Inhaltsverzeichnis

Vorwort v

1 Datenbussysteme **1**

1.1 Beispiel eines aktuellen Busstrukturplanes **1**
1.2 Entwicklung der elektronischen Systeme und Notwendigkeit von Bussystemen **3**
1.3 Grundlagen der verschiedenen Bussysteme **5**
1.4 CAN-Bus **9**
1.4.1 Signalaufprägung 9
1.4.2 Kommunikationsablauf 13
1.4.3 Diagnose 16
1.4.4 CAN FD 19
1.5 LIN-Bus **20**
1.6 Optische Datenbussysteme **23**
1.6.1 Signalübertragung über Lichtwellenleiter 23
1.6.2 MOST-Bus 26
1.6.3 Diagnose MOST-Bus 27
1.6.4 Byteflight 28
1.7 Bluetooth **29**
1.8 FlexRay **30**
1.9 Ethernet im Kfz **32**
1.10 Lesen unseres als Beispiel gewählten Busstrukturplanes **33**
1.11 Programmieren, Codieren, Personalisieren, Individualisieren **39**

2 Bordnetzmanagement und Bordnetzstrukturen **47**

2.1 Bordnetzstrukturen **47**
2.1.1 12-Volt-Bordnetz mit einer Batterie 47
2.1.2 Einspannungsbordnetz mit zwei Batterien 49
2.1.3 Zweispannungsbordnetz mit 48-Volt-Teilbordnetz 51
2.2 Elektrisches Energiemanagement / Bordnetzmanagement **53**
2.3 Aktuelle Bestandteile des Bordnetzes im Detail **56**
2.3.1 Batteriesensor 56
2.3.2 Fahrzeuggeneratoren 57
2.3.3 Aktuelle Entwicklungen (Startergenerator) 58
2.3.4 Batterien 60

Bibliografische Informationen
https://d-nb.info/1227351046

digitalisiert durch DEUTSCHE NATIONAL BIBLIOTHEK

3 Elektronische Motorsteuerung 65

3.1 Motorelektronik für Benzin-Direkteinspritzer ... 66
3.1.1 Systemübersicht und Beschreibung einer digitalen Motorelektronik eines Benzin-Direkteinspritzers ... 66
3.1.2 Ein- und Ausgangssignale im Detail, ihre Bedeutung für die Funktion und Auswirkung im Fehlerfall ... 69
3.2 Motorelektronik für Diesel-Direkteinspritzer ... 75
3.2.1 Speichereinspritzsystem – Common Rail für Dieselmotoren ... 75
3.2.2 Maßnahmen zur Abgasreduzierung bei Dieselmotoren ... 82
3.3 Europäische On-Board-Diagnose (E-OBD) ... 84
3.4 Alternative Antriebe mit Gas ... 86
3.4.1 Einführung und Begriffsdefinitionen ... 86
3.4.2 Erdgasantrieb ... 88
3.4.3 Autogasanlagen und Nachrüstungen ... 93
3.4.4 Gesetzliche Anforderungen ... 95
3.5 Historische Entwicklung der elektronischen Zündung ... 96
3.5.1 Kontaktlos gesteuerte Zündung ... 96
3.5.1.1 Induktive Signalauslösung bei der Transistorspulenzündung ... 99
3.5.1.2 Signalauslösung durch Hallgeber ... 99
3.5.1.3 Fehlersuche an kontaktlos gesteuerten Zündanlagen ... 101
3.5.2 Elektronische Zündung ... 104
3.5.2.1 Funktionsschema mit Ein- und Ausgängen am Steuergerät ... 105
3.5.2.2 Die Eingangssignale der elektronischen Zündung ... 106
3.5.2.3 Ausgangssignale und Hinweise zur Fehlersuche ... 110
3.5.3 Vollelektronische Zündung ... 110
3.5.3.1 Aufbau und Vorteile der ruhenden Hochspannungsverteilung ... 110
3.5.3.2 Ruhende Hochspannungsverteilung über Doppelfunkenspulen ... 111
3.5.3.3 Zündstromrückmeldung bei der ruhenden Hochspannungsverteilung ... 112
3.5.3.4 Hinweise zur Fehlersuche ... 113
3.6 Historische Entwicklung der Benzineinspritzsysteme ... 114
3.6.1 Kontinuierliche Einspritzung (K-Jetronic) ... 114
3.6.1.1 Funktionsbeschreibung und Systemübersicht ... 114
3.6.1.2 Bauteile und ihre Funktionsweise ... 116
3.6.1.3 Zusätzliche elektrisch gesteuerte Bauteile ... 123
3.6.1.4 Elektrische Schaltung ... 124
3.6.1.5 K-Jetronic mit Lambdaregelung ... 125
3.6.2 KE-Jetronic ... 126

