

	Symbolverzeichnis	1
1	Der modulare von-Neumann-Rechner für Realzeit-Anwendungen	4
1.1	Realzeitbetrieb und Zuverlässigkeit	4
1.2	Modularer von-Neumann-Rechner	5
1.2.1	Prozessor und Prozessormodul	6
1.2.2	Hauptspeicher und Hauptspeichermodul	6
1.2.3	Ein-/Ausgabeverfahren und Ein-/Ausgabemodul	6
1.3	Asynchrone Busprotokolle für parallele Rechnerbusse	12
1.3.1	Kommunikation zwischen Prozessor- und Hauptspeichermodul	13
1.3.2	Synchronisation durch das Prozessormodul	19
1.4	Mehrere Steuersignale des Prozessormoduls	20
2	Zur Fehlertoleranz in modularen Realzeitrechensystemen	22
2.1	Störungen, logische Fehler, Rechenfehler	22
2.2	Mechanismen der Fehlertoleranz	23
2.3	Redundanzformen	24
2.4	Statische modular-redundante Systeme	27
2.4.1	Schnelle Duplexsysteme	27
2.4.2	Das Votierprinzip	28
2.5	Bekannte modulare votierende Realzeit-Triplexsysteme	31
2.5.1	Systeme der SIFT-Klasse	32
2.5.2	Systeme der HIFT-Klasse	33
2.5.3	Hybrides System	34
2.5.4	Bewertung der betrachteten Systeme	35
2.6	Anforderungen an ein neues Realzeit-Triplexsystem	37
3	Zur Synchronisationsproblematik des modular-redundanten HIFT-Systems mit dezentraler Synchronisation	43
3.1	Der Einfluß von Synchronisationsfehlern auf das statisch	45

# VI

	votierte Steuersignal	
3.2	Berücksichtigung logischer Fehler	51
3.3	Synchronisieren und Votieren von Steuersignalen der Prozessor- und Hauptspeichermoduln	57
4	Votierlogik, dynamischer Signalvotierer, Zeitlogik	64
4.1	Dynamisches Votieren der Steuersignale	68
4.1.1	Busprotokolle mit Zeitreserven zum Synchronisieren / Vo- tieren	71
4.1.2	Busprotokolle ohne Zeitreserven zum Synchronisieren / Vo- tieren	72
4.2	Dynamischer Votierer für unidirektionale Steuersignale	73
4.2.1	Zur Realisierung des Zeitglieds	76
4.2.2	Register-Transfer-Anweisungen des unidirektionalen Votierers	81
4.3	Garantieren der Zeitspezifikationen der Busprotokolle	83
5	Votieren von Datenworten / dynamischer Datenwortvotierer	89
5.1	Datenwortvotierer des quellengesteuerten Einwegverfahrens	90
5.2	Datenwortvotierer des zielgesteuerten Einwegverfahrens	96
5.3	Votieren über Adreßbusworte, Interruptvektoren, Datenbusworte	99
6	Fehlerdiagnose permanent fehlerhafter Moduln	103
6.1	Fehlerlokalisierung	105
6.2	Gültigkeit der Fehlerlokalisierung	111
6.3	Fehlerklassifizierung	115
6.3.1	Hardwareschema der Diagnoseeinheit	117
6.3.2	Steuerung der Diagnose	119
6.3.3	Meldung permanent fehlerhafter Moduln	121

## VII

7	Elementare Ein-/Ausgabeformen im votierenden System	122
7.1	Port - Ein-/Ausgabe	122
7.2	Die Interrupt - Eingabe	123
7.3	Die DMA - Ein-/Ausgabe	125
7.4	Erweiterungen der Votierlogik aufgrund der Ein-/Ausgabeverfahren	126
7.5	Gültigkeit der Fehlerlokalisierung bei den Ein-/Ausgabeverfahren	129
8	Leistungsverluste beim N-plex-HIFT-System	132
	Zusammenfassung	147
	Anhang	151