

**Eigenschaften kieferorthopädischer Edelstahldrähte -
ein Vergleich der Produkte zweier Hersteller mit Blick
auf die Begg- und die Tip-Edge-Technik**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereiches Humanmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Steffen Udo Birkenkamp

aus Hilden

Gießen 2002

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Abteilung Kieferorthopädie
Leiter: Prof. Dr. Pancherz
des Universitätsklinikums Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Pancherz

Gutachter: PD Dr. Gruber

Tag der Disputation: 26. August 2002

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Begg-Technik und Tip-Edge-Technik	1
1.2 Wichtige Drahteigenschaften	3
2 Ziel der Untersuchungen	6
3 Material und Methode	7
3.1 Drahtdurchmesser (Versuch 1)	7
3.2 Drahtoberfläche (Versuch 2)	9
3.3 Biegeeigenschaften (Versuch 3)	10
3.4 Verhalten unter Zugbelastung (Versuch 4)	13
3.5 Relaxation (Versuch 5)	18
3.6 Mittlere Elastizitätsmodule	19
3.7 Darstellung der Ergebnisse	19
4 Ergebnisse	21
4.1 Drahtdurchmesser (Versuch 1)	21
4.2 Drahtoberfläche (Versuch 2)	39
4.3 Biegeeigenschaften (Versuch 3)	45
4.4 Verhalten unter Zugbelastung (Versuch 4)	69
4.5 Relaxation (Versuch 5)	94
4.6 Mittlere Elastizitätsmodule	97
5 Diskussion	99
5.1 Drahtdurchmesser (Versuch 1)	99
5.2 Drahtoberfläche (Versuch 2)	100
5.3 Biegefestigkeit (Versuch 3)	103
5.4 Steifheit (Versuch 3)	106
5.5 Zugfestigkeit (Versuch 4)	107
5.6 Elastizitätsmodul (Versuch 3 und 4)	109
5.7 Relaxation (Versuch 5)	112
6 Schlussfolgerung	113

Inhaltsverzeichnis

7	Zusammenfassung	114
8	Summary	116
9	Literaturverzeichnis	118

1 Einleitung

1.1 Begg-Technik und Tip-Edge-Technik

Bei der Begg-Technik werden die Zähne ausschließlich durch runde Drahtbögen, die leichte Kräfte ausüben, bewegt. Durch die Verwendung von modifizierten Ribbon-Arch-Brackets sind Zahnkippen in mesiodistaler und vestibulooraler Richtung, jedoch keine körperlichen Zahnbewegungen, möglich. Zur Aufrichtung gekippter Zähne sind zusätzliche Aufrichtungsfedern nötig [2].

Die Tip-Edge-Technik stellt eine Weiterentwicklung der Begg-Technik dar. Statt der Ribbon-Arch-Brackets werden modifizierte Edgewise-Brackets, sogenannte Tip-Edge-Brackets verwendet, welche bei Verwendung runder Bögen kippende Zahnbewegungen sowie bei Verwendung von Vierkantbögen körperliche Zahnbewegungen erlauben [14].

Behandlungsablauf

Die Behandlung mit der Begg- und mit der Tip-Edge-Technik erfolgt in drei Phasen (I bis III) [2;14].

Phase I

In der Behandlungsphase I ist das Hauptziel, den horizontalen und den vertikalen Frontzahnüberbiss (Overjet und Overbite) bis in eine Kopfbissstellung zu reduzieren sowie eine Neutralokklusion der Seitenzähne zu erreichen. Als Hauptbögen werden federharte, nicht ermüdende Drähte der Stärke 0.016 Zoll verwendet. Die Behandlungsphase I dauert in der Regel sechs bis acht Monate.

Phase II

Während der Behandlungsphase II werden nach der Extraktion von Zähnen alle noch bestehenden Restlücken im Seitenzahnbereich geschlossen. Gleichzeitig sollen alle in Phase I erreichten Korrekturen aufrecht erhalten werden. Als Hauptbogen werden hierbei Drähte von 0.018 Zoll (Begg-Technik) oder 0.020 Zoll (Tip-Edge-Technik)

verwendet. Die Behandlungsphase II dauert etwa vier bis sechs Monate, bei Nichtextraktionsfällen entfällt sie.

Phase III

Das Ziel der Behandlungsphase III ist die Einstellung der richtigen Achsenstellung aller Zähne unter Aufrechterhaltung aller in Phase I und Phase II erreichten Korrekturen. Die verwendeten Hauptbögen haben die Stärke 0.020 Zoll (Begg-Technik) und 0.022 Zoll (Tip-Edge-Technik). Die Behandlungsphase III dauert ungefähr zehn bis zwölf Monate.

Für die erfolgreiche kieferorthopädische Behandlung mit der Begg- beziehungsweise Tip-Edge-Technik ist der verwendete Draht vor allem während der Behandlungsphase I von außerordentlich großer Bedeutung. Für eine effiziente und kontrollierte Bissöffnung ist ein gutes Elastizitäts- und Relaxationsverhalten des Drahtbogens entscheidend. Der „Australian Wire“ der Firma A. J. Wilcock¹ hat sich bis heute als unübertroffen erwiesen.

Als Ersatz für den „Australian Wire“ entwickelte die Firma TP Orthodontics², die die bei der Begg- und Tip-Edge-Technik verwendeten kieferorthopädischen Elemente herstellt und vertreibt, 1998 einen eigenen rostfreien Edelstahldraht („TP Original Wire“). Im Jahr 1999 wurde ein angeblich verbesserter Draht („Bow-Flex Wire“) vorgestellt. Der Vertrieb des rostfreien Edelstahldrahtes „Australian Wire“ wurde 1998 von der Firma TP Orthodontics eingestellt.

Die Firma TP Orthodontics verglich den „Australian Wire“ und ihren „TP Original Wire“ in eigenen Versuchen und veröffentlichte die Ergebnisse in einem

¹ A. J. Wilcock Scientific and Engineering, Whittlesea, Victoria, Australia
Import: Dental-Vertrieb 2000 GmbH Tel.: 06257/84044 od. 84045
Postfach 1324 Fax: 06257/84932
64334 Seeheim-Jugenheim E-mail: dv2000@compuserve.com

² TP Orthodontics, Inc., La Porte, Indiana, U. S. A.
Import: TP Orthodontics Deutschland Tel.: 0130/814719
Wetzgauer Straße 40 Fax: 0130/814719
73557 Mutlangen E-mail: tpeng@tportho.com

Informationsblatt der Firma. Gegenstand der Untersuchungen waren die Oberflächenbeschaffenheit und die Festigkeit der Drähte. Die Ergebnisse dieser Versuche attestierten dem neuen „TP Original Wire“ bessere Eigenschaften als dem „Australian Wire“. Der „verbesserte“ Draht „Bow -Flex Wire“ zeichnet sich laut TP Orthodontics durch eine sehr glatte Oberfläche, überlegene Biegsamkeit sowie geringe Bruchanfälligkeit aus [6; 22].

Bei der klinischen Anwendung der Drähte beider Hersteller kann die behauptete Überlegenheit der Eigenschaften der Drähte von TP Orthodontics gefühlsmäßig von vielen Kieferorthopäden nicht bestätigt werden.

1.2 Wichtige Drahteigenschaften

Um die Gesamteigenschaften kieferorthopädischer Drähte zu ermitteln, werden sie üblicherweise in bezug auf folgende Größen und Eigenschaften experimentell untersucht:

Drahtdurchmesser

Der Drahtdurchmesser wird gemessen. Die Ergebnisse werden mit den Herstellerangaben für den Durchmesser verglichen und nach den Kriterien der DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] beurteilt.

Drahtoberflächen

Die Drahtoberflächenbeschaffenheit wird mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops beurteilt.

Biegeeigenschaften

In einem Biegeversuch wird sowohl die Steifheit, die Biegefestigkeit als auch der Elastizitätsmodul der Drahtprobe bestimmt.

Definition Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit ist die maximal mögliche Biegespannung. Sie wird erreicht zu dem Zeitpunkt, in dem die zur Biegung des Drahtes nötige Kraft beziehungsweise die Widerstandskraft des Drahtes am größten ist.

Definition Steifheit

Steifheit ist der Quotient aus der Kraft und der Strecke, die der Draht mit dieser Kraft durchgebogen wird.

Definition Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul ist der Proportionalitätsfaktor zwischen Spannung und elastischer Dehnung der Drahtprobe. Je größer der Wert für den Elastizitätsmodul ist, desto mehr Spannung muss man aufbauen, um den Draht elastisch zu dehnen. Ein elastisch verformter Draht mit hohem Elastizitätsmodul entwickelt auch hohe Rückstellkräfte.

Verhalten unter Zugbelastung

Der Zugversuch dient zur Bestimmung der Zugfestigkeit und wiederum des Elastizitätsmoduls der Drähte. Anhand der gemessenen Zugfestigkeitswerte wurden die Drähte einer in der DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] aufgeführten Festigkeitsklasse zugeordnet.

Definition Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit ist die maximal mögliche Spannung des Drahtes. Sie wird erreicht zu dem Zeitpunkt, in dem die zur Dehnung des Drahtes nötige Kraft beziehungsweise die Widerstandskraft des Drahtes am größten ist. Nach diesem Zeitpunkt sinkt die notwendige Kraft ab, da der Draht beginnt sich einzuschnüren.

Relaxation

Es wird untersucht, wie stark die durch eine elastische Verformung im Draht gespeicherte Energie (Rückstellkraft) abgebaut wird, wie sich also die elastische Verformung der Drahtprobe in eine plastische Verformung umwandelt.

Definition Relaxation

Relaxation ist die durch die innere Reibung eines von äußeren Kräften verformten Körpers verzögerte Annahme der neuen Form. Relaxation bedeutet also, dass sich eine vorübergehende elastische Verformung in eine dauerhafte plastische Verformung umwandelt. Die in einem elastisch verformten Draht gespeicherte Energie (Rückstellkraft) geht beim Relaxationsvorgang verloren.

2 Ziel der Untersuchungen

Ziel dieser Doktorarbeit war es, die Eigenschaften der Drähte „Bow-Flex Wire“ (.016“, .018“ und .020“), „TP Original Wire“ (premier plus .016“, .018“, .020“ und .022“) und „Australian Wire“ (special plus .016“, .018“, .020“ und .022“) miteinander zu vergleichen. Mit den dabei ermittelten Ergebnissen sollten Rückschlüsse zur Anwendung der Drähte bei der Begg- und bei der Tip-Edge-Technik gezogen werden.

Beim „Australian Wire“ und beim „TP Original Wire“ sollte des weiteren überprüft werden, ob sich zwischen Spulen- und Stangendraht derselben Sorte unterschiedliche Eigenschaften feststellen lassen.

Folgende Größen oder Eigenschaften der Drähte sollten beurteilt werden:

- Drahtdurchmesser
- Drahtoberfläche
- Biegefestigkeit
- Steifheit
- Zugfestigkeit
- Elastizitätsmodul
- Relaxation

3 Material und Methode

3.1 Drahtdurchmesser (Versuch 1)

Versuchsaufbau und -ablauf

Die Durchmesser der zu prüfenden Drähte wurden jeweils sechsmal mit einem CE-gekennzeichneten¹ elektronischen Digital-Mikrometer (siehe *Abbildung 1*) der Firma Conrad Electronic (Bestellnummer 803367) gemessen. Die Messauflösung dieses Gerätes betrug 0,001 Millimeter und der maximale Anzeigefehler 0,002 Millimeter, das heißt bei gemessenen Größen im Bereich von 0,4 bis 0,6 Millimeter lag der maximal mögliche Messfehler bei 0,3 bis 0,5 Prozent.



Abbildung 1: Elektronisches Digital-Mikrometer der Firma Conrad Electronic

Die DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] legt die Durchmesser für die Drähte, die mit Maßangaben in Zoll geliefert werden, in Millimetern mit zwei Nachkommastellen fest. Toleriert wird nur eine Abweichung des Durchmessers im

¹ CE-Kennzeichnung: Produkt ist konform zu einer Direktive der Europäischen Kommission

hundertstel Millimeterbereich (für den jeweiligen Drahtdurchmesser genau definiert) nach kleineren Werten hin. Eine Abweichung nach größeren Durchmessern hin ist nicht erlaubt (siehe *Tabelle 1*).

Tabelle 1: Aus DIN 13971: 1998-01 (Maße für kieferorthopädische Runddrähte). Das Kurzzeichen entspricht den Ziffern der Hundertstel- und Tausendstelstelle des Drahtdurchmessers in Zoll. Andere Drahtdurchmesser sind möglich, solange die angegebenen Abweitungstoleranzen im Rahmen der in der Tabelle genannten Messbereiche eingehalten werden.

Kurzzeichen	Durchmesser (mm)	erlaubte Abweichung des Durchmessers (mm)
14	0,35	+ 0 / - 0,01
16	0,40	
18	0,45	
20	0,50	+ 0 / - 0,02
22	0,56	
23	0,60	

Aus den sechs Messwerten pro Draht wurde der Mittelwert berechnet, das Intervall, in dem sich die Messwerte befanden, wurde festgehalten. Die Abweichungen von den Werksangaben und vom Normwert wurden ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabellen dargestellt (siehe *Kapitel 4.1*).

Proben

Drähte folgender Qualitäten und Dimensionen wurden untersucht:

- *Bow-Flex Wire (Spule): (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (Stange): premier plus (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (Spule): premier plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Stange): special plus (.016“; .018“; .020“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule): special plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*

Die sechs Messungen erfolgten an verschiedenen Messpunkten und wurden gleichmäßig auf die vorhandenen Proben verschiedener Herkunft aufgeteilt.

3.2 Beurteilung der Drahtoberfläche (Versuch 2)

Versuchsaufbau und -ablauf

Die untersuchten Drahtproben wurden durch ein Rasterelektronenmikroskop des Typs PSEM 500 der Firma Philips betrachtet, das ein Bild auf einem Bildschirm erzeugt. Von jeder Drahtprobe wurde eine Schwarzweißfotografie des Bildschirmbildes einer Übersichtsvergrößerung und einer sehr starken Vergrößerung aufgenommen. Die Übersichtsvergrößerung ermöglicht eine Sicht auf die gesamte Drahtbreite, die sehr starke Vergrößerung zeigt einen Ausschnitt aus der Übersichtsaufnahme.

In den unteren Rand der Bilder wurde eine hell und dunkel gestrichelte Linie als Maßstab eingeblendet, wobei ein helles oder dunkles Liniensegment einer Strecke von zehn Mikrometer entspricht.

Die durch die konventionelle Fotografie erhaltenen Bildnegative wurden in einen Computer eingescannt und mit einem Bildbearbeitungsprogramm in positive Bilder umgewandelt. Die Bilder sind in *Kapitel 4.2* aufgeführt.

Proben

Da die Oberflächenbeschaffenheit der Drähte nicht von deren Durchmessern abhängt, wurden stellvertretend für die drei Drahttypen Drähte folgender Qualitäten und Dimensionen untersucht:

- *Bow-Flex Wire (Spule): (.016“; .020“)*
- *TP Original Wire (Spule): premier plus (.016“; .020“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule): special plus (.016“; .020“)*

Die zu untersuchenden Drahtproben wurden mit einem weichen, alkoholgetränkten Tuch gereinigt und auf eine Länge von zehn Millimeter zurechtgeschnitten. Die Drahtproben wurden mit Leittabs, das sind spezielle, beidseitig klebende Folien, auf Probentellern befestigt und mit einer dünnen Goldschicht überzogen, um die elektrische

Leitfähigkeit der Probe zu verbessern. Der letztgenannte Vorgang nennt sich „Sputtern“ und wurde in einer Sputtermaschine des Typs Balzers SCD durchgeführt. Die fertig hergerichteten Proben setzte man in das Rasterelektronenmikroskop.

3.3 Biegeeigenschaften (Versuch 3)

Versuchsaufbau und -ablauf

Der Versuch diente zur Bestimmung der Biegefestigkeit, der Steifheit und des Elastizitätsmoduls der Drähte. Durchgeführt wurde der Versuch in einer Universalprüfmaschine vom Typ Zwick 1454, die mit einem Computer verbunden war, auf dem die Software Z1005 V3.2 der Firma Zwick installiert war.

Die zu untersuchenden Drahtproben wurden, wie in *Abbildung 2* dargestellt, waagrecht auf zwei Stützen in die Prüfmaschine gelegt, deren Abstand voneinander zehn Millimeter betrug. Die Justierung und Programmierung der Prüfmaschine erfolgte so, dass der von oben senkrecht heranziehende Biegestempel mittig zwischen den beiden Auflagepunkten auf den Draht traf (siehe *Abbildung 3*). Sobald der Biegestempel den Draht berührte und ein Widerstand von einem Newton auftrat, begann eine kontinuierliche Aufzeichnung der Durchbiegung und der dazu erforderlichen Kraft. Der Biegestempel fuhr mit einer Geschwindigkeit von fünf Millimeter pro Minute nach unten und stoppte zur Beendigung der Messung bei einer erreichten Durchbiegung von zwei Millimeter, damit die Drahtproben nicht durchrutschten.

Der Computer zeichnete für jede Messung ein Kraft-Durchbiegungs-Diagramm auf und bestimmte die maximale Krafteinwirkung während der Durchbiegung. Von jedem Draht wurden zehn Messungen durchgeführt. Von den im Versuch ermittelten Größen, der Steigung im geraden, elastischen Bereich des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms (Steifheit) und der maximalen Krafteinwirkung, wurden der Mittelwert, die Standardabweichung und die mittlere Abweichung vom Mittelwert berechnet.

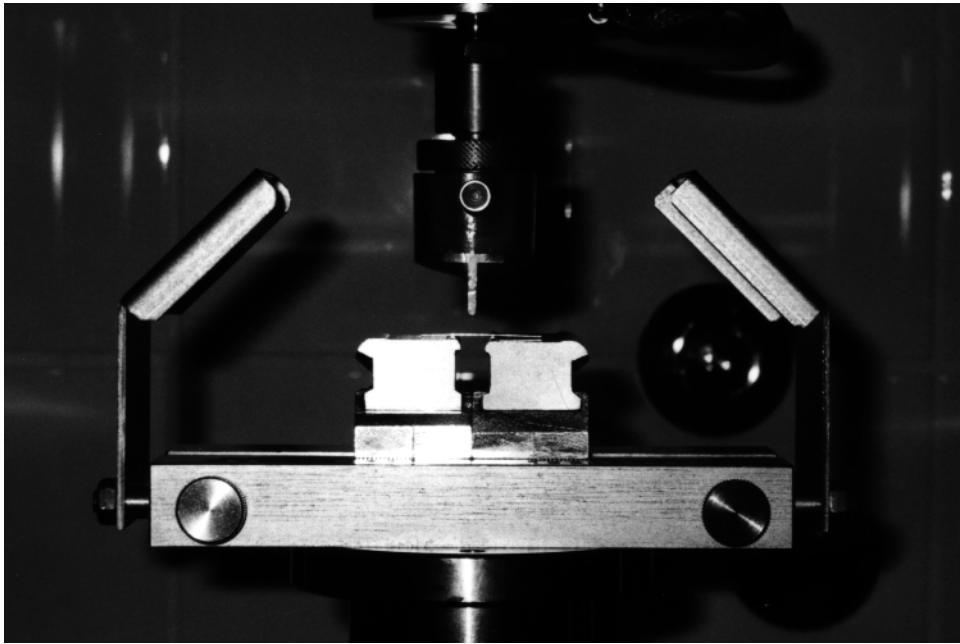


Abbildung 2: Biegeversuch in Ausgangsposition

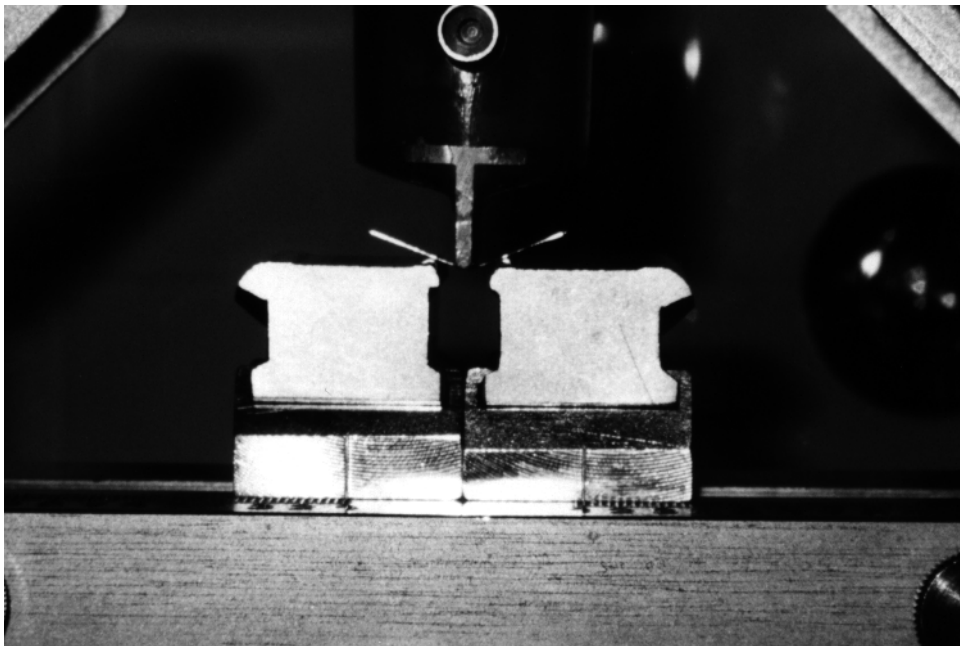


Abbildung 3: Biegeversuch während des Biegevorgangs

Zur Bestimmung der Biegefestigkeit R_b , das ist die Biegespannung bei maximaler Krafteinwirkung F_{max} , benötigt man das maximale Biegemoment M_{max} und das Widerstandsmoment W der Drahtprobe (siehe *Formel 1*). Das maximale Biegemoment

M_{max} ließ sich aus der maximalen Krafteinwirkung F_{max} und der Stützweite L errechnen (siehe *Formel 2*). Für die Berechnung des Widerstandsmomentes W wurden die in Versuch 1 bestimmten Drahtdurchmesser d benötigt (siehe *Formel 3*). Die Zusammenfassung der drei Formeln in *Formel 4* diente zur einfacheren Berechnung [3; 7].

Formeln zur Berechnung der Biegefestigkeit:

$$\text{Formel 1: } R_b = \frac{M_{max}}{W}; \quad \text{Formel 2: } M_{max} = \frac{F_{max} \cdot L}{4};$$

$$\text{Formel 3: } W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}; \quad \text{Formel 4: } R_b = \frac{8 \cdot F_{max} \cdot L}{\pi \cdot d^3};$$

Die Steifheit entsprach der Steigung $\Delta F / \Delta f$ des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im geraden, elastischen Bereich der Kurve.

