

# Friktionseigenschaften von SL-Brackets – ein Thema auch in der Lingualtechnik?

Ein Beitrag von Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Christoph Peter Bourauel, Zahnarzt Ferid Al-Sakka, Dr. rer. nat. Dipl.-Math. Ludger Keilig, Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Susanne Reimann und OA Dr. med. dent. Nikolaos Daratsianos.

## Eigenschaften selbstligierender Brackets

Sogenannte selbstligierende Brackets werden mit zahlreichen herausragenden Attributen bewor-

den. Sogenannte selbstligierende Brackets werden mit zahlreichen herausragenden Attributen bewor-

den Brackets berichtet<sup>7-13</sup>, wie dies auch sehr eindrucksvoll im Interview mit Prof. Hans-Peter Bantleon in einer der letzten Ausgaben dieser Zeitung deutlich wurde.

Nichtsdestotrotz wurden in den letzten Jahren auch selbstligierende Brackets für die Lingualtechnik entwickelt. Sicher können in Anbetracht der besonders anspruchsvollen Situation für den Behandler in der Lingualtechnik die integrierten Verschlussmechanismen das Ligieren des Bogens erleichtern. Gleichzeitig wird aber auch wieder auf die Vorteile der selbstligierenden Brackets hingewiesen, insbesondere was die Reduktion der Reibung (in der Kieferorthopädie wird meist das Synonym Friktion verwendet) zwischen Bracket und Führungsbogen anbelangt. Dieser Beitrag soll daher über neuere Ergebnisse zu Reibungsuntersuchungen an selbstligierenden Brackets in der Lingualtechnik berichten.

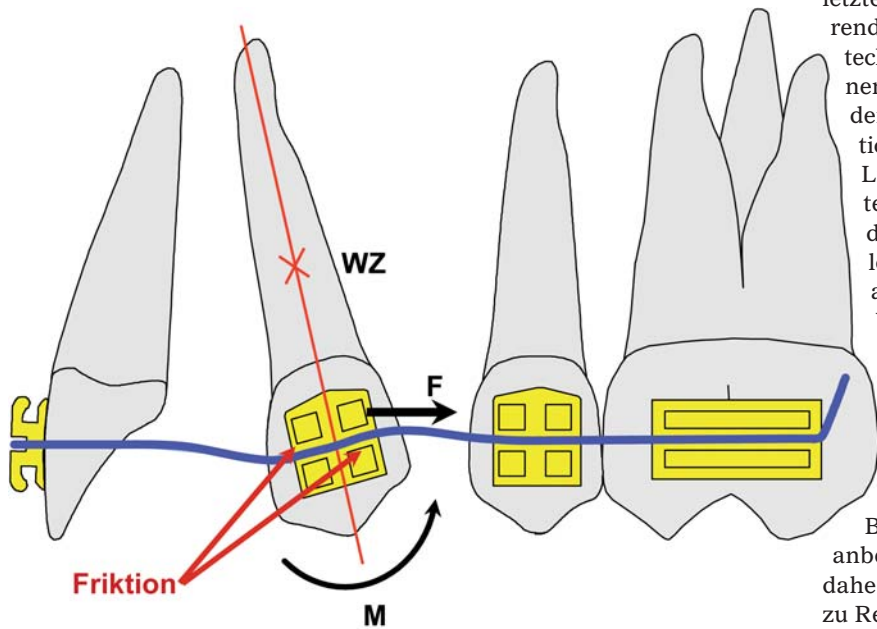


Abb. 1: Bogengeführte Zahnbewegung: In den Kontaktbereichen zwischen Führungsbogen und Bracketslot sowie Führungsbogen und Ligaturen wirken Kräfte, die zum Kraftverlust durch Friktion führen.

ben, die deren Vorzüge im klinischen Alltag zugunsten von Patienten und Behandler herausstellen sollen. Hierzu gehören vor allem eine Verkürzung der gesamten Behandlungszeit und einzelner Sitzungen, deutlich re-

duzierte Reibungsverluste im Verlauf der bogengeführten Zahnbewegung oder auch ein effektiverer Torqueübertrag bei aktiven selbstligierenden Brackets.<sup>1-6</sup> Die Ergebnisse der mittlerweile

## Die Reibung bei der bogengeführten Zahnbewegung

In den verschiedenen Multiband-/Multibracket-Techniken werden in einzelnen Phasen der Behandlung Zähne entlang eines Führungsbogens in mesialer oder distaler Richtung bewegt. Dadurch werden zwar unerwünschte Kippungen und Rotationen des Zahnes vermieden, jedoch geht ein Teil der eingesetzten Kraft durch Friktion verloren. Dieser Kraftverlust, der durch Anlagerung des Brackets an den Bogen hervorgerufen wird, kann bis zu 50% der eingesetzten Kraft betragen, in ungünstigen Fällen auch deutlich mehr. Die Abbildung 1 zeigt dies schematisch am Beispiel einer Eckzahnretraktion mit einer konventionellen Bracket/Bogen-Apparatur.

