

# Vergleich drehmomentbegrenzter Antriebssysteme in der Endodontie

von Katharina Grötsch\* und Markus Borgschulte\*\*

**MÜNCHEN – Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Drehmomentbegrenzungen von diversen drehmomentbegrenzten Motoren und Winkelstücken für die Endodontie miteinander zu vergleichen und auf ihre Genauigkeit zu untersuchen. Anlass gaben teilweise kontroverse Ergebnisse aus vorangegangenen Studien zu diesem Thema sowie einem neuen klinisch verbesserten Versuchsaufbau zur Messung der Abschaltmomente.**

Anhand einer Vergleichsmessung an einem extrahierten Prämolaren bestätigte sich die klinische Eignung des hier verwendeten Versuchsaufbaus. Es wurden acht verschiedene Motoren und zwei Winkelstücke bei einer Drehzahl von 300 min<sup>-1</sup> und den eingestellten Drehmomenten 1, 2, 3, 4 und 5 Ncm mit je fünf Wiederholungsmessungen vermessen. Ermittelt wurde das Drehmoment bei dem der Endomotor abschaltete bzw. das Winkelstück auskuppelte.

Die größte Abweichung zeigte der ATR Tecnika mit über dem Doppelten vom Sollwert mit +123%. Die besten Ergebnisse lieferten der VDW.SILVER, der Endo IT professional und E-Master, deren Werte bei allen eingestellten Drehmomenten innerhalb einer ±20-Prozent-Toleranzgrenze blieben.

Im Allgemeinen eignen sich die drehmomentbegrenzten Motoren sehr gut zur maschinellen Aufbereitung, da sie gute bzw. akzeptable Messwerte liefern und so vor Feilenfrakturen schützen. Sie sind also durchaus für die hohen Ansprüche in der Endodontie geeignet und verbessern die Aufbereitungsqualität sowie die Effizienz. Auch die Winkelstücke liefern akzeptable

\*Katharina Grötsch ist gelernte Zahnärztin mit anderthalbjähriger Berufserfahrung und studiert derzeit Feinwerktechnik & Mechatronik mit der Vertiefungsrichtung Medizintechnik an der Hochschule München.

\*\*Markus Borgschulte ist Diplomingenieur Physikalische Technik Fachrichtung Biomedizintechnik, sowie Master of Business Administration & Engineering und arbeitet derzeit als Projektmanager der R&D Abteilung bei der VDW GmbH in München.

Ergebnisse, schneiden jedoch im direkten Vergleich mit den Endomotoren eher schlecht ab, da diese genauer einstellbar sind und diverse, hilfreiche Zusatzfunktionen bieten.

## Ziele der Endodontie

Primäres Ziel einer jeden endodontischen Behandlung ist die Erhaltung des erkrankten Zahnes und die dauerhafte Verhütung von schädlichen Auswirkungen auf den Gesamtorganismus, die von diesem Zahn ausgehen können. Hierfür muss bei der Aufbereitung auf eine vollständige Entfernung von vitalem und nekrotischem Pulpagewebe geachtet werden, sowie die Entfernung von Mikroorganismen aus dem Wurzelkanal und Kanalwänden.<sup>7,9</sup>

## Manuelle versus maschinelle Aufbereitung

Um diese Ziele zu erreichen, gibt es die Möglichkeiten der manuellen und maschinellen Aufbereitung. Die maschinelle Aufbereitung wird inzwischen als Erleichterung und Beschleunigung des Arbeitsaufwandes gegenüber der manuellen Aufbereitung angesehen. Der erste Motor zur maschinellen Aufbereitung wurde bereits 1899 von William H. Rollings entwickelt, welcher im Bewegungsablauf aber recht starr ausgelegt war. Der eigentliche Einzug der maschinellen Aufbereitung in zahnärztliche Praxen begann jedoch erst mit der Einführung des Racer-Systems (1958) und des Giro-matic-Winkelstücks (1964), aber auch hier war der Bewegungsablauf meist starr und vorgegeben. Erst in den 80er-Jahren haben Weiterentwicklungen zu immer aufwendigeren Systemen geführt. Geräte wie der Endoplaner (rein koronalwärts gerichtete Schabbewegung), das Canal-Finder-System und der Canal Leader 2000 („helikoidales“ Bewegungsmuster), das Excalibur-Winkelstück (niedrigfrequente laterale Schwingung) und das Endoflash-System (drehmomentbegrenzte Rotation) ermöglichen nicht nur eine Kombination aus Dreh- und Hubbewegung, sondern auch ein Reagieren auf ein Verhaken der Feile.