Um den Elastizitätsmodul E zu berechnen, benötigte man die Steigung $\Delta F / \Delta f$ des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im geraden, elastischen Bereich der Kurve (Steifheit), die Stützweite L und das Flächenträgheitsmoment I des Drahtes (siehe *Formel 5*). Das Flächenträgheitsmoment I ließ sich mit den in Versuch 1 bestimmten Drahtdurchmessern d errechnen (siehe *Formel 6*). Zur einfacheren Berechnung wurden die beiden Formeln in *Formel 7* zusammengefasst [3; 7].

Formeln zur Berechnung des Elastizitätsmoduls:

$$\text{Formel 5: } E = \frac{\Delta F}{\Delta f} \cdot \frac{L^3}{48 \cdot I}; \quad \text{Formel 6: } I = \frac{\pi \cdot d^4}{64};$$

$$\text{Formel 7: } E = \frac{4 \cdot \Delta F \cdot L^3}{3 \cdot \Delta f \cdot \pi \cdot d^4};$$

Die Ergebnisse sind in Tabellen- und Diagrammform in *Kapitel 4.3* nachzulesen.

Proben

Drähte folgender Qualitäten und Dimensionen wurden untersucht:

- *Bow-Flex Wire (Spule): (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (Stange): premier plus (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (Spule): premier plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Stange): special plus (.016“; .018“; .020“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule): special plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *Bow-Flex Wire (Spule), DIN-gealtert: (.018“)*
- *TP Original Wire (Spule) DIN-gealtert: premier plus (.018“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule) DIN-gealtert: special plus (.018“)*

Für die Messungen wurden von jedem Draht zehn drei Zentimeter lange Proben, die von Spulen beziehungsweise Stangen verschiedener Herkunft stammten, zurechtgeschnitten.

Zusätzlich wurden von „Bow-Flex Wire“, „TP Original Wire premier plus Spule“ und „Australian Wire special plus Spule“ des Durchmessers 0,018 Zoll jeweils zehn drei Zentimeter lange Proben, die von Spulen verschiedener Herkunft stammten, vor den Messungen einer künstlichen Alterung nach der DIN-Norm für Stahldraht und Drahterzeugnisse [25] unterzogen. Dafür mussten die Drahtproben eine Stunde lang in einem Heißluftsterilisator vom Typ Melag HS 100 auf 100 Grad Celsius erhitzt werden. Die Messungen erfolgten an den wieder abgekühlten Drahtproben.

3.4 Verhalten unter Zugbelastung (Versuch 4)

Versuchsaufbau und -ablauf

Der Versuch diente zur Bestimmung der Zugfestigkeit und des Elastizitätsmoduls der Drähte und erfolgte, soweit es die Drahtprobenform zuließ, nach den Vorschriften der DIN-Norm für Zugversuche [26]. Anhand der ermittelten Werte für die Zugfestigkeit

konnten die Drähte einer in der DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] festgelegten Festigkeitsklasse zugeordnet werden (siehe *Tabelle 2*). Durchgeführt wurde der Versuch in der schon erwähnten Universalprüfmaschine vom Typ Zwick 1454, die mit einem Computer verbunden war, auf dem die Software Z1005 V3.2 der Firma Zwick installiert war.

Tabelle 2: Aus DIN 13971: 1998-01 (Festigkeitsklassen kieferorthopädischer Drähte)

<i>Festigkeitsklasse</i>	<i>Zugfestigkeit (N/mm²)</i>
weich	unter 800
mittel	800 bis unter 1100
mittel plus	1100 bis unter 1400
hart	1400 bis unter 1600
hart plus	1600 bis unter 1800
federhart	1800 bis unter 2000
federhart plus	2000 bis unter 2300
extra federhart	2300 bis unter 2500
super federhart	2500 bis unter 2700
super federhart plus	2700 bis unter 2900

Die zu untersuchenden Drahtproben wurden, wie *Abbildung 4* zeigt, senkrecht zwischen einer oberen und einer unteren Einspannvorrichtung in der Prüfmaschine befestigt. Die untere Einspannvorrichtung befand sich auf einem in vertikaler Richtung fahrbaren Schlitten. Das Einspannen der Drähte in die Klemmbacken der Einspannvorrichtungen erwies sich zunächst als problematisch. Die für dünne, feine Materialien vorgesehenen Vorrichtungen waren nicht genügend belastbar, um die Messungen durchführen zu können, und die Klemmbacken für höhere Belastungen wiesen nicht genügend Haftung auf, um die dünnen Drähte ausreichend fest zu packen. Nachdem mehrere Modifizierungen der Klemmbacken ausprobiert worden waren, stellte sich die Lösung, genau in der Mitte einer Klemmbacke jeweils einen Messingquader mit glatter Oberfläche zu befestigen, als beste heraus. Eingeklemmt zwischen diese Messingquader hatten die Drähte auch unter großer Zugbelastung genügend Haftung, um nicht aus der Einspannvorrichtung herausgezogen zu werden. Ein weiterer Vorteil war, dass Messing weicher ist als die Drähte, und so den Drähten selbst - durch die beim Einspannen sehr hohen Druckbelastungen - kein Schaden zugefügt wurde, weil sie sich in die

Messingquader eindrücken konnten. Der Abstand zwischen den oberen und den unteren Messingquadern betrug 200 Millimeter.

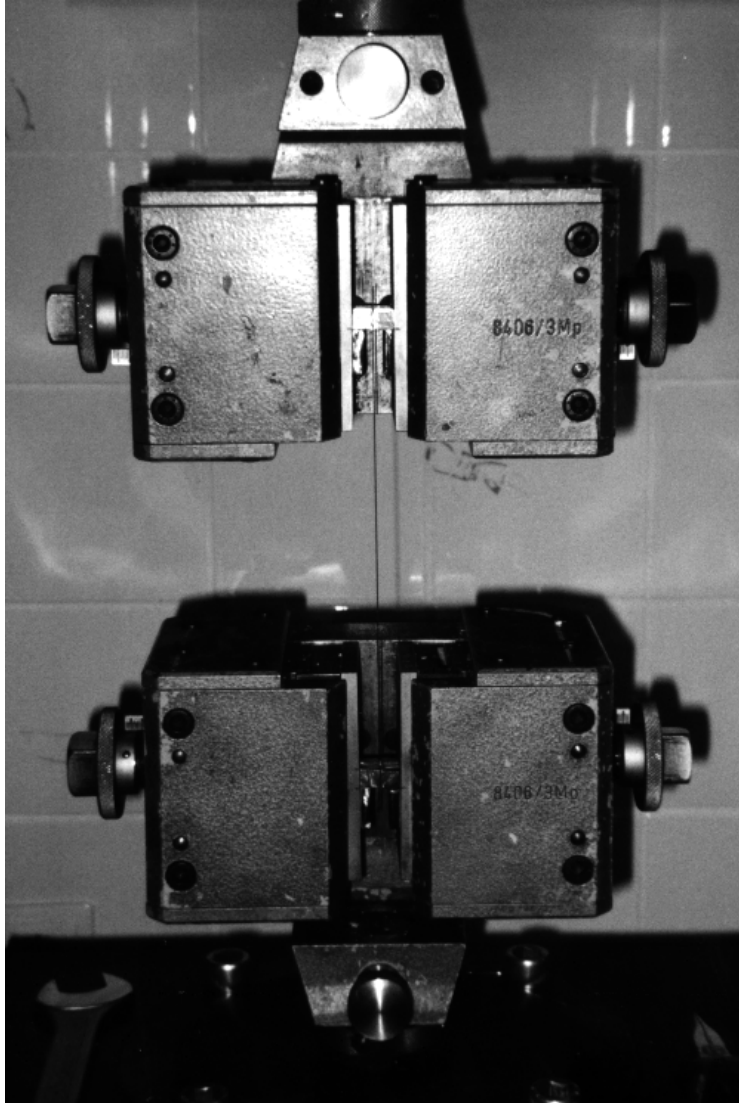


Abbildung 4: Versuchsaufbau beim Zugversuch

Die Prüfmaschine wurde so justiert und programmiert, dass der Schlitten mit der unteren Einspannvorrichtung senkrecht nach unten fuhr. Sobald ein Widerstand von drei Newton auftrat, begann eine kontinuierliche Aufzeichnung der Verlängerung des Drahtes und der Kraft, die dazu erforderlich war. Der Schlitten fuhr mit einer Geschwindigkeit von zwei Millimetern pro Minute nach unten und stoppte zur Beendigung der Messung beim Bruch der Drahtprobe.

Die Geschwindigkeit von zwei Millimetern pro Minute hatte sich nach mehreren Probemessungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten als am geeignetsten erwiesen. Höhere Geschwindigkeiten lieferten ungenauere Ergebnisse, langsamere brachten jedoch keine Verbesserung der Genauigkeit mehr mit sich.

Der Computer zeichnete für jede Messung ein Kraft-Verlängerungs-Diagramm auf und bestimmte die maximale Krafteinwirkung während des Versuchs. Jeder Draht wurde zehnmal untersucht. Von den im Versuch ermittelten Größen, der Steigung im geraden, elastischen Bereich des Kraft-Verlängerungs-Diagramms und der maximalen Krafteinwirkung wurden der Mittelwert, die Standardabweichung und die mittlere Abweichung vom Mittelwert berechnet.

Zur Bestimmung der Zugfestigkeit R_m , das ist die Spannung bei maximaler Krafteinwirkung F_{max} , benötigte man die maximale Krafteinwirkung F_{max} und die Querschnittsfläche S der Drahtprobe (siehe *Formel 8*). Die Querschnittsfläche S ließ sich aus den in Versuch 1 bestimmten Drahtdurchmessern d errechnen (siehe *Formel 9*). Zur einfacheren Berechnung verwendete man die *Formel 10*, in der die beiden vorherigen Formeln zusammengefasst sind [3; 7].

Formeln zur Berechnung der Zugfestigkeit:

$$\text{Formel 8: } R_m = \frac{F_{max}}{S}; \quad \text{Formel 9: } S = \frac{\pi \cdot d^2}{4};$$

$$\text{Formel 10: } R_m = \frac{4 \cdot F_{max}}{\pi \cdot d^2};$$

Um den Elastizitätsmodul E zu berechnen, benötigte man die Spannung σ und die Dehnung ε (siehe *Formel 11*). Für die Berechnung der Spannung σ wurden die in Versuch 1 bestimmten Drahtdurchmesser d und die Kraftänderung ΔF für die Verlängerung ΔL , für die die Spannung σ berechnet werden sollte, benötigt (siehe *Formel 12*). Die Dehnung ε ließ sich aus der Verlängerung ΔL und der zwischen den Einspannvorrichtungen gemessenen Ausgangslänge L_0 errechnen (siehe *Formel 13*). Die Zusammenfassung der drei Formeln in *Formel 14* diente zur einfacheren

Berechnung. Der Teilterm $\Delta F / \Delta L$ aus *Formel 3.14* entspricht der Steigung des vom Computer erstellten Kraft-Verlängerungs-Diagramms im geraden, elastischen Bereich [3; 7].

Formeln zur Berechnung des Elastizitätsmoduls:

$$\text{Formel 11: } E = \frac{\sigma}{\varepsilon}; \quad \text{Formel 12: } \sigma = \frac{4 \cdot \Delta F}{\pi \cdot d^2};$$

$$\text{Formel 13: } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}; \quad \text{Formel 14: } E = \frac{4 \cdot L_0}{\pi \cdot d^2} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta L};$$

Die Ergebnisse sind in *Kapitel 4.4* tabellarisch und in Diagrammen aufgeführt.

Proben

Drähte folgender Qualitäten und Dimensionen wurden untersucht:

- *Bow-Flex Wire (Spule): (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (Stange): premier plus (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (Spule): premier plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Stange): special plus (.016“; .018“; .020“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule): special plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *Bow-Flex Wire (Spule), DIN-gealtert: (.018“)*
- *TP Original Wire (Spule) DIN-gealtert: premier plus (.018“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule) DIN-gealtert: special plus (.018“)*

Für die Messungen wurden von jedem Draht zehn 25 Zentimeter lange Proben, die von Spulen beziehungsweise Stangen verschiedener Herkunft stammten, zurechtgeschnitten.

Zusätzlich wurden von „Bow-Flex Wire“, „TP Original Wire premier plus Spule“ und „Australian Wire special plus Spule“ des Durchmessers 0,018 Zoll jeweils zehn 25 Zentimeter lange Proben, die von Spulen verschiedener Herkunft stammten, vor den Messungen, wie schon beschrieben, einer künstlichen Alterung nach der DIN-Norm für Stahldraht und Drahterzeugnisse [25] unterzogen.

3.5 Relaxation (Versuch 5)

Versuchsaufbau und -ablauf

Der Versuch diente zur Bestimmung der Relaxation des Materials, aus dem die Drähte hergestellt worden sind. Durchgeführt wurde der Versuch wiederum in der Universalprüfmaschine vom Typ Zwick 1454. Die verwandte Software war diesmal jedoch das Programm Z1007 V3.2 der Firma Zwick. Der Versuchsaufbau entsprach genau dem Versuchsaufbau des Zugversuches (Versuch 4).

Die Programmierung und Justierung der Prüfmaschine erfolgte so, dass der Schlitten mit der unteren Einspannvorrichtung senkrecht nach unten fuhr. Sobald ein Widerstand von drei Newton auftrat, begann eine kontinuierliche Aufzeichnung der wirkenden Kraft und der verstrichenen Zeit. Der Schlitten fuhr mit der vom Zugversuch übernommenen Geschwindigkeit von zwei Millimeter pro Minute bis zu einer Drahtprobenverlängerung von 1,5 Millimeter nach unten und hielt diese Verlängerung bis zum Versuchsende genau bei. Die Zeit bis zum Erreichen der Verlängerung betrug 45 Sekunden, und die anschließende Haltephase dauerte 720 Sekunden. Danach war die Messung beendet. Die Begrenzung der Drahtprobenverlängerung auf 1,5 Millimeter erfolgte, damit der Draht nicht während der Haltephase abbriss. Um mess- und auswertbare Ergebnisse zu erhalten, musste die Haltephase möglichst lang sein.

Der Computer zeichnete für jede Messung ein Kraft-Zeit-Diagramm auf und bestimmte die Kraftänderung während der Haltephase. Es erfolgten zehn Messungen von jedem Probedraht. Von den im Versuch ermittelten Größen, der Ausgangskraft zu Beginn der Haltephase und der Kraftänderung während der Haltephase, wurden der Mittelwert, die Standardabweichung und die mittlere Abweichung vom Mittelwert berechnet. Die Relaxation in Prozent entspricht der Kraftänderung geteilt durch die Ausgangskraft zu Beginn der Haltephase multipliziert mit 100. Die Ergebnisse sind in *Kapitel 4.5* in Tabellenform festgehalten.

Proben

Da das Relaxationsverhalten der Drähte materialspezifisch ist, erfolgten die Messungen stellvertretend für die drei Drahttypen an Drähten folgender Qualitäten und Dimensionen:

- *Bow-Flex Wire (Spule): (.020“)*
- *TP Original Wire (Spule): premier plus (.020“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule): special plus (.020“)*

Es waren von jedem Draht zehn 25 Zentimeter lange Proben, die von Spulen verschiedener Herkunft stammten, Gegenstand der Messreihe.

3.6 Mittlere Elastizitätsmodule

In Versuch 3 (Biegeversuch) und in Versuch 4 (Zugversuch) waren identische Drahttypen Gegenstand der Untersuchung. Beide Versuche hatten, neben anderen, die Zielsetzung, den Elastizitätsmodul für die Drahtproben zu bestimmen. Aus den daraus resultierenden jeweils zwei Werten verschiedenen Ursprungs für den Elastizitätsmodul eines bestimmten Drahttyps wurden die Mittelwerte berechnet und in einem Diagramm dargestellt (siehe *Kapitel 4.6*).

3.7 Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Arbeit beruhen - bis auf die bei der Beurteilung der Drahtoberfläche (Versuch 2) - auf gemessenen Werten, die mit den Herstellerangaben und den Vorgaben der DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] verglichen wurden.

In Versuch 1 (Drahtdurchmesser) wurden aus sechs gemessenen Durchmessern der einzelnen Drähte die Mittelwerte (MW) berechnet.

In Versuch 2 (Drahtoberfläche) wurden die Drahtproben unter jeweils zwei elektronenmikroskopischen Vergrößerungen fotografiert.

Bei den Versuchen zur Bestimmung der Biegeeigenschaften (Versuch 3), des Verhaltens unter Zugbelastung (Versuch 4) und der Relaxation (Versuch 5) der Drähte wurden je Draht zehn Werte gemessen. Für diese zehn Werte wurden jeweils der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (SD) und die mittlere Abweichung vom Mittelwert (MA) bestimmt.

Für die Bestimmung des mittleren Elastizitätsmoduls der Drähte wurde von den beiden auf verschiedene Weise ermittelten Werten für den Elastizitätsmodul (Versuch 3 und Versuch 4) der Mittelwert gebildet.

Die in Versuch 3, Versuch 4 und Versuch 5 gemessenen Werte und Kurven (maximale Krafteinwirkung, Kraft-Durchbiegungs-Diagramm (Steifheit), Kraft-Verlängerungs-Diagramm sowie Ausgangskraft und Kraftänderung pro Zeit) dienten als Grundlage für die Berechnung weiterer mechanischer Größen (Biegefestigkeit, Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul und Relaxation). Für die Rechnungen wurde immer der Mittelwert der gemessenen Werte verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Messung des Drahtdurchmessers (Versuch 1)

Spulendrähte „Bow-Flex Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

Bow-Flex Wire .016“ (Chargennummer 2779003, 2109002 und 3349005)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,016“ und 0,41 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,016“: 0,40 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,403 mm und 0,408 mm. Der Drahtdurchmesser (0,40 mm) entsprach der Werksangabe (0,41 mm) in bezug auf die in der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 mm / - 0,01 mm) und erfüllte die Normvorgabe (0,40 mm) (siehe *Tabelle 3*).

Tabelle 3: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Bow-Flex Wire .016“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,41</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,40</i>
<i>I.</i>	0,403	0,40	- 0,01	0
<i>II.</i>	0,404	0,40	- 0,01	0
<i>III.</i>	0,408	0,41	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,404	0,40	- 0,01	0
<i>V.</i>	0,403	0,40	- 0,01	0
<i>VI.</i>	0,404	0,40	- 0,01	0
<i>MW</i>	0,404	0,40	- 0,01	0

Bow-Flex Wire .018“ (Chargennummer 2309002, 2119002 und 3019002)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,018“ und 0,46 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,018“: 0,45 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,454 mm und 0,459 mm. Der Drahtdurchmesser (0,46 mm) entsprach der Werksangabe (0,46 mm) in bezug auf die in der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 mm / - 0,01 mm), erfüllte aber die Normvorgabe (0,45 mm) nicht (siehe *Tabelle 4*).

Tabelle 4: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Bow-Flex Wire .018“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,46</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,45</i>
<i>I.</i>	0,456	0,46	0	+ 0,01
<i>II.</i>	0,456	0,46	0	+ 0,01
<i>III.</i>	0,456	0,46	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,454	0,45	- 0,01	0
<i>V.</i>	0,459	0,46	0	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,458	0,46	0	+ 0,01
<i>MW</i>	0,457	0,46	0	+ 0,01

Bow-Flex Wire .020“ (Chargennummer 1539001, 2149002 und 2309002)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,020“ und 0,51 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,020“: 0,50 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,02 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,507mm und 0,509 mm. Der Drahtdurchmesser (0,51 mm) entsprach der Werksangabe (0,51 mm) in bezug auf die in der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 mm / - 0,02 mm), erfüllte aber die Normvorgabe (0,51 mm) nicht (siehe *Tabelle 5*).

Tabelle 5: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Bow-Flex Wire .020“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,51</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,50</i>
<i>I.</i>	0,508	0,51	0	+ 0,01
<i>II.</i>	0,509	0,51	0	+ 0,01
<i>III.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>V.</i>	0,509	0,51	0	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,509	0,51	0	+ 0,01
<i>MW</i>	0,508	0,51	0	+ 0,01

Stangendrähte „TP Original Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

TP Original Wire Stange premier plus .016“ (6 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,016“ und 0,41 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,016“: 0,40 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,404 mm und 0,406 mm. Der Drahtdurchmesser (0,41 mm) entsprach der Werksangabe (0,41 mm) im bezug auf die von der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 / - 0,01 mm), erfüllte aber die Normvorgabe (0,40 mm) nicht (siehe *Tabelle 6*).

Tabelle 6: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für TP Original Wire Stange premier plus .016“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,41</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,40</i>
<i>I.</i>	0,404	0,40	- 0,01	0
<i>II.</i>	0,405	0,41	0	+ 0,01
<i>III.</i>	0,405	0,41	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,405	0,41	0	+ 0,01
<i>V.</i>	0,406	0,41	0	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,405	0,41	0	+ 0,01
<i>MW</i>	0,405	0,41	0	+ 0,01

TP Original Wire Stange premier plus .018“ (6 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,018“ und 0,46 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,018“: 0,45 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,452 mm und 0,456 mm. Der Drahtdurchmesser (0,45 mm) entsprach der Werksangabe (0,46 mm) in bezug auf die in der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 mm / - 0,01 mm) und erfüllte die Normvorgabe (0,45 mm) (siehe *Tabelle 7*).

Tabelle 7: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für TP Original Wire Stange premier plus .018“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,46</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,45</i>
<i>I.</i>	0,456	0,46	0	+ 0,01
<i>II.</i>	0,452	0,45	- 0,01	0
<i>III.</i>	0,453	0,45	- 0,01	0
<i>IV.</i>	0,453	0,45	- 0,01	0
<i>V.</i>	0,452	0,45	- 0,01	0
<i>VI.</i>	0,452	0,45	- 0,01	0
<i>MW</i>	0,453	0,45	- 0,01	0

TP Original Wire Stange premier plus .020“ (6 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,020“ und 0,51 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,020“: 0,50 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,02 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,505 mm und 0,509 mm. Der Drahtdurchmesser (0,51 mm) entsprach der Werksangabe (0,51 mm) in bezug auf die von der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 / - 0,02 mm), erfüllte aber die Normvorgabe (0,50 mm) nicht (siehe *Tabelle 8*).

Tabelle 8: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für TP Original Wire Stange premier plus .020“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,51</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,50</i>
<i>I.</i>	0,505	0,51	0	+ 0,01
<i>II.</i>	0,508	0,51	0	+ 0,01
<i>III.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,509	0,51	0	+ 0,01
<i>V.</i>	0,509	0,51	0	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>MW</i>	0,508	0,51	0	+ 0,01

Spulendrähte „TP Original Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

TP Original Wire Spule premier plus .016“ (Chargennummer 0918002 und 2299005)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,016“ und 0,41 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,016“: 0,40 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,405 mm und 0,407 mm. Der Drahtdurchmesser (0,41 mm) entsprach der Werksangabe (0,41 mm) in bezug auf die von der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 / - 0,01 mm), erfüllte aber die Normvorgabe (0,40 mm) nicht (siehe *Tabelle 9*).