Eine ähnliche Situation liegt auch vor, wenn im Verlauf der Nivellierungsphase große initiale Stellungsunterschiede ausgeglichen werden müssen. In derartigen Fällen muss ein beträchtlicher Drahtanteil ungehindert durch die benachbarten Brackets gleiten können (vergleiche Abbildung 2). Kommt es durch Friktion zu einer Behinderung des Gleitvorgangs, so kann sich der Draht verklemmen und die Nivellierung kommt zum Stillstand.

Der Vorteil des verringerten Friktionsverlustes, der seitens verschiedener Autoren selbstligierenden Brackets bei den konventionellen Systemen zugesprochen wird, hat diverse Hersteller von Lingualbrackets veranlasst,

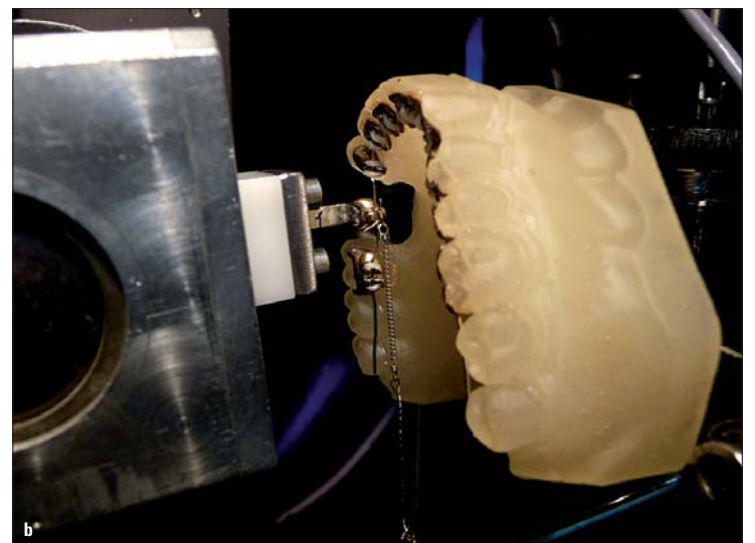
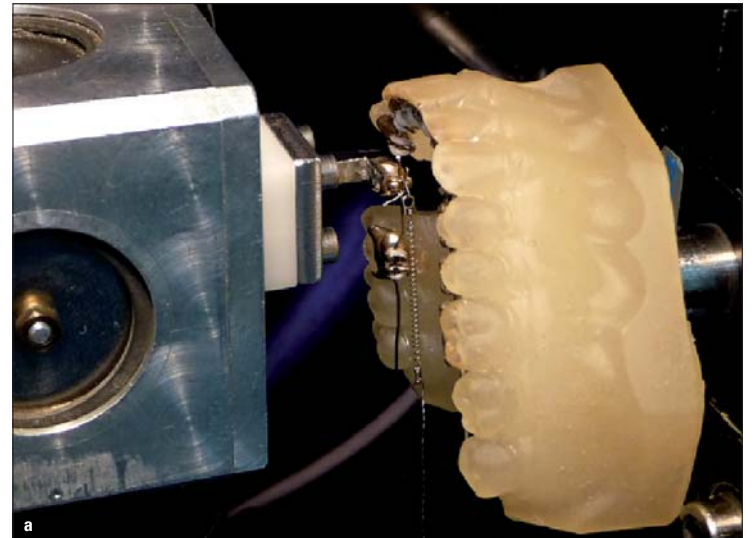


Abb. 4a, b: Das Kunststoffreplika im OMSS. Die beiden Prämolaren wurden aus dem Modell entfernt, damit an dieser Stelle das Messbracket eingesetzt werden kann. Die freie Strecke dient der Simulation der Prämolarenretraktion. Oben ist die Startposition der Messung zu erkennen, das mit dem Kraft-/Drehmoment-Sensor verbundene Bracket steht direkt neben dem Eckzahn. Unten ist die Situation nach Durchführung der Simulation zu erkennen, das Bracket ist über mehrere Millimeter der Kraft der NiTi-Zugfeder gefolgt.

