

---

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Feldbus-Grundlagen</b> .....	3
2.1	Grundlegende Begriffe .....	3
2.1.1	OSI-Schichtenmodell .....	3
2.1.2	Klassifizierung von Autobusprotokollen .....	5
2.1.3	Verkabelungstechnik .....	6
2.1.4	Übertragungsmedien .....	7
2.1.5	Topologien .....	9
2.1.6	Medienzugriffssteuerung .....	9
2.1.7	Fehlererkennung .....	11
2.1.8	Echtzeitfähigkeit .....	12
2.2	Kriterien für die Auswahl von Feldbusprotokollen .....	13
2.3	Die Entwicklung von CAN .....	14
2.3.1	Standardisierungen von CAN .....	16
<b>3</b>	<b>Grundlagen der CAN-Architektur</b> .....	17
3.1	CAN-Spezifikationen .....	18
3.1.1	CAN-Telegramme .....	18
3.1.2	Bit-Codierung .....	22
3.1.3	Arbitrierung .....	22
3.1.4	Ausnahmebehandlung .....	24
3.1.5	Zeitverhalten .....	30
3.1.6	Bit-Timing und Synchronisation .....	32
3.1.7	Eigenschaften von CAN-Controllern .....	38
3.2	Time-Triggered CAN – TTCAN Die zeitgesteuerte Version des CAN-Protokolls .....	40
3.2.1	Motivation der Weiterentwicklung von CAN zu TTCAN .....	40
3.2.2	Rahmenbedingungen .....	41
3.2.3	Prinzipien der Zeitsteuerung .....	41
3.2.4	Kommunikationsstruktur .....	42
3.2.5	Kommunikationsablauf .....	44
3.2.6	Synchronisation, lokale und globale Zeit .....	44
3.2.7	Redundanz der Zeitgeber .....	46
3.2.8	Ereignissynchronisierter Zyklus .....	46
3.2.9	Driftkorrektur .....	47
3.2.10	Erweiterte Fehlererkennung und -behandlung .....	48
3.2.11	Zusammenfassung .....	48

<b>4</b>	<b>Die physikalische Schicht</b>	49
4.1	Der Transceiver	49
4.1.1	Transceiver-Modi	50
4.2	Die CAN-Drossel	52
4.3	Netzwerkkonzepte	52
4.3.1	Der fehlertolerante Low-Speed Physical Layer	53
4.3.2	Der High-Speed Physical Layer	55
4.4	Terminierungskonzepte	58
4.4.1	Standard-Terminierung	58
4.4.2	Terminierung mit Mittelabgriff	58
4.4.3	Terminierung mit Split-Pin	58
4.4.4	Terminierungswiderstände an allen Knoten	59
4.5	Netzwerktopologien	59
4.5.1	Einzelstern	60
4.5.2	Doppelstern	60
4.5.3	Linearer Bus	61
4.5.4	Hybride Topologien	61
4.5.5	Laufzeiten im Netzwerk	62
4.6	Topologieeinflüsse	62
4.6.1	Architektur des CAN-Netzwerks	63
4.6.2	Architektur von CAN-Knoten	67
4.6.3	Wechselwirkungen der Komponenten und analytische Betrachtung der Signalqualität	75
4.7	Simulationsbasierter Entwurf von Fahrzeugvernetzungstopologien	82
4.7.1	Entwicklung automotiver Vernetzungstopologien	82
4.7.2	Systemsimulation als Werkzeug des Netzwerkdesigners	84
4.7.3	Saber – Eine Entwicklungsumgebung zur Simulation und Analyse der physikalischen Schicht von Netzwerktopologien	88
4.8	Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV	93
4.8.1	Einleitung	93
4.8.2	EMV-Anforderungen, -Vorschriften und -Richtlinien	94
4.8.3	Einflussfaktoren auf die EMV des CAN-Busses	94
4.8.4	EMV-Bewertung von CAN-Transceivern	96
4.9	Teilnetzbetrieb – Partial Networking	109
4.9.1	Motivation	109
4.9.2	Realisierungsmöglichkeiten	111
4.9.3	Transceiver-Lösung für den Teilnetzbetrieb (Infineon)	112
4.9.4	Teilnetzfähige High-Speed-CAN-Transceiver (ELMOS)	117
4.9.5	Partial Networking mit dem Mikrocontroller (Infineon)	122
4.9.6	Vergleich der Transceiver- und Mikrocontroller-Lösung (Infineon)	123
4.9.7	Konzept und Realisierung bei NXP	123
4.10	Transceiver-Implementierungen	125
4.10.1	Implementierungsbeispiel TLE 6254-3G (ISO 11898-3)	125
4.10.2	Implementierungsbeispiel TLE 6250 G (ISO 11898-2)	129
4.10.3	Implementierungsbeispiel TLE 6251-2G (ISO 11898-5)	132

