

Aus der Poliklinik für Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
(Prof. Dr. med. dent. A. Wiegand)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Formkongruenzen zwischen
Ein-Feilen-NiTi-Systemen
und korrespondierenden Guttaperchastiften**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Miriam Seidel

aus

Lippstadt

Göttingen 2018

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

Betreuungsausschuss

Betreuer: PD Dr. med. dent. T. Rödiger

Ko-Betreuer: PD Dr. med. dent. S. Sennhenn-Kirchner

Prüfungskommission

Referent PD Dr. Tina Rödiger

Ko-Referent: PD Dr. Sabine Sennhenn-Kirchner

Drittreferent: Prof. Dr. Margarete Schön

Datum der mündlichen Prüfung: 13.03.2019

Die vorliegende Promotionsschrift war Grundlage für folgende Veröffentlichung:

Haupt F, Seidel M, Rizk M, Sydow H-G, Wiegand A, Rödiger T (2018): Diameter and taper variability of single-file instrumentation systems and their corresponding gutta-percha cones. J Endod 44, 1435–1440

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „FORMKONGRUENZEN ZWISCHEN EIN-FEILEN-NIT-Systemen und korrespondierenden Gutta-perchastiften“ eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den

.....
(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Wurzelkanalbehandlung	3
2.1.1 Definition und Indikation der Wurzelkanalbehandlung	3
2.1.2 Reinigung und Desinfektion	4
2.2 Wurzelkanalpräparation	4
2.2.1 Konizität	5
2.2.2 Arbeitsteil	5
2.2.3 Geometrischer Querschnitt	5
2.2.4 Spanwinkel	7
2.2.5 Schneidekantenabstand	7
2.2.6 Bewegungsmuster	8
2.3 Ein-Feilen-NiTi-Systeme	9
2.3.1 OneShape	12
2.3.2 F360	13
2.3.3 Reciproc	14
2.4 Wurzelkanalfüllung	16
2.4.1 Wurzelkanalfüllmaterialien	16
2.4.2 Techniken der Wurzelkanalfüllung	18
2.4.3 Korrespondierende Guttaperchastifte der untersuchten Ein-Feilen-Systeme	19
2.5 Standardisierung und Norm	20
2.5.1 Instrumente	20
2.5.2 Guttapercha	21
2.6 Aktueller Wissensstand	21
3 Fragestellung	24
4 Material und Methoden	25
4.1 Messpunkte	25
4.2 Methode	26
4.2.1 Durchführung der Messungen	26
4.2.2 Vermessung	29
4.2.3 Statistische Auswertung	34

5	Ergebnisse.....	36
5.1	OneShape-System.....	36
5.2	F360-System.....	41
5.3	Reciproc-System.....	46
6	Diskussion.....	53
6.1	Diskussion der Methode.....	53
6.2	Diskussion der Ergebnisse.....	55
7	Zusammenfassung.....	63
8	Anhang.....	65
9	Materialliste.....	72
10	Literaturverzeichnis.....	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: a) kleiner Instrumentenquerschnitt ; b) großer Instrumentenquerschnitt.....	6
Abbildung 2: a) aktive bzw. scharfe Schneidekanten; b) passive bzw. abgeflachte Schneidekanten	6
Abbildung 3: Spanwinkel am Beispiel einer Hedström-Feile ISO-Größe 35	7
Abbildung 4: Schemazeichnung des reziproken Bewegungsmusters.....	8
Abbildung 5: Querschnitte der OneShape-Instrumente	12
Abbildung 6: NiTi-Instrumente und korrespondierende Guttaperchastifte des OneShape- Systems	13
Abbildung 7: Querschnitt der F360-Instrumente	13
Abbildung 8: NiTi-Instrumente und korrespondierende Guttaperchastifte des F360-Systems.....	14
Abbildung 9: Querschnitt der Reciproc-Instrumente.....	15
Abbildung 10: NiTi-Instrumente und korrespondierende Guttaperchastifte des Reciproc- Systems.....	16
Abbildung 11: Charakteristika eines ISO-normierten Wurzelkanalinstrumentes der ISO-Größe 35.....	20
Abbildung 12: 3 Messpunkte am Beispiel des OneShape-Instruments 30/.06.....	25
Abbildung 13: 16 Messpunkte für das Reciproc-System.....	25
Abbildung 14: Messvorrichtung für NiTi-Instrumente.....	26
Abbildung 15: NiTi-Instrument in Messvorrichtung	26
Abbildung 16: Messvorrichtung für Guttaperchastifte	27
Abbildung 17: Guttaperchastift in Messvorrichtung.....	27
Abbildung 18: Objektträger zur Übertragung der Skalierung	29
Abbildung 19: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision Durchmesser an D1, D3 (a) und an D13, D16 (b) am Beispiel eines OneShape-Instruments 30/.06.....	30
Abbildung 20: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision Durchmesser an D1-D3 (a) und D4-D6 (b) am Beispiel eines Reciproc-Instruments der Größe 25.....	30
Abbildung 21: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision Durchmesser an D7-D9 (a) und D10-12 (b) am Beispiel eines Reciproc-Instruments der Größe 25.....	30
Abbildung 22: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision Durchmesser an D13-D16 am Beispiel eines Reciproc-Instruments der Größe 25.....	31
Abbildung 23: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision Durchmesser an D1 und D3 (a) und D13 und D16 (b) am Beispiel eines OneShape-Guttaperchastiftes 30/.04	31
Abbildung 24: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision Durchmesser an D1-D3 (a) und an D4-D7 (b) am Beispiel eines Reciproc-Guttaperchastiftes der Größe 25.....	31
Abbildung 25: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision Durchmesser an D8-D11 (a) und an D9-12 (b) am Beispiel eines Reciproc-Guttaperchastiftes der Größe 25	32
Abbildung 26: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision Durchmesser an D16 am Beispiel eines Reciproc-Guttaperchastiftes der Größe 25.....	32
Abbildung 27: Box-Plot-Diagramm der Abweichung vom Soll-Durchmesser des OneShape- Systems.....	39
Abbildung 28: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität an D1, D3 und D13 des OneShape-Systems.....	40

