

3 Material und Methode

3.1. Wurzelkanalinstrumente für die maschinelle Aufbereitung

In dieser Arbeit wurden das Torsions- und Biegeverhalten von Nickel-Titan-Instrumenten zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung in Abhängigkeit von der Querschnittsform der Instrumente untersucht.

Die Wurzelkanalinstrumente für die maschinelle Aufbereitung unterscheiden sich etwas im Aufbau des Griffes von den herkömmlichen Instrumenten für die manuelle Instrumentierung, da der Griff ins Winkelstück eingespannt wird und dementsprechend geformt ist. In der Normierung unterscheiden sie sich nicht (Abb. 4).

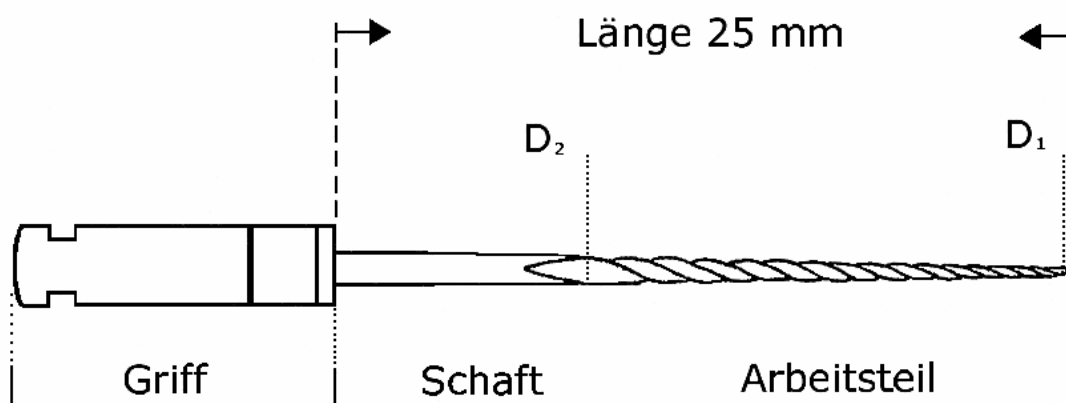


Abb. 4: Instrument zur maschinellen Aufbereitung des Wurzelkanals.

Alle Instrumente werden durch Fräsung eines runden Rohlings hergestellt. Die Rohlinge bestehen aus einer Nickel-Titan-Legierung, die sich zu etwa 55 % aus Nickel und 45 % Titan zusammensetzt. Auf Grund des pseudoelastischen Verhaltens der Nickel-Titan-Legierung können die Wurzelkanalinstrumente nicht durch Verdrillung hergestellt werden. Die Instrumente bestehen aus Griff, Schaft und Arbeitsteil (Abb. 4). In der Tabelle 4 sind die unterschiedlichen Längen des Griffes, des Schaftes und des Arbeitsteiles der untersuchten Wurzelkanalinstrumente angegeben.

Instrument	Länge des Griffes [mm]	Länge des Schaftes [mm]	Länge des Arbeitsteiles [mm]
ProFile	14	8,5	16,5
HERO	13	9	16
FlexMaster	14	8	17
K³	11	8	17
RaCe	14	8,5	16,5

Tab. 4: Die Längen des Griffes, des Schaftes und des Arbeitsteiles der untersuchten Instrumente.

Die ISO-Größe dieser Instrumente ist jeweils farblich gekennzeichnet (ISO-Größe 25 roter, ISO-Größe 30 blauer und ISO-Größe 35 grüner Ring). Bei der Kennzeichnung der Konizität gibt es keine einheitliche Markierung aller Instrumente. Die Konizität der ProFile-Instrumente ist durch die Anzahl der farbigen Ringe am Griff angegeben. Ein Ring entspricht der 2 %-igen Konizität, zwei Ringe der 4 %-igen und drei Ringe der 6 %-igen Konizität. Die HERO-Instrumente sind ebenfalls auf diese Weise markiert. Die FlexMaster-Instrumente haben neben der beschriebenen Markierung noch zusätzlich einen Ring am Griff, der mit keiner Farbe versehen ist. Die Instrumente der Firma Kerr haben neben den Ringmarkierungen noch zusätzlich am unteren Teil des Griffes in Zahlen angegeben die ISO-Größe und die Konizität, z. B. 04 für 4 %-ige Konizität und 30 für die ISO-Größe 30. Die Markierung der RaCe-Instrumente der Firma FKG Detaire unterscheidet sich grundlegend von den übrigen, da die Instrumente nur durch einen Gummiring, der sich am Ende des Schaftes befindet, markiert sind. Für die verschiedenen Konizitäten gibt es verschiedenfarbige Ringe, so steht der gelbe Gummiring für die 2 %-ige, der schwarze für die 4 %-ige und der blaue für die 6 %-ige Konizität.