Tabelle 9: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für TP Original Wire Spule premier plus .016“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,41</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,40</i>
<i>I.</i>	0,407	0,41	0	+ 0,01
<i>II.</i>	0,407	0,41	0	+ 0,01
<i>III.</i>	0,406	0,41	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,406	0,41	0	+ 0,01
<i>V.</i>	0,405	0,41	0	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,406	0,41	0	+ 0,01
<i>MW</i>	0,406	0,41	0	+ 0,01

TP Original Wire Spule premier plus .018“ (Chargennummer 338002 und 3059004)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,018“ und 0,46 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,018“: 0,45 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,456 mm und 0,458 mm. Der Drahtdurchmesser (0,46 mm) entsprach der Werksangabe (0,46 mm) in bezug auf die von der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 / - 0,01 mm), erfüllte aber die Normvorgabe (0,45 mm) nicht (siehe *Tabelle 10*).

Tabelle 10: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für TP Original Wire Spule premier plus .018“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,46</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,45</i>
<i>I.</i>	0,458	0,46	0	+ 0,01
<i>II.</i>	0,456	0,46	0	+ 0,01
<i>III.</i>	0,457	0,46	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,457	0,46	0	+ 0,01
<i>V.</i>	0,456	0,46	0	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,456	0,46	0	+ 0,01
<i>MW</i>	0,457	0,46	0	+ 0,01

TP Original Wire Spule premier plus .020“ (Chargennummer 1808003 und 2949004)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,020“ und 0,51 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,020“: 0,50 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,02 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,507 mm und 0,508 mm. Der Drahtdurchmesser (0,51 mm) entsprach der Werksangabe (0,51 mm) in bezug auf die von der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 / - 0,02 mm), erfüllte aber die Normvorgabe (0,50 mm) nicht (siehe *Tabelle 11*).

Tabelle 11: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für TP Original Wire Spule premier plus .020“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,51</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,50</i>
<i>I.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>II.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>III.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>V.</i>	0,508	0,51	0	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01
<i>MW</i>	0,507	0,51	0	+ 0,01

TP Original Wire Spule premier plus .022“ (Chargennummer 1628002 und 1259004)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,022“ und 0,56 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,022“: 0,56 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,02 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,557 mm und 0,563 mm. Der Drahtdurchmesser (0,56 mm) entsprach der Werksangabe (0,56 mm) in bezug auf die von der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 / - 0,02 mm) und erfüllte die Normvorgabe (0,56 mm) (siehe *Tabelle 12*).

Tabelle 12: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für TP Original Wire Spule premier plus .022“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,56</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,56</i>
<i>I.</i>	0,557	0,56	0	0
<i>II.</i>	0,557	0,56	0	0
<i>III.</i>	0,558	0,56	0	0
<i>IV.</i>	0,563	0,56	0	0
<i>V.</i>	0,562	0,56	0	0
<i>VI.</i>	0,560	0,56	0	0
<i>MW</i>	0,560	0,56	0	0

Stangendrähte „Australian Wire“ des Herstellers A. J. Wilcock

Australian Wire Stange special plus .016“ (6 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,016“ und 0,41 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,016“: 0,40 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,400 mm und 0,403 mm. Der Drahtdurchmesser (0,40 mm) entsprach der Werksangabe (0,41 mm) in bezug auf die in der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 mm / - 0,01 mm) und erfüllte die Normvorgabe (0,40 mm) (siehe *Tabelle 13*).

Tabelle 13: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Australian Wire Stange special plus .016“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,41</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,40</i>
<i>I.</i>	0,401	0,40	- 0,01	0
<i>II.</i>	0,402	0,40	- 0,01	0
<i>III.</i>	0,402	0,40	- 0,01	0
<i>IV.</i>	0,400	0,40	- 0,01	0
<i>V.</i>	0,402	0,40	- 0,01	0
<i>VI.</i>	0,403	0,40	- 0,01	0
<i>MW</i>	0,402	0,40	- 0,01	0

Australian Wire Stange special plus .018“ (6 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,018“ und 0,46 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,018“: 0,45 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,459 mm und 0,460 mm. Der Drahtdurchmesser (0,46 mm) entsprach der Werksangabe (0,46 mm) in bezug auf die von der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 / - 0,01 mm), erfüllte aber die Normvorgabe (0,45 mm) nicht (siehe *Tabelle 14*).

Tabelle 14: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Australian Wire Stange special plus .018“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,46</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,45</i>
<i>I.</i>	0,460	0,46	0	+ 0,01
<i>II.</i>	0,460	0,46	0	+ 0,01
<i>III.</i>	0,459	0,46	0	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,460	0,46	0	+ 0,01
<i>V.</i>	0,459	0,46	0	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,460	0,46	0	+ 0,01
<i>MW</i>	0,460	0,46	0	+ 0,01

Australian Wire Stange special plus .020“ (6 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,020“ und 0,51 mm
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,020“: 0,50 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,02 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,501 mm und 0,504 mm. Der Drahtdurchmesser (0,50 mm) entsprach der Werksangabe (0,51 mm) in bezug auf die in der Norm erlaubte Abweichung (+ 0 mm / - 0,02 mm) und erfüllte die Normvorgabe (0,50 mm) (siehe *Tabelle 15*).

Tabelle 15: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Australian Wire Stange special plus .020“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Werkswert 0,51</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,50</i>
<i>I.</i>	0,502	0,50	- 0,01	0
<i>II.</i>	0,501	0,50	- 0,01	0
<i>III.</i>	0,501	0,50	- 0,01	0
<i>IV.</i>	0,503	0,50	- 0,01	0
<i>V.</i>	0,504	0,50	- 0,01	0
<i>VI.</i>	0,501	0,50	- 0,01	0
<i>MW</i>	0,502	0,50	- 0,01	0

Spulendrähte „Australian Wire“ des Herstellers A. J. Wilcock

Für diese Drähte lagen keine Werksangaben oder Angaben des Importeurs bezüglich des Drahtdurchmessers in mm vor.

Australian Wire Spule special plus .016“ (Chargennummer 399.ROI und 1297.ROI)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,016“
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,016“: 0,40 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,412 mm und 0,413 mm. Der Drahtdurchmesser (0,41 mm) erfüllte die Normvorgabe (0,40 mm) nicht (siehe *Tabelle 16*).

Tabelle 16: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Australian Wire Spule special plus .016“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,40</i>
<i>I.</i>	0,413	0,41	+ 0,01
<i>II.</i>	0,413	0,41	+ 0,01
<i>III.</i>	0,412	0,41	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,413	0,41	+ 0,01
<i>V.</i>	0,412	0,41	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,413	0,41	+ 0,01
<i>MW</i>	0,413	0,41	+ 0,01

Australian Wire Spule special plus .018“ (Chargennummer 797.ROT und 797.ROH)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,018“
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,018“: 0,45 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,01 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,455 mm und 0,458 mm. Der Drahtdurchmesser (0,46 mm) erfüllte die Normvorgabe (0,45 mm) nicht (siehe *Tabelle 17*).

Tabelle 17: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Australian Wire Spule special plus .018“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,45</i>
<i>I.</i>	0,456	0,46	+ 0,01
<i>II.</i>	0,456	0,46	+ 0,01
<i>III.</i>	0,455	0,46	+ 0,01
<i>IV.</i>	0,457	0,46	+ 0,01
<i>V.</i>	0,457	0,46	+ 0,01
<i>VI.</i>	0,458	0,46	+ 0,01
<i>MW</i>	0,457	0,46	+ 0,01

Australian Wire Spule special plus .020“ (2 verschiedene Spulen der Chargennummer HC.RCH)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,020“
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,020“: 0,50 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,02 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,520 mm und 0,522 mm. Der Drahtdurchmesser (0,52 mm) erfüllte die Normvorgabe (0,50 mm) nicht (siehe *Tabelle 18*).

Tabelle 18: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Australian Wire Spule special plus .020“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,50</i>
<i>I.</i>	0,522	0,52	+ 0,02
<i>II.</i>	0,520	0,52	+ 0,02
<i>III.</i>	0,521	0,52	+ 0,02
<i>IV.</i>	0,519	0,52	+ 0,02
<i>V.</i>	0,520	0,52	+ 0,02
<i>VI.</i>	0,519	0,52	+ 0,02
<i>MW</i>	0,520	0,52	+ 0,02

Australian Wire Spule special plus .022“ (2 verschiedene Spulen der Chargennummer TC.RCK)

Vergleichswerte:

- Werksangaben für den Durchmesser: 0,022“
- nach DIN-Norm geforderter Durchmesser in mm für Drähte des Durchmessers 0,022“: 0,56 mm
- Toleranzmaß in mm nach DIN-Norm: + 0 mm / - 0,02 mm

Die Messwerte lagen zwischen 0,562 mm und 0,564 mm. Der Drahtdurchmesser (0,56 mm) erfüllte die Normvorgabe (0,56 mm) (siehe *Tabelle 19*).

Tabelle 19: Messergebnisse der Durchmesserüberprüfung für Australian Wire Spule special plus .022“ (alle Angaben in mm)

<i>Messung</i>	<i>gemessener Wert</i>	<i>gerundeter Wert</i>	<i>Abweichung vom Normwert 0,56</i>
<i>I.</i>	0,562	0,56	0
<i>II.</i>	0,563	0,56	0
<i>III.</i>	0,564	0,56	0
<i>IV.</i>	0,563	0,56	0
<i>V.</i>	0,562	0,56	0
<i>VI.</i>	0,562	0,56	0
<i>MW</i>	0,563	0,56	0

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse (siehe Tabelle 20)
Tabelle 20: Ergebnisse von Versuch 1 (Drahtdurchmesser)

<i>Drahttyp</i>	<i>entspricht Normvorgabe im Rahmen der in der Norm erlaubten Abweichung</i>	<i>entspricht Werksangabe bezüglich der in der Norm erlaubten Abweichung</i>
Bow-Flex Wire .016"	ja	ja
Bow-Flex Wire .018"	nein	ja
Bow-Flex Wire .020"	nein	ja
TP Original Wire Stange premier plus .016"	nein	ja
TP Original Wire Stange premier plus .018"	ja	ja
TP Original Wire Stange premier plus .020"	nein	ja
TP Original Wire Spule premier plus .016"	nein	ja
TP Original Wire Spule premier plus .018"	nein	ja
TP Original Wire Spule premier plus .020"	nein	ja
TP Original Wire Spule premier plus .022"	ja	ja
Australian Wire Stange special plus .016"	ja	ja
Australian Wire Stange special plus .018"	nein	ja
Australian Wire Stange special plus .020"	ja	ja
Australian Wire Spule special plus .016"	nein	*
Australian Wire Spule special plus .018"	nein	*
Australian Wire Spule special plus .020"	nein	*
Australian Wire Spule special plus .022"	ja	*

*: Für diesen Draht lagen keine Werksangaben oder Angaben des Importeurs bezüglich des Drahtdurchmessers in mm vor.

4.2 Drahtoberfläche (Versuch 2)

Spulendrähte „Bow-Flex Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

Bow-Flex Wire .016“ (Chargennummer 3349005; siehe Abbildungen 5 und 6)

Die sichtbare Oberfläche des Drahtes war sehr glatt. In der starken Vergrößerung waren einige schwache, parallel zur Drahtlängsachse verlaufende Riefen zu erkennen.

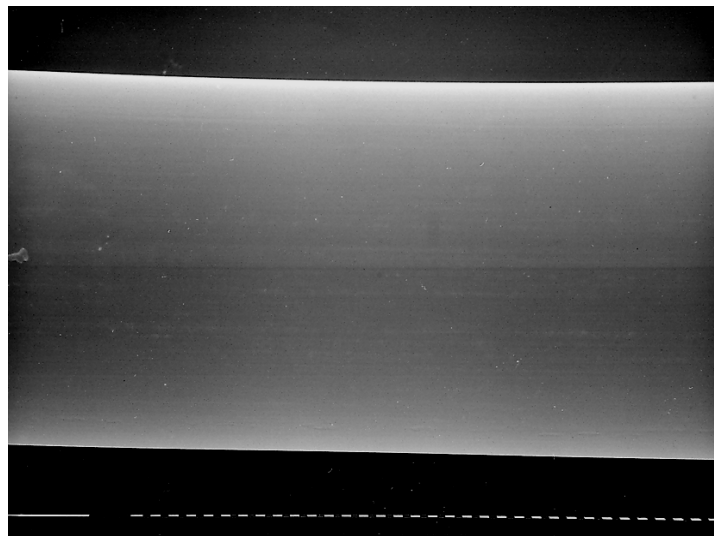


Abbildung 5: Bow-Flex Wire .016“; Übersichtsaufnahme (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)



Abbildung 6: Bow-Flex Wire .016“; Ausschnitt aus *Abbildung 5* (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)

Bow-Flex Wire .020“ (Chargennummer 2309002; siehe Abbildungen 7 und 8)

Die sichtbare Oberfläche des Drahtes war glatt. In der starken Vergrößerung waren teilweise sehr grobe, parallel zur Drahtlängsachse verlaufende Riefen zu erkennen.

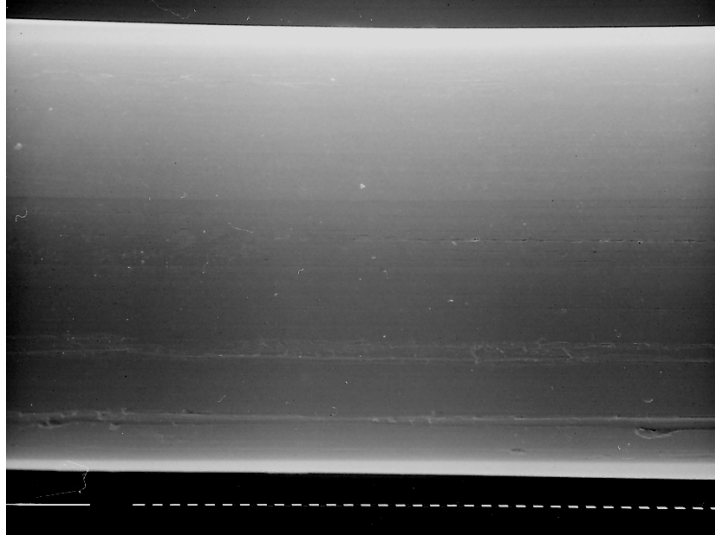
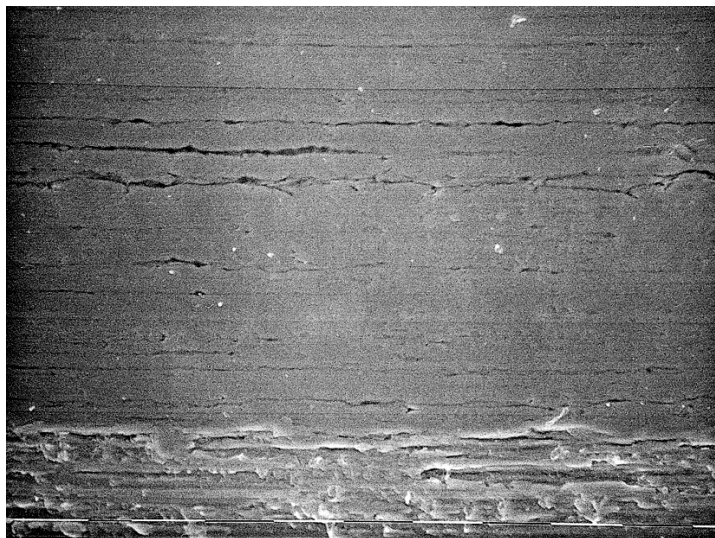


Abbildung 7: Bow-Flex Wire .020“; Übersichtsaufnahme (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)



*Abbildung 8: Bow-Flex Wire .020“; Ausschnitt aus *Abbildung 7* (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)*

Spulendrähte „TP Original Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

TP Original Wire Spule premier plus .016“ (Chargennummer 2299005; siehe Abbildungen 9 und 10)

Die sichtbare Oberfläche des Drahtes war glatt. In der starken Vergrößerung waren einige parallel zur Drahtlängsachse verlaufende Riefen zu erkennen.

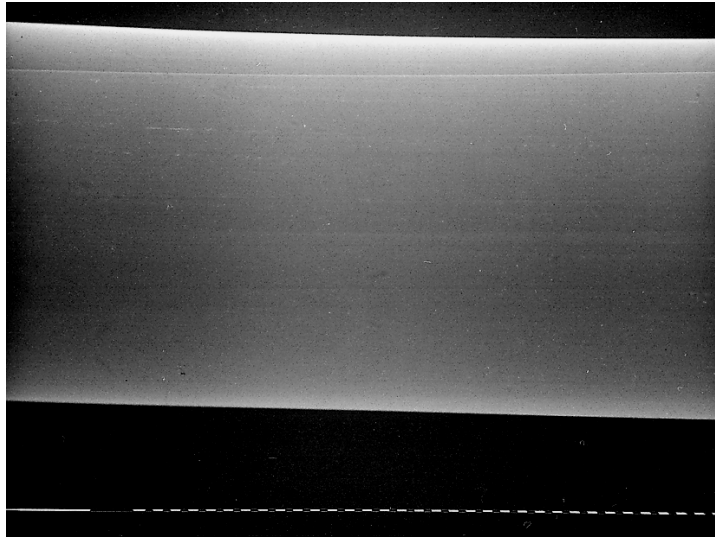


Abbildung 9: TP Original Wire Spule premier plus .016“; Übersichtsaufnahme (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)



*Abbildung 10: TP Original Wire Spule premier plus .016“; Ausschnitt aus *Abbildung 9* (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)*

TP Original Wire Spule premier plus .020“ (Chargennummer 2949004; siehe Abbildungen 11 und 12)

Die sichtbare Oberfläche des Drahtes war glatt. In der starken Vergrößerung waren einige schwache und eine sehr große, parallel zur Drahtlängsachse verlaufende Riefe zu erkennen.

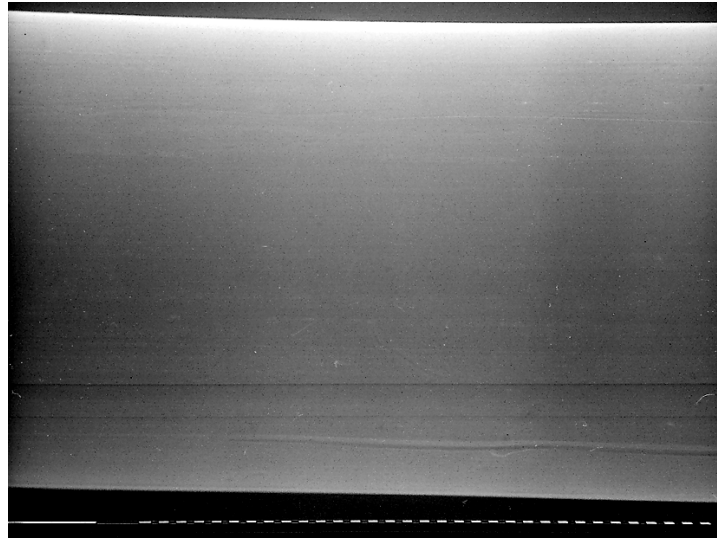


Abbildung 11: TP Original Wire Spule premier plus .020“; Übersichtsaufnahme (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 µm)

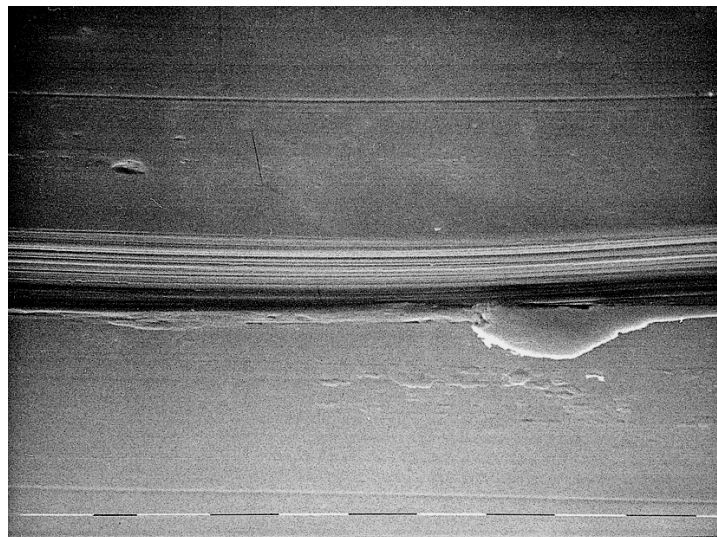


Abbildung 12: TP Original Wire Spule premier plus .020“; Ausschnitt aus Abbildung 11 (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 µm)

Spulendrähte „Australian Wire“ des Herstellers A. J. Wilcock

Australian Wire Spule special plus .016“ (Chargennummer 1297.ROI; siehe Abbildungen 13 und 14)

Die sichtbare Oberfläche des Drahtes war rau. In der starken Vergrößerung waren grobe, parallel zur Drahtlängsachse verlaufende Riefen und eine allgemeine Unebenheit zu erkennen.

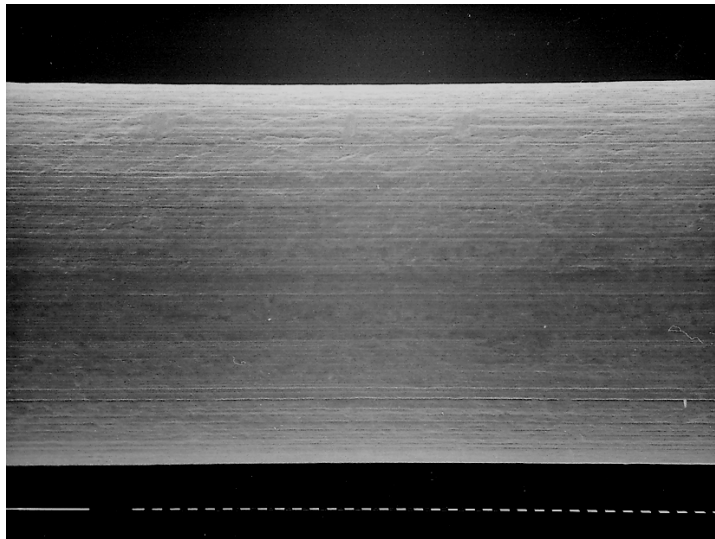


Abbildung 13: Australian Wire Spule special plus .016“; Übersichtsaufnahme (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)



*Abbildung 14: Australian Wire Spule special plus .016“; Ausschnitt aus *Abbildung 13* (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)*

Australian Wire Spule special plus .020“ (Chargennummer HC.RCH; siehe Abbildungen 15 und 16)

Die sichtbare Oberfläche des Drahtes war rau. In der starken Vergrößerung waren grobe, parallel zur Drahtlängsachse verlaufende Riefen und eine allgemeine starke Unebenheit zu erkennen.

