

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xix</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xxiii</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Motivation und Zielsetzung</b>	<b>3</b>
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 sicherheits- relevanter Funktionen . . . . .	15
2.3.3. Bewertung der Analyse . . . . .	19
2.4. Zielsetzung . . . . .	19
<b>3. Stand der Technik</b>	<b>23</b>
3.1. Klassifikation von Fehlern . . . . .	23
3.2. Allgemeine Maßnahmen zur Fehlerbehandlung . . . . .	26
3.2.1. Fehlerausgrenzung . . . . .	26
3.2.2. Fehlerbehebung . . . . .	28
	<b>xiii</b>

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
<b>4.</b>	<b>Lösungsansatz</b>	<b>43</b>
4.1.	Wirksamkeit der Maßnahmen . . . . .	44
4.2.	Rekonfiguration bei zwei verbleibenden Steuerungen . . . . .	47
4.3.	Grundlegender Systemaufbau . . . . .	48
4.4.	Aufgabenstellung . . . . .	50
<b>5.</b>	<b>Positionierung des Mehrheitsentscheiders</b>	<b>51</b>
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
<b>6.</b>	<b>Synchronisation redundanter numerischer Steuerungen</b>	<b>61</b>
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
<b>7.</b>	<b>Algorithmen für die Mehrheitsentscheidung</b>	<b>69</b>
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
<b>8. Realisierung</b>	<b>79</b>
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 Programm- absturz . . . . .	87
8.2.2. Auswertung der Reaktion auf den simulierten Speicher- fehler . . . . .	91
8.3. Bewertung der Ergebnisse . . . . .	93
<b>9. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>97</b>
<b>A. Synchronizität der numerischen Steuerungen</b>	<b>99</b>
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>B. Bewertung zeitversetzt laufender Steuerungen</b>	<b>109</b>
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
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>117</b>