

Dipl.-Ing. Andreas Lütgert, Ulm

**KIM**  
**Ein Beitrag zur systemneutralen**  
**CAD-Integration kinematischer**  
**Analyseverfahren**

Reihe **20**: Rechnerunterstützte  
Verfahren

Nr. **222**

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung .....	1
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Stand der Technik .....	3
1.3 Ziel der Arbeit .....	7
2 Entwicklung eines Integrationskonzeptes .....	11
2.1 Bisherige Ansätze .....	11
2.2 Eigenes Konzept .....	14
3 Partialmodellbildung der kinematischen Analyse .....	20
3.1 Präzisierung des Modellbegriffs .....	21
3.2 Modellierungsschritte .....	24
3.3 STEP als integrierter Produktmodell-Ansatz .....	25
3.3.1 Zielsetzung von STEP .....	26
3.3.2 Modellierungsebenen .....	27
3.4 Express-G-Syntax .....	29
3.5 Entwicklung eines Modells zur Beschreibung kinematisch relevanter Informationen .....	32
3.5.1 Kinematikmodell .....	33
3.5.2 Strukturmodell .....	33
3.5.3 Kontrollmodell .....	41
3.5.4 Ergebnismodell .....	46
3.5.5 Darstellungsmodell .....	51
4 Algorithmen zur Modellaufbereitung und Modellauswertung .....	58
4.1 Generierung von Maschen .....	58
4.1.1 Definition graphentheoretischer Grundbegriffe .....	59
4.1.1.1 Inzidenz .....	59
4.1.1.2 Kreis .....	60
4.1.1.3 Komponente .....	60
4.1.1.4 Baum .....	60
4.1.1.5 Sehne .....	61
4.1.2 Verfahren .....	61
4.1.2.1 Entfernen von Elementen aus einem Graphen .....	61
4.1.2.2 Modulo 2-Operationen .....	61
4.1.2.3 Berechnung der Anzahl der Komponenten eines Graphen .....	62
4.1.2.4 Berechnung unabhängiger Maschen .....	62
4.1.2.5 Generierung von Netz- und Baumstrukturen .....	65
4.2 Kinematische Berechnungen .....	68
4.2.1 Koordinatentransformationen .....	69
4.2.1.1 FRAME .....	69
4.2.1.2 S_U-Parameter .....	71
4.2.1.3 Euler_Angles .....	73
4.2.1.4 RPY_Angles .....	74
4.2.2 Übergang zwischen mehreren Koordinatensystemen .....	75
4.2.3 Vektor- und Matrix-Differentiation .....	76
4.2.3.1 Geschwindigkeit eines Punktes in einem bewegten System .....	78
4.2.3.2 Geschwindigkeit eines Gliedpunktes relativ zu einem Bezugssystem .....	80
4.2.3.3 Beschleunigung eines Punktes in einem bewegten System .....	82
4.2.3.4 Beschleunigung eines Gliedpunktes relativ zu einem Bezugssystem .....	83
4.2.3.5 Transformation vektorieller Ergebnisgrößen .....	83

5	CAD-Integration.....	85
5.1	Kommunikationsschnittstelle zur Beschreibung von Kinematik .....	86
5.1.1	Funktionsklassen der Kommandosprache .....	86
5.1.2	Übersicht über die KDL-Kommandos und ihre Syntax.....	88
5.1.3	Notationsregeln .....	89
5.1.4	Beispiele für KDL-Kommandos.....	90
5.2	Prozeßkommunikation.....	92
5.2.1	Rendevous-Prinzip .....	95
5.2.2	Asynchrone Kommunikation .....	96
5.3	Erweiterung des CAD-User-Interface .....	98
5.3.1	Dynamische Menüs .....	99
5.3.2	Dialogelemente .....	99
5.3.2.1	Basis-Dialogelemente .....	100
5.3.2.2	Zusammengesetzte Dialogelemente .....	101
5.3.3	Aufbau eines Diagramm-Menüs .....	102
5.4	Architektur des Dialog-Interface .....	105
5.4.1	Direkte Manipulation.....	105
5.4.2	Kommunikation .....	107
5.4.3	Interaktion .....	108
5.4.4	CAD-Komponenten zur Dialogbildung.....	110
5.4.5	Beschreibung des Dialoges .....	111
5.4.6	Dialogsyntax .....	114
5.4.7	Dialogabläufe .....	115
5.4.7.1	Definition eines Getriebegliedes.....	115
5.4.7.2	Definition eines Gelenkes .....	117
5.4.7.3	Auswahl eines Markers.....	118
5.4.7.4	Bewegen eines Getriebegliedes.....	119
5.4.7.5	Löschen eines Entities (Marker).....	120
5.4.7.6	Löschen eines Entities (Gelenk) .....	121
5.4.7.7	Zeichnen eines Symbols.....	122
5.4.7.8	Löschen eines grafischen Symbols.....	123
5.4.7.9	Laden der Berechnungsergebnisse.....	123
5.4.7.10	Animation von Getriebegliedern .....	125
5.4.7.11	Aktualisieren einer Zeichnung.....	126
5.4.7.12	Löschen von Koppelkurven.....	127
5.4.7.13	Laden eines Modells.....	128
5.5	Programmtechnische Realisierung .....	129
5.5.1	Voraussetzungen für die Programmierbarkeit .....	129
5.5.2	Beschreibung des CAD-Systems HP-ME10.....	130
5.5.3	Einbindung in HP-ME10 .....	131
5.5.4	Gestaltung des Bildschirm-Layouts.....	132
5.5.5	Gestaltung der Menü-Struktur .....	134
5.5.5.1	Hauptmenü.....	134
5.5.5.2	Datei .....	136
5.5.5.3	Glieder .....	136
5.5.5.4	Marker.....	137
5.5.5.5	Gelenke.....	137
5.5.5.6	Antriebe.....	138
5.5.5.7	Kräfte .....	138
5.5.5.8	Animation .....	139
5.5.5.9	Diagramm.....	140
5.5.5.10	Kaskadierende Menüs .....	140

---

5.5.6	Teilestruktur .....	141
5.5.7	Grafische Filter.....	143
5.5.8	Start der Prozeßkommunikation .....	143
6	Anwendungsbeispiel.....	145
7	Zusammenfassung .....	153
8	Anhang.....	157
8.1	Spezifikation der KDL-Kommandos und ihrer Syntax .....	157
8.2	Beschreibung der KDL-Kommandos .....	163
8.2.1	Modellunabhängige Kommandos.....	163
8.2.2	Kommandos zum Strukturmodell.....	164
8.2.3	Kommandos zum Kontrollmodell .....	170
8.2.4	Kommandos zum Ergebnismodell .....	173
8.2.5	Kommandos zum Darstellungsmodell.....	174
9	Literaturverzeichnis .....	177