## Edelstahl vs. Nickel-Titan-Feilen

Durch die Einführung von NiTi-Systemen in Kombination mit der maschinellen Aufbereitung wurde aufgrund der Materialeigenschaften des Nickeltitanwerkstoffes und neuer Feilengeometrien die Arbeit des Zahnarztes wesentlich erleichtert. NiTi-Instrumente haben aufgrund ihrer kristallografischen Struktur eine gewisse Pseudoelastizität, die ihnen eine lineare Verformung von bis zu 7% ermöglicht, ohne dass eine bleibende Deformation auftritt.<sup>11,12</sup> Die Gitterebenen werden dabei einzeln transformiert, und diese Einzelwerte zu einer Gesamtdehnung aufsummiert. Diese Eigenschaft verhindert allerdings auch eine frühzeitige Erkennung von Materialermüdung, was eine rechtzeitige Aussortierung erschwert und so das Frakturrisiko erhöht. Diese Charakteristik erfordert einen Überlastschutz zur Überwachung des maximalen Drehmoments.

Edelstahlinstrumente in Motoren ohne Drehmomentbegrenzung werden nur spezifisch für die Erweiterung des Kanaleingangs verwendet. Allgemeines Materialverhalten sowie Feilenprofil sprechen gegen weitere Einsatzmöglichkeiten. Für die rotierende Wurzelkanalaufbereitung sind Edelstahlinstrumente nicht geeignet.

## Deformation und Separation

Während der Präparation eines Wurzelkanals sind die Instrumente den unterschiedlichsten Kräften und Drehmomenten ausgesetzt. Überschreiten diese Kräfte/Lastdrehmomente die Bruchgrenze, so kann es, nach vorausgehender Deformation (meist bei Stahlinstrumenten), zu einer Separation kommen. Die Höhe des auf die Feile einwirkenden Drehmoments ist von mehreren Parametern des Instruments (Spitzengröße, Konizität, Material, Geometrie) und der Anwendung (Kanalgröße, Kanalbeschaffenheit, Art des Schmiermittels, Drehzahl, Erfahrungsgrad des Behandlers) abhängig. Besonders der Einfluss der Drehzahl wurde oft diskutiert. So sollten nach einer Studie von D. W. Daugherty beispielsweise Profile .04 taper Serie 29 rotierender Instrumente bei einer Drehzahl von 350 min<sup>-1</sup> betrieben werden, um nahezu die doppelte Effizienz bei halber Deformationsrate zu erhalten.<sup>5</sup> Die höhere Effizienz vermindert auch den vom Behandler ausgeübten Druck auf das Instrument und somit auch das einwirkende Lastdrehmoment. Als weitere Einflussfaktoren werden in der Studie von P. Parashos auch das Feilendesign, der Herstellungsprozess, Reinigungs- und Sterilisationsprozess sowie die Präparationstechnik genannt.

Die Entfernung eines fraktu-

rierten Instrumentes kann sehr zeitaufwendig sein, und im schlimmsten Fall muss der Zahn extrahiert werden.

Abhilfe schafft neben der Verwendung von drehmomentkontrollierten Antrieben die Dokumentation der Behandlungshäufigkeit und der rechtzeitige Austausch des Instrumentes.

## Drehmomentgesteuerte Antriebssysteme

Das Drehmoment ist die physikalische Größe, die wirkt, wenn ein drehbarer Körper einer Kraft ausgesetzt wird und somit beschleunigt oder verzögert wird.<sup>20</sup>

Formel:  $M = r \times F$

mit  $M$  = Drehmoment [Nm],  
 $r$  = Hebelarm [m],  $F$  = Kraft [N]

Einheit:

1 Nm (SI) = 1 kg m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> = 100 Ncm  
⇒ 10.197,2 gcm ~ 10.000 gcm

Da die maximale Belastung der Nickel-Titan-Instrumente möglichst unterhalb der Grenze zur plastischen Verformung liegen sollte, dieser Bereich jedoch relativ klein und nur sehr schwer vom Behandler zu erkennen ist, kam es nach Einführung von NiTi-Instrumenten zu einer hohen Frakturrate. Um das Risiko des Feilenbruchs im Wurzelkanal zu minimieren, wurden Endomotoren und Winkelstücke mit einer automatischen Drehmomentkontrolle entwickelt. Die resultierende Verminderung des Frakturrisikos ist ein wesentlicher Fortschritt.

Zu Beginn dieser Anwendungen wurde mit niedrigen, aber konstanten Drehzahlen (für NiTi-Systeme meist 300 U/min) und einem hohen Drehmoment gearbeitet. Heute kommen überwiegend Motoren mit variablem Drehmoment, welche individuell auf die diversen Belastungsgrenzen abgestimmt werden können, zum Einsatz.

Prinzipiell kann man die Systeme nach zwei Kriterien unterscheiden: Zum einen in der Antriebsform (über die Dentaleinheit oder einem separaten Mikromotor) und zum anderen in der Einstellungsmöglichkeit der Drehmoment- und Drehzahlwerte bzw. feilenspezifischer Stufen.

