

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Anforderungen an orthodontische Drähte</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Typische Legierungen kieferorthopädischer Drähte</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Nickel-Titan-Legierungen</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Entwicklung</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Anwendung von Nickel-Titan-Legierungen</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2.1</b>	<b>Technische Anwendungen</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2.2</b>	<b>Medizinische Anwendungen</b>	<b>17</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Materialeigenschaften</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3.1</b>	<b>Kristallographie</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3.2</b>	<b>Formgedächtniseffekt</b>	<b>22</b>
<b>2.3.3.2.1</b>	<b>Einwegeffekt</b>	<b>23</b>
<b>2.3.3.2.2</b>	<b>Zweiwegeffekt</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3.3</b>	<b>Superelastizität</b>	<b>25</b>
<b>2.3.3.4</b>	<b>Deflexionsverhalten</b>	<b>27</b>
<b>2.3.3.5</b>	<b>Kleine Last-/Biegerate</b>	<b>27</b>
<b>2.3.3.6</b>	<b>Beeinflussung der Materialeigenschaften von NiTi-Legierungen durch Wärmebehandlung</b>	<b>27</b>
<b>2.3.3.7</b>	<b>Bioverträglichkeit</b>	<b>28</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Definition der Materialparameter</b>	<b>29</b>
<b>2.4</b>	<b>Prüfverfahren metallischer Werkstoffe</b>	<b>32</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Zugversuch</b>	<b>32</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Biegeversuch</b>	<b>33</b>
<b>2.5</b>	<b>Möglichkeiten zum Fügen metallischer Werkstoffe</b>	<b>36</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Kleben von Metallen</b>	<b>36</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Löten</b>	<b>37</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Schweißen</b>	<b>39</b>
<b>2.5.3.1</b>	<b>Elektrisches Widerstandsschweißen</b>	<b>40</b>
<b>2.5.3.2</b>	<b>Laserschweißen</b>	<b>43</b>

2.5.3.2.1	Eigenschaften der Laserstrahlung	44
2.5.3.2.2	Lasermedium	45
2.5.3.2.3	Optischer Resonator, Pumpmechanismus	46
2.5.3.3	Zum Schweißen geeignete Lasertypen	47
2.5.4	Klinische Aspekte des Fügens von NiTi-Legierungen	51
3	Fragestellungen der vorliegenden Untersuchung	53
4	Materialien und Methode	54
4.1	Drähte	54
4.1.1	Querschnitte	54
4.1.2	Legierungen	55
4.2	Laserschweißen	56
4.2.1	Aufbau der Probenhalterung	56
4.2.2	Aufbau des Nd:YAG-Lasers	59
4.2.2.1	Systembeschreibung	59
4.2.3	Versuchsdurchführung	61
4.2.4	Auswahl der SchweißEinstellungen	62
4.2.4.1	Vorversuch	62
4.2.4.1.1	Ergebnisse der Vorversuche	63
4.2.4.1.2	Bestimmung der SchweißEinstellungen für die Hauptversuche	63
4.2.5	Biegeversuch FLEX	64
4.2.5.1	Aufbau des Biegemessplatzes FLEX	65
4.2.5.2	Versuchsdurchführung	67
4.2.5.3	Messparameter	68
4.2.5.4	Einfluss mehrmaliger Messungen auf die Messparameter	70
4.2.5.5	Methodenfehler	73
5	Ergebnisse	74
5.1	Laserschweißbarkeit	74
5.2	Die Biegebelastbarkeit und das Bruchverhalten geschweißter NiTi- Drähte	74
5.2.1	Ergebnisse der Biegeversuche ungeschweißter und geschweißter Drähte	76

5.2.1.1	Biegemoment-Biegewinkel-Diagramme des Copper NiTi Thermo-Active At 27°C-Drahtes (OC 27 (16))	77
5.2.1.2	Biegemoment-Biegewinkel-Diagramme des Copper NiTi Thermo-Active At 35°C-Drahtes (OC 35 (16))	79
5.2.1.3	Biegemoment-Biegewinkel-Diagramme des Neo Sentalloy-Drahtes (GACNS (16x22))	81
5.2.1.4	Biegemoment-Biegewinkel-Diagramme des Copper NiTi Thermo-Active At 35°C-Drahtes (OC 35 (16x22))	83
5.3	Vergleichende Auswertung der Biegemoment-Biegewinkel-Kurven geschweißter NiTi-Drähte	85
5.3.1	Punktwolkendiagramm des mittleren Drehmomentes auf dem Entlastungsplateau	86
5.3.2	Punktwolkendiagramm der Endpunkte des Entlastungsplateaus	87
5.3.3	Punktwolkendiagramm der Steigung des Entlastungsplateaus	89
5.3.4	Punktwolkendiagramm der Steigung des linearen Entlastungsplateaus	90
5.4	Vergleich geschweißter und ungeschweißter Drähte	92
5.4.1	Medianwerte des mittleren Drehmoments auf dem Entlastungsplateau	92
5.4.2	Medianwerte der Endpunkte des Entlastungsplateaus	93
5.4.3	Medianwerte der Steigung des Entlastungsplateaus	94
5.4.4	Medianwerte der Steigung des linearen Endabschnitts	95
6	Diskussion	97
6.1	Diskussion der Fragestellungen	97
6.2	Diskussion der Materialauswahl	102
6.3	Diskussion der Untersuchungsmethodik	104
6.3.1	Laserschweißen	104
6.3.1.1	Probenhalterung	104
6.3.1.2	Nd:YAG-Laser	105
6.3.1.3	Schweißereinstellungen	106
6.3.2	Biegeversuch mit dem FLEX-Biegemessplatz	107

<b>6.4</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>111</b>
6.4.1	Laserschweißbarkeit	111
6.4.2	Elastische Eigenschaften	112
6.4.3	Festigkeit	116
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>118</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>121</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>130</b>
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>132</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung</b>	<b>133</b>
<b>12</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>134</b>