Alle untersuchten Instrumente besitzen eine Länge von 25 mm (Abb. 4).

Es wurden Instrumente von fünf verschiedenen Herstellern untersucht:

1. ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz)
2. HERO 642 (Micro Méga, Besançon, Frankreich)
3. FlexMaster (Antaeos, München, Deutschland)
4. K³ (Kerr, Glendora, USA)
5. RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Schweiz)

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die untersuchten Instrumente bezüglich ihrer ISO-Größe und der Konizität:

Instrument	Hersteller	Konizität	ISO-Größe
ProFile	Dentsply	4%	25, 30, 35
		6%	25, 30, 35
HERO	Micro Méga	2%	25, 30, 35
		4%	25, 30
		6%	25, 30
FlexMaster	Antaeos	2%	25, 30, 35
		4%	25, 30, 35
		6%	25, 30, 35
K³	Kerr	4%	25, 30, 35
		6%	25, 30, 35
RaCe	FKG Dentaire	4%	25, 30, 35

Tab. 5: Übersicht über die in dieser Studie untersuchten Instrumente.

Es wurden insgesamt fünf Untersuchungen durchgeführt:

1. Bestimmung der Zusammensetzung der Nickel-Titan-Legierung
2. Überprüfung der Instrumentendurchmesser und Konizitäten
3. Untersuchung zum Biegeverhalten
4. Untersuchung zum Frakturverhalten
5. Bestimmung des Instrumentenquerschnittes und der Querschnittsfläche

3.2 Elementanalyse der Nickel-Titan-Legierung

Die quantitative Elementanalyse der Nickel-Titan-Legierung der verschiedenen in dieser Studie untersuchten Wurzelkanalinstrumente wurde mittels energiedispersiver Röntgenmikrobereichsanalyse (EDAX) durchgeführt (Philips PSEM 500 X, EDAX PV 9100, Eindhoven, Niederlande). Diese Untersuchungen werden zur Identifizierung von Atomsorten herangezogen.

Es wurde je ein Wurzelkanalinstrument pro Instrumententyp, Konizität und ISO-Größe für die Bestimmung der quantitativen chemischen Zusammensetzung verwendet. Die Konzentrationen der verschiedenen Elemente werden in Massenprozenten angegeben.

3.3 Überprüfung der Instrumentendurchmesser und Konizitäten

Die Überprüfung des Instrumentendurchmessers erfolgt mit einem Meßgerät, das gemäß DIN 13967 Teil 3 (1985) speziell für konische Wurzelkanalinstrumente angefertigt wurde. Die folgende Abbildung (STÖCKER 2000) (Abb. 5) zeigt das Meßgerät:

