. elektronische Stabilitätssysteme usw.
- erhöhte Anforderungen an den Fahrkomfort (wie z.B. Klima- oder Navigationssystem).

Durch die Verschärfung des Konkurrenzdrucks zwischen den Fahrzeugherstellern oder den Zulieferern im Zuge der Globalisierungsprozesse müssen die o.g. Eigenschaften bei immer geringeren Kosten bereitgestellt werden können.

Als Folge davon werden ständig neue Systeme entwickelt und bereits vorhandene Systeme überarbeitet. Diese Überarbeitungen haben folgende Ziele:



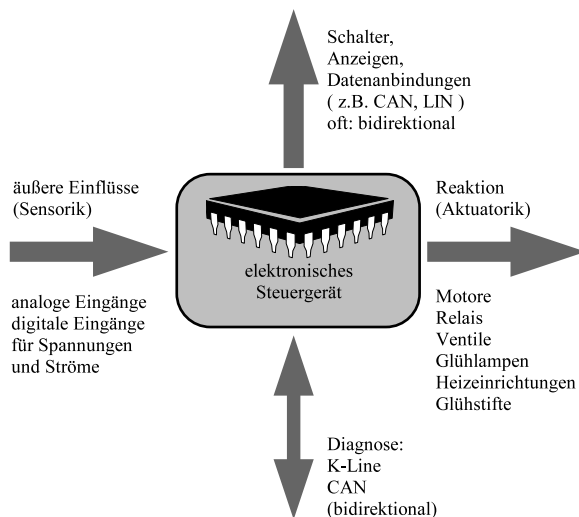
- Verbesserung der Zuverlässigkeit
- Verbesserung des Bedienkomforts
- Erhöhung der Sicherheit
- Verkleinerung der mechanischen Abmessungen
- Verringerung des Gewichtes
- kostengünstigere Produktion im Allgemeinen (Bauteile, Prozess usw.)
- Nachentwicklung von vorhandenen Systemen bei Bauteileabkündigungen.

Dieses gesamte Problemfeld kann jetzt und in Zukunft nur dadurch erfolgreich bearbeitet werden, dass die Entwicklungsaufwendungen innerhalb der Entwicklungsabteilungen der Fahrzeughersteller oder Fahrzeugzulieferindustrie ständig verstärkt werden.

Das ununterbrochene rasante Anwachsen des Fachwissens auf diesem Gebiet kann nur durch eine ständige Weiterbildung der Entwicklungsingenieure beherrscht werden.

Im folgenden Kapitel soll nach einer allgemeinen Betrachtung konkret darauf eingegangen werden, welche Besonderheiten elektronische bzw. elektromechanische Systeme in Kraftfahrzeugen aufweisen.

Die meisten elektronischen Systeme in Fahrzeugen sind verdeckt verbaut, das bedeutet, der Fahrzeugnutzer merkt das Vorhandensein eines speziellen Systems erst, wenn dieses ihm eine Nachricht schickt bzw. eine gewünschte Funktion durchführt.