Abbildung 29: Box-Plot-Diagramm der Abweichung vom Soll-Durchmesser des F360-Systems	44
Abbildung 30: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität an D3 des F360-Systems.....	45
Abbildung 31: Box-Plot-Diagramm der Abweichung vom Soll-Durchmesser des Reciproc-Systems.....	49
Abbildung 32: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität an D3 des Reciproc-Systems	50
Abbildung 33: Box-Plot-Diagramm der Abweichungen vom Soll-Durchmesser Reciproc 25	65
Abbildung 34: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität Reciproc 25	66
Abbildung 35: Box-Plot-Diagramm der Abweichungen vom Soll-Durchmesser Reciproc 40	67
Abbildung 36: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität Reciproc 40.....	68
Abbildung 37: Box-Plot-Diagramm der Abweichungen vom Soll-Durchmesser Reciproc 50	69
Abbildung 38: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität Reciproc 50.....	70
Abbildung 39: Box-Plot-Diagramm der Abweichungen vom Soll-Durchmesser an D13 von OneShape 30/.06 bzw. 30/.04 und 37/.06 bzw. 35/.06	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über alle verfügbaren Größen der untersuchten Instrumente und der korrespondierenden Guttapercha.....	28
Tabelle 2: Soll-Werte des OneShape-Systems nach Herstellerangaben für Instrumente (F) und Guttaperchastifte (GP).....	33
Tabelle 3: Soll-Werte des F360-Systems nach Herstellerangaben für Instrumente und Guttaperchastifte.....	33
Tabelle 4: Soll-Werte des Reciproc-Systems nach Herstellerangaben für Instrumente und Guttaperchastifte.....	34
Tabelle 5: Statistische Auswertung der Messwerte für den Durchmesser von Instrumenten und Guttaperchastiften des OneShape-Systems.....	41
Tabelle 6: Statistische Auswertung der Messwerte für die Konizität von Instrumenten und Guttaperchastiften des OneShape-Systems.....	41
Tabelle 7: Statistische Auswertung der Messwerte für den Durchmesser von Instrumenten und Guttaperchastiften des F360-Systems.....	46
Tabelle 8: Statistische Auswertung der Messwerte für die Konizität von Instrumenten und Guttaperchastiften des F360-Systems.....	46
Tabelle 9: Statistische Auswertung der Messwerte für den Durchmesser von Instrumenten und Guttaperchastiften des Reciproc-Systems.....	51
Tabelle 10: Statistische Auswertung der Messwerte für die Konizität von Instrumenten und Guttaperchastiften des Reciproc-Systems.....	52

1 Einleitung

Die Endodontologie ist ein Teilbereich der Zahnerhaltungskunde, der sich mit der Anatomie und Physiologie der endodontischen Gewebe sowie der Ätiologie, Prävention und Therapie von Erkrankungen dieser Art befasst (Europäische Gesellschaft für Endodontologie 2004).

Dieser Teilbereich hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung, Ansehen und Weiterentwicklung erfahren. So ist der Wunsch nach möglichst langem Zahnerhalt von Seiten der Patienten¹ immer größer geworden. Gründe dafür sind ökonomischer, ästhetischer und funktioneller Art. Zusätzlich liegen die Erfolgsraten von primären Wurzelkanalbehandlungen bei bis zu 85% (Ng et al. 2007), sodass diese Behandlungsmethode für einen langfristigen Zahnerhalt empfohlen werden kann.

Das Hauptziel der Endodontie ist der Erhalt einer vitalen und gesunden Pulpa. Ist dies aufgrund einer irreversiblen Entzündung oder einer bakteriellen Infektion des pulpalen Gewebes durch Karies oder infolge eines dentalen Traumas nicht möglich, ist eine Wurzelkanalbehandlung indiziert. Dabei wird das Wurzelkanalsystem unter aseptischen Bedingungen chemomechanisch aufbereitet, gereinigt und desinfiziert. Anschließend muss ein bakteriendichter Verschluss des Endodonts erfolgen, um eine Reinfektion des Kanalsystems zu verhindern (Zehnder 2006; Basrani und Haapasalo 2012). Das Mittel der Wahl für die Füllung des präparierten und desinfizierten Wurzelkanalsystems ist eine Kombination aus Guttapercha und *Sealer* (Wurzelkanalfüllpaste) (DGZMK 2000).

Diese Füllungsmaterialien sollten optimal an die Wurzelkanalwand adaptiert werden, um einen möglichst hohen prozentualen Anteil des dimensionsstabilen Kernmaterials Guttapercha zu erzielen, den *Sealer*-Anteil zu reduzieren sowie Hohlräume zu verringern. Die Adaptation der Guttapercha kann durch warme oder kalte Kompaktion dieses Materials erfolgen oder durch die Verwendung eines exakt passenden Guttaperchastiftes im Sinne der Ein-Stift-Technik erzielt werden. Dabei sollte eine Formkongruenz zwischen den für die Präparation verwendeten Instrumenten und dem jeweiligen Guttaperchastift für die Wurzelkanalfüllung bestehen, um die *Sealer*-Menge möglichst gering zu halten.

Mit dem hohen Stellenwert der endodontischen Behandlung stieg der Wunsch nach einem höheren Arbeitskomfort bei gleichbleibend sehr guter Qualität. Durch die Einführung des Werkstoffes Nickel-Titan (NiTi) (Walia et al. 1988) in Kombination mit den maschinellen drehmoment-begrenzten Antriebsmotoren wurde die Präparation gekrümmter Kanäle nach

¹ Aus Gründen der Vereinfachung wird in dieser Arbeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Personen weiblichen wie männlichen Geschlechts sind darin gleichermaßen eingeschlossen.

anatomischen und substanzschonenden Aspekten verbessert und die Sicherheit erhöht (Häikel et al. 1999). Nach der Veränderung des Materials von Edelstahl zu Nickel-Titan wurden von der Industrie weitere Wünsche der Zahnärzteschaft, wie ein noch geringeres Fraktur- und Kontaminationsrisiko, ein Zeitersparnis und der Aspekt der Wirtschaftlichkeit, verwirklicht. Die neuesten Konzepte in der Endodontie sind maschinelle Ein-Feilen-NiTi-Systeme. Darunter versteht man Systeme aus mehreren NiTi-Instrumenten verschiedener Größen; in Abhängigkeit von der initialen Weite des Kanals erfolgt die Verwendung lediglich eines dieser NiTi-Instrumente für die vollständige maschinelle Präparation des Wurzelkanals.

Der Grundgedanke, ein einheitliches und einfaches Präparationskonzept zu entwickeln, mündet aktuell im Angebot von korrespondierenden Guttaperchastiften zu den entsprechenden NiTi-Instrumenten. So soll im klinischen Alltag die Anprobe verschiedener Guttaperchastifte entfallen und die Obturation des Wurzelkanalsystems mit der Ein-Stift-Technik durchgeführt werden.

Bislang wurde keine Studie zur Formkongruenz zwischen Ein-Feilen-NiTi-Systemen und den korrespondierenden Guttaperchastiften publiziert. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Formkongruenzen zwischen drei maschinellen NiTi-Systemen und korrespondierender Guttapercha sowie die Übereinstimmung mit den gültigen ISO-Normen und der ANSI-/ADA-Spezifikation zu untersuchen.

2 Literaturübersicht

Die Endodontologie kennzeichnet die Lehre von der Anatomie, der Form und Funktion sowie der Gesundheit der Pulpa und den periapikalen Strukturen. Daneben beinhaltet der pathologische Gesichtspunkt dieses Fachgebietes die Ätiologie und Pathogenese von Erkrankungen, um daraus die geeignete Therapie und Prävention zu entwickeln.

2.1 Wurzelkanalbehandlung

Auf den folgenden Seiten werden alle relevanten theoretischen Grundlagen, praktischen Anforderungen sowie die eigentliche Präparation und Füllung des Wurzelkanals vorgestellt.

2.1.1 Definition und Indikation der Wurzelkanalbehandlung

Im Rahmen einer endodontischen Behandlung stellt die Präparation des Wurzelkanals einen entscheidenden Therapieschritt dar. Die Präparation umfasst nicht nur die Formgebung, sondern auch die Reinigung und Desinfektion des komplexen Wurzelkanalsystems. Nach der ESE (Europäische Gesellschaft für Endodontologie 2004) ist eine Wurzelkanalbehandlung indiziert, wenn:

- eine irreversible Entzündung oder Nekrose der Pulpa, mit/ohne klinische Symptome und/oder röntgenologischen Befund des periradikulären Gewebes, vorliegt;
- eine intentionelle Devitalisation, wie z. B. vor Verankerung eines Wurzelstiftes geplant ist;
- der Zustand der Pulpa vor restaurativen Eingriffen fragwürdig ist;
- durch eine Fehlstellung des Zahnes bei der Präparation mit einer Eröffnung der Pulpa gerechnet werden muss;
- eine Hemisektion oder eine Wurzelspitzenresektion geplant sind.