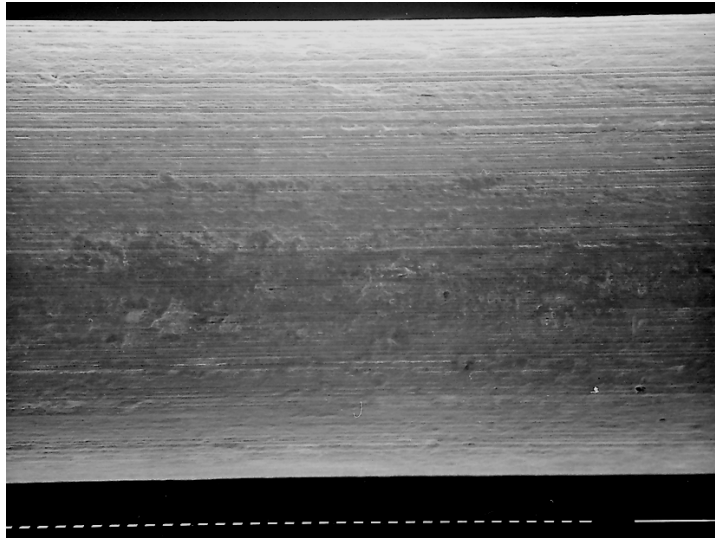


Abbildung 15: Australian Wire Spule special plus .020“; Übersichtsaufnahme (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)



*Abbildung 16: Australian Wire Spule special plus .020“; Ausschnitt aus *Abbildung 15* (ein weißer Strich entspricht einer Strecke von 10 μm)*

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Drahtoberflächen der Drähte „Australian Wire special plus“ wiesen eindeutig stärkere Unebenheiten auf als die Drahtoberflächen der Drähte „Bow-Flex Wire“ und „TP Original Wire premier plus“. Zwischen „Bow -Flex Wire“ und „TP Original Wire premier plus“ ließen sich keine bedeutsamen Unterschiede in der Drahtoberflächenbeschaffenheit feststellen.

Alle untersuchten Drahtproben zeigten parallel zur Drahtlängsachse verlaufende Riefen auf, die vermutlich durch die Düsen verursacht worden sind, durch die die Drähte beim Drahtziehen während des Herstellungsprozesses gezogen worden sind.

4.3 Biegeeigenschaften (Versuch 3)

In den *Tabellen 21 bis 40* sind die Ergebnisse aller zehn Einzelmessungen pro Draht dargestellt. Der Mittelwert (*MW*), die Standardabweichung (*SD*) und die mittlere Abweichung vom Mittelwert (*MA*) wurden errechnet.

Mit den experimentell ermittelten Größen - der maximalen, während der Durchbiegung wirkenden Kraft und der Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (Steifheit) sowie den in Versuch 1 bestimmten Durchmessern - wurden die Biegefestigkeit und der Elastizitätsmodul berechnet.

War ein gemessener Wert ungültig, wurde das in der Tabelle als „X“ vermerkt.

Spulendrähte „Bow-Flex Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

Bow-Flex Wire .016“ (Chargennummer 2779003, 2109002 und 3349005)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5273 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 210675 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 21* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 21: Messergebnisse des Biegeversuchs für Bow-Flex Wire .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	13,9	13,5
<i>II.</i>	13,2	12,2
<i>III.</i>	13,3	12,2
<i>IV.</i>	13,2	12,2
<i>V.</i>	X	13,5
<i>VI.</i>	13,3	12,2
<i>VII.</i>	13,8	12,2
<i>VIII.</i>	13,8	13,5
<i>IX.</i>	13,8	13,5
<i>X.</i>	13,2	12,2
<i>MW</i>	13,5	12,7
<i>SD</i>	0,3	0,7
<i>MA</i>	0,3	0,6

Bow-Flex Wire .018“(Chargennummer 2309002, 2119002 und 3019002)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 4963 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 183901 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 22* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 22: Messergebnisse des Biegeversuchs für *Bow-Flex Wire .018*“

Messung	maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)	Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)
<i>I.</i>	20,0	21,7
<i>II.</i>	20,0	21,7
<i>III.</i>	X	21,7
<i>IV.</i>	19,7	21,7
<i>V.</i>	20,1	17,9
<i>VI.</i>	18,9	17,9
<i>VII.</i>	19,1	17,9
<i>VIII.</i>	18,9	17,9
<i>IX.</i>	18,6	17,9
<i>X.</i>	18,6	17,9
<i>MW</i>	19,3	19,4
<i>SD</i>	0,6	2,0
<i>MA</i>	0,6	1,8

Bow-Flex Wire .020“(Chargennummer 1539001, 2149002 und 2 309002)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 4926 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 170222 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 23* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 23: Messwerte des Biegeversuchs für *Bow-Flex Wire .020*“

Messung	maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)	Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)
I.	26,0	27,0
II.	26,3	27,0
III.	26,3	27,0
IV.	26,1	27,0
V.	26,3	27,0
VI.	26,2	27,0
VII.	26,2	27,0
VIII.	26,1	28,6
IX.	26,0	27,0
X.	25,9	27,0
MW	26,1	27,2
SD	0,1	0,5
MA	0,1	0,3

Stangendrähte „TP Original Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

TP Original Wire Stange premier plus .016“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 4991 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 193712 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 24* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 24: Messwerte des Biegeversuchs für TP Original Wire Stange premier plus .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	13,7	13,5
<i>II.</i>	13,8	13,5
<i>III.</i>	13,7	13,5
<i>IV.</i>	13,7	13,5
<i>V.</i>	13,7	12,2
<i>VI.</i>	13,9	12,2
<i>VII.</i>	13,9	12,2
<i>VIII.</i>	13,7	12,2
<i>IX.</i>	13,8	13,5
<i>X.</i>	13,7	12,8
<i>MW</i>	13,8	12,9
<i>SD</i>	0,1	0,6
<i>MA</i>	0,1	0,6

TP Original Wire Stange premier plus .018“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5005 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 177743 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 25* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 25: Messwerte des Biegeversuchs für TP Original Wire Stange premier plus .018“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	18,4	17,9
<i>II.</i>	18,2	17,9
<i>III.</i>	18,1	17,9
<i>IV.</i>	18,2	16,7
<i>V.</i>	X	17,9
<i>VI.</i>	18,4	16,7
<i>VII.</i>	18,5	15,6
<i>VIII.</i>	18,1	17,9
<i>IX.</i>	18,3	16,7
<i>X.</i>	18,0	16,7
<i>MW</i>	18,2	17,2
<i>SD</i>	0,2	0,8
<i>MA</i>	0,1	0,7

TP Original Wire Stange premier plus .020“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er-Packung)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5077 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 168968 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 26* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 26: Messwerte des Biegeversuchs für TP Original Wire Stange premier plus .020“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	27,1	27,0
<i>II.</i>	27,2	27,0
<i>III.</i>	26,9	24,4
<i>IV.</i>	26,9	27,0
<i>V.</i>	26,6	24,4
<i>VI.</i>	27,0	28,6
<i>VII.</i>	27,2	28,6
<i>VIII.</i>	26,5	27,0
<i>IX.</i>	27,0	28,6
<i>X.</i>	27,0	27,0
<i>MW</i>	26,9	27,0
<i>SD</i>	0,2	1,5
<i>MA</i>	0,2	1,0

Spulendrähte „TP Original Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

TP Original Wire Spule premier plus .016“ (Chargennummer 0918002 und 2299005)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5129 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 204966 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 27* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 27: Messwerte des Biegeversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	14,5	14,3
<i>II.</i>	14,1	13,5
<i>III.</i>	14,3	13,5
<i>IV.</i>	14,4	13,5
<i>V.</i>	13,9	13,5
<i>VI.</i>	14,2	13,5
<i>VII.</i>	13,9	13,5
<i>VIII.</i>	14,3	14,3
<i>IX.</i>	14,2	13,5
<i>X.</i>	13,6	13,5
<i>MW</i>	14,1	13,7
<i>SD</i>	0,3	0,3
<i>MA</i>	0,2	0,3

TP Original Wire Spule premier plus .018“ (Chargennummer 338002 und 3059004)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 4947 N/mm² und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 198295 N/mm². Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 28* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 28: Messwerte des Biegeversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .018“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	18,7	21,7
<i>II.</i>	19,1	17,9
<i>III.</i>	18,7	21,7
<i>IV.</i>	19,2	17,9
<i>V.</i>	19,4	21,7
<i>VI.</i>	19,4	21,7
<i>VII.</i>	19,6	21,7
<i>VIII.</i>	19,8	21,7
<i>IX.</i>	19,3	21,7
<i>X.</i>	19,4	21,7
<i>MW</i>	19,3	20,9
<i>SD</i>	0,4	1,6
<i>MA</i>	0,3	1,2

TP Original Wire Spule premier plus .020“ (Chargennummer 1808003 und 2949004)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5061 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 177931 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 29* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 29: Messwerte des Biegeversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .020“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	26,9	31,3
<i>II.</i>	26,5	28,6
<i>III.</i>	27,0	28,6
<i>IV.</i>	27,0	28,6
<i>V.</i>	27,2	28,6
<i>VI.</i>	26,8	27,0
<i>VII.</i>	26,6	28,6
<i>VIII.</i>	26,8	28,6
<i>IX.</i>	X	27,0
<i>X.</i>	26,9	27,0
<i>MW</i>	26,9	28,4
<i>SD</i>	0,2	1,3
<i>MA</i>	0,2	0,8

TP Original Wire Spule premier plus .022“ (Chargennummer 1628002 und 1259004)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5086 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 189312 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 30* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 30: Messwerte des Biegeversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .022“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	33,9	43,5
<i>II.</i>	35,9	43,5
<i>III.</i>	36,7	43,5
<i>IV.</i>	35,8	47,6
<i>V.</i>	36,5	43,5
<i>VI.</i>	33,9	43,5
<i>VII.</i>	36,0	43,5
<i>VIII.</i>	36,6	43,5
<i>IX.</i>	35,9	43,5
<i>X.</i>	36,1	43,5
<i>MW</i>	35,7	43,9
<i>SD</i>	1,0	1,3
<i>MA</i>	0,7	0,7

Stangendrähte „Australian Wire“ des Herstellers A. J. Wilcock

Australian Wire Stange special plus .016“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5199 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 186328 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 31* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 31: Messwerte des Biegeversuchs für Australian Wire Stange special plus .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	13,2	10,9
<i>II.</i>	13,5	11,6
<i>III.</i>	13,4	11,6
<i>IV.</i>	13,6	10,9
<i>V.</i>	13,1	11,6
<i>VI.</i>	13,5	11,6
<i>VII.</i>	13,1	10,9
<i>VIII.</i>	13,3	10,9
<i>IX.</i>	13,2	10,9
<i>X.</i>	13,2	11,6
<i>MW</i>	13,3	11,3
<i>SD</i>	0,2	0,4
<i>MA</i>	0,2	0,4

Australian Wire Stange special plus .018“ (10 verschiedene Probe n aus einer 30er-Packung)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5008 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 188446 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 32* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 32: Messwerte des Biegeversuchs für Australian Wire Stange special plus .018“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	19,7	20,3
<i>II.</i>	19,6	20,3
<i>III.</i>	19,5	18,3
<i>IV.</i>	19,3	20,3
<i>V.</i>	19,5	20,3
<i>VI.</i>	19,4	20,3
<i>VII.</i>	19,7	20,3
<i>VIII.</i>	19,8	20,3
<i>IX.</i>	19,5	18,3
<i>X.</i>	19,0	20,3
<i>MW</i>	19,5	19,9
<i>SD</i>	0,2	0,8
<i>MA</i>	0,2	0,6

Australian Wire Stange special plus .020“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5390 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 166344 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 33* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 33: Messwerte des Biegeversuchs für Australian Wire Stange special plus .020“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	27,0	24,4
<i>II.</i>	26,9	24,4
<i>III.</i>	26,9	24,4
<i>IV.</i>	26,6	24,4
<i>V.</i>	27,1	25,6
<i>VI.</i>	26,8	24,4
<i>VII.</i>	27,2	24,4
<i>VIII.</i>	27,1	24,4
<i>IX.</i>	26,8	24,4
<i>X.</i>	27,1	24,4
<i>MW</i>	27,0	24,5
<i>SD</i>	0,2	0,4
<i>MA</i>	0,2	0,2

Spulendrähte „Australian Wire“ des Herstellers A. J. Wilcock

Australian Wire Spule special plus .016“ (Chargennummer 399.ROI und 1297.ROI)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5180 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 237376 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 34* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 34: Messwerte des Biegeversuchs für Australian Wire Spule special plus .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	14,1	15,6
<i>II.</i>	14,3	16,7
<i>III.</i>	14,5	15,6
<i>IV.</i>	14,1	15,6
<i>V.</i>	14,3	15,6
<i>VI.</i>	14,2	15,6
<i>VII.</i>	14,2	15,6
<i>VIII.</i>	14,0	15,6
<i>IX.</i>	14,3	15,6
<i>X.</i>	14,8	16,7
<i>MW</i>	14,3	15,8
<i>SD</i>	0,2	0,5
<i>MA</i>	0,2	0,4

Australian Wire Spule special plus .018“ (Chargennummer 797.ROT und 797.ROH)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 4847 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 211268 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 35* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 35: Messwerte des Biegeversuchs für Australian Wire Spule special plus .018“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	18,8	27,8
<i>II.</i>	19,0	21,7
<i>III.</i>	18,9	21,7
<i>IV.</i>	19,0	21,7
<i>V.</i>	18,1	21,7
<i>VI.</i>	19,0	21,7
<i>VII.</i>	18,7	21,7
<i>VIII.</i>	18,9	21,7
<i>IX.</i>	19,1	21,7
<i>X.</i>	19,2	21,7
<i>MW</i>	18,9	22,3
<i>SD</i>	0,3	1,9
<i>MA</i>	0,2	1,1

Australian Wire Spule special plus .020“ (2 verschiedene Spulen der Chargennummer HC.RCH)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5136 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 207024 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 36* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 36: Messwerte des Biegeversuchs für Australian Wire Spule special plus .020“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	28,5	35,7
<i>II.</i>	29,3	35,7
<i>III.</i>	X	35,7
<i>IV.</i>	28,7	35,7
<i>V.</i>	28,4	35,7
<i>VI.</i>	28,6	35,7
<i>VII.</i>	29,2	35,7
<i>VIII.</i>	29,3	35,7
<i>IX.</i>	29,1	35,7
<i>X.</i>	28,9	35,7
<i>MW</i>	28,9	35,7
<i>SD</i>	0,4	0,0
<i>MA</i>	0,3	0,0

Australian Wire Spule special plus .022“ (2 verschiedene Spulen der Chargennummer TC.RCK)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 5286 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 195434 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 37* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 37: Messwerte des Biegeversuchs für Australian Wire Spule special plus .022“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	37,0	45,5
<i>II.</i>	37,2	45,5
<i>III.</i>	36,7	43,5
<i>IV.</i>	37,7	43,5
<i>V.</i>	36,6	43,5
<i>VI.</i>	37,6	47,6
<i>VII.</i>	37,1	47,6
<i>VIII.</i>	36,6	45,5
<i>IX.</i>	37,2	47,6
<i>X.</i>	37,6	43,5
<i>MW</i>	37,1	45,3
<i>SD</i>	0,4	1,8
<i>MA</i>	0,3	1,5

Nach DIN-Norm [25] künstlich gealterte Spulendrähte

Bow-Flex Wire .018“DIN -gealtert (Chargennummer 2309002, 2119002 und 3019002)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 4951 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 188257 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 38* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 38: Messwerte des Biegeversuchs für Bow-Flex Wire .018“DIN -gealtert

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	20,0	21,7
<i>II.</i>	20,2	20,0
<i>III.</i>	20,0	20,0
<i>IV.</i>	X	21,7
<i>V.</i>	X	20,0
<i>VI.</i>	18,8	21,7
<i>VII.</i>	19,0	20,0
<i>VIII.</i>	18,7	17,9
<i>IX.</i>	18,7	17,9
<i>X.</i>	18,8	17,9
<i>MW</i>	19,3	19,9
<i>SD</i>	0,7	1,6
<i>MA</i>	0,6	1,2

TP Original Wire Spule premier plus .018“DIN -gealtert (Chargennummer 338002 und 3059004)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 4978 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 200662 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 39* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 39: Messwerte des Biegeversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .018“DIN -gealtert

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	20,3	21,7
<i>II.</i>	19,4	21,7
<i>III.</i>	19,0	21,7
<i>IV.</i>	19,2	21,7
<i>V.</i>	19,3	20,0
<i>VI.</i>	18,3	20,0
<i>VII.</i>	19,6	21,7
<i>VIII.</i>	19,9	21,7
<i>IX.</i>	19,8	20,0
<i>X.</i>	19,0	21,7
<i>MW</i>	19,4	21,2
<i>SD</i>	0,6	0,8
<i>MA</i>	0,4	0,7

Australian Wire Spule special plus .018“DIN -gealtert (Chargennummer 797.ROT und 797.ROH)

Die nach *Formel 4* ermittelte Biegefestigkeit betrug 4939 N/mm^2 und der mit *Formel 7* berechnete Elastizitätsmodul 213446 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 40* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 40: Messwerte des Biegeversuchs für Australian Wire Spule special plus .018“ DIN-gealtert

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Durchbiegung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	19,1	21,7
<i>II.</i>	19,2	21,7
<i>III.</i>	19,3	23,8
<i>IV.</i>	19,2	21,7
<i>V.</i>	19,2	23,8
<i>VI.</i>	19,8	23,8
<i>VII.</i>	19,0	21,7
<i>VIII.</i>	19,2	21,7
<i>IX.</i>	19,2	23,8
<i>X.</i>	19,1	21,7
<i>MW</i>	19,2	22,5
<i>SD</i>	0,2	1,1
<i>MA</i>	0,1	1,0

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Biegefestigkeiten aller untersuchten Drähte lagen in einem Bereich zwischen 4800 N/mm² und 5400 N/mm². Zwischen den nach DIN-Norm [25] künstlich gealterten Drähten und den entsprechenden unbehandelten Drähten ließen sich keine herausragenden Unterschiede feststellen (siehe *Abbildung 17*).

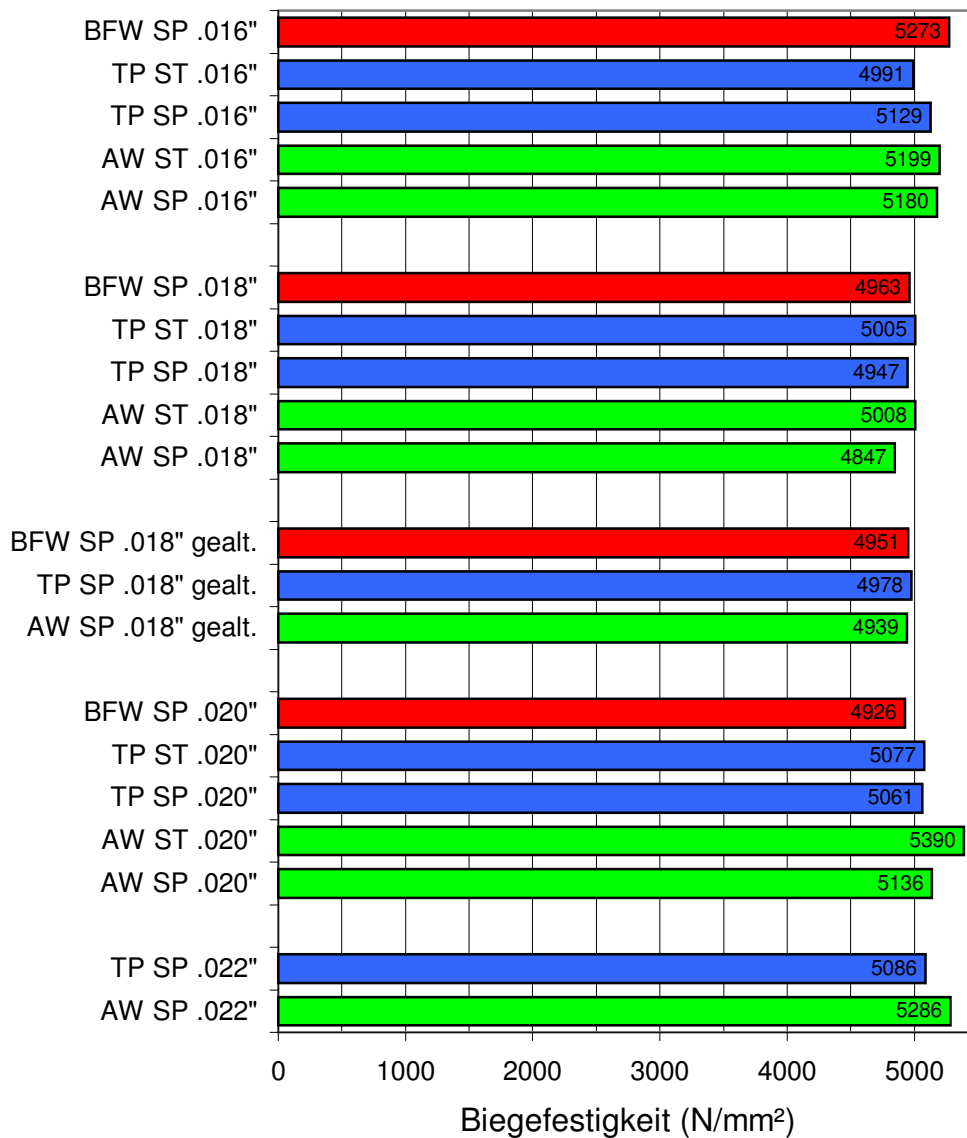


Abbildung 17: Biegefestigkeit (N/mm²) der untersuchten Drähte:

BFW = Bow-Flex Wire

TP = TP Original Wire premier plus

AW = Australian Wire special plus

ST = Stangendraht

SP = Spulendraht

gealtert (gealt.) = nach DIN gealtert

Die Steifheit (Steigung im elastischen Bereich des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms) der untersuchten Drahttypen nimmt bei größeren Durchmessern zu. Der „Australian Wire special plus Spule“ hatte in jeder Dimension die höchste Steifheit. Die Steifheit der Spulendrähte war immer höher als die der entsprechenden Stangendrähte. Zwischen den nach DIN-Norm [25] künstlich gealterten Drähten und den entsprechenden unbehandelten Drähten ließen sich keine herausragenden Unterschiede feststellen (siehe *Abbildung 18*).