Für den Einsatz in Kombination mit zahnärztlichen Behandlungseinheiten werden Winkelstücke mit einer Untersetzung (z. B. 128:1, 64:1) eingesetzt, um eine Drehzahl von circa 300 min<sup>-1</sup> zu erreichen. Die Drehmomentbegrenzung wird mithilfe von Rutschkupplungen (4-stufig, Anthogyr NiTi Control) oder Magnetkupplungen (5-stufig, Mtwo® direct; SIRONiTi) realisiert.

An drehmomentkontrollierten Mikromotoren werden einfa-

che Winkelstücke (1:1, 5:1 etc.) verwendet, und das abgegebene Drehmoment wird elektronisch anhand der Strom-Drehzahlkennlinie begrenzt. Hier erfolgt die Unterteilung des Drehmoments in stufenspezifische Programmierung und/oder feilenspezifischer Programmierung.

Der Motor bzw. das Winkelstück sollte bei Erreichen der eingestellten Drehmomentschwelle stoppen oder in den Rückwärtsmodus wechseln. In der Realität ist das leider nicht immer der Fall. G. Yared hat in einer seiner Studien fünf TCM Endo III Motoren auf die Exaktheit ihrer Drehmomentbegrenzung getestet und zweifelt stark an deren Nützlichkeit, um Feilenbrüche zu vermeiden.<sup>23</sup> Auch D. Schmidt und M. Frentzen veröffentlichten eine Studie, in der jeder/s Motor bzw. Winkelstück die eingestellten Torquewerte entweder weit über- oder unterschritten hatten.<sup>18</sup> Diese und weitere Studien stellen die Wirksamkeit eines drehmomentbegrenzten Motors zum Teil infrage.

## Material und Methoden

### Versuchsaufbau

Der statische Drehmomentensensor MT TS 10 der Firma Atlas Copco (SN: 241D1DB; Toleranz von ±1,0% vom Endwert), das zugehörige Messgerät Acta MT MTBU von Atlas Copco (SN: ACMT AC696CE) sowie eine Stativstange mit zugehöriger variabler Stativklemme wurden auf einer Aluminiumplatte montiert.

Der zweiteilige Adapter enthält einen Winkelstückschaft, welcher im Winkelstück eingespannt wird, und eine Vorrichtung, die im Sensor fixiert werden kann. In der Stativklemme wird das Handstück des Motors befestigt und so ausgerichtet, dass sich beide Teile des Adapters ohne Widerstand verschrauben lassen. In die Verschraubung des Adapters werden zusätzlich drei Präzisions-O-Ringe 3mm x 2mm der Firma HUG eingebracht.

### Diskussion des Versuchsaufbaus

In den Veröffentlichungen von Frentzen und Yared werden zwei verschiedene Methoden zur Ermittlung des Abschaltmoments von drehmomentbegrenzten Antrieben beschrieben. Grundsätzlich unterscheiden sich die Systeme dadurch, dass das Drehmoment statisch oder dynamisch ermittelt wird.

Basierend auf der ISO-Norm 36306 und einem Versuchsauf-

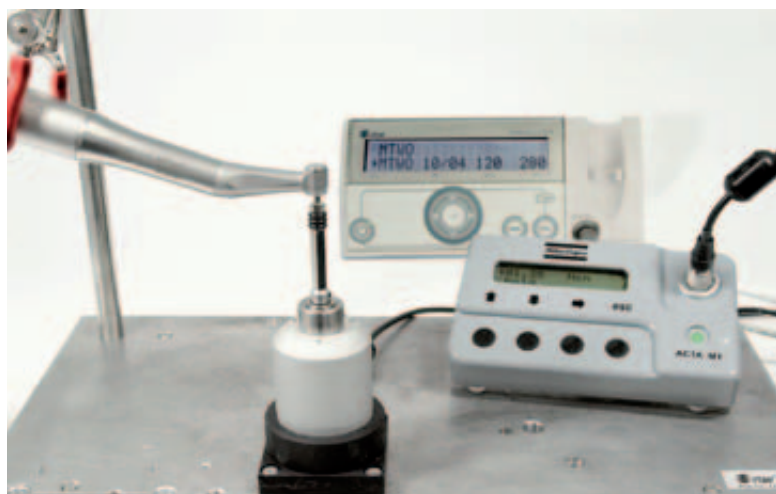


Abb. 1: Versuchsaufbau.

ANZEIGE



**Viel Express – Kein Risiko**

0800-522255  
www.express-labor.de

Wir sind zertifiziert nach ISO 9001:2000

←  
bau nach dem American National Standards Institute/American Dental Association (ANSI/ADA)<sup>1</sup> wurde der verwendete Drehmomentmessstand so weiterentwickelt, dass er der realen Situation im Wurzelkanal möglichst nahe kommt.