Die Europäische Gesellschaft für Endodontologie formulierte neben den Indikationen auch die Anforderungen, die an eine Wurzelkanalpräparation zu stellen sind (Europäische Gesellschaft für Endodontologie 2004; Hülsmann et al. 2005):

- Entfernung des Pulpagewebes und Debris;
- Elimination von Mikroorganismen;
- Erweiterung des Wurzelkanals, um einen dichten Verschluss zu erzielen;
- ausreichende chemische Desinfektion.

So beinhaltet eine erfolgreiche endodontische Therapie immer die Kombination aus einer Reduktion der Mikroorganismen im Endodont, die durch die Präparation mit entsprechender Formgebung in Verbindung mit der Desinfektion des Wurzelkanalsystems (Stewart 1955; Gu et al. 2009) erreicht werden kann. Die mechanische Präparation und die chemische Desinfektion sind somit zwei elementare Bestandteile und werden unter dem Begriff der chemo-mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanals zusammengefasst (Rödig et al. 2009). In zahlreichen Studien stellte sich allerdings heraus, dass eine umfassende Reinigung des komplexen Wurzelkanalsystems nicht erreichbar ist (Davis et al. 1972; Beer und Baumann 2007). Trotzdem sollte versucht werden, die mikrobielle Belastung soweit wie möglich zu verringern, da die mechanische Präparation lediglich zwei Drittel der Wurzelkanaloberfläche bearbeitet, das restliche Drittel bleibt unberührt (Schäfer und Zapke 2000; Peters et al. 2001; Zand et al. 2007).

2.1.2 Reinigung und Desinfektion

Die Spülung dient im Rahmen der chemischen Aufbereitung zur Verbesserung der Reinigungsleistung und der Reduktion der Keimzahl (Hülsmann 2006). Zusätzlich zur antibakteriellen Funktion wird durch eine Spülung des Wurzelkanals ein Herausspülen der bei der Präparation entstandenen Dentinspäne erreicht. Des Weiteren löst die Spülflüssigkeit organische und anorganische Bestandteile der Schmierschicht auf (Stewart 1955). Durch die Auflösung von Geweberesten, *smear layer* und Debris wird den Mikroorganismen die Nahrungsgrundlage entzogen und ihre Vermehrung verhindert. Spüllösungen sollen zusätzlich die Gleitfähigkeit der Instrumente erhöhen und so den Widerstand der Instrumente während der Präparation verringern. Beispiele für Spüllösungen, die diesen Ansprüchen gerecht werden, sind Natriumhypochlorit (NaOCl), Chlorhexidindigluconat (CHX) und Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) (Ørstavik und Haapasalo 1990; Zehnder et al. 2005; Zehnder 2006). Dabei ist es das Ziel, eine möglichst saubere Kanalwand als Grundlage für eine gut adaptierte Wurzelkanalfüllung zu schaffen (Goldberg und Abramovich 1977; Basrani und Haapasalo 2012).

2.2 Wurzelkanalpräparation

Generell unterscheidet man zwischen manueller Präparation mit Edelstahl-Instrumenten und der maschinellen Präparation mittels Instrumenten aus Stahl oder Nickel-Titan (Walia et al. 1988). Für die manuelle Präparation können drei verschiedene Typen von endodontischen Instrumenten verwendet werden. Die Grundformen sind Reamer, K-Feilen und Hedström-Feilen. Trotz zahlreicher Weiterentwicklungen im Bereich der Handinstrumente und der Präparationstechniken war der Zeit- und Kraftaufwand bei dieser Vorgehensweise sehr hoch

(Camps und Pertot 1994; Schäfer und Lohmann 2002), sodass der Wunsch nach einfacheren, sicheren, zügigen und dennoch wirtschaftlichen Aufbereitungsmöglichkeiten zunahm. Durch die Einführung der Nickel-Titan-Legierung wurde es seit der Jahrtausendwende im Rahmen einer modernen und wissenschaftsorientierten Zahnheilkunde möglich, Handinstrumente durch neu entwickelte, maschinell betriebene Nickel-Titan-Instrumente abzulösen (Walia et al. 1988). Das Material, welches aus den beiden Metallen Nickel und Titan besteht, hat im Vergleich zum ursprünglichen Edelstahl einen wesentlich geringeren Elastizitätsmodul (Civjan et al. 1975; Viana et al. 2010). Daraus ergibt sich das typische pseudoelastische Verhalten (Camps und Pertot 1994); das bedeutet, dass eine beinahe vollständige Rückstellung des Instrumentes nach extremer Verbiegung in die Ausgangsposition stattfindet. Die Instrumente werden mit einem speziellen Verfahren aus Nitinol 55-Rohlingen gefräst (Thompson 2000; Rödiger et al. 2009) und unterscheiden sich neben der Materialgrundlage in vielerlei Konstruktionsmerkmalen von den Handinstrumenten.

2.2.1 Konizität

Die fortlaufende Zunahme des Durchmessers von der Instrumentenspitze bis zum Ende des Arbeitsteils wird als Konizität bezeichnet. Anders als die manuellen Instrumente haben maschinelle Instrumente keine einheitliche Konizität von 2% (DIN 2008). NiTi-Instrumente sind mit konstanten Konizitäten von 2-20% verfügbar, können jedoch auch progressive bzw. regressive Konizitäten mit variablen Veränderungen des Durchmessers innerhalb eines Instruments aufweisen (Koch und Brave 2002; Hellwig et al. 2009).

2.2.2 Arbeitsteil

Das Arbeitsteil der maschinellen Instrumente wird nicht nur in einer Standardlänge von 16 mm angeboten, sondern in verschiedenen Längen. Instrumente mit einem deutlich verkürzten Arbeitsbereich, meistens in Kombination mit einer großen Konizität, wurden für die Erweiterung des koronalen Kanaleingangs entwickelt (Hellwig et al. 2009). Um koronal ausreichend zu präparieren und gleichzeitig eine Schwächung des Zahns durch einen zu aggressiven Abtrag von Dentin zu verhindern, ist ein kürzeres Design notwendig (Peters 2004). Dies führt zu einer optimalen Kombination aus Reduktion der Torsionsbelastung und Erhöhung der lokalen Schneidleistung (Sattapan et al. 2000).

2.2.3 Geometrischer Querschnitt

Auch bei den Querschnittsformen ist ein breites Spektrum vorhanden, welches von dreieckigen über rechteckige, S-förmige und U-förmige bis hin zu asymmetrischen Formen reicht. Der

Instrumentenquerschnitt bestimmt das Design der Schneidekanten und die Größe des Spanraums.

