

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                               |             |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                                                  | <b>XI</b>   |
| <b>Verwendete Symbole</b>                                                     | <b>XIII</b> |
| <b>1. Einleitung</b>                                                          | <b>1</b>    |
| 1.1. Aktuelle Trends für flexible und dehnbare Elektronik . . . . .           | 1           |
| 1.2. Zielstellung der Arbeit . . . . .                                        | 10          |
| <b>2. Grundlagen zu additiver biokompatibler Elektronik</b>                   | <b>13</b>   |
| 2.1. Anforderungen an gedruckte biokompatible Elektronik . . . . .            | 13          |
| 2.2. Additive Verfahren zur Herstellung biokompatibler Elektronik . . . . .   | 19          |
| 2.3. Inkjetdruck zur Herstellung von Leitern . . . . .                        | 23          |
| 2.3.1. Allgemeine Bemerkungen . . . . .                                       | 23          |
| 2.3.2. Piezobasierter Inkjetdruck . . . . .                                   | 27          |
| 2.3.3. Elektrohydrodynamischer Inkjetdruck . . . . .                          | 28          |
| 2.4. Materialsysteme für additive, dehnbare und flexible Elektronik . . . . . | 29          |
| 2.4.1. Materialien für Leiter . . . . .                                       | 29          |
| 2.4.2. Materialien für Substrate . . . . .                                    | 35          |
| <b>3. Untersuchung der Zytotoxizität gedruckter Nanopartikeltinten</b>        | <b>39</b>   |
| 3.1. Grundlagen der Zytotoxizitätsuntersuchung . . . . .                      | 39          |
| 3.2. Zellkultivierung und Vitalitätstest . . . . .                            | 41          |
| 3.2.1. Zellkultivierung . . . . .                                             | 41          |
| 3.2.2. Vitalitätstest im Direktkontakt . . . . .                              | 43          |
| 3.3. Ergebnisse zur Zytotoxizität . . . . .                                   | 45          |
| <b>4. Photonisches Sinterverfahren für Platintinte auf Polyurethan</b>        | <b>49</b>   |
| 4.1. Grundlagen zum photonischen Sintern . . . . .                            | 49          |
| 4.2. Material und Methoden . . . . .                                          | 53          |
| 4.2.1. Materialien . . . . .                                                  | 53          |
| 4.2.2. Lasersintern . . . . .                                                 | 55          |
| 4.2.3. Blitzlampensintern . . . . .                                           | 55          |
| 4.3. Photonisches und thermisches Sintern im Vergleich . . . . .              | 56          |
| 4.4. Ergebnisse des Laser- und Blitzlichtsinterns auf Polyurethan . . . . .   | 59          |
| 4.5. Zusammenfassung zum photonischen Sintern . . . . .                       | 63          |

|                                                                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. Nachweis der Eignung von Ag- und Pt- Tinten für flexible und dehnbare Anwendungen unter mechanischer Belastung</b> | <b>65</b>  |
| 5.1. Haftfestigkeit zwischen Leiter- und Substratmaterial . . . . .                                                      | 65         |
| 5.1.1. Grundlagen zur Haftfestigkeit . . . . .                                                                           | 65         |
| 5.1.2. Materialien und Methoden . . . . .                                                                                | 67         |
| 5.1.3. Ergebnisse . . . . .                                                                                              | 69         |
| 5.2. Biegebelastung . . . . .                                                                                            | 71         |
| 5.2.1. Wissenschaftliche Grundlagen . . . . .                                                                            | 71         |
| 5.2.2. Stand der Technik . . . . .                                                                                       | 73         |
| 5.2.3. Material und Methoden . . . . .                                                                                   | 73         |
| 5.2.4. Ergebnisse . . . . .                                                                                              | 75         |
| 5.3. Dehnungsbelastung . . . . .                                                                                         | 80         |
| 5.3.1. Problemstellung . . . . .                                                                                         | 80         |
| 5.3.2. Material und Methoden . . . . .                                                                                   | 84         |
| 5.3.3. Ergebnisse . . . . .                                                                                              | 87         |
| <b>6. Übertragung der Ergebnisse auf biomedizinische Anwendungen</b>                                                     | <b>93</b>  |
| 6.1. Anwendungsbeispiel: Miniaturisierte Elektrode zur Zellstimulation . . . . .                                         | 93         |
| 6.1.1. Biomedizinische Problemstellung . . . . .                                                                         | 93         |
| 6.1.2. Zellmanipulation durch elektrische Stimulation . . . . .                                                          | 94         |
| 6.1.3. Material und Methoden . . . . .                                                                                   | 94         |
| 6.1.4. Zellreaktionen nach Zellmanipulation . . . . .                                                                    | 99         |
| 6.1.5. Kapitelzusammenfassung und Ausblick . . . . .                                                                     | 103        |
| 6.2. Anwendungsbeispiel: Vollständig additiv hergestellte Hautelektrode . . . . .                                        | 104        |
| 6.2.1. Biomedizinische Problemstellung . . . . .                                                                         | 104        |
| 6.2.2. Herstellung und Charakterisierung . . . . .                                                                       | 106        |
| 6.2.3. Hautleitwertmessung . . . . .                                                                                     | 109        |
| 6.2.4. Kapitelzusammenfassung und Ausblick . . . . .                                                                     | 111        |
| <b>7. Zusammenfassung und Ausblick</b>                                                                                   | <b>113</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                                                                                              | <b>116</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                                                                             | <b>135</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>                                                                                               | <b>141</b> |
| <b>A. Anhang</b>                                                                                                         | <b>143</b> |
| A.1. Photonisches Sintern . . . . .                                                                                      | 143        |
| A.2. Haftfestigkeit . . . . .                                                                                            | 147        |
| A.3. Biegeversuch . . . . .                                                                                              | 148        |
| A.4. Dehnungstest . . . . .                                                                                              | 149        |