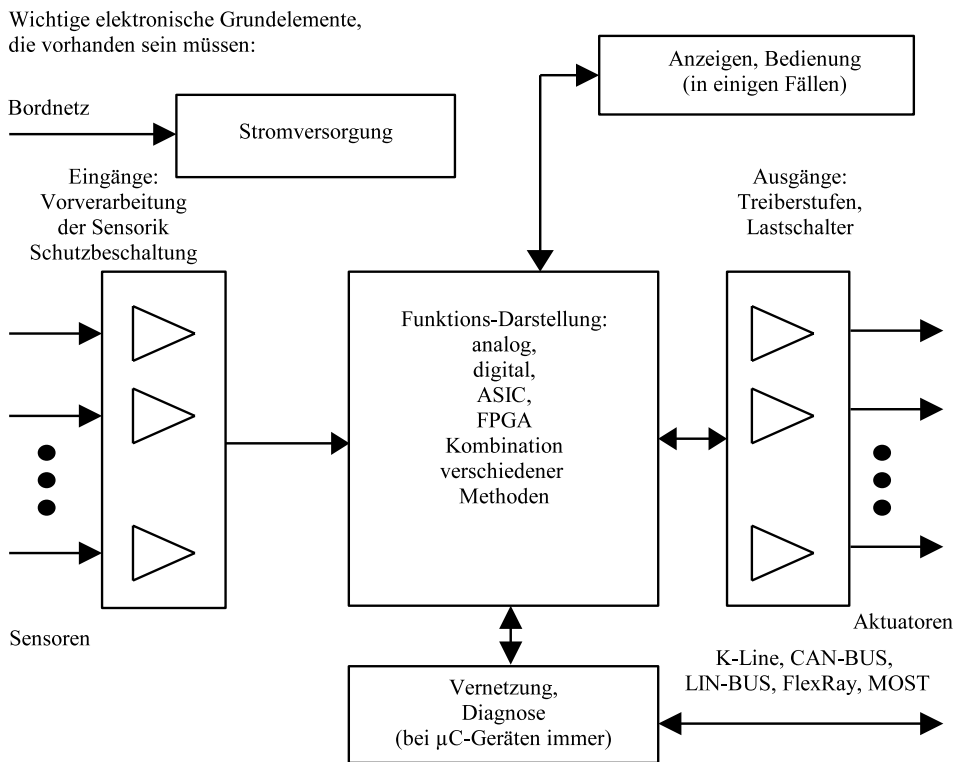
**Bild 1.1** Interaktion eines elektronischen Steuergerätes in Kraftfahrzeugen

Natürlich gibt es auch Systeme, die direkt mit dem Fahrer interagieren (wie z.B. Schalter und Anzeigenmodule). Ganz allgemein betrachtet beinhalten fast alle elektronischen Systeme in Kraftfahrzeugen prinzipiell vier Schnittstellengruppen:

- äußere Einflüsse (Sensorik)
- Reaktionen auf diese Einflüsse (Aktuatorik)
- Kommunikation mit anderen Systemen oder mit dem Bediener
- Diagnoseinformationen.

Das komplette System besteht also auf der einen Seite aus mechanischen Elementen, wie z.B. speziell verbauten Sensoren oder auch Antriebsmotoren, auf der anderen Seite aus einem Steuergerät, das die Bereitstellung der geforderten Funktionalität durchführt.

Diese äußere Struktur kann nun heruntergebrochen werden auf die innere Struktur eines Steuergerätes, man erhält so eine ganz grobe Strukturierung der Hardware in einzelne Funktionsblöcke:



**Bild 1.2** Grundelemente einer Kraftfahrzeugelektronik

- Stromversorgung
- Zentraleinheit (Darstellung der eigentlichen Funktionalität, analog oder digital)
- Eingänge (Verarbeitung der Sensorik, Schalter, Vorverstärkung von Signalen usw.)

- Ausgänge (Ansteuerung der Aktuatorik unterschiedlichster Art mit unterschiedlichen Strömen)
- Schnittstelleninterface (externe Diagnose oder Kommunikation mit anderen Systemen)
- Schnittstelle zur Anzeige und ggf. zum Fahrer.

Im folgenden Kapitel wird auch beispielhaft dargestellt, welche elektronischen Systemgruppen derzeit in modernen Kraftfahrzeugen verbaut werden und aus welchen Einzelsystemen sie bestehen.

Bevor in Kapitel 7 im Einzelnen auf die Besonderheiten bei der Realisation (Entwicklung) einer derartigen Elektronik eingegangen wird, werden zunächst die Umwelanforderungen an Fahrzeugelektronik beschrieben, die meist einen erheblichen Einfluss auf das zu wählende Realisationsprinzip haben und oft zunächst einfach aussehende Teilprobleme erheblich komplizieren können.

# 2

## Elektronische Systeme in Kraftfahrzeugen

Der Einsatz von Elektronik in Kraftfahrzeugen hat in den letzten Jahren stark zugenommen und wird auch zukünftig noch weiter steigen. Eine der Hauptmotivationen besteht darin, dass es in der heutigen Zeit erforderlich ist, Elektronik einzusetzen, um technologische Verbesserungen durchzuführen bzw. neue innovative Systeme überhaupt erst möglich zu machen. Fast alle Funktionalitäten innerhalb eines modernen Kraftfahrzeuges werden daher von oder mit Elektronik realisiert.