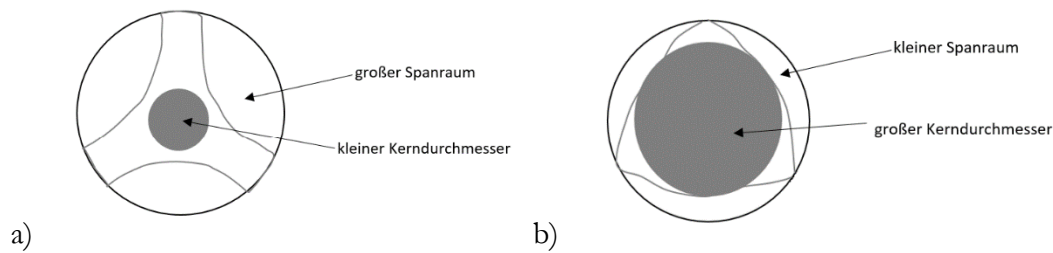


Abbildung 1: a) kleiner Instrumentenquerschnitt ; b) großer Instrumentenquerschnitt

Je größer der Spanraum der Instrumente ist, desto effektiver werden Dentinspäne und nekrotisches Gewebe aus dem Wurzelkanal entfernt. Generell gilt dabei, dass je kleiner der Innendurchmesser ist, desto größer sind der Spanraum und die Flexibilität des Instruments und umso höher ist die Frakturgefahr (Abbildung 1). Als grobe Einteilung kann zwischen aktiv und passiv schneidenden Instrumenten differenziert werden. Aktiv arbeitende Instrumente besitzen scharfe Schneidekanten (Abbildung 2a). Instrumente, die als passiv schneidend eingeordnet werden, verfügen über abgeflachte Schneidekanten, so genannte *radial lands* (Abbildung 2b), welche die Führungsflächen der Instrumente bilden (Roggendorf und Frankenberger 2012).

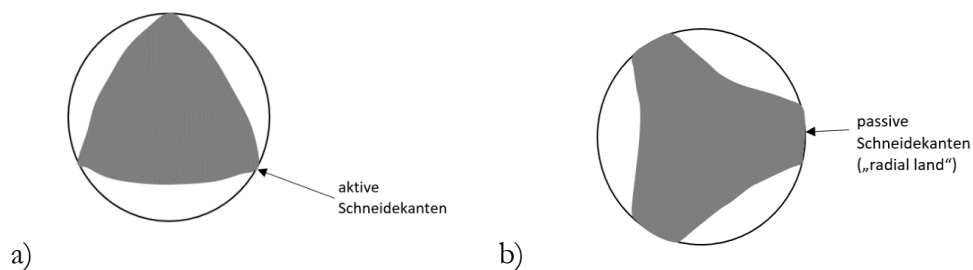


Abbildung 2: a) aktive bzw. scharfe Schneidekanten; b) passive bzw. abgeflachte Schneidekanten

Diese Führungsflächen positionieren und zentrieren das Instrument während der Präparation im Wurzelkanal. Als Kritikpunkt an Instrumenten mit *radial lands* im Vergleich zu aktiv präparierenden Instrumenten ist die verminderte Reinigungsleistung zu nennen, da abgetragenes Dentin zwischen den Flächen der *radial lands* und der Kanalwand verrieben und nicht aus dem Kanal herausbefördert wird (Jeon et al. 2003). Aufgrund des großen Kontaktbereichs zum Dentin (Abbildung 2b) steigt der Widerstand während der Aufbereitung und somit auch die Bruchgefahr der Instrumente (Schäfer und Fritzenschaft 1999). Aktive Instrumente besitzen deutlich weniger Wandkontakt (Abbildung 2a) und erzielen damit auch eine verbesserte Reinigung (Kapalas und Lambrianidis 2000; Schäfer und Oitzinger 2008). Zusätzlich gibt es Unterschiede bei der Gestaltung der Instrumentenspitze. Es wird hier ebenfalls zwischen einer

Schneidenden und einer Nicht-schneidenden differenziert. Die meisten maschinell arbeitenden Instrumente werden mit der sogenannten Batt-Spitze, also einer nicht-schneidenden Instrumentenspitze ausgestattet (Roane et al. 1985). Sie bewirkt ebenfalls eine Zentrierung im Kanal und wirkt Begradigungen und Perforationen entgegen (Powell et al. 1986; Kuhn et al. 1997; Dummer et al. 1998; Peters et al. 2003; Hellwig et al. 2009).

2.2.4 Spanwinkel

Der Winkel zwischen Schneidekante und Rotationsachse wird als Spanwinkel bezeichnet (Abbildung 3) (Schäfer und Lau 1999; Weber 2016). Er kann positiv, neutral oder negativ sein. Der Spanwinkel beeinflusst die Arbeitsweise des Instrumentes, nämlich aktiv schneidend (positiver Winkel) oder passiv schabend (negativer Winkel) (McSpadden 2006).

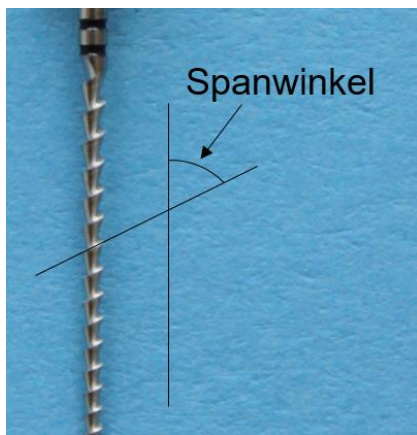


Abbildung 3: Spanwinkel am Beispiel einer Hedström-Feile ISO-Größe 35

2.2.5 Schneidekantenabstand

Zwischen Schneide- und Instrumentenachse liegt der Schneidekantenwinkel. Bei Instrumenten mit konstantem Winkel ist die Anzahl von Schneiden pro Windung gleich. Verändert sich der Schneidekantenwinkel, führt das bei größer werdenden Winkeln zu weniger Windungen und damit größeren Abständen zwischen den Schneiden, wobei sich diese Parameter umgekehrt proportional zueinander verhalten. Die Abstände zwischen den Schneiden stellen gleichzeitig die Spanräume dar und ermöglichen dadurch den Abtransport von Dentinspänen (Koch und Brave 2002). Der sich verändernde Schneidekantenwinkel wird im Sinne des Konzepts der Spanraumvergrößerung von vielen Herstellern bei der Konstruktion von NiTi-Instrumenten berücksichtigt (Zand et al. 2007).

2.2.6 Bewegungsmuster

Allgemein lassen sich zwei grundlegend verschiedene Arbeitsweisen mit maschinellen Systemen beschreiben - die Vollrotation und die reziproke Bewegung. Bei der Vollrotation, also einer 360° -Drehung des Instrumentes, kommt die *Crown-Down-Pressureless*-Technik oder die *Single-Length*-Technik (Sonntag 2005) auf Basis der standardisierten Technik nach Ingle zum Einsatz (Ingle 1961). Hierbei wird ein regelmäßiger Transport von Debris in koronaler Richtung gewährleistet. Seit einigen Jahren werden einige NiTi-Systeme mit einer reziproken Arbeitsweise betrieben, die auf einem komplexen Bewegungsmuster beruht. Grundlegend dafür war die von Roane beschriebene *Balanced-Force*-Methode für die manuelle Präparation (Roane et al. 1985), die von Yared auf die maschinelle reziproke Arbeitsweise übertragen wurde (Yared 2008). Eine reziproke Bewegung bedeutet, dass eine Vollrotation in mehrere Schritte aufgeteilt wird. So führt das Instrument zuerst eine Drehung in die Schneidrichtung gegen den Uhrzeigersinn um 150° aus (Abbildung 4). Anschließend findet eine Bewegung in die Gegenrichtung um 30° statt (Abbildung 4). Für eine 360° -Bewegung sind drei Zyklen dieses Bewegungsmusters notwendig (Kim et al. 2012).

