

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Zahnerhaltung
Zentrale Interdisziplinäre Ambulanz in der ZMK-Klinik
-Leiter: Prof. Dr. med. dent. Edgar Schäfer-

**Torsionsverhalten von rotierenden Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumenten
in Abhängigkeit vom Instrumentenquerschnitt:
Mtwo- versus un- und PVD-beschichtete EasyShape-Instrumente**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium
der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen-Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von
Soyka, Christian Michael
aus Lemgo
2011

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen-
Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Schmitz

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. Edgar Schäfer

2. Berichterstatter: PD Dr. med. dent. G. Danesh

Tag der mündlichen Prüfung: 26.05.2011

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Zahnerhaltung
Zentrale Interdisziplinäre Ambulanz in der ZMK-Klinik
-Leiter: Prof. Dr. med. dent. Edgar Schäfer-

Referent: Prof. Dr. med. dent. Edgar Schäfer
Koreferent: PD Dr. med. dent. G. Danesh

Zusammenfassung

Torsionsverhalten von rotierenden Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumenten in Abhängigkeit vom Instrumentenquerschnitt: Mtwo- versus un- und PVD-beschichtete EasyShape-Instrumente

Soyka, Christian Michael

Das Torsions- und Biegeverhalten von Mtwo-, PVD-(TiN)-beschichteten und unbeschichteten EasyShape-Instrumenten zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung wurde in Anlehnung an die ISO-Norm 3630-1 und in Abhängigkeit von der Querschnittsfläche der Instrumente untersucht.

Anfänglich wurde von den untersuchten Instrumenten mit einem speziellen Schleifgerät bei 3mm von der Instrumentenspitze die Querschnittsfläche ermittelt. Es zeigte sich, dass die EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 eine etwa 60% größere Fläche als die Mtwo-Instrumente gleicher Größe aufwiesen. Die EasyShape-Instrumente der Größe 35.04 waren durchschnittlich 20% größer als die Mtwo-Instrumente.

Das Biegeverhalten wurde mit einem Prüfgerät gemäß der ISO-Norm 3630-1 bei einem Biegewinkel von 45° untersucht. Sowohl die EasyShape- als auch die Mtwo-Instrumente erfüllten die Mindestanforderungen nach der ISO-Norm 3630-1. Die Mtwo-Instrumente zeigten für beide Größen 25.06 und 35.04 die geringsten Biegemomente, sodass diese Instrumente als äußerst flexibel bewertet werden können. Die unbeschichteten und TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente wiesen für beide Instrumentengrößen hohe Biegemomente auf, womit sie signifikant weniger flexibel waren. Zwischen dem Biegemoment und der Querschnittsfläche zeigte sich eine starke Korrelation, sodass sich die Instrumentenquerschnittsfläche als ein wichtiger Parameter bezüglich des Biegeverhaltens darstellte.

Das Frakturverhalten wurde ebenfalls mit einem speziell nach der ISO-Norm 3630-1 hergestellten Prüfgerät untersucht. Dieses wird in zwei Kriterien, dem Verdrehwinkel und der Bruchfestigkeit unterteilt. Die Mtwo-Feilen beider Instrumentengrößen erfüllten die Mindestanforderungen gemäß der ISO-Norm 3630-1 zum Verdrehwinkel ausnahmslos, wohingegen die unbeschichteten und TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 durchschnittlich diese Anforderungen nicht erfüllten. Dabei zeigten die unbeschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 35.04 ähnlich große Verdrehwinkel wie die Mtwo-Instrumente. Zwischen den Parametern Verdrehwinkel und Querschnittsfläche konnte eine Korrelation festgestellt werden, die sich allerdings als negative oder umgekehrte Korrelation darstellte. Alle untersuchten Instrumente erreichten ohne Ausnahme die Mindestanforderungen gemäß der ISO-Norm 3630-1 für die Bruchfestigkeit. Wobei die unbeschichteten als auch die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 und 35.04 signifikant höhere Torsionsmomente aufwiesen als die Mtwo-Instrumente. Die Bruchfestigkeit und die Instrumentenquerschnittsfläche korrelieren stark miteinander.

Aufgrund der bestehenden Korrelation zwischen Verdrehwinkel, Bruchfestigkeit und der Querschnittsfläche kann die Querschnittsfläche als ein wichtiger Faktor bezüglich des Frakturverhaltens betrachtet werden.

Bevor die Instrumente untersucht wurden, wurden diese in drei Desinfektions-, Reinigungs- und Sterilisationsgruppen (DRS) eingeteilt. Mit diesen drei Gruppen wurden unterschiedliche Aufbereitungszyklen (DRS-Zyklen) vollzogen. Die erste Gruppe waren unaufbereitete beziehungsweise neue Instrumente, die zweite wurde 5mal und die dritte wurde 10mal aufbereitet. Es zeigte sich, dass die DRS-Zyklen keinen signifikanten Einfluss auf das Biege- und Frakturverhalten der untersuchten Instrumente nahmen.

Zusammenfassend kann der Schluss gezogen werden, dass die Querschnittsfläche einen signifikanten Einfluss auf das Biege- und Frakturverhalten von rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten zur Wurzelkanalaufbereitung nimmt. Wohingegen sich die hygienische Aufbereitung (DRS-Zyklen) nicht auf die Eigenschaften der Instrumente auswirkte.

Tag der mündlichen Prüfung: 26.05.2011

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

Torsionsverhalten von Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumenten in Abhängigkeit vom Instrumentenquerschnitt:

Mtwo- versus un- und PVD-beschichtete EasyShape-Instrumente

in der/im (Klinik, Institut, Krankenhaus):

Universitätsklinikum Münster
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Zentrale Interdisziplinäre Ambulanz
Leiter: Prof. Dr. Edgar Schäfer
Waldeyerstr. 30
48149 Münster

unter Anleitung von:

Prof. Dr. Edgar Schäfer

1. selbstständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der Literaturverzeichnis angegebenen Arbeit angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit oder zur Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt habe.

Lemgo, 28.05.2011

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis		Seite
	Inhaltsverzeichnis	I
1	Einleitung	1
1.1	Endodontologie	1
1.2	Wurzelkanalinstrumente aus einer Nickel-Titan-Legierung	1
1.3	Aufbereitung von Wurzelkanälen	4
1.3.1	Grundlagen	4
1.3.2	Aufbereitungstechniken	4
1.3.2.1	Crown-Down-Technik	5
1.3.2.2	Single-Length-Technik	6
1.4	Maschinell-rotierende Wurzelkanalinstrumente	6
1.4.1	Mtwo	6
1.4.2	EasyShape	9
1.5	Titan-Nitrid-Oberfläche	11
1.6	Anforderungen an Wurzelkanalinstrumente gemäß ISO 3630-1	12
1.6.1	Biegeverhalten	12
1.6.2	Frakturverhalten	14
1.6.2.1	Verdrehwinkel	14
1.6.2.2	Bruchfestigkeit	15
2	Problemstellung	17

3	Material und Methode	18
3.1	Wurzelkanalinstrumente für die maschinelle Aufbereitung	18
3.2	Untersuchung des Biegeverhaltens	22
3.2.1	Prüfgerät	22
3.2.2	Versuchsdurchführung	24
3.3	Untersuchungen zum Frakturverhalten	26
3.3.1	Prüfgerät	26
3.3.2	Versuchsdurchführung	28
3.4	Bestimmung von Instrumentenquerschnitt und der Querschnittsfläche	30
3.5	Statistische Auswertung	34
4	Ergebnisse	35
4.1	Instrumentenquerschnitte und –querschnittsfläche	35
4.1.1	Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen des Instrumentenquerschnitts	35
4.1.2	Instrumentenquerschnittsfläche	36
4.2	Biegeverhalten	37
4.2.1	Auswertung gemäß ISO 3630-1	37
4.3	Frakturverhalten	39
4.3.1	Auswertung gemäß ISO-3630-1	39
4.3.1.1	Verdrehwinkel	40
4.3.1.2	Bruchfestigkeit	43

4.4	Korrelation	47
4.4.1	Pearsons Koeffizient	47
4.4.2	Biegeverhalten und Querschnittsfläche	48
4.4.3	Verdrehwinkel und Querschnittsfläche	52
4.4.4	Bruchfestigkeit und Querschnittsfläche	56
5	Diskussion	60
5.1	Instrumentenquerschnitte und –querschnittsfläche	60
5.1.1	Fehlerdiskussion	60
5.2	Biegeverhalten – Diskussion der Ergebnisse	61
5.2.1	Klinische Relevanz des Biegeverhaltens	63
5.2.2	Fehlerdiskussion	64
5.3	Frakturverhalten – Diskussion der Ergebnisse	67
5.3.1	Verdrehwinkel	67
5.3.2	Bruchfestigkeit	70
5.3.3	Klinische Relevanz des Frakturverhaltens	72
5.4	Sterilisation	73
5.5	Korrelation zwischen Biegemoment, Verdrehwinkel, Bruchfestigkeit und der Instrumentenquerschnittsfläche	74
5.5.1	Biegeverhalten und Querschnittsfläche	74
5.5.2	Verdrehwinkel und Querschnittsfläche	76
5.5.3	Bruchfestigkeit und Querschnittsfläche	77
5.6	Zusammenfassende Bewertung der untersuchten Instrumente	78

6	Zusammenfassung	80
7	Literaturverzeichnis	82
8	Danksagung	89
9	Lebenslauf	90

1 Einleitung

1.1 Endodontologie

Der Begriff Endodontologie steht für die Lehre des Aufbaus, Biologie, Pathologie, Morphologie, Diagnostik und der Therapie der Pulpa und der periapikalen Region eines Zahnes. Die Endodontie ist ein Teilgebiet der Zahnerhaltung. Sie beinhaltet vitalerhaltende Maßnahmen der Zahnpulpa sowie die praktische Durchführung der Wurzelkanalbehandlung und –aufbereitung bei Devitalisation der Pulpa. Das Ziel ist die langfristige Erhaltung des gesamten Zahnes. Ausschlaggebende Kriterien sind dabei die Reinigung und Formgebung der Wurzelkanäle, deren Desinfektion durch chemische Maßnahmen wie Spülungen mit Natriumhypochlorit-Lösungen sowie die Obturation der Wurzelkanallumina.

1.2 Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierung

Nickel-Titan-Legierungen wurden in den 60er Jahren des 20sten Jahrhunderts von einem Ingenieur des Hüttenwesens namens William F. Buehler in einem Forschungslabor der amerikanischen Kriegsmarine in Silver Springs, Maryland entwickelt. Buehler verbrachte viele Jahre mit der Entwicklung sowie der Erforschung dieser Legierung. Diese Ergebnisse führten zu einem vielseitigen Einsatz der Legierung.

In wissenschaftlichen Berichten werden die Nickel-Titan-Legierungen oftmals in ihrer Kurzform NiTiInol oder NiTi benannt. Diese setzt sich aus den chemischen Elementen der Legierung und dem Kürzel des Forschungslabors wie nachstehend zusammen (8, 9):

Ni	Nickel
Ti	Titan
N	Naval
O	Ordnance
L	Laboratory

In den letzten Jahren wurden die Nickel-Titan-Legierungen erfolgreich bei der Herstellung von endodontischen Instrumenten verwendet (1, 2). Diese Legierung besteht aus 55 Gew% Nickel und 45 Gew% Titan (1, 2). Um bestimmte Eigenschaften der Legierung zu verbessern, können dieser feinste Spuren anderer Elemente wie zum Beispiel Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Eisen (Fe), Stickstoff (N) und Wasserstoff (H) hinzugefügt werden (10).

Aufgrund ihrer signifikant erhöhten Flexibilität gegenüber Edelstahl-Instrumenten sind NiTi-Instrumente besonders gut zur Aufbereitung von gekrümmten Wurzelkanälen geeignet (1, 2, 3). Zmener und Balbachan verglichen in ihrem Artikel im Jahr 1995 herkömmliche K-Feilen mit NiTinol-Feilen. Sie berichteten, dass die NiTinol-Feilen einen zentrierteren Verlauf im originären Kanal nehmen und kamen zu dem Schluss, dass diese besonders für die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle geeignet waren (11). Ebenfalls 1995 untersuchten Esposito und Cummingham Nitinol- und Edelstahlinstrumente. In dieser Untersuchung kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass Instrumente aus Nickel-Titan-Legierungen signifikant besser die Wurzelkanalgeometrie beibehielten als konventionelle Edelstahlinstrumente. Zudem behielten diese den Kanalverlauf auch bei gekrümmten Wurzelkanälen bei und der apikale Wurzelkanalabschnitt konnte deutlich besser bearbeitet werden (12).

Es zeigte sich, dass NiTi-Instrumente etwa die dreifache Flexibilität im Biege- und Torsionsverhalten aufwiesen als herkömmliche Edelstahl-Instrumente (3, 4, 5). Nitinol-Legierungen besitzen ein superelastisches Verhalten. Dies bedeutet, dass NiTi-Instrumente sich nach Belastung in ihre ursprüngliche Form zurückstellen können (1, 2).

Die Herstellung von Nickel-Titan-Feilen ist komplexer als die von Edelstahl-Instrumenten. Die Feilen bzw. die Rohlinge werden gefräst und können aufgrund der Superelastizität nicht gegen den Uhrzeigersinn verdrillt werden (1, 2). Es ist bekannt, dass sich das Fräsen von Legierungen auf Nickelbasis als sehr schwierig darstellt, da ein erheblicher Verschleiß des Schleifkörpers innerhalb kürzester Zeit auftreten kann (1). Dies führt zu strukturellen Defekten, insbesondere an den Schneidekanten der Nickel-Titan-Instrumente, sodass dadurch die Schneidfreudigkeit der Instrumente beeinflusst werden kann (1, 2, 6). Auf der anderen Seite können Metallgrate und Oberflächendefekte dazu beitragen, dass Nickel-Titan-Instrumente korrodieren (7).

Einen weiteren negativen Effekt auf die Oberfläche von Nickel-Titan-Legierungen kann die Sterilisation ausüben. Die im Sterilisator bzw. im Autoklaven verwendeten Chemikalien können die Oberflächenstruktur der Instrumente und damit auch die Schneidfreudigkeit negativ beeinflussen (31). Spüllösungen, die bei der endodontischen Behandlung eingesetzt werden, können ebenfalls negative Auswirkungen auf die Oberfläche haben. Natriumhypochlorit (NaOCl) begünstigt erheblich die Korrosion und verringert die Bruchfestigkeit von Nickel-Titan-Instrumenten. Peters et al. (36) führten 2007 eine Studie durch, in der 160 Nickel-Titan Instrumente für maximal zwei Stunden in NaOCl eingetaucht wurden. Anschließend frakturierten während der Untersuchungen 28 Nickel-Titan Instrumente spontan (36). Sonntag und Peters (42) untersuchten 2007 ebenfalls rotierende Nickel-Titan-Instrumente und ihre Oberflächenstruktur. Dabei zeigte sich, dass bei 27,8% der untersuchten Instrumente nach einem 24-stündigen Tauchbad in 3% Natriumhypochlorit eine Korrosion an der Oberfläche aufwiesen.

1.3 Aufbereitung von Wurzelkanälen

1.3.1 Grundlagen

Der wichtigste Teil in der endodontischen Therapie ist die umfassende Aufbereitung des Wurzelkanals. Ihr kommt die Hauptaufgabe in Bezug auf den langfristigen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung zu (13). Krekes und Trondstad konnten in ihrer Studie aus dem Jahr 1979 sogar eine durchschnittliche Erfolgsrate von 91% darstellen (14). Die mechanische Aufbereitung beinhaltet die Erweiterung des Kanallumens und die Formgebung des Wurzelkanals, um hervorragende Bedingungen für die abschließende Kanalfüllung zu schaffen. Die chemische Aufbereitung wird ergänzend zur instrumentellen-maschinellen Aufbereitung angewandt und ist durch den Gebrauch spezifischer Spüllösungen charakterisiert (15).

Durch die Kombination der chemischen und mechanischen Aufbereitung sollen grundsätzlich nachfolgende Ziele umgesetzt werden (15):

- vollständige Entfernung von vitalem und nekrotischem Pulpagewebe
- mechanische Entfernung von Mikroorganismen aus Wurzelkanal und der –wand
- Erhöhung der desinfizierenden Wirkung von Spüllösungen durch Vergrößerung des Kanallumens
- Formgebung des Wurzelkanals zur Ermöglichung der vollständigen Obturation des Wurzelkanalsystems

1.3.2 Aufbereitungstechniken

Bei der Wurzelkanalaufbereitung werden heute vorwiegend maschinell-rotierende Systeme aus Nickel-Titan verwendet. Diese haben weitestgehend die konventionellen Stahlfeilen abgelöst. Diese Instrumente werden v. a. in der

Crown-Down- und neuerdings auch in der Single-Length-Technik eingesetzt (17).

1.3.2.1 Crown-Down-Technik

Das Ziel dieser Technik ist es, einen weitgehend ungehinderten Zugang der Wurzelkanalinstrumente für die apikale Präparation zu schaffen. Bei diesem Aufbereitungskonzept erfolgt eine schrittweise Erweiterung des Kanals von koronal nach apikal. Durch die Entfernung aller Überhänge und Einengungen am Kanaleingang ist das Einführen der darauffolgenden Wurzelkanalinstrumente durch die deutliche Reduktion des Wandkontakts erheblich erleichtert. Anschließend wird der Kanal mit Wurzelkanalinstrumenten absteigender ISO-Größe oder absteigender Konizität (Abb. 1) bis zum Erreichen der festgelegten Arbeitslänge konisch aufbereitet (17, 18, 19, 20).

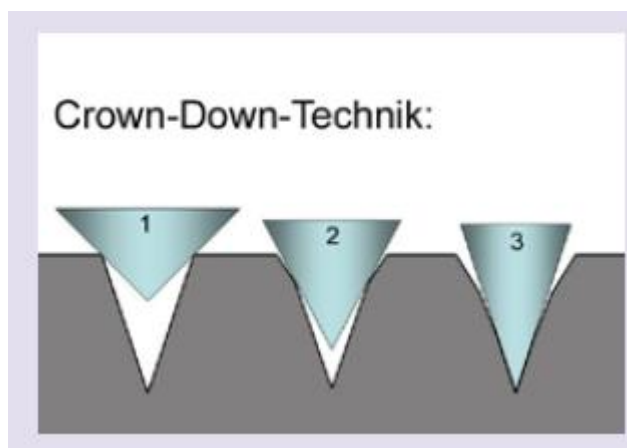


Abb. 1: Crown-Down-Technik: Durch die geringer werdende Konizität (Feilen 1-3) der Feilen einer Sequenz wird die Kontaktfläche der Feile zur Kanalwand gering gehalten.

1.3.2.2 Single-Length-Technik

Dieses Aufbereitungskonzept ist eine Modifikation der „standardisierten Aufbereitungstechnik“, die 1961 erstmalig von Ingle in der Literatur beschrieben wurde (21). Wesentliches Merkmal dieser apexnahen Aufbereitung ist das sofortige Vordringen der Instrumente bis zur vollständigen Arbeitslänge.

Bei der Single-Length-Technik wird der Kanal bereits mit dem ersten Instrument in seiner gesamten Länge instrumentiert und anschließend mit Instrumenten aufsteigender ISO-Größen stets auf Arbeitslänge aufbereitet (17, 21).

Aktuell wird diskutiert, dass bei dieser Aufbereitungstechnik möglicherweise die Gefahr der Keimverschleppung von koronal nach apikal und in das periradikuläre Gewebe im Vergleich zur Crown-Down-Technik erhöht sein könnte (17).

1.4 Maschinell-rotierende Wurzelkanalinstrumente

Auf dem dentalen Markt sind zurzeit zwei maschinelle Wurzelkanalaufbereitungssysteme aus Nickel-Titan erhältlich, die nach der Single-Length-Technik arbeiten.

1. Mtwo der Firma VDW (München, Deutschland)
2. EasyShape der Firma Komet/Brasseler (Lemgo, Deutschland)

1.4.1 Mtwo (VDW, München)

Im Jahr 2003 wurde das Mtwo-System auf der Internationalen Dental Schau in Köln vorgestellt. Die Instrumentengeometrie der Feilen ähnelt der einer S- Feile (17). Diese S-förmige Geometrie ermöglicht einen Kern mit einer verkleinerten Querschnittsfläche (Abb. 2). Hierdurch soll das Instrument über eine höhere Flexibilität bei vermindertem Frakturrisiko verfügen. Die Führung der Feile im

Wurzelkanal erfolgt nicht über seitliche Führungsflächen (35), sog. radial lands, sondern über die spitz zulaufenden Schneidekanten. Zudem weisen die Schneidekanten einen positiven Winkel auf (35). Der Schneideabstand erhöht sich progressiv von der Feilenspitze bis zum Schaft. Damit wird zusätzlicher Spanraum für den Dentinabtrag geschaffen. Das Risiko des Verklommens durch Dentinspäne soll damit reduziert werden (22).

Das Mtwo-System besteht aus insgesamt acht Instrumenten. Die Basissequenz besteht aus vier Feilen der Größen 10.04, 15.05, 20.06 und 25.06, hinzu kommen vier weitere Instrumente der Größen 30.05, 35.04, 40.04 sowie 25.07, um einen besseren Zugang für die vertikale Kondensation zu schaffen. Die Instrumente sind mit einem Standard-Arbeitsteil von 16 mm (Abb. 3) und mit einem verlängerten Arbeitsteil von 21 mm erhältlich. Zudem sind überlange Instrumente mit 31 mm (Arbeitsteil, Schaft) lieferbar.

