

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. EINFÜHRUNG</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Motivation</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Übersicht</b>	<b>6</b>
<b>2. AUSWAHL DER FEHLERTOLERANZVERFAHREN</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Ziele der Fehlertoleranz</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1 Zuverlässigkeit</b>	<b>10</b>
<b>2.1.2 Sicherheit</b>	<b>11</b>
<b>2.1.3 Wirtschaftlichkeit</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Bewertung von Fehlertoleranz</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1 Gegenüberstellung der Begriffe und Kenngrößen</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2 Geschlossene Darstellung der Fehlertoleranzkenngrößen</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Klassenauswahl als Projektierungsverfahren für die Anwendung</b>	<b>21</b>
<b>2.3.1 Zuverlässigkeitsklassen für Tasks</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2 Fehlertoleranzklassen für Funktionen</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3 Auswahl einer Fehlertoleranzklasse</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Realisierungsprinzipien</b>	<b>30</b>
<b>2.4.1 Industrielle Randbedingungen</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2 Gliederung der Verfahren</b>	<b>32</b>
<b>2.4.3 Ausgewählte Verfahrenskombinationen</b>	<b>33</b>
<b>2.4.3.1 Klasse Z - Zuverlässigkeit</b>	<b>33</b>
<b>2.4.3.2 Klasse S - Sicherheit</b>	<b>35</b>
<b>2.4.3.3 Klasse W - Wirtschaftlichkeit</b>	<b>37</b>
<b>2.5 Gegenüberstellung ausgewählter Verfahren</b>	<b>39</b>
<b>3. DIE SYSTEM-HARDWARE</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Die FIPS-Hardware-Struktur</b>	<b>41</b>

3.1.1 Globale Grundstruktur dezentraler Automatisierungssysteme	42
3.1.2 Ergänzungen für die Fehlertoleranz	44
3.1.3 Systematische Gliederung und mögliche Ausbaustufen	46
3.1.3.1 Die Modulebene	46
3.1.3.2 Die Lokalsystemebene	46
3.1.3.3 Die Regionalsystemebene	47
3.1.3.4 Die Globalsystemebene	49
3.2 Das Lokalsystem als Basissystem	51
3.2.1 Anforderungen der Fehlertoleranz an das Basissystem	51
3.2.2 Der Aufbau eines Lokalsystems	53
3.2.3 Die Baugruppen des Basissystems	56
3.2.3.1 Der Mikrorechner (MIC)	56
3.2.3.2 Die Speicherbaugruppe (M)	58
3.2.3.3 Das Konsolen-Interface (CI)	60
3.2.3.4 Die Analog-Ein/Ausgabe (AIO)	63
3.2.3.5 Die Binär-Ein/Ausgabe (BIO)	66
3.2.3.6 Der Globalbuskoppler (GBC)	68
3.2.3.7 Die Stromversorgung (PS)	68
3.3 Der Regionalbus als zusätzlicher Kommunikationsweg	71
3.3.1 Anforderungen an einen Kommunikationsweg	71
3.3.2 Das Prinzip des Regionalbus	72
3.3.3 Der Aufbau eines Regionalbuskopplers	73
3.3.4 Die wichtigsten Funktionen der Regionalbuskoppler	76
3.3.5 Die Nutzung für die Fehlertoleranz	79
3.4 Die Realisierung dezentraler Voter	83
3.4.1 Anforderungen an dezentrale Voter	84
3.4.2 Die Anordnung für hohe Zuverlässigkeit	85
3.4.3 Die Anordnung für sicherheitsgerichtetes Verhalten	87
3.4.4 Die Bedeutung des Schaltelements	89
3.4.5 Ein Implementierungsbeispiel	92
3.5 Die realisierte System-Hardware	94
3.5.1 Die Aufbautechnik	94
3.5.2 Der Umfang des aufgebauten Systems	94

<b>4. DIE SYSTEM-SOFTWARE</b>	<b>99</b>
<b>4.1 Die Anforderungen an das Betriebssystem</b>	<b>102</b>
4.1.1 Randbedingungen in der Automatisierungstechnik	102
4.1.2 Spezielle Anforderungen durch die Fehlertoleranz	103
<b>4.2 Das Betriebssystem REX im Überblick</b>	<b>106</b>
4.2.1 Die Systemphilosophie	106
4.2.2 Behandelte Objekte	108
4.2.3 Schichten und Oberflächen	109
<b>4.3 Die dezentrale Datenhaltung</b>	<b>115</b>
4.3.1 Die Segmentierung von Anwenderprogrammen	116
4.3.2 Regional zugängliche System-Informationen	119
4.3.3 Die Lokalsystembeschreibung	122
<b>4.4 Die Koppel-Software</b>	<b>124</b>
4.4.1 Die Funktionen der Koppel-Software	124
4.4.2 Ein Beispiel für die regionale Ausführung eines Systemaufrufs	127
<b>4.5 Die Exekutive</b>	<b>129</b>
4.5.1 Die Hierarchie in der Exekutive	129
4.5.2 Die Bearbeitung von Jobs und Tasks	131
4.5.2.1 Die unbewußten Exekutivzustände	132
4.5.2.2 Die bewußten Funktionszustände	138
4.5.3 Kommunikationsmittel für Jobs und Tasks	142
4.5.3.1 Direkte Kommunikation	143
4.5.3.2 Botschaftenorientierte Kommunikation	143
4.5.4 Die Prozeß-Ein/Ausgabe	146
4.5.4.1 Die analoge Eingabe als Beispiel	147
4.5.5 Eine Übersicht über Systemaufrufe	148
<b>4.6 Der Konfigurator</b>	<b>159</b>
4.6.1 Der Systemstart	160
<b>4.7 Das Dialogsystem</b>	<b>163</b>
4.7.1 Die Schnittstelle zum Anwenderprogramm	164
4.7.2 Die Bedienfunktion	165
<b>4.8 Die Bibliothek</b>	<b>169</b>
<b>4.9 Die Realisierung des Betriebssystems</b>	<b>171</b>

<b>5. SPEZIELLE ENTWICKLUNGSHILFEN</b>	<b>174</b>
5.1 Hilfsdateien für die Erstellung einer Task	174
5.2 Bibliotheken und zugehörige Extern-Deklarationen	177
<b>6. FEHLERTOLERANTE REGELPROGRAMME</b>	<b>180</b>
6.1 Digitale Regler in verschiedenen Fehlertoleranzklassen	180
6.1.1 Die Software-Realisierung der Regler	183
6.1.1.1 Rekonfigurierbare Regler der Klasse W	184
6.1.1.2 Sicherheitsgerichtete Regler der Klasse S	187
6.1.1.3 Hochzuverlässige Regler der Klasse Z	190
6.1.2 Experimente an analog simulierten Prozessen	192
6.1.2.1 Die Erzeugung von Fehlern	192
6.1.2.2 Die Versuchsanordnung	193
6.1.2.3 Ein Beispielexperiment	195
6.2 Fehlertolerierende, schnelle adaptive Mehrgrößenregelung	200
6.2.1 Der parameteradaptive Regelkreis	201
6.2.2 Die Elemente des paramateradaptiven Regelkreises	202
6.2.3 Die Realisierung in der Fehlertoleranzklasse W	206
<b>7. GEGENÜBERSTELLUNG DER FEHLERTOLERANZKLASSEN</b>	<b>212</b>
7.1 Die tolerierbaren Fehler	212
7.2 Die Verbesserung relevanter Kenngrößen	216
7.3 Der erforderliche Aufwand	221
<b>8. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>226</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>229</b>
<b>ANHANG</b>	<b>239</b>