

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
1.1. Komplexität von Elektrik/Elektronik (EE) Architekturen . . . . .	2
1.2. Motivation . . . . .	3
1.3. Zielsetzung der Arbeit . . . . .	6
1.4. Gliederung der Arbeit . . . . .	6
1.5. Notation und Begriffe . . . . .	7
<b>2. Grundlagen Datenübertragung im Fahrzeug</b>	<b>9</b>
2.1. Das ISO-OSI Schichtenmodell . . . . .	9
2.1.1. Anwendungsschicht ( <i>Application Layer</i> ) - 7 . . . . .	9
2.1.2. Darstellungsschicht ( <i>Presentation Layer</i> ) - 6 . . . . .	10
2.1.3. Sitzungsschicht ( <i>Session Layer</i> ) - 5 . . . . .	11
2.1.4. Transportschicht ( <i>Transport Layer</i> ) - 4 . . . . .	11
2.1.5. Vermittlungsschicht ( <i>Network Layer</i> ) - 3 . . . . .	11
2.1.6. Sicherungsschicht ( <i>Data Link Layer</i> ) - 2 . . . . .	11
2.1.7. Bitübertragungsschicht ( <i>Physical Layer</i> ) - 1 . . . . .	12
2.2. Betriebssysteme . . . . .	12
2.2.1. OSEK-OS . . . . .	12
2.2.2. AUTOSAR . . . . .	14
2.3. Gateways . . . . .	15
2.4. Bussysteme im Automobil . . . . .	15
2.4.1. Controller Area Network (CAN) . . . . .	16
2.4.2. Local Interconnect Network (LIN) . . . . .	18
2.4.3. Media Oriented Systems Transport (MOST) . . . . .	18
2.4.4. Time-Triggered CAN (TTCAN) . . . . .	19
2.4.5. Time-Triggered Protocol (TTP) . . . . .	20
2.4.6. ByteFlight . . . . .	20
2.4.7. Ethernet . . . . .	21
2.4.8. ISO 9141/ISO 14230 K-Line . . . . .	22
2.4.9. SAE J1850 . . . . .	23
2.5. Transportprotokolle . . . . .	23
2.5.1. ISO-TP nach ISO 15765-2 . . . . .	24
2.5.2. AUTOSAR TP für FlexRay . . . . .	24
2.5.3. TP 2.0 nach OSEK COM . . . . .	25

2.5.4.	SAE J1939/21 für CAN	25
2.6.	Diagnoseprotokolle	26
2.6.1.	KWP 2000	26
2.6.2.	Unified Diagnostic Services (UDS) nach ISO 14229	26
2.6.3.	On-Board-Diagnose (OBD)	27
2.7.	FIBEX	27
2.8.	Modellbasierte EE Architekturentwicklung	28
2.8.1.	Werkzeuge	29
2.8.2.	Architekturentwicklungswerkzeug PREEvision	30
2.9.	Algorithmen	39
2.9.1.	Laufzeitverhalten	39
2.9.2.	Heuristiken	39
2.9.3.	deterministisch/stochastisch	40
2.9.4.	konstruktiv/iterativ	40
2.9.5.	Greedy	41
2.10.	Einführung Graphentheorie	41
2.10.1.	Adjazenzliste	42
2.10.2.	Adjazenzmatrix	42
2.10.3.	Breitensuche	43
2.10.4.	Tiefensuche	44
<b>3.</b>	<b>Einführung FlexRay</b>	<b>47</b>
3.1.	FlexRay Bussystem	47
3.1.1.	Konsortium und Weiterentwicklung	47
3.1.2.	Technische Eigenschaften	48
3.1.3.	Einordnung in das ISO-OSI Schichtenmodell	50
3.1.4.	Aufbau eines Kommunikationsknotens	51
3.1.5.	Topologie-Strukturen	52
3.1.6.	Kommunikationszyklus	53
3.1.7.	Knotensynchronisation und Zeitbasis	56
3.1.8.	Aufbau eines Frames	57
3.1.9.	Kodierung eines Frames	58
3.1.10.	Protokoll-Zustandsmaschine	59
3.2.	FlexRay Protokollparameter	61
3.2.1.	Globale Parameter	61
3.2.2.	Lokale Parameter	61
3.2.3.	Protokollkonstanten	63
3.3.	FlexRay Communication Controller	63
3.3.1.	Bosch E-Ray	63
3.3.2.	FreeScale MFR4310	68

