

## **Bibliographische Beschreibung:**

Thomas Schröder

### **Thema:**

Entwicklung und Evaluation von Algorithmen zur zeitoptimierten Bewegungszerlegung bei kinematisch redundanten Werkzeugmaschinen

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 28. September 2007

+ 211 Seiten

+ 67 Abbildungen

+ 17 Tabellen

+ 103 Literaturverweise

### **Kurzreferat:**

Durch überlagerte Kinematiken ist es möglich, Werkzeuge in großen Arbeitsbereichen hochdynamisch zu bewegen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit verschiedenen Konzepten und den daraus resultierenden Algorithmen, um die Bewegung für die redundanten Achsen zu zerlegen.

Ziel der Dissertation ist es, Algorithmen und Konzepte zur Bewegungszerlegung für redundante Achsen zu entwickeln und in Bezug auf Praxistauglichkeit und Realisierbarkeit in aktuellen Steuerungen vergleichend zu evaluieren.

### **Schlagnworte:**

Werkzeugmaschine, redundant, überlagert, Bewegungszerlegung, Dynamikoptimierung, reaktiver Algorithmus, Postprozessor, kognitive Satzverarbeitung, Achsredundanz

# Inhaltsverzeichnis

<b>Aufgabenstellung</b>	<b>19</b>
<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>23</b>
1.1 Wirtschaftliche Anforderungen an Werkzeugmaschinen . . . . .	23
1.2 Allgemeine Konstruktionsprobleme von Werkzeugmaschinen . . . . .	26
1.3 Themenstellung: Das Masse-Arbeitsraum-Dilemma . . . . .	29
<b>2 Stand der Technik und Begriffsklärung</b>	<b>35</b>
2.1 Das NC-Steuerungsschema . . . . .	35
2.2 Das erweiterte NC-Steuerungsschema . . . . .	42
2.3 Die Bahnplanung kommerzieller NC-Steuerungen . . . . .	47
<b>3 Vorbetrachtungen zu zeitlich-räumlichen Bewegungen</b>	<b>59</b>
3.1 Besondere Eigenschaften ruckbegrenzter Trajektorien . . . . .	61
3.2 Zerlegung einer Bewegung in mehrere Achsen . . . . .	67
3.3 Die „Weiche Mondlandung“ . . . . .	69
3.4 Die „Weiche ruckbegrenzte Mondlandung“ . . . . .	72
3.5 Der „Beschleunigte Mond“ . . . . .	75
3.6 Kompensation von Fehlern in der Berechnung der Bahngeschwindigkeit	77
<b>4 Algorithmen mit reaktiver Bewegungserlegung</b>	<b>81</b>
4.1 Die reaktive Bewegungserlegung (Algorithmus Reaktiv1) . . . . .	81
4.1.1 Vorüberlegungen . . . . .	81
4.1.2 Die mathematischen Grundlagen . . . . .	85
4.1.3 Algorithmus und Implementierung . . . . .	89
4.1.4 Untersuchung der Konstante $\lambda$ (Bewegungsvorhalt) . . . . .	93
4.1.5 Untersuchung der notwendigen Dynamik und des Arbeitsraumes der agilen Einheit . . . . .	100

4.2	Die ruckbegrenzte reaktive Bewegungszerlegung (Algorithmus Reaktiv2) . . . . .	109
4.2.1	Die mathematischen Grundlagen . . . . .	109
4.2.2	Veränderungen am Algorithmus und Implementierung . . . . .	110
4.2.3	Untersuchung der notwendigen Dynamik und des Arbeitsraumes der agilen Einheit . . . . .	111
4.3	Die reaktiv-zeitversetzte Bewegungszerlegung (Algorithmus Reaktiv3) . . . . .	118
4.3.1	Konzept . . . . .	118
4.3.2	Umsetzung . . . . .	119
4.3.3	Reaktiv3: Worst Case durch Beschleunigungsänderung . . . . .	119
4.3.4	Implementierung von Algorithmus Reaktiv3 . . . . .	122
4.3.5	Konstante $\lambda$ (Bewegungsvorhalt), Arbeitsraum und Dynamik . . . . .	123
4.4	Potential der reaktiven Bewegungszerlegung . . . . .	130
4.4.1	Konstruktionsprinzipien kinematisch redundanter Werkzeugmaschinen . . . . .	130
4.4.2	Potential zur Minimierung der Bearbeitungszeit . . . . .	134
4.4.3	Auswirkung auf die tatsächliche gefahrene Bahngeschwindigkeit . . . . .	136
<b>5</b>	<b>Bewegungszerlegung per Postprozessor</b>	<b>139</b>
5.1	Konzept . . . . .	139
5.2	Postprozessor, Algorithmus PP1 . . . . .	141
5.2.1	Senkrechte Näherung, Algorithmus PP1_a . . . . .	141
5.2.2	Längenabhängige Näherung, Algorithmus PP1_b . . . . .	144
5.3	Postprozessor, Algorithmus PP2 . . . . .	147
5.3.1	Bestimmung der Bearbeitungszentren, Algorithmus PP2 Teil 1 . . . . .	148
5.3.2	Optimierung, Algorithmus PP2 Teil 2 . . . . .	148
5.4	Postprozessor, Algorithmus PP3 . . . . .	152
5.4.1	Konzept und mathematischer Hintergrund . . . . .	152
5.4.2	Realisierung . . . . .	154
5.5	Vergleich der Postprozessoralgorithmen . . . . .	160
<b>6</b>	<b>Kognitive Satzverarbeitung</b>	<b>165</b>
6.1	Kernidee . . . . .	167
6.2	Konzept einer modifizierten Steuerungsarchitektur . . . . .	169
6.3	Anpassung des LookAhead der Maschinensteuerung . . . . .	170
6.4	Zusammenfassung . . . . .	171

<b>7</b>	<b>Praktische Umsetzung</b>	<b>173</b>
7.1	Überblick . . . . .	173
7.2	Demonstrator „Hybridkinematik mit Achsredundanz“ . . . . .	174
7.2.1	Aufbau der Maschine . . . . .	174
7.2.2	Steuerungskonzept . . . . .	176
7.3	Ergebnisse am Demonstrator „Hybridkinematik mit Achsredundanz“ . . . . .	179
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>183</b>
	<b>Anhang</b>	<b>189</b>
A.1	Gesonderte Definitionen . . . . .	189
A.2	Verwendete NC-Programme . . . . .	190
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>197</b>
	<b>Index</b>	<b>207</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>211</b>