

## 7 Zusammenfassung

Eine Nickel-Titan-Legierung wurde erstmalig 1971 von Andreasen und Brady [4] in der Kieferorthopädie eingeführt. Das Hauptmerkmal weiterentwickelter orthodontischer NiTi-Drähte liegt in dem so genannten „Memory-Effekt“, auch Formgedächtniseffekt genannt. Weitere nützliche Eigenschaften sind die Superelastizität, ein niedriger Elastizitätsmodul und ein ausgeprägtes Deflektionsvermögen. Bislang konnten Drähte dieser Art lediglich mithilfe von Quetsch- oder Klemmverbindungen verbunden werden. Ziel dieser Pilotstudie war es, die Laserschweißbarkeit von NiTi-Drähten verschiedener Hersteller zu untersuchen und den Grad der Biegebelastbarkeit der geschweißten Proben zu evaluieren.

In dem vorliegenden Versuchsaufbau wurden 800 NiTi-Drähte (160 Gruppen à 5 Proben) mit einem Nd:YAG-Laser der Firma Dentaureum (Ispringen, Deutschland) geschweißt. 8 orthodontische Bögen von drei verschiedenen Anbietern (Dentaureum, GAC, Ormco) wurden in die vorliegende Studie einbezogen. Die untersuchten Drahtbögen wiesen zwei Dimensionen auf, einen runden Querschnitt mit einem Durchmesser von 0,40 bis 0,41 mm (.016“) sowie einen rechteckigen Querschnitt mit einem Durchmesser von 0,41 mm x 0,56 mm (.016“ x .022“). Von den ausgewählten Materialien wurden jeweils 50 Drähte (fünf Packungen mit je zehn Drahtbögen) untersucht. Jeder Drahtbogen wurde in 4 annähernd gerade Drahtsegmente à 2 cm zerteilt. Je zwei Drahtproben wurden parallel in die Probenhalterung eingespannt, so dass die Drähte mit rundem Querschnitt linearen und jene mit rechteckigem Querschnitt flächigen Kontakt hatten. Die Überlappung der Drahtproben betrug jeweils 3 mm. Anschließend wurden die Drahtsegmente lasergeschweißt. Jeder Versuch wurde dabei fünfmal bei unveränderten Schweißereinstellungen wiederholt. 796 der 800 Proben konnten solchermaßen verschweißt werden. Hierbei wurden Spannungen von 220 bis 235 V und Pulsdauern von 1,5 bis 3,5 ms verwendet.

Eine Pulsdauer von 3 ms bei einer Spannung von 235 V sowie eine Pulsdauer über 3 ms bei einer Spannung von 225 bis 235 V scheinen für die Schweißverbindung der in dieser Studie untersuchten NiTi-Drähte nicht geeignet zu sein. Ideal hinsichtlich der Verbindungsfestigkeit sind nach den Resultaten dieser Studie Spannungen

kleiner als 230 V und Pulsdauern kürzer als 3,5 ms. Diese Ergebnisse sind allerdings jeweils für die verwendeten Lasersysteme und Drahtsorten spezifisch.

Drahtverbindungen werden in den meisten Studien hinsichtlich ihrer Zugfestigkeit quantifiziert. Da Drähte in der kieferorthopädischen Anwendung allerdings überwiegend auf Biegung belastet werden, wurde in der vorliegenden Arbeit die Biegebelastbarkeit ermittelt. Die Biegeprüfung aller 796 geschweißten Proben wurde mit dem FLEX-Biegemessplatz [76], einer Messvorrichtung zur Ermittlung des Biegemoment-Biegewinkel-Verhaltens, bis zu einem maximalen Biegewinkel von 80° durchgeführt. Von den 796 geschweißten Proben blieben insgesamt 225 Proben intakt. Der Bruch war zumeist in den Randbereichen der Schweißnaht lokalisiert (am Übergang der Schweißnaht zu einem der nicht geschweißten Anteile des Drahtes). Nur vereinzelt brachen die Proben in der Mitte der Schweißnaht. In die weitere Auswertung gingen ausschließlich diejenigen Gruppen ein, bei denen 80% der getesteten Drahtverbindungen nach der Biegeprüfung intakt waren (n=110; Drähte: Neo Sentalloy (.016" x .022") der Firma GAC sowie Copper NiTi 27° (.016"), Copper NiTi 35° (.016") und Copper NiTi 35° (.016" x .022") der FirmaOrmco).

Die untersuchten lasergeschweißten Drähte zeigten eine Veränderung der mechanischen Eigenschaften in Hinblick auf das Verhalten der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen. Das für die Kraftabgabe während einer kieferorthopädischen Behandlung verantwortliche mittlere Drehmoment stieg gegenüber den ungeschweißten Referenzdrähten an. In den Biegemoment-Biegewinkel-Diagrammen der geschweißten Proben konnte einheitlich eine Erhöhung des Be- und Entlastungsplateaus festgestellt werden. Somit ist eine Zunahme der Steifigkeit der Drähte nach dem Schweißen zu verzeichnen, die auf die doppelte Dicke der Schweißnaht zurückzuführen ist. Zum Teil liegen die dabei auftretenden Kräfte oberhalb der für die kieferorthopädische Behandlung empfohlenen Größen, was zu Nebenwirkungen, wie unter anderem Wurzelresorptionen, führen kann. Zudem geht das Entlastungsplateau geschweißter Drähte deutlich früher als das ungeschweißter Proben in die lineare elastische Phase über. Somit ist der Biegewinkel, der das Ende des Entlastungsplateaus kennzeichnet, erhöht und das klinisch wertvolle pseudoelastische Plateau mit konstanter Kraftabgabe verkürzt. Die Steigung des Entlastungsplateaus sowie die Steigung des linearen Endabschnitts weisen geringe

Unterschiede auf. Insgesamt ist das superelastische Verhalten geschweißter kieferorthopädischer NiTi-Drähte eingeschränkt, vor allem im Bereich der Schweißnaht scheint die elastische Rückstellung beeinträchtigt zu sein. Hierdurch reduziert sich der therapeutische Nutzen lasergeschweißter NiTi-Verbindungen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Veränderungen der Zusammensetzung der Legierung durch den Schweißvorgang und die Länge der Schweißnaht hier die wesentlichen Einflussfaktoren darstellen. Weitere Untersuchungen hierzu sind geplant.

Die bisherigen Ergebnisse lassen daher die Verwendung lasergeschweißter NiTi-Drahtverbindungen für den Einsatz in der Kieferorthopädie sinnvoll erscheinen; eine eindeutige Empfehlung kann jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht ausgesprochen werden.