3.6.2.1 Eingangssignale und deren Bedeutung für die elektronische Steuerung ... 127
3.6.2.2 Beeinflussung der Einspritzmenge durch den elektrohydraulischen Druckregler ... 129
3.6.3 Intermittierende Einspritzung (L-Jetronic) ... 130
3.6.3.1 Allgemeine Funktionsbeschreibung ... 130
3.6.3.2 Bauteile und ihre Funktionen ... 131
3.6.3.3 Steuergerätefunktionen ... 140
3.6.3.4 Gesamtübersicht mit Schaltplan ... 142
3.6.4 Mono-Jetronic ... 144
3.6.4.1 Kraftstoffsystem ... 145
3.6.4.2 Eingangssignale zur Erfassung des Betriebszustandes ... 147
3.6.4.3 Steuergerätefunktionen und Ausgangssignale ... 148
3.7 Lambda-Regelung ... 150
3.7.1 Gemischadaption ... 152
3.7.2 Aufbau und Funktion der Lambdasonde ... 152
3.7.3 Titandioxid-Lambdasonde ... 155
3.7.4 Planarsonde ... 156
3.7.5 Planare Breitband-Lambdasonde ... 156
3.8 Historische Entwicklung der elektronisch geregelten Dieseleinspritzsysteme ... 157
3.8.1 Allgemeine Beschreibung mit Systemübersicht ... 158
3.8.2 Eingangssignale im Detail und ihr Einfluss auf die Funktion ... 159
3.8.3 Ansteuerung der verschiedenen Einspritzpumpen und sonstige Ausgangssignale ... 161
3.8.4 Dieseldirekteinspritzung mit einer Radialkolben-Verteilereinspritzpumpe ... 166
3.8.5 Dieseldirekteinspritzung mit Einzelpumpensystemen (Pumpe-Düse-Einheit, Pumpe-Leitung-Düse) ... 168

4 Elektronische Getriebesteuerung ... 171

4.1 Allgemeine Systembeschreibung ... 171
4.2 Elektrohydraulische Automatikgetriebe-Steuerung ... 173
4.3 Stufenloses Automatikgetriebe ... 179
4.4 Automatisierte Schaltgetriebe und Doppelkupplungsgetriebe ... 182

5 Elektrische und elektrifizierte Antriebe ... 187

5.1 Elektrischer Antrieb ... 187
5.1.1 Komponenten und Bordnetz eines BEVs ... 188
5.1.2 Elektromotoren ... 191
5.1.3 Leistungs- und Steuerelektronik (Inverter/Konverter) ... 192
5.1.4 Hochvoltbatterie ... 193
5.1.5 Heizung und Kühlung ... 194

