

Inhalt

1 Einführung	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Die Querschnittslähmung	3
1.3 Neuroprothesen	6
1.4 Prinzip und Probleme der FES	8
1.5 Stand der Forschung	10
1.6 Zielvorstellung	13
2 Simulationsmodell	14
2.1 Problemstellung	14
2.1.1 Wozu Simulationsmodelle in der Neuroprothetik	14
2.1.2 Komponenten beim Entwurf und Betrieb einer Neuroprothese auf der Basis von Modellbildung und Computersimulation	16
2.1.3 Konfigurationsmöglichkeiten zwischen Simulationsmodell und Realkomponenten	18
2.1.4 Realkomponenten beim Betrieb einer Neuroprothese	20
2.1.5 Simulationsmodell: Konfigurationsbeispiel	22
2.2 Muskelaktivierungsdynamik	24
2.2.1 Statisches Rekrutierungsmodell	26
2.2.2 Dynamisches Muskelaktivierungsmodell	29
2.3 Muskelkontraktionsdynamik	34
2.3.1 Das kontraktile Element	36
2.3.2 Das parallel-elastische und parallel-viskose Element	37
2.3.3 Die Sehne	38
2.3.4 Muskelskalierung und Sehnenkraftberechnung	39
2.4 Mehrkörperdynamik	40
2.4.1 Bewegungsgleichungen	40
2.4.2 Berechnung der Muskelhebelarme	42
2.4.3 Gelenkmodellierung	45
2.4.4 Vereinfachung des Muskel-Skelett-Modells durch Trennung der aktiven und passiven Muskelkomponenten	47
3 Modellidentifikation und -verifikation am Beispiel der Kniestreckung	51
3.1 Problemstellung und Methodik	51
3.1.1 Kniemodell	51
3.1.2 Modellparameter	52
3.1.3 Einfluß der Modellparameter auf das Modellverhalten	53

3.1.4 Versuchsaufbau und Durchführung	55
3.1.5 Parameterschätzung	55
3.2 Identifikation und Verifikation der Muskelaktivierungsdynamik	57
3.3 Identifikation und Verifikation der Kontraktions- und Mehrkörperdynamik ...	63
4 Beispielhafte Modellanwendungen	68
4.1 Reglerentwurf am Beispiel des KniemodeLLs	68
4.2 Modellbasierte Regelung am Beispiel des Kniegelenks	71
4.3 Optimale Wahl der zu stimulierenden Muskeln	75
4.4 Analyse neurophysiologischer Muskeleigenschaften bei der FES	76
4.5 Biomechanische Bewegungsanalyse	78
4.5.1 Bewegungsanalyse beim Aufstehen und Hinsetzen	79
4.5.2 Bewegungsanalyse bei Patienten mit Kleinhirnschädigungen	83
5 Diskussion	85
5.1 Nützlichkeit des gewählten Ansatzes	85
5.2 Allgemeingültigkeit des gewählten Ansatzes	86
5.3 Begründung der Modellkomplexität	87
5.4 Besonderheiten gegenüber anderer Modellansätze	89
5.5 Modellvereinfachungen	91
6 Ausblick	95
6.1 Interaktion dreier konkurrierender Systeme	95
6.2 Entwurf <i>situationsabhängiger</i> Regelungsstrategien	96
6.3 Künftige Fragestellungen	98
Anhang	100
A.1 Grundbegriffe	100
A.1.1 Körperebenen	100
A.1.2 Körperachsen	100
A.1.3 Richtungen im Raum	100
A.1.4 Bewegungsrichtungen	101
A.1.5 Versuchsbedingungen	101
A.2 Muskelanatomie	102
A.2.1 Der menschliche Bewegungsapparat	102
A.2.2 Bau der Skelettmuskulatur	102
A.3 Muskelphysiologie: Von der Erregungsausbreitung zur Muskelkontraktion ..	105
A.3.1 Aktionspotential, Nervenfaser, Motorische Einheit	105
A.3.2 Motorische Endplatte	105

A.3.3 Transversales System	105
A.3.4 Longitudinales System	106
A.3.5 Muskelkontraktion	106
A.4 Muskeleigenschaften	108
A.4.1 Alles-oder-Nichts-Gesetz	108
A.4.2 Zeitliche Summation der Muskelkraft	108
A.4.3 Räumliche Summation der Muskelkraft	109
A.4.4 Einfluß der Muskellänge und Kontraktionsgeschwindigkeit	109
A.4.5 Nichtlineare Summation (Doublet Effekt)	111
A.4.6 "Catch-like" Effekt	112
A.4.7 Muskelkraftpotenzierung	112
A.4.8 Muskelermüdung	112
A.4.9 Muskelfasertypen und ihre Eigenschaften	113
A.5 Charakteristiken zur Beschreibung der Muskelkontraktionsdynamik	115
A.5.1 Kraft-Längen-Charakteristik	115
A.5.2 Kraft-Geschwindigkeits-Charakteristik	116
A.5.3 Passiv-elastische Muskelkraft des PE Elements	117
A.5.4 Sehnenelastizität	118
A.6 Sensitivitätsanalyse	119
Literaturverzeichnis	123