Der Versuchsaufbau stellt ein Modell dar, welches weder rein statisch noch rein dynamisch ist. Es wird zwar ein statischer Sensor verwendet, der jedoch durch die Präzisions-O-Ringe auch einen dynamischen Anteil erhält. Dieser ermöglicht durch die Dämpfung einen rampenartigen Anstieg des Widerstandsdrehmoments, was der tatsächlichen Situation im Wurzelkanal wesentlich näher kommt. Weitere Gründe für diese kombinierte Lösung sind verschiedene Nachteile der separat betrachteten Messvarianten. So addiert sich zu dem Drehmoment bei der rein statischen Messung das Drehmoment, das durch das abrupte Abstoppen der rotierenden Massen entsteht. Bei der dynamischen Messung werden durch die Notwendigkeit mehrerer Bauteile wie z.B. einer Kuppelung die Reibungskräfte im System (und rotierende Massen) erhöht, was die Messergebnisse verfälscht. Das hier verwendete Messsystem zeichnet sich durch einen sehr einfachen Aufbau aus, wodurch eine Verfälschung durch die Massenträgheit und Reibung minimiert wird. Es wird eine hohe Reproduzierbarkeit erreicht und die Realität trotzdem sehr gut simuliert.

**Versuchsdurchführung**

Für die verschiedenen Motoren werden Messwerte für verschiedene Drehzahl- und Drehmomenteneinstellungen aufgenommen. Die Versuchsparameter für die zu messenden Drehzahlen betragen 250, 300, 350 min<sup>-1</sup> sowie 1, 2, 3, 4 und 5 Ncm für das Drehmoment. Es werden fünf Wiederholungsmessungen durchgeführt. Nach jeder vorgenommenen Messung wird das Messgerät wieder auf Null zurückgesetzt.

Die Einstellungen im Display der Motoren betragen bei den hier ausgewerteten Messungen

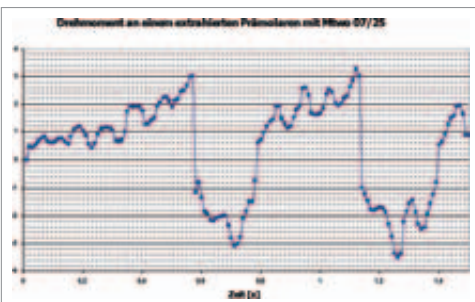


Abb. 2: Verlauf der Drehmomentkurve eines extrahierten Prämolaren 14 und der Verwendung einer Mtwo Feile 07/25.

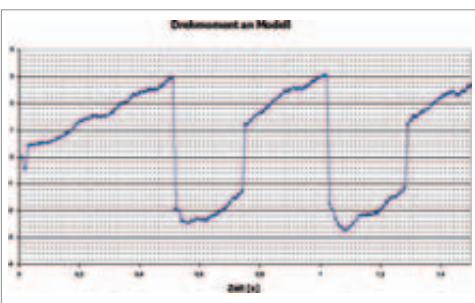


Abb. 3: Verlauf der Drehmomentkurve gemessen mit einem eigens dafür entwickelten Adapter.

eine Arbeitsdrehzahl von 300 min<sup>-1</sup>, da diese mit am häufigsten verwendet wird und bei allen Antriebssystemen einstellbar ist.

Des Weiteren wurde auch kein direkter Bezug zu bestimmten Feileneinstellungen genommen, sondern die Motoren rein auf ihre Funktionalität bezüglich des Abschalt Drehmoments getestet. Die Drehmomentschwellen wurden, wenn möglich, auf 1, 2, 3, 4 und 5 Ncm eingestellt.

Die vermessenen Winkelstücke, SIRONiTi und Mtwo direct, arbeiten mit einer Untersetzung von 115:1. Um eine Arbeitsdrehzahl von 300 min<sup>-1</sup> zu gewährleisten, wurde das Antriebssystem auf eine Drehzahl von 34.500 min<sup>-1</sup> eingestellt. Die Umrechnung der Feilenstufen des Mtwo direct auf die Zahlenstufen von SIRONiTi erfolgte wie in *Tabelle 1* angegeben. Daraus wurden folgende Feileneinstellungen für das Mtwo direct Winkelstück verwendet: 10/.04; 15/.05; 20/.06 und 25/.06. Der angegebene Drehmomentbereich für die einzustellenden Stufen wurde den Herstellerangaben in der Gebrauchsanweisung des SIRONiTi-Winkelstücks entnommen.

**Vergleich mit realer Situation**

Um die Funktionalität zu untermauern, wurden zusätzliche Vergleichsmessungen durchgeführt; hier beispielhaft an einem extrahierten Prämolaren (14) mit einer Feile (Mtwo 07/25) und dem Antriebssystem VDW.SILVER. Beide Messungen wurden mit einem VDW.SILVER (SN:5093) mit zugehörigem Motor (SN:SM8478) und einem Sirona-Winkelstück 6:1 (SN:05462) im Auto-Reverse-Modus durchgeführt.