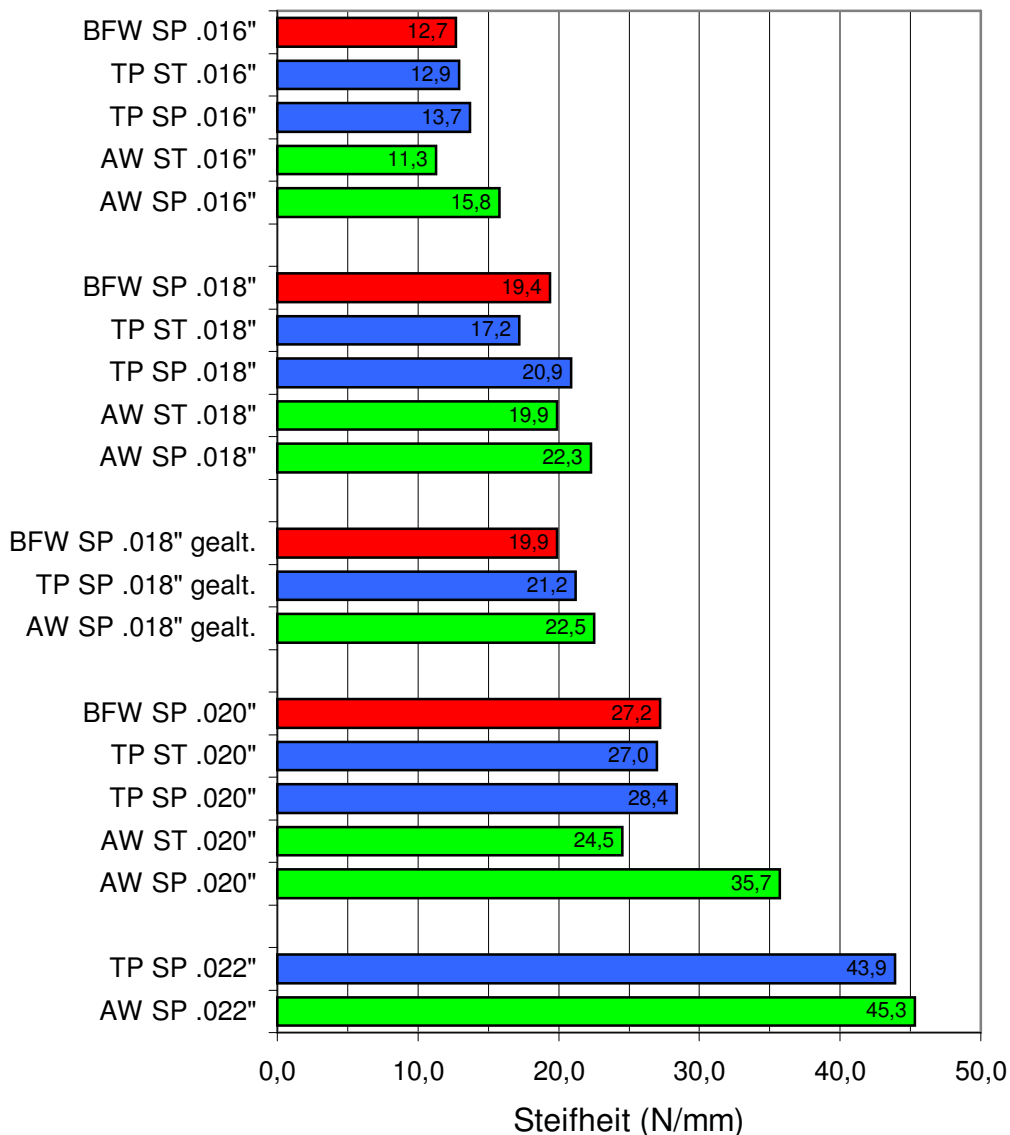


Abbildung 18: Steifheit (N/mm) der untersuchten Drähte:

BFW = **Bow-Flex Wire**

TP = **TP Original Wire premier plus**

AW = **Australian Wire special plus**

ST = Stangendraht

SP = Spulendraht

gealtert (gealt.) = nach DIN gealtert

Der Elastizitätsmodul war bei Spulendrähten größer als bei den entsprechenden Stangendrähten. „Australian Wire special plus Spule“ wies im Vergleich mit allen anderen Drähten immer den höchsten Elastizitätsmodul auf. Zwischen den nach DIN-Norm [25] künstlich gealterten Drähten und den entsprechenden unbehandelten Drähten ließen sich keine herausragenden Unterschiede feststellen (siehe *Abbildung 19*).

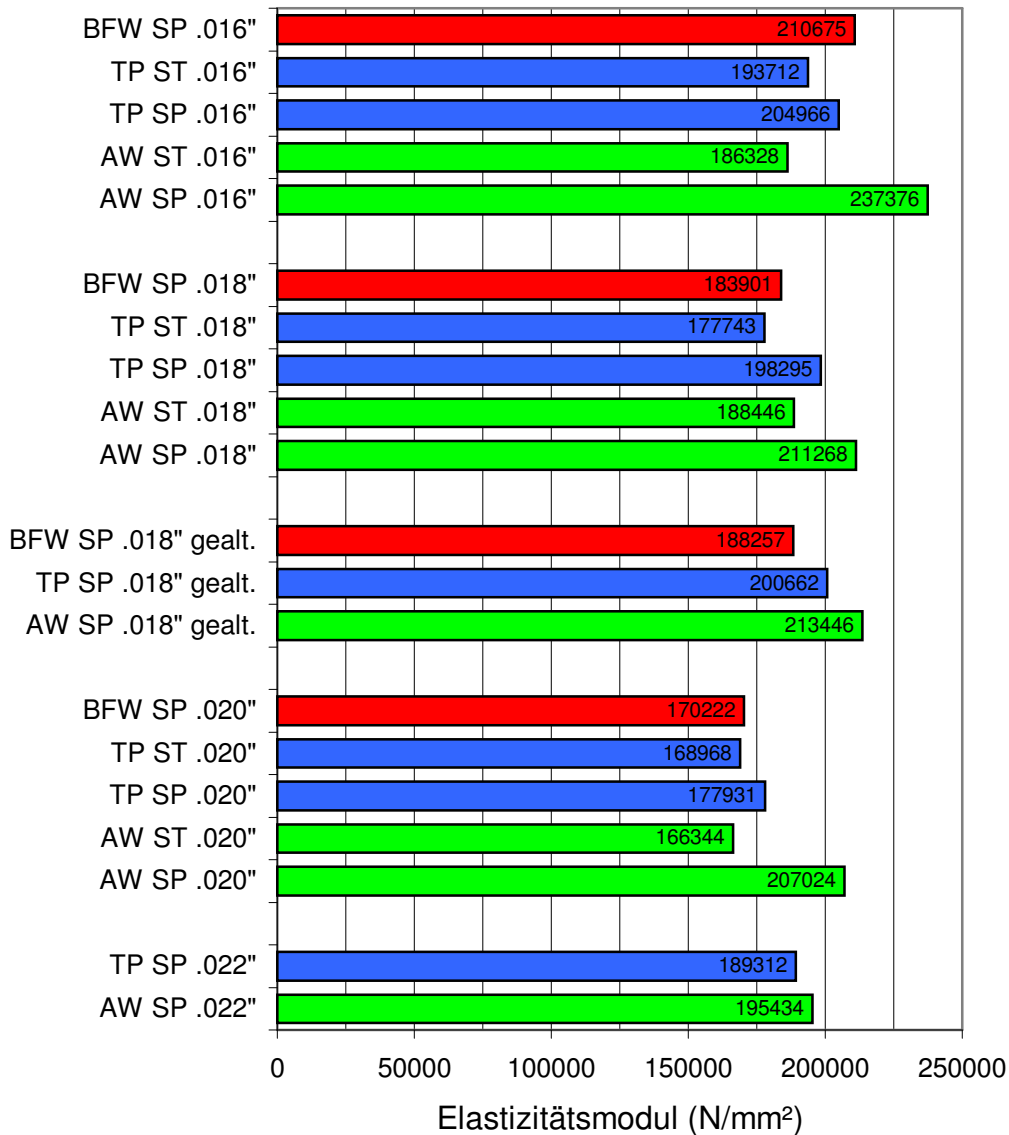


Abbildung 19: Elastizitätsmodul (N/mm²) der untersuchten Drähte:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| BFW = Bow-Flex Wire | ST = Stangendraht |
| TP = TP Original Wire premier plus | SP = Spulendraht |
| AW = Australian Wire special plus | gealtert (gealt.) = nach DIN gealtert |

4.4 Verhalten unter Zugbelastung (Versuch 4)

In den *Tabellen 41 bis 60* sind die Ergebnisse aller zehn Einzelmessungen pro Draht dargestellt. Der Mittelwert (*MW*), die Standardabweichung (*SD*) und die mittlere Abweichung vom Mittelwert (*MA*) wurden errechnet.

Mit den experimentell ermittelten Größen - der maximalen, während der Dehnung wirkenden Kraft und der Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich sowie den in Versuch 1 bestimmten Durchmessern - wurden die Zugfestigkeit und der Elastizitätsmodul berechnet.

War ein gemessener Wert ungültig, wurde das in der Tabelle als „X“ vermerkt.

Spulendrähte „Bow-Flex Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

Bow-Flex Wire .016“ (Chargennummer 2779003, 2109002 und 3349005)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2199 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 163500 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 41* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 41: Messergebnisse des Zugversuchs für Bow-Flex Wire .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	280,7	107,5
<i>II.</i>	267,8	107,5
<i>III.</i>	256,9	107,5
<i>IV.</i>	250,2	103,4
<i>V.</i>	255,8	103,4
<i>VI.</i>	284,8	99,6
<i>VII.</i>	301,1	99,6
<i>VIII.</i>	290,7	99,6
<i>IX.</i>	286,6	99,6
<i>X.</i>	289,1	99,6
<i>MW</i>	276,4	102,7
<i>SD</i>	17,4	3,6
<i>MA</i>	15,0	3,1

Bow-Flex Wire .018“(Chargennummer 2309002, 2119002 und 3019002)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 1962 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 160202 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 42* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 42: Messergebnisse des Zugversuchs für *Bow-Flex Wire .018*“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	328,2	134,4
<i>II.</i>	330,7	134,4
<i>III.</i>	313,9	134,4
<i>IV.</i>	315,6	134,4
<i>V.</i>	314,4	134,4
<i>VI.</i>	310,8	134,4
<i>VII.</i>	360,2	134,4
<i>VIII.</i>	359,9	134,4
<i>IX.</i>	300,2	128,0
<i>X.</i>	326,8	128,0
<i>MW</i>	326,1	133,1
<i>SD</i>	20,1	2,7
<i>MA</i>	15,1	2,0

Bow-Flex Wire .020“(Chargennummer 1539001, 2149002 und 2309002)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 1960 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 165193 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 43* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 43: Messwerte des Zugversuchs für *Bow-Flex Wire .020*“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	391,5	175,3
<i>II.</i>	424,1	168,0
<i>III.</i>	389,1	168,0
<i>IV.</i>	446,8	168,0
<i>V.</i>	375,5	168,0
<i>VI.</i>	346,4	168,0
<i>VII.</i>	409,2	168,0
<i>VIII.</i>	434,2	168,0
<i>IX.</i>	382,0	168,0
<i>X.</i>	405,9	168,0
<i>MW</i>	400,5	168,7
<i>SD</i>	29,9	2,3
<i>MA</i>	23,6	1,3

Stangendrähte „TP Original Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

TP Original Wire Stange premier plus .016“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2164 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 169664 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 44* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 44: Messwerte des Zugversuchs für TP Original Wire Stange premier plus .016“

Messung	maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)	Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)
<i>I.</i>	283,9	112,0
<i>II.</i>	260,4	112,0
<i>III.</i>	290,7	112,0
<i>IV.</i>	271,2	112,0
<i>V.</i>	291,9	112,0
<i>VI.</i>	307,9	112,0
<i>VII.</i>	289,0	112,0
<i>VIII.</i>	295,8	112,0
<i>IX.</i>	277,1	112,0
<i>X.</i>	289,3	112,0
<i>MW</i>	285,7	112,0
<i>SD</i>	13,4	0,0
<i>MA</i>	10,1	0,0

TP Original Wire Stange premier plus .018“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2160 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 168206 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 45* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 45: Messwerte des Zugversuchs für TP Original Wire Stange premier plus .018“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	322,9	134,4
<i>II.</i>	341,1	134,4
<i>III.</i>	353,9	134,4
<i>IV.</i>	339,1	134,4
<i>V.</i>	333,1	134,4
<i>VI.</i>	338,8	134,4
<i>VII.</i>	347,3	134,4
<i>VIII.</i>	374,6	134,4
<i>IX.</i>	339,6	128,0
<i>X.</i>	344,9	134,4
<i>MW</i>	343,5	133,8
<i>SD</i>	13,7	2,0
<i>MA</i>	9,3	1,2

TP Original Wire Stange premier plus .020“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2209 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 163823 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 46* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 46: Messwerte des Zugversuchs für TP Original Wire Stange premier plus .020“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	472,6	168,0
<i>II.</i>	482,9	168,0
<i>III.</i>	442,7	168,0
<i>IV.</i>	446,9	168,0
<i>V.</i>	473,7	168,0
<i>VI.</i>	440,6	161,3
<i>VII.</i>	434,0	168,0
<i>VIII.</i>	444,0	168,0
<i>IX.</i>	431,7	168,0
<i>X.</i>	445,3	168,0
<i>MW</i>	451,4	167,3
<i>SD</i>	18,1	2,1
<i>MA</i>	15,0	1,2

Spulendrähte „TP Original Wire“ des Herstellers TP Orthodontics

TP Original Wire Spule premier plus .016“ (Chargennummer 0918002 und 2299005)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2359 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 168983 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 47* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 47: Messwerte des Zugversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	312,2	112,0
<i>II.</i>	308,9	112,0
<i>III.</i>	307,0	112,0
<i>IV.</i>	313,2	112,0
<i>V.</i>	312,4	112,0
<i>VI.</i>	308,7	107,5
<i>VII.</i>	329,2	112,0
<i>VIII.</i>	312,3	112,0
<i>IX.</i>	294,3	112,0
<i>X.</i>	316,9	112,0
<i>MW</i>	311,5	111,6
<i>SD</i>	8,7	1,4
<i>MA</i>	5,4	0,8

TP Original Wire Spule premier plus .018“ (Chargennummer 338002 und 3059004)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2076 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 164306 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 48* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 48: Messwerte des Zugversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .018“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	323,5	134,4
<i>II.</i>	365,9	134,4
<i>III.</i>	342,1	134,4
<i>IV.</i>	319,5	134,4
<i>V.</i>	380,6	134,4
<i>VI.</i>	358,7	141,5
<i>VII.</i>	372,2	141,5
<i>VIII.</i>	297,9	134,4
<i>IX.</i>	346,4	134,4
<i>X.</i>	344,4	141,5
<i>MW</i>	345,1	136,5
<i>SD</i>	25,8	3,4
<i>MA</i>	19,6	3,0

TP Original Wire Spule premier plus .020“ (Chargennummer 1808003 und 2949004)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 1943 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 161855 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 49* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 49: Messwerte des Zugversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .020“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	430,0	168,0
<i>II.</i>	410,9	168,0
<i>III.</i>	374,2	168,0
<i>IV.</i>	418,1	168,0
<i>V.</i>	401,3	168,0
<i>VI.</i>	422,7	168,0
<i>VII.</i>	393,4	161,3
<i>VIII.</i>	368,9	161,3
<i>IX.</i>	394,3	161,3
<i>X.</i>	355,9	161,3
<i>MW</i>	397,0	165,3
<i>SD</i>	24,6	3,5
<i>MA</i>	19,6	3,2

TP Original Wire Spule premier plus .022“ (Chargennummer 1628002 und 1259004)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2003 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 163166 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 50* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 50: Messwerte des Zugversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .022“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	533,7	206,8
<i>II.</i>	489,7	192,0
<i>III.</i>	X	192,0
<i>IV.</i>	474,5	206,8
<i>V.</i>	528,2	206,8
<i>VI.</i>	465,3	192,0
<i>VII.</i>	464,7	192,0
<i>VIII.</i>	536,8	215,1
<i>IX.</i>	415,6	199,1
<i>X.</i>	533,2	206,8
<i>MW</i>	493,5	200,9
<i>SD</i>	42,3	8,6
<i>MA</i>	35,1	7,5

Stangendrähte „Australian Wire“ des Herstellers A. J. Wilcock

Australian Wire Stange special plus .016“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2302 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 178254 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 51* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 51: Messwerte des Zugversuchs für Australian Wire Stange special plus .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	289,5	112,0
<i>II.</i>	293,6	112,0
<i>III.</i>	274,6	112,0
<i>IV.</i>	306,1	112,0
<i>V.</i>	280,1	112,0
<i>VI.</i>	287,9	112,0
<i>VII.</i>	284,7	112,0
<i>VIII.</i>	270,5	112,0
<i>IX.</i>	321,0	112,0
<i>X.</i>	285,3	112,0
<i>MW</i>	289,3	112,0
<i>SD</i>	14,9	0,0
<i>MA</i>	10,6	0,0

Australian Wire Stange special plus .018“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er - Packung)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 1972 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 167723 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 52* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 52: Messwerte des Zugversuchs für Australian Wire Stange special plus .018“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	328,5	141,5
<i>II.</i>	344,5	141,5
<i>III.</i>	331,4	141,5
<i>IV.</i>	349,6	141,5
<i>V.</i>	342,4	141,5
<i>VI.</i>	309,7	141,5
<i>VII.</i>	309,0	134,4
<i>VIII.</i>	316,8	134,4
<i>IX.</i>	317,5	141,5
<i>X.</i>	327,8	134,4
<i>MW</i>	327,7	139,4
<i>SD</i>	14,5	3,4
<i>MA</i>	11,6	3,0

Australian Wire Stange special plus .020“ (10 verschiedene Proben aus einer 30er-Packung)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 1993 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 175585 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 53* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 53: Messwerte des Zugversuchs für Australian Wire Stange special plus .020“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	379,4	175,3
<i>II.</i>	456,5	175,3
<i>III.</i>	388,1	175,3
<i>IV.</i>	363,9	175,3
<i>V.</i>	419,6	175,3
<i>VI.</i>	361,8	168,0
<i>VII.</i>	421,5	168,0
<i>VIII.</i>	X	168,0
<i>IX.</i>	368,8	168,0
<i>X.</i>	363,7	175,3
<i>MW</i>	391,5	172,4
<i>SD</i>	33,5	3,8
<i>MA</i>	27,4	3,5

Spulendrähte „Australian Wire“ des Herstellers A. J. Wilcock

Australian Wire Spule special plus .016“ (Chargennummer 399.ROI und 1297.ROI)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2250 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 173376 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 54* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 54: Messwerte des Zugversuchs für Australian Wire Spule special plus .016“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	326,0	116,9
<i>II.</i>	331,5	116,9
<i>III.</i>	302,8	116,9
<i>IV.</i>	277,6	112,0
<i>V.</i>	266,6	112,0
<i>VI.</i>	290,5	112,0
<i>VII.</i>	250,1	112,0
<i>VIII.</i>	294,7	112,0
<i>IX.</i>	325,5	116,9
<i>X.</i>	306,4	116,9
<i>MW</i>	297,2	114,5
<i>SD</i>	26,9	2,6
<i>MA</i>	21,3	2,5

Australian Wire Spule special plus .018“ (Chargennummer 797.ROT und 797.ROH)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2240 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 166869 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 55* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 55: Messwerte des Zugversuchs für Australian Wire Spule special plus .018“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	325,9	141,5
<i>II.</i>	367,7	141,5
<i>III.</i>	347,6	134,4
<i>IV.</i>	324,5	134,4
<i>V.</i>	369,7	134,4
<i>VI.</i>	403,3	141,5
<i>VII.</i>	404,8	141,5
<i>VIII.</i>	392,0	134,4
<i>IX.</i>	392,6	141,5
<i>X.</i>	394,5	141,5
<i>MW</i>	372,3	138,7
<i>SD</i>	30,5	3,7
<i>MA</i>	25,2	3,4

Australian Wire Spule special plus .020“ (2 verschiedene Spulen der Charg ennummer HC.RCH)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2444 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 168761 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 56* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 56: Messwerte des Zugversuchs für Australian Wire Spule special plus .020“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	525,3	179,2
<i>II.</i>	519,3	179,2
<i>III.</i>	529,4	179,2
<i>IV.</i>	518,1	179,2
<i>V.</i>	522,5	179,2
<i>VI.</i>	479,2	179,2
<i>VII.</i>	523,5	179,2
<i>VIII.</i>	525,1	179,2
<i>IX.</i>	516,6	179,2
<i>X.</i>	532,1	179,2
<i>MW</i>	519,1	179,2
<i>SD</i>	14,8	0,0
<i>MA</i>	8,7	0,0

Australian Wire Spule special plus .022“ (2 verschiedene Spulen der Chargennummer TC.RCK)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2445 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 178278 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 57* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 57: Messwerte des Zugversuchs für Australian Wire Spule special plus .022“

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	625,9	224,0
<i>II.</i>	617,2	224,0
<i>III.</i>	586,7	215,1
<i>IV.</i>	610,0	215,1
<i>V.</i>	610,3	224,0
<i>VI.</i>	599,4	224,0
<i>VII.</i>	593,8	215,1
<i>VIII.</i>	596,2	224,0
<i>IX.</i>	596,0	215,1
<i>X.</i>	586,8	215,1
<i>MW</i>	602,2	219,6
<i>SD</i>	13,1	4,7
<i>MA</i>	10,9	4,5

Nach DIN-Norm [25] künstlich gealterte Spulendrähte

Bow-Flex Wire .018“DIN -gealtert (Chargennummer 1539001, 2149002 und 2309002)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2014 N/mm² und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 163451 N/mm². Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 58* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 58: Messwerte des Zugversuchs für Bow-Flex Wire .018“DIN -gealtert

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	314,1	134,4
<i>II.</i>	293,4	134,4
<i>III.</i>	308,1	134,4
<i>IV.</i>	360,3	141,5
<i>V.</i>	306,0	134,4
<i>VI.</i>	345,2	134,4
<i>VII.</i>	X	134,4
<i>VIII.</i>	356,5	134,4
<i>IX.</i>	379,3	134,4
<i>X.</i>	350,1	141,5
<i>MW</i>	334,8	135,8
<i>SD</i>	29,9	3,0
<i>MA</i>	26,1	2,3

TP Original Wire Spule premier plus .018“ DIN -gealtert (Chargennummer 1808003 und 2949004)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2024 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 163403 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 59* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 59: Messwerte des Zugversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .018“ DIN-gealtert

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	329,8	134,4
<i>II.</i>	337,4	134,4
<i>III.</i>	355,4	134,4
<i>IV.</i>	326,3	134,4
<i>V.</i>	325,5	134,4
<i>VI.</i>	372,3	139,0
<i>VII.</i>	329,4	139,0
<i>VIII.</i>	321,2	139,0
<i>IX.</i>	344,3	134,4
<i>X.</i>	322,3	134,4
<i>MW</i>	336,4	135,8
<i>SD</i>	16,5	2,2
<i>MA</i>	12,8	1,9

Australian Wire Spule special plus .018“ DIN -gealtert (2 verschiedene Spulen der Chargennummer HC.RCH)

Die nach *Formel 10* ermittelte Zugfestigkeit betrug 2236 N/mm^2 und der mit *Formel 14* berechnete Elastizitätsmodul 166869 N/mm^2 . Die Rechnungen basieren auf den in *Tabelle 60* aufgeführten Messwerten.

