

## **Inhalt**

|                                                       |        |
|-------------------------------------------------------|--------|
| Abkürzungsverzeichnis .....                           | I      |
| Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....             | II-XXV |
| 1. Literaturübersicht .....                           | 1-34   |
| 1.1. Magnetresonanztomographie .....                  | 1      |
| 1.1.1. Einleitung .....                               | 1      |
| 1.1.2. Klinische Anwendung in der Tiermedizin .....   | 1      |
| 1.1.3. Physikalische Grundlagen .....                 | 3      |
| 1.1.3.1. Wasserstoffatom .....                        | 3      |
| 1.1.3.2. Protonen im Magnetfeld .....                 | 4      |
| 1.1.3.3. Larmor Frequenz und Resonanz .....           | 6      |
| 1.1.4. Das MR-Signal .....                            | 7      |
| 1.1.4.1. T1 Relaxation (Spin-Gitter Relaxation) ..... | 7      |
| 1.1.4.2. T2 Relaxation (Spin-Spin Relaxation) .....   | 7      |
| 1.1.5. Bildkontrast und Wichtung .....                | 9      |
| 1.1.5.1. T1 Wichtung .....                            | 9      |
| 1.1.5.2. T2 Wichtung .....                            | 10     |
| 1.1.5.3. Protonendichtewichtung .....                 | 10     |
| 1.1.6. Sequenzen .....                                | 11     |
| 1.1.6.1. Spin-Echo .....                              | 11     |
| 1.1.6.2. Inversion Recovery .....                     | 11     |
| 1.1.6.3. Gradientenecho .....                         | 12     |
| 1.1.7. Ortskodierung .....                            | 12     |
| 1.1.7.1. Schichtwahl .....                            | 12     |
| 1.1.7.2. Frequenzkodierung .....                      | 13     |
| 1.1.7.3. Phasenkodierung .....                        | 13     |
| 1.1.8. Artefakte .....                                | 14     |
| 1.1.8.1. Bewegungsartefakte .....                     | 14     |

|                                                                            |       |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1.1.8.2. Chemical Shift.....                                               | 14    |
| 1.1.8.3. Suszeptibilitätsartefakte.....                                    | 14    |
| 1.1.9. MRT Kontrastmittel.....                                             | 15    |
| 1.1.9.1. Superparamagnetische Eisenoxidnanopartikel.....                   | 17    |
| 1.1.9.2. Goldnanopartikel.....                                             | 23    |
| 1.2. Stammzellen.....                                                      | 24    |
| 1.2.1. Definition und Eigenschaften von Stammzellen.....                   | 24    |
| 1.2.2. Klassifizierung von Stammzellen.....                                | 25    |
| 1.2.3. Mesenchymale Stammzellen.....                                       | 27    |
| 1.2.4. Adipose-derived mesenchymale Stammzellen und Stammzelltherapie..... | 28    |
| 1.3. Musculus gastrocnemius Muskulotendinopathie.....                      | 29    |
| 1.3.1. Einleitung.....                                                     | 29    |
| 1.3.2. Anatomie und Funktion des M. gastrocnemius.....                     | 30    |
| 1.3.3. Muskulotendinopathien des M. gastrocnemius.....                     | 32    |
| 1.3.3.1. Ätiologie und Pathogenese.....                                    | 32    |
| 1.3.3.2. Diagnose.....                                                     | 33    |
| 2. Material und Methoden.....                                              | 35-56 |
| 2.1. Eisenoxid- und Goldnanopartikel.....                                  | 36    |
| 2.1.1. Synthese von superparamagnetische Eisenoxid Nanopartikel.....       | 36    |
| 2.1.2. Synthese von Goldnanopartikel.....                                  | 37    |
| 2.1.3. Coating von Nanopartikel.....                                       | 39    |
| 2.1.3.1. PEGylierung.....                                                  | 39    |
| 2.1.3.2. Phasentransfer.....                                               | 40    |
| 2.1.3.3. Polymer-Umhüllung.....                                            | 40    |
| 2.1.4. Verdünnungen.....                                                   | 42    |
| 2.2. Kniepräparate.....                                                    | 43    |
| 2.3. Ultraschall-gestützte Injektion der Kontrastmittel.....               | 43    |
| 2.4. Magnetresonanztomographie.....                                        | 44    |