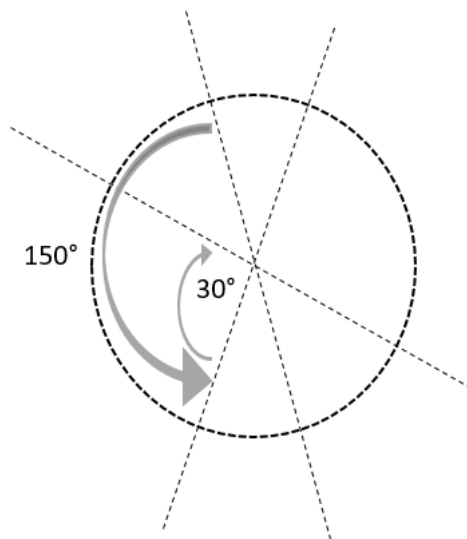


Abbildung 4: Schemazeichnung des reziproken Bewegungsmusters

Diese Bewegungsabfolge soll ein Verklemmen des Instrumentes verhindern sowie die zyklische Ermüdung und die Gefahr der Deformation verringern (Yared 2008; De-Deus et al. 2010; Varela-Patiño et al. 2010; Kim et al. 2012; Kiefner et al. 2014).

Mittlerweile sind die maschinellen NiTi-Systeme nicht mehr aus dem Praxisalltag wegzudenken. Sie erleichtern vor allem die Präparation stark gekrümmter Kanäle (Wolcott und Himel 1997; Kuhn et al. 2001; Hülsmann et al. 2005; Paqué et al. 2005) mit optimalen Reinigungsleistungen (Bechelli et al. 1999; Gambarini und Laszkiewicz 2002) ohne den Kanalverlauf zu ver-

legen (Pertot et al. 1995; Hellwig et al. 2009). Positiv ist auch die deutlich reduzierte Arbeitszeit (Short et al. 1997; Rangel et al. 2005). Die Zeit für eine Wurzelkanalpräparation ist dabei von mehreren Faktoren abhängig, wie beispielsweise der Anzahl der Instrumente im jeweiligen System. Je mehr Feilen vorhanden sind, desto häufiger muss ein Wechsel dieser Instrumente pro Behandlung durchgeführt werden (Bürklein et al. 2012). Grundsätzlich lässt sich aber ein Zeitgewinn zwischen der maschinellen und manuellen Präparationsmethode ermitteln (Baumann und Roth 1999; Sonntag et al. 2003; Guelzow et al. 2005).

Trotz der vielen Vorteile, die sich aus einer maschinellen Präparation mit NiTi-Systemen ergeben, ist die Frakturgefahr der Instrumente nicht zu vernachlässigen (Turpin et al. 2000; Patiño et al. 2005). Dabei können Frakturen aufgrund zyklischer Ermüdung (*Fatigue*) von Torsionsfrakturen (*Torque*) unterschieden werden (Sattapan et al. 2000). Eine zyklische Ermüdung des Instrumentes tritt auf, wenn dieses im gekrümmten Wurzelkanal einer Biegebeanspruchung unterliegt. Im Gegensatz dazu finden bei plötzlich erhöhtem Reibungswiderstand zwischen Instrument und Kanalwand Torsionsfrakturen statt (Weber 2016). Damit diese Komplikationen nur begrenzt auftreten, empfehlen die Hersteller für jedes NiTi-System spezielle Anwendungsprotokolle sowie die Verwendung drehmoment-begrenzter Motoren, die eine konstante Umdrehungszahl gewährleisten (Dietz et al. 2000; Gambarini 2000). Des Weiteren können sich zusätzliche Faktoren, wie Krümmung des Kanals, Häufigkeit der Instrumentenverwendung, Erfahrung des Benutzers und der Sterilisationsprozess negativ auswirken und zu Instrumentenfrakturen führen (Mandel et al. 1999; Parashos et al. 2004; Parashos und Messer 2006). Zur Vermeidung dieser Frakturen sollte vor der eigentlichen Präparation des Wurzelkanals mit NiTi-Instrumenten ein Gleitpfad mit dünnen Handfeilen der ISO-Größe 10-15 geschaffen werden (Berutti et al. 2004; Patiño et al. 2005).

Diese oben beschriebenen Konstruktionsmerkmale führten zu einer enormen Vielfalt der auf dem Markt erhältlichen Systeme. Neuere Entwicklungen im Bereich der NiTi-Systeme beschäftigen sich vor allem mit einer Reduktion der Feilenanzahl pro System sowie einer eingeschränkten Benutzungshäufigkeit.

2.3 Ein-Feilen-NiTi-Systeme

Bei diesen NiTi-Systemen wird der gesamte Wurzelkanal mit einem einzigen Instrument präpariert, wobei die Größe der NiTi-Feile eines Systems in Abhängigkeit von der initialen Weite des unpräparierten Kanals ausgewählt wird (Yared 2008; Ruddle 2012; Liu et al. 2013). Ein-Feilen-NiTi-Systeme reduzieren durch den Wegfall des Instrumentenwechsels die Zeit für die Präparation des Wurzelkanals (Ruddle 2012; Bürklein et al. 2013). Dabei sollte allerdings nicht

die Zeit für die Spülung bzw. Desinfektion des Kanalsystems reduziert werden (MICRO-MEGA Broschüre o. J.). Ein weiterer Vorteil ist die Übersichtlichkeit des Systems bei der Verwendung eines einzigen Instruments (Ruddle 2012), die verminderte Dokumentation der verwendeten Größen sowie ein Wegfall des mehrmals korrekten Einprogrammierens in den drehmoment-begrenzten Motor bei Mehr-Feilen-Systemen. Die Qualität der Präparation (Schneidleistung) mit Ein-Feilen-NiTi-Systemen ist mit der konventioneller Mehr-Feilen-Systeme vergleichbar (Ruddle 2012). Bürklein et al. untersuchten zwei Ein-Feilen-Systeme, wobei weder Blockaden, Überinstrumentierungen noch Arbeitslängenverluste auftraten (2013). Aufgrund der Einmalnutzung weisen diese Instrumente ebenfalls eine geringe Frakturrate und Materialermüdung auf (Yared 2008; Bürklein et al. 2013). Darüber hinaus spielen auch wirtschaftliche Aspekte eine Rolle. Zwar sind die einzelnen Instrumente eines Ein-Feilen-NiTi-Systems teurer als die eines Mehr-Feilen-Systems, allerdings fallen Kostenfaktoren, wie der Sterilisationsprozess und die Dokumentation, weg (Yared 2008). Limitationen der Ein-Feilen-Systeme bestehen vor allem bei der Präparation komplexer Wurzelkanalanatomien, für die ein breites Spektrum an Instrumenten mit verschiedenen Größen und Konizitäten empfohlen wird (Ruddle 2012).