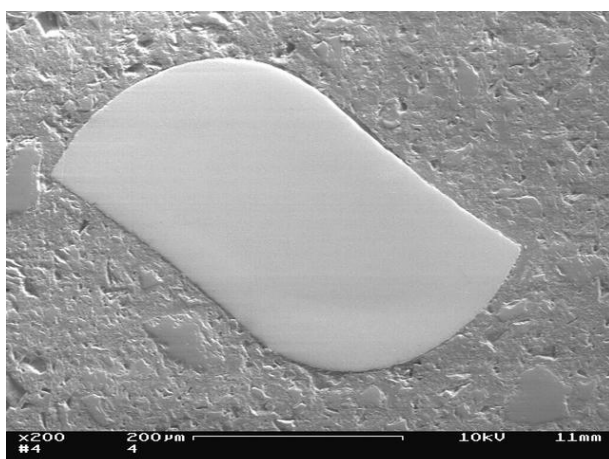


Abb. 2: REM-Aufnahme des Instrumentenquerschnitts Mtwo 25.06.



Abb. 3: Darstellung der Basissequenz des Mtwo-Systems (Größen 10.04 bis 25.06).

Die Mtwo-Instrumente werden mit bürstenden Bewegungen an der Kanalwand („brushing action“) eingesetzt (17).

Im Jahr 2006 untersuchten Schäfer et al. (37) die Eigenschaften von Mtwo-Instrumenten in Kunststoffharzblöcken mit unterschiedlichen Krümmungsradien (28°, 35°). Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass keine der Mtwo-Feilen frakturierte, und die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Mtwo-Instrumente die gekrümmten Kanäle schneller als die K3- (Sybron Endo, West Collins Orange, USA) und RaCe-Instrumente (FKG, La Chaux-de-Fonds, Schweiz) aufbereiteten. Zudem konnte die originäre Krümmung des Kanals gut beibehalten werden. In einer folgenden Studie von Schäfer et al. (38) an extrahierten menschlichen Molaren konnten die Ergebnisse aus der vorangegangenen Studie (37) bestätigt werden. Zudem zeigten Mtwo-Instrumente eine signifikant bessere Reinigungsfähigkeit gegenüber K3- und RaCe-

Instrumenten. Veltri et al. (40) hatten schon 2005 festgestellt, dass das Mtwo-System das Dentin gleichmäßiger abtrug und die Kanalform symmetrisch beibehielt.

Grande et al. (39) stellten 2006 in einer Untersuchung fest, dass der Krümmungsradius eine signifikante Rolle bezüglich des Ermüdungswiderstandes darstellt. Weiter zeigte sich, dass mit größer werdendem Instrumentenquerschnitt die Ermüdungsresistenz abnahm und das Instrument schneller frakturierte. Plotino et al. (41) untersuchten in ihrer Studie neue und gebrauchte Mtwo-Instrumente. Es zeigte sich deutlich, dass der Ermüdungswiderstand der gebrauchten Instrumente gegenüber den neuen Mtwo-Instrumenten reduziert war.

1.4.2 EasyShape (Komet, Lemgo)

In der Literatur liegen derzeit keine unabhängige Studien zum EasyShape-System vor. Insofern beziehen sich die nachfolgenden Informationen auf Produktbeschreibungen des Herstellers.

Im Jahr 2009 wurde dieses Feilen-System erstmalig vorgestellt. Die Instrumente besitzen einen S-förmigen Querschnitt (Abb. 4). Zwei Schneidwinkel sollen für eine hohe Schneidfreudigkeit mit dem gesamten Arbeitsteil sorgen. Die Instrumentenspitze ist nicht schneidend gestaltet. Dieses Schneidendesign soll eine stufenlose Vorgehensweise ermöglichen. Jede Feile bereitet den Gleitpfad für die nächste vor.

Das EasyShape-System besteht aus insgesamt sechs Instrumenten. Die Sequenz setzt sich aus Feilen der Größen 15.05, 20.05, 25.06, 30.05, 35.04, 40.04 zusammen. Als initiales Instrument steht dem EasyShape-System ein AlphaKite-Instrument (AK) der Größe 30.10 zur Verfügung, um hiermit den Kanaleingangsbereich zu erweitern. Die Instrumente sind mit einem Standard-Arbeitsteil von 16 mm und einer Gesamtlänge von 25 mm erhältlich (Abb. 5).

Der Einsatz erfolgt in tuffender, pickender Arbeitsweise („picking motion“). Dieses soll ein Verkeilen, Verklemmen der Instrumente verhindern. Damit die

Schneidfähigkeit der Instrumente möglichst lange erhalten bleibt, sind die Feilen mit einer speziellen Titannitrid-Oberfläche (TiN) beschichtet (23).

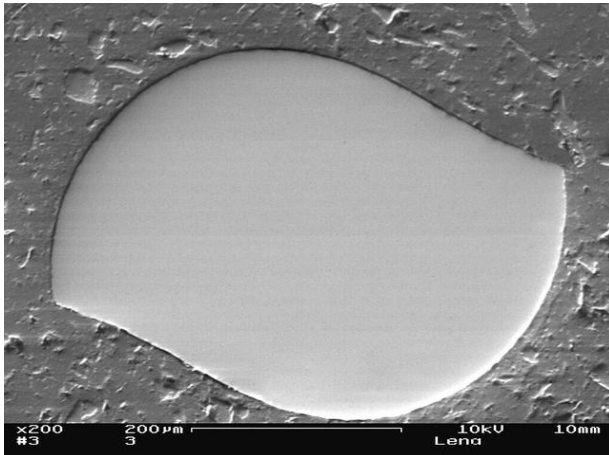


Abb. 4: REM-Aufnahme, EasyShape 25.06

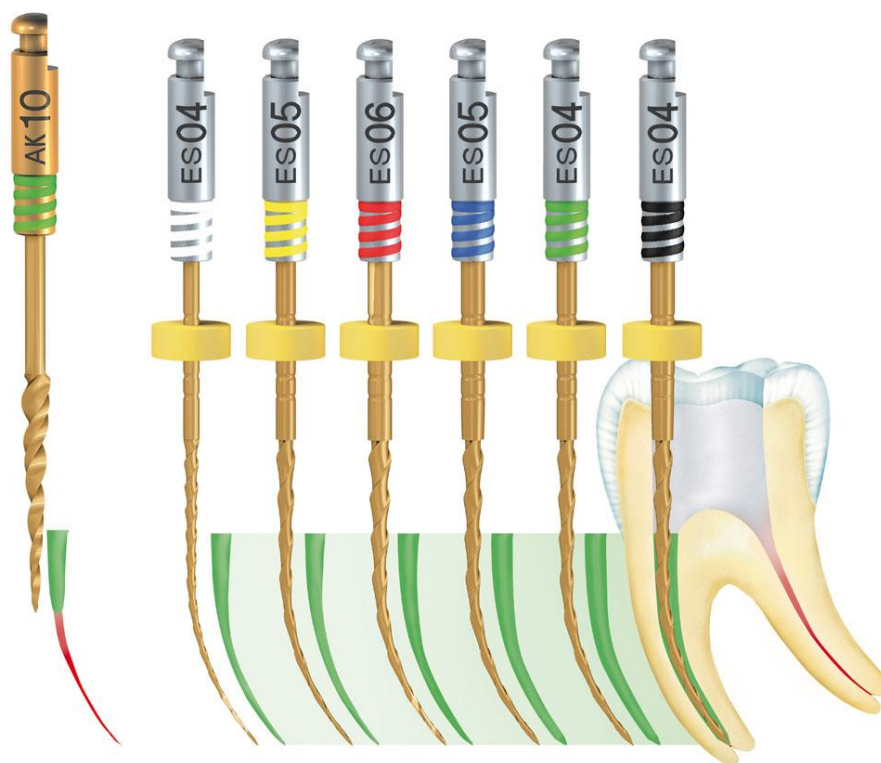


Abb. 5: Darstellung des EasyShape-Systems.

1.5 Titannitrid-Oberfläche

Beim Titannitrid handelt es sich um einen biokompatiblen Hartstoff, der zur Herstellung verschleißfester Oberflächen bei medizinischen Instrumenten eingesetzt wird (26).

Aus diesem Grund wurden einige Techniken angewandt, um die Oberflächenhärte und Korrosionsbeständigkeit von Nickel-Titan-Instrumenten zu erhöhen (27, 28, 29). Durch Ionenimplantation von Stickstoffionen wurden die Oberflächenhärte, Schneidleistung und Verleißfestigkeit von NiTi-Instrumenten erfolgreich verbessert. Diese Ionen bilden eine Titannitrid-Hartbeschichtung (TiN) (Tab. 1) auf der Oberfläche der Instrumente (28, 29). Neuerdings hat sich gezeigt, dass die physikalische Dampfablagerungs (PVD)-Lichtbogen-Metallbedampfungstechnik ebenfalls geeignet ist, um die

Schneidleistung von Nickel-Titan-Instrumenten erheblich zu verbessern (30). Die Abkürzung PVD bedeutet „physical vapour deposition“. Dieses Verfahren beschreibt alle Vorgänge der physikalischen Abscheidung dünner Schichten über einer Dampfphase. Dabei wird das Ausgangsmaterial über die physikalischen Vorgänge des Verdampfens mit einem Lichtbogen oder einer Kathodenzerstäubung im Hochvakuum in die Dampfphase überführt und anschließend auf einem Substrat (z. B. Nickel-Titan-Instrument) wieder niedergeschlagen. Die Beschichtungstemperatur liegt dabei im Temperaturbereich bis ca. 200 °C.

Ende der 1980er Jahre (32) wurde die PVD-Technik erstmals zur Herstellung u. a. einer Titannitrid-Oberfläche eingesetzt (33). Dabei wird eine Schicht von ca. 1,5µm Dicke aufgetragen, die eine Härte von 2200 bis 2600 HV aufweist (26). Im Vergleich dazu besitzen unbeschichtete Nickel-Titan-Instrumente eine Härte zwischen 296 HV bis 347 HV und Edelstahlfeilen eine Härte zwischen 403 HV und 651 HV (34).

Element (%)					
Ti	N	C	H	Fe	O
76,81	22,62	0,1	0,0125	0,2	0,25

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung von Titannitrid (TiN)-Oberflächen.

1.6 Anforderungen an Wurzelkanalinstrumente gemäß ISO-Norm 3630-1

1.6.1 Biegeverhalten

Bei der Überprüfung des Biegeverhaltens nach der ISO-Norm 3630-1 (24) werden die Instrumente an ihrer Spitze über eine Länge von 3 mm in einer Spannvorrichtung fixiert und bis zu einem Winkel von 45° gebogen. Das im Verlauf der Prüfung gemessene Drehmoment, welches in der ISO-Norm 3630-1

als Biegemoment beschrieben ist, wird von der Vorrichtung abgelesen. In der Norm sind Maximalwerte für das Biegemoment bei einem Biegewinkel von 45° definiert. Diese dürfen von den jeweiligen Instrumenten nicht überschritten werden.

Für rotierende Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumente mit Konizitäten größer als 2% sind in der ISO-Norm 3630-1 keine Maximalanforderungen hinsichtlich des Biegeverhaltens dargestellt. In der folgenden Tabelle 2 sind Maximalwerte für ISO-genormte Instrumente angegeben, um einen Vergleich zu den ermittelten Ergebnissen der rotierenden, nicht ISO-genormten NiTi-Instrumenten zu ermöglichen.

Größe	Biegemoment [Ncm]		
	2%	Reamer	K-Feile
10	0,25	0,25	0,2
15	0,5	0,5	0,35
20	0,8	0,8	0,65
25	1,2	1,2	1,0
30	1,5	1,5	1,35
35	2,2	1,9	1,7
40	3,2	2,5	2,2
45	3,75	3,6	3,2
50	4,1	4,5	5,2

Tab.2: Maximalwerte für das Biegemoment von Wurzelkanalinstrumenten nach der ISO-Norm 3630-1. Bei der Prüfung der Instrumente wird das Biegemoment bei der Biegung von 45° bestimmt. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Instrumentendurchmesser sind grau unterlegt.

1.6.2 Frakturverhalten

Bei der Überprüfung des Frakturverhaltens nach der ISO-Norm 3630-1 (24) werden Wurzelkanalinstrumente an der Spitze über eine Länge von 3 mm sowie am Schaft in eine Spannvorrichtung eingebracht. Die Instrumente werden bis zur Fraktur verdreht. In der ISO-Norm 3630-1 sind Mindestanforderungen für zwei Messgrößen festgelegt:

- Verdrehwinkel (Torsion)
- Bruchfestigkeit (Torsionsmoment)

1.6.2.1 Verdrehwinkel

Als Verdrehwinkel ist der Torsionswinkel definiert, bei dem die Instrumentenfraktur eintritt. Die Mindestanforderungen hinsichtlich des Verdrehwinkels sind im wesentlichen vom jeweiligen Instrumententyp abhängig und in der ISO-Norm 3630-1 nur für ISO-genormte Wurzelkanalinstrumente angegeben.

Für rotierende Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumente mit Konizitäten größer als 2% sind in der ISO-Norm 3630-1 keine Mindestanforderungen hinsichtlich des Verdrehwinkels festgelegt. In der folgenden Tabelle 3 sind Minimalwerte für ISO-genormte Instrumente angegeben, um einen Vergleich zu den ermittelten Ergebnissen der rotierenden, nicht ISO-genormten NiTi-Instrumenten zu ermöglichen.

Größe	minimaler Verdrehwinkel [°]		
	2%	Reamer	K-Feile
10	360	360	180
15	360	360	180
20	360	360	180
25	360	360	180
30	360	360	180
35	360	360	180
40	360	360	120
45	360	360	120
50	360	360	120

Tab. 3: Die Mindestanforderungen nach der ISO-Norm 3630-1 bezüglich des Verdrehwinkels für ISO-genormte Wurzelkanalinstrumente. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Instrumentendurchmesser sind grau dargestellt.

1.6.2.2 Bruchfestigkeit

Die Bruchfestigkeit der Instrumente wird durch das im Verlauf der Torsionsprüfung maximal erreichte Drehmoment beschrieben. Die Mindestanforderungen hinsichtlich der Bruchfestigkeit sind sowohl von dem Instrumententyp als auch von der Instrumentengröße abhängig.

Für rotierende Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumente mit Konizitäten größer als 2% sind in der ISO-Norm 3630-1 keine Mindestanforderungen hinsichtlich der Bruchfestigkeit dargestellt. In der folgenden Tabelle 4 sind Minimalwerte für ISO-genormte Instrumente angegeben, um einen Vergleich zu den ermittelten Ergebnissen der rotierenden, nicht ISO-genormten NiTi-Instrumenten zu ermöglichen.

Größe	minimale Bruchfestigkeit [Ncm]		
	Reamer	K-Feile	Hedströmfeile
2%			
10	0,06	0,06	0,05
15	0,08	0,08	0,08
20	0,12	0,18	0,12
25	0,2	0,3	0,2
30	0,35	0,45	0,35
35	0,5	0,65	0,5
40	0,7	1,0	0,65
45	0,95	1,2	0,9
50	1,2	1,6	1,2

Tab. 4: Die Mindestanforderungen nach der ISO-Norm 3630-1 bezüglich der Bruchfestigkeit für ISO-genormte Wurzelkanalinstrumente. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Instrumentendurchmesser sind grau dargestellt.

2 Problemstellung

Wie zuvor dargelegt, liegen im Gegensatz zum Mtwo-System für das ebenfalls nach der Single-Length-Technik einzusetzende System EasyShape bislang keine unabhängigen Untersuchungen vor. Daher sollte in der vorliegenden Arbeit das Biege- und Frakturverhalten von Mtwo- und EasyShape-Instrumenten in Abhängigkeit von der jeweiligen Querschnittsfläche untersucht und miteinander verglichen werden. Zudem wurden als dritte Gruppe unbeschichtete EasyShape-Instrumente mit in die Untersuchung einbezogen.

Folgende Fragen sollen im Einzelnen erläutert und beantwortet werden:

1. Ist das Biege- und Torsionsverhalten von Mtwo- und EasyShape-Instrumenten abhängig von deren Querschnittsfläche?
2. Inwiefern nimmt die Sterilisation Einfluss auf das Biege- und Frakturverhalten von un- und PVD-beschichteten EasyShape-Instrumenten im Vergleich zu Mtwo-Feilen?

3 Material und Methode

3.1 Wurzelkanalinstrumente für die maschinelle Aufbereitung

In dieser Arbeit wurden das Torsions- und Biegeverhalten von un- und TiN-beschichteten EasyShape-Instrumenten (Komet/Brasseler, Lemgo, Deutschland) und von Mtwo-Feilen (VDW, München, Deutschland) in Abhängigkeit von der Querschnittsfläche untersucht.

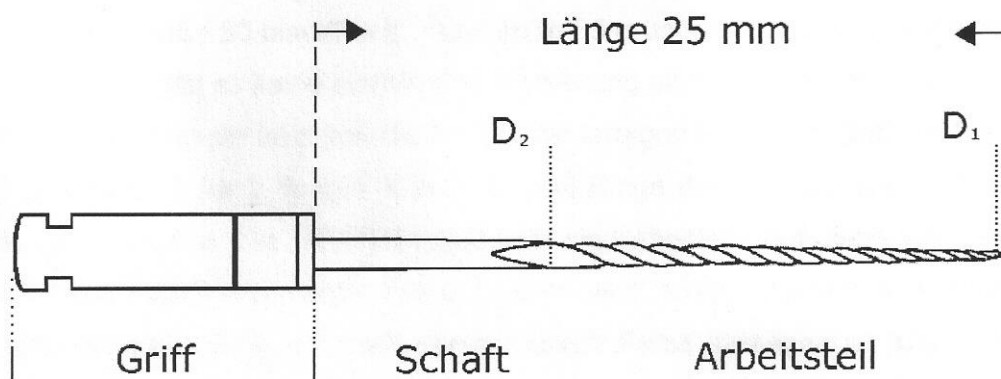


Abb. 6: Instrument zur maschinellen Aufbereitung des Wurzelkanals.

Alle in dieser Arbeit untersuchten Instrumente wurden durch Fräsung eines runden Rohlings aus einer Nickel-Titan-Legierung hergestellt. Die Instrumente bestehen aus einem Griff (Vorrichtung zum Einspannen in ein Winkelstück), Schaft und einem Arbeitsteil (Abb. 6). Der Griff wird auch als Winkelschaftende bezeichnet. Das Arbeitsteil der in dieser Arbeit untersuchten Instrumente war jeweils 16 mm lang. Die Größen dieser Instrumente sind jeweils farblich gekennzeichnet, entweder durch einen farblichen Ring (Mtwo; VDW, Deutschland) oder durch eine farbige Spirale (EasyShape; Komet, Deutschland). Die in dieser Arbeit untersuchten Größen 25 und 35 sind rot

bzw. grün markiert. Die Konizitäten der untersuchten Instrumente sind unterschiedlich dargestellt. Bei den Mtwo-Instrumenten wird die Konizität durch eingeschliffene Ringe am Griff verdeutlicht – ein Ring bei 4% und drei Ringe bei 6%. Bei den EasyShape-Instrumenten ist die Konizität sichtbar am Griff eingelasert (Abb. 7).

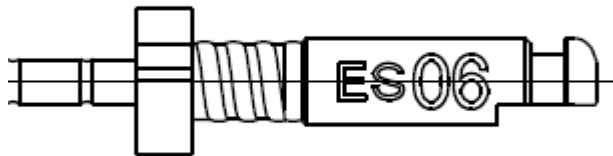


Abb. 7: Die eingelaserte Konizität am Griff des EasyShape-Instruments.

Die untersuchten Instrumente wiesen allesamt eine Länge (Schaft, Arbeitsteil) von 25 mm vor (Abb. 6).

Die Tabelle 5 stellt dar, welche Instrumentengröße und -konizität in dieser Arbeit untersucht wurden.

Instrument	Hersteller	Größe	Konizität
Mtwo	VDW		
LOT 0808310589		25	6%
LOT 0809310591		35	4%
EasyShape	Komet		
unbeschichtet			
LOT 582335		25	6%
LOT 582337		35	4%
EasyShape	Komet		
TiN-beschichtet			
LOT 582335		25	6%
LOT 582337		35	4%

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

Die Instrumente (Tab. 5) wurden jeweils in drei Gruppen mit jeweils 12 Instrumenten eingeteilt. Die erste Gruppe beinhaltete die unaufbereiteten Instrumente nach 0 DRS-Zyklen (Desinfektion, Reinigung und Sterilisation). In der zweiten waren Instrumente nach 5- und in der dritten nach 10 DRS-Zyklen (Tab. 6). Die Reinigung und Desinfektion wurde in einem Thermodesinfektor der Firma Miele Professional G9881 (Gütersloh, Deutschland) mittels Vario TD-Programm und dem Desinfektionsmittel der Firma Komet/Brasseler (Lemgo, Deutschland) DC Therm (30g) durchgeführt. Nach Durchführung der Reinigung und der Desinfektion wurden die jeweiligen Instrumente mittels Luftstroms getrocknet, in MELAfol-Folie (Melag, Berlin, Deutschland) eingeschweißt. Weiter wurden die untersuchten Instrumente im Vacuklav 30-B (Melag, Berlin, Deutschland) bei 2 bar, 134 °C und für 3:30 Minuten bei einer Gesamtbetriebszeit von 30 bis 45 Minuten sterilisiert.