|                                                                                                                 |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 2.4.1. Sequenzen .....                                                                                          | 46     |
| 2.4.2. Lagerung .....                                                                                           | 47     |
| 2.4.3. Untersuchungsgang.....                                                                                   | 48     |
| 2.4.4. Messung .....                                                                                            | 49     |
| 2.4.4.1. Objektive Messung .....                                                                                | 49     |
| 2.4.4.2. Subjektive Messung.....                                                                                | 50     |
| 2.5. Berechnungen und Statistik.....                                                                            | 53     |
| 2.5.1. Objektive Messung .....                                                                                  | 54     |
| 2.5.2. Subjektive Messung.....                                                                                  | 55     |
| 3. Ergebnisse.....                                                                                              | 57-122 |
| 3.1. Ergebnisse der objektiven Messung von Eisenoxid- und Goldnanopartikel in den verschiedenen Sequenzen ..... | 57     |
| 3.1.1. Eisenoxidnanopartikel.....                                                                               | 57     |
| 3.1.1.1. T2w TSE sagittal.....                                                                                  | 57     |
| 3.1.1.2. T2w GRE sagittal.....                                                                                  | 60     |
| 3.1.1.3 T2w GRE transversal.....                                                                                | 62     |
| 3.1.1.4. T1w TSE sagittal.....                                                                                  | 64     |
| 3.1.1.5. STIR dorsal.....                                                                                       | 66     |
| 3.1.1.6. PDw TSE fettsupprimiert sagittal .....                                                                 | 68     |
| 3.1.1.7. PDw TSE flüssigkeitssupprimiert sagittal.....                                                          | 70     |
| 3.1.1.8. Zusammenfassung der objektiven Eisenoxidnanopartikelmessung.....                                       | 72     |
| 3.1.2. Goldnanopartikel.....                                                                                    | 74     |
| 3.1.2.1. T2w TSE sagittal.....                                                                                  | 74     |
| 3.1.2.2. T2w GRE sagittal.....                                                                                  | 76     |
| 3.1.2.3. T2w GRE transversal.....                                                                               | 78     |
| 3.1.2.4. T1w TSE sagittal.....                                                                                  | 80     |
| 3.1.2.5. STIR dorsal.....                                                                                       | 82     |
| 3.1.2.6. PDw TSE fettsupprimiert sagittal .....                                                                 | 84     |

|                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1.2.7. PDw TSE flüssigkeitssupprimiert sagittal.....                                                              | 86  |
| 3.1.2.8. Zusammenfassung der objektiven Goldnanopartikelmessung .....                                               | 87  |
| 3.1.3. Sequenzabhängiger Vergleich zwischen Eisen- und Goldnanopartikel .....                                       | 89  |
| 3.1.3.1. T2w TSE sagittal.....                                                                                      | 89  |
| 3.1.3.2. T2w GRE sagittal.....                                                                                      | 90  |
| 3.1.3.3. T2w GRE transversal.....                                                                                   | 90  |
| 3.1.3.4. T1w TSE sagittal.....                                                                                      | 90  |
| 3.1.3.5. STIR dorsal.....                                                                                           | 90  |
| 3.1.3.6. PDw TSE fettsupprimiert sagittal .....                                                                     | 91  |
| 3.1.3.7. PDw TSE flüssigkeitssupprimiert sagittal.....                                                              | 91  |
| 3.2. Ergebnisse der subjektiven Messung von Eisenoxid- und Goldnanopartikel in<br>den verschiedenen Sequenzen ..... | 91  |
| 3.2.1. Eisenoxidnanopartikel.....                                                                                   | 91  |
| 3.2.1.1. T2w TSE sagittal.....                                                                                      | 92  |
| 3.2.1.2. T2w GRE sagittal.....                                                                                      | 95  |
| 3.2.1.3. T2w GRE transversal.....                                                                                   | 97  |
| 3.2.1.4. T1w TSE sagittal.....                                                                                      | 100 |
| 3.2.1.5. STIR dorsal.....                                                                                           | 102 |
| 3.2.1.6. PDw TSE sagittale Sequenzen.....                                                                           | 104 |
| 3.2.1.7. Zusammenfassung der subjektiven Eisenoxidnanopartikelmessung .....                                         | 105 |
| 3.2.2. Goldnanopartikel.....                                                                                        | 106 |
| 3.2.2.1. T2w TSE sagittal.....                                                                                      | 106 |
| 3.2.2.2. T2w GRE sagittal.....                                                                                      | 108 |
| 3.2.2.3. T2w GRE transversal.....                                                                                   | 110 |
| 3.2.2.4. T1w TSE sagittal.....                                                                                      | 112 |
| 3.2.2.5. STIR dorsal.....                                                                                           | 114 |
| 3.2.2.6. PDw TSE fettsupprimiert sagittal .....                                                                     | 116 |
| 3.2.2.7. PDw TSE flüssigkeitssupprimiert sagittal.....                                                              | 118 |