Tabelle 60: Messwerte des Zugversuchs für Australian Wire Spule special plus .018“ DIN-gealtert

<i>Messung</i>	<i>maximale, während der Dehnung wirkende Kraft (N)</i>	<i>Steigung des Kraft-Verlängerungs-Diagramms im elastischen Bereich (N/mm)</i>
<i>I.</i>	355,0	141,5
<i>II.</i>	351,7	134,4
<i>III.</i>	341,2	141,5
<i>IV.</i>	375,1	141,5
<i>V.</i>	366,6	134,4
<i>VI.</i>	344,5	134,4
<i>VII.</i>	393,2	141,5
<i>VIII.</i>	408,3	141,5
<i>IX.</i>	401,5	134,4
<i>X.</i>	378,9	141,5
<i>MW</i>	371,6	138,7
<i>SD</i>	23,9	3,7
<i>MA</i>	19,8	3,4

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Zugfestigkeiten der untersuchten Drähte lagen alle im Bereich zwischen 1900 N/mm² und 2500 N/mm². Zwischen den nach DIN-Norm [25] künstlich gealterten Drähten und den entsprechenden unbehandelten Drähten ließen sich keine herausragenden Unterschiede feststellen (siehe *Abbildung 20*).

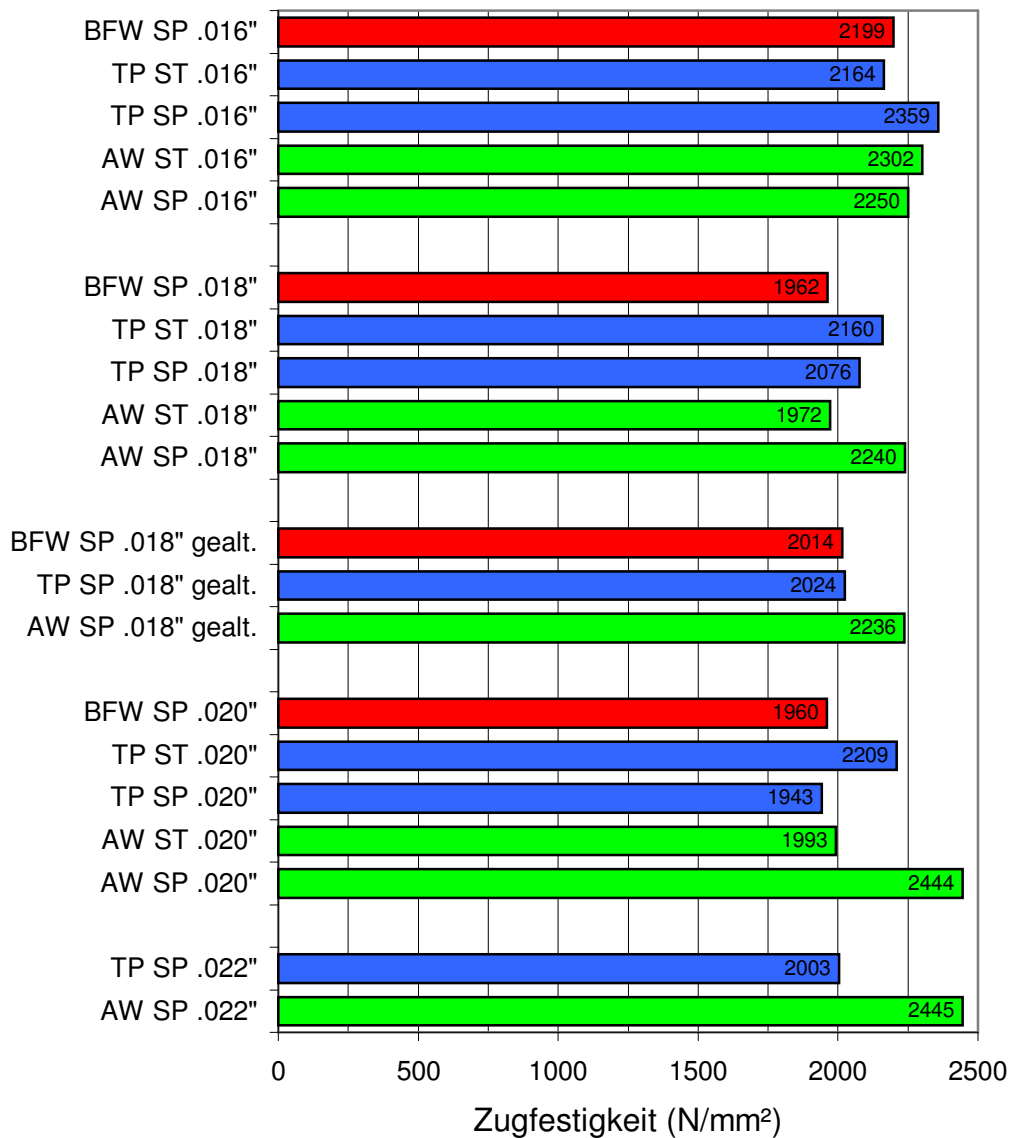


Abbildung 20: Zugfestigkeit (N/mm²) der untersuchten Drähte:

BFW = Bow-Flex Wire

TP = TP Original Wire premier plus

AW = Australian Wire special plus

ST = Stangendraht

SP = Spulendraht

gealtert (gealt.) = nach DIN gealtert

Der Elastizitätsmodul war bei Stangendrähten größer als bei den entsprechenden Spulendrähten. Zwischen den nach DIN-Norm [25] künstlich gealterten Drähten und den entsprechenden unbehandelten Drähten ließen sich keine herausragenden Unterschiede feststellen (siehe *Abbildung 21*).

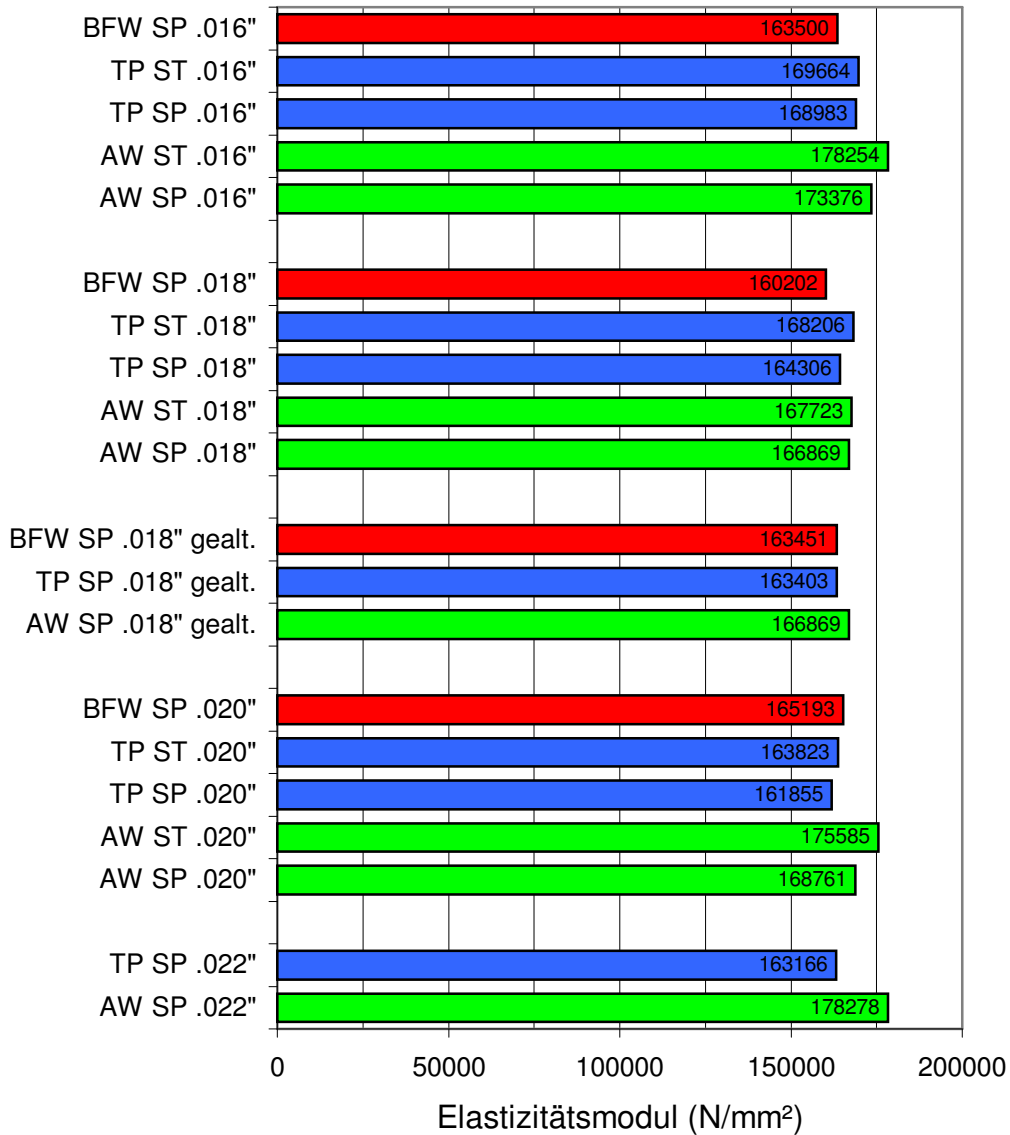


Abbildung 21: Elastizitätsmodul (N/mm²) der untersuchten Drähte:

BFW = **Bow-Flex Wire**

TP = **TP Original Wire premier plus**

AW = **Australian Wire special plus**

ST = Stangendraht

SP = Spulendraht

gealtert (gealt.) = nach DIN gealtert

Zuordnung zu DIN-Festigkeitsklassen

Anhand der im Versuch ermittelten Werte für die Zugfestigkeit der Drähte wurden die Drahttypen einer in der DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] festgelegten Festigkeitsklasse zugeordnet.

Die Mehrzahl der Drähte gehörten der Festigkeitsklasse „federhart plus“ an, was einer Zugfestigkeit im Bereich von 2000 N/mm² bis 2300 N/mm² entsprach. Drähte, deren Zugfestigkeit nicht in diesem Intervall lag, unter- beziehungsweise überschritten mit ihren Zugfestigkeitswerten die untere oder obere Intervallgrenze meist nur geringfügig (siehe *Tabelle 61*).

Tabelle 61: Einteilung der untersuchten Drähte in Festigkeitsklassen nach DIN-Norm DIN 13971: 1998-01

<i>Drahttyp</i>	<i>Zugfestigkeit (N/mm²)</i>	<i>Festigkeitsklasse</i>
Bow-Flex Wire .016"	2199	federhart plus
Bow-Flex Wire .018"	1962	federhart
Bow-Flex Wire .018" DIN-gealtert	2014	federhart plus
Bow-Flex Wire .020"	1960	federhart
TP Original Wire Stange premier plus .016"	2164	federhart plus
TP Original Wire Stange premier plus .018"	2160	federhart plus
TP Original Wire Stange premier plus .020"	2209	federhart plus
TP Original Wire Spule premier plus .016"	2359	extra federhart
TP Original Wire Spule premier plus .018"	2076	federhart plus
TP Original Wire Spule premier plus .018" DIN-gealtert	2024	federhart plus
TP Original Wire Spule premier plus .020"	1943	federhart
TP Original Wire Spule premier plus .022"	2003	federhart plus
Australian Wire Stange special plus .016"	2302	extra federhart
Australian Wire Stange special plus .018"	1972	federhart
Australian Wire Stange special plus .020"	1993	federhart
Australian Wire Spule special plus .016"	2250	federhart plus
Australian Wire Spule special plus .018"	2240	federhart plus
Australian Wire Spule special plus .018" DIN-gealtert	2236	federhart plus
Australian Wire Spule special plus .020"	2444	extra federhart
Australian Wire Spule special plus .022"	2445	extra federhart

4.5 Relaxation (Versuch 5)

In den *Tabellen 62 bis 64* sind die Ergebnisse aller zehn Einzelmessungen pro Draht dargestellt. Der Mittelwert (*MW*), die Standardabweichung (*SD*) und die mittlere Abweichung vom Mittelwert (*MA*) wurden errechnet.

Bow-Flex Wire .020“ (Chargennummer 1539001, 2149002 und 2309002)

Es ließ sich ein eindeutiger Relaxationsvorgang, das heißt eine Verringerung der im Draht gespeicherten Energie, feststellen (siehe *Tabelle 62*).

Tabelle 62: Messwerte des Relaxationsversuchs für Bow-Flex Wire .020“

<i>Messung</i>	<i>Haltekraft am Beginn der Haltephase (N)</i>	<i>Änderung der Haltekraft während der Haltephase (N)</i>	<i>Relaxation während der Haltephase (%)</i>
<i>I.</i>	251,1	-3,1	1,2
<i>II.</i>	263,3	-1,9	0,7
<i>III.</i>	254,4	-2,1	0,8
<i>IV.</i>	248,9	-4,9	2,0
<i>V.</i>	248,9	-4,3	1,7
<i>VI.</i>	253,3	-3,3	1,3
<i>VII.</i>	251,1	-4,5	1,8
<i>VIII.</i>	241,1	-5,4	2,2
<i>IX.</i>	258,9	-3,1	1,2
<i>X.</i>	257,8	-2,4	0,9
<i>MW</i>	252,9	-3,5	1,4
<i>SD</i>	6,2	1,2	0,5
<i>MA</i>	4,7	1,0	0,4

TP Original Wire Spule premier plus .020“ (Chargennummer 1808003 und 2949004)

Es ließ sich ein eindeutiger Relaxationsvorgang, das heißt eine Verringerung der im Draht gespeicherten Energie, feststellen (siehe *Tabelle 63*).

Tabelle 63: Messwerte des Relaxationsversuchs für TP Original Wire Spule premier plus .020“

<i>Messung</i>	<i>Haltekraft am Beginn der Haltephase (N)</i>	<i>Änderung der Haltekraft während der Haltephase (N)</i>	<i>Relaxation während der Haltephase (%)</i>
<i>I.</i>	264,4	-1,4	0,5
<i>II.</i>	262,2	-3,5	1,3
<i>III.</i>	262,2	-2,5	1,0
<i>IV.</i>	265,6	-1,4	0,5
<i>V.</i>	263,3	-3,5	1,3
<i>VI.</i>	251,1	-3,8	1,5
<i>VII.</i>	250,0	-3,0	1,2
<i>VIII.</i>	248,9	-4,3	1,7
<i>IX.</i>	235,6	-2,9	1,2
<i>X.</i>	262,2	-3,3	1,3
<i>MW</i>	256,6	-3,0	1,2
<i>SD</i>	9,7	1,0	0,4
<i>MA</i>	8,1	0,7	0,3

Australian Wire Spule special plus .020“ (2 verschiedene Spulen der Chargennummer HC.RCH)

Es ließ sich ein schwacher Relaxationsvorgang, das heißt eine schwache Verringerung der im Draht gespeicherten Energie, feststellen (siehe *Tabelle 64*).

Tabelle 64: Messwerte des Relaxationsversuchs für Australian Wire Spule special plus .020“

Messung	Haltekraft am Beginn der Haltephase (N)	Änderung der Haltekraft während der Haltephase (N)	Relaxation während der Haltephase (%)
I.	278,9	0,0	0,0
II.	280,0	-0,2	0,1
III.	283,3	-1,4	0,5
IV.	268,9	-1,3	0,5
V.	274,4	-0,2	0,1
VI.	278,9	-0,3	0,1
VII.	273,3	-1,2	0,4
VIII.	280,0	-2,4	0,9
IX.	280,0	-1,9	0,7
X.	275,6	-1,7	0,6
MW	277,3	-1,1	0,4
SD	4,2	0,8	0,3
MA	3,4	0,7	0,3

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Drähte „Bow-Flex Wire“ und „TP Original Wire premier plus“ wiesen einen 3 -mal beziehungsweise 3,5-mal so starken Relaxationsvorgang auf wie der Draht „Australian Wire special plus“. Nach 12 Minuten Haltezeit bei einer Dehnung um 0,75 % betrug die Relaxation beim „Australian Wire special plus“ 0,4 %. Beim „Bow-Flex Wire“ und beim „TP Original Wire premier plus“ waren es 1,4 % beziehungsweise 1,2 %. „Australian Wire special plus“ speichert Energie also besser als die beiden anderen Drähte (siehe *Abbildung 22*).

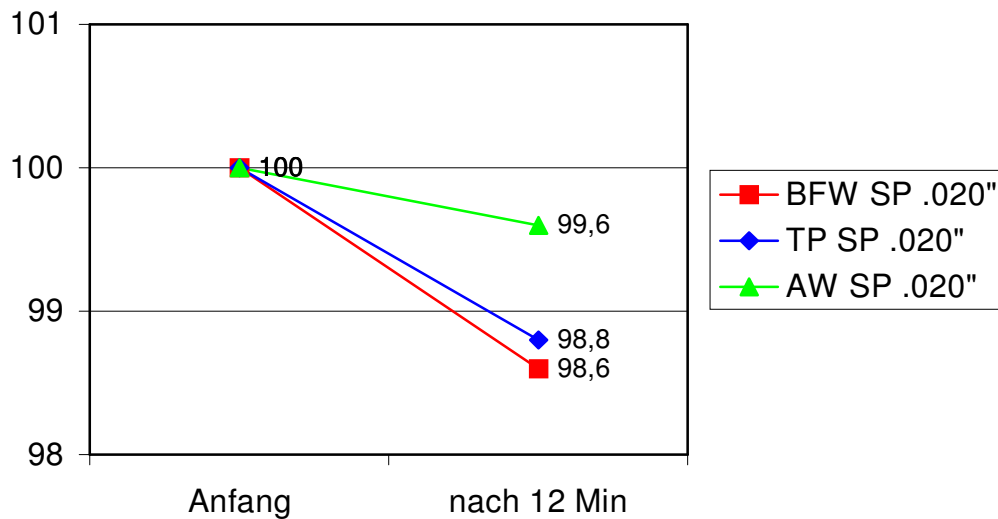


Abbildung 22: Relaxation (Widerstand in % bei einer Dehnung um 0,75 %):

BFW = Bow-Flex Wire TP = TP Original Wire premier plus
 AW = Australian Wire special plus SP = Spulendraht

4.6 Mittlere Elastizitätsmodule

Aus den in Versuch 3 (Biegeversuch) und Versuch 4 (Zugversuch) ermittelten Werten für den Elastizitätsmodul der Drähte wurde der Mittelwert errechnet.

Die gemessenen Werte für den Elastizitätsmodul waren beim Zugversuch immer niedriger als bei der entsprechenden Messung im Biegeversuch (siehe *Abbildung 19* und *21*).

Der gemittelte Elastizitätsmodul war bei Spulendrähten größer als bei den entsprechenden Stangendrähten. „Australian Wire special plus Spule“ wies in allen Dimensionen den höchsten mittleren Elastizitätsmodul auf. „Bow-Flex Wire 0.018 Zoll“, „TP Original Wire premier plus Stange 0.016 Zoll und 0.020 Zoll“ und „TP Original Wire premier plus Spule 0.022 Zoll“ hatten jeweils den niedrigsten gemittelten Elastizitätsmodul, wobei die Unterschiede zwischen „Bow-Flex Wire“ und „TP Original Wire premier plus“ sehr gering waren. Zwischen den nach DIN-Norm [25]

künstlich gealterten Drähten und den entsprechenden unbehandelten Drähten ließen sich keine herausragenden Unterschiede feststellen (siehe *Abbildung 23*).

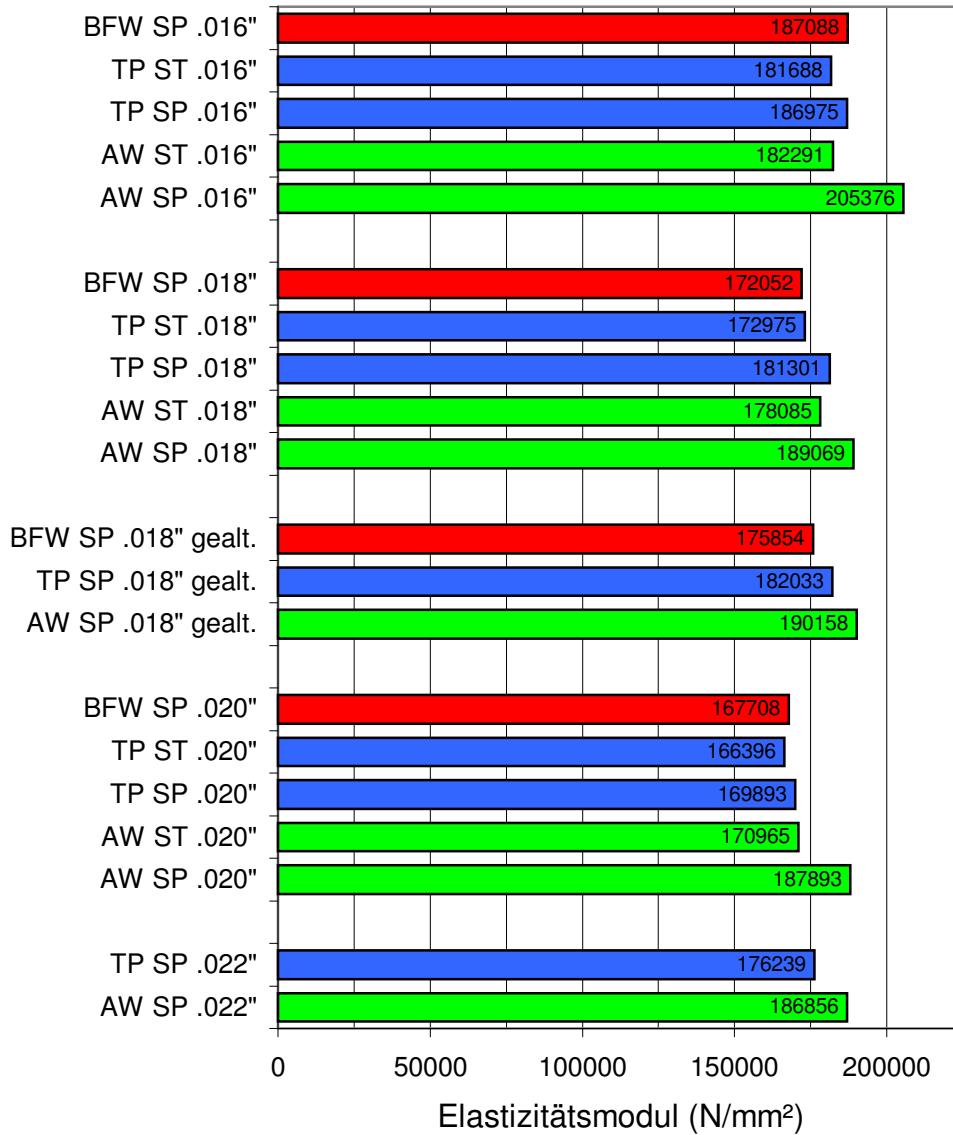


Abbildung 23: gemittelter Elastizitätsmodul (N/mm²) der untersuchten Drähte:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| BFW = Bow-Flex Wire | ST = Stangendraht |
| TP = TP Original Wire premier plus | SP = Spulendraht |
| AW = Australian Wire special plus | gealtert (gealt.) = nach DIN gealtert |

5 Diskussion

5.1 Drahtdurchmesser (Versuch 1)

Die in Versuch 1 gemessenen Drahtdurchmesser müssen mit Blick auf die DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] beurteilt werden.