<b>5</b>	<b>CAN-Protokollkerne und CAN-Module</b> .....	137
5.1	M_CAN – Modularer CAN-Controller .....	137
5.2	IFI Advanced CAN .....	140
5.2.1	Sendepuffer .....	141
5.2.2	Masken und Filter .....	142
5.2.3	Empfangspuffer .....	142
5.2.4	Zeitstempel .....	143
5.2.5	Fazit .....	143
5.3	Renesas (D)AFCAN .....	144
5.3.1	Eigenschaften des AFCAN .....	145
5.3.2	Erweiterte Eigenschaften des DAFCAN .....	146
5.3.3	Funktionsbeschreibung des AFCAN .....	146
5.3.4	Zusätzliche Funktionen des DAFCAN .....	150
5.3.5	AFCAN-Module im V850/Fx3 ( $\mu$ PD70F337x, $\mu$ PD70F338x) .....	151
5.3.6	(D)AFCAN-Module im V850/CG4 ( $\mu$ PD70F3433) .....	152
5.4	Infineons CAN-Module der XC16x- und XC2000/XE16x-Familie .....	153
5.4.1	TwinCAN und MultiCAN von Infineon .....	153
5.4.2	TwinCAN .....	153
5.4.3	MultiCAN .....	158
5.4.4	Die XC2000-Familie in Funktion eines Body-Gateways – Ein Applikationsbeispiel für den MultiCAN .....	163
5.5	Microchip – Produkte für CAN-Applikationen .....	165
5.5.1	8-bit-PIC®-Mikrocontroller mit On-Chip-CAN-Controller .....	167
5.5.2	16-bit-PIC®-Mikrocontroller und dsPIC® Digital Signal Controllers (DSCs) mit On-Chip-CAN-Controller .....	170
5.5.3	32-bit-PIC®-Mikrocontroller-Lösungen mit On-Chip-CAN .....	176
5.5.4	Microchips Stand-alone-CAN-Peripherie-Produkte .....	177
5.6	Basic CAN +: Das Freescale MSCAN-Modul .....	178
5.6.1	Funktionsweise des MSCAN-Interfaces .....	180
5.6.2	Ablauf des Nachrichtenempfangs .....	182
5.6.3	Sendeablauf der Nachrichten .....	183
5.7	Xilinx CAN-Controller LogiCORE™ IP .....	185
5.7.1	Benutzerschnittstelle .....	186
5.7.2	Objektschicht .....	188
5.7.3	Transferschicht .....	190
5.7.4	Bitstromprozessor .....	191
5.7.5	Konfiguration des CAN-Controllers .....	191
5.7.6	Bestellung des LogiCORE CAN-Controllers .....	196
<b>6</b>	<b>High-Level-Protokolle</b> .....	197
6.1	CANopen .....	197
6.1.1	Profil für die unteren Schichten .....	197
6.1.2	Gerätemodell .....	199
6.1.3	Netzwerkmanagement .....	202
6.1.4	Transportprotokolle .....	204

