

1. Einleitung	1
2. Stand der Forschung	6
3. Anforderungen, Problemstellung und Konzeptansatz	14
3.1. Ermittlung der günstigsten geometrischen Armmodellierung und -struktur für die Kollisionsvermeidung bei Mehr-Arm-Robotersystemen	15
3.2. Beschreibung der zugrundeliegenden Mehr-Arm-Robotersysteme	18
3.3. Einteilung der Kollisionsvermeidung in Kollisionserkennung und Bahnmodifikation	18
3.3.1. Hierarchische Gliederung der Kollisionserkennung in drei Stufen	19
3.3.2. Bahnmodifikation	26
3.4. Diskussion von zwei möglichen Methoden zur Bahnplanung mit Kollisionsbetrachtung	27
3.5. Einsatz der Sicherheitsvolumenapproximation von Zylindern zur Kollisionsbehandlung	30
3.6. Vorstellung des Steuerungssystems für Mehr-Arm-Robotersysteme	31
3.7. Einfluß der Armkonfiguration auf die Kollisionsbehandlung	33
3.8. Einbeziehung von Werkzeugen/Werkstücken in die Kollisionsbehandlung	33
4. Kinematisches Modell	37
4.1. Die Koordinatensysteme und deren Beziehungen zueinander	37
4.2. Transformation eines beliebigen Frames im gemeinsamen Bezugskoordinatensystem	42
4.3. Bestimmung der Armposition	44
5. Kollisionserkennung	52
5.1. Erste Stufe zur Kollisionserkennung	52
5.1.1. Bestimmung der Kollisionsbereiche für die einzelnen Gelenke	52
5.1.2. Überprüfung, ob sich Arme im Kollisionsraum befinden	59
5.2. Zweite Stufe zur Kollisionserkennung - grobe Kollisionsbetrachtung	60
5.2.1. <i>Off-line</i> Verfahren zur groben Kollisionserkennung	60
5.2.1.1. Kodierung der möglichen Kollisionen	60

5.2.1.2.	Unterteilung der Kollisionsbereiche von Gelenk 1 bis Gelenk 3	61
5.2.1.3.	Berechnung und Abspeicherung der logischen Werte zum Kollisionstest	63
5.2.1.4.	Überprüfung auf Kollisionen	75
5.2.2.	<i>On-line</i> Verfahren zur groben Kollisionserkennung	76
5.2.2.1.	Einteilung des Kollisionsraums in acht Unterkollisionsräume ...	76
5.2.2.2.	Überprüfung auf Kollisionen	77
5.2.3.	Vergleich der beiden groben Kollisionsbetrachtungen	80
5.3.	Dritte Stufe zur Kollisionserkennung - detaillierte Kollisionsbetrachtung	81
5.3.1.	Die Bedingungen für zwei Geraden in einer Ebene, Parallelitätsbedingung und Kollinearitätsbedingung	83
5.3.2.	Zwei Strecken liegen windschief zueinander	84
5.3.3.	Zwei Strecken schneiden sich	89
5.3.4.	Zwei Strecken sind parallel oder kollinear	91
5.3.5.	Anzahl der Operationen im detaillierten Kollisionstest	92
6.	Bahnmodifikation nach erkannter Kollisionsgefahr	94
6.1.	Steuerungsstrategie zur Kollisionsvermeidung zwischen zwei Zylindern	95
6.2.	Strategien zur Kollisionsvermeidung bei Grundkollisionssituationen	103
6.3.	Vereinfachung der Kollisionssituationen	113
7.	Implementierung des Verfahrens und Ergebnisse	116
7.1.	Kollisionsvermeidung im Zwei-Arm-Robotersystem	116
7.2.	Ermittelte Geschwindigkeiten des Kollisionstests im Zwei- und Drei-Arm-Robotersystem	126
8.	Zusammenfassung und Ausblick	128
8.1.	Zusammenfassung	128
8.1.	Ausblick	129
	Literaturverzeichnis	133
	Anhang A	138
	Schlußwort	140