Anschließend wurden die folgenden drei Prüfungen mit jeder Probengruppe durchgeführt (Tab. 6):

1. Untersuchung des Biegeverhaltens
2. Untersuchungen zum Frakturverhalten
3. Bestimmung des Instrumentenquerschnitts und der –fläche

[n]	Biegeverhalten			Frakturverhalten			Querschnittsfläche
25.06	DRS 0	DRS 5	DRS 10	DRS 0	DRS 5	DRS 10	DRS 0
EasyShape unbeschichtet	12	12	12	12	12	12	2
EasyShape TiN-beschichtet	12	12	12	12	12	12	3
Mtwo	12	12	12	12	12	12	3
	36	36	36	36	36	36	8
35.04	DRS 0	DRS 5	DRS 10	DRS 0	DRS 5	DRS 10	DRS 0
EasyShape unbeschichtet	12	12	12	12	12	12	2
EasyShape TiN-beschichtet	12	12	12	12	12	12	3
Mtwo	12	12	12	12	12	12	3
	36	36	36	36	36	36	8
Gesamt	216			216			16

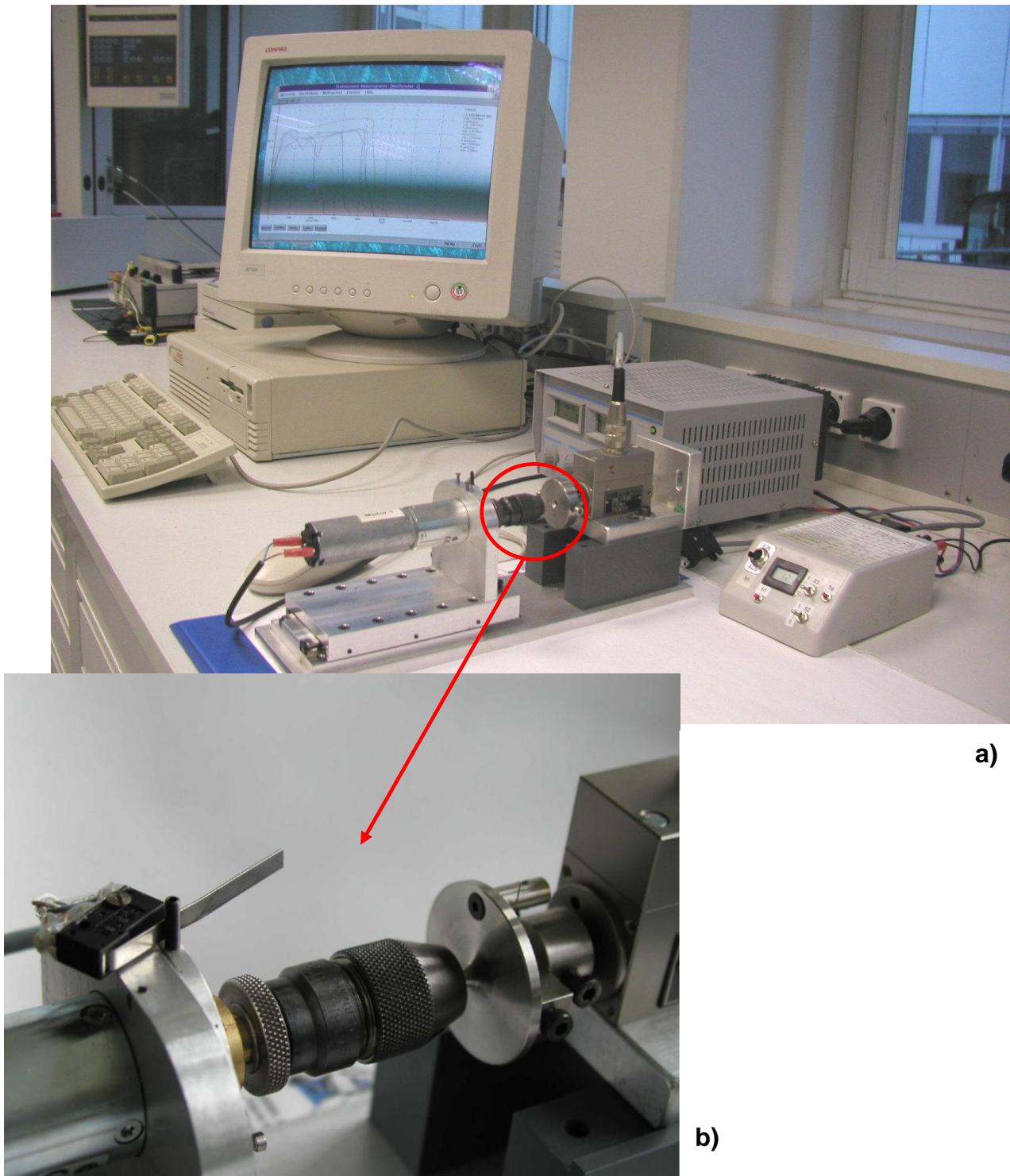
Tab. 6: Übersicht der durchgeführten Prüfungen [n] der jeweils untersuchten Instrumente.

3.2 Untersuchung des Biegeverhaltens

Die Bestimmungen des Biegeverhaltens wurden mit einem Gerät durchgeführt, welches entsprechend der ISO-Norm 3630-1 (24) hergestellt wurde.

3.2.1 Prüfgerät

Das Prüfgerät bzw. der Messwertaufnehmer vom Typ DRL-I-0,05 wurde von der Firma ETH (Hauenstein, Deutschland) hergestellt (Abb. 8). Die Messdaten wurden mit einer Software der Firma Innovative Systeme (Braunschweig, Deutschland) (Version 1.0 – 10/94) aufgenommen und verarbeitet.



a)

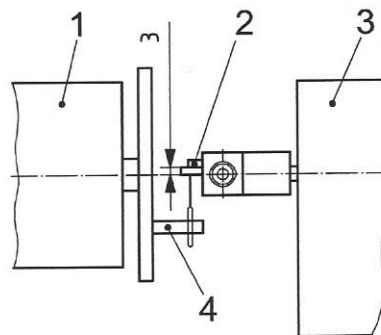
b)

Abb. 8: a) Darstellung des Prüfgerätes der Firma ETH zur Prüfung des Biegeverhaltens. b) Detaillierte Darstellung der Prüfvorrichtung.

3.2.2 Versuchsdurchführung

Die Prüfungen jedes einzelnen Instrumentes wurden analog zu den Vorgaben der ISO-Norm 3630-1 (24) wie folgt durchgeführt.

Die Spitze des Prüflings wurde bis auf eine Tiefe von 3 mm in die Spannbacken des Spannftters senkrecht zur Motorachse eingespannt. Die Spannbacken wurden anschließend festgezogen, so dass das Instrument fest in der Spannvorrichtung saß. An der Motorwelle auf einer Drehscheibe war ein Mitnehmerstift montiert (Abb. 9). Das Messgerät wurde auf einen kugelgeführten Linearschlitten soweit verschoben, bis das Instrument über dem Mitnehmerstift stand. Schrittweise wurde der Motor in die Richtung gedreht, bis der Mitnehmerstift den Prüfling leicht und ohne Spannung berührte. Bevor die Prüfung durchgeführt wurde, wurde die Prüfvorrichtung bei jeder einzelnen Prüfung auf Null kalibriert. Anschließend wurde die Prüfung vollzogen, dabei drehte der Motor die Drehscheibe mit Mitnehmerstift im Uhrzeigersinn bis zu einem Verdrehwinkel von 45°. Das während der Prüfung aufgewendete Drehmoment bzw. Biegemoment wurde in Ncm aufgezeichnet (Abb. 10).



Legende

- 1 Motor für beide Drehrichtungen
- 2 Anschlag
- 3 Drehmomentmessgerät
- 4 Mitnehmerstift

Abb. 9: Schematische Darstellung der Prüfvorrichtung zum Biegeverhalten.

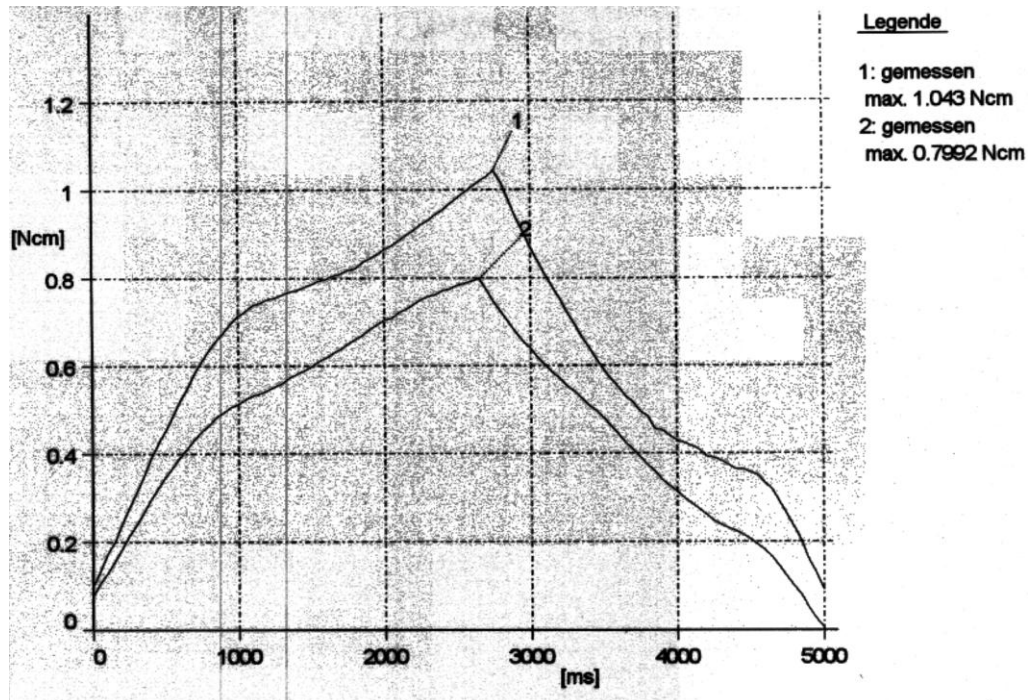


Abb. 10: Zwei aufgezeichnete Kurven zur Bestimmung des Biegemoments [Ncm] (am Beispiel der Instrumente EasyShape 25.06 nach 5 DRS-Zyklen).

Pro Instrumententyp und Sterilisationsverfahren (0 DRS-, 5 DRS- und 10 DRS-Zyklen) wurden $n=12$ Instrumente untersucht. Somit wurden insgesamt 216 Prüfungen durchgeführt.

3.3. Untersuchungen zum Frakturverhalten

Die Überprüfungen zum Frakturverhalten wurden in einem Gerät durchgeführt, welches entsprechend der ISO-Norm 3630-1 (24) konstruiert wurde.

3.3.1 Prüfgerät

Das Prüfgerät bzw. Messwertaufnehmer namens Motor Cap wurde von der Firma Halmec (Schwenningen, Deutschland) hergestellt. Hierbei handelte es sich um den Typ MC5G mit einer maximalen Umdrehung pro Minute von 8,3. Dieses Gerät war mit dem Sensortyp MT-TS 50 Ncm „P“ ausgestattet (Abb. 11). Die ermittelten Messwerte wurden mit der Software CapGraph (Halmec, Schwenningen, Deutschland) verarbeitet und dargestellt.

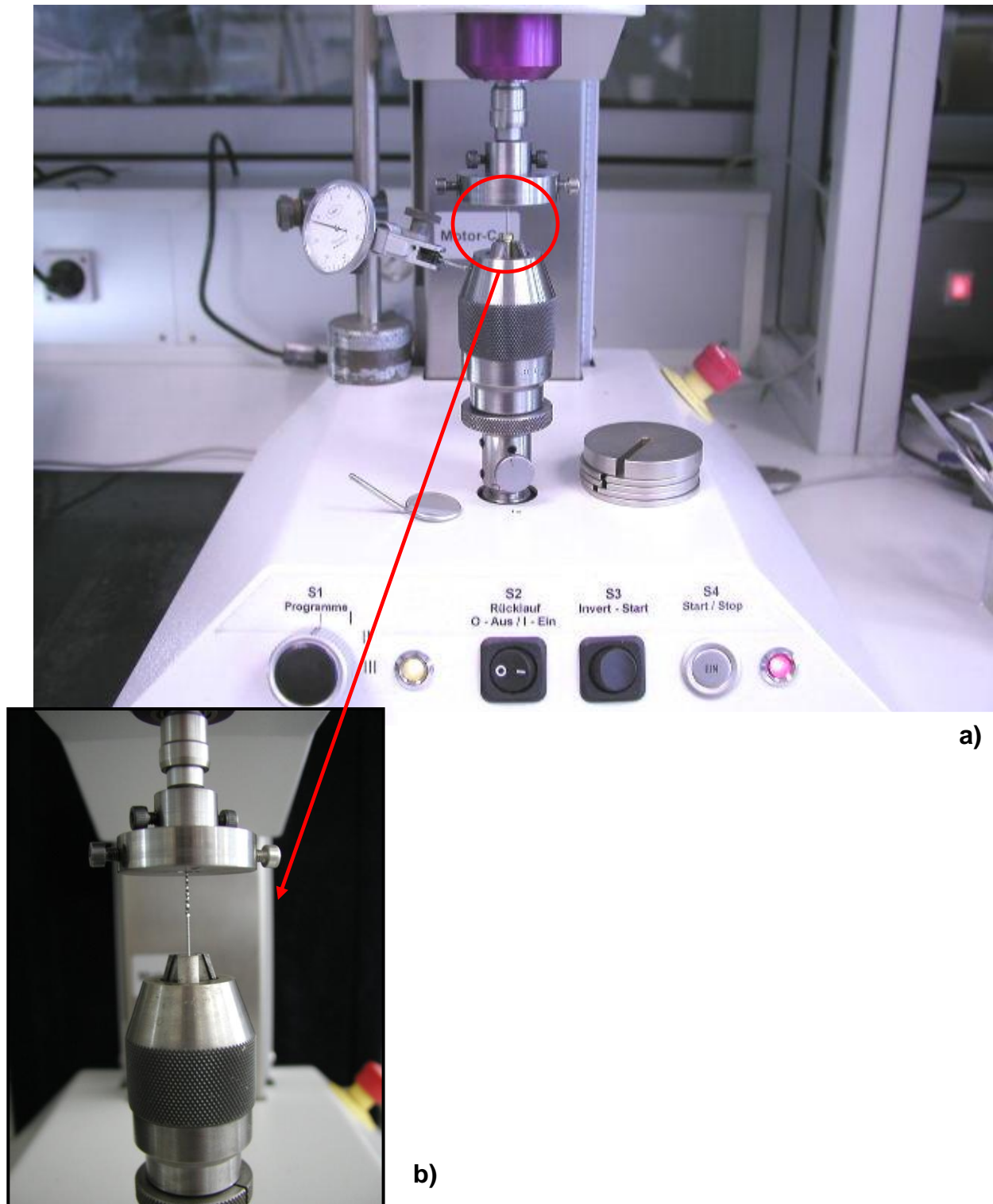


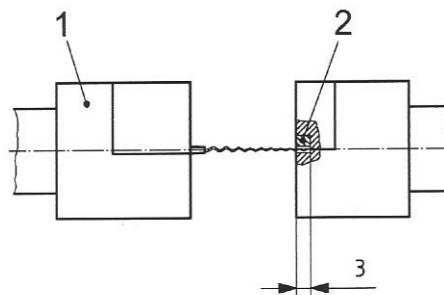
Abb. 11: a) Darstellung des Prüfgerätes der Firma Halmec zur Prüfung des Frakturverhaltens. b) Detaillierte Darstellung der Prüfvorrichtung.

3.3.2 Versuchsdurchführung

Die Prüfungen wurden analog zu den Vorgaben der ISO-Norm 3630-1 (24) wie folgt durchgeführt.

Zu nächst wurde der Messwertaufnehmer auf den Drehmomentbereich des Prüflings kalibriert. Bevor das Instrument in das Spannfutter, welches sich am Motor befand, eingespannt wurde, wurde das Instrument auf sichtbare Beschädigungen kontrolliert. Anschließend wurde der Schaft des Instrumentes maximal 1 mm in das Spannfutter hineingeschoben. Daraufhin wurde der Prüfling fest im Spannfutter fixiert.

Sodann wurde das Messgerät vorsichtig auf dem kugelgelagerten Linearschlitten verschoben, bis die Spitze des Instrumentes 3 mm in die Messingspannbacken hineinragte (Abb. 12). Hierbei musste besonders beachtet werden, dass sich die Spitze gerade und mittig in den Spannbacken befand. Lagen diese Kriterien vor, wurden die Spannbacken festangezogen. Durch den Anzug konnte es vorkommen, dass eine Vorbelastung auf den Prüfling entstand, diese wurde mithilfe des Motors und der EDV-Anzeige auf Null zurückgesetzt. Die Prüfung verlief im Uhrzeigersinn und war beendet, sobald das Instrument brach. Von obengenannter Software wurde das maximale Drehmoment [Ncm] und der Verdrehwinkel [°] aufgezeichnet (Abb. 13).



Legende

- 1 Spannfutter mit Spannbacken aus gehärtetem Stahl
- 2 Spannbacken aus weichem Messing

Abb. 12: Schematische Darstellung der Prüfvorrichtung zum Frakturverhalten.

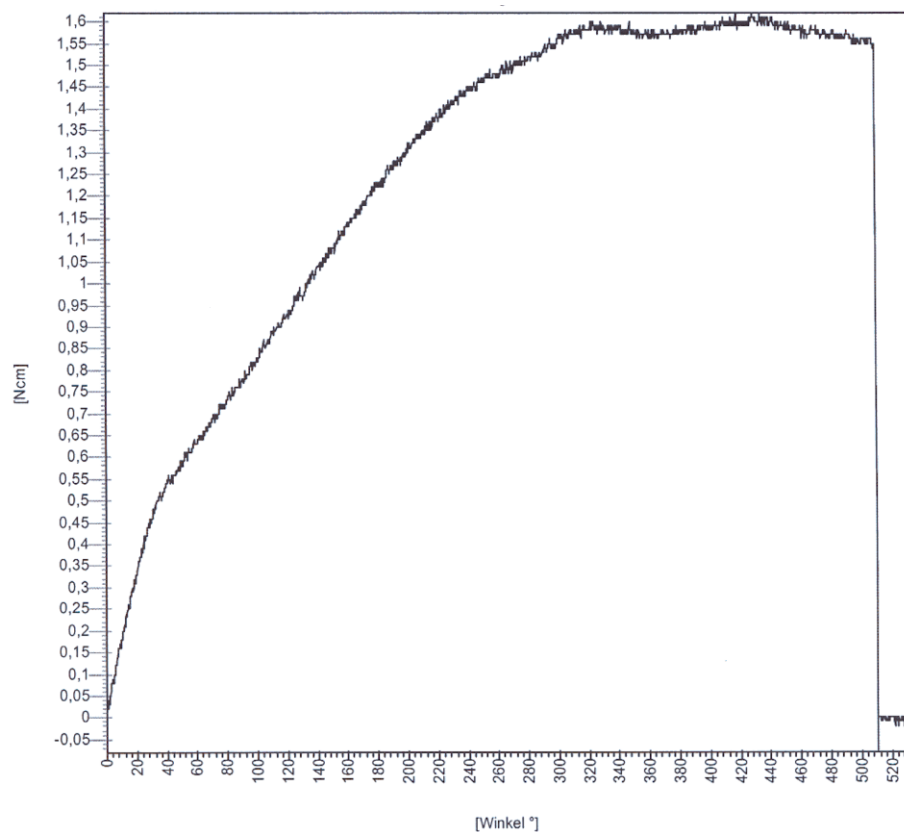


Abb. 13: Aufgezeichnete Kurve zur Bestimmung des Frakturverhaltens [Ncm] (am Beispiel des Instruments EasyShape 35.04 nach 0 DRS-Zyklen).

Pro Instrumententyp und Sterilisationsverfahren (0 DRS-, 5 DRS- und 10 DRS-Zyklen) wurden $n=12$ Instrumente untersucht. Somit wurden insgesamt 216 Prüfungen durchgeführt.

3.4 Bestimmung von Instrumentenquerschnitt und der Querschnittsfläche

Zur Bestimmung des Instrumentendurchmessers und der Querschnittsfläche wurden die Instrumente in einen kaltpolymerisierenden Spezial-Kunststoff (Technovit 4071, Heraeus Kulzer, Wehrheim, Deutschland) eingebettet (Abb. 14).

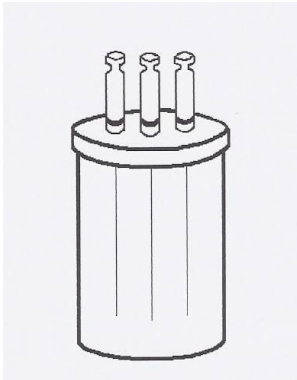
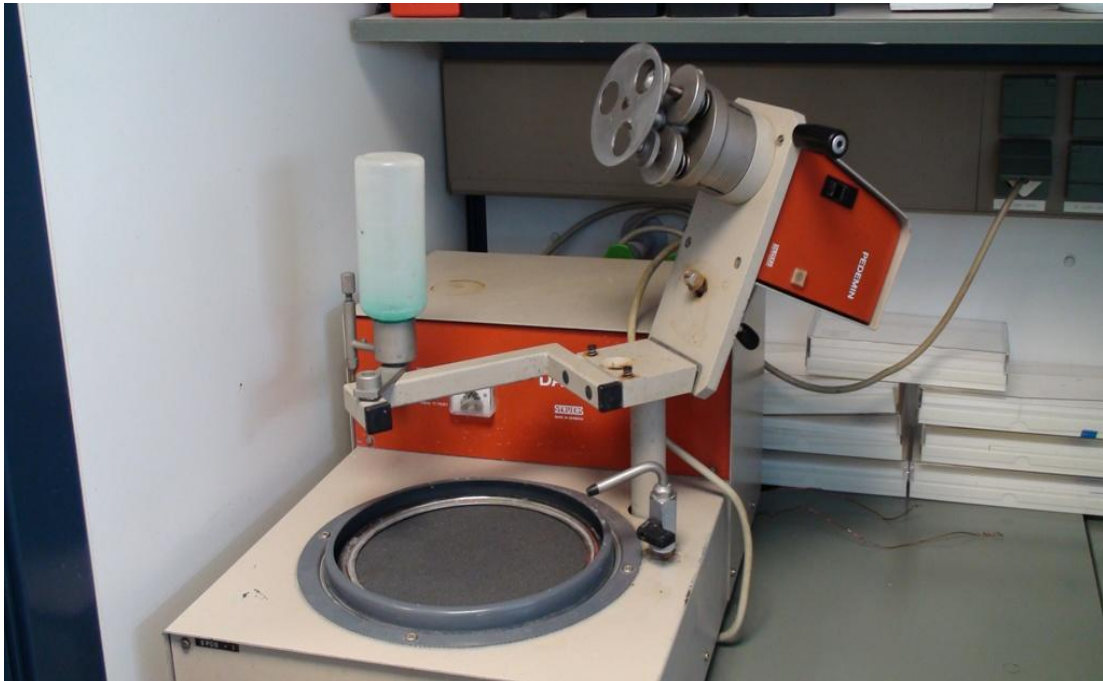


Abb. 14: Eingebettete Instrumente im Spezial-Kunststoff.