6.1.5	Anwendungsprotokolle .....	206
6.1.6	Geräteprofile .....	209
6.1.7	Anwendungsprofile .....	214
6.2	AUTOSAR .....	216
6.2.1	Einleitung .....	216
6.2.2	Die AUTOSAR-Plattform .....	219
6.2.3	AUTOSAR-Kommunikation – Ein Beispiel .....	224
6.3	Fahrzeugdiagnose-Realisierungen auf CAN .....	229
6.3.1	Überblick .....	229
6.3.2	OBDonCAN – ISO 15031 emissionsbezogene OBD auf ISO 15765-4 DoCAN .....	232
6.3.3	UDSonCAN – ISO 14229-3 .....	239
6.3.4	Entwicklungstrends .....	243
6.4	SAE J1939 .....	252
6.4.1	Hintergrund der SAE J1939 .....	252
6.4.2	Struktur der SAE J1939 .....	253
6.4.3	SAE J1939-21 – Sicherungsschicht .....	254
6.4.4	SAE J1939-31 – Netzwerkschicht .....	257
6.4.5	SAE J1939-71 – Fahrzeugapplikationsschicht .....	257
6.4.6	SAE J1939-73 – Diagnose .....	259
6.4.7	SAE J1939-81 – Netzwerkmanagement .....	262
6.4.8	SAE J1939-84 – Konformitätstest .....	263
6.5	CANaerospace .....	263
6.5.1	Die Netzwerkschichten von CANaerospace .....	264
6.5.2	Datenrepräsentation in CANaerospace .....	266
6.5.3	Zeitverhalten in CANaerospace-Netzwerken .....	268
6.6	Die ARINC-Spezifikation 825 .....	270
6.7	Das DeviceNet-Kommunikationsnetzwerk .....	274
6.7.1	Einleitung .....	274
6.7.2	Die DeviceNet-Architektur .....	274
6.7.3	Die physikalische Ebene .....	275
6.7.4	Buszugriff .....	275
6.7.5	Die Anwendungsebene .....	276
6.7.6	Das CIP-Objektmodell .....	278
6.7.7	Vordefinierte Einstellung einer Master/Slave-Verbindung .....	280
6.7.8	Geräteprofile .....	282
6.7.9	DeviceNet Safety .....	282
6.7.10	Hauptunterscheidungsmerkmale von DeviceNet .....	283
6.7.11	Zusammenfassung .....	285
6.7.12	Die ODVA (Herstellerorganisation für DeviceNet, ControlNet, EtherNet/IP und CompoNet) .....	286
6.8	CanKingdom .....	286
6.8.1	Übersicht .....	286
6.8.2	Hintergrund .....	287
6.8.3	Das Konzept hinter CanKingdom .....	288

6.8.4	Eine kurze Übersicht .....	289
6.8.5	Vokabular von CanKingdom .....	290
6.8.6	Die Seite des Königs .....	291
6.8.7	Die Seite des Bürgermeisters .....	293
6.8.8	Organisation der Stadt .....	294
6.8.9	Der Ordner .....	295
6.8.10	Ordnerkennzeichnung .....	295
6.8.11	Komponierbarkeit und Zugehörigkeit .....	298
6.9	SocketCAN	
	CAN-Programmierschnittstellen in Mehrbenutzerbetriebssystemen .....	299
6.9.1	Einführung .....	299
6.9.2	CAN als Netzwerkschnittstelle .....	300
6.9.3	Die Protokollfamilie PF_CAN .....	302
6.9.4	Integration in das Betriebssystem .....	304
6.9.5	Fazit .....	305
<b>7</b>	<b>Entwurf deterministischer Netzwerke</b> .....	<b>307</b>
7.1	Einleitung .....	307
7.2	Hintergrund .....	307
7.3	Problemanalyse .....	309
7.4	Timing-Modell .....	311
7.5	Netzwerkentwurf .....	314
7.6	Auswirkungen .....	315
7.6.1	Geringerer Testaufwand .....	315
7.6.2	Bessere Auslastung .....	315
7.6.3	Flexible Rekonfiguration .....	316
7.6.4	Vereinfachter Gateway-Entwurf .....	316
7.7	Fazit .....	317
<b>8</b>	<b>CAN-Applikationen</b> .....	<b>319</b>
8.1	Elektronik-Systemarchitektur von Kraftfahrzeugen	
	Anwendung des CAN-Busses – Status und Perspektiven .....	319
8.1.1	Bussysteme im Kraftfahrzeug .....	319
8.1.2	Die Anwendung von CAN in heutigen Bordnetzen .....	321
8.1.3	CAN und AUTOSAR .....	321
8.2	Vernetzte Systeme bei PSA Peugeot Citroën .....	323
8.2.1	Plattform-Strategie .....	323
8.2.2	Backbone der Elektronikarchitektur .....	324
8.2.3	Die Komplexität der Architektur .....	325
8.2.4	Topologie des Netzwerks .....	327
8.2.5	Softwarearchitektur .....	328
8.2.6	Zukünftige Kommunikationsnetzwerke .....	329
8.3	TTCAN – Applikationen .....	329
8.3.1	Softwareimplementierungen von TTCAN-X-by-Wire .....	329

