

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufbau der Arbeit	3
1.2	Neuroprothesen	4
1.2.1	Retina-Implantate	4
1.2.2	Cortex-Implantate	6
1.2.3	Cochlea-Implantate	7
1.3	Physiologie der Retina	8
1.3.1	Aufbau der menschlichen Retina	8
1.3.2	Retinopathia pigmentosa	12
1.4	Selektivität	15
2	Simulation des Stimulationsvorgangs	18
2.1	Überblick	18
2.1.1	Motivation	18
2.1.2	Verfügbare Simulatoren	19
2.1.3	Aufbau von Neurosimulatoren zur Berechnung der Nerven- zellstimulation	20

2.2	Modelle der Zellmembran	21
2.2.1	RC-Modell	22
2.2.2	Hodgkin-Huxley-Modell	23
2.2.3	Frankenhaeuser-Huxley-Modell	27
2.2.4	Chiu-, Ritchie-, Rogert-, Stagg-, Sweeney-Modell	28
2.2.5	Schwarz-Eikhof-Modell	29
2.2.6	Fohlmeister-Modell	30
2.2.7	Morris-Lecar-Modell	32
2.2.8	Membranmodelle für amakrine Zellen	33
2.2.9	Membranmodelle für Bipolarzellen	34
2.2.10	Membranmodelle für Horizontalzellen	36
2.3	Morphologisches Modell der Retina	37
2.4	Berechnung elektrischer Strömungsfelder	40
2.4.1	Analytische Beschreibung des Potenzialfeldes	40
2.4.2	Numerische Verfahren	41
2.4.3	Randbedingungen des Strömungsfeldes	44
2.5	Verfahren zur Lösung des Gleichungssystems	46
2.5.1	Überblick	46
2.5.2	Sparse-Matrix-Verfahren	47
2.6	Parallelverarbeitung in Rechnersystemen	59
2.7	Ausnutzung von Symmetrien	60
2.7.1	Ebenensymmetrie	60
2.7.2	Zylindersymmetrie	61

2.8	Ortsabhängige Simulationsauflösung	62
2.9	Simulation von Axonen	63
3	Selektive Stimulation	66
3.1	Allgemeine Aspekte	66
3.1.1	Selektivitätsmaß	66
3.2	Methoden zur selektiven Fokussierung von Reizen	67
3.2.1	Optik	68
3.2.2	Schall	68
3.2.3	Weitere Techniken und Möglichkeiten	70
3.3	Stimulation mit elektrischen Strömungsfeldern	71
3.3.1	Stimulationsfokus mit Einzelelektrode und Standardpulsen	71
3.3.2	Selektivität durch Verschaltung mehrerer Elektroden . .	74
3.3.3	Selektivität durch Zellgeometrie	83
3.3.4	Zelltyp-abhängige Selektivität	85
3.3.5	Selektivität durch Pulsformung	89
3.4	Stimulation mit elektrischen Feldern	96
3.5	Stimulation mit magnetischen Feldern	97
3.6	Stimulation mit schnell veränderlichen Feldern	98
3.7	Selektivität durch Laserstrahlung	101
3.8	Selektivität durch Closed-Loop-Stimulation	103
3.9	Zellkörper- vs. Axon-Stimulation	104
4	Mikroelektronische Realisierung	106

4.1	Anforderungen an Stimulationssysteme	107
4.2	Architektur von Stimulationssystemen	108
4.3	Speicherorientierte Ablaufsteuerung	109
4.3.1	Speicher	110
4.3.2	Timer	114
4.4	Digital/Analog-Umsetzer	115
4.4.1	R2R-Umsetzer	116
4.4.2	Switched-Capacitor-Umsetzer	116
4.4.3	Digital/Analog-Umsetzer durch parallel geschaltete Stromquellen	118
4.5	Stromquellen	119
4.5.1	MOS-Transistor als Stromquelle	119
4.5.2	Stromspiegel	122
4.5.3	Cascode	124
4.5.4	Digital ansteuerbare Stromquelle	124
4.6	Ladungsausgleich	127
4.6.1	Ladungsausgleich durch Serienschaltung von Kondensatoren	128
4.6.2	Messung des Stimulationsstroms	129
4.6.3	Ladungskontrolle durch Stromintegration	130
4.6.4	Ladungswächter	130
4.6.5	Quantisierungsprobleme	132
4.7	Leistungsaufnahme	132
5	Zusammenfassung und Ausblick	134

5.1	Zusammenfassung	134
5.2	Ausblick	137
6	Anhang	139
6.1	Verwendete Membranparameter	139
6.1.1	Allgemeine Konstanten	139
6.1.2	Hodgkin-Huxley-Modell	139
6.1.3	CRRSS-Modell	140
6.1.4	Frankenhaeuser-Huxley-Modell	140
6.1.5	Schwarz-Eikhof-Modell	140
6.1.6	Fohlmeister-Modell	141
6.1.7	Morris-Lecar-Modell	141
6.1.8	Bipolarzell-Modell nach Usui	142
6.1.9	Horizontalzell-Modell nach Aoyama	142
6.2	Calcium-Konzentrationsänderung	142
6.2.1	Konstanten zur Calcium-Konzentrationsänderung	143
7	Glossar	144
	Literaturverzeichnis	147