5.1.6 Bremsen und Rekuperation ... 196
5.1.7 Laden ... 197
5.1.7.1 Ladearten ... 197
5.1.7.2 Ladestecker und Ladeanschlüsse ... 197
5.1.7.3 Ladesteuerung und Kommunikation im und mit dem Fahrzeug ... 199
5.1.7.4 Sicherheitskonzept ... 200
5.1.8 BEV mit Range Extender (REX) ... 201
5.2 Sicherheitshinweise für Arbeiten an Hochvoltsystemen ... 201
5.2.1 Warnkennzeichnungen ... 201
5.2.2 Qualifikation für HV ... 203
5.2.3 Sicherheitsprinzipien und technische Schutzmaßnahmen ... 204
5.2.3.1 Eigensicherheit von Hochvolt-Fahrzeugen ... 204
5.2.3.2 Vorgehensweise bei Arbeiten an HV-Fahrzeugen ... 205
5.2.3.3 Allgemeine Hinweise für Arbeiten an HV-Fahrzeugen ... 207
5.3 Hybridsysteme ... 208
5.3.1 Einteilung der verschiedenen Arten von Hybridsystemen ... 208
5.3.1.1 Micro-Hybrid ... 209
5.3.1.2 Mild Hybrid ... 210
5.3.1.3 Full Hybrid (HEV) und Plug-in-Hybrid (PHEV) ... 212
5.3.2 Toyota Prius als Beispiel für einen leistungsverzweigten Hybriden ... 212
5.3.3 Paralleler Hybridantrieb ... 214
5.4 Brennstoffzellenantrieb ... 214
5.5 Exkurs: NEFZ/WLTP ... 216

6 Fahrdynamische Regelsysteme ... 219

6.1 Fahrstabilitätsregelung ... 219
6.1.1 Anti-Blockier-System (ABS) ... 219
6.1.1.1 Grundsätzliche Funktionen des ABS und allgemeiner Aufbau ... 220
6.1.1.2 Raddrehzahlfühler ... 221
6.1.1.3 Geschlossenes System mit 2/2-Magnetventilen ... 223
6.1.2 Antriebsschlupfregelung ... 226
6.1.3 Funktionsbeschreibung der Fahrstabilitätsregelung ... 228
6.1.4 Ein- und Ausgangssignale ... 231
6.2 Geregelte Sperren ... 237
6.2.1 Ein- und Ausgänge am Steuergerät ... 238
6.2.2 Elektrohydraulische und elektromagnetische Sperren ... 240
6.2.3 Systemschaltplan geregelte Sperren ... 243
6.3 Elektronische Dämpferkraftverstellung ... 245
6.4 Historische Entwicklungen ... 249
6.4.1 Geschlossenes Antiblockiersystem mit 3/3-Magnetventilen ... 249

6.4.2 Offenes Antiblockiersystem mit 2/2-Magnetventilen 252
6.4.3 Die ersten Antriebsschlupf-Regelungen mit 3/3-Magnetventilen 254
6.4.4 Schaltplan einer offenen Antriebsschlupfregelung mit 2/2-Magnetventilen 258

7 Lichtsysteme 261

7.1 Beleuchtung vorne 261
7.1.1 Vernetzung und mögliche Funktionen eines aktuellen Matrix-LED-Scheinwerfer-Systems 261
7.1.2 Verschiedene Komponenten und Funktionen im Detail 263
7.2 Beleuchtung hinten 271
7.3 Beleuchtung innen 272
7.4 Servicehinweise und Begriffe rund ums Licht (von A bis Z) 274

8 Elektronische Einparkhilfen 277

8.1 Funktionsweise der elektronischen Einparkhilfe 277
8.2 Rückfahrkamera 282
8.3 Parkassistent 283
8.4 Ferngesteuertes Einparken 286

9 Passive Sicherheitssysteme (pyrotechnische Rückhaltesysteme) 291

9.1 Aktuelles System 291
9.2 Funktion und Bauteile des Fahrer- und Beifahrerairbags 294
9.3 Seitenairbag 300
9.4 Kopfairbag/Windowbag 303
9.5 Knieairbag 305
9.6 Pyrotechnischer Gurtstraffer 305
9.7 Airbag-Gurte 309
9.8 Aktive Kopfstütze 310
9.9 Kompakt-Airbag (Eurobag) 310
9.10 Fußgängerschutz 312
9.11 Systemüberwachung und Sicherheitsvorschriften 313

10 Systeme der Sicherheits- und Komfortelektronik 319

10.1 Heiz und Klimaregelung 319
10.1.1 Allgemeine Funktionsweise und Systemaufbau 319
10.1.2 Funktionsprinzip einer Klimaanlage 322
10.1.3 Ein- und Ausgangssignale und deren Wirkungsweise 324
10.1.4 Schaltplan 329
10.1.5 Sicherheitshinweise/-vorschriften 331
10.1.6 Servicearbeiten an Klimaanlagen (Evakuieren, Befüllen, Warten und Lecksuche) 333