Die Messung wurde bei einer Drehzahl von 300 min<sup>-1</sup> und einem eingestellten Drehmoment von 300 gcm bzw. 3 Ncm durchgeführt. Zum Vergleich eine Messung, mit dem in der Studie verwendeten Modell. Die Versuchsparameter (Drehzahl und Drehmoment) wurden nicht verändert.

Aus den beiden Diagrammen ist ersichtlich, dass sowohl der zeitliche Verlauf als auch der prinzipielle Verlauf der Drehmomentkurven nahezu identisch sind. Das Drehmoment beginnt bei Null und steigt dann rampenförmig bis zum Abschalt Drehmoment (die Feile dreht im Uhrzeigersinn). Erreicht das Lastdrehmoment die Abschaltsschwelle (hier bei 3 Ncm), stoppt der Motor, ändert die Laufrichtung und das Drehmoment fällt sprunghaft in den negativen Bereich. Hat sich die verhakte Feile gelockert, wechselt die Laufrichtung erneut und das Drehmoment steigt wieder bis zum Abschalt Drehmoment.

Auffällig ist, dass die Kurve des Modells wesentlich kontinuierlicher ist als die des extrahierten Zahnes. Diese lässt auf eine wesentlich bessere Reproduzierbarkeit des Modells schließen.

**Ergebnisse Systeme mit elektronischer Drehmomentbegrenzung**

Die Mittelwerte der tatsächlichen Drehmomentwerte, er-

zeugt von jedem der acht verschiedenen Motoren sowie die dazugehörigen Standardabweichungen werden in *Tabelle 2* gezeigt.

Die größten Schwankungen beim Abschalt Drehmoment weist der Endo Pilot bei 1 Ncm mit 0,18 Ncm (entspricht einer maximalen Standardabweichung 18%) auf.

Die mittlere Standardabweichung über alle Messungen beträgt 0,07 Ncm und spiegelt die gute Reproduzierbarkeit des Messaufbaus wider.

Diese Darstellung zeigt die relativen Abschalt Drehmomente bezogen auf das Soll-Abschalt Drehmoment (100%). Besonders auffällig ist die starke Abweichung beim ATR Technika bei 1 Ncm.

Tendenziell ist eine Abnahme des relativen Drehmoments bei steigendem Soll Drehmoment zu beobachten.

- Beim ATR Technika nimmt das relative Drehmoment um 141% ab (von 225% bei 1 Ncm auf 104% bei 5 Ncm)

- Beim X-Smart nimmt das relative Drehmoment um 58% ab (von 162% bei 1 Ncm auf 104% bei 5 Ncm)

*Abbildung 5* stellt die Abhängigkeit des Abschalt Drehmomentes von der Drehzahl dar. Je höher die Drehzahl eingestellt wurde, desto mehr nahm auch die Abweichung des Drehmoments zu.

**Systeme mit mechanischer Drehmomentbegrenzung**

*Tabelle 3* dokumentiert die an den drehmomentbegrenzenden Winkelstücken dargestellten Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen.

Beide Winkelstücke liegen im angegebenen Bereich, wobei Mtwo direct in Stufe 2 und 3 tendenziell etwas tiefer liegt, in Stufe 4 und 5 aber dafür etwas höher. Die Standardabweichung

liegt beim Mtwo-Winkelstück zwischen 0,01 und 0,05. Beim SIRONiTi dagegen zwischen 0,03 und 0,05.

Beim direkten Vergleich der beiden vermessenen Winkelstücke stellte sich heraus, dass das SIRONiTi-Winkelstück in allen fünf Stufen näher an der 100%-Linie ist. In Stufe 2 ist zwar eine eindeutige Abweichung zu erkennen, welche jedoch noch im angegebenen Drehmomentbereich liegt.

Beim Mtwo-Winkelstück fällt auf, dass die Messwerte immer etwas unter denen des SIRONiTi-Winkelstücks liegen, jedoch auch alle noch im entsprechenden Drehmomentbereich.

**Diskussion**

In letzter Zeit gab es immer wieder neue Diskussionen bezüglich drehmomentkontrollierter Antriebssysteme. Allerdings steht außer Frage, dass das Drehmoment, mit dem eine Feile belastet wird, der entscheidende Faktor für die Instrumentenfraktur ist.

Das Ziel dieser Studie war es in einem realitätsnahen Test die Exaktheit verschiedener drehmomentbegrenzter Antriebssysteme zu vergleichen. Es wurden acht drehmomentbegrenzte Antriebssysteme sowie zwei drehmomentbegrenzte Winkelstücke jeweils miteinander bezüglich ihrer Drehmomentbegrenzung verglichen. Die in der Studie verwendeten Winkelstücke haben keine Fehleinstellungen bezüglich ihrer Drehmomentwerte gezeigt. Die gemessenen Werte liegen alle in dem vom Hersteller angegebenen Toleranzbereich. Somit gewährleisten sie hohe Arbeitssicherheit.