Um den Instrumentenquerschnitt möglichst genau bestimmen zu können, wurden jeweils drei TiN-beschichtete EasyShape- und drei Mtwo-Instrumente der Größe 25.06 ausgewählt und zusammen in ein Behältnis eingebettet. Gleichermaßen wurde bei den Instrumenten der Größe 35.06 verfahren. Die Blöcke wurden etwa bei 3 mm von der Instrumentenspitze geteilt und geschnitten. Dabei entstanden zwei Kunststoffscheiben. Anschließend wurden diese beiden Scheiben in den Probenbeweger (Pedemin, Struers, Ballerup, Dänemark) eingespannt und aufgearbeitet (Abb. 15).



a)



b)

Abb. 15: **a)** Darstellung des Probenbewegers Pedemin der Firma Struers. **b)** Detaillierte Darstellung der Schleifvorrichtung mit Schleifscheibe.

Die Oberfläche dieser Scheiben wurde mit Schleifscheiben unterschiedlicher Körnungen (220 μm , 500 μm , 1000 μm) präpariert und bis auf 3 mm von der Instrumentenspitze geschliffen. Daraufhin wurde die Oberfläche mit einer Diamanten-Suspension (6 μm , 1 μm) poliert (Abb. 16).

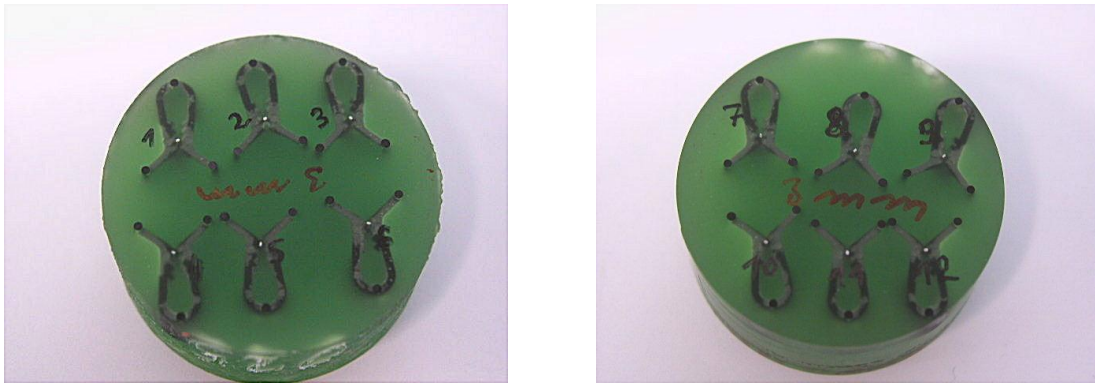


Abb. 16: Aufgearbeitete Kunststoffscheiben.

Zur Bestimmung der Querschnittsflächen der einzelnen Instrumente wurden die beiden Kunststoffscheiben unter ein Lichtmikroskop (Leica MZ12, Bensheim, Deutschland) gelegt. Von jedem einzelnen Instrument wurde eine Aufnahme in 10-facher Vergrößerung angefertigt, sodass insgesamt 12 Aufnahmen zur Verfügung standen.

Mithilfe einer integrierten Messfunktion im Programm analySIS (Olympus, Münster, Deutschland) wurden die Aufnahmen ausgewertet. Dabei wurden die Ränder der polierten Instrumentenquerschnitte zirkulär digital abgefahren bis der gesamte Instrumentenumfang markiert war (Abb. 17). Anschließend wurden die Flächenwerte berechnet und dargestellt.

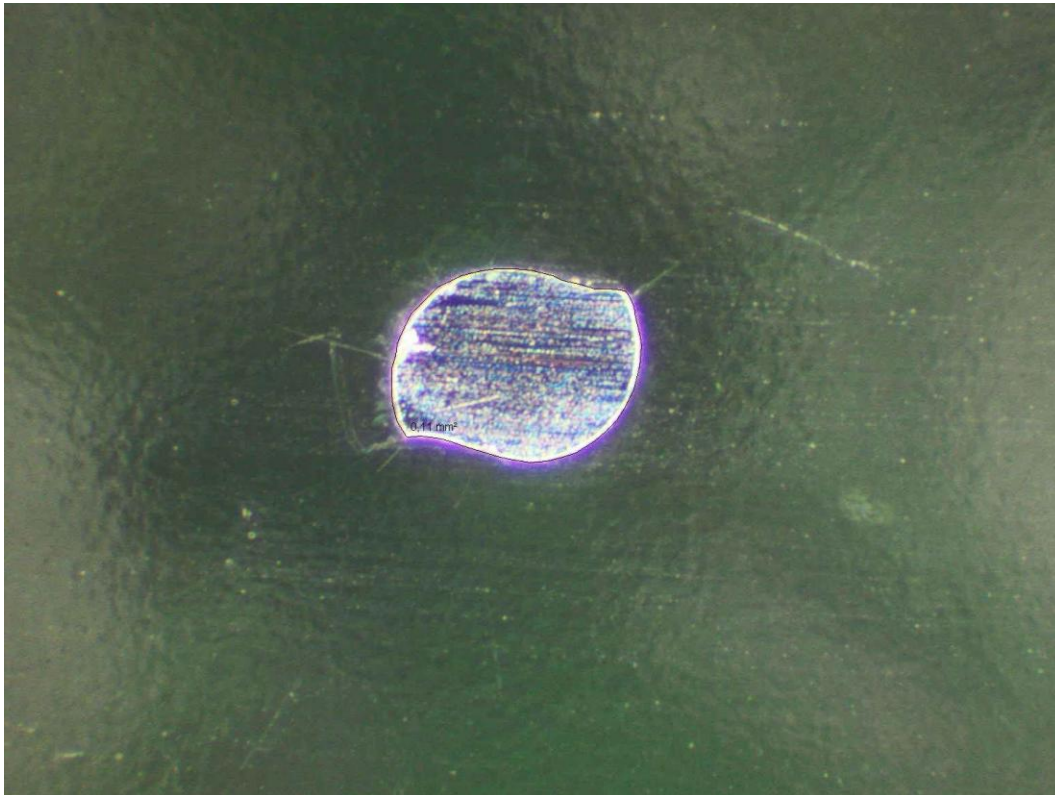


Abb. 17: Lichtmikroskopische Aufnahme eines untersuchten Instrumentes. Der Instrumentenumfang ist rot markiert.

Analog wurde mit jeweils zwei unbeschichteten EasyShape-Instrumenten der Größe 25.06 und 35.04 verfahren und der Instrumentenquerschnitt bestimmt.

3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der experimentell ermittelten Daten erfolgte mit Hilfe einer handelsüblichen Statistiksoftware (MedCalc 5.0, MedCalc Software Mariakerke, Belgien).

Die Ergebnisse zum Fraktur- und Biegeverhalten wurden mittels einfacher Varianzanalyse (ANOVA) und post-hoc Student-Newman-Keuls-Test für Mehrfachvergleiche statistisch analysiert. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Zur Prüfung der Korrelationen zwischen der Querschnittsfläche der Instrumente und dem Biegemoment, dem Verdrehwinkel und der Bruchfestigkeit wurde der Pearsons Koeffizient r berechnet.

4 Ergebnisse

4.1 Instrumentenquerschnitte und –querschnittsfläche

4.1.1 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen des Instrumentenquerschnitts

Bei der Begutachtung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen der zwei Instrumententypen (EasyShape, Mtwo) zeigten sich zwei ähnliche Instrumentenquerschnitte (Abb 18a-d).

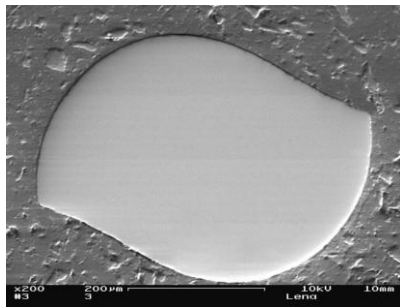


Abb. 18a: EasyShape 25.06

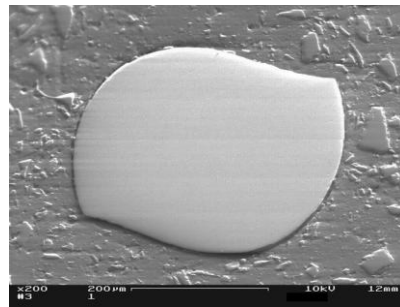


Abb. 18b: EasyShape 35.04

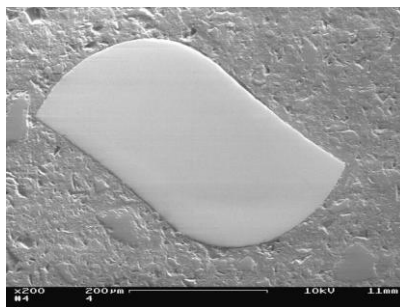


Abb 18c: Mtwo 25.06

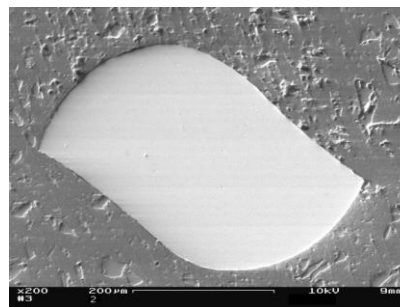


Abb 18d: Mtwo 35.04

Abb. 18a-d: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der untersuchten Nickel-Titan-Instrumente bei 200-facher Vergrößerung (die unbeschichteten EasyShape-Instrumente sind nicht berücksichtigt).

Sowohl die Mtwo- als auch die EasyShape-Instrumente weisen einen S-förmigen Querschnitt auf. Die Querschnitte der Mtwo-Instrumente sind zierlich-länglicher gestaltet, wohingegen die Querschnitte der EasyShape-Instrumente massiv-runder erscheinen.

4.1.2 Instrumentenquerschnittsfläche

In der Tabelle 7 sind die Querschnittsflächen jeweils in Quadratmillimeter [mm²] angegeben.

Im Vergleich der unbeschichteten und TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente konnte zwischen den ermittelten Querschnittsflächen kein bedeutsamer Unterschied festgestellt werden. Deshalb wurden für die weiteren Untersuchungen die Querschnittsflächen der auf dem Dentalmarkt befindlichen TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente verwendet.

[mm ²]	25.06	35.04
EasyShape TiN-beschichtet	0,125	0,131
Mtwo	0,080	0,108

Tab. 7: Querschnittsfläche in Quadratmillimeter [mm²] der untersuchten Wurzelkanalinstrumente EasyShape und Mtwo.

4.2 Biegeverhalten

4.2.1 Auswertung gemäß ISO-Norm 3630-1

In der ISO-Norm 3630-1 sind für rotierende Nickel-Titan-Instrumente mit einer Konizität größer als 2% keine Mindestanforderungen hinsichtlich des Biegeverhaltens definiert. Vergleicht man allerdings die Ergebnisse aus dieser Arbeit mit den Mindestanforderungen gemäß ISO-Norm 3630-1 für Instrumente mit einer Konizität von 2%, so kann man feststellen, dass alle untersuchten Instrumente (Tab. 8) diese Anforderungen ohne Ausnahme erfüllten.

[Ncm] (n=12)	25.06			35.04		
	DRS 0	DRS 5	DRS 10	DRS 0	DRS 5	DRS 10
EasyShape unbeschichtet	0,878 ^b ± 0,084	0,849 ^b ± 0,053	0,851 ^b ± 0,082	0,853 ^b ± 0,087	0,832 ^b ± 0,067	0,832 ^b ± 0,051
EasyShape TiN-beschichtet	0,918 ^b ± 0,087	0,875 ^b ± 0,128	0,929 ^c ± 0,113	0,873 ^b ± 0,086	0,959 ^c ± 0,075	0,905 ^c ± 0,052
Mtwo	0,410 ^a ± 0,079	0,422 ^a ± 0,037	0,435 ^a ± 0,044	0,572 ^a ± 0,053	0,584 ^a ± 0,055	0,568 ^a ± 0,058
p-Wert	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

DRS-Zyklen ohne signifikanten Einfluss ($p > 0,05$)

Tab. 8: Biegemomente [Ncm] der untersuchten Nickel-Titan-Instrumente: Angegeben sind jeweils die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedlich hochgestellte Buchstaben kennzeichnen in den vertikalen Spalten signifikante Unterschiede ($p < 0,001$).

Die Instrumente waren in drei Gruppen aufgeteilt, nicht aufbereitet, nach 5 und nach 10 Aufbereitungszyklen (DRS-Zyklen; Desinfektion, Reinigung und Sterilisation).

- DRS 0

Sowohl bei den Instrumenten der Größe 25.06 als auch bei der Größe 35.04 zeigten die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente die größten Biegemomente (0,918 Ncm, 0,873 Ncm). Die signifikant geringsten Biegemomente wiesen für beide Gruppen die Mtwo-Feilen auf ($p < 0,001$).

- DRS 5

Hier zeigten ebenfalls die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente die größten Biegemomente, wobei diese für die Größe 35.04 signifikant größer waren als für die beiden anderen Instrumente ($p < 0,05$) (25.06: 0,875 Ncm, 35.04: 0,959 Ncm). Die signifikant kleinsten Biegemomente wiesen die Mtwo-Instrumente auf ($p < 0,05$).

- DRS 10

Bei den 10mal aufbereiteten Instrumenten wiesen die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente sowohl bei der Größe 25.06 als auch bei der Größe 35.04 die signifikant größten Biegemomente auf ($p < 0,05$). Die Mtwo-Feilen zeigten das signifikant geringste Biegemoment ($p < 0,05$).

Da die Anzahl der DRS-Zyklen keinen signifikanten Einfluss auf die Biegemomente der einzelnen Instrumente ausübte ($p > 0,05$), wurden die Werte (DRS 0 bis 10) für jeden Instrumententyp gepoolt. Es ergaben sich dabei folgende Mittelwerte (Tab. 9).

[Ncm]	25.06	35.04
EasyShape unbeschichtet	0,859 ^b	0,839 ^b
EasyShape TiN-beschichtet	0,907 ^b	0,912 ^b
Mtwo	0,422 ^a	0,575 ^a

Tab. 9: Mittelwerte der Biegemomente [Ncm] der untersuchten Instrumente. Unterschiedlich hochgestellte Buchstaben kennzeichnen in den vertikalen Spalten signifikante Unterschiede ($p < 0,001$).

Insgesamt ist somit bezüglich des Biegeverhaltens festzuhalten, dass unabhängig von der Instrumentengröße die Mtwo-Instrumente signifikant geringere Werte aufwiesen ($p < 0,05$) als die beiden EasyShape-Instrumente, zwischen denen ein signifikanter Unterschied nicht vorlag ($p > 0,05$).

4.3 Frakturverhalten

4.3.1 Auswertung gemäß ISO 3630-1

Bezüglich des Frakturverhaltens sind in der ISO-Norm 3630-1 keine Mindestanforderungen für Nickel-Titan-Instrumente mit einer Konizität größer als 2% festgelegt. Vergleicht man die Mindestanforderungen hinsichtlich des Verdrehwinkels und der Bruchfestigkeit mit den Mindestanforderungen, die in der ISO-Norm 3630-1 für Instrumente mit einer Konizität von 2% definiert sind, so ist festzustellen, dass nicht alle untersuchten Instrumente diese Anforderungen erfüllten.

4.3.1.1 Verdrehwinkel

Hinsichtlich des Verdrehwinkels müssten die Instrumente nach der ISO-Norm 3630-1 mindestens einen Verdrehwinkel von 360° aufweisen (Tab. 10). Nachfolgend sind die Instrumente unter Berücksichtigung des DRS-Zyklus aufgeführt, die einen Verdrehwinkel von 360° nicht erreicht haben. Die Winkel sind mathematisch gerundet.

- DRS 0
 - 25.06 EasyShape (TiN) (309°)

- DRS 5
 - 25.06 EasyShape (326°)
 - 25.06 EasyShape (TiN) (308°)

- DRS 10
 - 25.06 EasyShape (318°)
 - 25.06 EasyShape (TiN) (305°)

 - 35.04 EasyShape (TiN) (355°)

[°] (n=12)	25.06			35.04		
	DRS 0	DRS 5	DRS 10	DRS 0	DRS 5	DRS 10
EasyShape unbeschichtet	396,51 ^{ab} ± 110,69	325,71 ^a ± 63,74	318,22 ± 43,61	459,49 ^{ab} ± 55,75	489,80 ^a ± 55,19	447,49 ^a ± 42,20
EasyShape TiN-beschichtet	309,21 ^b ± 63,88	307,55 ^a ± 42,35	304,96 ± 71,49	423,49 ^{ab} ± 61,16	383,95 ^b ± 74,38	355,41 ^b ± 67,73
Mtwo	436,67 ^a ± 121,36	375,49 ^b ± 51,71	369,67 ± 85,36	504,11 ^a ± 49,25	482,47 ^a ± 111,89	402,33 ^{ab} ± 71,51
p-Wert	0,001	0,05	0,079	0,05	0,05	0,05

DRS-Zyklen ohne signifikanten Einfluss ($p > 0,05$)

Tab. 10: Verdrehwinkel [°] der untersuchten Nickel-Titan-Instrumente: Angegeben sind jeweils die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedlich hochgestellte Buchstaben kennzeichnen in den vertikalen Spalten signifikante unterschiedliche Gruppen.

- DRS 0

Sowohl bei den Instrumenten der Größen 25.06 und 35.04 zeigten die Mtwo-Instrumente den signifikant größten Verdrehwinkel (437°, 504°) ($p < 0,05$). Den signifikant kleinsten Winkel wiesen die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente auf ($p < 0,05$).

- DRS 5

Bei den Instrumenten der Größe 25.06 wiesen die Mtwo-Instrumente den signifikant größten Verdrehwinkel (375°) ($p < 0,05$) und bei den Instrumenten der Größe 35.04 die unbeschichteten EasyShape-Instrumente (490°) auf. Die signifikant kleinsten Verdrehwinkel bei beiden Instrumentengrößen zeigten die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumenten ($p < 0,05$).

- DRS 10

Die Mtwo-Instrumente der Größe 25.06 (370°) wiesen den größten Verdrehwinkel auf ($p > 0,05$), wohingegen bei der Größe 35.06 die unbeschichteten EasyShape-Instrumente den größten Verdrehwinkel zeigten ($p > 0,05$). Die kleinsten Verdrehwinkel bei den Instrumenten beider Größen zeigten die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente (25.06: 305° , 35.04: 355°).

Da die Anzahl der DRS-Zyklen keinen signifikanten Einfluss auf die Biegemomente der einzelnen Instrumente ausübte ($p > 0,05$), wurden die Werte (DRS 0 bis 10) für jeden Instrumententyp gepoolt. Es ergaben sich dabei folgende Mittelwerte (Tab. 11).

[°]	25.06	35.04
EasyShape unbeschichtet	346,81	465,59
EasyShape TiN-beschichtet	307,24	387,62
Mtwo	393,94	462,97

Tab. 11: Mittelwerte der Verdrehwinkel der untersuchten Instrumente.

Insgesamt ist somit bezüglich des Verdrehwinkels festzuhalten, dass unabhängig von der Instrumentengröße die Mtwo- und die unbeschichteten EasyShape-Instrumente größere Werte aufwiesen als die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente.

4.3.1.2 Bruchfestigkeit

In der ISO-Norm 3630-1 sind für rotierende Nickel-Titan-Instrumente mit einer Konizität größer als 2% keine Mindestanforderungen hinsichtlich des Biegeverhaltens definiert. Vergleicht man allerdings die Ergebnisse aus dieser Arbeit mit den Mindestanforderungen gemäß ISO-Norm 3630-1 für Instrumente mit einer Konizität von 2%, so kann man feststellen, dass alle untersuchten Instrumente (Tab. 12) diese Anforderungen ohne Ausnahme erfüllten.

[Ncm] (n=12)	25.06			35.04		
	DRS 0	DRS 5	DRS 10	DRS 0	DRS 5	DRS 10
EasyShape unbeschichtet	1,152 ^b ± 0,096	1,203 ^b ± 0,085	1,153 ^b ± 0,082	1,491 ^b ± 0,120	1,506 ^b ± 0,072	1,515 ^b ± 0,124
EasyShape TiN-beschichtet	1,271 ^b ± 0,072	1,242 ^b ± 0,113	1,226 ^b ± 0,108	1,472 ^b ± 0,129	1,534 ^c ± 0,130	1,486 ^b ± 0,188
Mtwo	0,702 ^a ± 0,178	0,743 ^a ± 0,063	0,710 ^a ± 0,107	1,073 ^a ± 0,066	1,056 ^a ± 0,128	1,049 ^a ± 0,145
p-Wert	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

DRS-Zyklen ohne signifikanten Einfluß ($p > 0,05$)

Tab. 12: Bruchfestigkeit [Ncm] der untersuchten Nickel-Titan-Instrumente: Angegeben sind jeweils die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedlich hochgestellte Buchstaben kennzeichnen in den vertikalen Spalten signifikante unterschiedliche Gruppen.

- DRS 0

Bei den Instrumenten der Größe 25.06 wiesen die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente die größte Bruchfestigkeit mit 1,271 Ncm auf, bei den Instrumenten der Größe 35.06 die unbeschichteten EasyShape-Instrumente mit 1,491 Ncm. Sowohl bei den Instrumenten der Größe 25.06 als auch bei 35.04 wurde die signifikant geringste Bruchfestigkeit bei den Mtwo-Instrumenten ermittelt ($p < 0,05$).