Nach den Kriterien der DIN-Norm (siehe *Tabelle 1*) entsprachen alle untersuchten Drähte, für die eine Herstellerangabe für den Durchmesser in Millimeter vorlag, bei jeder vorgenommenen Einzelmessung der Herstellerangabe (siehe *Tabellen 3 bis 20*). Dieses und die Tatsache, dass sich bei den verschiedenen Drahttypen die Messwerte der sechs Einzelmessungen pro Drahttyp – durchgeführt an Proben unterschiedlicher Herkunft – nur im Tausendstelmillimeterbereich unterschieden (siehe *Kapitel 4.1*), spricht für einen genauen und gleichmäßig ablaufenden Produktionsprozess bei allen untersuchten Drähten beider Hersteller.

Allerdings stimmten nur bei den Drähten mit einem Durchmesser von 0.022 Zoll die Herstellerangaben für den Durchmesser in Millimeter mit den von der DIN-Norm für bestimmte Zolldurchmesser geforderten Millimeterdurchmesser überein (nämlich 0.022 Zoll gleich 0,56 Millimeter). Bei den anderen drei untersuchten Drahtdimensionen (0.016, 0.018 und 0.020 Zoll) war der vom Hersteller angegebene Millimeterwert immer 0,01 Millimeter größer als der von der DIN-Norm für den entsprechenden Zolldurchmesser verlangte Millimeterwert (siehe *Kapitel 4.1*).

Da die in der DIN-Norm genannten Toleranzmaße nur eine Abweichung zu kleineren Durchmesserwerten hin erlauben (siehe *Tabelle 1*), war es möglich, dass ein Draht, der genau den von der Norm verlangten Millimeterdurchmesser hatte, trotzdem der Herstellerangabe entsprach. Umgekehrt war das jedoch nicht möglich. Allen Vorgaben der DIN-Norm entsprachen deshalb nur der „Bow-Flex Wire 0.016 Zoll“, der „TP Original Wire Stange premier plus 0.018 Zoll“ und der „TP Original Wire Spule premier plus 0.022 Zoll“ des Herstellers „TP Orthodon tics“ sowie von „A. J. Wilcock“ der „Australian Wire Stange special plus 0.016 und 0.020 Zoll“ und der „Australian

Wire Spule special plus 0.022 Zoll“: Die Durchmesser der anderen untersuchten Drähte waren größer als in der DIN-Norm gefordert.

Offen bleibt die Frage, warum sich bei der Umrechnung der Zolldurchmesser in Millimeterdurchmesser zwischen den beiden Drahtherstellern und dem Deutschen Institut für Normung Unterschiede auftraten. International festgelegt ist, dass ein Zoll exakt 25,4 Millimeter entspricht [27]. Die Firmen „TP Orthodontics“ und „A. J. Wilcock“ haben mit diesem Faktor die Ergebnisse auf zwei Nachkommastellen gerundet umgerechnet. Das Deutsche Institut für Normung bestimmte auf diese Weise nur den Millimeterdurchmesser für Drähte mit 0.022 Zoll Durchmesser. Bei Drähten der drei anderen untersuchten Dimensionen (0.016, 0.018 und 0.020 Zoll) wurde das Ergebnis nicht gerundet, sondern nach zwei Nachkommastellen abgetrennt, ohne es mit Blick auf die exakt bestimmte dritte Nachkommastelle zu runden [23].

Eine Anfrage beim Deutschen Institut für Normung, die oben genannte Umrechnungsweise zu erläutern, wurde mit einem Verweis auf die DIN-Norm für kieferorthopädische Produkte [24] beantwortet. Dort sind die Slotweiten für Brackets festgelegt. Die in der DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte geforderten Millimeterdurchmesser für Drähte sind immer 0,01 Millimeter kleiner als die entsprechende Slotweite desselben Kurzzeichens. Damit soll erreicht werden, dass kieferorthopädische Drähte in keinem Fall zu stark dimensioniert werden, damit sie ohne Probleme in ein Bracket mit entsprechender Slotweite eingegliedert werden können. Des Weiteren ist man beim Deutschen Institut für Normung der Ansicht, dass auch die angelsächsischen Hersteller bald metrische Maße verwenden werden, wodurch die Probleme bei der Umrechnung entfallen werden.

5.2 Drahtoberfläche (Versuch 2)

Die Beurteilung der Drahtoberflächen der drei verschiedenen Drahttypen „Bow-Flex Wire“, „TP Original Wire premier plus“ und „Austrian Wire special plus“ erfolgte visuell, mit dem bloßen Auge und durch ein Rasterelektronenmikroskop (wegen der

Befestigung auf dem Objektträger ließ sich mit dem Rasterelektronenmikroskop immer nur eine Drahtseite begutachten, die „Rückseite“ konnte nicht angesehen werden). Eine möglichst gleichmäßig glatte Drahtoberfläche ist wegen folgender drei Gründe wünschenswert:

- je glatter die Oberfläche ist, desto geringer sind die Reibungskräfte zwischen Draht und Bracket
- je glatter die Oberfläche ist, desto geringer sind die Anhaftungsmöglichkeiten für Mikroorganismen der Mundhöhle an ihr
- eine glatte, glänzende Oberfläche wird als ästhetisch schön empfunden

Ohne Vergrößerung betrachtet fiel auf, dass die beiden Drahttypen des Herstellers TP Orthodontics („Bow-Flex Wire“ und „TP Original Wire premier plus“) eine glänzende Oberfläche hatten, wohingegen der „Australian Wire special plus“ vom Hersteller A. J. Wilcock eine dunkelgraue, matte Oberfläche aufwies, die vermutlich von einer Metalloxidschicht herrührt.

Betrachtet durch ein Rasterelektronenmikroskop (siehe *Kapitel 4.2, Abbildung 5 bis 16*) ließ sich feststellen, dass die Oberfläche des „Australian Wire special plus“ in der Tat wesentlich gröber und unebener strukturiert war als die der beiden Drahttypen des Herstellers TP Orthodontics. Auch wies der „Australian Wire special plus“ bei beiden untersuchten Proben über die gesamte Drahtbreite verteilte, parallel zur Drahtlängsachse verlaufende, zwischen zwei und vier Mikrometer breite Riefen auf, die wahrscheinlich durch die Düsen beim Herstellungsprozess des Drahtziehens entstanden sind. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Darstellung in einem Informationsheft der Firma TP Orthodontics [6], in dem der „Australian Wire“ mit dem „TP Original Wire“ verglichen wird.

In dem oben erwähnten Informationsheft der Firma TP Orthodontics [6] wird die Oberfläche des Drahtes „TP Original Wire“ als glatt und verunreinigungsfrei dargestellt, was mit den aufgeführten elektronenmikroskopischen Fotos belegt werden soll. Betrachtete man die stärkere Vergrößerungsstufe des Fotos jedoch genauer, fielen einem feine, parallel zur Drahtlängsachse verlaufende, zirka ein Mikrometer breite

Riefen und in unregelmäßigen Abständen etwa zwei mal fünf Mikrometer große Dellen auf (wahrscheinlich beim Herstellungsprozess entstanden), die man auch bei den unter noch stärkerer Vergrößerung fotografierten Proben eindeutig feststellen konnte. Eine der untersuchten Proben des „TP Original Wire premier plus“ wies zusätzlich eine durchgehend längs verlaufende zwölf bis fünfzehn Mikrometer breite Riefe auf, die durch eine verschmutzte oder defekte Düse beim Herstellungsprozess des Drahtziehens entstanden seien muss.

Auch die Oberfläche des „Bow-Flex Wire“ von TP Orthodontics wird in einem Informationsblatt [22] als glatt dargestellt. Genauer betrachtet fielen an dem aufgeführten Elektronenmikroskopfoto etwa ein bis zwei Mikrometer breite, durch den Herstellungsprozess bedingte Längsriefen auf, jedoch keine Dellen wie beim „TP Original Wire“. Diese Beobachtung deckte sich wieder mit den vorgenommenen Untersuchungen, wobei jedoch eine untersuchte Probe einen parallel zur Drahtlängsachse verlaufenden etwa zehn Mikrometer breiten Streifen von unebener, rauer Oberflächenstruktur aufwies. Dieser, die ansonsten glatte Drahtoberfläche unterbrechende Streifen, war vermutlich – ebenso wie die große Längsriefe beim „TP Original Wire“ – auf einen Defekt oder eine Verunreinigung der Düse beim Herstellungsprozess des Drahtziehens zurückzuführen.

Von direkter klinischer Bedeutung für die kieferorthopädische Behandlung ist eine glatte Drahtoberfläche wegen der geringeren auftretenden Reibungskräfte zwischen Draht und Bracket. Allerdings muss man bedenken, dass unter physiologischen Bedingungen in der Mundhöhle immer ein Speichelfilm zwischen Draht und Bracket besteht. Aus diesem Grund wird (ausgegangen von den drei untersuchten Drahttypen) das Behandlungsergebnis aufgrund und trotz der deutlich verschiedenen Oberflächenbeschaffenheit der drei Drahttypen wohl kaum beeinflusst, zumal alle drei Drahttypen nichtrostende Edelstahldrähte (also von ähnlicher chemischer Zusammensetzung) sind und die sich im Mikrometerbereich bewegenden Unebenheiten durch den erwähnten Speichelfilm zumindest teilweise ausgeglichen werden. Allgemein betrachtet weisen Edelstahldrähte im Vergleich zu Drähten aus anderen Legierungen immer einen niedrigen Reibungskoeffizienten auf [13; 16; 19]

Der zweite oben genannte Aspekt, warum eine glatte Drahtoberfläche wünschenswert ist, nämlich die geringeren Anhaftungsmöglichkeiten für Mikroorganismen, ist bei nicht optimaler Mundhygiene des Patienten bedeutsam. Durch eine unebene, rau strukturierte Drahtoberfläche bieten sich „Einnistmöglichkeiten“ für Mikroorganismen, und die gesamte, den Mikroorganismen zur Anheftung zur Verfügung stehende Oberfläche ist größer.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass von den drei untersuchten Drahttypen der „Bow-Flex Wire“ von TP Orthodontics die beste Oberflächenbeschaffenheit hat, wobei der Vorsprung vor dem „TP Original Wire premier plus“ desselben Herstellers nur minimal ist. Der „Australian Wire special plus“ von A. J. Wilcock ist diesen beiden Drähten von der Oberflächenbeschaffenheit eindeutig unterlegen.

5.3 Biegefestigkeit (Versuch 3)

Die Biegefestigkeit ist die maximal mögliche Biegespannung. Sie wird erreicht zu dem Zeitpunkt, in dem die zur Biegung des Drahtes nötige Kraft pro Quadratmillimeter Drahtquerschnittsfläche beziehungsweise die Widerstandskraft des Drahtes am größten ist. Je höher also die Biegefestigkeit eines Drahtes ist, desto größer ist die maximal mögliche Spannung, die ein – zum Beispiel durch Brackets – in eine Form gezwungener Draht aufbringen kann, um seine ursprüngliche Form zurückzuerhalten und um damit Zähne zu bewegen. Zu beachten ist, dass die Biegefestigkeit eine materialbezogene Größe ist, in die der Drahtdurchmesser schon mit eingerechnet ist. Daher lagen die Werte für die einzelnen Drahttypen trotz verschiedener Durchmesser in einem eng begrenzten Bereich.

Bei den im Biegeversuch untersuchten Drahttypen ließ sich keine eindeutige Überlegenheit eines bestimmten Drahttyps bezüglich der Biegefestigkeit feststellen (siehe *Kapitel 4.3, Abbildung 17*). Die gemessenen Unterschiede liegen in einem

Bereich, in dem sie auf den Behandlungsablauf keinen merkbaren Einfluss haben dürften.

Um den Vergleich der Biegefestigkeiten der Drähte zu erleichtern, wurde der für den „Australian Wire special plus Spule“ bestimmte Biegefestigkeitswert bei allen vier Durchmessern als 100 Prozent angenommen. Davon ausgehend wurden die Biegefestigkeiten der anderen Drahttypen beurteilt.

Bei den Drähten mit einem Durchmesser von 0.016 Zoll hatte der „Bow-Flex Wire“ mit 101,8 Prozent der Biegefestigkeit des „Australian Wire special plus Spule“ den höchsten Wert und der „TP Original Wire premier plus Stange“ mit 96,4 Prozent den niedrigsten. „Australian Wire special plus Stange“ mit 100,4 Prozent und „TP Original Wire premier plus Spule“ mit 99 Prozent wichen nur minimal vom Biegefestigkeitswert des „Australian Wire special plus Spule“ ab.

Bei den Drähten mit 0.018 Zoll Durchmesser hatte der „Australian Wire special plus Spule“ mit 100 Prozent die geringste Biegefestigkeit, und der „Australian Wire special plus Stange“ und der „TP Original Wire premier plus Stange“ wiesen mit 103,3 Prozent den besten Wert auf. Die Biegefestigkeit von „TP Original Wire premier plus Spule“ betrug 102,1 Prozent und die vom „Bow-Flex Wire“ 102,4 Prozent des Wertes vom „Australian Wire special plus Spule“. Auch die drei nach DIN-Norm künstlich gealterten Drähte („Bow-Flex Wire“, „TP Original Wire premier plus Spule“ und „Australian Wire special plus Spule“) unterschieden sich in ihren Biegefestigkeiten nur minimal (maximal 0,8 Prozent). Im Vergleich zu den entsprechenden nicht gealterten Drahtproben war die Biegefestigkeit beim „Bow-Flex Wire“ 1,2 Prozent niedriger, beim „TP Original Wire premier plus Spule“ 0,6 Prozent höher und beim „Australian Wire special plus Spule“ 1,9 Prozent höher. Der künstliche Alterungsprozess hatte also keine bedeutsame Auswirkung auf die Biegefestigkeit der Drähte.

Bei den Drähten des Durchmessers 0.020 Zoll wies der „Australian Wire special plus Stange“ mit 105 Prozent die höchste und der „Bow-Flex Wire“ mit 95,9 Prozent die niedrigste Biegefestigkeit auf. „TP Original Wire premier plus Stange“ hatte eine

Biegefestigkeit von 98,9 Prozent und „TP Original Wire premier plus Spule“ eine von 98,5 Prozent des Wertes vom „Australian Wire special plus Spule“:

Der Wert des „TP Original Wire premier plus Spule“ betrug bei den Drähten mit 0.022 Zoll Durchmesser 96,2 Prozent der Biegefestigkeit vom „Australian Wire special plus Spule“:

Bei den Durchmessern von 0.016, 0.018 und 0.020 Zoll sind vom „Australian Wire special plus“ und vom „TP Original Wire premier plus“ Spul en- und Stangendrähte untersucht worden. Bis auf beim „TP Original Wire premier plus“ der Stärke 0.016 Zoll, bei dem die Biegefestigkeit des Spulendrahtes größer war als beim Stangendraht, ließ sich bei allen anderen Spulen- und Stangendrähten eine höhere Biegefestigkeit des Stangendrahtes feststellen. Die Tendenz zu höheren Biegefestigkeiten der Stangendrähte hin spricht dafür, dass die Stangendrähte nachträglich begradigte Spulendrähte sind. Wird ein Draht kalt verformt (hier: nachträglich gerade gebogen) verfestigt er sich durch induzierte Gitterstörungen seiner Metallkristallite [9; 17]. Ein weiteres Indiz für eine nachträgliche Begradigung der Drähte war, dass die „geraden“ Drähte alle eine mehr oder weniger starke Restbiegung aufwiesen. Auffallend war, dass die Biegefestigkeitszunahme vom Spulen- zum Stangendraht hin im Mittel beim „Australian Wire special plus“ vier Prozent betrug und beim „TP Original Wire premier plus“ nur 0,6 Prozent. Diese Tatsache deutet auf eine unterschiedliche Nachbehandlung der begradigten Drähte (zum Beispiel durch Weichglühen) hin, wobei der Hersteller TP Orthodontics die durch das Begradigen entstandene Verfestigung besser kompensiert.

Im Vergleich mit in der Fachliteratur aufgeführten Biegefestigkeitswerten anderer Edelstahldrahttypen erwiesen sich alle drei untersuchten Drähte als klar überlegen [1; 4; 8; 13].

5.4 Steifheit (Versuch 3)

Die Steifheit eines Drahtes gibt die Kraft an, die notwendig ist, um den Draht um einen Millimeter durchzubiegen. Sie entspricht der Steigung des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms im elastischen Bereich, also gibt die Steifheit auch Auskunft über die Rückstellkraft eines aktivierten Drahtes. Der Steifheitswert ist abhängig vom Material des Drahtes und von der Größe und Form seiner Querschnittsfläche.

Die Steifheit aller Drähte nahm mit wachsendem Drahtdurchmesser eindeutig zu (siehe *Kapitel 4.3, Abbildung 18*). Betrachtete man nur die Spulendrähte, fiel innerhalb der einzelnen Dimensionsklassen eine eindeutige Abstufung der Steifheitswerte auf, und zwar hatten die „Bow-Flex Wire“ immer die geringste Steifheit, die „TP Original Wire premier plus Spule“ immer einen mittleren und die „Australian Wire special plus Spule“ immer den höchsten Steifheitswert. Eine vorherige künstliche Alterung der Drahtproben nach DIN-Norm hatte keine bemerkenswerten Auswirkungen auf die Steifheitswerte. Die Steifheit der gealterten Drähte lag um 0,9 bis 2,6 Prozent höher als bei den entsprechenden unbehandelten Drahtproben.

Bei den untersuchten Stangendrähten verhielt es sich so, dass ihre Steifheit immer deutlich geringer war als bei den entsprechenden Spulendrähten. Das ist auch auf die Begradigung durch Kaltverformen zurückzuführen, wobei die Festigkeit der Drähte erhöht wird, die Elastizität und die damit verbundene Steifheit aber abnimmt [9; 17]. Auch bei den Steifheitswerten war zu erkennen, dass die Unterschiede zwischen Stangen- und Spulendraht bei den „TP Original Wire premier plus“ geringer ausfielen (9,5 Prozent weniger Steifheit beim Stangendraht) als beim „Australian Wire special plus“ (23,6 Prozent weniger Steifheit beim Stangendraht), was wohl auf eine unterschiedliche Nachbehandlung der Drähte zurückzuführen ist.

Betrachtet man die Stangendrähte, war die Steifheit bei den 0.016 und 0.020 Zoll starken Drähten beim „TP Original Wire premier plus“ größer als beim „Australian Wire special plus“; bei den 0.018 Zoll starken Drähten verhielt es sich jedoch umgekehrt.

TP Orthodontics attestiert dem „TP Original Wire premier plus“ der Stärke 0.016 Zoll in ihrem schon erwähnten Informationsblatt eine höhere Steifheit als dem „Australian Wire special plus“ gleicher Dimension [6]. Allerdings wird dort nicht genannt, ob es sich um Stangen- oder Spulendrähte handelt. Wenn es sich um Stangendrähte handelt, würde diese Aussage mit den Ergebnissen dieser Untersuchung übereinstimmen, handelt es sich jedoch um Spulendrähte, wäre das nicht der Fall.

5.5 Zugfestigkeit (Versuch 4)

Die Zugfestigkeit gibt die maximale Spannung an, die im Draht unter Zugbelastung auftreten kann, bevor er beginnt sich einzuschnüren. Sie ist eine materialbezogene Größe, in der die Querschnittsfläche des Drahtes mit eingerechnet ist. Daher lagen die Werte für die einzelnen Drahttypen trotz verschiedener Durchmesser innerhalb eines begrenzbaren Intervalls.

Außer bei den Drähten des Durchmessers 0.016 Zoll hatte immer der „Australian Wire special plus Spule“ den höchsten Zugfestigkeitswert. Bei den 0.016 Zoll starken Drähten war es der „TP Original Wire premier plus Spule“. Den niedrigsten Wert hatte bei den 0.016 Zoll starken Drähten der „TP Original Wire premier plus Stange“, bei den 0.018 Zoll starken Drähten war es der „Bow-Flex Wire“ und bei den 0.020 und 0.022 Zoll dicken Drähten der „TP Original Wire Spule“ (siehe *Kapitel 4.4, Abbildung 19*).

Bei den Drähten des Durchmessers 0.018 Zoll ließ sich keine bemerkenswerte Veränderung der Zugfestigkeit durch die künstliche Alterung feststellen. Die Änderung des Zugfestigkeitswertes betrug maximal 2,7 Prozent.

Interessant war, dass die Zugfestigkeit bei den Stangendrähten beim „TP Original Wire premier plus“ der Stärke 0.016 Zoll und beim „Australian Wire special plus“ der Stärke 0.018 und 0.020 Zoll niedriger war als bei den entsprechenden Spulendrähten. Eigentlich sollte aufgrund der nachträglichen Geradebiegung (Kaltverformung) die Zugfestigkeit bei den Stangendrähten höher sein als bei den entsprechenden

Spulendrähten [9; 17], was beim „Australian Wire special plus“ der Stärke 0.016 Zoll und den 0.018 und 0.020 Zoll dicken „TP Original Wire premier plus“ ja auch der Fall war. Diese unterschiedlichen Werte für die Zugfestigkeit beruhen wahrscheinlich auf einem Nachbehandlungsprozess (Weichglühen), dessen Ergebnis nicht exakt vorhersehbar war, oder der gesamte Begradigungsprozess war eine Rotationsstreckung, bei der durch den Bauschingereffekt Zugfestigkeit verloren geht [20]. Im Mittel weicht die Zugfestigkeit beim „TP Original Wire premier plus Stange“ um plus 9,5 Prozent vom entsprechenden Spulenwert ab, und der „Australian Wire special plus Stange“ weicht um minus 9,4 Prozent vom Wert des entsprechenden Spulendrahtes ab.

Von den 20 untersuchten Drähten fielen elf direkt in die Festigkeitsklasse „federhart plus“ (2000 bis 2300 N/mm²). Die anderen Drähte – außer „Australian Wire special plus Spule“ der Stärke 0.020 und 0.022 Zoll – verfehlten diese Festigkeitsklasse nur knapp, mit maximal 67 N/mm² Abweichung. „Australian Wire special plus Spule“ des Durchmessers 0.020 und 0.022 Zoll lagen mit 144 beziehungsweise 145 N/mm² über dem Intervall für „federhart plus“ und fielen so eindeutig in die Festigkeitsklasse „extra federhart“ (siehe *Kapitel 4.4, Tabelle 61*). Mittelte man die Zugfestigkeitswerte aller Proben eines Drahttyps (wobei die Stangendrähte aufgrund ihres unregelmäßigen Abweichens von den Spulendrähten nicht mit betrachtet wurden), fielen der „Bow-Flex Wire“ mit 2034 N/mm² und der „TP Original Wire premier plus“ mit 2081 N/mm² in die Festigkeitsklasse „federhart plus“ und der „Australian Wire special plus“ mit 2323 N/mm² in den Bereich von „extra federhart“.

