

**Norbert Schrüfer**

**Erstellung  
eines 3D-Simulationssystems  
zur Reduzierung von Rüstzeiten  
bei der NC-Bearbeitung**

Mit 103 Abbildungen

**Springer-Verlag**

**Berlin Heidelberg New York London Paris  
Tokyo HongKong Barcelona Budapest 1992**

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>0.</b>	<b>Liste der verwendeten Formelzeichen</b>	<b>VI</b>
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Wettbewerbsvorteile durch Zeitsparen	1
1.2	Zeitsparen durch Flexibilität	2
1.3	Simulation als Werkzeug zum Zeitsparen	5
<b>2.</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>7</b>
2.1	Methoden der NC-Programmerstellung	7
2.1.1	Definition der NC-Geometrie	8
2.1.2	Definition von Arbeitsfolge und Werkzeugbewegungen	10
2.2	Werkstatt- und AV-orientierte NC-Programmerstellung	12
2.2.1	Werkstatorientierte Programmerstellung	13
2.2.2	Programmierung in der Arbeitsvorbereitung	14
2.3	Programmtests in der Arbeitsvorbereitung	15
2.3.1	Sichtkontrolle des erzeugten Maschinenprogramms	17
2.3.2	Zweidimensionale Verfahrenwegdarstellung	17
2.3.3	Dreidimensionale Bewegungssimulation	19
2.3.4	Rechnerische Kollisionserkennung	20
2.3.5	Darstellung des Materialabtrags	22
2.4	Programmtests auf der realen Maschine	22
2.4.1	"Trockenlauf"	23
2.4.2	"Leerfahrt"	24
2.4.3	"Luftschnitte"	24
2.4.4	Abfahren des NC-Programms im Einzelsatzbetrieb	24

---

2.4.5	Testbearbeitung mit Substitutionswerkstoffen	26
2.4.6	Grafische Simulation der NC-Bearbeitung auf der Maschinensteuerung	27
<b>3.</b>	<b>Anforderungen an ein NC-Simulationssystem</b>	<b>28</b>
3.1	Anforderungen an die Modellbildung	28
3.1.1	Geometrie	30
3.1.2	Kinematik	32
3.1.3	Steuerung	32
3.2	Anforderungen an die Grafik	33
3.2.1	Schnelle Blickwinkeländerungen	33
3.2.2	Drahtmodelle und schattierte Darstellungen	33
3.2.3	Anzeige des NC-Programms	35
3.2.4	Zeitraffer	36
3.3	Kollisionskontrolle und Batch-Job	37
3.3.1	Kollisionskontrolle	37
3.3.2	Batch-Job	38
3.4	Bedienoberfläche	39
<b>4.</b>	<b>Konzeption und Realisierung</b>	<b>40</b>
4.1	Einleitung	40
4.2	Geometrie-Handhabung	40
4.2.1	3D-Datenstruktur	40
4.2.2	Grafische Darstellung	44
4.2.3	Geometricerzeugung	44
4.3	Objekt-Handhabung	45
4.3.1	Objekt-Definition	45

---

4.3.2	Positionsbeschreibung durch homogene Transformation	46
4.3.3	Objekt-Verbindungen	48
4.3.4	Layout-Datei	50
4.3.5	Funktionen zur Änderung des Layouts	51
4.4	<b>Kinematik-Handhabung</b>	54
4.4.1	Definition	54
4.4.2	Bewegungssimulation	55
4.5	<b>Gerätetechnik und zugrunde liegende Grafikprinzipien</b>	58
4.5.1	Trennung von Host-CPU und Grafik-Rechner	59
4.5.2	Grafik-Datenstruktur	59
4.5.3	Berücksichtigung von Blickwinkeländerungen	62
4.5	<b>Steuerungsnachbildung</b>	63
4.5.1	Übersicht	63
4.5.2	Programm, Werkzeug und Korrekturwertespeicher	65
4.5.3	Schnittstelle zwischen Steuerungsnachbildung und Simulationsprogramm	66
4.5.4	Steuerungsspezifische Datenstrukturen	69
4.5.5	Abarbeiten eines NC-Satzes (Übersicht)	72
4.5.6	Lesen eines NC-Satzes	74
4.5.7	Festlegen von Bewegungsparametern	76
4.5.8	Planen der Maschinenbewegung	77
4.5.9	Ausführen der Maschinenbewegung	83
4.5.10	Werkzeugbahnkorrektur	84
4.5.11	Unterprogramme	89
4.5.12	Sprünge und Verzweigungen	89
4.5.13	Werkzeugwechsel als Beispiel für Sonderfunktionen	90

---

4.6	Kollisionserkennung	93
4.6.1	Statische und dynamische Kollisionserkennung	93
4.6.2	Kollisionserkennung mit Hilfe diskreter Objektmodelle	95
4.6.3	Spezielle Datenstrukturen zur Kollisionserkennung	97
4.6.4	Eingangsdaten des implementierten Algorithmus'	97
4.6.5	Facettentest	98
4.6.6	"Bounding-Boxen"	101
4.6.7	Körpertest	102
4.6.8	Flächentest	104
4.6.9	Ausschluß ungefährdeter Flächen	105
4.6.10	Sortierung der Flächen	106
4.6.11	Teilung der Körper in Unterbereiche	107
4.6.12	Zusammenfassung des Kollisionstests	109
<b>5.</b>	<b>Integration der NC-Simulation in die Arbeitsvorbereitung</b>	<b>111</b>
5.1	Benötigte Eingangsdaten	111
5.2	Stellung der NC-Simulation	113
5.3	Geometrieschnittstellen	116
5.3.1	Technische Realisierung	116
5.3.2	Organisatorische Aspekte	120
5.3.3	"Pseudo" 3D-Modelle	122
5.4	Anbindung an Betriebsmitteldatenbanken	123
5.4.1	Anforderungen an eine zentrale Werkzeugverwaltung	123
5.4.2	Konzeption einer realisierten Kopplung	126
5.4.3	Bildschirmmasken für die Eingabe der Werkzeugdaten	127
5.4.4	Unterstützung der Werkzeu gvoreinstellung	129

---

5.4.5	Datenübergabe an das NC-Programmiersystem	130
5.5	Erstellung von Spannplänen	132
<b>6.</b>	<b>Diskussion des erstellten Konzepts</b>	<b>134</b>
6.1	Wirtschaftliche Bedeutung des Rüstvorgangs	134
6.2	Anteil der Programmtests an der Rüstzeit	134
6.3	Genauere Analyse des Einfahrvorgangs	138
6.4	Art und Häufigkeit der beim Einfahren auftretenden Fehler	138
6.5	Anteil der in der NC-Simulation erkennbaren Fehler	141
6.6	Einfahrzeitreduzierung durch die NC-Simulation	142
6.7	Auswirkungen auf die NC-Programmierung	143
6.8	Zusätzliche Vorteile der NC-Simulation	145
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>147</b>
<b>8.</b>	<b>Literatur</b>	<b>149</b>