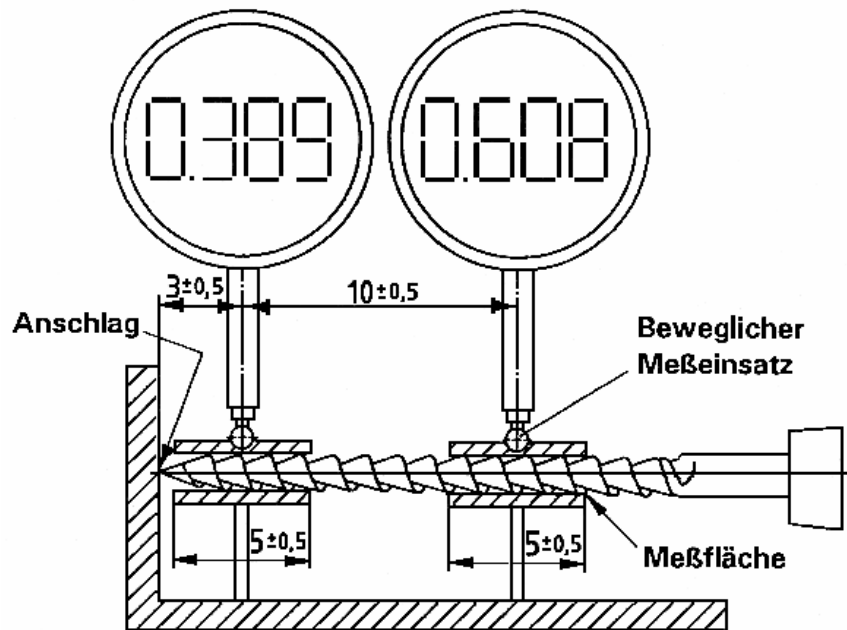


Abb. 5: Schematische Darstellung des Prüfgerätes zur Bestimmung des Instrumentendurchmessers (nach DIN 13967 (1985)).

Das zu vermessene Instrument wurde bis zum Anschlag in das Meßgerät gelegt. Der Instrumentendurchmesser wurde dann an zwei Stellen des Arbeitsteiles des Instruments durch zwei Meßuhren (Digimatic 543-122B, Mitutoyo, Tokyo, Japan) bestimmt. Der erste Wert wurde im Abstand von 3 mm und der zweite Wert im Abstand von 13 mm von der Instrumentenspitze ermittelt. Es erfolgte keine punktuelle Messung des Instrumentendurchmesseres, sondern eine Messung über eine Strecke von 5 mm, so daß der Meßwert als ein Zwischenwert über die gemessene Strecke zu sehen ist.

Der erste Meßwert wird als d_3 nach DIN 13 967 bezeichnet und dieser Wert entspricht dem Meßpunkt D_2 nach ISO-Norm 3630-1 (Abb. 4). Der zweite Wert bekommt die Bezeichnung d_{13} entsprechend DIN 13 967. Auf diese Weise wurden pro Instrumententyp und ISO-Größe jeweils 12 Instrumente vermessen. Aus den 12 gemessenen Werten wurde der Mittelwert gebildet.

3.4 Untersuchung zum Biegeverhalten

Die Überprüfung des Biegeverhaltens der Nickel-Titan-Instrumente zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung erfolgte in einem Prüfgerät, das entsprechend der ISO-Norm 3630–1 konstruiert wurde (STÖCKER 2000) (Abb. 6).