Auf Grund der Tatsache, dass eine Vielzahl von elektronischen Systemen auch zu einer Vielzahl von elektrischen Anschlussleitungen führt, hat sich in den letzten Jahren die Notwendigkeit ergeben, derartige Systeme miteinander zu vernetzen. Nur so ist es prinzipiell möglich, eine umfangreiche Funktionalität darzustellen, ohne dass das als Verbindungselement dienende Bordnetz extrem große Ausmaße annimmt (Anzahl der Leitungen innerhalb der Kabelstränge).

Wie in Abschnitt 7.6.2 noch näher beschrieben wird, existieren derzeit für derartige Vernetzungen unterschiedliche Bussysteme. Als Beispiel seien hier genannt: der sog. CAN-Bus, der LIN-Bus oder auch der MOST-Bus.

Die Bus-Typen zur Vernetzung von elektronischen Systemen in Kraftfahrzeugen verwendet man als Strukturierungsmerkmal für die Kraftfahrzeugelektronik. Als Hauptgruppen ergeben sich daraus:

- elektronische Systeme im Motorraum
- elektronische Systeme innerhalb der Fahrgastzelle
- Infotainment-Systeme
- Systeme zur drahtlosen Kommunikation mit anderen Fahrzeugen oder Kommunikationsstellen außerhalb des Fahrzeuges (Telematik).

In den folgenden Abschnitten werden nun einige Beispiele aufgeführt, die entsprechenden Systemgruppen zuzuordnen sind. Dabei werden die Systeme nur genannt, ohne sie genau technisch zu beschreiben. Das würde den Umfang dieses Buches sprengen und ist auch nicht das Ziel.

## ■ 2.1 Elektronische Systeme im Motorraum

Die Vernetzung geschieht oft unter Verwendung eines CAN-Bus mit hoher Datengeschwindigkeit (des sog. High-Speed-CAN-Bus). Zukünftig werden auch schnelle Hochsicherheitsbusse (FlexRay, TTP) eingesetzt.

Beispiele:

- Motorelektronik
- Getriebesteuerung
- Leuchtweitenregulierung
- elektrisch unterstützte Lenkung
- Standheizung
- adaptive Fahrwerksregelung
- Anti-Blockier-System
- elektronisches Stabilitäts-Modul
- Antriebsschlupfregelung
- elektronisches Zündschloss
- Kombiinstrument
- Airbag-Steuerung
- elektronischer Bremsassistent.

## ■ 2.2 Elektronische Systeme innerhalb der Fahrgastzelle

Bei der Vernetzung dieser Systeme wird ebenfalls oft ein CAN-Bus verwendet, jedoch mit einer geringeren Datenübertragungsrate (der sog. Low-Speed-CAN-Bus).

Beispiele:

- zentrales Diagnose-Gateway
- Kombiinstrument
- Dachmodul
- Wischersteuerung vorn und hinten
- Einparkhilfe
- Zentralelektronik mit Steuerung der gesamten Front- und Heckbeleuchtung, Energiemanagement, Steuerung der Heizeinrichtungen für Heckscheibe, Spiegel und Waschdüsen, Erfassung sämtlicher Schalter

- programmierbare Sitzverstellung für Fahrer und Beifahrersitz
- Keyless-Go- bzw. Keyless-Entry-Systeme
- Sitzheizung für Fahrer- bzw. Beifahrersitz
- Sitzbelegungserkennung
- Steuerung der Innenbeleuchtung
- Steuerung der Armaturenbrettbeleuchtung
- Klimaregelung mit Klappenverstellung inkl. Umluftklappe, Gebläsesteuerung, diverse Temperatur-Sensoren
- Türsteuergeräte jeweils für vorn-links, vorn-rechts, hinten-links und hinten-rechts und Heckklappe mit Fensterheber, Türschlossbedienung, Spiegelverstellung, verschiedenen Bedienfelder, Funkfernbedienung für die Türen, Lampenausfallkontrolle.

## ■ 2.3 Infotainment-Systeme

Die Verbindung dieser Systeme untereinander geschieht heute noch unter Verwendung verschiedener Bussysteme wie z. B. eines CAN- oder auch eines MOST-Bus.

Beispiele:

- Radioanlage mit Verstärker und Lautsprecher
- Telefonanlage
- Navigationssystem
- CD-Wechsler
- Fernsehempfänger (TV-Tuner)
- Sprachbedienung
- Bildschirmsteuerung.