- DRS 5

Sowohl bei den Instrumenten der Größe 25.06 als auch bei der Größe 35.04 zeigten die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente die größte Bruchfestigkeit (1,242 Ncm, 1,534 Ncm), wohin die Bruchfestigkeit der Größe 35.04 signifikant größer war als bei den beiden anderen Instrumenten ($p < 0,05$). Die signifikant geringste Bruchfestigkeit wiesen die Mtwo-Instrumenten auf ($p < 0,05$).

- DRS 10

Die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 wiesen die größte Bruchfestigkeit mit 1,226 Ncm auf. Dagegen zeigte das Mtwo-Instrument die signifikant geringste Bruchfestigkeit mit 0,710 Ncm ($p < 0,05$). Bei den unbeschichteten EasyShape-Instrumenten der Größe 35.04 wurde die größte Bruchfestigkeit mit 1,515 Ncm ermittelt. Die signifikant geringste Bruchfestigkeit bei dieser Größe zeigte das Mtwo-Instrument mit 1,049 Ncm auf ($p < 0,05$).

Da die Anzahl der DRS-Zyklen keinen signifikanten Einfluss auf die Biegemomente der einzelnen Instrumente ausübte ($p > 0,05$), wurden die Werte (DRS 0 bis 10) für jeden Instrumententyp gepoolt. Es ergaben sich dabei folgende Mittelwerte (Tab. 13).

[Ncm]	25.06	35.04
EasyShape unbeschichtet	1,169	1,504
EasyShape TiN-beschichtet	1,246	1,497
Mtwo	0,718	1,059

Tab. 13: Mittelwerte der untersuchten Instrumente.

Insgesamt ist somit bezüglich der Bruchfestigkeit festzuhalten, dass unabhängig von der Instrumentengröße die Mtwo-Instrumente signifikant geringere Werte aufwiesen ($p < 0,05$) als die beiden EasyShape-Instrumente, zwischen denen ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) nicht vorlag.

4.4 Korrelation

4.4.1 Pearsons Koeffizient

Um die Korrelation zwischen den gepoolten Mittelwerten zum Biegeverhalten, zum Verdrehwinkel und zur Bruchfestigkeit und der berechneten Querschnittsfläche der verschiedenen Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumente zu erstellen, wurde für alle Kriterien jeweils der Pearsons Koeffizient r berechnet (Tab. 14).

Pearsons Korrelationskoeffizient	
Biegeverhalten	$r = 0,954$
Verdrehwinkel	$r = -0,125$
Bruchfestigkeit	$r = 0,943$

Tab. 14: Statistische Angaben zur Korrelation zwischen den drei ermittelten Kriterien und der Querschnittsfläche.

4.4.2 Biegeverhalten und Querschnittsfläche

Der Korrelationskoeffizient r zwischen dem Biegeverhalten (gepoolte Daten) und der Querschnittsfläche lautet $r = 0,954$. Die graphische Darstellung der Variablen „Biegemoment“ und „Fläche“ der untersuchten Instrumente lässt eine Gerade mit positiver Steigung erkennen (Abb. 19).

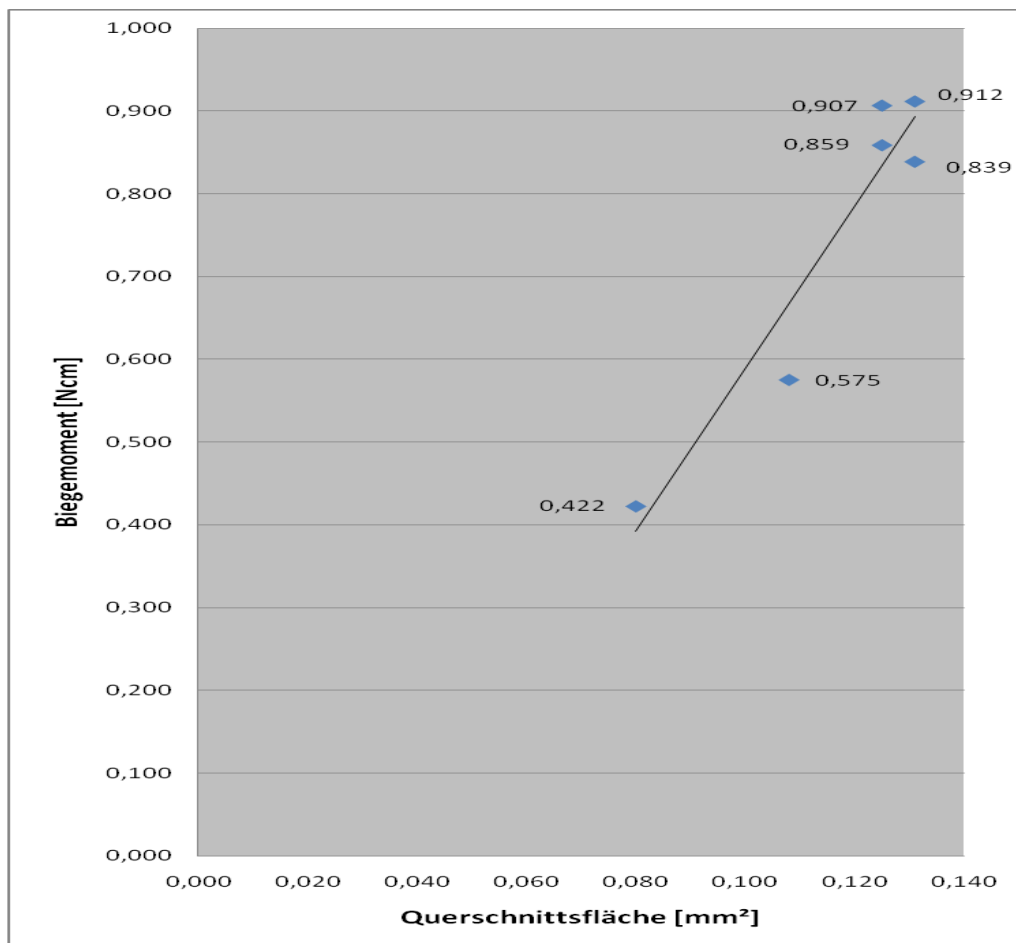


Abb. 19: Darstellung der Korrelation zwischen Biegemoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²].

In den folgenden Abbildungen 20a-c sind jeweils für jede Gruppe die Korrelation zwischen Biegemoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²] dargestellt.

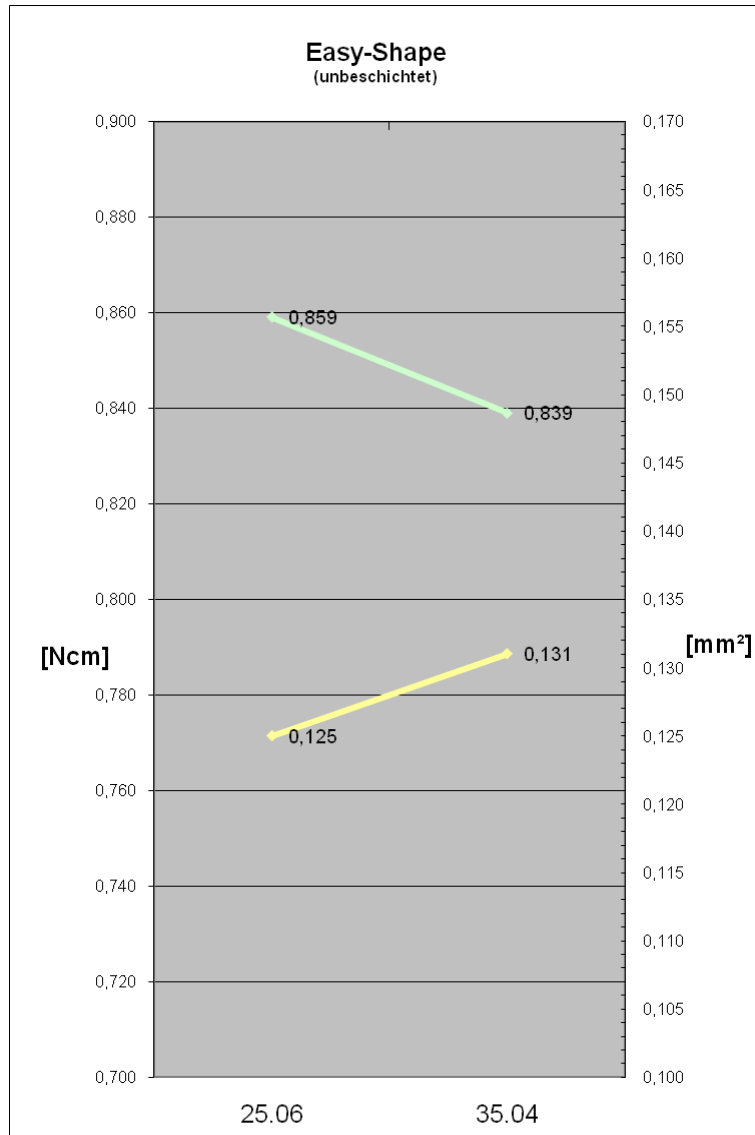


Abb. 20a: Darstellung der Korrelation zwischen Biegemoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²] der unbeschichteten EasyShape-Instrumente. Obere Gerade: Torsionsmoment, untere Gerade: Querschnittsfläche.

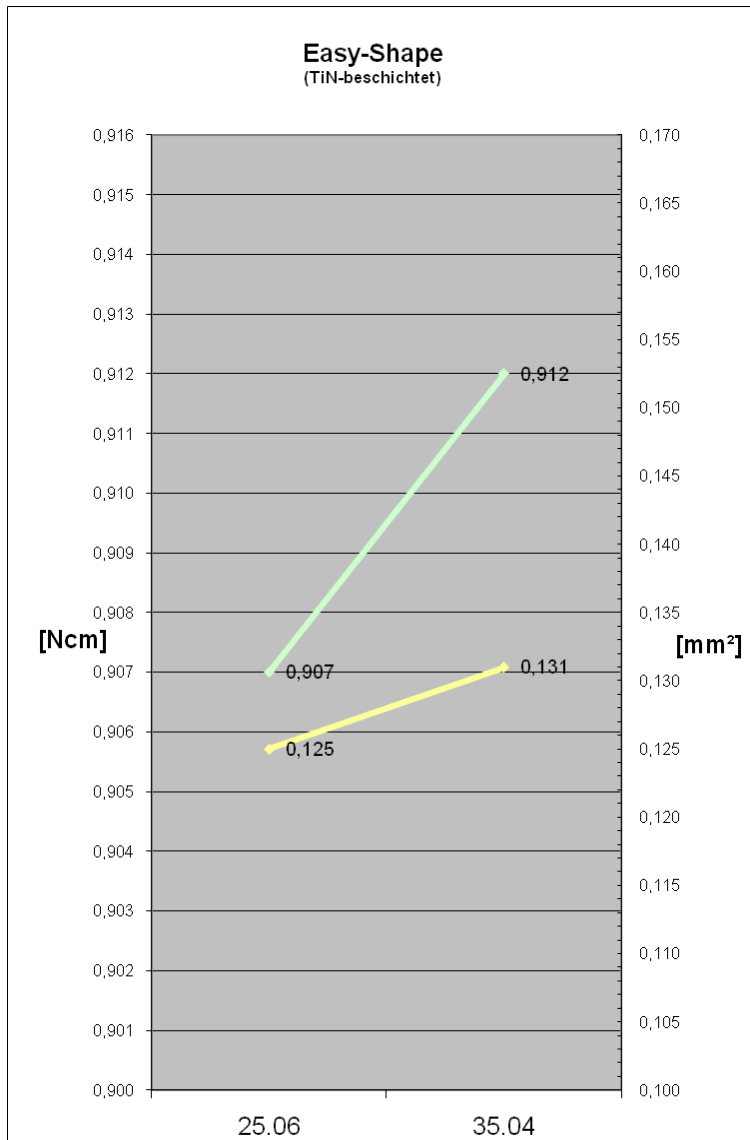


Abb. 20b: Darstellung der Korrelation zwischen Biegemoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²] der TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente. Obere Gerade: Torsionsmoment, untere Gerade: Querschnittsfläche.

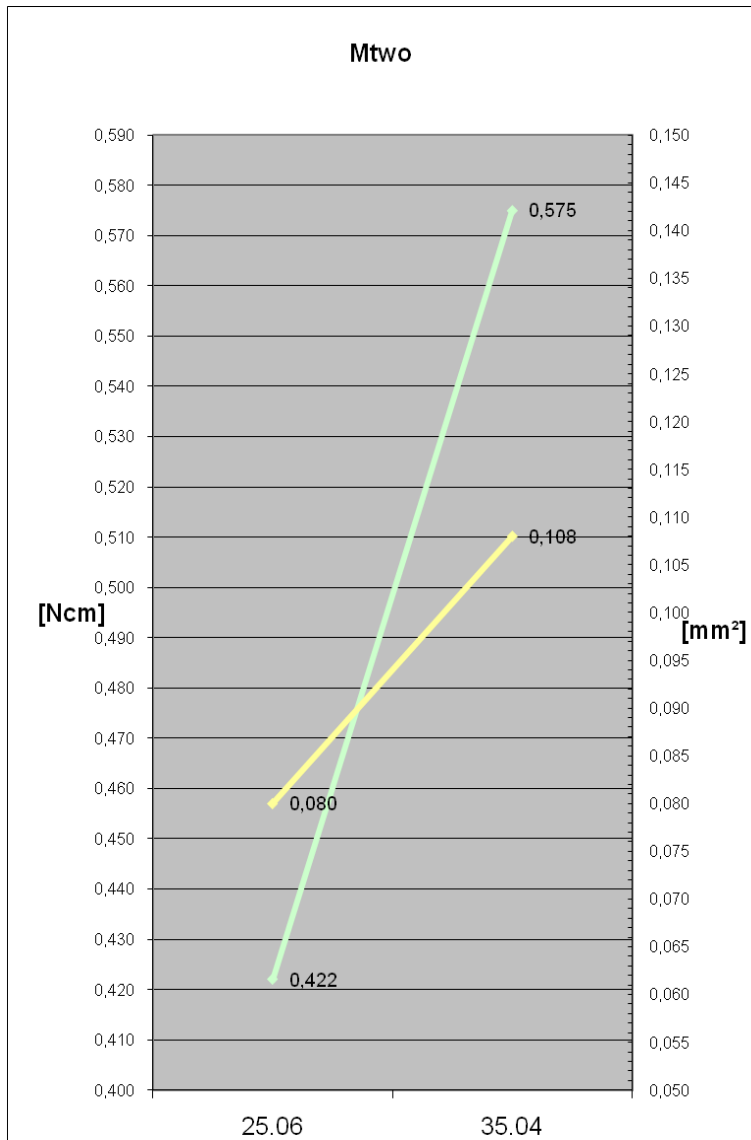


Abb. 20c: Darstellung der Korrelation zwischen Biegemoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²] der Mtwo-Instrumente. Obere Gerade: Torsionsmoment, untere Gerade: Querschnittsfläche.

4.4.3 Verdrehwinkel und Querschnittsfläche

Als Korrelationskoeffizient r zwischen dem Verdrehwinkel (gepoolte Daten) und Querschnittsfläche wurde der Wert $r = -0,125$ errechnet. Die graphische Darstellung der beiden Variablen im Korrelationsdiagramm zeigt eine Gerade mit leicht negativer Steigung (Abb. 21).

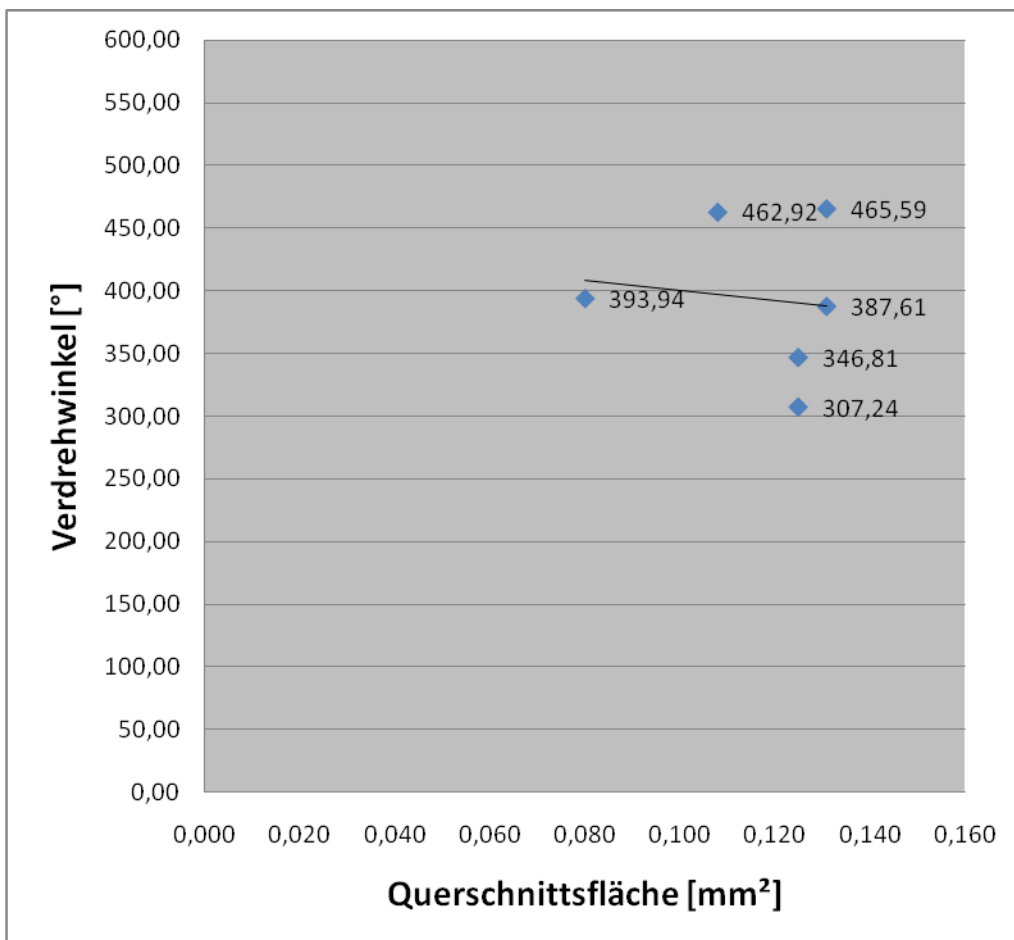


Abb. 21: Darstellung der Korrelation zwischen Verdrehwinkel [$^\circ$] und Querschnittsfläche [mm^2].

In den folgenden Abbildungen 22a-c sind jeweils für jede Gruppe die Korrelation zwischen Verdrehwinkel [°] und Querschnittsfläche [mm²] dargestellt.

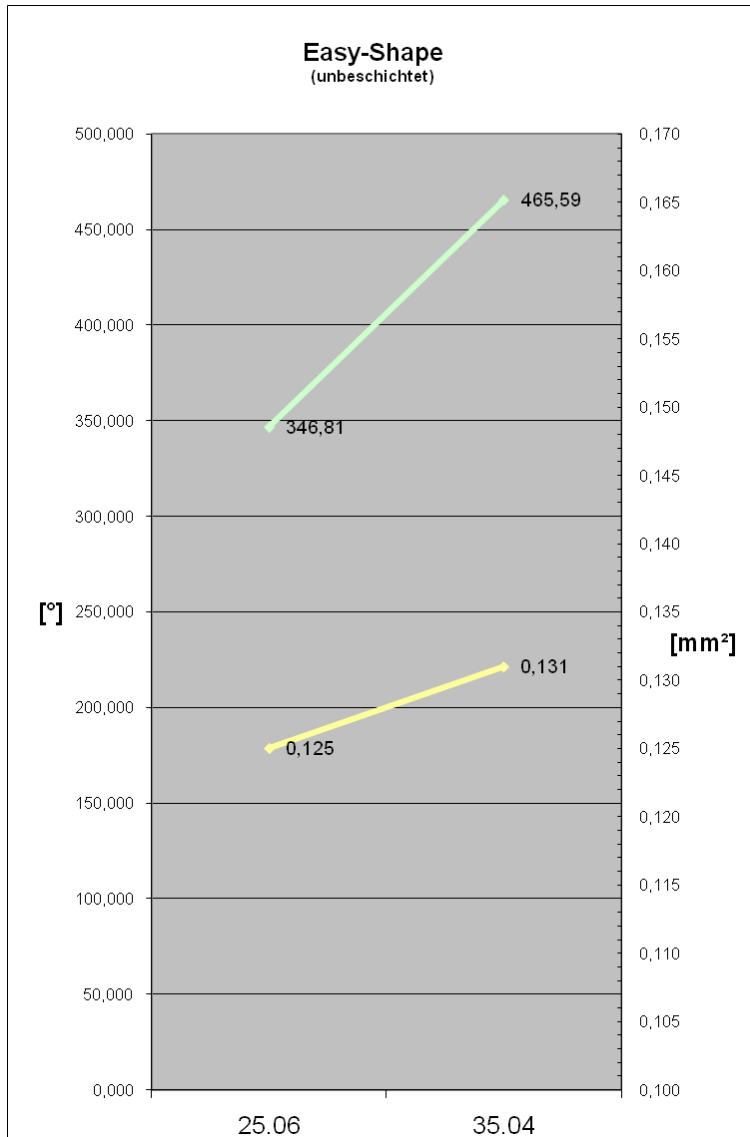


Abb. 22a: Darstellung der Korrelation zwischen Verdrehwinkel [°] und Querschnittsfläche [mm²] der unbeschichteten EasyShape-Instrumente. Obere Gerade: Verdrehwinkel, Untere Gerade: Querschnittsfläche.