Als Toleranzgrenze bezüglich des Soll-Drehmoments wird hier

±20% angenommen, die sich aus verschiedenen Ungenauigkeitsabschätzungen ergibt. Dabei summieren sich die diversen Toleranzen ausgehend von der Stromversorgung des Gerätes, über die gesamte Elektronik bis hin zum Winkelstück. Zusätzlich muss auch der Einfluss des manuellen Handlings beachtet werden, da die Motoren alle von Hand eingespannt und in die entsprechende Position gebracht wurden. Nicht zu vergessen ist auch die Eigentoleranz des Messwertaufnehmers.

Die Standardabweichung ist in der Stochastik ein Maß für die Streuung der Werte einer Zufallsvariable um ihren Mittelwert. In Versuchen wird sie im Allgemeinen als Maß für die Reproduzierbarkeit der Messwerte verwendet. Bei dieser In-vitro-Studie bewegen sich die durchschnittlichen Standardabweichungen der Motoren in einem Bereich von 0,03 Ncm bis 0,12 Ncm bzw. 1% bis 6%. Bei den Winkelstücken betragen sie 0,02 Ncm bzw. 1% (Mtwo direct) und 0,04 Ncm bzw. 3% (SIRONiTi). Diese relativ geringen Standardabweichungen deuten auf einen Versuchsaufbau hin, der eine gute Reproduzierbarkeit der Werte gewährleistet. Und damit deuten sie darauf hin, dass die höheren Schwankungen in den Messwerten des Endo IT control (0,12 Ncm, bzw. 4%) und des Endo Pilot (0,12 Ncm, bzw. 6%) auf die Motoren zurückzuführen sind.

Wie in *Abbildung 4* auf den ersten Blick zu erkennen ist, schalten einige Motoren bereits vor dem eingestellten Drehmoment ab oder erst beim Erreichen des zweifachen Maximalwertes. Andere liegen sehr nahe an der 100%-Linie.

Ausgehend von der ±20%-

Drehzahl	250-350 min <sup>-1</sup>							
Mtwo direct	10/.04	15/.05	20/.06	25/.06	30/.05	35/.04	40/.04	25/.07
SIRONiTi	2	3	4	5	2	3	4	5

Tab. 1: Herstellerangaben zur Einstellungsumrechnung von Mtwo und SIRONiTi.

Drehmoment bei 300 min <sup>-1</sup> (± Standardabweichung) [Ncm]								
eingestelltes Drehmoment	X-Smart	±	Endo IT prof.	±	Endo IT control	±	ATR Technika	±
1	1,62	0,02	1,15	0,02	1,34	0,08	2,23	0,03
2	2,45	0,02	2,16	0,13	2,70	0,10	2,70	0,04
3	3,35	0,05	3,23	0,06	3,82	0,18	2,88	0,03
4	4,29	0,02	4,20	0,09	5,16	0,12	3,25	0,03
5	5,19	0,03	5,04	0,14	6,38	0,13	4,05	0,05
Ø		0,03		0,09		0,12		0,03
	Endo Master	±	E-Master	±	VDW.SILVER	±	Endo Pilot	±
1	1,03	0,02	0,95	0,02	1,20	0,02	1,00	0,18
2	1,63	0,07	1,76	0,03	2,18	0,03	1,82	0,05
3	2,33	0,07	2,52	0,04	3,15	0,10	2,36	0,09
4	3,04	0,11			4,15	0,05	3,55	0,14
5							4,15	0,13
Ø		0,07		0,03		0,05		0,12

Tab. 2: Darstellung des durchschnittlich gemessenen Drehmoments mit Standardabweichung.

eingestellte Drehmomentstufe	Stufenbereich [Ncm]	Mittelwert [Ncm] bei 300 min <sup>-1</sup>			
		Mtwo direct	±	SIRONiTi	±
2	0,6-1,0	0,77	0,01	0,98	0,03
3	1,0-1,5	1,19	0,02	1,21	0,04
4	1,3-2,0	1,64	0,03	1,63	0,03
5	1,6-2,5	2,05	0,03	1,98	0,05

Tab. 3: Mittelwerte in Ncm der beiden Winkelstücke und deren Standardabweichung bei einer Drehzahl von 300 min<sup>-1</sup>.

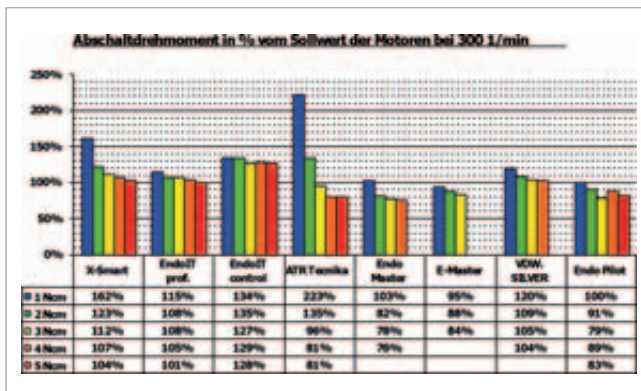


Abb. 4: Vergleichende Darstellung der prozentualen Ergebnisse der verschiedenen Endomotoren, wobei 100 % dem eingestellten Drehmoment entsprechen.