## ■ 2.4 Fahrerassistenzsysteme

Innerhalb der letzten Jahre sind eine Vielzahl von neuen Systemen in der Serie eingeführt worden oder befinden sich noch in der Entwicklungsphase, die das Umfeld des Fahrzeuges erfassen und überwachen können. Somit ist es möglich, den Fahrer zu unterstützen.

Die Anzahl dieser Systeme wird in Zukunft noch weiter zunehmen, hier nun einige Systeme (beispielhaft):

- automatisches Einparken, längs und quer
- kameragesteuerte Ausleuchtung des Fahrzeugvorfeldes
- Fahrsituationserkennung

- Erkennung von Verkehrsschildern mit Fahreingriff
- Radarerfassung des Fahrbereiches vor dem Fahrzeug
- automatischer Spurwechselassistent
- Erfassung des „toten Winkels“
- Radar-Rundumerkennung von Hindernissen oder anderen Verkehrsteilnehmern
- Erkennung der Ermüdung des Fahrers (ggf. mit Kamera)
- automatisches Abstandsradar mit Notbremsfunktion bis zum Stillstand
- autonomes Fahren
- autonomes Überholen
- Zugriff auf das Internet (Cloud-Zugriff).

## ■ 2.5 Weitere Systeme

Beispiele:

- Frontscheibenheizung
- Steuerung der Katalysatorvorwärmung
- elektrische Zusatzheizung
- Reifendruckerkennung
- adaptive Frontbeleuchtung
- Bremsbelag-Sensorik
- adaptive Geschwindigkeitsregelung (ACC)
- elektronisches Gaspedal (E-Gas)
- adaptives Bremslicht.

Wie bereits angedeutet, kann es sich bei dieser groben Übersicht nur um einige Beispiele handeln, die in verschiedenen Fahrzeugen je nach Ausstattung heutzutage verbaut werden.

Die genaue Strukturierung dieser Systeme untereinander ist naturgemäß von Fahrzeugtyp zu Fahrzeugtyp und auch zwischen den Fahrzeugen verschiedener Fahrzeughersteller höchst unterschiedlich.

Die hier beschriebene Struktur wird sich zukünftig stark weiterentwickeln. Das bedeutet, dass noch viele neue elektronische Systeme in die Kraftfahrzeuge hinein eingebaut werden, die auch zu völlig neuen Systemstrukturen führen.

Ein möglicher Trend wird sein, elektronische Steuergeräte bzw. heute noch zum Teil diskret realisierte Steuerungen zusammenzufassen, die sich örtlich innerhalb eines Fahr-

zeuges in der Nähe befinden, um so höher integrierte und von der Funktionalität her leistungsfähigere Zentralsysteme zu erhalten.

Es ist bei einigen Fahrzeugen bereits üblich, verschiedene sog. Zentralelektronik-Module zu verwenden, die eine Vielzahl von einzelnen Funktionen zusammenfassen. Man erhält so z. B.:

- eine Zentralelektronik für den Frontbereich,
- eine für den Heckbereich und
- eine für den Motorbereich.

Diese Überlegungen gehen teilweise sogar so weit, zukünftig innerhalb eines Fahrzeuges elektronisch gesehen nur noch relativ einfache Steuerungen für die Aktuatorik vorzusehen und die gesamte Funktionalität an einer Stelle in einem sehr leistungsfähigen Zentralrechner zusammenzufassen, um Kostenvorteile zu erhalten. Man würde so eine völlig zentrale Systemarchitektur erhalten.

Welche Entwicklung sich durchsetzen wird, ist derzeit noch nicht abzusehen. Dennoch ist bereits heute festzustellen: Während die elektronischen Systeme einer dezentralen Struktur im Fehlerfall noch einen sog. Notlauf ermöglichen, wäre bei einer vollkommen zentralen Architektur beim Ausfall des Zentralrechners sofort und unmittelbar das gesamte Fahrzeug betroffen und wahrscheinlich auch nicht mehr funktionsfähig. Diese beiden Betrachtungsweisen werden in absehbarer Zeit noch zu erheblichen Diskussionen innerhalb der Fachwelt führen.