Einmalgebrauch

Wurzelkanalinstrumente sind hinsichtlich der Sterilisation bzw. Wiederaufbereitung entsprechend der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) der Risikoklasse „kritisch B“ zuzuordnen (KRINKO et al. 2012). Dabei müssen verschiedene Maßnahmen, wie z. B. kontaminationssicherer Transport in den Aufbereitungsraum, optische Kontrolle der Sauberkeit und Unversehrtheit sowie Wartung, Verpackung und Dokumentation des Prozesses, durchgeführt werden. Die Reinigung von Wurzelkanalinstrumenten ist zumeist nur insuffizient möglich (Sonntag und Peters 2007). Alle getesteten Methoden (chemische, thermische, ultraviolette und ionisierende Reinigungsmöglichkeiten) beseitigten das biologische Material nicht vollständig. Neben diesen verschiedenen Techniken wurden auch komplexe Reinigungsprotokolle untersucht, wobei allerdings NaOCl zu einer Schädigung der Oberflächenstruktur der NiTi-Instrumente führte. Als Folge traten Porositäten der Materialoberfläche auf, die wiederum zu noch mehr Ablagerungen biologischen Materials führten. Prionen waren gegenüber verschiedenen Reinigungslösungen resistent (Sonntag und Peters 2007).

Nur durch den Einmalgebrauch von Wurzelkanalinstrumenten können zwischen verschiedenen Patienten Kreuzkontaminationen durch Prionen aufgrund insuffizienter Reinigungs- und

Sterilisationsmöglichkeiten der filigran gestalteten Instrumente (Alapati et al. 2003; Alapati et al. 2004; Sonntag und Peters 2007) ausgeschlossen werden (Schneider et al. 2007). Die Einmalbenutzung ist durch die unmittelbare Entsorgung des Instrumentes nach der Benutzung bei einem einzigen Patienten charakterisiert. Am Instrumentenschaft befindet sich ein Sicherheitsring aus Kunststoff, der sich beim Autoklavieren verformt und damit einen erneuten Betrieb im Winkelstück verhindert (MICRO-MEGA Broschüre o. J.; VDW RA o. J.).

Zusammenfassen lassen sich folgende Vorteile von Ein-Feilen-Systemen (Yared 2008):

- Ausschluss von Kreuzkontaminationen durch Prionen im Pulpagewebe (Schneider et al. 2007) bei nicht suffizienten Reinigungs- und Sterilisationsmöglichkeiten (Alapati et al. 2003; Alapati et al. 2004; Sonntag und Peters 2007);
- geringere Materialermüdung und geringeres Risiko von Instrumentenfrakturen;
- günstigere wirtschaftliche Aspekte als bei Systemen mit mehreren Instrumenten;
- deutliche Reduktion der Arbeitszeit, da kein Instrumentenwechsel nötig ist (Ruddle 2012; Bürklein et al. 2013).

Die moderne Endodontologie ist ohne maschinelle Wurzelkanalpräparation nicht mehr denkbar, da hierdurch eine effiziente und sichere Wurzelkanalbehandlung bei maximalem Dentinerhalt möglich ist (Esposito und Cunningham 1995; Glosson et al. 1995; Gambill et al. 1996; Dietz et al. 2000).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei Ein-Feilen-Systeme hinsichtlich ihres Durchmessers und ihrer Konizität untersucht, um Formkongruenzen zwischen den NiTi-Instrumenten und korrespondierenden Guttaperchastiften zu ermitteln und die Werte mit den Angaben des Herstellers und dem Toleranzbereich der aktuell gültigen ISO-Norm 3630 (DIN 2008) sowie 6877 (ISO 2006) und der ANSI-/ADA-Spezifikation Nr. 101 (Chesler et al. 2013) zu vergleichen.

Der Begriff „System“ meint in diesem Fall sämtliche NiTi-Instrumente verschiedener Größen mit den dazugehörigen Guttaperchastiften eines Herstellers. Nach der Präparation des Wurzelkanals mit einem einzigen NiTi-Instrument (Ein-Feilen-System) erfolgt die Obturation mit Hilfe eines Guttaperchastiftes (Ein-Stift-Technik), der in seiner Größe und Form dem Wurzelkanalinstrument entspricht, dazu also formkongruent ist.

Nachfolgend werden die drei untersuchten Ein-Feilen-Systeme vorgestellt. Die erste Zahl vor dem Schrägstrich gibt die Größe der Instrumentenspitze in hundertstel Millimeter an (z. B. ISO 10 = 0,10 mm), die Zahl nach dem Schrägstrich die Konizität in Prozent (siehe Kapitel 4).

2.3.1 OneShape

Das OneShape-System der Firma MICRO-MEGA ist seit 2012 verfügbar und wird in drei verschiedenen Größen (25, 30 und 37) und mehreren Längen (21, 25 und 29 mm) angeboten (Abbildung 6). Das OneShape-Instrument der Größe 25/.06 weist eine konstante Konizität von 6% auf. Der schneidende Teil umfasst somit 16 mm, wobei der Instrumentenquerschnitt über das gesamte Arbeitsteil asymmetrisch ist und sich von einer triangulären Form mit drei Schneiden im apikalen Instrumentenbereich zu einer S-Form mit nur zwei Schneidekanten verändert (Abbildung 5) (MICRO-MEGA Endobook o. J.).

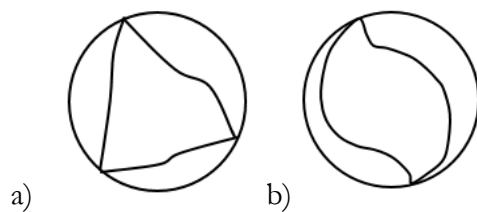


Abbildung 5: Querschnitte der OneShape-Instrumente
a) triangulärer Querschnitt; b) s-förmiger Querschnitt

Dieses Instrumentendesign führt zu einer Verlegung des Massenschwerpunkts innerhalb des Arbeitsteils, woraus ein wellenförmiges Bewegungsmuster während der Rotation resultiert. Dieses Charakteristikum und die Konizität von 6% sollen das Einschrauben des Instrumentes in den Kanal minimieren (Hashem et al. 2012). Zusätzlich arbeitet die Instrumentenspitze inaktiv, d. h. sie ist nicht schneidend. Die beiden weiteren Instrumente des OneShape-Systems dienen ausschließlich der weiteren apikalen Präparation und sind in den Größen 30/.06 (Apical 1) sowie 37/.06 (Apical 2) erhältlich. Sie besitzen eine Konizität von 6% auf den ersten 5 mm des Arbeitsteils, anschließend liegt auf den verbleibenden 11 mm keine Steigung vor. Der Instrumentenquerschnitt ist im Vergleich zur OneShape 25/.06 über das gesamte Instrument einheitlich dreieckig (Abbildung 5a).

OneShape-Instrumente werden mit einem speziellen, drehmoment-kontrollierten Motor in einer 360°-Rotation verwendet. Der Hersteller empfiehlt die Benutzung mit einem Drehmoment von maximal 2,4 Ncm und einer Drehzahl von 300-450 Umin⁻¹. Nach Erreichen der vorher festgelegten Arbeitslänge ist im Anschluss eine weitere apikale Präparation des Wurzelkanals mit den Instrumenten Apical 1 (30/.06) und Apical 2 (37/.06) möglich. Diese beiden Instrumente sollten mit einem maximalen Drehmoment von 1 Ncm und einer Geschwindigkeit von 350-450 Umin⁻¹ angewendet werden. Die korrespondierenden Guttaperchastifte des OneShape-Systems der Größen 30/.04 und 35/.06 weisen im Gegensatz zu den NiTi-Instrumenten (30/.06 und 37/.06) eine konstante Konizität von 6% bzw. 4% über die gesam-

te Länge des Guttaperchastiftes auf (MICRO-MEGA Broschüre o. J.; MICRO-MEGA Endobook o. J.).