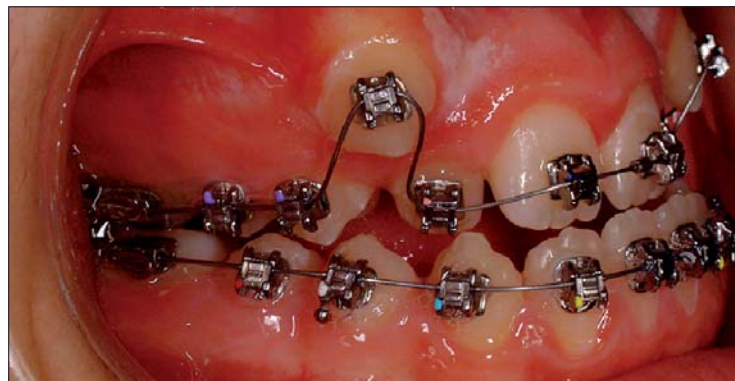


Abb. 2: Korrektur einer ausgeprägten Infraokklusion. Während der Eckzahn sich in Richtung Okklusionsebene bewegt, reduziert sich die Drahtlänge zwischen den benachbarten Brackets. Damit die Nivellierung nicht zum Stillstand kommt, muss der Draht ungehindert durch alle Brackets gleiten. Die eingesetzten selbstligierenden Brackets sollen die Friktionsverluste minimieren.

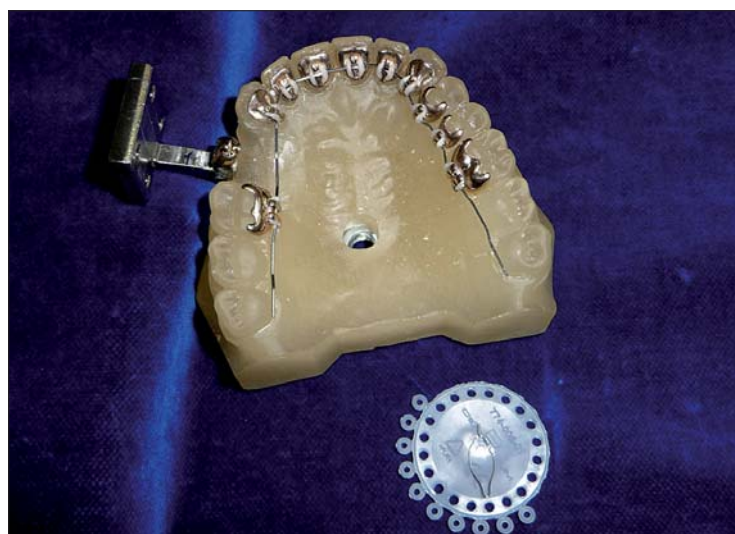


Abb. 3: Kunststoffreplika eines OK-Frasaco-Modells, beklebt mit Incognito™-Lingualbrackets. Der Bogen wird am zu bewegenden Bracket mit einer Stahlligatur fixiert, an allen übrigen Brackets mit elastischen Ligaturen.

selbstligierende Systeme auch in die Lingualtechnik einzuführen. Dabei ist bislang der komplexe Zusammenhang zwischen dem Friktionsgeschehen im Draht-/Bracket-Komplex und den verschiedenen Materialparametern noch weitgehend ungeklärt, obwohl seit nunmehr bereits über 40 Jahren bis heute in zahlreichen Versuchsanordnungen die Einflüsse des Bracketmaterials, der Bracketbreite oder allgemein des Bracketdesigns, der Ligatur, des Bogenmaterials und des -querschnitts, der angelegten Kraft sowie der Oberflächenbeschaffenheit von Bracket und Bogen auf die Friktion untersucht wurden.<sup>14-21</sup> Die Ergebnisse sind nicht immer vergleichbar und widersprechen sich teilweise auch hier, was auf die sehr unterschiedlichen Versuchsanordnungen zurückzuführen ist.

## Experimentelle Untersuchung des Reibungsverlustes bei Lingualbrackets

Um das Friktionsverhalten von Lingualbrackets mit und ohne integriertem Verschlussmechanismus vergleichen zu können, wurden vier häufig eingesetzte Lingualbracketsysteme untersucht: Die beiden konventionellen Incognito™- (3M Unitek/Top-Service für Lingualtechnik) und Joy®-Systeme (Adenta) sowie die selbstligierenden Evolution SLT®- (ebenfalls Adenta) und In-Ovation® LM™-Systeme (DENT-SPLY/GAC). Die Messungen erfolgten in Form von simulierten Retractionen eines Prämolaren (4er) im Oberkiefer. Als Führungsbögen kamen konfektionierte Stahl- und Nickel-Titan (NiTi)-