## ■ 2.6 Kommunikation mit externen Systemen außerhalb des Fahrzeuges (Telematik)

Die Telematik ist ein vergleichsweise noch recht junges technisches Gebiet innerhalb der Kraftfahrzeugumgebung. Es geht dabei in erster Linie um eine Datenübertragung von und zu externen Fahrzeugsystemen. Dazu kann man auch die Systeme aus dem Infotainment-Bereich zählen, die ihre Information ebenfalls drahtlos erhalten, wie z. B. die Radioanlage.

Auch hier gibt es verschiedene Ansätze, die zum einen Teil heute schon realisiert sind, zum anderen Teil jedoch Perspektiven darstellen:

- Internet-Kommunikation aus dem Fahrzeug heraus, über D/E-Netz, Telefonverbindungen, UMTS oder LTE
- Fernsehempfang im Fahrzeug
- Übertragung von Telemetrie-Daten (Maut-Gebühren)
- Empfang von Navigationsdaten (GPS, Global-Positioning-System)
- Empfang von selektiv ausgewählten Verkehrsnachrichten in Verbindung mit der aktuellen Position und dem Fahrziel des Fahrzeuges
- Übertragung von Zustandsdaten verschiedener Fahrzeugsysteme, um Diagnose- oder Serviceaktivitäten vorzubereiten oder zu diagnostizieren.



Einige weitergehende Möglichkeiten werden sich erst mittelfristig durchsetzen, da sich mit deren Einführung Fragen auf dem rechtlichen Gebiet und unter Datenschutzaspekten auftun, die derzeit noch nicht geklärt sind.

Die Notwendigkeit für deren Einführung ergibt sich nach heutigem Wissensstand daraus, dass bei zunehmender Verkehrsdichte in Zukunft die Anzahl der schweren Unfälle mit Personenschäden nur noch durch vermehrten Einsatz von Systemen erreicht werden kann, die kritische Fahrsituationen vorausschauend erkennen und ggf. sogar Zwangseingriffe im eigenen Fahrzeug einleiten.

Eine Lösung wäre die Kommunikation mit anderen Fahrzeugen in mittelbarer bzw. unmittelbarer Nähe zum eigenen Fahrzeug (Austausch von Fahrdaten bzw. Fahrzeugzuständen).

**Beispiel:**

Plötzliches Bremsen eines Fahrzeuges in einer Kolonne mit unmittelbarer Übertragung dieser Funktion auf alle nachfolgenden Fahrzeuge, um dort ebenfalls eine Zwangsbremse auszulösen.

Analoge Funktionen sind auch bei einer Beschleunigung denkbar. Die Konsequenz für den Fahrzeugführer wäre, dass er gegebenenfalls akzeptieren muss, dass sein Fahrzeug Aktionen einleitet, die er so nicht veranlasst hat und die ihn unter Umständen überraschend treffen.

Das Gebiet der Telematik stellt sich also als ein sehr umfangreiches und komplexes Themenfeld dar, das zur besseren Übersichtlichkeit hier in fünf Bereiche aufgeteilt werden soll.

### **2.6.1 Telematik-Infotainment-/Büro-Bereich**

Obwohl einige dieser technischen Möglichkeiten bereits seit langer Zeit in Fahrzeugen zu finden sind (z. B. Radio), ist davon auszugehen, dass zukünftig dieser Bereich stark ausgeweitet wird. Die sich dabei auftuenden neuen Aspekte sind neben Grundfunktionalitäten die Bedienbarkeit komplexer Systeme im Fahrzeug, ggf. sogar vom Fahrer während der Fahrt:

- Rundfunkempfang
- Telefon (D-/E-Netz oder UMTS)
- Internetanbindung
- TV-Empfang (terrestrisch oder über Satellit).

Dazu sind neuartige Verfahren notwendig, wie z. B. Head-up-Display, Spracheingabe oder die berührungslose Bedienung durch einen Fingerzeig.

### **2.6.2 Telematik-Navigationsbereich**

Um den zukünftigen Verkehr überhaupt noch tragen zu können, ist eine gleichmäßigere Auslastung der Straßen erforderlich, die nur durch weitergehende technische Einrichtungen ermöglicht werden kann. Dazu gehört eine Verknüpfung der aktuellen Position eines

Fahrzeuges mit seinem Fahrziel unter Einbindung der Verkehrssituation in unmittelbarer und mittelbarer Umgebung.

