

# 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. 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. Elektrobit 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. Entworfene 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>