<b>4. Stand der Technik und Forschung</b>	<b>71</b>
4.1. Gruppierung von Steuergeräten und Zuweisung von Bussystemen	71
4.1.1. Verfahren zur Lösung des Partitionierungsproblems . . . . .	72
4.2. Werkzeuge zur FlexRay-Konfiguration . . . . .	76
4.2.1. Elektrobot tresos Designer FlexRay . . . . .	76
4.2.2. Vector Network Designer FlexRay . . . . .	76
4.2.3. TTTech TTXPlan . . . . .	76
4.2.4. Eberspächer FlexConfig . . . . .	77
4.3. Abgrenzung . . . . .	77
4.4. Anforderungen an die automatisierte FlexRay Konfiguration . . . . .	78
4.5. Forschungsarbeiten im Umfeld der Konfiguration des statischen FlexRay Segments . . . . .	79
4.5.1. Frame Packing . . . . .	79
4.5.2. Message Scheduling . . . . .	79
4.6. Forschungsarbeiten im Umfeld der Konfiguration des dynamischen FlexRay Segments . . . . .	80
4.6.1. Worst-Case-Response-Time Analyse . . . . .	82
4.6.2. Verzögerungszeit als Optimierungsproblem . . . . .	88
4.6.3. Exakte und heuristische Lösung . . . . .	92
4.6.4. Scheduling Algorithmus für das dynamische Segment . . . . .	95
4.7. Modellierung von FlexRay-Netzwerken in PREEvision . . . . .	98
4.7.1. Komponenten und Netzwerk . . . . .	98
4.7.2. Steuergeräte-Kommunikation . . . . .	99
4.7.3. Scheduling von Nachrichten . . . . .	100
<b>5. Steuergerätegruppierung und Auswahl von Bussystemen</b>	<b>103</b>
5.1. Eingangsdaten . . . . .	104
5.2. Einsatz des Hierarchical Clustering . . . . .	105
5.2.1. Auswahl der Bussysteme im Hierarchical Clustering Baum	106
5.2.2. Bestimmung der Kosten jeder Partition . . . . .	107
5.2.3. Berechnung der günstigsten Lösung . . . . .	107
5.2.4. Nähefunktion beim Hierarchical Clustering . . . . .	109
5.3. Verschmelzen von Partitionen . . . . .	113
5.4. Fiduccia Mattheyses (FM)-Algorithmus . . . . .	114
5.5. Rucksackproblem . . . . .	114
5.5.1. Dynamische Programmierung . . . . .	115
5.5.2. Anwendung . . . . .	116
5.5.3. Exakter Algorithmus . . . . .	117
5.5.4. Fazit . . . . .	117
5.6. Ergebnisse . . . . .	118
5.6.1. Entworfenene Softwareumgebung . . . . .	119
5.6.2. Software-Architektur . . . . .	119

5.6.3. Test . . . . .	119
5.7. Zusammenfassung . . . . .	121
<b>6. Konfiguration und Überprüfung von FlexRay Parametern</b>	<b>123</b>
6.1. Konfiguration des statischen FlexRay Segments . . . . .	123
6.1.1. Parameterabhängigkeiten und Berechnungsreihenfolge . . .	123
6.1.2. Gruppierung von Signalen im statischen Segment . . . . .	133
6.1.3. Scheduling im statischen Segment . . . . .	138
6.1.4. Berechnungsverfahren und Algorithmen . . . . .	142
6.1.5. Implementierung der Konfigurations- und Parameterberechnung für das statische Segment . . . . .	147
6.1.6. Konfigurations- und Scheduling-Plugin für PREEvision . .	153
6.1.7. Ergebnisse . . . . .	154
6.1.8. Bewertung des Ergebnisses . . . . .	155
6.2. Konfiguration des dynamischen Segments . . . . .	156
6.2.1. Worst-Case-Timing-Analyse . . . . .	156
6.2.2. Berechnungsverfahren . . . . .	159
6.2.3. Scheduling-Algorithmus . . . . .	160
6.2.4. Timing-Analyse mit zufälligen Nachrichten . . . . .	161
6.2.5. Der Programmablauf . . . . .	163
6.2.6. Implementierung als PREEvision Plugin . . . . .	166
6.2.7. Ergebnisse . . . . .	167
6.2.8. Zusammenfassung . . . . .	169
6.3. Parameter Konfiguration auf Basis von Benutzervorgaben . . . . .	169
6.3.1. Abhängigkeiten zwischen Parametern . . . . .	170
6.3.2. Algorithmus zur Berechnung unbekannter Parameter . . .	173
6.3.3. Algorithmus zur Überprüfung der berechneten Parameter .	175
6.3.4. Berechnung der Parameter . . . . .	176
6.3.5. Implementierung der Berechnungssoftware . . . . .	180
6.3.6. Zusammenfassung . . . . .	180
6.4. Einhaltung von Topologie Randbedingungen . . . . .	182
6.4.1. Überprüfung der FlexRay Topologie . . . . .	182
6.4.2. Überprüfungsmethode . . . . .	185
6.4.3. Abfrage von Topologiesegmenten und Überprüfung der Struktur . . . . .	187
6.4.4. Zusammenfassung . . . . .	193
6.5. Parameter Extraktion . . . . .	193
6.5.1. Architektur des Analyse-Systems . . . . .	194
6.5.2. Konzeption des Analysemoduls . . . . .	194
6.5.3. Konzept des NIOS II Systems . . . . .	208
6.5.4. NIOS II Software Module . . . . .	209
6.5.5. Test des Systems . . . . .	211

6.5.6. Zusammenfassung . . . . .	211
<b>7. Untersuchungen zum Einsatz von FlexRay für industrielle Anwendungen</b>	<b>213</b>
7.1. Kommunikation auf Basis von FlexRay . . . . .	213
7.2. Prototypische Realisierung . . . . .	215
7.3. Auswirkungen der Kabellänge auf die Übertragung . . . . .	216
7.4. Zusammenfassung . . . . .	218
<b>8. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>219</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>223</b>
A.1. Dimensionierung FlexRay Protokoll Parameter . . . . .	223
A.1.1. Globale Parameter . . . . .	223
A.1.2. Lokale Parameter . . . . .	242
<b>Verzeichnisse</b>	<b>267</b>
Abbildungsverzeichnis . . . . .	267
Tabellenverzeichnis . . . . .	271
<b>Literatur- und Quellennachweise</b>	<b>275</b>
<b>Betreute studentische Arbeiten</b>	<b>285</b>
<b>Konferenzbeiträge</b>	<b>289</b>