
Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	xvii
Abbildungsverzeichnis	xix
Tabellenverzeichnis	xxiii
1. Einleitung	1
2. Motivation und Zielsetzung	3
2.1. Aufbau numerischer Steuerungssysteme	4
2.2. Zuverlässigkeit des numerischen Steuerungssystems	5
2.2.1. Zuverlässigkeitskenngrößen	7
2.2.2. Zuverlässigkeit des numerischen Steuerungssystems . . .	9
2.3. Problemstellung	11
2.3.1. Analyse des hinnehmbaren Schadenrisikos	12
2.3.2. Analyse des Steuerungssystems bezüglich sicherheitsrelevanter Funktionen	15
2.3.3. Bewertung der Analyse	19
2.4. Zielsetzung	19
3. Stand der Technik	23
3.1. Klassifikation von Fehlern	23
3.2. Allgemeine Maßnahmen zur Fehlerbehandlung	26
3.2.1. Fehlerausgrenzung	26
3.2.2. Fehlerbehebung	28

3.2.3. Fehlerkompensierung	29
3.2.4. Bewertung der allgemeinen Maßnahmen	30
3.3. Strukturelle Maßnahmen zur Fehlermaskierung	31
3.4. Weitere Forschungsarbeiten	35
3.5. Die fehlersichere numerische Steuerung	37
3.6. Verbesserungspotential bestehender Lösungen	39
4. Lösungsansatz	43
4.1. Wirksamkeit der Maßnahmen	44
4.2. Rekonfiguration bei zwei verbleibenden Steuerungen	47
4.3. Grundlegender Systemaufbau	48
4.4. Aufgabenstellung	50
5. Positionierung des Mehrheitsentscheiders	51
5.1. Verteilte antriebsintegrierte Entscheider	51
5.2. Ein zentraler Entscheider	53
5.3. Verteilte steuerungsintegrierte Entscheider	55
5.4. Vergleich der Positionierungen	58
5.5. Zusammenfassung	58
6. Synchronisation redundanter numerischer Steuerungen	61
6.1. Nutzung von Dual-Ported-RAM	62
6.2. Geteilter Speicher mit Arbitrierungslogik	63
6.3. Verteilter Speicher	64
6.4. Bewertung der Synchronisationsmodelle	65
6.5. Zusammenfassung	68
7. Algorithmen für die Mehrheitsentscheidung	69
7.1. Methoden zur Sollwertbestimmung	71
7.2. First-Seen	72
7.3. Arithmetischer Mittelwert	73
7.4. Median	75

7.5. Intervallmethode	75
7.6. Zusammenfassung	77
8. Realisierung	79
8.1. Aufbau des Demonstrationssystems	79
8.1.1. Systemaufbau und -topologie	79
8.1.2. Synchronisation der NC Kanäle	81
8.1.3. Fehlerreaktion	84
8.2. Fehlersimulationstest	87
8.2.1. Auswertung der Reaktion auf den simulierten Programmabsturz	87
8.2.2. Auswertung der Reaktion auf den simulierten Speicherfehler	91
8.3. Bewertung der Ergebnisse	93
9. Zusammenfassung und Ausblick	97
A. Synchronizität der numerischen Steuerungen	99
A.1. Laden des NC Programms	101
A.2. Start des NC Programms und Anfahrt an Werkstück	103
A.3. Erster Ausfall	103
A.4. Zweiter Ausfall	106
A.5. Bewertung	106
B. Bewertung zeitversetzt laufender Steuerungen	109
B.1. First-Seen Methode bei Zeitversatz	110
B.2. Arithmetischer Mittelwert bei Zeitversatz	111
B.3. Median Methode bei Zeitversatz	112
B.4. Intervallmethode bei Zeitversatz	113
B.5. Bewertung	114
Literaturverzeichnis	117