Nur so können Verkehrsströme bei hohem Verkehrsaufkommen intelligent um aktuelle Unfallsituationen oder andere Störungen (Baustellen usw.) herumgeleitet werden, ohne dass es zu den heute üblichen Staus kommt.

Neben der so möglichen Entlastung der Straßen und der Reduktion von Unfällen ist hier auch unbedingt der positive Umweltaspekt zu betrachten, da jeder verhinderte Stau den Treibstoffverbrauch der gesamten Fahrzeugflotte verringert.

Eine technologische Ausweitung in diese Richtung ist zwar heute schon in der Diskussion und auch an einigen Stellen in der Forschung und Vorerprobung, jedoch ist der Weg bis zu einem stabil und zielführend arbeitenden Gesamtsystem, das europaweit zuverlässig funktioniert, noch weit.

Beispiele:

- adaptive GPS-Navigation
- ständiges Update der Karten-Daten
- Verarbeitung von Situationsdaten
- neuartige Mensch-Fahrzeug-Interfaces (z. B. Head-up-Displays).

### 2.6.3 Telematik-Fahrsituationsbereich

Gemeint ist hier der Austausch von Daten zwischen den Fahrzeugen oder auch von und zu Feststationen, um rechtzeitig auf kritische Situationen reagieren zu können, wie bereits oben erwähnt.

Heute stellt eine fahruntypische Situation, wie z. B. die Vollbremsung eines Verkehrsteilnehmers, eine Gefahr für die sich in der Nähe befindlichen anderen Fahrzeuge dar. Es ist denkbar, dass sich die Situation durch Austausch verschiedener Fahrsituationsdaten entschärfen lässt.

Diese Kommunikation muss allerdings einhergehen mit der Möglichkeit, in den benachbarten Fahrzeugen Aktionen automatisch auszulösen (z. B. Bremsen), die den Fahrer überraschend treffen können. Derartige Dinge erfordern noch eine eingehende gesellschaftliche Diskussion:

- Vollbremsung eines vorausfahrenden Fahrzeuges
- Warnung vor einem Falschfahrer
- Situation des Gegenverkehrs für Überholvorgänge
- Warnung vor Pannenfahrzeugen
- auftretende Sichtbehinderungen
- Glatteis/Regen.

### 2.6.4 Telematik-Servicebereich

Innerhalb der letzten Jahrzehnte sind die Fahrzeuge auf den Straßen wesentlich zuverlässiger und ressourcenschonender geworden. Dennoch ist die Notwendigkeit, in bestimmten Abständen einen Service-Betrieb aufsuchen zu müssen, für die meisten Fahrzeugführer eine kostenintensive und oft auch zeitlich umständliche Aktion. Sie sollte daher erst dann stattfinden, wenn eine begründete Notwendigkeit dazu besteht.

An Stelle einer kompletten und zeitintensiven Untersuchung in einer Werkstatt kann durch Übertragung geeigneter Systemdaten aus dem Fahrzeug heraus (Zustände der technischen Systeme im Fahrzeug) über eine große Entfernung zu einer Service-Stelle eine zielgerichtete Diagnose erstellt werden. Die Notwendigkeit eines Werkstattbesuches und die dann durchzuführenden Arbeiten würden so individuell zum optimalen Zeitpunkt erfolgen und zielgerichtet ablaufen.

Diese Funktionalität kann auch unterwegs bei einer Panne zu einer erheblichen Verbesserung der Hilfemöglichkeiten des Pannenspersonals führen.

Hinzu kommt ein weiterer Aspekt: Durch die ansteigende Komplexität moderner Fahrzeuge wird es für die Service-Betriebe immer schwerer, Fehler in der vernetzten Elektronik zu diagnostizieren. Eine Analyse geeigneter Daten durch besonders geschultes Fachpersonal in einem ggf. weit entfernten spezialisierten Analyse-Zentrum kann die Reparatur in Zusammenarbeit mit dem Service-Personal vor Ort für den Kunden schneller, zielgerichteter und preiswerter gestalten.

Beispiele:

- Voranalyse und Übertragung der Systemdaten eines Fahrzeuges
- verbesserte Hilfe bei Pannen
- erweiterte Analysemöglichkeit durch speziell geschultes Fachpersonal, ggf. weltweit
- Zeit- und Kosteneinsparung.