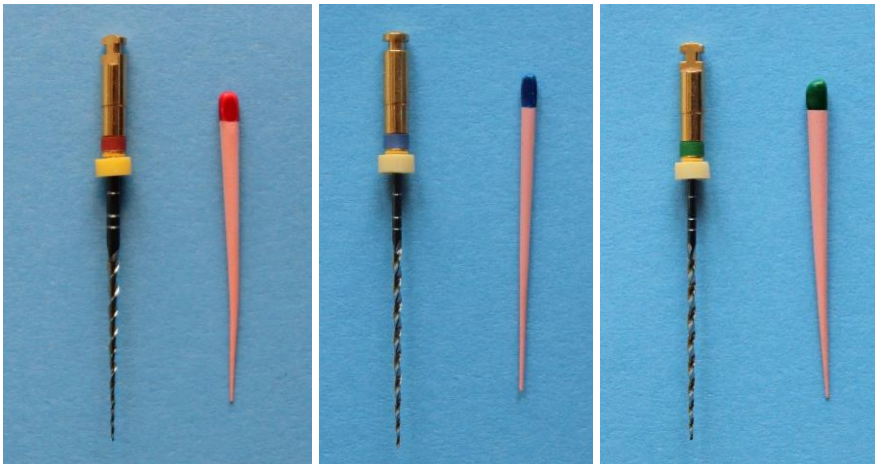


Abbildung 6: NiTi-Instrumente und korrespondierende Guttaperchastifte des OneShape-Systems 25/.06 (rot), 30/.06 bzw. 30/.04 (blau) und 37/.06 bzw. 35/.06 (grün)

2.3.2 F360

Das F360-System von Komet beinhaltet vier NiTi-Instrumente. Die Hauptgrößen 25/.04 und 35/.04 sowie die Größen 45/.04 und 55/.04 als Ergänzung zur Präparation weiter Kanäle (Abbildung 8). Alle Feilen besitzen eine gleichbleibende Konizität von 4% über die gesamte Arbeitslänge. Die Instrumente sind in den Arbeitslängen 21, 25 und 31mm verfügbar (Komet Dental o. J.). Der Querschnitt ist doppel-s-förmig und besitzt zwei aktive Schneidekanten, die zu einer effektiven Schneidleistung beitragen (Abbildung 7).



Abbildung 7: Querschnitt der F360-Instrumente

Die Instrumente verfügen über einen kleinen Schneidekantenwinkel und einen daraus resultierenden großen Spanraum, der eine effiziente Entfernung des abgetragenen Dentins ermöglicht. Zusätzlich führt das Instrumentendesign zu einer gesteigerten Flexibilität, die durch das verwendete Material Nickel-Titan weiter erhöht wird. Dadurch ist auch eine Präparation stark gekrümmter Wurzelkanälen durchführbar (Komet Dental o. J.). Das zu verwendende F360-Instrument wird in Abhängigkeit der Instrumentengröße ausgesucht, mit dem das Wurzelkanalsystem initial sondiert wurde (Gleitpfad). Dies bedeutet praktisch, dass das erste F360-Instrument zwei Größen größer als das Instrument sein sollte, mit dem der Gleitpfad präpa-

riert wurde. Die F360-Instrumente werden mit einem drehmoment-begrenzten Motor in einer Vollrotation bei einer konstanten Umdrehungszahl von 250-350 U min⁻¹ und einem maximalen Drehmoment von 1,8 Ncm angetrieben (Komet Dental o. J.). Dabei sollten kurze Auf- und Abwärtsbewegungen auf der gesamten, zuvor ermittelten Arbeitslänge (*Single-Length-Technik*) ausgeführt werden.

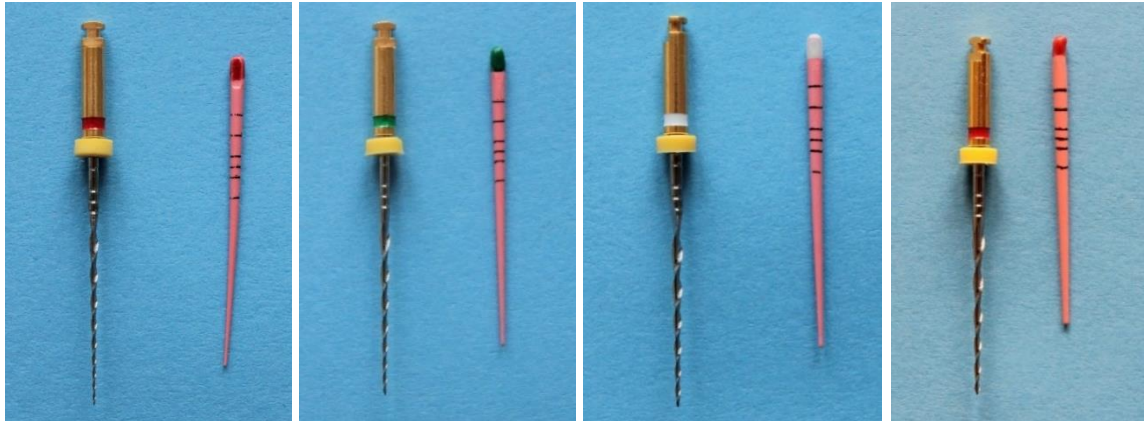


Abbildung 8: NiTi-Instrumente und korrespondierende Guttaperchastifte des F360-Systems 25/.04 (rot), 35/.04 (grün), 45/.04 (weiß) und 55/.04 (rot).

2.3.3 Reciproc

Dieses Ein-Feilen-NiTi-System entstand durch die Zusammenarbeit zwischen Ghassan Yared und VDW und wurde erstmalig im Jahr 2011 vorgestellt. Charakteristisch ist das reziproke Bewegungsmuster, welches zuerst eine Drehung in die Schneiderichtung gegen den Uhrzeigersinn um 150° beinhaltet, in der das Wurzelkanalentin abgetragen wird. Anschließend findet eine Rotation um 30° in die Gegenrichtung im Uhrzeigersinn statt, um die Feile aus der Position zu lösen und Dentinspäne nach koronal zu transportieren (Kim et al. 2012). Das System beinhaltet drei Instrumente der Größen 25, 40 und 50 sowie die korrespondierenden Guttaperchastifte (Abbildung 10). Die Instrumentenlängen sind variabel und in den Längen 21, 25 und 31 mm erhältlich. Dabei ist der Schaft des Instruments generell auf 11 mm verkürzt, um vor allem im Molarenbereich einen einfacheren Zugang zum Kanalsystem zu ermöglichen. Die Konizität der Instrumente ist regressiv, das bedeutet, dass sie ausgehend von der Instrumentenspitze Richtung Griff immer geringer wird. Gleichzeitig nimmt der Abstand zwischen den Schneiden zu und der Spanraum wird voluminöser. Die Konizität beginnt an der Instrumentenspitze bei Größe 25 mit 8%, bei Größe 40 mit 6% und bei Größe 50 mit 5% (VDW RA o. J.). Diese Konstruktionsmerkmale sind speziell auf den reziproken Bewegungsablauf abgestimmt und sollen die Effektivität der Präparationsleistung und des Abtransports von Dentinspänen steigern und trotzdem eine substanzschonende Erweiterung des Wurzelkanalsystems ermöglichen (Kim et al. 2012). Der Feilenquerschnitt ist s-förmig mit zwei Schneide-

kanten (Abbildung 9).

