

1 Elektronische Steuerung und Regelung	1
Klaus Schwarze, Claus Hinrichsen, Oliver Fein, Kilian Bucher, Johannes Schaller, Carola Eckstein und Ulrich Projahn	
1.1 Elektronische Dieselregelung (EDC)	1
1.1.1 Einführung und Anforderungen	1
1.1.2 Arbeitsweise und Architektur	2
1.1.3 Systemblöcke	4
1.1.3.1 Sensoren und Sollwertgeber	4
1.1.3.2 Steuergerät	6
1.1.3.3 Stellglieder (Aktoren)	6
1.1.4 Datenverarbeitung	7
1.1.5 Regelung der Einspritzung	10
1.1.5.1 Startmenge	12
1.1.5.2 Leerlaufregelung	12
1.1.5.3 Enddrehzahlregelung (Abregelung)	13
1.1.5.4 Zwischendrehzahlregelung	13
1.1.5.5 Fahrgeschwindigkeitsregelung	13
1.1.5.6 Fahrgeschwindigkeitsbegrenzung	14
1.1.5.7 Aktive Ruckeldämpfung	14
1.1.5.8 Laufruheregulation, Mengenausgleichsregelung	14
1.1.5.9 Begrenzungsmenge	15
1.1.5.10 Höhenkorrektur	16
1.1.5.11 Zylinderabschaltung	16
1.1.5.12 Abstellen	17
1.1.5.13 Motorbremsfunktion	17
1.1.5.14 Spritzbeginnregelung	17
1.1.5.15 Regelung mit Nadelbewegungssensor	18
1.1.5.16 Förderbeginnregelung	18
1.1.5.17 BIP-Regelung	19

1.1.6	λ -Regelung für Dieselmotoren	19
1.1.6.1	Anwendung	19
1.1.6.2	Grundfunktionen	20
1.1.6.3	λ -basierte Regelung der Abgasrückführung	21
1.1.6.4	Volllastrauchbegrenzung	22
1.1.6.5	Erkennung unerwünschter Verbrennung	22
1.1.6.6	Zusammenfassung	23
1.1.7	Regelung und Ansteuerung von Aktoren	23
1.1.7.1	Kühlmittelzusatzheizung	24
1.1.7.2	Einlasskanalabschaltung	24
1.1.7.3	Ladedruckregelung	24
1.1.7.4	Lüfteransteuerung	24
1.1.7.5	Abgasrückführung	25
1.1.8	Ersatzfunktionen	25
1.1.9	Datenaustausch mit anderen Systemen	26
1.1.9.1	Kraftstoff-Verbrauchssignal	26
1.1.9.2	Steuerung des Starters	26
1.1.9.3	Glühzeitsteuergerät (GZS)	26
1.1.9.4	Elektronische Wegfahrsperrung	27
1.1.9.5	Externer Momenteneingriff	27
1.1.9.6	Steuerung des Generators	27
1.1.9.7	Klimaanlage	28
1.1.10	Serielle Datenübertragung mit CAN	28
1.1.10.1	Multiplex-Anwendung	28
1.1.10.2	Mobile Kommunikationsanwendungen	29
1.1.10.3	Diagnose-Anwendungen	29
1.1.10.4	Echtzeit-Anwendungen	30
1.1.10.5	Buskonfiguration	30
1.1.10.6	Inhaltsbezogene Adressierung	30
1.1.10.7	Busvergabe	30
1.1.10.8	Botschaftsformat	31
1.1.10.9	Störungserkennung	33
1.2	Zumessfunktionen	34
1.2.1	Injektormengenabgleich	34
1.2.2	Druckwellenkorrektur	36
1.2.3	Nullmengenkalibrierung	37
1.2.4	Ventilöffnungskorrektur	38
1.2.5	Mengenmittelwertadaptation	39
1.2.6	Einspritzdruckkorrektur (Injection Specific Pressure)	40
1.2.7	Needle Closing Control	42
1.2.7.1	Aufbau und Funktion	42
1.2.7.2	Vorsteuerung	43