### 2.6.5 Telematik-Inkasso-Bereich

Obwohl in der derzeitigen Diskussion einige Bedenken geäußert werden, ob es sinnvoll oder erstrebenswert ist, eine automatische Fahrstreckenerfassung unter Verwendung von GPS-Systemen oder anderer Techniken einzuführen bzw. zu nutzen, ist es doch sehr wahrscheinlich, dass in naher Zukunft derartige Systeme technisch fehlerfrei funktionieren und eingesetzt werden.

Es ist in der heutigen und zukünftigen wirtschaftlichen Situation offensichtlich eine politisch gewollte Möglichkeit, zu jeder Zeit den Straßenverkehr zu erfassen und ggf. den Verkehrsteilnehmer, der eine Straße befährt, zusätzlich zu den bereits geleisteten Zahlungen über die verschiedenen Steuern benutzungsabhängig an weiteren Zahlungen zu beteiligen (Maut-Gebühren). Der Einsatz moderner Technik ermöglicht zukünftig eine schnelle Ausweitung dieser Erfassungen auch auf alle Straßen und Fahrzeuge.

Ein weitergehender Gedanke ist der, hoch belastete Fahrstrecken zeitabhängig mit unterschiedlichen Gebührensätzen zu belegen, um so ein zusätzliches Mittel der Verkehrslenkung zu erhalten.

Auf Grund der zu erwartenden stark steigenden Komplexität dieses Gebietes ist mit einem erhöhten technischen Forschungs- und Entwicklungsaufwand zu rechnen.

Wie bereits angedeutet, sind vor der Einführung derartiger Systeme, (die auf dem technischen Gebiet vom Prinzip her realisierbar wären) innerhalb der Gesellschaft erst noch ausführliche Diskussionen zu führen, bis eine Akzeptanz erreicht werden kann.

Zusammenfassung: Die Vielfalt der Systeme und neuen elektronisch gesteuerten Funktionen innerhalb eines Kraftfahrzeuges wird in der Zukunft noch weiter ansteigen, wie z.B.:

- automatische Umfeldwahrnehmung rund um das Fahrzeug, optisch und/oder mittels Radar
- Fahrerassistenzsysteme
- automatische Notbremse
- Kommunikation mit in unmittelbarer Nähe fahrenden Fahrzeugen bezüglich der Fahrsituation usw.
- autonomes Fahren.

Die technologischen Anforderungen steigen damit immer weiter an und erfordern seitens der Entwicklerteams immer mehr Fachwissen.

# 3

## Umgebungsanforderungen im Kraftfahrzeug und die Auswirkungen auf die Elektronik

### ■ 3.1 Allgemeine Bemerkungen

Die Verwendung von elektronischen Systemen in Kraftfahrzeugen erfordert erhebliche Schutzmaßnahmen für diese Ausrüstungen, um Störungen oder Frühausfälle zu vermeiden.

Im Gegensatz zu vielen anderen elektronischen Systemen des alltäglichen Lebens, wie z. B. Geräten aus der Unterhaltungsindustrie oder der Haushaltselektronik, handelt es sich bei einem Kraftfahrzeug um ein System, das in höchst unterschiedlichen Umgebungssituationen zum Einsatz kommt: von winterlichen Bedingungen in arktischen Bereichen bis hin zur Wüste.

Hinzu kommt noch ein weiterer Aspekt, der die besondere Situation in Kraftfahrzeugen kennzeichnet:

Bei einem Kraftfahrzeug handelt es sich bei Betrachtung der elektrischen Versorgung aller Komponenten um ein kleines „Inselnetz“, bestehend aus Generator, Speichereinheit für elektrische Energie (Akkumulator, Batterie), Verteilung (Bordnetzverkabelung) und Verbraucher (z. B. elektromechanische Systeme).

Es ist also hier nicht möglich, wie im Haushalts-Versorgungsnetz, auf ein großes System von Energieverteilungseinrichtungen zurückzugreifen, die sich gegenseitig elektrisch stabilisieren. Jede Art von Laständerung (z. B. Schaltvorgänge) oder mechanische Einflüsse (wie etwa die Drehzahländerung des Motors, Temperaturschwankungen) auf den Generator führen zu dynamischen Vorgängen auf dem kompletten Bordnetz mit möglichen Folgen für die Elektronik. Das lässt sich prinzipiell niemals vermeiden. Auch in zukünftigen neuen Bordnetzen, wie dem angedachten 48-V-Bordnetz (Mild-Hybridfahrzeug oder darüber hinaus wie beim Full-Hybridfahrzeug), wird erheblich mit derartigen Einflüssen zu rechnen sein.