10.2 Zusatzheizungssysteme 337
10.2.1 Verschiedene Varianten 337
10.2.1.1 Elektrische Heizung bei einem Elektro-/Hybridfahrzeug 338
10.2.1.2 Kraftstoffbetriebene Zuheizer / Standheizung 342
10.2.2 Funktion des kraftstoffbetriebenen Heizgerätes 344
10.2.3 Hinweise für die Nachrüstung einer Standheizung und gesetzliche Vorschriften 345
10.2.4 Diagnose und Schaltplan einer Standheizung 347
10.3 Diebstahlschutzsysteme 349
10.3.1 Zentralverriegelungen 349
10.3.2 Elektronische Wegfahrsicherungen 353
10.3.3 Diebstahl Alarmanlagen 355
10.3.3.1 Systembeschreibung und Notwendigkeit 355
10.3.3.2 Ein- und Ausgangssignale im Detail 357
10.3.4 Historische Entwicklung der Diebstahlschutzsysteme 359
10.3.4.1 Zentralverriegelung mit pneumatischen Stellelementen 359
10.3.4.2 Zentralverriegelung mit elektrischen Stellmotoren 363
10.3.4.3 Beispiel einer nachgerüsteten Wegfahrsicherung 366
10.4 Reifendruckkontrollsysteme 368
10.4.1 Indirekt messende Reifendruckkontrollsysteme 368
10.4.2 Direkt messende Reifendruckkontrollsysteme 369

11 Integrierte Fahrerinformations- und Assistenzsysteme 373

11.1 Allgemeines zu Fahrerinformationssystemen 373
11.2 Verschiedene Eingabemöglichkeiten und Eingangssignale 375
11.3 Anzeige und Wiedergabe 379
11.4 Navigationssysteme 381
11.4.1 Allgemeines 381
11.4.2 Positionsbestimmung und Routenberechnung 381
11.4.3 Komponenten und Technik im Fahrzeug 383
11.4.4 Mögliche Funktionen 385
11.4.5 Mögliche Fehlfunktionen und deren Ursachen 387
11.5 Aktuelle Fahrerassistenzsysteme 388
11.5.1 Sensoren und «Systemzusammenhänge» 389
11.5.2 Spurverlassenswarnung, aktiver Totwinkel-Assistent, Seitenkollisionswarnung und Spurhalteassistent 391
11.5.2.1 Aktiver Spurwechsel-Assistent 392
11.5.3 Attention Assist und aktiver Nothalt-Assistent 394
11.5.4 Collision Prevention Assist, Kreuzungs-Assistent, Ausweich-Assistent, Pre-Safe Plus 396
11.5.5 Verkehrszeichenerkennung, Falschfahrwarnung, Vorfahrtwarnung, Personenwarnung usw. 398

11.5.6 Nachtsichtassistent ... 399
11.5.7 System- und Funktionsgrenzen der Assistenzsysteme, Hinweise zur Fehlersuche ... 400

12 Autonomes Fahren ... 403

12.1 Die verschiedenen Stufen des autonomen Fahrens ... 404
12.2 Sensoren, Karten und Software ... 405
12.3 Probleme, Überlegungen und offene Themen ... 409

13 Telefon und Telematik ... 415

13.1 Aktuelles Telefonsystem ... 415
13.2 Aktuelle Telefon- und Telematikfunktionen ... 417
13.2.1 Telefonfunktionen ... 417
13.2.2 Verkehrstelematik ... 417
13.2.3 Notruffunktion ... 419
13.2.4 Online-Dienste ... 420
13.2.5 Fahrzeugspezifische Telematikfunktionen ... 421
13.3 Grundlagen des Mobilfunktelefons ... 424
13.4 Historische Entwicklung des «Autotelefons» ... 425
13.4.1 Allgemeine Informationen ... 425
13.4.2 «Festeinbau» und Handyvariante im Fahrzeug integriert Stand Ende der 1990er-Jahre ... 426
13.4.3 Einfache Handynachrüstung Anfang 2000er ... 429
13.4.4 Festeinbau mit Integration in Fahrerinformationssysteme Anfang 2000er ... 430
13.4.5 Telefon mit Bluetooth-Technik und integriert in Fahrerinformationssysteme ca. 2005 bis 2011 ... 432