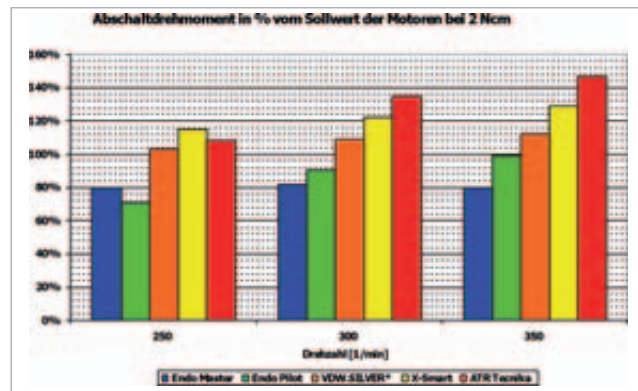


Abb. 5: Vergleichende Darstellung der prozentualen Ergebnisse bei verschiedenen Drehzahlen. \*Beim VDW.SILVER wurden die Drehzahlen 250, 300, 1.000 min<sup>-1</sup> verwendet.

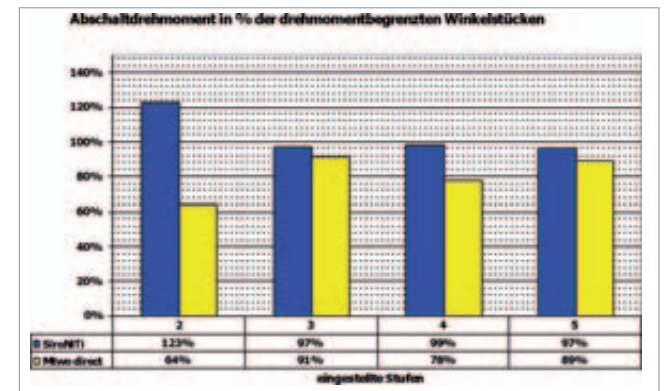


Abb. 6: Vergleichende Darstellung der prozentualen Ergebnisse der vermessenen Winkelstücke bei 300 min<sup>-1</sup>, wobei 100 % der eingestellten Drehmomentstufe entsprechen.

igen Toleranzgrenze bezüglich des eingestellten Drehmomentwertes bei den Motoren, liegen der VDW.SILVER (s=0,05), der Endo IT professional (s=0,09) sowie der E-Master (s=0,05) im akzeptablen Bereich und liefern somit die besten Ergebnisse. Einzig für den E-Master wäre eine allgemeine, leichte Anhebung der Drehmomente von Vorteil. Da er jedoch nicht mehr vertrieben wird, verliert diese Kritik an Relevanz. Beim VDW.SILVER sowie beim Endo IT professional nähern sich die relativen Werte bei steigendem Soll-Drehmoment immer besser der 100%-Linie an.

Zumindest teilweise bzw. größtenteils in der Toleranzgrenze liegen die Motoren Endo Pilot (s=0,12), X-Smart (s=0,05), ATR Tecnika (s=0,05) und Endo Master (s=0,07). Diese Ergebnisse sind bereits verbesserungswürdig. Es ist jedoch sinnvoll, eine weitere Unterscheidung bezüglich der positiven oder negativen Abweichung zu machen. Der Endo Master und der Endo Pilot liegen teilweise weit unter den geforderten 100 %. Dies hat zwar eine deutliche Abnahme der Effizienz zur Folge, ist jedoch keine unmittelbare Gefahr für Instrumentenfraktur. Anders beim ATR Tecnika und beim X-Smart. Hier liegen vor allem in den niedrigeren Drehmomentbereichen sehr starke positive Abweichungen (+122 % und +62 %) vor. Dies stellt nicht nur eine höhere, kritische Beanspruchung der Feile dar, sondern erhöht letztlich auch das Frakturrisiko ganz signifikant und ist somit klinisch keineswegs akzeptabel. Es ist zwar bekannt, dass die Drehmomentkontrolle durch die Regulierung der Motoren, besonders bei niedrigen Werten, sehr schwierig ist, jedoch muss man berücksichtigen, dass es durchaus Motoren gibt, die dazu in der Lage sind. Zumal sich ein Großteil der feilenspezifischen Einstellungen in diesen geringen Drehmomentbereichen finden lassen.

Der Endo IT control (s=0,12) liegt mit allen Ist-Werten über den Soll-Werten über der hier definierten Toleranzgrenze. Jedoch sind die Abweichungen, wie in Abbildung 4 deutlich zu sehen, kontinuierlich und erreichen bei Weitem nicht das Ausmaß des ATR Tecnika oder des X-Smart.

