

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Der Kontext des Graduiertenkollegs 2543	2
1.2 Stand der Forschung	3
1.2.1 Messung der Gewebeimpedanz	3
1.2.2 Gewebedifferenzierung auf Basis der Impedanz	7
1.2.3 Elektro-Mechanische Kopplung im Gewebe	11
1.3 Aufbau, Struktur und Ziele der Arbeit	13
1.3.1 Ziele der Dissertation	13
1.3.2 Inhaltliche Gliederung	15
2 Anatomie und Pathologie der Harnblase	19
2.1 Aufbau und Funktion der Harnblase	20
2.1.1 Gewebeschichten in der Blasenwand	21
2.1.2 Biomechanische Eigenschaften	22
2.2 Das Harnblasenkarzinom	24
2.2.1 Tumorstadien	24
2.2.2 Histologische Veränderungen in Tumor	25
2.2.3 Diagnostik und Therapie	28
2.3 Kurzzusammenfassung	30
3 Methoden zur Charakterisierung von Gewebe	31
3.1 Die Bioimpedanz und ihre Messung	31
3.1.1 Elektrische Kenngrößen	32
3.1.2 Gewebe als Dielektrikum	34
3.1.3 Elektrische Ersatzschaltbilder von Gewebe	36
3.1.4 Elektrische Impedanzspektroskopie	39
3.2 Maschinelle Lernverfahren zur Gewebedifferenzierung	41
3.3 Der Gaußprozess-Klassifikator zur binären Klassifikation	43
3.3.1 Probabilistischer Ansatz	44
3.3.2 Modellierung der A-posteriori Wahrscheinlichkeiten	45
3.4 Kurzzusammenfassung	47

4 Etablierung des Sensorprinzips zur Impedanzmessung	49
4.1 Sensoranalyse mittels Finite Elemente Methode	50
4.1.1 Maxwell-Gleichungen	50
4.1.2 Potentialberechnung für elektrostatische Felder	51
4.1.3 Simulationsumgebung	54
4.2 Geometriefaktor tetrapolarer Sensoren	55
4.2.1 Definition im Gleichstromfall	55
4.2.2 Bestimmung des Geometriefaktors	56
4.2.3 Experimentelle Validierung an Prototypen	58
4.3 Miniaturisierung des Sensorprinzips	61
4.3.1 Sensorgeometrie	62
4.3.2 Experimentelle Validierung	64
4.4 Messtechnische Grenzen in der Tumordetektion	68
4.4.1 Negative Sensitivitäten	69
4.4.2 Detektionsschwellen	73
4.4.3 Kriterien zur Optimierung der Sensorgeometrie	75
4.5 Untersuchung von Störeffekten	79
4.5.1 Elektrodenpolarisierung	79
4.5.2 Induktive Überlagerungen	82
4.6 Experimenteller Aufbau und Probenbeschaffung	83
4.6.1 Gewebeproben	84
4.6.2 Experimenteller Aufbau	85
4.7 Kurzzusammenfassung	86
5 Elektro-Mechanische Kopplung im Gewebe	91
5.1 Flüssigkeitsanteil als Kopplungsgröße zwischen Elektrik und Mechanik	92
5.1.1 Flüssigkeitsströme im Gewebe	92
5.1.2 Einfluss des Flüssigkeitsanteils auf die Impedanz	96
5.2 Kontaktkraft des Sensors	99
5.2.1 Volumenänderung unter uniaxialer Kompression	99
5.2.2 Das Zener-Modell als mechanisches Ersatzschaltbild	100
5.2.3 Impedanz unter verschiedenen Kontaktkräften	103
5.2.4 Einfluss der Geweberelaxation	108
5.3 Dehnung der Blase	116
5.3.1 Mechanisches Modell	116
5.3.2 Flüssigkeitsvolumen in der Tunica Mucosa	117
5.3.3 Experimentelle Modellidentifikation	120
5.4 Kurzzusammenfassung	125

6 Gewebedifferenzierung für Harnblasenkarzinome	127
6.1 Datengrundlage	128
6.1.1 Differenzierbarkeit unter mechanischen Einflüssen	128
6.1.2 Gesamtheit der Messungen	130
6.2 Merkmalsextraktion aus Impedanzmessungen	134
6.2.1 Messpunkte	135
6.2.2 Abgeleitete Merkmale und Modellparameter	138
6.3 Patientenübergreifende Differenzierung bei verringelter Impedanz	143
6.3.1 Vergleich verschiedener Klassifikatoren	143
6.3.2 Gaußprozess-Klassifikator und Kreuzvalidierung	144
6.3.3 Ergebnisse der patientenübergreifenden Klassifikation .	148
6.4 Einbringung einer gesunden Patientenreferenz	151
6.4.1 Eingangsdaten mit Distanzmaß	151
6.4.2 Ergebnisse der referenzbasierten Klassifikation	155
6.4.3 Reduktion der Messdauer	157
6.5 Kurzzusammenfassung	159
7 Zusammenfassung und Ausblick	163
A Herstellung der minimalinvasiven Sensoren	167
B Gewebebeschaffung	169
C Modellierung der Blase unter Dehnung	171
D Merkmalsextraktion aus Impedanzmessungen	177
Abkürzungen	181
Symbolverzeichnis	183
Abbildungsverzeichnis	197
Tabellenverzeichnis	201
Literaturverzeichnis	203