

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 |