Fortsetzung auf Seite 12 KN

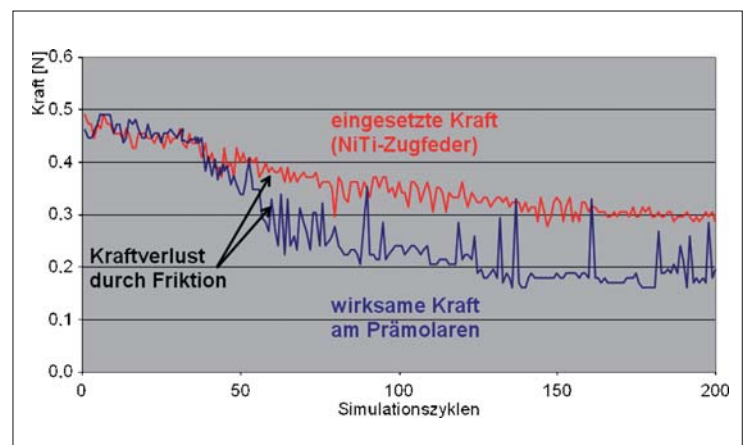


Abb. 5: Darstellung der gemessenen Kräfte der NiTi-Zugfeder und am Prämolarenbracket am Beispiel der Kombination Incognito/16 x 22-Stahldraht. Die Friktion ergibt sich aus der Differenz der beiden Werte (Pfeile). Zu Beginn der Bewegung gleitet das Bracket konfliktfrei am Bogen entlang, daher setzt die Friktion erst nach einer bestimmten Retraktionsstrecke ein, wenn Bracketslot und Führungsbogen in Kontakt kommen.

KN Fortsetzung von Seite 11

Drähte zum Einsatz, die von der Fa. Top-Service in einer für ein Frasaco-Modell vorgebogenen Form zur Verfügung gestellt wurden (Abb. 3). Die Stahldrähte hatten die Dimensionen 16 x 22, 16 x 24 und 18 x 25 (0,40 x 0,56 mm<sup>2</sup>, 0,40 x 0,60 mm<sup>2</sup>, 0,46 x 0,64 mm<sup>2</sup>), während die NiTi-Drähte nur die beiden Querschnitte 16 x 22 und 18 x 25 aufwiesen.

Nach Einlegen der Bögen in die Bracketslots und sorgfältigem Justieren wurden bei den selbstligierenden Bögen die Ligierungsklappen geschlossen bzw. bei den konventionellen Systemen der Bogen mit Ligaturen am Bracket befestigt. Dabei wurde für das zu bewegende Bracket eine Stahlligatur verwendet, die nach dem Festziehen durch Rückrotation um 90° gelockert wurde. Alle übrigen Brackets wurden mit elastischen Ligaturen versehen. Für die Anwendung der Retraktionskraft wurde eine NiTi-Zugfeder mit der Stärke von etwa 0,5 N (50 g) eingesetzt. Die Simulation der Prämolarenretraktionen erfolgte in Bonn mithilfe des biomechanischen Mess- und Simulations-System<sup>2</sup> (OMSS<sup>22,23</sup>). Um die Kraftreduktion durch Friktion während der simulierten bogengeführten Zahnbewegung zu messen, wurde folgendermaßen vorge-

gegangen:

- Das Modell wird im OMSS eingebaut und sorgfältig ausgerichtet. Das Prämolarenbracket ist mit einem Kraft-/Drehmoment-Sensor verbunden und wird in Bezug auf den Führungsbogen so justiert, dass keine Kräfte und Drehmomente auf das Bracket einwirken. Der Bogen wird im Bracket durch Schließen der Klappen oder Auflegen der Ligatur fixiert (Abb. 4a).

- Die NiTi-Zugfeder wird eingehängt und deren ausgeübte Kraft wird mit einem zweiten Sensor gemessen.
- Das Kraftsystem am Prämolarenbracket wird gemessen und die daraus resultierende Kraft wird mit einem mathematischen Modell berechnet.
- Das OMSS führt die berechnete Zahnbewegung mit den integrierten motorischen Verstellfischen automatisch aus.
- Nach einem kleinen Bewegungsincrement (typisch 0,02 mm) wird die Bewegung gestoppt und das Kraftsystem am Prämolaren erneut gemessen.
- Nach Neuberechnung der Zahnbewegung wird diese wieder mit einem kleinen Bewegungsincrement ausgeführt.



Abb. 6: Bei Führung am 16 x 22er Stahl Draht ergibt sich bei allen Materialkombinationen ein typischer Reibungsverlust von etwa 50 %.