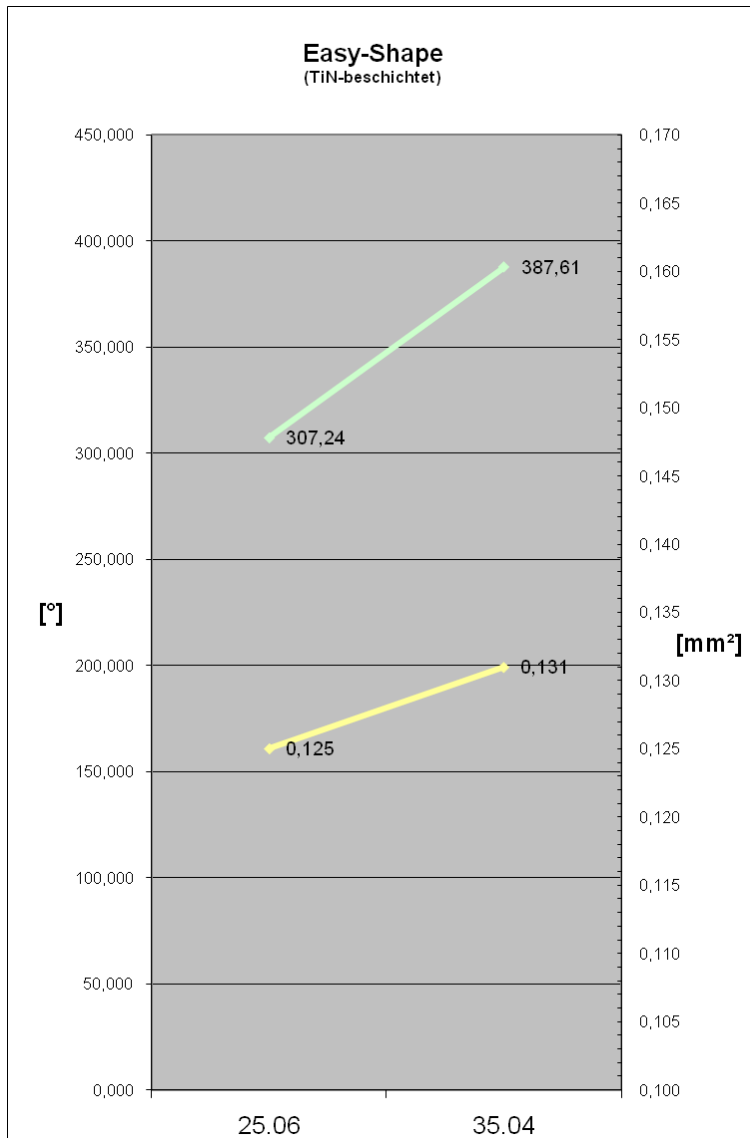


Abb. 22b: Darstellung der Korrelation zwischen Verdrehwinkel [°] und Querschnittsfläche [mm²] der TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente. Obere Gerade: Verdrehwinkel, Untere Gerade: Querschnittsfläche.

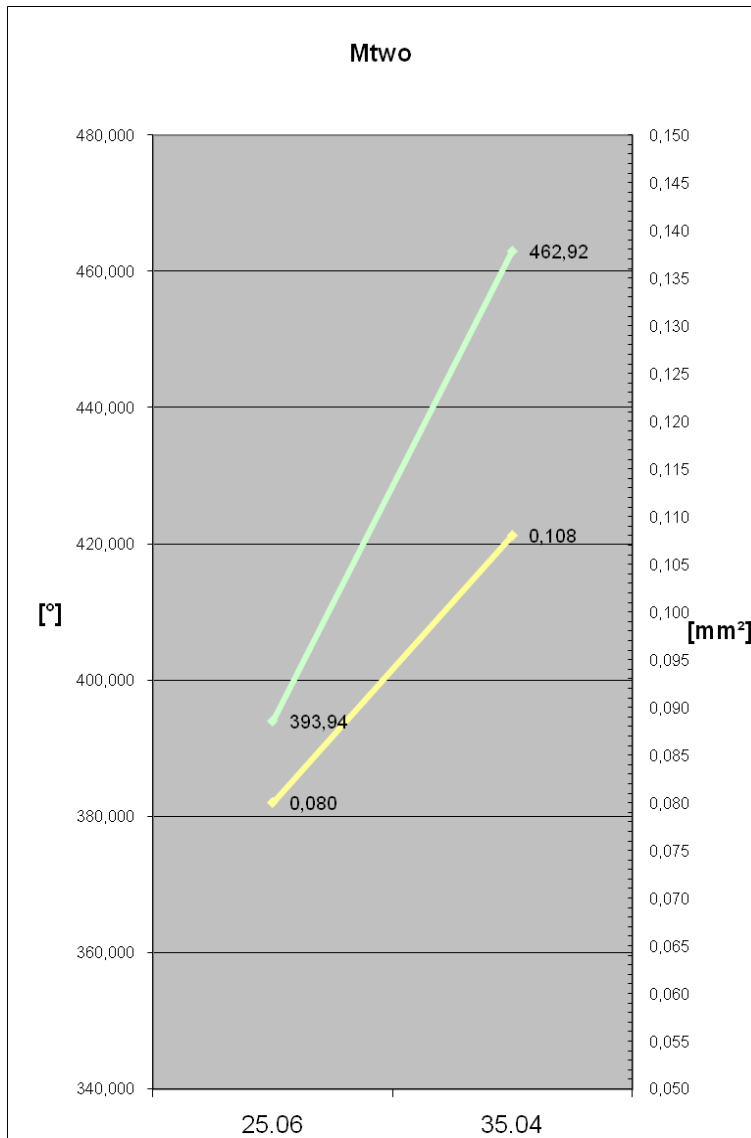


Abb. 22c: Darstellung der Korrelation zwischen Verdrehwinkel [°] und Querschnittsfläche [mm²] der Mtwo-Instrumente. Obere Gerade: Verdrehwinkel, Untere Gerade: Querschnittsfläche.

4.4.4 Bruchfestigkeit und Querschnittsfläche

Der Korrelationskoeffizient r zwischen Bruchfestigkeit (gepoolte Daten) und der Querschnittsfläche beträgt $r = 0,943$. In der folgenden Grafik werden die Variablen „Torsionsmoment“ und „Fläche“ dargestellt. Es ist eine Gerade mit positiver Steigung zu erkennen (Abb. 23).

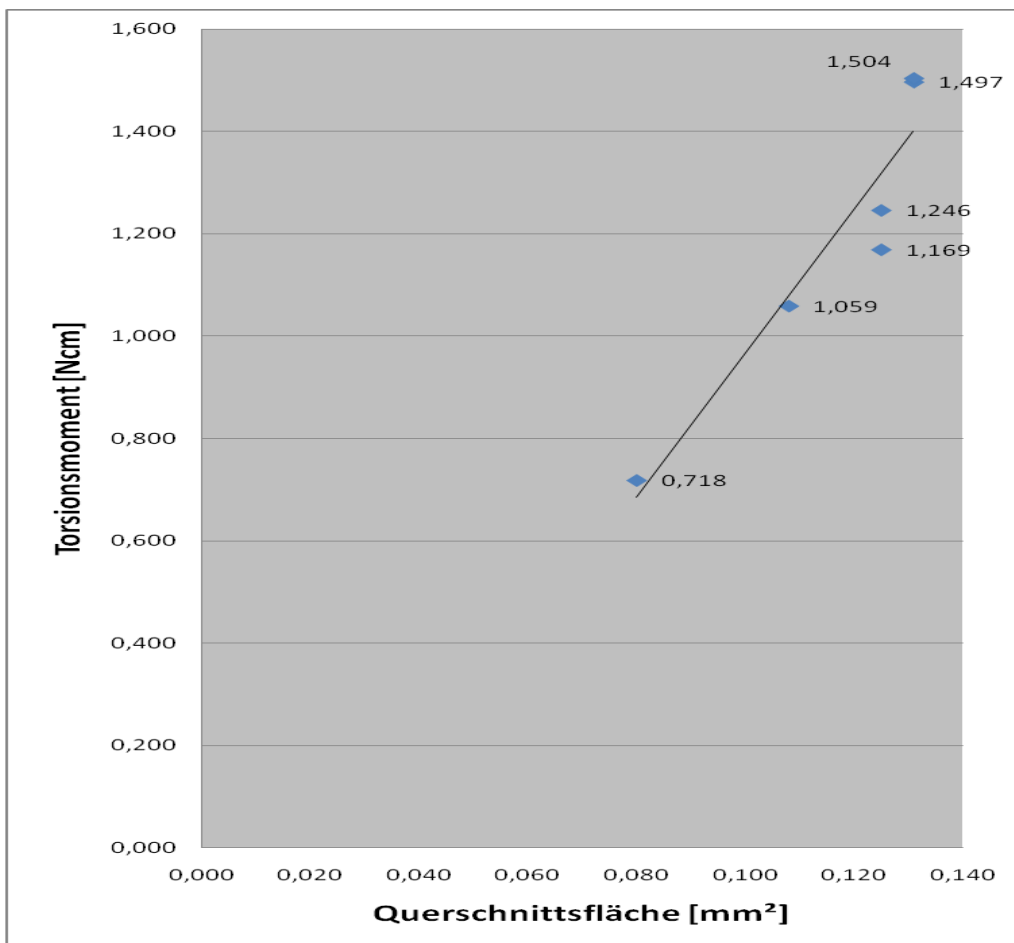


Abb. 23: Darstellung der Korrelation zwischen Torsionsmoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²].

In den folgenden Abbildungen 24a-c sind jeweils für jede Gruppe die Korrelation zwischen dem Torsionsmoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²] dargestellt.

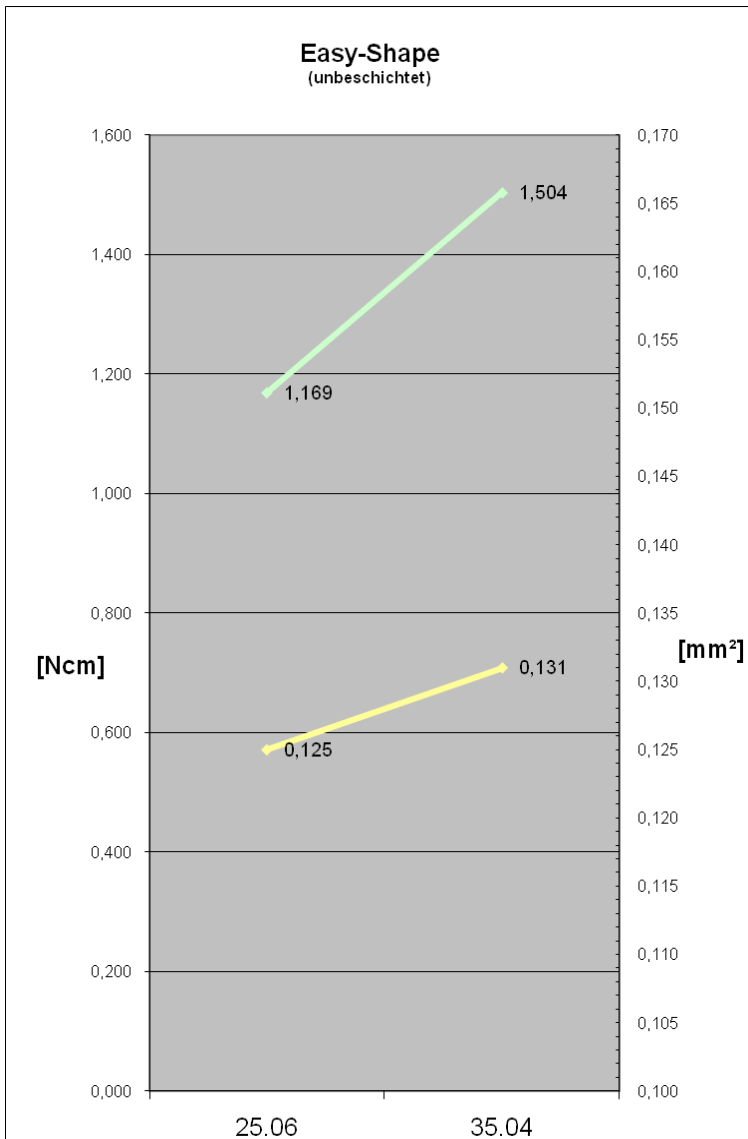


Abb. 24a: Darstellung der Korrelation zwischen Torsionsmoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²] der unbeschichteten EasyShape-Instrumente. Obere Gerade: Torsionsmoment, untere Gerade: Querschnittsfläche.

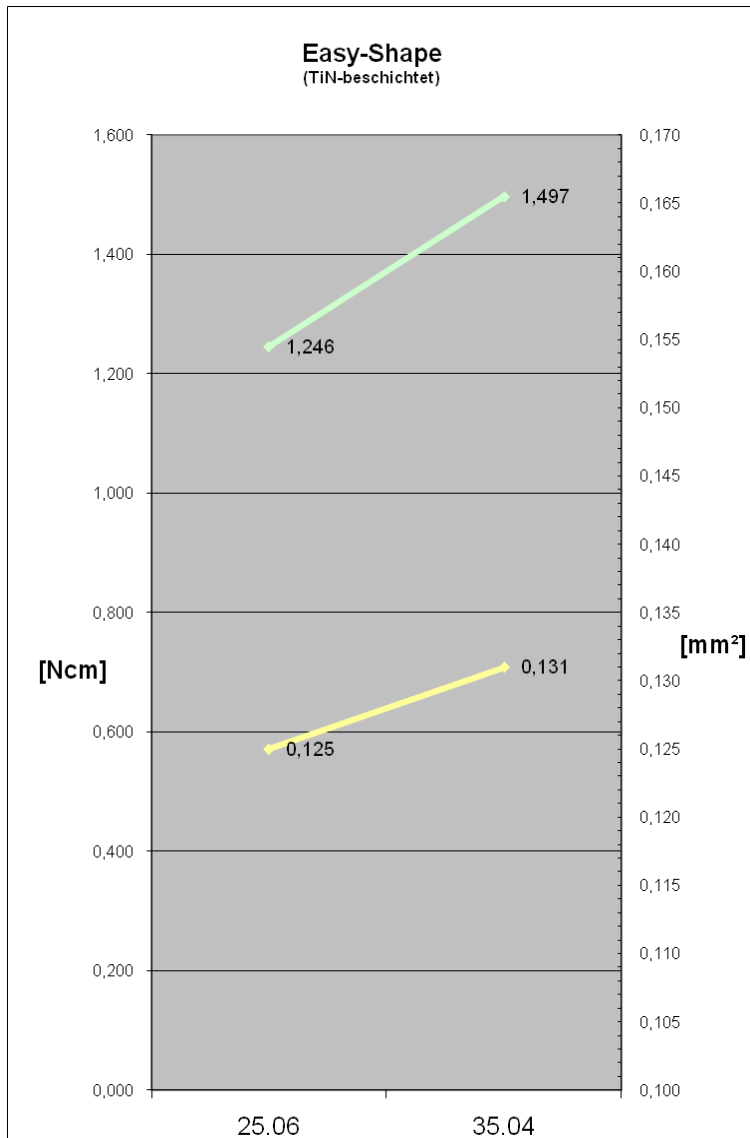


Abb. 24b: Darstellung der Korrelation zwischen Torsionsmoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²] der TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente. Obere Gerade: Torsionsmoment, untere Gerade: Querschnittsfläche.

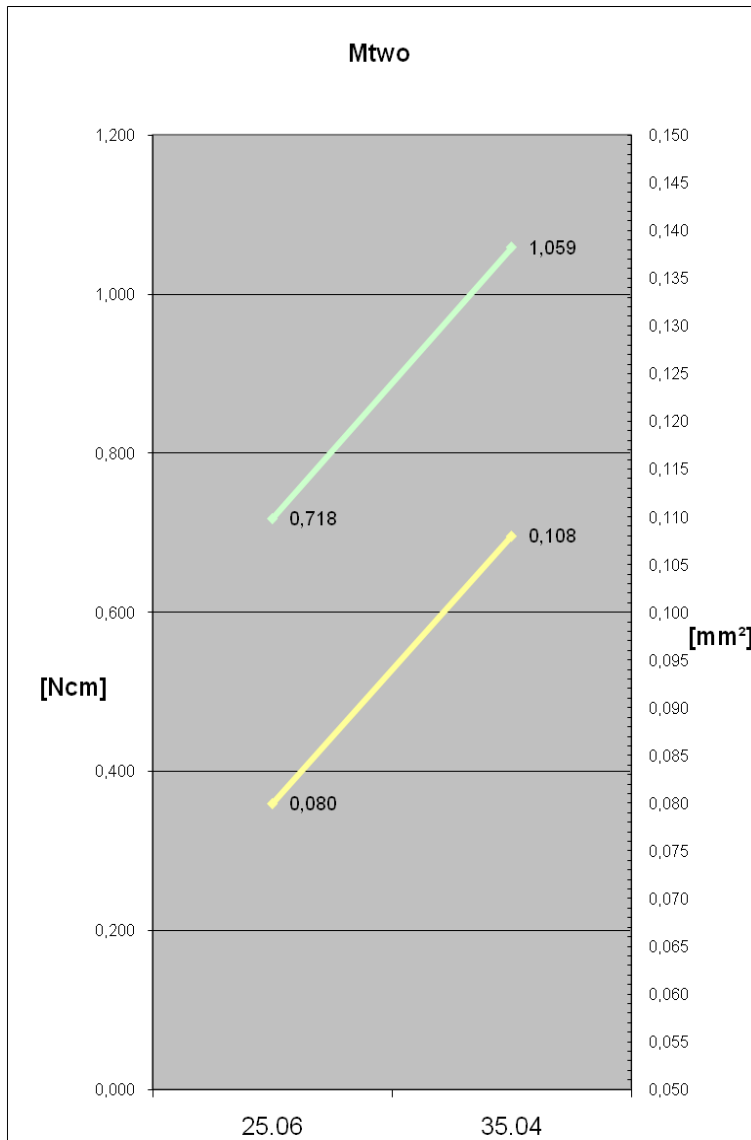


Abb. 24c: Darstellung der Korrelation zwischen Torsionsmoment [Ncm] und Querschnittsfläche [mm²] der Mtwo-Instrumente. Obere Gerade: Torsionsmoment, untere Gerade: Querschnittsfläche.

5 Diskussion

5.1 Instrumentenquerschnitte und –querschnittsfläche

Die in dieser Arbeit untersuchten Instrumente besitzen allesamt eine ähnliche Querschnittsform (Kap. 4, Abb. 18a-d). Das Querschnittsdesign erinnert stark an ein „S“ bzw. an einen Rhombus mit unterschiedlichen Seitenlängen. Beide Instrumententypen besitzen an ihren S-förmigen Enden zwei Schneiden.

Die durchschnittlichen Querschnittsflächen (Kap. 4, Tab. 7) der untersuchten Instrumente unterscheiden sich innerhalb einer Instrumentengröße erheblich. Bei den Instrumenten der Größe 25.06 ist die Querschnittsfläche der TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente ca. 60% größer als die der Mtwo-Instrumente. Bei den Instrumenten der Größe 35.04 ist ebenfalls ein Unterschied feststellbar. Die Querschnittsfläche der EasyShape-Instrumente ist ca. 20% größer als die der Mtwo-Instrumente. Innerhalb des EasyShape-Instrumententyps nimmt die Querschnittsfläche von der Größe 25.06 zur Größe 35.04 nur um ca. 5% zu. Dahingegen vergrößert sich die Fläche bei den Mtwo-Instrumenten um ca. 30%.

5.1.1 Fehlerdiskussion

Wie im Kapitel 3 „Material und Methode“ beschrieben, wurden von jedem Instrumententyp drei Instrumente in einen Kunststoffblock eingebracht und in dem benannten Probenbeweger bis auf eine Länge von 3 mm von der Spitze abgeschliffen und anschließend poliert. Es ist nicht auszuschließen, dass sich der Kunststoffblock beim Schleifvorgang verkantete und dementsprechend eine Seite des Blocks stärker beschliffen wurde als ein anderer. Dadurch kann es zu minimalen Abweichungen in der Darstellung der Querschnittsflächen gekommen sein, sodass die Querschnittsfläche nicht genau bei 3 mm von der Instrumentenspitze entfernt ermittelt werden konnte. Aus diesem Grund wurden

jeweils drei Instrumente jeder Größe und Typs ausgewählt, um durch die Mittelung der Flächenwerte diese Fehlermöglichkeit zu minimieren.

5.2 Biegeverhalten

In dieser Arbeit wurde das Biegeverhalten von rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten nach der ISO-Norm 3630-1 untersucht. Obwohl für nicht ISO-genormte Instrumente Mindestanforderungen bezüglich der Biegeeigenschaften nicht vorliegen, wurden die gewonnenen Ergebnisse (Kap. 4, Tab. 8) mit den Maximalanforderungen aus der ISO-Norm 3630-1 verglichen (Kap. 1, Tab. 2). In dieser ISO-Norm sind Maximalwerte für K-Feilen mit einer Konizität von 2% angegeben: Größe 25 - 1,2 Ncm und Größe 35 – 1,9 Ncm.

Alle in dieser Studie untersuchten Instrumente - auch nach mehrmaligen DRS-Zyklen - haben ohne Ausnahme diese Anforderungen erfüllt und blieben somit mit den erreichten Werten unterhalb der Maximalwerte.

Sowohl bei den unaufbereiteten (DRS-Zyklen 0) als auch bei den aufbereiteten Instrumenten (DRS-Zyklen 5 & 10) und auch in Abhängigkeit von der Instrumentenkonizität und -durchmesser wiesen jeweils die Mtwo-Instrumente das signifikant geringste Biegemoment auf ($p < 0,05$). Dies belegt die große Flexibilität dieser Instrumente. Das jeweils größte Biegemoment zeigten die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente. Diese Werte lagen ebenfalls weit unter den Maximalanforderungen der ISO-Norm, waren aber wesentlich größer als die der Mtwo-Feilen, und wiesen damit auf eine geringere Flexibilität hin.