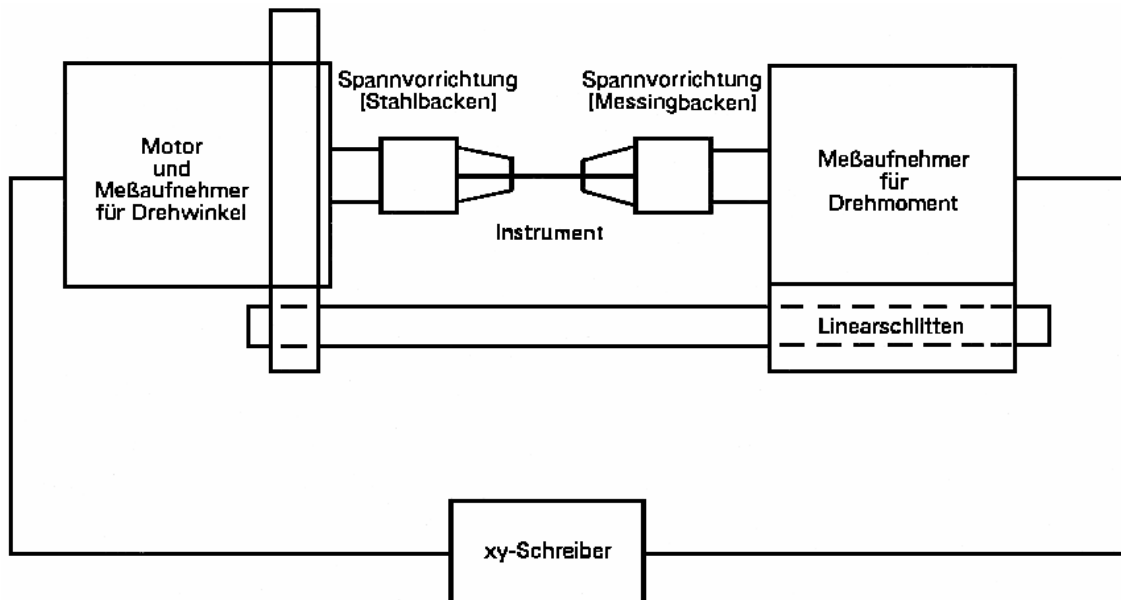


Abb. 6: Schematische Darstellung des Prüfgerätes zur Überprüfung des Biegeverhaltens.

3.4.1 Prüfgerät

Das Gerät besteht aus einem Motor mit beidseitig aus dem Gehäuse des Motors geführter Welle. Der Biegewinkel wird durch einen Getriebepotentiometer (dino pot P650a502, Novotechnik, Ostfildern), das an einer Seite der Welle angebracht ist, kontinuierlich abgegriffen. An der gegenüberliegenden Seite der Welle ist entsprechend der ISO-Norm 3630-1 die Biegevorrichtung angebracht. Mit Hilfe der Biegevorrichtung und eines darin enthaltenen Mitnehmerstiftes wird das Instrument im Abstand von 18 mm von dem Drehmittelpunkt gebogen. Im Verlauf des Biegevorganges tritt an der Spannvorrichtung das Drehmoment auf, das kontinuierlich gemessen wird. Entsprechend der ISO-Norm 3630-1 wird das Drehmoment vereinfacht als Biegemoment bezeichnet.

Das Prüfgerät ist an einen xy-Schreiber (Watanabe WX 4301, Tokyo, Japan) angeschlossen, so daß das Biegemoment und der Biegewinkel kontinuierlich nicht nur gemessen, sondern auch aufgezeichnet werden.

3.4.2 Durchführung der Messung

Das Instrument wurde an seiner Spitze über eine Länge von 3 mm senkrecht zur Drehachse in eine Spannvorrichtung, die aus weichem Messing besteht, eingespannt. Nachdem das Instrument fest in der Spannvorrichtung eingebracht war, wurde der Motor eingeschaltet. Das Instrument wurde so lange mit 2 Umin^{-1} durch die Biegevorrichtung gebogen, bis der Winkel von 45° überschritten war.

Dabei wurde eine Kurve auf dem xy-Schreiber aufgezeichnet aus dieser Kurve erfolgte bei einem Biegewinkel von 45° die Bestimmung des Biegemomentes (Abb. 7).

Pro Instrumententyp wurden $n=12$ Instrumente untersucht. Es sind somit bei insgesamt 30 verschiedenen Instrumenten (Tab. 5) 360 Tests durchgeführt worden.

Biegemoment [gcm]

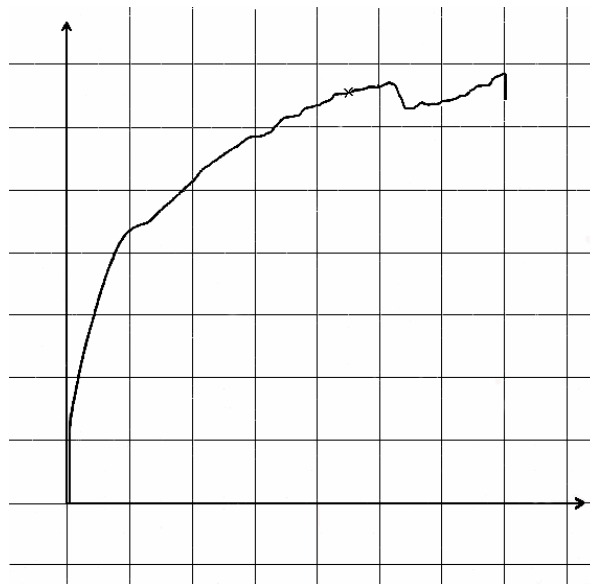


Abb. 7: Aufgezeichnete Kurve zur Bestimmung des Biegemomentes (am Beispiel des Instruments: HERO 4 % ISO 30).