14 Elektrische Grundgrößen ... 435

14.1 Atomaufbau ... 435
14.2 Spannung ... 437
14.3 Strom ... 438
14.4 Widerstand ... 440
14.5 Möglichkeiten der Spannungserzeugung ... 442
14.6 Wirkungen des elektrischen Stroms ... 445
14.7 Sicherheitsbestimmungen ... 448
14.7.1 Nervenschädigung ... 448
14.7.2 Blendgefahr ... 450
14.7.3 Verbrennungen ... 451
14.7.4 Anstoß- und Schnittgefahr ... 451
14.7.5 Erste Hilfe bei Stromunfällen ... 451
14.8 Spannungsarten ... 452

15 Schaltpläne ... 455

15.1 Bauteile und Aufbau eines Stromkreises ... 455
15.2 Schaltzeichen ... 457
15.3 Arbeiten mit Schaltplänen ... 459
15.3.1 Einteilung der Schaltpläne ... 459
15.3.2 Übersichtsschaltplan ... 459
15.3.3 Unterscheidung nach Anordnung der Schaltzeichen ... 460
15.4 Kennzeichnung elektrischer Geräte ... 461
15.5 Klemmenbezeichnungen im Schaltplan ... 463
15.6 Leitungsfarben im Schaltplan ... 465
15.7 Anschlussplan ... 466
15.8 Lesen von Schaltplänen ... 467
15.9 Systemarchitektur moderner Fahrzeuge ... 469
15.10 Lage von Komponenten im Kraftfahrzeug ... 470

16 Messwerterfassung mit dem Multimeter ... 473

16.1 Multimeterarten ... 473
16.2 Bezeichnungen am Analog-Multimeter ... 475
16.3 Bezeichnungen am Digital-Multimeter ... 476
16.4 Toleranzangaben bei Multimetern ... 478
16.4.1 Analoge Multimeter ... 478
16.4.2 Digitale Multimeter ... 478
16.4.3 Umrechnungstabellen ... 479
16.5 Fehlersuche mit Hilfe der Spannungsmessung ... 480
16.6 Fehlersuche mit Hilfe der Strommessung ... 486
16.7 Fehlersuche mit Hilfe der Widerstandsmessung ... 491
16.8 Widerstandsmessungen bei kleinen Widerständen ... 499
16.9 Arbeiten mit Fehlersuchprogrammen ... 503

17 Elektrische Grundlagen ... 507

17.1 Ohmsches Gesetz ... 507
17.2 Mechanische Arbeit, Energie und Leistung ... 510
17.3 Elektrische Arbeit, Energie und Leistung ... 512
17.4 Spannungsverlust ... 514
17.4.1 Spannungen im geschlossenen Stromkreis ... 514
17.4.2 Spannungen im geöffneten Stromkreis ... 515
17.4.3 Einfluss eines zusätzlichen Verbrauchers auf den Spannungsfall in den Zuleitungen ... 516
17.5 Spezifischer Widerstand eines Leiters ... 517
17.6 Reihenschaltung – Parallelschaltung ... 518
17.6.1 Reihenschaltung ... 518
17.6.2 Parallelschaltung ... 520
17.6.3 Übersicht ... 523