1.2.7.3	Langsame Adaption	43
1.2.7.4	Schneller Regler	44
1.2.7.5	Verkokungskompensation	44
1.2.7.6	Fehlerfall	45
1.2.7.7	Needle Closing Sensor (NCS) – Signal und Merkmalerkennung für die CRI2-Familie (mit Magnetventil) von Bosch	45
1.2.7.8	Needle Closing Sensor (NCS) – Signal und Merkmalerkennung für die CRI3-Familie (mit Piezosteller) von Bosch	46
1.3	Applikation von Dieselmotoren	47
1.3.1	Aufgabe, Bedeutung der Applikation	47
1.3.2	Grundlagen der Regelung von Dieselmotoren	49
1.3.2.1	Konventionelle Steuerung und Regelung	49
1.3.2.2	Modellbasierte Regelung	52
1.3.3	Applikationswerkzeuge	54
1.3.4	Motor- und Fahrzeugprüfstände	58
1.3.5	Design of Experiments (DoE)	62
1.3.6	Anwendungs-Software	66
1.3.7	Ablauf eines Applikationsprojektes	69
1.4	Elektronisches Motorsteuergerät	74
1.4.1	Einführung	74
1.4.2	Einsatzbedingungen	75
1.4.3	Architektur	76
1.4.4	Hardware	78
1.4.4.1	Rechnerkern und Mikrocontroller	78
1.4.4.2	Programm- und Datenspeicher	78
1.4.4.3	Flash-EEPROM	79
1.4.4.4	Variablen- und Arbeitsspeicher	79
1.4.4.5	Unified-Speicher	80
1.4.4.6	Generic Timer Module (GTM)	80
1.4.4.7	Advanced Modelling Unit (AMU)	81
1.4.4.8	Peripherie	82
1.4.5	Sensorsignal-Aufbereitung	83
1.4.5.1	Sensor-Schnittstellen	83
1.4.5.2	Analoge Schnittstellen	83
1.4.5.3	Digitale Schnittstellen	84
1.4.5.4	Flexibler Eingangsbaustein	85
1.4.5.5	Signalaufbereitung mit ASIC	85
1.4.6	Aktor-Ansteuerung	86
1.4.6.1	Aufbau- und Verbindungstechnik	88

1.4.7	Software	90
1.4.7.1	Software-Architektur und AUTOSAR	90
1.4.8	Applikation	91
1.4.9	Funktionale Sicherheit	93
1.4.10	Tuning-Schutz	94
	Literatur	95
2	Sensoren	97
	Jörg Brückner, Ruben Henning, Winfried Kuhnt und Thomas Küttner	
2.1	Einsatz im Fahrzeug	97
2.2	Temperatursensoren	98
2.2.1	Anwendung	99
2.2.1.1	Motortemperatursensor	99
2.2.1.2	Lufttemperatursensor	99
2.2.1.3	Motorölttemperatursensor	99
2.2.1.4	Kraftstofftemperatursensor	99
2.2.1.5	Abgastemperatursensor	100
2.2.1.6	Temperatursensoren in Sensormodulen	100
2.2.2	Aufbau und Arbeitsweise	100
2.3	Mikromechanische Drucksensoren	101
2.3.1	Anwendungen	101
2.3.1.1	Saugrohr- und Ladedrucksensor	101
2.3.1.2	Umgebungsdrucksensor	101
2.3.1.3	Öl- und Kraftstoffdrucksensor	101
2.3.1.4	Differenzdrucksensor	101
2.3.2	Arbeitsweise von Drucksensoren	102
2.3.3	Aufbau von Drucksensoren	104
2.3.4	Hochdrucksensoren	106
2.3.4.1	Anwendung	106
2.3.4.2	Railldrucksensor	106
2.3.4.3	Aufbau und Arbeitsweise	106
2.4	Motordrehzahlsensoren	107
2.4.1	Anwendung	107
2.4.1.1	Kurbelwellen-Drehzahlsensor	107
2.4.1.2	Nockenwellen-Positionssensor	108
2.4.1.3	Drehzahlsensor für Turbolader	108
2.4.2	Induktive Drehzahlsensoren	109
2.4.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	109
2.4.3	Aktive Drehzahlsensoren	110
2.4.3.1	Differential-Hall-Sensor	110
2.4.3.2	AMR-Sensoren	113
2.4.3.3	Sensoren mit Drehrichtungserkennung	113

2.4.4	Hall-Phasensensoren	114
2.4.4.1	Aufbau und Arbeitsweise	114
2.5	Fahrpedalsensoren	115
2.5.1	Anwendung	115
2.5.2	Potentiometrischer Fahrpedalsensor	115
2.5.3	Hall-Winkelsensoren	116
2.6	Luftmassenmesser	119
2.6.1	Anwendung	119
2.7	Heißfilm-Luftmassenmesser	119
2.7.1	Aufbau und Arbeitsweise	119
2.7.1.1	Der Heißfilm-Luftmassenmesser als Sensormodul	122
2.7.2	Druckbasierter Luftmassenmesser	122
2.7.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	122
2.8	Breitband- λ -Sonde	125
2.8.1	Grundlagen	125
2.8.2	Nernst-Zelle	125
2.8.3	Pumpzelle	126
2.8.4	Robustheit	126
2.8.5	Aufheizvorgang	127
2.8.6	Anwendung	128
2.8.7	Aufbau und Funktion	129
2.8.7.1	Einzeller	130
2.8.7.2	Zweizeller	131
2.9	NOx-Sensor	132
2.9.1	Anwendung	132
2.9.2	Aufbau und Arbeitsweise	132
2.9.2.1	Elektronik	134
2.10	Partikelsensor	134
2.10.1	Anwendung	134
2.10.2	Aufbau und Arbeitsweise	134
2.10.2.1	Elektronik	136
2.11	Exkurs: Regeln und Steuern	136
	Literatur	137
3	Diagnose	139
	Theodor Breiter, Walter Lehle, Hauke Wendt, Martin Pasta und Ella Diener	
3.1	Überwachung im Fahrbetrieb – On-Board-Diagnose	140
3.1.1	Übersicht	140
3.1.2	Überwachung der Eingangssignale	140
3.1.3	Überwachung der Ausgangssignale	141
3.1.4	Überwachung der internen Steuergerätefunktionen	142
3.1.5	Überwachung der Steuergerätekommunikation	142