3.5 Untersuchung zum Frakturverhalten

Die Untersuchung des Frakturverhaltens erfolgte mit einem Prüfgerät, das entsprechend den Vorgaben der ISO-Norm 3630-1 angefertigt wurde. Dabei handelte es sich um das bereits beschriebene Prüfgerät, das auch zur Untersuchung des Biegeverhaltens verwendet wurde. Es wurde jedoch eine Modifikation der Spannvorrichtung an dem Gerät vorgenommen.

3.5.1 Prüfgerät

Das Gerät besteht aus einem Motor mit beidseitig aus dem Gehäuse des Motors geführter Welle. An einer Seite der Welle befindet sich ein Potentiometer (dino pot P650a502, Novotechnik, Ostfildern), das zur Aufnahme des Drehwinkels dient. An der anderen Seite der Welle befindet sich eine Stahlspannzange, in die der Schaft des zu prüfenden Wurzelkanalinstrumentes eingespannt wird.

Der Motor ist an einen xy-Schreiber (Watanabe WX 4301, Tokyo, Japan), mit dem der Drehwinkel aufgezeichnet wird, angeschlossen.

Die Spitze des zu untersuchenden Wurzelkanalinstrumentes wird in einer aus weichem Messing angefertigten Spannvorrichtung eingespannt. Das Drehmoment wird über die an einem senkrecht zur Drehachse angebrachten 50 mm langen Hebel auftretenden Kräfte mittels einer Wägezelle (Z11, HBM, Darmstadt) bestimmt. Diese ist an einen Meßverstärker (MAG, HBM, Darmstadt) angeschlossen. Auf die Ordinate des xy-Schreibers wird das analoge Ausgangssignal übertragen und eine Kurve aufgezeichnet.

Die gesamte Meßeinrichtung für das Drehmoment ist auf einem kugelgeführten Linearschlitten (Star-Linear-Schlitten, Deutsche Star, Herford) angebracht, so daß ein freies Verschieben der Meßeinrichtung in Achsenrichtung möglich ist.

Vor Meßbeginn ist die Kalibrierung des Systems mit Feingewichten durchzuführen.

3.5.2 Durchführung der Messung

Das zu untersuchende Wurzelkanalinstrument wurde in die Stahlspannzange des Motors eingespannt und zwar so, daß maximal 1 mm des Instrumentenschaftes sowie das gesamte Arbeitsteil herausschauten. Das Instrument wurde in der Stahlspannzange fixiert. Danach wurde die Meßeinrichtung so weit zum Motor geführt, bis die Instrumentenspitze 3 mm in die Messingbacken der gegenüberliegenden Spannzange hineinragte. Das Instrument wurde gerade und zentrisch in die Messingbacken eingespannt und es wurde überprüft, ob sich die Meßeinrichtung für den Drehwinkel und das Drehmoment in Nullstellung befanden. Der Motor wurde mit 2 Umin^{-1} eingeschaltet. Der Drehwinkel und das Drehmoment wurden kontinuierlich auf dem xy-Schreiber aufgezeichnet. Das Instrument wurde so lange gedreht bis es frakturierte. Der Verdrehwinkel und die Bruchfestigkeit wurden anhand der aufgezeichneten Kurve bestimmt (Abb. 8).

Pro Instrumententyp wurden jeweils $n=12$ Instrumente untersucht. Bei insgesamt 30 verschiedenen Instrumenten (Tab. 5) ergaben sich somit zusammen 360 Tests.

Drehmoment [gcm]

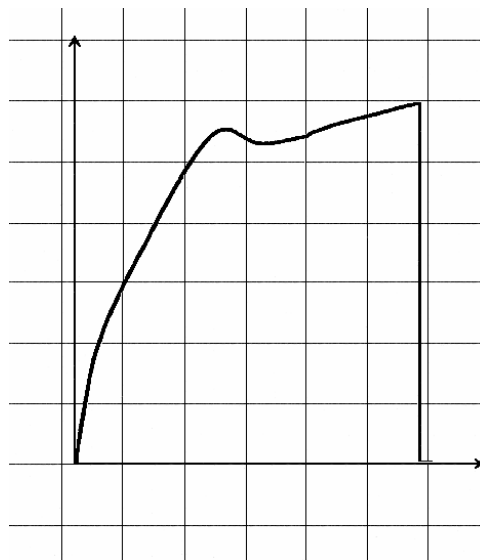


Abb. 8: Aufgezeichnete Kurve zur Bestimmung des Drehwinkels und des Drehmomentes (am Beispiel des Instruments : HERO 4 % ISO 30).