17.7 Gemischte Schaltungen ... 523
17.7.1 Erweiterte Reihenschaltung ... 524
17.7.2 Erweiterte Parallelschaltung ... 525
17.8 Spannungsteiler, Potentiometer ... 527
17.8.1 Unbelasteter Spannungsteiler ... 527
17.8.2 Belasteter Spannungsteiler ... 528
17.9 Kondensator ... 529
17.9.1 Kondensator als Ladungsspeicher ... 529
17.9.1.1 Aufbau ... 529
17.9.1.2 Verhalten ... 530
17.9.1.3 Stromrichtung ... 531
17.9.1.4 Lade- und Entladezeit des Kondensators ... 532
17.9.1.5 Bauarten und Schaltzeichen ... 533
17.9.1.6 Reihenschaltung und Parallelschaltung von Kondensatoren ... 533
17.9.2 Kondensator als Ladungsspeicher im Kfz ... 535
17.9.2.1 Kondensator zur Glättung der Spannung im Kfz ... 535
17.9.2.2 Kondensatoren im Airbag-Steuergerät ... 535
17.9.2.3 Kondensatoren Im Zwischenkreis von HV-Fahrzeugen ... 535
17.9.2.4 Verstärkeranlage ... 536
17.9.2.5 Fahrzeuge mit Start-Stopp-Systemen ... 537
17.9.3 Kondensator im Wechselstromkreis ... 538
17.10 Induktivität ... 539
17.10.1 Magnetismus ... 539
17.10.2 Erde als Magnetfeld ... 542
17.10.3 Magnetfeld stromdurchflossener Leiter ... 542
17.11 Magnetische Induktion ... 543
17.11.1 Induktion der Bewegung ... 543
17.11.2 Induktion der Ruhe ... 545
17.12 Spule ... 546
17.12.1 Selbstinduktion beim Einschalten einer Spule ... 546
17.12.2 Selbstinduktion beim Ausschalten einer Spule ... 547
17.12.3 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ... 548
17.12.4 Anwendungsbeispiele im Kfz: Elektromagnetisches Einspritzventil ... 549
17.13 Relais ... 550
17.13.1 Arbeitsweise ... 550
17.13.2 Bauarten ... 554
17.13.3 Prinzipieller Aufbau eines Reedrelais ... 554
17.13.4 Beispiele für den Einsatz von Reedrelais im Kraftfahrzeug ... 555
17.13.5 Fehlersuche in einer Relaisschaltung ... 557
17.13.6 Schütze in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ... 561
17.14 Motor- und Generatorprinzip ... 562
17.14.1 Motorprinzip ... 562
17.14.2 Generatorprinzip ... 565
17.14.3 Bauarten von Elektromaschinen ... 566

17.14.3.1 Gleichstrommaschinen – fremderregt 567
17.14.3.2 Gleichstrommaschinen – permanentregt 567
17.14.3.3 Wechselstrommaschinen – Generator 568
17.14.3.4 Wechselstrommaschine – Asynchronmaschinen ... 570
17.14.3.5 Wechselstrommaschine – Synchronmaschinen 571
17.14.3.6 Wechselstrommaschine - Reluktanzmotor 573
17.14.3.7 Bezeichnung und Kennzeichnung der Elektromaschinen 575
17.14.3.8 Wechselstrommotoren als Antrieb in Elektrofahrzeugen 576
17.14.3.8.1 Motor 576
17.14.3.8.2 Spannungswandler 576
17.14.3.8.3 Leistungselektronik zur Ansteuerung der Elektromaschine 578
17.14.3.8.4 Vergleich: Elektromotor-Verbrennungsmotor 578
17.14.3.8.5 Sonderformen von Motoren im Kfz 579

18 Grundschaltungen der Elektronik 581

18.1 Diode 581
18.1.1 Diode als elektrisches Ventil 581
18.1.2 Diodenprüfung 585
18.1.3 Anwendungen der Diode – Gleichrichtung von Wechselströmen 586
18.1.3.1 Einweg-Gleichrichtung 586
18.1.3.2 Zweiweg- oder Brückengleichrichtung 587
18.1.3.3 Gleichrichterschaltung mit Glättung 588
18.1.4 Brückenschaltung zur Drehstromgleichrichtung 588
18.1.5 Diode zur Entkopplung von Stromkreisen 589
18.1.6 Diode zur Unterdrückung von Induktionsspannungen (Freilaufdiode) 590
18.1.7 Kennzeichnung von Dioden 591
18.2 Zenerdiode 591
18.2.1 Eigenschaften 591
18.2.2 Z-Diode im Überspannungsschutzrelais 592
18.2.3 Z-Diode zur Spannungsstabilisierung 593
18.2.4 Z-Diode zur Bereichsbegrenzung (Nullpunktunterdrückung) .. 593
18.2.5 Z-Diode als Gleichrichterdiode im Drehstromgenerator 594
18.3 Transistor 595
18.3.1 Prinzipielle Arbeitsweise eines Transistors 595
18.3.2 Vergleich: Relais – Transistor 598
18.3.3 Transistor als Verstärker 599