3.1.6	Fehlerbehandlung	142
3.1.6.1	Fehlererkennung	142
3.1.6.2	Fehlerspeicherung	143
3.1.6.3	Notlauffunktionen	143
3.2	OBD-Anforderungen für Pkw und leichte Nfz	143
3.2.1	USA	143
3.2.1.1	CARB: OBD-I-Anforderungen	143
3.2.1.2	CARB: OBD-II-Anforderungen	143
3.2.1.3	OBD-II-Erweiterungen	144
3.2.1.4	Geltungsbereich	145
3.2.1.5	EPA: OBD-Anforderungen	145
3.2.2	Europa	145
3.2.2.1	EOBD-Anforderungen Euro 5 und Euro 5+	146
3.2.2.2	EOBD-Anforderungen Euro 6	146
3.2.3	China	147
3.2.4	Andere Länder	148
3.3	OBD-Anforderungen für schwere Nfz	148
3.3.1	Europa	148
3.3.1.1	EOBD-Anforderungen Euro IV (Überwachungsstufe 1)	148
3.3.1.2	EOBD-Anforderungen Euro V (Überwachungsstufe 2)	148
3.3.1.3	Zusätzliche EOBD-Anforderungen Euro IV–V	148
3.3.1.4	SCR-System	148
3.3.1.5	Abgasrückführsystem	149
3.3.1.6	NO _x -Speicherkatalysatoren	149
3.3.1.7	Überwachung NO _x -Kontrollsysteme	149
3.3.1.8	EOBD-Anforderungen Euro VI	149
3.3.1.9	Geforderte Diagnosen aus WWH-OBD	150
3.3.1.10	Geforderte Diagnosen außerhalb des WWH-OBD-Umfangs	150
3.3.1.11	Gasmotoren	151
3.3.1.12	Anforderungen an NO _x -Kontrollsysteme	151
3.3.2	USA	151
3.3.2.1	CARB: OBD-II-Anforderungen	151
3.3.2.2	Einführungsablauf der OBD-Anforderungen	152
3.3.3	Japan	152
3.3.4	China	152
3.3.5	Andere Länder	153
3.4	Anforderungen an das OBD-System	153
3.4.1	OBD-Schwellenwerte	153
3.4.2	Anforderungen an die Funktionalität	153
3.4.2.1	Motorkontrollleuchte	154
3.4.2.2	Kommunikation mit dem Scan-Tool	154

3.4.2.3	Fahrzeugreparatur	155
3.4.2.4	Einschaltbedingungen	156
3.4.2.5	Sperrbedingungen	156
3.4.2.6	Temporäres Abschalten von Diagnosefunktionen.	156
3.4.2.7	Readiness-Code.	156
3.4.2.8	Diagnose-System-Management	156
3.4.2.9	Rückruf	156
3.5	OBD-Funktionen	157
3.5.1	Übersicht	157
3.5.2	Beispiele für OBD-Funktionen	158
3.5.2.1	Katalysatordiagnose	158
3.5.2.2	Diagnose Partikelfilter.	158
3.5.2.3	Diagnose Abgasrückführsystem	159
3.5.2.4	Comprehensive Components	159
3.6	Werkstattdiagnose	160
3.6.1	Werkstattgeschäft.	160
3.6.1.1	Trends	160
3.6.2	Anforderungen an die Werkstätten.	161
3.6.3	Werkstattprozesse	163
3.6.3.1	Auftragsannahme	163
3.6.3.2	Service- und Reparaturdurchführung	163
3.6.4	Werkstatt-Software.	164
3.6.4.1	Anwendung.	165
3.6.4.2	Anwendernutzen	165
3.6.5	Fahrzeug-System-Analyse.	165
3.6.5.1	Messmittel.	166
3.6.5.2	Beispiel für den Ablauf in der Werkstatt.	166
3.6.6	Diagnose in der Werkstatt	166
3.6.6.1	Geführte Fehlersuche	167
3.6.6.2	Auslesen der Fehlerspeichereinträge	169
3.6.7	Werkstatt-Diagnosefunktionen	169
3.6.7.1	Beispiel „Leckage im Hochdrucksystem“	170
3.6.7.2	Beispiel „Drehmomentverlust eines Zylinders“	170
3.6.7.3	Stellglied-Diagnose.	172
3.6.7.4	Offboard-Prüfgerät	173
3.6.8	Prüf- und Testgeräte	173
3.6.8.1	Diagnosetester.	173
	Literatur.	176
	Verständnisfragen	177