

Inhaltsverzeichnis

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

xvi

1 Einführung	2
1.1 Motivation	2
1.2 Eigenschaften und Anwendungen von Hydrogelen	4
2 Grundlagen und Stand der Technik	12
2.1 Theoretische Grundlagen des Hydrogelverhaltens	12
2.1.1 Statisches Quellverhalten, Quelldruck und Quellungsgleichgewicht	12
2.1.2 Quellkinetik und Diffusionsprozesse	13
2.1.3 Viskoelastisches Materialverhalten	15
2.2 Hydrogele als sorptiv-mechanische Wandler für Sensoren	16
2.2.1 Änderung der elektrischen Eigenschaften	18
2.2.2 Änderung der magnetischen Eigenschaften	18
2.2.3 Änderung der gravimetrischen Eigenschaften	19
2.2.4 Änderung der optischen Eigenschaften	20
2.2.5 Änderung der mechanischen Eigenschaften	21
2.3 Verbesserung des Ansprechverhaltens von Hydrogelen	22
2.3.1 Quellunterstützende Verfahren	23
2.3.2 Quellmindernde Verfahren	24
2.3.3 Quellunterdrückende Verfahren	25
2.4 Kraftkompensierte Hydrogelsensoren	25
2.4.1 Ausschlags- versus Kompensationsmessmethode	26
2.4.2 Kraftkompensierte Hydrogelsensoren	29
2.4.3 Ziel der Arbeit: Intramolekulare Kraftkompensation	32
3 Kraftkompensatorische Hydrogele	34
3.1 Klärung der Anforderungen an das bisensitive Gel	34
3.2 Materialien und Methoden	35
3.2.1 Wahl funktioneller Monomere	35
3.2.2 Wahl bisensitiver Netzwerkkonfigurationen	39
3.2.3 Hydrogelsynthesen	42
3.2.4 Statisches Quellverhalten	47
3.2.5 Dynamisches Quellverhalten	48
3.2.6 Mechanische Eigenschaften	49
3.3 Messergebnisse	51
3.3.1 Copolymer <i>net</i> -P(AA- <i>co</i> -NiPAAm)	51
3.3.2 IPN [<i>net</i> -P(AMPS- <i>co</i> -NiPAAm)]- <i>ipn</i> -[<i>net</i> -P(AMPS- <i>co</i> -NiPAAm)]	54
3.3.3 Semi-IPN [<i>net</i> -P(AMPS- <i>co</i> -NiPAAm)]- <i>sign</i> -PAMPS	56
3.3.4 Vergleich der kraftkompensatorischen Hydrogele	58
3.3.5 Dynamisches Verhalten des ausgewählten semi-IPN-Hydrogels	59

4	Sensorentwurf und -aufbau	64
4.1	Beaufschlagung des Temperaturstimulus	65
4.1.1	Magnetfelderregte Erwärmung via Magnetit-Partikel	65
4.1.2	Elektrothermische Erwärmung via Peltierelement	70
4.1.3	Vergleich der Ansätze zur Temperaturanregung	76
4.2	Messung der Temperatur im Hydrogel	77
4.3	Regler zur Kraftkompensation	78
4.4	Festlegung des Arbeitspunkts und konstruktive Schlussfolgerungen	80
4.4.1	Wahl des Gel-Arbeitspunkts	80
4.4.2	Wahl der Biegeplatten-Vorauslenkung	83
4.4.3	Ermittlung der Abmessungen des Hydrogeldots	83
4.4.4	Vorausberechnung der geometrischen Syntheseparameter	85
4.5	Herstellung des sorptiv-mechanischen Wandlers	87
4.5.1	Herstellung eines Hydrogeldots aus einer dünnen Hydrogelschicht	87
4.5.2	Herstellung eines Hydrogeldots mittels Prägelithografie	88
4.5.3	Vergleich der beiden Herstellungsverfahren	89
4.6	Gesamtaufbau des Sensors	90
5	Messergebnisse	92
5.1	Messstand und Sensorinitialisierung	92
5.1.1	Automatisierte Beaufschlagung des Analytstimulus	92
5.1.2	Initiale Gelquellung in den Sensorarbeitspunkt	94
5.1.3	Gelkonditionierung im Sensor	94
5.2	Betrieb der Sensoren ohne Kompensationsmethode	95
5.2.1	Nachweis des analytempfindlichen Sensorverhaltens	95
5.2.2	Nachweis des temperatursensitiven Sensorverhaltens	98
5.2.3	Statisches bisensitives Quellverhalten im Arbeitsbereich	99
5.2.4	Zeitabhängiges bisensitives Sensorverhalten	100
5.3	Reglerentwurf für Sensoren im Kompensationsmodus	101
5.3.1	Modellbildung	101
5.3.2	Reglerentwurf	104
5.4	Betrieb der Sensoren im Kompensationsmodus	107
5.4.1	Allgemeine Sensoreigenschaften	107
5.4.2	Verkürzung der Einstellzeit	109
5.4.3	Einfluss der Regelparameter auf die Einstellzeit	112
5.4.4	Hystereseeffekte	113
5.4.5	Langzeitstabilität	115
5.4.6	Erweiterung des Messbereichs	117
5.4.7	Sensorkennlinie	117
6	Zusammenfassung und Ausblick	120
6.1	Zusammenfassung	120
6.2	Ausblick	123

A Anhang	126
A.1 Verwendete Substanzen zur Hydrogelherstellung	126
A.2 Unsicherheit der Ionenkonzentration	126
A.3 Erwärmung im magnetischen Wechselfeld	128
A.3.1 Charakterisierung der Partikel	128
A.3.2 Probenherstellung	128
A.3.3 Vergleich des Quellverhaltens magnetitbeladener und magnetitfreier Hydrogele	129
A.3.4 Induktionserwärmungsanlage	130
A.3.5 Temperaturverläufe nach Magnetfeldaufschaltung	131
A.3.6 Berechnung des Wärmeeintrags	132
A.4 Elektrothermische Erwärmung	133
A.4.1 Berechnung der thermischen Eigenschaften	133
A.4.2 Nichtlinearität des Peltierelements	134
A.5 Stempelherstellung und -vorbehandlung	134
A.6 Maßnahmen zur Reduktion von Messartefakten	135
B Eigene Publikationen	138
Literaturverzeichnis	140