Zum Teil sind also die Forderungen, die D. Schmidt in seiner Studie bezüglich Arbeitssicherheit und Effizienz stellt, begründet.<sup>18</sup> Einige Hersteller sollten ihre Motoren weiteren Prüfungen unterziehen und gegebenenfalls

zukünftige Einstellungen besser adaptieren bzw. vorhandene Abweichungen z.B. mittels Software-Updates regulieren. Man kann jedoch nicht prinzipiell drehmomentbegrenzte Motoren für wenig sinnvoll erklären, wie diese Studie behauptet.

In einem allgemeinen Vergleich der Endomotoren gegenüber den Winkelstücken sollte man die unterschiedlichen Parameterbereiche betrachten. Dies betrifft hauptsächlich den deutlich kleineren Lastdrehmomentbereich. So kann man bei den meisten Motoren einen Drehmomentbereich von 0,2 Ncm bis 5 Ncm einstellen. Bei den Winkelstücken erstreckt sich der Bereich nur von 0,6 Ncm bis maximal 2,5 Ncm.

Zusätzlich lassen sich die Winkelstücke nur auf bestimmte Stufen, denen jeweils ein bestimmter Drehmomentbereich zugeordnet ist, einstellen. Es lässt sich also kein beliebiger und kein eindeutiger Wert einstellen. Bei den Motoren lassen sich im Gegensatz zu den Winkelstücken genaue Drehmomentwerte einstellen, wobei sich auch hier die Feinheit des Intervallbereichs von Motor zu Motor unterschei-

det. Bei der Versuchsdurchführung zeigte sich, dass sich einige Motoren wie der VDW.SILVER, der Endo Pilot und der X-Smart bezüglich der Vielfalt der Einstellungsmöglichkeiten/Bedienerfreundlichkeit deutlich positiv vom Rest abheben.

Weiter muss man auch berücksichtigen, dass diese Drehmomentstufen eine entscheidende Rolle in der Auswertung der Messergebnisse spielen. So sind die Abweichungen der Winkelstücke auf den Mittelwert des jeweiligen Stufenbereichs bezogen, da es die einzig sinnvolle Möglichkeit zur Auswertung war. Es bedeutet aber auch, dass die Messwerte zwar im Stufenbereich liegen, welcher jedoch durchaus einen Bereich von 0,9 Ncm umfassen kann, und deshalb keine genaue Abweichung ermittelt werden kann.

Bei den Winkelstücken wurde auch ein schlechteres Stopp-Verhalten festgestellt. Da diese mit einer Magnetkupplung arbeiten, wird bei Überschreitung des eingestellten Drehmoments lediglich ausgekuppelt. Dies führt dazu, dass das Winkelstück ruckelt. Dabei wird das

Lastdrehmoment wesentlich länger an der Feile gehalten anstatt es sofort zu reduzieren. Dadurch könnte der Zahn einer höheren Belastung ausgesetzt werden und somit auch das Frakturrisiko wieder erhöhen.

Des Weiteren bieten die meisten Endomotoren auch noch weitere Extras, die eine bessere Aufbereitung ermöglichen. In einer weiteren Studie von Yared und Kulkarni zeigte sich, dass die Präparationszeit mit einem Endomotor im Vergleich zu einem Winkelstück deutlich verkürzt wird. Dies ist Funktionen wie einem akustischen und/oder einem visuellen Warnsignal beim Erreichen der Drehmomentgrenze zu verdanken. Vor allem aber der „Auto-Reverse-Modus“ wie z.B. beim VDW.SILVER (kurz ASR) hat die Aufbereitung deutlich vereinfacht. Hier ändert sich die Laufrichtung des Motors beim Erreichen des eingestellten Drehmoments automatisch, um ein Verhaken der Feile und somit eine zu große Beanspruchung zu vermeiden.

Was man auch nicht aus den Augen lassen darf, ist die Auswirkung der wiederholten Anwen-

dung der Instrumente oder neuer Instrumente. Eine weitere Studie von G. Yared zeigt, dass die Anzahl der Wiederverwendung der Instrumente direkten Einfluss auf das Bruchdrehmoment sowie den -winkel hat. Mit zunehmender Anzahl nimmt das Bruchdrehmoment ab. Außerdem wurden diverse Feilendefekte bereits nach einmaliger Anwendung durch Experten festgestellt. Um eine noch höhere Arbeitssicherheit zu gewährleisten, sollten die Feilen zur rotierenden Aufbereitung folglich nur einmal verwendet werden. Wenn möglich, sollte ein noch unerfahrener Behandler vor der Anwendung einige Kurse zu verschiedenen Aufbereitungstechniken besucht haben, da dies ebenfalls das Frakturrisiko senkt. [19](#)

Das Literaturverzeichnis kann in der Redaktion angefordert werden.

**Kontakt**  
**Markus Borgschulte**  
 VDW GmbH München  
 Bayerwaldstraße 15  
 81737 München  
 markus.borgschulte@vdw-dental.com