

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

xvii

1	Einführung	1
1.1	Hintergrund und Stand der Technik	2
1.2	Veröffentlichungen	5
1.3	Gliederung	6
2	Bioimpedanzmessungen	7
2.1	Elektrische Impedanz	7
2.2	Bioimpedanz und der Elektroden-Hautübergang	8
2.2.1	Zwei-Elektroden-Messung	14
2.2.2	Vier-Elektroden-Messung	15
2.2.3	Gleichtaktspannungen	16
2.3	Messwertaufnahme	17
2.3.1	Abtastung	18
2.3.2	Monofrequente Anregungen	20
2.3.3	Breitbandanregungen	20
2.3.4	Einfrequenz-Demodulation	23
2.3.5	Mehrfrequenz-Demodulation auf Basis der Dis- kreten Fouriertransformation (DFT)	25
2.3.6	Digital-Analog- / Analog-Digital-Umsetzung	27
2.4	Mögliche Messprinzipien	29
2.4.1	Strom- oder Spannungsanregung	30
2.4.2	Messung des Anregungsstroms	31
2.4.3	Vier-Elektroden-Bioimpedanzmessung mit asym- metrischer Stromeinspeisung und -Messung	32
2.4.4	Gleichtaktfreie Strom- und Spannungsmessung	33
2.4.5	Symmetrische Stromeinspeisung zur gleichtakt- freien Spannungsmessung	34
2.4.6	Symmetrische Stromeinspeisung mit Transformator	35
2.5	Einflüsse auf die Messunsicherheit	36
2.5.1	Abschätzung der Messunsicherheit der Vier- Elektroden-Messung	37
2.5.2	Abschätzung des Gleichtaktfehlers	38
2.5.3	Quantisierungsrauschen	39

2.5.4	Überabtastung	42
2.5.5	Jitter	44
2.5.6	Der Einfluss von Einschwingvorgängen auf das Messergebnis	45
2.6	Regulatorische Anforderungen	47
3	Elektroimpedanztomographie (EIT)	49
3.1	Physikalische Modellierung	49
3.2	Messstrategien	50
3.2.1	Statische und Differenzbildgebung	51
3.2.2	Messprotokolle und die Anzahl der möglichen Transferimpedanzen	52
3.3	Messwertaufnahme	55
3.3.1	Kategorisierung von EIT-Systemen	56
3.3.2	Vereinfachtes Ersatzschaltbild eines seriellen EIT- Systems	58
3.3.3	Benötigte Messzeit	59
3.3.4	Leistungsbewertung	61
3.4	Rekonstruktion der Leitwertverteilung	63
3.4.1	Vorwärtsproblem	66
3.4.2	Inverses Problem	68
4	Bioimpedanzmesssystem (BMS)	73
4.1	Anforderungsanalyse	73
4.2	Grundlegende Systemarchitektur	75
4.3	Anregungsgenerierung	80
4.3.1	Generierung des digitalen Anregungssignals	81
4.3.2	Generierung des Konstantstroms	82
4.3.3	Mögliche Anregungsströme und damit messbare Impedanzen	87
4.4	Messwertaufnahme	88
4.5	Getriebener Kabelschirm	90
4.6	Firmware und Interface-Software	92
4.7	Systemverifikation	96
4.7.1	Elektrisches Ersatzschaltbild	97
4.7.2	Theoretische und messtechnische Abschätzung des Signal-Rausch-Abstandes	101
4.7.3	Der Einfluss des FIR-Filters vor der FFT	104

4.7.4	Kalibrierung	105
4.7.5	Verbesserung der Schirmung	106
4.7.6	Langzeitstabilität und Standardabweichungen . .	108
4.8	Messungen	110
4.8.1	R + R C – Phantom	110
4.8.2	Bioimpedanzmessung an einer Kartoffel	111
4.8.3	Messungen zur zeitlich veränderlichen Bioimpedanz	113
4.8.4	Erfassung von realen Elektroden-Haut-Übergangsimpedanzen (ESI)	117
4.9	Abschließende Bewertung	123
5	Mehrfrequenz-EIT-System	125
5.1	Anforderungsanalyse	125
5.2	Grundlegende Systemarchitektur	126
5.3	Multiplexing	130
5.4	Systemverifikation	133
5.4.1	Theoretische und messtechnische Abschätzung des Signal-Rausch-Abstandes	135
5.4.2	Abschätzungen zur Genauigkeit	136
5.4.3	Messung der Kanalabweichungen	139
5.4.4	Messtechnische Verifizierung der Genauigkeit . .	140
5.5	Messungen	144
5.5.1	Aufbau und Messung eines Mikrotankphantoms	144
5.5.2	Aufbau und Adaption eines Tankphantoms . . .	147
5.5.3	Signalqualität am Tankphantom mit 16 Elektroden	151
5.5.4	Signalqualität am Tankphantom mit 32 Elektroden	155
5.5.5	Differenzbildgebung am Tankphantom	157
5.5.6	Messungen am Thorax	160
5.6	Abschließende Bewertung	166
6	EIT-System basierend auf Aktivelektroden	171
6.1	Anforderungsanalyse	171
6.2	Systemarchitektur	172
6.2.1	Aktivelektrode	175
6.2.2	Aktivelektroden-Controller und Bussystem	177
6.3	Abschließende Bewertung	180

7 Zusammenfassung und Ausblick	183
Literaturverzeichnis	187

Instrumentierung der Bioimpedanzmessung
Optimierung mit Fokus auf die
Elektroimpedanztomographie (EIT)

Kaufmann, S.

2015, XVIII, 205 S. 90 Abb., 13 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-09770-7