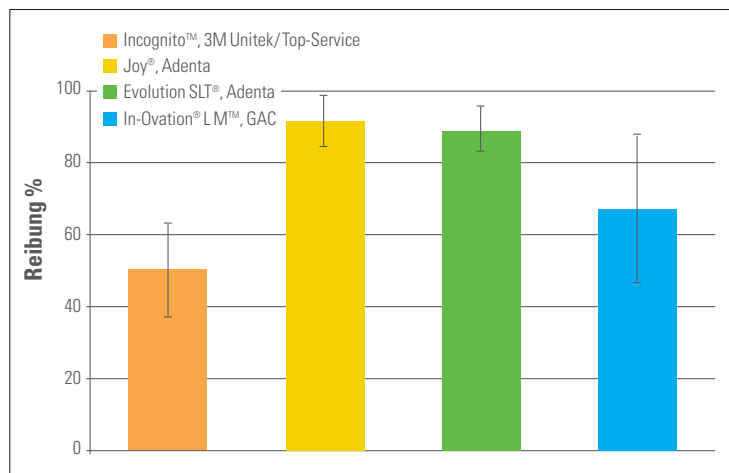


Abb. 8: Bei Führung am 18 x 25er Stahl Draht ergibt sich bis auf das Incognito-Bracket ein exzessiver Anstieg des Reibungsverlusts auf bis zu 90 %. Bei den aktiven selbstligierenden Brackets ist dies ein Zeichen dafür, dass der Clip auf den Draht drückt. Beim Joy-Bracket ist ganz offensichtlich der Slot durch den großformatigen Bogen vollständig ausgefüllt.

- Diese letzten drei Punkte werden zyklisch so lange wiederholt, bis eine vordefinierte Retraktionsstrecke erreicht ist (vergleiche Endposition in Abb. 4b).

Dadurch, dass sowohl die eingesetzte Kraft der NiTi-Zugfeder als auch das Kraftsystem am Prämolarenbracket gemessen werden, kann man den Kraftverlust durch Friktion bestimmen. Dieser ergibt sich einfach aus der Differenz der Kraft der NiTi-Zugfeder und der am Bracket ankommenden Kraft. Diese Kraft am Bracket wird durch den Kontakt zwischen Bracketslot und Drahtbogen und der daraus resultierenden Friktion reduziert. Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für einen solchen Messverlauf. Jedes Bracket wurde mit den fünf ausgewählten Führungsbögen der unterschiedlichen Querschnitte gemessen. Dabei erfolgten die Messungen an jeweils fünf Draht-/Bracket-Kombinationen eines gewählten Querschnitts. Der Kraftverlust durch Friktion wurde aus den Grafiken der fünf Einzelmessungen bestimmt und Mittelwert und Standardabweichung berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Studie zusammengestellt. Abbildung 6 zeigt den gemessenen Reibungsverlust bei Führung der verschiedenen Brackets am 16 x 22er Stahl Draht. Prinzipiell

ANZEIGE

**Transforce<sup>2</sup>**  
**Transverse & Sagittal**

Preis pro Stück € 54,-

ISW GmbH Tel.: 05924-78592-0  
 info@isw-kfo.de www.isw-kfo.de

ist ein für diese Materialkombination typischer Reibungsverlust von etwas unter bis leicht über 50 % der eingesetzten Kraft zu erkennen. Den geringsten Reibungsverlust von ca. 45 % konnten wir dabei für das konventionelle Incognito- sowie für das selbstligierende Evolution-Bracket ermitteln. Das konventionelle Joy- und das selbstligierende In-Ovation-Bracket liegen leicht darüber bei 55 bis 58 %.

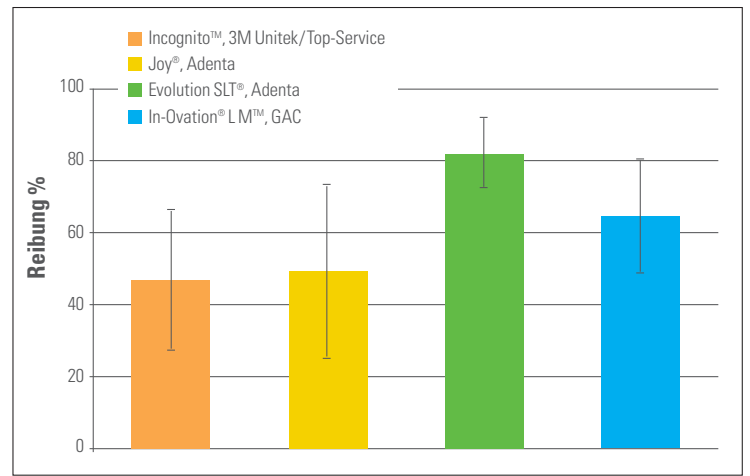


Abb. 7: Für die konventionell ligierenden Lingualbrackets (Incognito und Joy) zeigt sich bei Führung am 16 x 24er Stahl Draht keine signifikante Veränderung, während bei den selbstligierenden Systemen (Evolution und In-Ovation) der Reibungsverlust stark ansteigt.