|                                                                              |         |
|------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 3.2.2.8 Zusammenfassung der subjektiven Goldnanopartikelmessung.....         | 118     |
| 3.2.3. Sequenzabhängiger Vergleich zwischen Eisen- und Goldnanopartikel..... | 119     |
| 3.2.3.1. T2w TSE sagittal.....                                               | 119     |
| 3.2.3.2. T2w GRE sagittal.....                                               | 120     |
| 3.2.3.3. T2w GRE transversal.....                                            | 120     |
| 3.2.3.4. T1w TSE sagittal.....                                               | 121     |
| 3.2.3.5. STIR dorsal.....                                                    | 121     |
| 3.2.3.6. PDw TSE fettsupprimiert sagittal .....                              | 121     |
| 3.2.3.7. PDw TSE flüssigkeitssupprimiert sagittal.....                       | 122     |
| 4. Diskussion .....                                                          | 123-136 |
| 4.1. Allgemeines und Zielstellung der Studie.....                            | 123     |
| 4.2. Kadavermodell und Ultraschall-gestützte Injektion .....                 | 124     |
| 4.3. Diskussion der Ergebnisse .....                                         | 126     |
| 4.3.1. Diskussion der Eisenoxidnanopartikelergebnisse.....                   | 127     |
| 4.3.1.1. T2w TSE sagittal.....                                               | 127     |
| 4.3.1.2. T2w GRE sagittal.....                                               | 128     |
| 4.3.1.3. T2w GRE transversal.....                                            | 129     |
| 4.3.1.4. T1w TSE sagittal.....                                               | 129     |
| 4.3.1.5. STIR dorsal.....                                                    | 130     |
| 4.3.1.6. PDw TSE fettsupprimiert sagittal .....                              | 131     |
| 4.3.1.7. PDw TSE flüssigkeitssupprimiert sagittal.....                       | 132     |
| 4.3.2. Diskussion der Goldnanopartikelergebnisse.....                        | 132     |
| 4.3.2.1. T2w TSE sagittal.....                                               | 133     |
| 4.3.2.2. T2w GRE sagittal & transversal .....                                | 134     |
| 4.3.2.3. T1w TSE sagittal.....                                               | 134     |
| 4.3.2.4. STIR dorsal.....                                                    | 135     |
| 4.3.2.5. PDw TSE fettsupprimiert sagittal .....                              | 135     |
| 4.3.2.6. PDw TSE flüssigkeitssupprimiert sagittal.....                       | 136     |

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 5. Zusammenfassung .....     | 137     |
| 6. Summary .....             | 139     |
| 7. Literaturverzeichnis..... | 141     |
| Danksagung .....             | 158     |
| Anhang .....                 | 159-192 |