Im Vergleich mit in der Fachliteratur aufgeführten Zugfestigkeitswerten anderer Edelstahl Drahttypen erwiesen sich alle drei untersuchten Drähte als überlegen. Lediglich dem „Australian Wire premium“ und dem „Australian Wire premium plus“ wurden höhere Werte attestiert [1; 8; 12; 13; 15]. In zwei australischen Veröffentlichungen wurde der Zugfestigkeitswert für „Australian Wire special plus“ auf 2764 und 2705 N/mm² bestimmt; nach einer amerikanischen Untersuchung hatte der „Australian Wire special plus“ einen Wert von 2848 N/mm² [11; 12; 15]. Diese höheren Zugfestigkeitswerte sind auf andere Versuchsbedingungen zurückzuführen, da weder in Australien noch in den U. S. A. nach DIN-Kriterien gemessen wird.

5.6 Elastizitätsmodul (Versuch 3 und 4)

Der Elastizitätsmodul ist der Proportionalitätsfaktor zwischen Spannung und elastischer Dehnung der Drahtprobe. Je größer der Wert für den Elastizitätsmodul ist, desto mehr Spannung muss man aufbauen, um den Draht elastisch zu dehnen. Ein elastisch verformter Draht mit hohem Elastizitätsmodul entwickelt auch hohe Rückstellkräfte.

Die Elastizitätsmodule der einzelnen Drahtproben wurden voneinander unabhängig in einem Dreipunktbiegeversuch und in einem Zugversuch bestimmt. Dabei fiel auf, dass die gemessenen Werte beim Zugversuch im Durchschnitt aller untersuchten Proben um 12,8 Prozent kleiner als die Werte beim Biegeversuch waren, was auch andere Autoren schon festgestellt hatten [1; 5; 10; 13; 18]. Lediglich in einer Veröffentlichung waren umgekehrte Verhältnisse festgestellt worden [8]. Die Messwerte beim Zugversuch verteilten sich zwischen 160202 N/mm² und 178278 N/mm², während die Messwerte beim Biegeversuch im Bereich von 166344 N/mm² bis 237376 N/mm² gestreut lagen; des Weiteren waren die Unterschiede zwischen Stangen- und Spulendrähten beim Zugversuch wesentlich geringer als beim Biegeversuch (siehe *Kapitel 4.3 und 4.4, Abbildung 19 und 21*). Die Ursache für diese Unterschiede liegt in der verschiedenartigen Belastung der Drahtproben in den beiden Versuchen. Beim Zugversuch wurde der gesamte Drahtquerschnitt gleichmäßig belastet, beim Biegeversuch wurden die Randzonen der Drahtproben wesentlich stärker und auf andere Weise (Druck- und Zugbelastung) beansprucht als das Drahtinnere. Zudem besteht aufgrund des Herstellungsprozesses wahrscheinlich ein Unterschied in der Materialstruktur des Drahtinneren und des Drahtandes [18].

Um dennoch eine möglichst allgemeingültige Aussage für die Elastizitätsmodule zu erhalten, wurde für jeden Draht aus den beiden verschiedenen ermittelten Elastizitätswerten ein Mittelwert gebildet (siehe *Kapitel 4.6, Abbildung 22*). Die weiteren Ausführungen beziehen sich immer auf diesen gemittelten Elastizitätsmodul.

Um den Vergleich der Elastizitätsmodule der Drähte zu erleichtern, wurde der für den „Australian Wire special plus Spule“ bestimmte Elastizitätsmodul bei allen vier

Durchmessern als 100 Prozent angenommen. Davon ausgehend wurden die Elastizitätsmodule der anderen Drahttypen beurteilt.

Bei den 0.016 Zoll starken Drähten hatte der „Australian Wire special plus Spule“ den höchsten Elastizitätsmodul, der „Bow-Flex Wire“ erreichte 91,1 Prozent und der „TP Original Wire premier plus Spule“ 91,0 Prozent des Elastizitätsmoduls des „Australian Wire special plus Spule“. Die Werte der Stangendrähte lagen bei 88,5 Prozent („TP Original Wire premier plus Stange“) und 88,6 Prozent („Australian Wire special plus Stange“).

Von den Drähten mit 0.018 Zoll Durchmesser hatte der „Australian Wire special plus Spule“ den höchsten Elastizitätsmodul, der „Bow-Flex Wire“ erreichte 91,0 Prozent und der „TP Original Wire premier plus Spule“ 95,9 Prozent des Elastizitätsmoduls des „Australian Wire special plus Spule“. Die Werte der Stangendrähte lagen bei 91,5 Prozent („TP Original Wire premier plus Stange“) und 94,2 Prozent („Australian Wire special plus Stange“). Bei den drei nach DIN-Norm künstlich gealterten Drähten („Bow-Flex Wire“, „TP Original Wire premier plus Spule“ und „Australian Wire special plus Spule“) war der Elastizitätsmodul im Vergleich zu den entsprechenden nicht gealterten Drahtproben beim „Bow-Flex Wire“ 2,2 Prozent, beim „TP Original Wire premier plus Spule“ 0,4 Prozent und beim „Australian Wire special plus Spule“ 0,6 Prozent höher. Der künstliche Alterungsprozess hatte also keine bedeutsame Auswirkung auf den Elastizitätsmodul der Drähte.

Bei den 0.020 Zoll starken Drähten zeigte der „Australian Wire special plus Spule“ den höchsten Elastizitätsmodul, der „Bow-Flex Wire“ erreichte 89,3 Prozent und der „TP Original Wire premier plus Spule“ 90,4 Prozent des Elastizitätsmoduls des „Australian Wire special plus Spule“. Die Werte der Stangendrähte lagen bei 88,6 Prozent („TP Original Wire premier plus Stange“) und 91,0 Prozent („Australian Wire special plus Stange“).

Bei den 0.022 Zoll dicken Drähten erreichte der „TP Original Wire premier plus Spule“ 94,3 Prozent des Elastizitätsmodulwertes vom „Australian Wire special plus Spule“.

Der „Australian Wire special plus Spule“ hatte also eindeutig immer den höchsten Elastizitätsmodulwert. Die Werte für „Bow-Flex Wire“ und „TP Original Wire premier plus Spule“ erwiesen sich bis auf bei den 0.018 Zoll starken Drähten, wo der Elastizitätsmodul des „TP Original Wire premier plus Spule“ deutlich höher war, als nahezu identisch. Die untersuchten Stangendrähte waren den entsprechenden Spulendrähten bezüglich ihres Elastizitätsmoduls immer unterlegen, wobei dieser bei den „TP Original Wire premier plus“ im Mittel um 3,2 Prozent und bei den „Australian Wire special plus“ im Mittel um 8,7 niedriger lag. Die durch die nachträgliche Kaltverformung (Geradebiegen) entstandenen Störungen des Metallkristallgitters [9; 17] wurden durch eine Nachbehandlung der Drähte beim „TP Original Wire premier plus“ besser kompensiert.

Im Mittel aus allen untersuchten Dimensionen lag der Elastizitätsmodul für „Bow-Flex Wire“ bei 175676 N/mm², für „TP Original Wire premier plus“ bei 176487 N/mm², für „Australian Wire special plus“ bei 184492 N/mm². Mit diesen Werten behaupteten sich die untersuchten Drähte gut im Feld der in der Literatur veröffentlichten Zugfestigkeitswerte für Edelstahldrähte. Der „Australian Wire special plus“ lag mit seinem Wert am oberen Rand dieses Feldes [1; 4; 5; 8; 10; 12; 13; 15; 18; 21], nur Drähte aus Kobalt-Chrom-Legierungen hatten deutlich höhere Elastizitätsmodulwerte [1; 13]. In zwei australischen Veröffentlichungen wurde der Zugfestigkeitswert für „Australian Wire special plus“ auf 170286 und 186900 N/mm² bestimmt und nach einer amerikanischen Untersuchung hatte der „Australian Wire special plus“ einen Wert von 190400 N/mm² [11; 12; 15]. Die geringen Unterschiede sind auf andere Versuchsbedingungen zurückzuführen, da weder in Australien noch in den U. S. A. nach DIN-Kriterien gemessen wird.

5.7 Relaxation (Versuch 5)

Die Relaxation ist ein in Prozent angegebener, materialbezogener Wert, der über die Drahtermüdung Auskunft gibt. Neben dem Drahtmaterial hängt ihr Wert von der Messmethode ab; es können nur Werte verglichen werden, die unter gleichen Bedingungen gemessen wurden. Bei den hier vorliegenden Werten wurde die Abnahme der Haltekraft einer um 0,75 Prozent gedehnten Drahtprobe über einen Zeitraum von zwölf Minuten gemessen. Zu beachten war, dass die Drahtproben nur innerhalb des Bereiches ihrer elastischen Verformbarkeit gedehnt wurden (siehe *Kapitel 4.5, Tabelle 62 bis 64*).

Je niedriger der Relaxationswert, umso weniger ermüdet der Draht unter Belastung, das heißt, umso weniger wandelt sich die elastische Verformung, die die zur Zahnbewegung nötige Rückstellkraft hervorbringt, in eine plastische Verformung, die keine Kräfte bewirkt, um.

Untersucht wurde das Relaxationsverhalten stellvertretend für alle Dimensionen an den Spulendrähten des Durchmessers 0.020 Zoll. Beim „TP Original Wire premier plus“ betrug die Relaxation 1,4 Prozent, beim „Bow-Flex Wire“ 1,2 Prozent, und der „Australian Wire special plus“ hatte mit einer Relaxation von 0,4 Prozent den eindeutig besten Wert.

Der „Australian Wire special plus“ war also am besten in der Lage, die ihm durch die elastische Verformung zugefügte Energie in Form von Rückstell- oder Widerstandskraft zu speichern.

6 Schlussfolgerung

- Der „Australian Wire special plus Spule“ zeigte das eindeutig beste elastische Verhalten (höchster Elastizitätsmodul und größte Steifheit). Außerdem war er den anderen untersuchten Drähten im Relaxationsverhalten klar überlegen.
- Somit ist für die Behandlungsphase I der Begg- und der Tip-Edge-Technik der „Australian Wire special plus Spule“ des Durchmessers 0.016 Zoll der am besten geeignete Draht.
- Für die Behandlungsphasen II und III, bei denen das elastische Verhalten und die Relaxation nicht von so großer Bedeutung sind, lassen sich alle untersuchten Drähte der Dimensionen von 0.018 bis 0.022 Zoll bedenkenlos empfehlen. Legt man jedoch Wert auf eine gute Ästhetik oder ist die Mundhygiene des Patienten nicht optimal, empfehlen sich wegen ihrer glatteren und glänzenderen Oberfläche für Behandlungsphase II und III der „Bow-Flex Wire“ oder der „TP Original Wire premier plus“.
- Stangendrähte waren den entsprechenden Spulendrähten in ihren Eigenschaften unterlegen, wobei die Unterschiede bei den „Australian Wire special plus“ größer waren als bei den „TP Original Wire premier plus“.
- Tendenziell lagen die Zugfestigkeitswerte des „Australian Wire special plus“ etwas höher als die der anderen Drähte.
- Das elastische Verhalten des „TP Original Wire premier plus“ war tendenziell besser als das des „Bow-Flex Wire“. Ansonsten traten zwischen den Drähten des Herstellers TP Orthodontics keine bemerkenswerten Unterschiede der Eigenschaften auf.

7 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, die bei der Begg- und der Tip-Edge-Technik verwendeten kieferorthopädischen Drähte zweier Hersteller (TP Orthodontics und A. J. Wilcock) miteinander zu vergleichen.

Drähte folgender Qualitäten und Dimensionen wurden in verschiedenen Versuchsreihen hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften (Drahtdurchmesser, Oberflächenbeschaffenheit, Biegefestigkeit, Steifheit, Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul und Relaxation) untersucht:

- *Bow-Flex Wire (Spule): (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (Stange): premier plus (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (Spule): premier plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Stange): special plus (.016“; .018“; .020“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule): special plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *Bow-Flex Wire (Spule), DIN-gealtert: (.018“)*
- *TP Original Wire (Spule) DIN-gealtert: premier plus (.018“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (Spule) DIN-gealtert: special plus (.018“)*

Folgende Ergebnisse konnten ermittelt werden:

Die **Durchmesser** aller untersuchten Drahtproben entsprachen den von den Herstellern angegebenen Maßen. Die in der DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] für bestimmte Zolldurchmesser geforderten Millimeterdurchmesser wurden jedoch nicht von allen Proben erfüllt.

Die **Oberflächenbeschaffenheit** der Drähte „Australian Wire special plus“ war immer wesentlich rauer und dunkler als bei den Drähten „Bow-Flex Wire“ und „TP Original Wire premier plus“. Alle begutachteten Drahtoberflächen beider Hersteller wiesen Spuren des Herstellungsprozesses auf.

Die **Biegefestigkeit** hatte bei den 0.016 Zoll starken „Bow-Flex Wire“ Drähten den höchsten Wert, bei den 0.018 Zoll starken Drähten waren die Werte von „Bow-Flex Wire“, „TP Original Wire premier plus“ und „Australian Wire special plus“ nahezu identisch, und bei den 0.020 und 0.022 Zoll starken Drähten wies der „Australian Wire special plus“ die höchste Biegefestigkeit auf.

Die **Steifheit** der Drähte nahm mit dem Durchmesser zu. Betrachtete man die Spulendrähte, hatte der „Australian Wire special plus“ in jeder Dimension die höchste Steifheit und der „Bow-Flex Wire“ die niedrigste. Stangendrähte wiesen immer eine niedrigere Steifheit auf als die entsprechenden Spulendrähte.

Die **Zugfestigkeit** der Drähte lag immer im oder nahe dem in der DIN-Norm für kieferorthopädische Drähte [23] festgelegten Bereich „federhart plus“. Außer bei den 0.016 Zoll starken Drähten war die Zugfestigkeit bei dem „Australian Wire special plus Spule“ immer am höchsten.

Der **Elastizitätsmodul** war für alle Dimensionen beim „Australian Wire special plus Spule“ am höchsten. Die Unterschiede zwischen „Bow-Flex Wire“ und „TP Original Wire premier plus“ waren sehr gering. Generell wiesen Stangen drähte immer einen niedrigeren Elastizitätsmodul auf als die entsprechenden Spulendrähte.

Die **Relaxation** war beim „Australian Wire special plus“ dreimal geringer als beim „TP Original Wire premier plus“ und dreieinhalbmal geringer als beim „Bow-Flex Wire“.

Als Schlussfolgerung lässt sich speziell für die Behandlungsphase I der Begg- und der Tip-Edge-Technik, aufgrund der mit Abstand besten Steifheits- und Elastizitätsmodulwerte und der eindeutig geringsten Relaxation, der „Australian Wire special plus Spule“ des Durchmessers 0.016 Zoll empfehlen. Für die Behandlungsphasen II und III - diese Drahteigenschaften sind hierbei nicht so bedeutend - sind alle untersuchten Drähte der Dimensionen 0.018 bis 0.022 Zoll geeignet.

8 Summary

The aim of this study was to compare three orthodontic wire types of two manufacturers (TP Orthodontics and A. J. Wilcock) which are used in the Begg- and in the Tip-Edge Technique.

Wires of the following qualities und dimensions were analysed with respect to their mechanic properties (wire diameter, surface structure, maximum bending stress, stiffness, tensile strength, elastic modulus and relaxation):

- *Bow-Flex Wire (coil): (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (straight): premier plus (.016“; .018“; .020“)*
- *TP Original Wire (coil): premier plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (straight): special plus (.016“; .018“; .020“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (coil): special plus (.016“; .018“; .020“; .022“)*
- *Bow-Flex Wire (coil), DIN-matured: (.018“)*
- *TP Original Wire (coil) DIN-matured: premier plus (.018“)*
- *A. J. Wilcock Australian Wire (coil) DIN-matured: special plus (.018“)*

The study revealed the following results:

The **diameters** of all investigated wires corresponded to the dimensions stated by the manufacturers. However, the dimensions in millimetre which are demanded in the DIN-norm for orthodontic wires [23] for certain diameters measured in inch were not attained by all wire samples.

The **surface structure** of the wires “Australian Wire special plus“ was always significantly rougher and darker than that of the wires “Bow-Flex Wire“ and “TP Original Wire premier plus“. All wire surfaces of both manufacturers showed marks of the production process.

The **maximum bending stress** of the 0.016-inch wires was highest for the “Bow-Flex Wire“. Of the 0.018-inch wires the maximum bending stress values of “Bow-Flex

Wire“, “TP Original Wire premier plus“and “Australian Wire special plus“were almost identical. Of the 0.020 and 0.022-inch wirers the “Australian Wir e special plus“showed the highest maximum bending stress.

The **stiffness** of the wires increased with the diameter. When considering the coil wires, in every dimension the “Australian Wire special plus“had the highest and the ‘Bow - Flex Wire“the lowest de gree of stiffness. Straight wires always showed lower stiffness values than the corresponding coil wires.

The **tensile strength** of the wires as given in the DIN-norm for orthodontic wires [23] corresponded to or was close to ‘federhart plus“. Except for the 0.016-inch wires the “Australian Wire special plus coil“always exhibited the highest tensile strength.

The **elastic modulus** in all dimensions was highest for the “Australian Wire special plus coil“. The differences between ‘Bow -Flex Wire“and “TP Origin al Wire premier plus“were small. In general straight wires always showed a lower elastic modulus than the corresponding coil wires.

The **relaxation** of the “Australian Wire special plus“was three times lower than that of the “TP Original Wire premier plus “and three and a half times lower than that of the ‘Bow -Flex Wire“.

In conclusion it can be said that for the treatment phase I of the Begg- and the Tip-Edge Technique the 0.016-inch “Australian Wire special plus coil“is recommended because of its superiority in stiffness and elastic modulus and its lowest relaxation. As these wire properties are not so important for the treatment phases II and III, coiled as well as straight 0.018, 0.020 and 0.022-inch wires of both manufacturers are suitable for these two treatment phases.

9 Literaturverzeichnis

- [1] *Asgharnia, M. K., Brantley, W. A.*: Comparison of bending and tension tests for orthodontic wires; *American Journal of Orthodontics* 89: 228-236, 1986
- [2] *Begg, P. R., Kesling, P. C.*: *Begg orthodontic theory and technique*; W. B. Saunders, Philadelphia 1977
- [3] *Blumenauer, H. (Hrsg.)*: *Werkstoffprüfung*; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1976
- [4] *Brantley, W. A., Augat, W. S., Myers, C. L., Winders, R. V.*: Bending deformation studies of orthodontic wires; *Journal of Dental Research* 57: 609-615, 1978
- [5] *Brantley, W. A.*: Comments on stiffness measurements for orthodontic wires; *Journal of Dental Research* 55: 705, 1976
- [6] *Devanathan, D., Schalek, R., Ramani, K.*: *TP Original Wire: Development of a high-performance orthodontic wire*; TP Orthodontics, Leeds 1998
- [7] *Domke, W.*: *Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung*; W. Girardet, Essen 1981
- [8] *Drake, S. R., Wayne, D. M., Powers, J. M., Asgar, K.*: Mechanical properties of orthodontic wires in tension, bending and torsion; *American Journal of Orthodontics* 82: 206-210, 1982
- [9] *Eichner, K., Kappert, H. F.* : *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*; Hüthig, Heidelberg 1996
- [10] *Goldberg, A. J., Morton, J., Burstone, C. J.*: The flexure modulus of elasticity of orthodontic wires; *Journal of Dental Research* 62: 856-858, 1983

- [11] *Gullotta A., West, V. C., Hazel, R. J.:* The Bauschinger effect in stainless steel orthodontic wires; *Australian Orthodontic Journal* 10: 110-113, 1987
- [12] *Hazel, R. J., West, V. C. :* The importance of mechanical behaviour in orthodontic archwire; *Australian Orthodontic Journal* 9: 317-320, 1986
- [13] *Kapila, S., Quo, St. D. :* Kieferorthopädische Drähte - Eigenschaften und optimale Anwendungsmöglichkeiten; *Information aus Orthodontie und Kieferorthopädie* 26: 373-389, 1994
- [14] *Kesling, P. C.:* Tip-Edge Guide; TP Orthodontics, Leeds 1994
- [15] *Kusy, R. P., Dilley, G. J., Whitley, J. Q.:* Mechanical properties of stainless steel orthodontic archwires; *Clinical Materials* 03: 41-59, 1988
- [16] *Kusy, R. P.:* Review of contemporary archwires: Their properties and characteristics; *The Angle Orthodontist* 67: 197-208, 1997
- [17] *Marxkors, R., Meiners, H.:* Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde; Carl Hanser, München 1993
- [18] *Plietsch, R., Bourauel, C., Drescher, D., Nellen, B.:* Ein Rechnergesteuerter Biegemessplatz zur Bestimmung der Elastizitätsparameter hochflexibeler orthodontischer Drähte; *Fortschritte der Kieferorthopädie* 55: 84-95, 1994
- [19] *Stannard, J. G., Gau, J. M., Hanna, M. A.:* Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions; *American Journal of Orthodontics* 89: 485-491, 1986
- [20] *Wilcock, A. J.:* Angewandte Materialtechnik für kieferorthopädische Drähte; *Information aus Orthodontie und Kieferorthopädie* 25: 475-497, 1993

- [21] *Yoshikawa, D. K., Burstone, C. J., Goldberg, A. J., Morton, J.*: Flexure modulus of orthodontic stainless steel wires; *Journal of Dental Research* 60: 139-145, 1981
- [22] Bow-Flex Wire; TP Orthodontics Product Development, La Porte 1999
- [23] Kieferorthopädische Drähte; DIN 13971, Januar 1998; Beuth, Berlin 1998
- [24] Kieferorthopädische Produkte; DIN 13971 Teil 2, Januar 2000; Beuth, Berlin 2000
- [25] Stahldraht und Drahterzeugnisse; DIN EN 10218 Teil 1, Mai 1994; Beuth, Berlin 1994
- [26] Zugversuch; DIN EN 10002 Teil 1, April 1991; Beuth, Berlin 1991
- [27] Internetseite: <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/general/units.html>; zuletzt aufgerufen im August 2002

Lebenslauf

Name: Steffen Udo Birkenkamp
Geburtsdatum: 23. Juni 1977
Geburtsort: Hilden
Eltern: Regina Birkenkamp, geb. Kieper, ehemalige Grund- und
Hauptschullehrerin
Dr. Dr. Udo Birkenkamp, Zahnarzt
Geschwister: Anne Birkenkamp, Studentin der Zahnheilkunde
Schulbildung: 1983 bis 1987 Grundschule in Hilden
1987 bis 1996 Städt.-Helmholtz-Gymnasium Hilden
1996 Abitur
Studium: 1996 bis 2001 Studium der Zahnheilkunde in Gießen
1997 naturwissenschaftliche Vorprüfung
1999 zahnärztliche Vorprüfung
2001 zahnärztliche Prüfung
10. 12. 2001 Approbation als Zahnarzt
seit Januar 2002 Weiterbildungsassistent in der kieferorthopädischen Praxis der Dres.
Witschel und Wrede in Bad Oeynhausen

Herrn Prof. Dr. med. dent. H. Pancherz möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas, die wertvollen Anregungen und die stets sehr gute Betreuung herzlich danken.