8.3.2	Implementierung des TTCAN-Netzwerks .....	329
8.3.3	Umsetzung der Lenkung .....	330
8.3.4	Umsetzung der Bremse .....	332
8.3.5	Rückmeldungsnachrichten .....	332
8.3.6	Das endgültige System .....	332
8.4	Entwicklung von CAN in der Luftfahrt .....	333
8.5	CAN in der Welt der Flugzeuge .....	339
8.5.1	Warum CAN? .....	339
8.5.2	Luftfahrzeugspezifische Bedingungen an die physikalische Schicht .....	342
8.5.3	DAL, Sicherheit, Zertifizierung .....	343
8.5.4	Beispiel: Rauchmelder an einem sicherheitsrelevanten CAN-Netzwerk .....	344
8.6	Das dezentrale Heizungspumpen-System GENIAX .....	352
<b>9</b>	<b>Test-Techniken</b> .....	<b>357</b>
9.1	Ziele und Methoden von Konformitätstests .....	357
9.1.1	Wichtige Begriffe .....	359
9.1.2	Zweck, Nutzen und Bedeutung von Konformitätstests .....	360
9.1.3	Test-Methoden, -Standards und -Regeln .....	363
9.1.4	Funktionale Tests, Zeitverhalten und Performance .....	366
9.1.5	Verifikation und Validierung von Testsystemen .....	367
9.2	CAN-Transceiver-Konformitätstests .....	369
9.2.1	Standardisierung der physikalischen Schicht von CAN .....	369
9.2.2	Die Notwendigkeit von CAN-Transceiver-Tests .....	370
9.2.3	Die Testidee der CAN-Transceiver-Tests .....	372
9.2.4	Das Testsystem für CAN-Transceiver .....	376
9.2.5	Die Testfälle der CAN-Transceiver-Tests .....	379
9.2.6	Ausblick .....	383
9.3	CAN-Controller-Konformitätstests .....	384
9.3.1	Architektur und Implementierung der Testumgebung .....	384
9.3.2	Grundtestarten .....	387
9.3.3	Testtypen, -klassen und -fälle .....	387
9.3.4	Ergebnisse der Konformitätstests .....	391
9.4	CAN-Software-Tests .....	392
9.4.1	Anforderungen an Tests und Testsysteme .....	394
9.4.2	Testsystem-Strukturen für Embedded-Software-Tests .....	397
9.5	Modellbasiertes Testen .....	401
9.5.1	VHDL-AMS .....	402
9.5.2	Testmethodik .....	403
<b>10</b>	<b>Emulation von CAN-Netzwerken</b> .....	<b>407</b>
10.1	Test von CAN-Steuergeräten .....	407
10.1.1	Problemstellung und Anforderungen .....	407
10.1.2	Testmethodik .....	408
10.1.3	Simulation des CAN-Netzwerks .....	412
10.1.4	Testen mit Vector CANoe .....	413

---

10.2	Simulation und Test der CAN-Kommunikation .....	415
10.2.1	Entwicklung und Validierung der Kommunikation durch Restbussimulation .....	416
10.2.2	Implementierungssoftware CAN MM .....	417
10.2.3	Test und Experimentierwerkzeuge .....	421
10.2.4	CAN-Werkzeugkette .....	425
<b>11</b>	<b>Weitere Bussysteme</b> .....	<b>427</b>
11.1	LIN .....	427
11.1.1	OSI-Modell .....	428
11.1.2	Implementierungen .....	429
11.2	FlexRay .....	430
11.2.1	OSI-Modell .....	431
11.2.2	Implementierungen .....	434
11.3	Ethernet .....	434
11.3.1	OSI-Modell .....	435
11.3.2	Einige Beispiele für Ethernet-Implementierungen .....	437
11.3.3	Power over Ethernet (PoE) .....	437
11.3.4	Industrial Ethernet .....	438
11.4	MOST .....	438
11.4.1	OSI-Modell .....	438
11.4.2	Implementierungen .....	440
11.5	USB (Universal Serial Bus) .....	441
11.6	FireWire .....	442
11.7	Profibus .....	443
11.8	Interbus-S .....	444
11.9	AS-i (Actuator-Sensor-Interface) .....	445
11.10	eBUS (Energy Bus) .....	446
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>447</b>
	Verweise auf nationale und internationale Standards .....	449
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>455</b>
	<b>Autorenverzeichnis</b> .....	<b>473</b>
	<b>Sachwörterverzeichnis</b> .....	<b>479</b>