18.4 FET – MOSFET 600
18.4.1 Prinzipielle Arbeitsweise 601
18.4.2 Vergleich der Eigenschaften von normalen Transistoren und MOSFET 602
18.5 IGBT-Transistor 603
18.6 Tastverhältnis 604

19 Messen mit dem Oszilloskop 607

19.1 Prinzipielle Arbeitsweise eines Oszilloskops 607
19.2 Anschluss eines Oszilloskops 608
19.3 Einstellungen am Oszilloskop 609
19.3.1 Zeitachse, zeitabhängige Darstellung 609
19.3.2 Spannungsachse 610
19.3.3 Andere Beschriftungen der Spannungs- und Zeitachse 611
19.3.4 Triggern 611
19.3.4.1 Triggerpegel 611
19.3.4.2 Triggerflanke 613
19.3.4.3 Verschiebung der Nulllinie der X-Achse 613
19.3.5 DC/AC-Kopplung 614
19.4 Grundbegriffe der Oszilloskopdarstellung 615
19.4.1 Periode 615
19.4.2 Frequenz 616
19.4.3 Impulsdauer 616
19.4.4 Tastverhältnis 617
19.5 Vergleich Oszilloskop – Multimeter 618
19.5.1 Pulsierende Gleichspannungen 618
19.5.2 Wechselspannungen 618
19.5.3 Mischspannungen 620

20 Grundlagen der digitalen Signalübertragung 623

20.1 Systemanalyse und Signalflusspläne 623
20.1.1 Wirkungsbezogene Analyse 623
20.1.2 System Kraftfahrzeug 624
20.1.3 Signalflussplan 625
20.2 Grundlagen der Digitaltechnik 627
20.2.1 Unterscheidung: analog – digital 627
20.2.2 Prinzip der analogen Übertragung 629
20.2.3 Schaltlogik mit Hilfe digitaler Grundschaltungen 632
20.2.4 Logikbausteine als Verarbeitungsglieder 635
20.2.4.1 Signalpegel 635
20.2.4.2 Signalpegel im Kfz 636
20.2.5 Logische Verknüpfungen 637
20.2.6 Duales Zahlensystem 643
20.3 Datenaustausch im Kfz 646
20.3.1 Beispiel 648

20.3.2 Informationsverarbeitung im Steuergerät ... 649
20.3.3 Analog-Digital-Umsetzer ... 651
20.3.4 Steckverbindungen als Schwachstellen des Systems ... 653
20.3.5 Eigendiagnose ... 654
20.4 Datenbussysteme ... 663
20.4.1 Entwicklung der elektronischen Systeme ... 663
20.4.2 Notwendigkeit von Bussystemen ... 664
20.4.3 Übersicht der Bussysteme ... 665
20.4.4 CAN-Bus ... 665
20.4.4.1 Spannungen am CAN Class-B ... 670
20.4.4.2 Spannungen am CAN Class-C ... 671
20.4.4.3 Einfluss von Störspannungen beim CAN-Bus ... 671
20.4.4.4 Abschlusswiderstand ... 672
20.4.4.5 CAN im Service ... 672
20.4.4.6 CAN-FD ... 673
20.4.5 LIN-Bus ... 674
20.4.6 Optische Datenbussysteme ... 675
20.4.6.1 Signalübertragung über Lichtwellenleiter ... 676
20.4.6.2 Vergleich eines optischen Nachrichtensystems mit einem kabelgebundenen Nachrichtensystem ... 678
20.4.6.3 MOST-Bus ... 679
20.4.7 Bluetooth ... 684
20.4.8 FlexRay ... 687
20.4.8.1 CAN-Bus und FlexRay im Vergleich ... 689
20.4.8.2 Verhalten des FlexRay im Fehlerfall ... 689
20.4.9 Ethernet-Zugang ... 690
20.4.10 Programmieren, Codieren, Personalisieren, Individualisieren ... 692

