

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	xiii
Symbolverzeichnis	xv
1. Einleitung	1
2. Theoretischer Hintergrund	5
2.1. Magnetismus	5
2.1.1. Grundlegende Arten von Magnetismus	5
2.1.2. Magnetismus in Materie	7
2.1.3. Magnetische Anisotropie	12
2.1.4. Superparamagnetismus	14
2.1.5. Interpartikuläre Wechselwirkungen	18
2.2. Kolloidale magnetische Nanopartikel	21
2.2.1. Chemische Synthese von Magnetit-Nanopartikeln	21
2.2.2. Kolloidale Eigenschaften dispergierter magnetischer Nanopartikel	22
2.3. Anwendungen magnetischer Nanopartikel	24
2.3.1. Antwortverhalten magnetischer Nanopartikel auf magnetische Wechsel-	
felder	24
2.3.2. Physikalische Grundlagen der magnetischen Hyperthermie	27
2.3.3. Physikalische Grundlagen der Magnetpartikelbildung	30
2.3.4. Physikalische Grundlagen der Magnetresonanztomografie	36
2.4. Übertragungsmechanismen von Wärme	41
2.4.1. Wärmetransport	41
2.4.2. Biowärmetransport	42
2.5. Stenosierende Hohlorgan-Tumore	43
2.5.1. Implantation von Stents in stenosierende Hohlorgan-Tumore	43
2.5.2. Lokale Hyperthermie-Behandlung vermittelt durch einen aufheizbaren	
Hybridstent	44
2.6. Stand der Forschung zur Entwicklung aufheizbarer Implantate	45
2.6.1. Implantate aus Metall	46
2.6.2. Nanokomposit-Implantate mit eingebetteten magnetischen Nanopartikeln	47
2.6.3. Zusammenfassende Bemerkungen	49
3. Entwicklung von magnetischen Hybridstents	51
3.1. Herstellung von Magnetit-Nanopartikel	51
3.2. Herstellung von Hybridcompounds, Hybridfasern und Hybridstents	54
3.3. Synthese von magnetischen Hydrogelen als Modellsysteme	56
3.4. Übersicht über die verwendeten Nanopartikel und Polymer-Nanopartikel-Hybride	59

4. Methoden zur Charakterisierung der physikochemischen und biologischen Eigenschaften	61
4.1. Bestimmung der Eisen-/ Nanopartikel-Konzentration und thermische Analyse	61
4.1.1. Photometrische Absorption (PA)	61
4.1.2. Gravimetrie (GM)	63
4.1.3. Thermogravimetrische Analyse (TGA)	64
4.1.4. Dynamische Differenzkalorimetrie (DDK)	65
4.2. Größen- und Strukturanalyse	66
4.2.1. Dynamische Lichtstreuung (DLS)	66
4.2.2. Zeta-Potential	68
4.2.3. Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)	69
4.2.4. Lichtmikroskopie	71
4.2.5. Röntgendiffraktometrie (XRD)	72
4.3. Statische und dynamische magnetische Messungen	75
4.3.1. Supraleitende Quanteninterferenzeinheit (SQUID)-Magnetometrie	75
4.3.2. Magnetpartikel-Spektroskopie (MPS)	80
4.3.3. AC-Suszeptibilität-Spektroskopie (ACS)	81
5. Methoden zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit für den medizinischen Einsatz	83
5.1. Magnetfluidhyperthermie (MFH)	83
5.2. Magnetpartikelbildgebung (MPI)	90
5.2.1. Bildrekonstruktion im Frequenzraum	90
5.2.2. Bildrekonstruktion im Zeitraum	91
5.3. Magnetresonanztomografie (MRT)	93
6. Eigenschaften der magnetischen Nanopartikel und Hybridstents	97
6.1. Physikochemische Eigenschaften	97
6.1.1. Konzentrationen	97
6.1.2. Thermische Analyse	99
6.1.3. Größenverteilungen, Morphologie und Kristallstruktur von magnetischen Nanopartikeln	103
6.1.4. Durchmesser und Oberflächenbeschaffenheit der Hybridfasern	114
6.2. Magnetische Eigenschaften der magnetischen Nanopartikel und Hybridfasern	116
6.2.1. Statische $M(H)$ -Abhängigkeit	116
6.2.2. Temperaturabhängige Magnetisierung	123
6.2.3. Frequenzabhängigkeiten	128
6.3. Mechanische und biologische Eigenschaften der Hybridfasern und Hybridstents	133
6.3.1. E-Modul und Bruchdehnung der Hybridfasern	133
6.3.2. Radialkräfte der Hybridstents	133
6.3.3. Zytotoxizität der Hybridfasern	134
6.4. Zusammenfassende Bemerkungen	134

7. Aufheizverhalten der magnetischen Nanopartikel und Hybridstents im magnetischen Wechselfeld 137

7.1. Einfluss von verschiedenen magnetischen Nanopartikel Sorten auf die Aufheizleistung 137

7.1.1. Spezifisches Aufheizverhalten der magnetischen Nanopartikel 137

7.1.2. Änderungen des Relaxationsverhaltens infolge der MNP-Immobilisierung 140

7.2. Bestimmung der Einflussfaktoren für eine kontrollierte Aufheizung 143

7.2.1. Abhängigkeit der Aufheizleistung von der Partikelkonzentration 143

7.2.2. Abhängigkeit der Aufheizleistung vom magnetischen Wechselfeld 146

7.2.3. Zusammenfassende Bemerkungen 150

7.3. Wärmedissipation der Hybridstents in die Umgebung 153

7.3.1. Temperaturprofil der Hybridstents 153

7.3.2. Wärmeverteilung in die Umgebung 155

7.3.3. Biologische Effekte von Wärme auf Zellen 161

8. MPI- und MRT-Bildgebung der magnetischen Nanopartikel und Hybridstents 163

8.1. Magnetpartikelbildgebung 163

8.1.1. Bildrekonstruktion im Frequenzraum 163

8.1.2. Bildrekonstruktion im Zeitraum 169

8.2. Magnetresonanztomografie 172

8.3. Zusammenfassende Bemerkungen 176

9. Zusammenfassung und Ausblick 177

9.1. Zusammenfassung 177

9.2. Ausblick 179

A. Anhang 181

A.1. Anhang zu Kapitel 5 181

A.1.1. Partikel- und Eisenkonzentrationen 181

A.1.2. Thermoanalytik 182

A.1.3. Kristallstrukturanalyse 183

A.1.4. Agglomeratgrößen 185

A.1.5. Zugversuche an Hybridfasern 186

A.1.6. Radialkraft der Hybridstents 188

A.1.7. Expansions- und Hyperthermie-Versuche von Hybridstents in nativem Schweinegewebe 194

A.1.8. Zytotoxizitätstest 196

A.2. Anhang zu Kapitel 6 198

A.2.1. Abhängigkeit der Aufheizleistung von der MNP-Konzentration 198

A.2.2. Relative SLP-Differenzen 199

A.2.3. Temperaturprofil einer Hybridfaser 200

A.2.4. Temperaturprofil von der Oberfläche eines Gallengangstents 200

A.2.5. Wärmeverteilung von Tracheastents	201
A.3. Anhang zu Kapitel 7	203
A.3.1. Frequenzspektren mit und ohne eingebauter MircoCoil	203
A.3.2. Frequenzspektren von langer und kurzer Systemmatrix	203
Abbildungsverzeichnis	205
Tabellenverzeichnis	211
Literaturverzeichnis	213
B. Danksagung	251
C. Eidesstattliche Erklärung	255