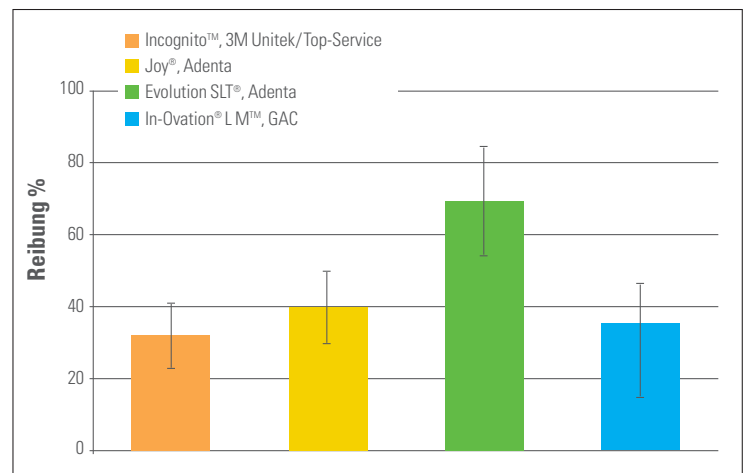


Abb. 9: Prämolarenretraktion bei Führung am 16 x 22er NiTi. Es zeigt sich (mit Ausnahme des Evolution-Brackets) ein reduzierter Reibungsverlust gegenüber der Führung am Stahl Draht. Offensichtlich hat der NiTi-Draht einen geringeren Querschnitt als der Stahl Draht.

Bei Erhöhung des Drahtquerschnitts auf 16 x 24 (Abb. 7) steigen nur die Reibungsverluste bei den selbstligierenden Brackets deutlich an auf über 80 % (Evolution) bzw. etwa 65 % (In-Ovation). Bei Incognito und Joy reduziert sich die Reibung sogar ein wenig, jedoch nicht statistisch signifikant.

Wird der Drahtquerschnitt weiter erhöht und ein bei der gegebenen Slotgröße slotfüllender Bogen eingesetzt, ist zu erwarten, dass das Spiel des Bogens im Slot deutlich reduziert wird und die Reibung dadurch extrem ansteigt. Bei den selbstligierenden Brackets ist ein großer Druck des Clips auf den Bogen zu erwarten. Beide Befunde sind der Abbildung 8 deutlich zu entnehmen: Insbesondere beim konventionellen Joy-, aber auch beim selbstligierenden Evolution-Bracket ist ganz offensichtlich der Slot durch den formatfüllenden Bogen ausgefüllt. Dadurch, dass keinerlei Spiel mehr im System gegeben ist und auch der Clip (Evolution) stark auf den Draht drückt, ist das Gleiten behindert und es zeigt sich ein exzessiver Anstieg des Reibungsverlusts auf etwa 90 %.

Das selbstligierende In-Ovation schneidet zwar nicht ganz so ungünstig ab, zeigt aber auch einen Reibungsverlust von etwa 70 %.

Lediglich das Incognito-Bracket zeigt einen nur geringfügigen Anstieg der Reibung auf etwa 50 %. Ob dies an der Materialkombination Gold/Stahl liegt oder an einem verhältnismäßig großen Slot, der auch diesem großen Bogen ein hinreichendes Spiel erlaubt, konnte nicht geklärt werden.

Die Abbildungen 9 und 10 zeigen die Ergebnisse zum Kraftverlust durch Friktion bei der Prämolarenretraktion unter Führung am Nickel-Titan-Draht. Für den 16 x 22er NiTi zeigt sich ein leicht reduzierter Reibungsverlust gegenüber der Führung am Stahl Draht. Einzige Ausnahme stellt das Evolution-Bracket dar, das einen Reibungsverlust von etwa 70 % zeigte, während die anderen Brackets bei 35 bis 40 % lagen und

KN Kurzvita



Dr. rer. nat. Dipl.-Math. Ludger Keilig

- 1993–2000 Studium der Mathematik in Bonn
- seit 2001 wissenschaftlicher Angestellter an der Universitätszahnklinik Bonn
- 2008 Promotion zum Dr. rer. nat.

ANZEIGE

**Praxisstühle**  
 Neu 2011  
 ab € 239,-  
 Gleich im Shop bestellen:  
 www.rieth-dentalprodukte.de

**RIETH.**

KN Kurzvita

Zahnarzt Ferid Al-Sakka

Doktorand an der Stiftungsprofessur für Oralmedizinische Technologie

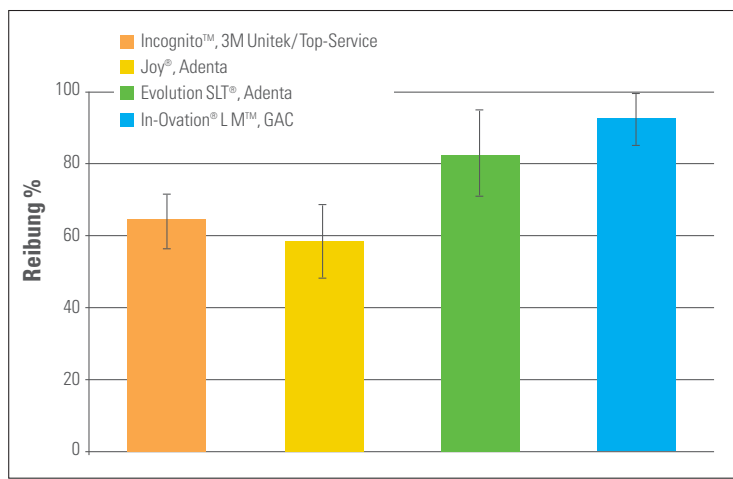


Abb. 10: 18 x 25er NiTi, exzessiver Reibungsverlust bei allen Brackets, typisch für einen NiTi-Draht mit diesem großen Querschnitt, der den Slot praktisch vollständig ausfüllt.