3.6 Bestimmung des Instrumentendurchmessers

Zur Bestimmung des Instrumentendurchmessers wurden die Instrumente mit einem speziellen Kaltpolymerisatkunststoff (Technovit 4071, Heraeus Kulzer, Wehrheim), der sich für metallographische Untersuchungen eignet, in kleinen Kunststoffgefäßen (Mehrzweckgefäß mit Schnappdeckel, Greiner, Frickenhausen) eingebettet

(Abb. 9a). Zur besseren Übersicht wurden von den Wurzelkanalinstrumenten eines Herstellers und gleicher Konizität alle vorhandenen ISO-Größen (z. B. ProFile, Konizität 4 %, ISO-Größen 25, 30, 35) zusammen in ein Kunststoffgefäß eingebettet. Derart eingebettete Wurzelkanalinstrumente wurden in einem Abstand von 20 mm vom Griff in einer Innenlochsäge (Leica Typ 1600, Leitz, Wetzlar) durchgetrennt (Abb. 9b). Es resultierten 10 mm dicke Kunststoffscheiben (Abb. 9c), die anschließend an einer mit Sandpapier bezogenen drehenden Scheibe poliert wurden (Grubs, Struers, DP-U2).

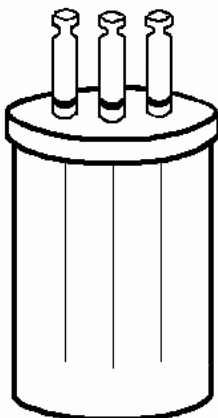


Abb. 9a

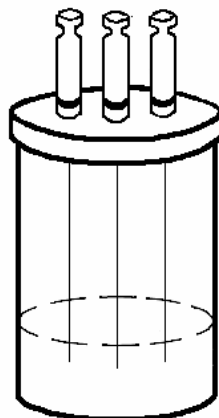


Abb. 9b



Abb. 9c

Abb. 9a: Das Kunststoffgefäß mit den eingebetteten Wurzelkanalinstrumenten.

Abb. 9b: Das durchgetrennte Kunststoffgefäß.

Abb. 9c: Die Kunststoffscheibe.

Auf die polierten Kunststoffscheiben wurde in einem Dampfgerät (Sputtering Device, Balzers Union, Fürstentum Liechtenstein) eine Goldschicht von 95 nm aufgetragen, damit die Oberfläche der polierten Kunststoffscheiben leitfähig wurde und damit für die Aufnahmen im Rasterelektronenmikroskop (Philips PSEM 500 X, Eindhoven)

vorbereitet wurde. Vor der rasterelektronenmikroskopischen Durchmusterung wurde die Oberfläche der Kunststoffscheiben mit Alkohol gesäubert, um alle Unreinheiten von der Oberfläche zu beseitigen.

Jede Kunststoffscheibe wurde in der Halterung des Rasterelektronenmikroskops, die im Standardwinkel von 20° positioniert war, fixiert und es wurde schließlich bei einer Vergrößerung von 160 x, einer Beschleunigung von 25 kV und mit Hilfe von Sekundärelektronen von jedem Wurzelkanalinstrument eine Aufnahme der Querschnittsform angefertigt.

Es wurde von jedem Instrumententyp eine Aufnahme angefertigt, also insgesamt 30 Aufnahmen. Diese Aufnahmen wurden eingescannt mit 600 dpi und die Querschnittsfläche jedes Wurzelkanalinstrumentes wurde mit der Scion Image Windows Software (National Institutes of Health, NIH) berechnet.

3.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der experimentell ermittelten Daten für das Biegemoment, den Verdrehwinkel und die Biegefestigkeit wurde mit Hilfe einer handelsüblichen Statistiksoftware (MedCalc 5.0, MedCalc Software, Mariakerke, Belgien) durchgeführt.

Die Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen und die Bestimmung der Querschnittsfläche der Wurzelkanalinstrumente wurden mit Hilfe der Scion Image Windows Software durchgeführt.