Im Jahr 2004 führte Dzepina (25) eine Studie durch, in der sie versuchte, für nicht ISO-genormte rotierende Nickel-Titan-Instrumente Mindestanforderungen hinsichtlich des Biegeverhaltens abzuleiten. In dieser Arbeit wurden rotierende Nickel-Titan-Instrumente von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen Größen und Konizitäten untersucht. Die ermittelten Daten sollen nachfolgend

mit den in dieser Arbeit überprüften Instrumenten und den jeweils gepoolten Werten (Kap. 4, Tab. 9) verglichen werden (Tab. 15).

	25.06	[Ncm]
1	K3	0,922
2	EasyShape (TiN)	0,907
3	EasyShape	0,859
4	Hero	0,733
5	FlexMaster	0,665
6	ProFile	0,461
7	Mtwo	0,422

	35.04	[Ncm]
1	K3	1,166
2	EasyShape (TiN)	0,912
3	EasyShape	0,839
4	ProFile	0,650
5	Mtwo	0,575
6	RaCe	0,368

Tab. 15: Vergleich der ermittelten Werte für das Biegeverhalten [Ncm] aus der Studie von Dzepina (25) und der in dieser Arbeit untersuchten Instrumente (fett dargestellt).

Der Vergleich machte deutlich, dass die K3-Instrumente (Kerr, Glendora, USA) das größte Biegemoment aufwiesen und damit eine noch geringere Flexibilität zeigten als die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente. Im Gegensatz dazu zeigten die ProFile- (25.06; Dentsply Mailefer, Ballaigues, Schweiz) und RaCe-

Instrumente (35.04; FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Schweiz) in der Arbeit von Dzepina (25) das geringste Biegemoment. Im Vergleich dazu war in der vorliegenden Arbeit das Biegemoment der Mtwo-Instrumente der Größe 25 noch geringer. Insofern ist das Mtwo-Instrument dieser Größe als außerordentlich flexibel zu bewerten.

5.2.1 Klinische Relevanz des Biegeverhaltens

Ein geringes Biegemoment deutet auf eine hohe Flexibilität hin und ist klinisch wünschenswert. Aufgrund dieser Eigenschaft sind Nickel-Titan-Instrumente in der Lage, auch stark gekrümmte Wurzelkanäle weitestgehend ohne unerwünschte Formveränderungen aufzubereiten (43). Die Flexibilität fördert eine geringere Belastung der Schneiden des Instrumentes in gekrümmten Kanälen und reduziert so das Frakturrisiko (44). Die Superelastizität der Nickel-Titan-Legierung ermöglicht den NiTi-Instrumenten eine bessere Anpassung an den originären Kanalverlauf bei der Aufbereitung des Kanals.

Schäfer et al. (48) gaben 2003 an, dass NiTi-Instrumente mit größeren Konizitäten als 2% bzw. 4% eine geringere Flexibilität aufwiesen. Diese Darstellung konnte anhand der hier ermittelten Werten mit einer Ausnahme nicht bestätigt werden (Kap. 4, Tab. 8 & 9). Die Mittelwerte (gepoolten Daten) der Biegemomente der hier untersuchten Instrumente mit einer Konizität von 4% waren größer als die der Instrumente mit 6%-iger Konizität, wobei die Instrumentengrößen verschieden waren. Nur das Biegemoment des unbeschichteten EasyShape-Instruments der Größe 35.04 war durchschnittlich geringer als das der Größe 25.06. Unter Berücksichtigung der gleichen Instrumentengröße und in Abhängigkeit von unterschiedlichen Konizitäten konnte das Ergebnis von Schäfer et al. (48) hingegen bestätigt werden.

Dieses lässt darauf schließen, dass eine enge Korrelation zwischen Querschnittsfläche und Biegeverhalten besteht.

5.2.2 Fehlerdiskussion

Die Ergebnisse der gepoolten Daten zeigten, dass die Biegemomente mit der Instrumentengröße anstiegen. Dies war bei den unbeschichteten EasyShape-Instrumenten der Größe 35.04 wider der Erwartungen nicht der Fall, insofern soll dieser Befund nachfolgend kritisch bewertet werden.

Bei der Prüfung nach der ISO-Norm 3630-1 wird das Instrument bei einer Länge von 3 mm von der Instrumentenspitze zwischen zwei Messing-Backen verspannt und bis zu 45° gebogen. Unter Berücksichtigung der Querschnittsform der untersuchten Instrumente, bestehen mehrere Möglichkeiten, dass Instrument zwischen die Backen einzuspannen (Abb. 25).

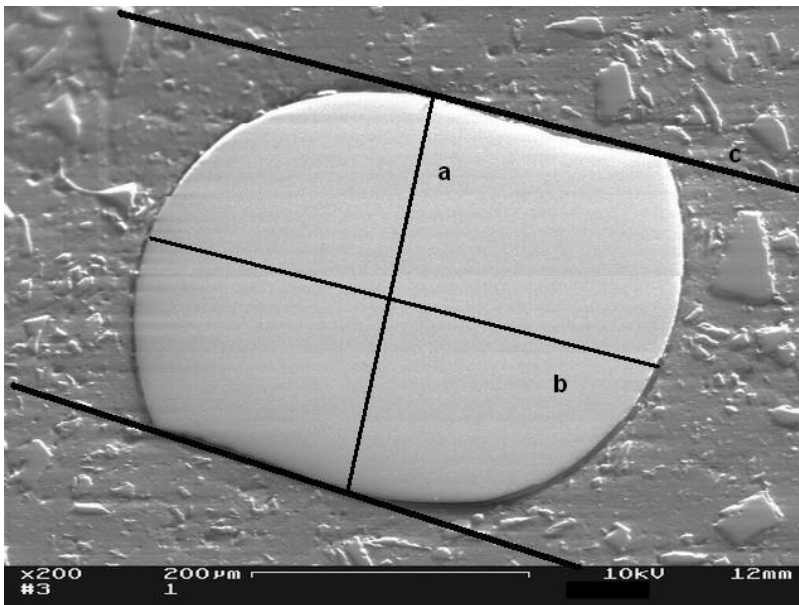


Abb. 25: Schematische Darstellung der möglichen Ausrichtung des Instruments im Prüfgerät am Beispiel der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme des Instrumentenquerschnitts des TiN-beschichteten EasyShape-Instrumentes der Größe 35.04. **a:** kleiner Durchmesser, **b:** großer Durchmesser, **c:** mögliche Anlage der Spannbaken der Prüfvorrichtung für das Biegeverhalten.

Die Instrumente weisen eine S-förmige bzw. eine rhomboid-ähnliche Querschnittsform mit zwei unterschiedlichen Seitenlängen auf. Je nach dem, wie das Instrument zwischen die Spannbacken eingesetzt wurde, konnte die Prüfung zum Biegeverhalten entweder über den kleinen (Abb. 25: a) oder den großen Durchmesser (Abb. 25: b) vollzogen werden. Die Anlage der Spannbacken am großen Durchmesser kann durch die Rundung variieren. Dementsprechend ist der Durchmesser des Instrumentenquerschnitts entscheidend für das aufgewendete Biegemoment. Je nach dem über welchen Durchmesser das Instrument gebogen wurde, sind unterschiedliche Kräfte notwendig, die verschiedene Biegemomente aufweisen.

Um diese Annahme zu überprüfen, wurde unter diesem Gesichtspunkt erneut eine Prüfung zum Biegeverhalten nach der ISO-Norm 3630-1 mit jeweils drei EasyShape-Instrumenten der Größe 35.04 durchgeführt. Drei Instrumente wurden über den kleinen und drei wurden über den großen Durchmesser gebogen (Tab. 16), sodass insgesamt sechs Instrumente geprüft wurden.

EasyShape 35.04		
[Ncm] (n=3)	kleinster \emptyset	größter \emptyset
	0,780	0,951
	0,825	0,872
	0,827	0,955
Mittelwert	0,811	0,926

Tab. 16: Biegemomente [Ncm] der untersuchten Nickel-Titan-Instrumente in Abhängigkeit der Ausrichtung des Instrumentes im Prüfgerät; kleinster Durchmesser (\emptyset), größter Durchmesser (\emptyset).

Es bestätigte sich, dass in Abhängigkeit über welchen Instrumentendurchmesser das Instrument gebogen wurde, die Ergebnisse variierten. Das geringste Biegemoment zeigte sich bei der Versuchsdurchführung der Biegung über den kleinsten Durchmesser mit 0,780 Ncm, das größte Biegemoment bei der Prüfung über den größten Durchmesser mit 0,955 Ncm. Insgesamt lagen die Differenzen in den durchgeführten Prüfungen zwischen 0,047 Ncm und 0,171 Ncm. Im Durchschnitt stellte das Biegemoment für den kleinsten Durchmesser 0,811 Ncm und für den größten 0,926 Ncm dar, sodass zwischen den Biegemomenten eine Differenz von mehr als 0,1 Ncm vorlag (Tab. 16).

5.3 Frakturverhalten

5.3.1 Verdrehwinkel

In dieser Arbeit wurde der Verdrehwinkel von rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten nach der ISO-Norm 3630-1 untersucht. Der Verdrehwinkel ist der Winkel, bei dem eine Instrumentenfraktur eintritt. Obwohl für nicht ISO-genormte Instrumente Mindestanforderungen bezüglich des Verdrehwinkels nicht vorliegen, wurden die erhaltenen Daten (Kap. 4, Tab. 10) mit den Minimalanforderungen aus der ISO-Norm 3630-1 verglichen (Kap. 1, Tab. 3). In dieser ISO-Norm sind Minimalwerte für K-Feilen und Reamer mit einer Konizität von 2% angegeben: Größe 25 – 360° und Größe 35 – 360°.

Vergleicht man die Minimalanforderungen aus der ISO-Norm 3630-1 mit den in dieser Arbeit erhaltenen Ergebnissen, so ist festzustellen, dass nicht alle untersuchten Instrumente die Mindestanforderungen erfüllten.

Die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 unter Berücksichtigung der DRS-Zyklen (0, 5 und 10) konnten nicht eine vollständige Umdrehung torquiert werden, nach etwa 307° frakturierten sie und blieben so 53° hinter der Mindestanforderung zurück. Ähnlich verhielt es sich bei den unbeschichteten EasyShape-Instrumenten der Größe 25.06. Hier konnte nur das unaufbereitete Instrument (0 DRS-Zyklen) die Minimalanforderung erfüllen. Die Mtwo-Instrumente der Größe 25.06 wiesen in jeder Gruppe der DRS-Zyklen den größten Verdrehwinkel auf und konnten durchschnittlich etwas mehr als 360° rotiert werden.

Aus der Gruppe der Instrumente mit der Größe 35.04 erfüllten nur die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente nach 10 DRS-Zyklen die Minimalanforderungen nach der ISO-Norm 3630-1 nicht. Diese Instrumente frakturierten bei 355°, also nach nicht einmal einer vollständigen Umdrehung. Die unbeschichteten EasyShape- sowie die Mtwo-Instrumente der Größe 35.04 konnten dagegen ca. 466° bzw. 463° torquiert werden, bis sie frakturierten.

Die ermittelten Daten bezüglich des Verdrehwinkels aus der zuvor beschriebenen Arbeit von Dzepina (25) sollen nachfolgend mit den in dieser Arbeit untersuchten Instrumenten und den jeweils gepoolten Werten (Kap. 4, Tab. 11) verglichen werden (Tab. 17).

	25.06	[°]
1	K3	448
2	ProFile	386
3	Mtwo	394
4	Hero	347
5	EasyShape	347
6	EasyShape (TiN)	307
7	FlexMaster	266

	35.04	[°]
1	ProFile	703
2	RaCe	617
3	K3	502
4	EasyShape	466
5	Mtwo	463
6	EasyShape (TiN)	388

Tab. 17: Vergleich der ermittelten Werte für den Verdrehwinkel [°] aus der Studie Dzepina und der in dieser Arbeit untersuchten Instrumente (fett dargestellt).

In der Arbeit von Dzepina (25) zeigte sich, dass das FlexMaster-Instrument der Größe 25.06 (VDW, München, Deutschland) den kleinsten Verdrehwinkel mit 266° aufwies. Dieses Instrument konnte somit bis zur Fraktur lediglich $\frac{3}{4}$ Umdrehung rotiert werden. Das TiN-beschichtete EasyShape-Instrument der Größe 25.06 konnte durchschnittlich etwas mehr als eine $\frac{3}{4}$ Umdrehung (307°) torquiert werden, bis eine Fraktur eintrat. Das Mtwo-Instrument gleicher Größe konnte hingegen im Durchschnitt etwas über eine Umdrehung rotiert werden bis es zur Fraktur kam.

Die in dieser Arbeit untersuchten Instrumente der Größe 35.04 konnten allesamt durchschnittlich mindestens um eine Umdrehung rotiert werden, wobei die unbeschichteten EasyShape- und Mtwo-Instrumente ca. $1\frac{1}{4}$ Umdrehungen (466° , 463°) erlaubten, bevor eine Fraktur eintrat. Im Vergleich zu den Ergebnissen einer früheren Arbeit (25) wiesen alle Instrumente der Größe 35.04 dieser Arbeit kleinere Verdrehwinkel auf als der kleinste Wert aus der früheren Studie. Dieser Winkel wurde von den K3-Feilen (Kerr) mit 502° erreicht.

5.3.2 Bruchfestigkeit

In dieser Arbeit wurde die Bruchfestigkeit von rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten nach der ISO-Norm 3630-1 untersucht. Die Bruchfestigkeit beschreibt die plastische Deformation eines bestimmten Instrumententyps gegenüber anderer Instrumente. Obwohl für nicht ISO-genormte Instrumente Mindestanforderungen bezüglich der Bruchfestigkeit nicht vorliegen, wurden die gewonnenen Ergebnisse (Kap. 4, Tab. 12) mit den Minimalanforderungen aus der ISO-Norm 3630-1 verglichen (Kap. 1, Tab. 4). In dieser ISO-Norm sind Minimalwerte für K-Feilen mit einer Konizität von 2% angegeben: Größe 25 – 0,3 Ncm und Größe 35 – 0,65 Ncm.

Vergleicht man die Minimalanforderungen aus der ISO-Norm 3630-1 mit den in dieser Arbeit ermittelten Ergebnissen, so ergibt sich, dass alle untersuchten Instrumente die Mindestanforderungen erfüllten.

Die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 erzielten in Abhängigkeit der DRS-Zyklen jeweils die größte Bruchfestigkeit auf, wobei die Mtwo-Instrumente der Größe jeweils die signifikant geringste Bruchfestigkeit aufwiesen.

Bei den Instrumenten der Größe 35.04 zeigten die Mtwo-Instrumente ebenfalls die signifikant geringste Bruchfestigkeit gegenüber den beiden anderen Instrumenten. Das TiN-beschichtete EasyShape-Instrument erreichte in der Gruppe mit 5 DRS-Zyklen die signifikant größte Bruchfestigkeit.

In der zuvor beschriebenen Arbeit untersuchte Dzepina (25) rotierende Nickel-Titan-Instrumente unterschiedlicher Hersteller, Größen und Konizitäten. Die ermittelten Daten sollen nachfolgend mit den in dieser Arbeit untersuchten Instrumenten und den jeweils gepoolten Werten (Kap. 4, Tab. 13) verglichen werden (Tab. 18)

	25.06	[Ncm]
1	EasyShape (TiN)	1,246
2	K3	1,219
3	EasyShape	1,169
4	Hero	1,097
5	FlexMaster	1,057
6	ProFile	0,823
7	Mtwo	0,718

	35.04	[Ncm]
1	EasyShape	1,504
2	EasyShape (TiN)	1,497
3	K3	1,433
4	ProFile	1,28
5	Mtwo	1,059
6	RaCe	0,587

Tab. 18: Vergleichstabelle der ermittelten Werte für die Bruchfestigkeit [Ncm] aus der Studie von Dzepina (25) und der in dieser Arbeit untersuchten Instrumente (fett dargestellt).

Der Vergleich machte deutlich, dass das TiN-beschichtete EasyShape-Instrument der Größe 25.06 durchschnittlich die größte Bruchfestigkeit aufwies. Das Mtwo-Instrument gleicher Größe zeigte dagegen die geringste Bruchfestigkeit.

Ähnlich verhielt es sich bei den Instrumenten der Größe 35.04. Sowohl die unbeschichteten als auch die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente wiesen die größte Bruchfestigkeit auf. Die geringste Bruchfestigkeit zeigte in dieser Gruppe das RaCe-Instrument (FKG Dentaire) mit 0,587 Ncm.

5.3.3 Klinische Relevanz des Frakturverhaltens

Das Frakturverhalten von Wurzelkanalinstrumenten wird anhand von zwei Kriterien beschrieben, der Verdrehwinkel und die Bruchfestigkeit. Der Verdrehwinkel gibt darüber Aufschluss, wie weit ein an der Spitze verklemmtes Instrument im Wurzelkanal um die eigene Achse weiter rotiert werden kann, bis eine Fraktur eintritt. Für die klinische Relevanz bedeutet dies, dass ein großer Verdrehwinkel mit einem geringeren Frakturrisiko eines Wurzelkanalinstruments bei klinischer Anwendung einhergeht.

Das Bruchverhalten von Nickel-Titan-Instrumenten gegenüber herkömmlichen Edelmetallinstrumenten ist von großer klinischer Relevanz. Verklemmt ein in den Wurzelkanal eingeführtes Wurzelkanalinstrument an der Spitze und wird weiter tordiert, so resultiert bei Edelmetallinstrumenten im Vergleich zu Nickel-Titan-Instrumenten eine plastische Deformation. Bei Nickel-Titan-Instrumenten steigt das Torsionsmoment in Abhängigkeit vom Verdrehwinkel stetig an, sodass eine makroskopisch sichtbare Deformation während seiner Anwendung in den meisten Fällen nicht zu erkennen ist (Kap. 3, Abb. 13). Bei diesen Instrumenten kommt es allerdings nur in einem sehr engen Bereich zu einer plastischen Deformation. Dieser begrenzte Bereich wird bei Umdrehungsgeschwindigkeiten von 250 Umin^{-1} bis zu 400 Umin^{-1} schnell überschritten, sodass es bei permanent rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten in kürzester Zeit zu einer Fraktur kommen kann (45).

Nickel-Titan-Instrumente ähneln in der Herstellung den Hedström-Feilen, auch diese werden durch Fräsung eines Rohlings hergestellt (1, 2). Aufgrund des pseudoelastischen Verhaltens ist während des Gebrauchs eine makroskopische sichtbare plastische Deformation des Instruments (5, 54), die darauf schließen lassen könnte, dass klinisch eine erhöhte Frakturgefahr besteht (43), nicht zu erkennen.

Aufgrund des charakteristischen Frakturverhaltens von Nickel-Titan-Instrumenten empfehlen verschiedene Hersteller, permanent rotierend eingesetzte Nickel-Titan-Instrumente nur einmalig anzuwenden (45).

5.4 Sterilisation

Die in dieser Arbeit untersuchten Nickel-Titan-Instrumente wurden anfänglich in drei Gruppen aufgeteilt, den unaufbereiteten Instrumenten, den Instrumenten nach 5 Desinfektions-, Reinigungs- und Sterilisation-Zyklen (DRS-Zyklen) und den Instrumenten nach 10 DRS-Zyklen. Dabei wurden die Instrumente der zweiten und dritten Gruppe chemisch aufbereitet und anschließend in einem Autoklaven sterilisiert. Die Auswertung der Ergebnisse (Kap. 4, Tab. 8, 10 & 12) ergab, dass die DRS-Zyklen unabhängig von deren Anzahl keinen signifikanten Einfluss ($p > 0,05$) auf das Biege- und Frakturverhalten der Nickel-Titan-Instrumente ausübte. Viana et al. (46) sterilisierten in ihrer Untersuchung neue Nickel-Titan-Instrumente. Die Auswertung derer Ergebnisse zeigte, dass die Sterilisation im Autoklaven keinen wesentlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten nahm. Diese Studie bestätigt hiermit die Ergebnisse dieser Arbeit.

Rapisarda et al. (31) fanden 1999 in ihrer Untersuchung hingegen, dass die chemische Aufbereitung sowie die Sterilisation einen negativen Einfluss auf die Oberflächenstruktur von Nickel-Titan-Instrumenten nahm. In dieser Studie wurden Nickel-Titan-Instrumente bis zu 14mal für 30 Minuten in einem Autoklaven sterilisiert. Es zeigte sich, dass sich vermehrt Titanoxide auf der Oberfläche ablagerten. Weiter untersuchten Valois et al. (47) rotierende Nickel-Titan-Instrumente und wollten in ihrer Studie die Auswirkung der Sterilisation auf deren Oberfläche feststellen. Multiple Sterilisationsvorgänge förderten die Zunahme von Unregelmäßigkeiten an der Oberfläche von Nickel-Titan-Instrumenten. Diese Beobachtungen konnten in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden.

5.5 Korrelation zwischen Biegemoment, Verdrehwinkel, Bruchfestigkeit und der Instrumentenquerschnittsfläche

Um eine Korrelation zwischen den einzelnen Kriterien - Biegemoment, Verdrehwinkel und Bruchfestigkeit – und der jeweils ermittelten Instrumentenquerschnittsfläche herzustellen, wurde der Pearsons-Koeffizient r berechnet (Kap. 4, Tab. 14). Die berechneten Werte des Koeffizienten erstrecken sich im Intervall zwischen $+1$ und -1 . Bei einem positiven Wert spricht man von einer „kompletten positiven Wechselbeziehung“, bei einem negativen Wert von einer „kompletten negativen Korrelation“. Die positive Korrelation stellt sich in der Grafik als eine Gerade mit positiver Steigung dar (Kap. 4, Abb. 19 & 23). Eine negative Wechselbeziehung wird durch eine absteigende Gerade im Diagramm dargestellt (Kap. 4, Abb. 21). Der Pearsons Koeffizient nahe Null deutet auf das Fehlen einer Wechselbeziehung zwischen den o. g. Kriterien und der Querschnittsfläche hin.