Je nach Art dieser Ereignisse sind die Auswirkungen auf ein Bordnetz sehr unterschiedlich und rufen dementsprechend auch verschiedene elektrische Reaktionen hervor. Im Abschnitt über die elektromagnetische Verträglichkeit (Kapitel 4) wird noch näher darauf eingegangen.

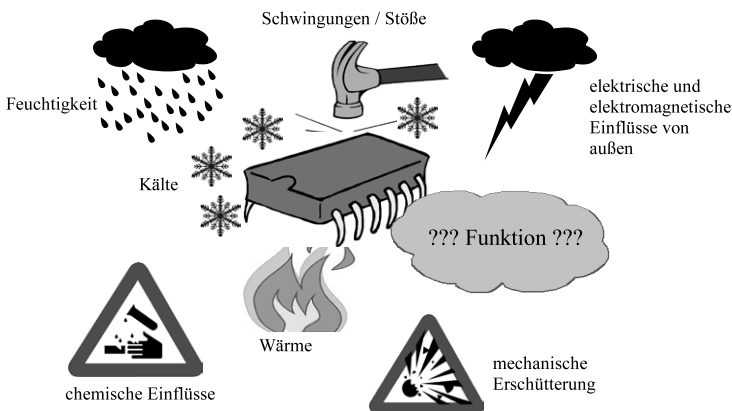
Insgesamt sollen diese Einflüsse mit „**elektrische Umwelteinflüsse**“ bezeichnet werden. Neben den rein elektrischen Umwelteinflüssen sind bei der Realisation von Kraftfahrzeugelektroniken zusätzlich noch weitere Einflüsse zu beachten, die ggf. sehr große Auswirkungen auf die Funktionalität einer Elektronik haben können.

Diese „**nicht elektrischen Umwelteinflüsse**“ können je nach Einbausituation sehr unterschiedlich sein. Bezüglich der Einbauorte von Kraftfahrzeugelektronik sind dabei grundsätzlich verschiedene Unterscheidungen möglich, meist reicht jedoch die Unterteilung in zwei Klassen aus:

- der Verbau in einem Bereich, der nicht direkt den Witterungseinflüssen unterliegt (z. B. innerhalb der Fahrzeugkabine)
- der Verbau im Außenbereich (inkl. Motorraum), der direkten Kontakt zu den Witterungseinflüssen hat.

Allgemein kann man die nicht elektrischen Umgebungsanforderungen für Elektronik in Kraftfahrzeugen in folgende Themengebiete unterteilen:

- mechanische Anforderungen (Schwingung, Stoßbeanspruchung usw.)
- Anforderungen an die Klimabeständigkeit (Feuchte, Temperatur)
- chemische Anforderungen an Elektronik in Kraftfahrzeugen (Salznebel, Kraftstoffe, Schmierstoffe, Reinigungsmittel usw.).



**Bild 3.1** Die Umweltbedingungen für Kraftfahrzeugelektronik

Diese Anforderungen sind notwendig, um im alltäglichen Betrieb einer Kraftfahrzeugelektronik keine Störungen zu erhalten. Das bedeutet jedoch auch einen erheblichen Entwicklungsaufwand und damit Entwicklungskosten.

In der heutigen Zeit wird dabei gelegentlich an der einen oder anderen Stelle gespart mit der Folge, dass Fahrzeuge im Extremfall sogar in die Werkstätten zurückgerufen werden müssen, um die fehlerhaften Systeme auszutauschen, was noch höhere Kosten verursacht. In den nächsten Abschnitten wird näher auf diese Anforderungen eingegangen.

Oft ist es sehr schwierig, diese Anforderungen alle mit den zur Verfügung stehenden Bauteilen und Finanzmitteln innerhalb der gesetzten Entwicklungszeiten zu erfüllen und überhaupt zu einem befriedigenden Ergebnis zu kommen.