

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	xiii
Symbole	xvii
1 Einleitung	1
1.1 Wertschöpfungskette und Unternehmensstruktur	1
1.2 Produkt- und Entwicklungszyklen	7
1.2.1 Entwicklungsprozess	7
1.2.2 Kooperationsmodelle zwischen OEM und Zulieferer	10
1.3 Historische Entwicklung der Elektronik im Kraftfahrzeug	11
2 Grundlagen der Elektrik/Elektronik-Architekturen	15
2.1 Ebenen der E/E-Architektur	15
2.1.1 Funktionsumfang	18
2.1.2 Funktions-/Softwarearchitektur	19
2.1.3 Vernetzungsarchitektur	21
2.1.4 Komponententopologie	25
2.1.5 Bewertungsmetriken für E/E-Architekturen	28
2.2 Einflüsse durch Gesetzgebung und Standardisierung	32
2.3 E/E-Architekturkonzepte	40
2.3.1 Funktionsorientiertes Konzept	41
2.3.2 Zentralisiertes Konzept	42
2.3.3 Räumlichorientiertes Master/Slave-Konzept	43
2.4 Ebenen der Timing-Bewertung	46
2.5 Verfahren zu Timing-Bewertung	49
3 Software-Architektur und -Entwicklung	51
3.1 Software-Architektur von Steuergeräten	52
3.1.1 OSEK/VDX	52
3.1.2 AUTOSAR	57
3.2 Software-Entwicklungsprozess	67

3.2.1 MISRA-Regeln	68
3.3 Modellbasierte Funktionsentwicklung	69
3.4 Fallstudie: Von der Funktion zur Software	72
4 Steuergeräte und Echtzeit-Rechnerstrukturen	77
4.1 Aufbau und Anforderungen an Steuergeräte	77
4.2 Rechnerarchitekturen und programmierbare Hardware	80
4.3 Komponenten eines Prozessors	84
4.3.1 Kern eines Prozessors	84
4.3.2 Pipelines	85
4.3.3 Speicherhierarchien	90
4.3.4 Unterbrechungen (Interrupts)	95
4.3.5 Multi-Core-Architekturen	97
4.4 Peripheriekomponenten von CPUs	100
4.5 Fallstudie: Architekturalternativen für Steuergeräte	104
4.5.1 Ausgangssituation	104
4.5.2 Entwicklungsteam	106
4.5.3 Architekturalternativen	107
4.5.4 Zusammenstellung der Bauteile	107
4.5.5 Bewertung der Architekturalternativen	110
5 Kommunikationsgrundlagen	115
5.1 Kommunikationssysteme	116
5.1.1 Controller Area Network	116
5.1.2 FlexRay	121
5.1.3 Local Interconnect Network (LIN)	126
5.1.4 Ethernet-basierte Kommunikation	129
5.2 Konfiguration der Busse	135
5.2.1 Konfiguration des CAN-Bus	137
5.2.2 Konfiguration des FlexRay-Bus	137
5.2.3 Konfiguration des LIN-Bus	138
5.3 Sicherheitskritische Kommunikation	138
5.4 Fallstudie	140
5.4.1 Konfiguration des CAN-Busses	142
5.4.2 Konfiguration des FlexRay-Busses	142
5.4.3 Routingtabelle des Gateways	143
6 Begriffe und Kenngrößen der Timing-Bewertung	145
6.1 Eingebettete verteilte Echzeitsysteme	145
6.2 Begriffsdefinitionen	146
6.3 Ereignismodelle	150
6.3.1 Standard Ereignismodelle	150
6.3.2 Ereignismodelle in AUTOSAR	151
6.3.3 Ereignismodelle beim CAN-Bus	151
6.4 Offsets	153

6.5	Kenngrößen für die Timing-Bewertung	154
6.5.1	Kenngrößen für die Bewertung von Software	155
6.5.2	Kenngrößen für die Bewertung von Kommunikationssystemen	156
6.5.3	Kenngrößen für die Bewertung von verteilten Systemen ..	158
7	Timing-Bewertung von Software	163
7.1	Analytische Bestimmung der Ausführungszeiten	163
7.1.1	Worst-Case-Execution-Time-Analyse	164
7.1.2	Prinzipien für analysierbare Systeme und Programme ..	170
7.2	Simulative Bestimmung der Ausführungszeiten	171
7.3	Messung der Ausführungszeiten	172
7.4	Fallstudie: Bewertung der Ausführungszeiten von Software	173
7.4.1	Verwendete Werkzeugkette	175
7.4.2	Analyse der Ausführungszeiten	176
7.4.3	Messung der Ausführungszeiten	177
7.4.4	Vergleich der ermittelten Ausführungszeiten	178
8	Timing-Bewertung von Komponenten	181
8.1	Prozessor-Scheduling und Antwortzeitanalyse von Tasks	181
8.2	Busarbitrierung und Antwortzeitanalyse von Nachrichten	186
8.2.1	CAN-Bus	186
8.2.2	FlexRay-Bus	190
8.2.3	LIN-Bus	195
8.2.4	Ethernet-AVB (IEEE 802.1Qav)	197
8.3	Simulation auf Komponentenebene	203
8.4	Fallstudien	204
8.4.1	Analyse auf ECU-Ebene	204
8.4.2	Analyse eines CAN-Busses (nachvollziehbar)	207
8.4.3	Analyse eines CAN-Busses (komplex)	209
8.4.4	Analyse des FlexRay-Busses	211
8.4.5	Analyse des LIN-Busses	216
9	Bewertung eingebetteter Netzwerke	219
9.1	Analytische Verfahren zur Bewertung des zeitlichen Systemverhaltens	219
9.1.1	Symbolische Timing-Analyse auf Systemebene	220
9.1.2	Real-Time Calculus	229
9.1.3	Weiterführende Arbeiten zu SymTA/S und RTC	240
9.1.4	Timed-Automata mit Model-Checking	243
9.2	Simulative Verfahren zur Bewertung des zeitlichen Systemverhaltens	247
9.3	Fallstudien: Timing-Analyse auf Systemebene	249
9.3.1	Fallstudie 1	250
9.3.2	Fallstudie 2	254

A Integer Linear Programming	261
B Klemmenbezeichnung und -Steuerung	265
Glossar	269
Literaturverzeichnis	275
Sachverzeichnis	281