21 Steuern und Regeln ... 695

21.1 Unterscheidung: Steuern – Regeln ... 695
21.1.1 Steuerkette ... 695
21.1.2 Regelkreis ... 696
21.2 Steuern ... 696
21.2.1 Definition: Steuern ... 696
21.2.2 Glieder der Steuerkette ... 697
21.2.3 Ein- und Ausgabegrößen der Steuerkette ... 697
21.2.4 Steuerungsarten (Unterscheidungsart: Signaldarstellung) ... 699
21.2.5 Steuerungsarten (Unterscheidungsart: Signalverarbeitung) ... 703
21.3 Regeln ... 704
21.3.1 Der Mensch als Regler in einem Regelkreis ... 704
21.3.2 Definition: Regelung ... 705
21.3.3 Blockdarstellung des Regelkreises ... 706
21.3.4 Bestandteile der Regeleinrichtung ... 707
21.3.5 Übergangsverhalten ... 708

21.4 Adaptive Regelsysteme ... 709
21.4.1 Beispiel: Lambda-Regelung ... 709
21.4.2 Weitere Beispiele ... 712
21.4.3 Diagnoseprobleme durch die Adaption ... 713

22 Sensoren und Aktoren ... 715

22.1 Vergleich: Mensch – Maschine ... 715
22.2 Aufgaben der Sensoren und Aktoren ... 716
22.3 Physikalische Grundlagen: ... 718
22.3.1 Wellen ... 718
22.3.2 Schall als mechanische Welle ... 722
22.3.3 Licht ... 727
22.4 Anforderungen an Sensoren und Aktoren im Auto ... 731
22.5 Mechanische und elektrische Schalter ... 732
22.5.1 Mechanischer Schalter ... 732
22.5.2 Elektrischer Schalter: Füllstandsmessung ... 733
22.5.3 Potentiometer ... 733
22.6 Magnetische Sensoren ... 736
22.6.1 Induktivgeber ... 736
22.6.2 Hallgeber ... 737
22.6.3 Magnetoresistive Sensoren ... 745
22.6.4 Transformatorprinzip ... 747
22.6.5 PLCD-Sensor ... 749
22.6.6 Rotor-Lagensensor ... 750
22.6.7 Geber für Rotorposition des Fahrmotors (Resolverprinzip) ... 751
22.7 Magnetische Aktoren ... 752
22.7.1 Elektromagnet ... 752
22.7.2 Elektromotor ... 753
22.7.3 Magnetic Ride ... 753
22.8 Reedkontakte ... 755
22.9 Piezoeffekte ... 757
22.9.1 Piezoelektrischer Effekt ... 757
22.9.2 Piezoresistiver Effekt ... 757
22.10 Piezoelektrische Aktoren ... 762
22.11 Kapazitive Sensoren ... 766
22.12 Temperatursensoren ... 771
22.12.1 Kaltleiter (PTC) ... 771
22.12.2 Heißleiter (NTC) ... 773
22.12.3 Erwärmung eines Leiters ... 777
22.13 Thermoelement ... 778
22.14 Lichtbasierte Sensoren ... 779
22.14.1 Fotowiderstand ... 779
22.14.2 Fotodiode ... 780

22.14.3 Lichtbasierte Aktoren ... 784
22.14.4 LCD-Anzeigen ... 786
22.15 Radarbasierte Sensoren ... 793
22.15.1 Direkte Laufzeitmessung ... 793
22.15.2 Indirekte Laufzeitmessung ... 793
22.15.3 Doppler-Effekt ... 795
22.15.4 Ermittlung von Geschwindigkeit und Abstand des vorausfahrenden Fahrzeugs ... 795
22.15.5 Ermittlung der Position des vorausfahrenden Fahrzeugs ... 796
22.15.6 Technische Ausführung ... 797
22.15.7 LiDAR ... 798
22.15.8 Vergleich der Sensortechnologien ... 799
22.16 Gassensoren ... 800
22.16.1 Lambda-Sonden ... 800
22.16.2 Partikelsensor ... 805
22.16.3 NOX-Sensor ... 807
22.16.4 Sensor für Luftgüte ... 808

Stichwortverzeichnis ... 811