damit um bis zu 20 % weniger Reibungsverlust aufwies als bei Führung am Stahldraht. Ganz offensichtlich muss dies mit dem leicht reduzierten Querschnitt des NiTi-Drahts in Verbindung gebracht werden, der im Vergleich zum Stahldraht festgestellt wurde. Bei dem großen Drahtquerschnitt (Abb. 10) zeigt sich auch hier ein extremer Kraftverlust durch Friktion von bis zu 90 %, ähnlich wie beim Stahldraht. Und auch das Incognito-Bracket zeigt einen signifikanten Anstieg der Reibung bei Führung am 18 x 25er NiTi im Vergleich zur Führung am dünneren Drahtquerschnitt.

te können zwar durchaus Erhöhungen oder Reduktionen der Friktion bewirken, sind aber gegenüber den weiteren Parametern deutlich geringeren Einflusses.

Ein besonders großer Einfluss ist dem Drahtquerschnitt und damit dem Spiel des Bogens im Slot zuzusprechen. Je slotfüllender der Draht ist, umso stärker wird das Durchgleiten des Drahtes behindert. Gleichzeitig wird bei den selbstligierenden Systemen noch der Druck des Verschlussmechanismus auf den Draht ansteigen. Da die Reibung ganz besonders von den Kräften in den Kontaktbereichen von Draht, Bracket-slot und Clip abhängen, wird die Friktion bei den selbstligierenden Systemen insbesondere bei größeren Drahtquerschnitten weiter erhöht. Bei den selbstligierenden Systemen muss der Einsatz großer Drahtquerschnitte also ganz besonders überdacht sein.

Abschließend soll noch ein kurzer Blick auf den Materialeinfluss geworfen werden: Offensichtlich haben die Materialkombinationen Gold/Stahl sowie Gold/NiTi gegenüber Stahl/Stahl bzw. Stahl/NiTi leicht reduzierte Reibungskoeffizienten, denn das Incognito-Bracket zeigt in der Gesamtübersicht die niedrigsten Friktionen.

### Schlussfolgerungen

Insgesamt kann festgestellt werden, dass auch bei den hier untersuchten Draht/Bracket-Kombinationen die bereits in früheren Untersuchungen festgestellten Reibungsverluste gemessen wurden: Abhängig vom tatsächlichen Bogenquerschnitt muss damit gerechnet werden, dass bei Führung am 16 x 22er Stahl- oder 16 x 22er NiTi-Draht etwa 50 % der eingesetzten Kraft durch Friktion verloren geht. Diese Tatsache ist zunächst einmal im Wesentlichen unabhängig von der Art der Ligierung und dem Bracketdesign. Diese beiden Punk-

tionenwerte. Des Weiteren ist natürlich festzustellen, dass der Vorteil der konventionellen Brackets gegenüber den selbstligierenden Systemen in Verbindung mit der leicht geöffneten Stahligatur zu sehen ist.

Wird eine elastische Ligatur eingesetzt, so muss man davon ausgehen, dass der Kraftverlust durch Friktion extrem stark ansteigt, da der Reibungskoeffizient Gummi/Stahl (bzw. Gummi/NiTi) deutlich höher ist als bei Stahl/Stahl (oder Stahl/NiTi). Zudem kann die Ligierungskraft nur schwer abgeschätzt oder gar kontrolliert werden. Zahlreiche andere Untersuchungen haben bei Einsatz von Gummiligaturen dann einen Vorteil für die selbstligierenden Systeme gesehen. Dies wird in der Lingualtechnik nicht anders sein.