5.5.1 Biegeverhalten und Querschnittsfläche

Der Pearsons Koeffizient für die Kriterien Biegeverhalten und Querschnittsfläche betrug $r = 0,954$. Die Gerade im Korrelationsdiagramm weist eine positive Steigung auf (Kap. 4, Abb. 19). Dieses Ergebnis lässt eine starke Korrelation zwischen dem Biegemoment und der Querschnittsfläche der in dieser Arbeit untersuchten Instrumente erkennen.

Offensichtlich stellen sowohl die Querschnittsfläche als auch das Design des Querschnitts einen relevanten Parameter für das Biegeverhalten von Wurzelkanalinstrumenten dar. Schäfer und Tepel (49) untersuchten fünf spezialangefertigte Instrumententypen für die manuelle Wurzelkanalaufbereitung mit unterschiedlichen Querschnittskonfigurationen bezüglich des Biegeverhaltens. Die so ermittelten Ergebnisse stimmen weitestgehend mit jenen dieser Arbeit überein. Weiter werden diese Ergebnisse durch mathematische Berechnungen bestätigt (50, 51). Die Autoren (50)

verglichen HERO-Instrumente mit einem Helix-Querschnitt (Micro Méga, Besançon, Frankreich) und ProFile-Instrumente (Dentsply Mailefer, Ballaigues, Schweiz) mit einem U-Querschnitt in einer dreidimensionalen Modellstudie miteinander. Dabei berechneten sie vorab die Querschnittsfläche und führten eine theoretische Biegebelastung dieser Instrumente durch. Die Querschnittsfläche der HERO-Instrumente war ca. 30% größer als die der ProFile-Instrumente. Es zeigte sich in diesem Modell, dass die Instrumente mit der größeren Querschnittsfläche deutlich weniger flexibel waren als die Instrumente mit der kleineren Querschnittsfläche (ProFile). Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass die Querschnittsfläche und das Biegeverhalten in direkter Korrelation zueinander stehen.

Betrachtet man die in dieser Arbeit untersuchten Instrumente im Einzelnen (Kap. 4, Abb. 20b & c), bestätigen sich die Ergebnisse aus den vorangenannten Studien (48, 49, 50, 51). Mit größer werdender Querschnittsfläche nahm auch das Biegemoment zu. Die Einzelbetrachtung zeigt allerdings eine Ausnahme - die unbeschichteten EasyShape-Instrumente (Kap. 4, Abb. 20a). Die beiden Geraden in der Abbildung nehmen keinen divergenten oder parallelen Verlauf, wie voran genannte Studien erwarten lassen, sondern einen konvergenten. Dies zeigt, dass das Biegemoment mit größer werdender Querschnittsfläche nicht zu-, sondern abnahm. Wie in der Fehlerdiskussion (5.2.2) beschrieben, ist hier ein methodischer Fehler nicht auszuschließen.

5.5.2 Verdrehwinkel und Querschnittsfläche

Der Pearsons Koeffizient für die Kriterien Verdrehwinkel und Querschnittsfläche betrug $r = -0,125$. Die Gerade im Korrelationsdiagramm weist eine negative Steigung auf (Kap. 4, Abb. 21). Dieses Ergebnis lässt eine Korrelation zwischen dem Verdrehwinkel und der Querschnittsfläche der in dieser Arbeit untersuchten Instrumente erkennen.

Die Wichtigkeit dieser Variablen wird deutlich, wenn man das Korrelationsdiagramm genau begutachtet. Dieses zeigt auf, dass Instrumente mit einem kleineren Querschnitt größere Verdrehwinkel aufweisen, als Instrumente mit einer größeren Querschnittsfläche (Kap. 4, Abb. 22a-c). Klinisch wünschenswert sind Instrumente mit einem großen Verdrehwinkel - umso größer der Verdrehwinkel ist, umso häufiger kann ein an der Instrumentenspitze verklemmtes Instrument um die eigene Achse rotiert werden bis es frakturiert.

Betrachtet man die in dieser Arbeit untersuchten Instrumente im Einzelnen, bestätigen die Ergebnisse (Kap. 4, Tab. 10 & 11), dass die Instrumente mit einer kleineren Querschnittsfläche im Vergleich zu den Instrumenten mit einer größeren Querschnittsfläche der selben Instrumentengröße die größeren Verdrehwinkel aufwiesen. Sowohl die EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 als auch der Größe 35.04 wiesen durchschnittlich eine größere Querschnittsfläche als die Mtwo-Instrumente der entsprechenden Größe auf (Kap. 4, Tab. 7). Wie eingangs schon beschrieben, ist die Querschnittsfläche der EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 60% und der Größe 35.04 20% größer. In Abhängigkeit von der Instrumentengröße 25.06 und 35.04 erkennt man allerdings, dass die Verdrehwinkel mit größer werdender Instrumentengröße ebenfalls ansteigen.

5.5.3 Bruchfestigkeit und Querschnittsfläche

Der Pearsons Koeffizient für die Kriterien Bruchfestigkeit und Querschnittsfläche betrug $r = 0,943$. Die Gerade im Korrelationsdiagramm weist eine positive Steigung auf (Kap. 4, Abb. 23). Dieses Ergebnis lässt eine starke Korrelation zwischen der Bruchfestigkeit und Querschnittsfläche der in dieser Arbeit untersuchten Instrumente erkennen.

Im Korrelationsdiagramm wird deutlich, dass Instrumente mit einem kleineren Querschnitt eine niedrige Bruchfestigkeit aufweisen als Instrumente mit einem großen Querschnitt.

Klinisch wünschenswert sind Instrumente mit einer großen Bruchfestigkeit. Dieses wird in der Einzelbetrachtung der in dieser Arbeit untersuchten Instrumente bestätigt (Kap. 4, Abb.24a-c). Mit größer werdenden Querschnittsflächen steigt das Torsionsmoment an. Wie beschrieben, wiesen die EasyShape-Instrumente der Größen 25 und 35 die größeren Instrumentenquerschnittsflächen gegenüber den Mtwo-Instrumenten auf. Im Durchschnitt sind die Querschnittsflächen der EasyShape-Instrumente bis zu 60% größer, sodass diese auch die größeren Torsionsmomente zeigten. Dieses Ergebnis wird durch den theoretisch durchgeführten Modellversuch von Turpin et al. (50) bestätigt. In dieser Untersuchung wiesen ebenfalls die Instrumente mit der größeren Querschnittsfläche größere Torsionsmomente auf. Die Instrumente mit der kleineren Querschnittsfläche waren hingegen weniger bruchfest.

Sowohl die Ergebnisse des Verdrehwinkels als auch die Ergebnisse zur Bruchfestigkeit bestätigen die Untersuchungen, die von Schäfer und Tepel (49) durchgeführt wurden. In dieser Studie stellten sie fest, dass die Fraktureigenschaften hauptsächlich durch den Instrumentenquerschnitt beeinflusst wurden.

5.6 Zusammenfassende Bewertung der untersuchten Instrumente

Die gesamten Ergebnisse dieser Studie belegen, dass eine direkte Korrelation zwischen dem Biege- und Frakturverhalten und dem Instrumentenquerschnitt bestehen. Das Biege- und Torsionsmoment sind zur Querschnittsfläche positiv proportional. Der Verdrehwinkel und die Querschnittsfläche sind zueinander negativ proportional.

Im Endeffekt bedeutet dieses, dass ein Instrument mit einer kleinen Querschnittsfläche ein geringes Biegemoment und einen großen Verdrehwinkel aufweist. Ein Instrument mit einer vergleichsweise großen Querschnittsfläche zeigt hingegen eine große Bruchfestigkeit. Dieses Instrument ist allerdings weniger flexibel und kann beim Verklemmen im Wurzelkanal nicht so häufig um die eigene Achse rotiert werden wie ein Instrument mit einer vermeintlich kleineren Querschnittsfläche.

Inwieweit das Biegeverhalten und das Frakturverhalten relevant sind, ist nur unter Berücksichtigung weiterer Kriterien wie die Schneidleitung und der Aufbereitung gekrümmter Kanäle möglich. In der Literatur liegen hierzu Untersuchungen vor (52, 53), die besagen, dass das Biegeverhalten die geringste Bedeutung für die klinische Bewertung aufweisen. Auf Grundlage des Biegeverhaltens sind keine Aufschlüsse bezüglich der Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte möglich (5, 43, 54). Es liefert allenfalls Hinweise bezüglich aufbereitungsbedingter unerwünschter Formveränderungen im gekrümmten Wurzelkanal. Dementsprechend ist dem Frakturverhalten eine größere klinische Bedeutung beizumessen. Allerdings verhält sich dieser Parameter bei Nickel-Titan-Instrumenten schwierig, da sie eine Superelastizität aufweisen (1, 2) und keine makroskopisch sichtbaren Deformationen zeigen (46).

Wie inzwischen mehrfach beschrieben, korrelieren sowohl die Biege- als auch die Fraktureigenschaften der Nickel-Titan-Instrumente direkt mit der Querschnittsfläche. Die EasyShape-Instrumente weisen gegenüber den Mtwo-Instrumenten eine massivere Querschnittsstruktur auf, was sich in der Querschnittsflächenberechnung darstellt (Kap. 4, Abb. 7). Unter Berücksichtigung der Reinigungs- sowie Sterilisationszyklen, die auf

vorangenannte Eigenschaften keinen signifikanten Einfluss nahmen, zeichnen sich die Mtwo-Instrumente der Größe 25.06 und 35.04 durch eine außergewöhnlich große Flexibilität aus und erzielten zudem einen großen Verdrehwinkel. Die unbeschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 35.04 zeigten einen großen Verdrehwinkel und für beide Instrumentengrößen 25.06 und 35.04 eine hohe Bruchfestigkeit. Die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 und 35.04 zeichneten sich durch ihre hohe Bruchfestigkeit aus.

6 Zusammenfassung

Das Torsions- und Biegeverhalten von Mtwo-, PVD-(TiN)-beschichteten und unbeschichteten EasyShape-Instrumenten zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung wurde in Anlehnung an die ISO-Norm 3630-1 und in Abhängigkeit von der Querschnittsfläche der Instrumente untersucht.

Anfänglich wurde von den untersuchten Instrumenten mit einem speziellen Schleifgerät bei 3mm von der Instrumentenspitze die Querschnittsfläche ermittelt. Es zeigte sich, dass die EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 eine etwa 60% größere Fläche als die Mtwo-Instrumente gleicher Größe aufwiesen. Die EasyShape-Instrumente der Größe 35.04 waren durchschnittlich 20% größer als die Mtwo-Instrumente.

Das Biegeverhalten wurde mit einem Prüfgerät gemäß der ISO-Norm 3630-1 bei einem Biegewinkel von 45° untersucht. Sowohl die EasyShape- als auch die Mtwo-Instrumente erfüllten die Mindestanforderungen nach der ISO-Norm 3630-1. Die Mtwo-Instrumente zeigten für beide Größen 25.06 und 35.04 die geringsten Biegemomente, sodass diese Instrumente als äußerst flexibel bewertet werden können. Die unbeschichteten und TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente wiesen für beide Instrumentengrößen hohe Biegemomente auf, womit sie signifikant weniger flexibel waren. Zwischen dem Biegemoment und der Querschnittsfläche zeigte sich eine starke Korrelation, sodass sich die Instrumentenquerschnittsfläche als ein wichtiger Parameter bezüglich des Biegeverhaltens darstellte.

Das Frakturverhalten wurde ebenfalls mit einem speziell nach der ISO-Norm 3630-1 hergestellten Prüfgerät untersucht. Dieses wird in zwei Kriterien, dem Verdrehwinkel und der Bruchfestigkeit unterteilt. Die Mtwo-Feilen beider Instrumentengrößen erfüllten die Mindestanforderungen gemäß der ISO-Norm 3630-1 zum Verdrehwinkel ausnahmslos, wohingegen die unbeschichteten und TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 durchschnittlich

diese Anforderungen nicht erfüllten. Dabei zeigten die unbeschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 35.04 ähnlich große Verdrehwinkel wie die Mtwo-Instrumente. Zwischen den Parametern Verdrehwinkel und Querschnittsfläche konnte eine Korrelation festgestellt werden, die sich allerdings als negative oder umgekehrte Korrelation darstellte.

Alle untersuchten Instrumente erreichten ohne Ausnahme die Mindestanforderungen gemäß der ISO-Norm 3630-1 für die Bruchfestigkeit. Wobei die unbeschichteten als auch die TiN-beschichteten EasyShape-Instrumente der Größe 25.06 und 35.04 signifikant höhere Torsionsmomente aufwiesen als die Mtwo-Instrumente. Die Bruchfestigkeit und die Instrumentenquerschnittsfläche korrelieren stark miteinander.

Aufgrund der bestehenden Korrelation zwischen Verdrehwinkel, Bruchfestigkeit und der Querschnittsfläche kann die Querschnittsfläche als ein wichtiger Faktor bezüglich des Frakturverhaltens betrachtet werden.

Bevor die Instrumente untersucht wurden, wurden diese in drei Desinfektions-, Reinigungs- und Sterilisationsgruppen (DRS) eingeteilt. Mit diesen drei Gruppen wurden unterschiedliche Aufbereitungszyklen (DRS-Zyklen) vollzogen. Die erste Gruppen waren unaufbereitete beziehungsweise neue Instrumente, die zweite wurde 5mal und die dritte wurde 10mal aufbereitet. Es zeigte sich, dass die DRS-Zyklen keinen signifikanten Einfluss auf das Biege- und Frakturverhalten der untersuchten Instrumente nahmen.

Zusammenfassend kann der Schluss gezogen werden, dass die Querschnittsfläche einen signifikanten Einfluss auf das Biege- und Frakturverhalten von rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten zur Wurzelkanalaufbereitung nimmt. Wohingegen sich die hygienische Aufbereitung (DRS-Zyklen) nicht auf die Eigenschaften der Instrumente auswirkte.

7 Literaturverzeichnis

1. Schäfer E (1997) Root-Canal instruments for manual use: a review. *Endod Dent Traumatol* 13, 51-64.
2. Thompson SA (2000) An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 33, 297-300.
3. Bergmans L, van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P (2001) Mechanical root-canal preparation with NiTi rotary Instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 14, 324-333.
4. Walia H, Costas J, Brantley W, Gerstein H (1989) Torsional ductility and cutting efficiency of Nitinol file. *J Endod* 15, 174 (abstract).
5. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W (1997) Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 3. Resistance to bending and fracture. *J Endod* 23, 141-145.
6. Haikel Y, Serfaty R, Wilson P, Speisser JM, Allemann C (1998) Cutting efficiency of nickel.titanium endodontic instruments an the effect of sodium hypochlorite treatment. *J Endod* 11, 266-268.
7. Serene TP, Adams JD, Saxena A (1995) Nickel-Titanium Instruments. Applications in Endodontics. St. Louis, MO, USA: Ishiaku EuroAmerica.
8. Andreasen GF, Morrow RE (1978) Laboratory and clinical analyses of nitinol wire. *Am J Orthod* 73, 142-151.

9. Civjan S, Huget EF, DeSimon LB (1975) Potential applications of certain nickel- titanium (nitinol) alloys. J Dent Res 54, 89-96.
10. Heisterkamp CA, Buehler WJ, Wang FE (1969) 55-NiTiInol: a new biomaterial, paper presented at the 8th International Conference on Medical and Biomedical Engineering (Chicago).
11. Zmener O, Balbachan L (1995) Effectiveness of nickel- titanium files for preparing curved root canal. Endod Dent Traumatol 11, 121-123.
12. Esposito PT, Cummingham CJ (1995) A comparison of canal preparation with nickel- titanium and stainless steel instruments. J Endod 21, 173-176.
13. Allison DA, Weber CR, Walton RE (1979) The influence of the canal preparation on the quality of apical and coronal obturation. J Endod 5, 298-304.
14. Krekes K, Tronstad L (1979) Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. J Endod 5, 83-90.
15. Walton RE (1992) Current concepts of canal preparation. Dent Clin North Am 36, 309-326.
16. Grossmann LI, Oliet LIS, del Rio CE (1988) Endodontic Practice. Lea & Febiger 11th Edition, Philadelphia.
17. Schirrmeister JF (2006) Die Möglichkeiten der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. ZBW 10, 45-49.

18. Goerig A, Michelich R, Schultz H (1982) Instrumentation of root canals in molars using the step-down technique. J Endod 8, 550-554.
19. Morgan LF, Montgomery S (1984) An evaluation of crown-down pressureless technique. J Endod 10, 491-498.
20. Saunders WP, Saunders E M (1994) Comparison of three instruments in the preparation of the curved root canal using a double-flared technique. J Endod 20, 440-444.
21. Ingle JI (1961) A standardized endodontic technique using newly designed instruments and filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14, 83-91.
22. Gerner W (2007) Das Mtwo-System und die Single-Length-Technik - eine Übersicht. Dentalzeitung 3, 60-65.
23. Holsten D (2009) Der feine Unterschied bei NiTi-Feilensystemen. ZWP 7+8, 52-53.
24. DIN EN ISO 3630-1 (2008) Zahnheilkunde-Wurzelkanalinstrumente-Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren. Deutsche Fassung EN ISO 3630-1:2008.
25. Dzepina A (2004) Das Torsions- und Biegeverhalten von Nickel-Titan-Instrumenten zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung in Abhängigkeit von der Querschnittsform der Instrumente, Med Diss Münster.
26. Komet/Brasseler, Lemgo (2004) Werkstoffdatenblatt Titannitrid.
27. Lee DH, Park JB, Saxena A, Serene TP (1996) Enhanced surface hardness by boron implantation in Nitinol alloy. J Endod 22, 43-46.

28. Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR, Fragalk I, Condorelle GG (2000) The effect of surface treatments of nickel-titanium files on wear a cutting efficiency. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 89, 363-368.
29. Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR, Condorelli G G, Torrisi L (2001) Wear of nickel-titanium endodontic instruments evaluated by scanning electron microscopy: effect of ion implantation. J Endod 27, 588-592.
30. Schäfer E (2002), Effect of physical vapor deposition (PVD) on cutting efficiency of nickel-titanium files. J Endod 28, 800-802.
31. Rapisarda E, Bonaccorsa A, Tripi TR (1999) Effect of sterilization on the cutting efficiency of rotary nickel-titanium endodontic files. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 88, 343-347.
32. Grohmann FR, Mathey Y (1991) PVD-coating in dentistry. Zahnärztl Mitt 81, 30-31.
33. Smith DL (1995) Thin film deposition: principles and practice. MacGraw-Hill, New York.
34. Brockhurst P, Hau E (1998) Hardness and strength of endodontic instruments made from NiTi alloy. Aust Endod J 24, 115-119.
35. Schäfer E, Oitzinger M (2008) Cutting efficiency of five different types of rotary nickel-titanium instruments. J Endod 34/2, 198-200.
36. Peters OA, Roehlike JO, Baumann MA (2007) Effect of immersion in sodium hypochlorite on torque and fatigue resistance of nickel-titanium instruments. J Endod 33, 589-593.

37. Schäfer E, Erler M, Dammaschke T (2006) Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 39, 196-202.
38. Schäfer E, Erler M, Dammaschke T (2006) Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted tooth. *Int Endod J* 39, 203-212.
39. Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F (2006) Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J* 39, 755-763.
40. Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S (2005) A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J* 38, 610-616.
41. Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F (2006) A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo NiTi instruments. *Int Endod J* 39, 716-723.
42. Sonntag D, Peters OA (2007) Effect of prion decontamination protocols on nickel-titanium rotary surfaces. *J Endod* 33, 442-446.
43. Schäfer E (1998) *Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz: Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte. Quintessenz, Berlin.*
44. Camps JJ, Pertot W (1994) Relationship between file size and stiffness of stainless steel instruments. *Endod Dent Traumatol* 10, 260-263.

45. Schäfer E (1998) Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Instrumente zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. *Endodontie* 7, 323-335.
46. Viana AC, Gonzalez BM, Buono VT, Bahia MG (2006) Influence of sterilization on mechanical properties and fatigue resistance of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Int Endod J* 39, 709-715.
47. Valois CR, Silva LP, Azevedo RB (2008) Multiple autoclave cycles affect the surface of rotary nickel-titanium files: an atomic force microscopy study. *J Endod* 34, 859-862.
48. Schäfer E, Dzepina A, Danesh G (2003) Bending properties of rotary nickel-titanium instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96, 757-763.
49. Schäfer E, Tepel J (2001) Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 3. Resistance to bending and fracture. *J Endod* 27, 299-303.
50. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM (2000) Impact of two theoretical cross sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endod* 26, 414-417.
51. Turpin YL, Chagneau F, Bartier O, Cathelineau G, Vulcain, JM (2001) Impact of torsional and bending inertia on root canal instruments. *J Endod* 27, 333-336.
52. Tepel J (1995) Biegeverhalten von Wurzelkanalinstrumenten. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 146-149.

- 53.** Schäfer E, Tepel J, Hoppe W (1994) Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen zur Wurzelkanalaufbereitung. Zahnärztl Welt 103, 90-96.

- 54.** Tepel J, Schäfer E (1997) Endodontic hand instruments: cutting efficiency, instrumentation of curved canals, bending and torsional properties. Endod Dent Traumatol 13, 201-210.

8 Danksagung

Herrn Prof. Dr. E. Schäfer möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und die hilfreiche Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit herzlich danken.

Weiter möchte ich mich bei den Kollegen der Firma Komet/Brasseler für die Unterstützung und die Hilfe bei der Umsetzung der einzelnen Prüfungen bedanken.

Last but not least! Möchte ich mich bei meiner Familie Maya, Moritz und Daniela bedanken, die es mir ermöglicht haben, jederzeit diese Arbeit umzusetzen.

9 Lebenslauf

