

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I-IV</b>
<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>V-VI</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1    Wirtschaftliche Situation	1
1.2    Konsequenzen	4
1.3    Automatisierung	4
<b>2. Flexible Automatisierung - Stand der Technik</b>	<b>8</b>
2.1    Struktur flexibel automatisierter Produktionssysteme	8
2.2    Betriebsverhalten flexibel automatisierter Produktionssysteme	10
2.3    Instandhaltung	11
2.3.2    Organisatorische Maßnahmen	11
2.3.2    Instandhaltungseignung	13
2.3.3    Fehlererkennung	14
2.3.4    Fehlerausbreitung	17
2.4    Zuverlässigkeit bei hohem Automatisierungsgrad	17
<b>3. Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit heutiger Werkzeugmaschinen</b>	<b>19</b>
3.1    Datenbeschaffung	19
3.1.1    Werkzeugmaschinenhersteller	19
3.1.2    Werkzeugmaschinenanwender	20
3.1.3    Unabhängige Beobachtung des Ausfallverhaltens	21
3.2    Analyse von Ausfalldaten	21
3.2.1    Drehmaschinen	21
3.2.1.1    Herstellerangaben	21
3.2.1.2    Anwenderangaben über NC-Drehmaschinen	23
3.2.1.3    Literaturvergleich	26
3.2.2    Fräse- / Bohrmaschinen	28
3.2.2.1    Anwenderdaten	28
3.2.2.2    Literaturvergleich	29
3.2.3    Starr automatisierte Produktionsmaschinen	29
3.3    Ausfallursachenanalyse	31
3.3.1    Herstellerdaten	31
3.3.2    Anwenderdaten	38
3.3.3    Literaturvergleich	38

3.4	Diskussion der Ergebnisse	39
3.5	Bedeutung der Ergebnisse für zukünftige Fertigungsstrukturen	41
4.	Redundanzen - Ein Ansatz zur Verbesserung der Verfügbarkeit	43
4.1	Vorbemerkungen	43
4.2	Verfügbarkeit von Parallelschaltungen	44
4.3	Grenzen der Verfügbarkeitssteigerung durch herkömmliche Methoden	46
4.4	Unterschied von reparierbaren und nicht reparierb. Systemen	47
4.5	Redundante Systeme	48
4.5.1	Strategien zur Zuverlässigkeitsteigerung	48
4.5.2	Heiße Redundanz - Konstante Ausfallrate	49
4.5.3	Kalte Redundanz - verschleißbedingte Ausfallverteilung	58
4.5.4	Aktive Redundanz - verschleißbedingte Ausfallverteilung	62
4.5.5	Passive Redundanz - zufällige Ausfallverteilung	62
	Überblick	63
4.6	Höhere Redundanzgrade	64
4.6.1	Erkennbarkeit von Bauteilausfällen	64
4.6.2	Fehlertoleranz	67
4.6.2.1	Sicherheit der Fehlererkennung	67
4.6.2.2	Das Umschalten auf intakte Systeme	70
4.6.2.3	Zuverlässigkeit eines 2-von-n- Systems	72
5.	Verfügbarkeit höher automatisierter Fertigungsanlagen	76
5.1	Allgemeine Berechnung	76
5.2	Einflußgrößen auf die Verfügbarkeit	79
5.2.1	Betrieb mit Instandhaltung	79
5.2.2	Teilweise automatischer Betrieb	82
5.3	Verfügbarkeit 2-von-n- redundanter Systeme	89
5.3.1	Reparaturhäufigkeit und Reparaturrate	89
5.3.2	Instandsetzung nach Ausfall des Systems	89
5.3.3	Inspektion innerhalb kurzer Abstände	90
5.3.4	Möglichkeiten der Senkung der Instandsetzungsdauern	91
5.4	Höhere Redundanzgrade	93
5.5	Zusammenfassung	93
6.	Realisierung hoch zuverlässiger flexibel automatisierter Werkzeugmaschinen	96

6.1	Voraussetzungen, Randbedingungen, Kosten/Nutzen-Relation	96
6.1.1	Wirtschaftlichkeitsüberprüfung	96
6.1.2	Beurteilung des Instandhaltungsaufwandes	101
6.2	Vorgehensweise zur Konstruktion hoch zuverlässiger Maschinen	103
6.2.1	Ebene des Redundanz einbaus	103
6.2.2	Ansätze für Redundanz- Einbau	104
6.2.2.1	Mechanik	105
6.2.2.2	Sensoren	106
6.2.2.3	Elektronik	107
6.2.2.4	Steuerungshardware	108
6.2.2.5	Steuerungssoftware	109
6.3	Reparatur während des Betriebes	110
6.4	Hochverfügbare Steuer- und Regelkonzepte	111
6.4.1	Redundanzarten	111
6.4.2	Softwarefehler	112
6.4.3	Steuerungshardware	112
6.4.4	Betriebssysteme und Programmiersprachen	113
6.5	Zuverlässigkeit der Vergleicher und Umschalter	113
7.	Fehlertoleranter Steuerungsbaustein zur Vermeidung von Kollisionen	116
7.1	Ausfälle und Folgeschäden	116
7.2	Notwendigkeit einer Schutzeinrichtung gegen Kollisionen	118
7.3	Stand der Technik	119
7.3.1	Begrenzung der Schadenshöhe	120
7.3.1.1	Mechanische Lösung	120
7.3.1.2	Steuerungstechnische Lösung	121
7.3.2	Vermeidung von Kollisionen	121
7.3.3	Annäherungsschalter	122
7.3.4	Kollisionsfreie Teileprogramme	122
7.3.4.1	Maschinelle Programmierung	122
7.3.4.2	Manuelle Programmierung an der Maschine	123
7.3.5	Automatische Rohteilerkennung	124
7.3.6	Echtzeitkollisionsüberwachung	125
8.	Verbesserung des Schutzes gegen Kollisionen in Maschinen- Arbeiterräumen	127
8.1	Kollisions - Ursachen	127
8.2	Diskussion der Ergebnisse	128
8.3	Einfluß des Werkers	129

8.4 Ansprüche an einen umfassenderen Kollisionsschutz für Drehmaschinen	130
8.4.1 Aufgabenkatalog	131
8.4.2 Informationsaufbereitung für das Kollisionsschutzsystem	132
8.4.3 Programme	134
8.4.4 Hardware	136
8.4.4.1 Rechenbausteine	136
8.4.4.2 Sensoren	137
 9. Entwicklung eines Kollisionsschutzsystems	138
9.1 Konzeption	138
9.2 Datentechnische Beschreibung der Maschinenkonfiguration	140
9.2.1 Maschinenfeste Konturteile	140
9.2.2 Bewegliche Kollisionskontur	142
9.2.2.1 Programm WZK 1	142
9.2.2.2 Programm WZK 2	142
9.2.2.3 Programm WZK 3	145
9.2.3 Darstellung der erzeugten Konturen	147
9.2.4 Programme zur Kollisionsrechnung	148
9.3 Ausblick	148
 10. Zusammenfassung	149
 Anhang	151
A.1 Logische Reihenfolge	152
A.2 Logische Parallelanordnung (Redundanz)	153
A.3 Parallel-Reihen- und Reihen-Parallel-Anordnung	153
A.4 Zuverlässigkeitfunktion und Ausfallverteilung	155
A.5 Konstante Ausfallrate z	156
A.6 Zeitabhängige Ausfallrate	158
A.7 Die Gauss'sche Ausfallverteilungsfunktion	158
 Literaturverzeichnis	160
 Lebenslauf	