Insgesamt muss aber auch für die Lingualtechnik festgestellt werden: Ein „Zero-Friction“-Bracket kann es nicht geben! Durch verschiedene Maßnahmen ist der Kraftverlust durch Friktion sicher zu minimieren, aber auch ein noch so intelligentes Design für einen in ein Bracket integrierten Verschlussmechanismus muss die Hauptfunktion erfül-

len: Der Clip muss den Bogen im Bracket halten. Und damit muss es im Verlauf der Zahnbewegung zu einem Kontakt zwischen Bra-

cketslot, Clip und Führungsbogen kommen. Und dies wird immer Friktion erzeugen. KN



ANZEIGE





**TopJet ist absolut Compliance unabhängig und unsichtbar**



Ausgangssituation



Ende der Distalisation

- ▶ Das Einsetzen erfolgt in einer Sitzung – ohne zusätzliche Laborarbeiten
- ▶ Einbauzeit von JS Schraube und TopJet innerhalb von 15 min – sofort belastbar

- ▶ Maximaler Tragekomfort. Besonders hygienisch durch gekapselte Bauweise
- ▶ Einfaches Nachaktivieren des TopJet durch die Stopp-Gummis

**Die 3 Produkte zur Molaren-Distalisation**

- 1 **TopJet Distalizer (250cN und 360cN):** für eine effektive Molarendistalisation.
- 2 **Dual-Top™ JS Schraube (Jet Schraube):** zur sicheren Verankerung des TopJet.
- 3 **TPA und Bänder:** Palatinalbogen vorgebogen lieferbar.

**Infos, Demovideo und Kurstermine unter: [www.topjet-distalisation.de](http://www.topjet-distalisation.de)**

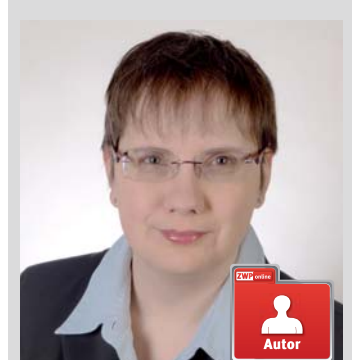
**PROMEDIA**  
MEDIZINTECHNIK  
A. Ahnfeldt GmbH  
Marienhütte 15 · 57080 Siegen  
Telefon: 0271 - 31 460-0  
Fax: 0271 - 31 460-80  
eMail: info@promedia-med.de  
www.promedia-med.de



CE ISO 9001 EN 14701 FDA approved



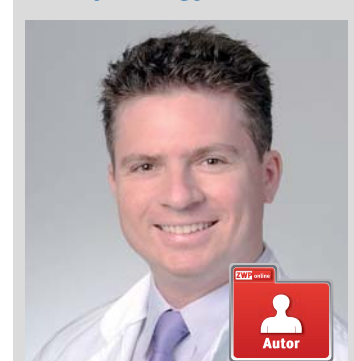
### KN Kurzvita



Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Susanne Reimann

- 1986–1990 Ausbildung zur Feinmechanikerin bei Nixdorf Computer AG, Paderborn
- 1998–2003 Studium der Medizintechnik, Remagen
- seit 2004 wissenschaftliche Angestellte, Universitätszahnklinik Bonn
- 2008 Promotion zum Dr. rer. nat.

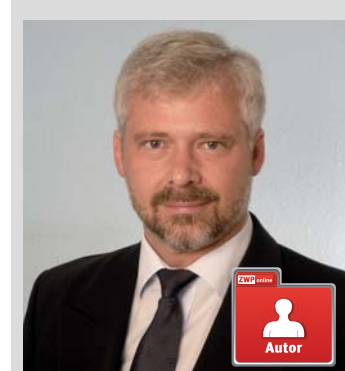
### KN Kurzvita



Oberarzt Dr. med. dent. Nikolaos Daratsianos

- 1991–1997 Studium der Zahnmedizin in Frankfurt am Main
- 1999–2003 Weiterbildungsassistent in einer Privatpraxis und in der KFO der Universitätszahnklinik Bonn, dort anschließend wissenschaftlicher Angestellter und Oberarzt
- 2008 Promotion Dr. med. dent.
- 2008–2010 M.Sc. Lingual Orthodontics in der Poliklinik für KFO der Medizinischen Hochschule Hannover

### KN Kurzvita



Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Christoph Peter Bourauel

- 1980–1987 Studium der Physik in Bonn, Diplom 1987
- 1987–2006 wissenschaftlicher Angestellter der Poliklinik für KFO in Bonn
- interdisziplinäre Promotion 1992
- 1998 Habilitation in Experimenteller Zahnheilkunde/Biomechanik
- 2006 Übernahme der Stiftungsprofessur für Oralmedizinische Technologie
- Wissenschaftliche Arbeitsgebiete: Kieferorthopädische Biomechanik und Werkstoffkunde, numerische Methoden zur Simulation des Knochenumbaus, superelastische Legierungen in der Kieferorthopädie, Implantatbiomechanik, prothetische Biomechanik und Werkstoffkunde, Entwicklung biomechanischer Messtechnik

### KN Adresse

Univ.-Prof. Dr. Christoph Bourauel  
Universität Bonn  
Welschnonnenstr. 17  
53111 Bonn  
Tel.: 02 28/28 72 23 32  
Fax: 02 28/28 72 25 88  
E-Mail:  
christoph.bourauel@ukb.uni-bonn.de  
www.meb.uni-bonn.de