

Inhalt	Seite
0 Verzeichnis von Abkürzungen und verwendeten Größen	12
1 Einleitung	16
1.1 Begriffsdefinitionen	17
1.2 Ziel und Inhalt der Arbeit	19
1.3 Übersicht zum Stand der biomechanischen Modelle zur Bewegungssynthese	21
2 Das biomechanische Modell des Hand-Arm-Systems	30
2.1 Kinematische Modellierung des Hand-Arm-Systems	30
2.1.1 Das Hand-Arm-System als offene kinematische Kette	34
2.1.2 Idealisierungen im kinematischen Modell	37
2.1.2.1 Gelenkmodelle	39
2.1.2.2 Muskelmodelle	44
2.1.3 Das inverse kinematische Problem	47
2.2 Kinetische Modellierung des Hand-Arm-Systems	49
2.2.1 Koordinatensysteme der Körper und Gelenke	51
2.2.2 Relative und absolute Kinematik (Lage, Geschwindigkeit, Beschleunigung)	51
2.2.3 Bewegungsgleichungen	53
2.3 Geometrische Gestalt	55
2.3.1 Anthropometrische Daten	56
2.3.2 Automatische Generierung der Modellgeometrie	58
2.4 Graphische Darstellung des Modells und seiner Bewegungen	60
3 Synthese und Simulation von Bewegungen des Hand-Arm-Systems	63
3.1 Einfacher Lösungsansatz - Lokale Bewegungsstrategien	64
3.1.1 Minimale Quadratsumme der Winkelinkremente	69
3.1.2 Minimale Potentielle Energie	70
3.1.3 Einhaltung der Bewegungsräumgrenzen und Annäherungen	71
3.1.3.1 Freiheitsgrade mit ungekoppelten Bewegungsräumgrenzen	72
3.1.3.2 Freiheitsgrade mit gekoppelten Bewegungsräumgrenzen	76
3.2 Erweiterter Lösungsansatz - globale Bewegungsstrategien	78
3.3 Manuelle Steuerung von Hand-Arm-Bewegungen	82

4	Validierung des Simulationsmodells	86
4.1	Untersuchungsziel und Versuchsaufgabe	86
4.2	Versuchsaufbau	90
4.2.1	Bewegungsmeßeinrichtung VIOCN	90
4.2.2	Konstruktion und Funktionsprinzip des Experimentalaufbaus "Bewegungsmeßstand"	92
4.3	Versuchsdurchführung	97
4.4	Versuchsauswertung	103
4.4.1	Vergleich der Meßdaten mit synthetisierten Bewegungen des Modells und Ermittlung optimaler Parametersätze für das Simulationsmodell	103
4.4.2	Darstellung, Bewertung und statistische Betrachtung der Ergebnisse	104
4.4.3	Fehlerbetrachtung	126
5	Zusammenfassung und Ausblick	130
6	Literatur	134
Anhang		
A	Homogene Koordinaten und Koordinatensysteme	148
B	Gleichungen und Quellenangaben zur Dimensionierung des Gesamtmodells	153
C	Gemessene Körpermaße des Probandenkollektivs	167
D	Berechnung der Greifkugelpositionen am Experimentalaufbau	168
E	Anbringen der Marker auf der Haut der Probanden und Ermittlung von Lage und Orientierung der Gelenke aus den gemessenen Markerpositionen	172
F	Hard- und Softwarevoraussetzungen	185
G	Matrixschaltungen zur Auswertung der Tastsensorsignale von den Greifkugel am Experimentalaufbau	187
H	Aufbereitung der in den Experimenten gewonnenen Meßdaten	188

I	Ebenen und Richtungen im Raum im Bereich des Körpers	193
J	Hinweise bezüglich der Implementierung des entwickelten Programmsystems GRIBS (Graphisch interaktive Bewegungssynthese des Hand-Arm-Systems)	195