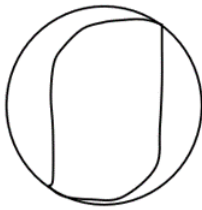


Abbildung 9: Querschnitt der Reciproc-Instrumente

Die Spitze des Instruments ist als sogenannte Batt-Spitze, also nicht schneidend, gestaltet (VDW RP o. J.). Für die Verwendung der Reciproc-Instrumente wird ein spezieller Motor (VDW.Gold oder VDW.Silver) mit einprogrammierten Drehwinkeln und konstanter Geschwindigkeit benötigt. Dadurch erfolgt die Präparation mit dem oben beschriebenen reziproken Bewegungsmuster. Die verwendeten Drehwinkel wurden aus dem Torsionsverhalten der Instrumente abgeleitet, wodurch die einprogrammierten Drehwinkel kleiner sind als die ermittelten Winkel, bei denen das Instrument normalerweise im verklemmten Zustand frakturieren würde. Durch die abgestimmten Drehwinkel ist ein Verklemmen nahezu unmöglich und auf eine Gleitpfadpräparation kann verzichtet werden (Yared 2011). Reciproc-Instrumente werden aus M-Wire-Nickel-Titan hergestellt. Hierbei handelt es sich um eine Nickel-Titan-Legierung, die mit einem besonderen Wärmeverfahren behandelt wird, wodurch eine erhöhte Flexibilität und eine gesteigerte Widerstandsfähigkeit gegenüber zyklischer Ermüdung entsteht (Yared 2011; Bürklein et al. 2012; Kim et al. 2012).

Die initiale Weite des Wurzelkanals entscheidet darüber, welches Instrument für die Präparation benutzt werden sollte. Der Hersteller empfiehlt für die Präparation enger Kanäle die Größe 25, für mittelgroße Kanäle die Größe 40 und für weite Kanäle die Größe 50. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Reciproc-Instrumente beträgt 300 Umin^{-1} , woraus 10 Zyklen von reziproken Bewegungsmustern pro Sekunde resultieren (Yared 2011; Kim et al. 2012). Währenddessen wird das Instrument langsam und mit nur sehr leichtem Druck Richtung apikal auf und ab bewegt. Die Kombination aus einer Auf- und Abbewegung wird als *Pick* bezeichnet. Nach drei Picks sollte das Instrument aus dem Kanal entfernt und die Schneiden von Debris gereinigt werden. Dieser Ablauf wird so lange wiederholt, bis die Arbeitslänge erreicht ist. Neben der Pick-Bewegung ist auch der Einsatz in büstenden Bewegungen möglich, um irreguläre Kanal anatomien aufzubereiten oder den Kanal im koronalen Drittel stärker zu erweitern (Yared 2011).

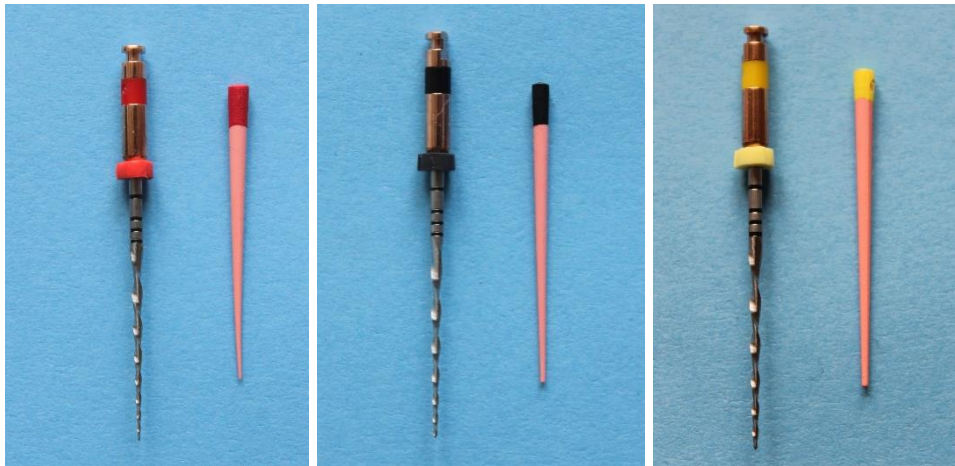


Abbildung 10: NiTi-Instrumente und korrespondierende Guttaperchastifte des Reciproc-Systems 25 (rot), 40 (schwarz) und 50 (gelb)

2.4 Wurzelkanalfüllung

2.4.1 Wurzelkanalfüllmaterialien

Nach der Präparation und Desinfektion des Wurzelkanalsystems folgt die Obturation mit biokompatiblen Füllmaterialien. Dabei soll das Eindringen von Gewebeflüssigkeiten aus dem Periapex verhindert und Mikroorganismen Substrat entzogen werden (Saunders und Saunders 1994; Hellwig et al. 2009). Nach der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie hat ein Wurzelfüllungsmaterial bestimmte Anforderungen zu erfüllen (Europäische Gesellschaft für Endodontologie 2004):

- Dimensionsstabil,
- gute Adhäsion an der Kanalwand,
- röntgenopak,
- keine Zahnverfärbungen,
- steril oder sterilisierbar,
- leicht entfernbar,
- biokompatibel,
- ausreichende Verarbeitungszeit,
- bakteriostatisch oder bakterizid,
- nicht resorbierbar,
- einfach applizierbar.

Zurzeit gibt es immer noch kein Material, das alle Anforderungen gleichermaßen erfüllt. Heutzutage wird in der Regel eine Kombination aus Guttapercha und einer erhärtenden Wurzelkanalfüllpaste (*Sealer*) angewendet (Skinner und Himel 1987).

2.4.1.1 Guttapercha

Guttapercha ist ein Naturprodukt, welches aus dem eingetrockneten Milchsafte von Gutta-perchabäumen gewonnen wird (Gurney et al. 1971; Friedman et al. 1975). Anschließend wird diese Grundsubstanz modifiziert, um als dentales Produkt eingesetzt werden zu können. Guttaperchastifte bestehen je nach Hersteller zu ca. 20-45% aus Guttapercha, einem trans-Isomer des Polyisoprens. Zusätzlich ist Zinkoxid (33-61,5%) als Füllstoff enthalten, wodurch der Guttaperchastift über eine geringe antibakterielle Wirksamkeit verfügt. Kleine Mengen an Wachsen und Kunststoffen (1-4%) erhöhen die Plastizität, und Metallsulfate dienen als Röntgenkontrastmittel (Gurney et al. 1971; Friedman et al. 1975; Hülsmann 1993). Guttapercha kann in mehreren Formen vorliegen, diese sind die beiden kristallinen Formen α und β sowie die amorphe Phase. Bei Zimmertemperatur liegt Guttapercha in der dimensionsstabilen β -Form vor, die für kalte Fülltechniken verwendet wird. Bei Erwärmung der β -Guttapercha auf ca. 40-49 °C erfolgt die Umwandlung in die ursprüngliche α -Form, die bei warmen (thermoplastischen) Fülltechniken Anwendung findet. Bei einer weiteren Erhöhung der Temperatur auf 57-59 °C erfolgt der Übergang in die amorphe Phase, bei der die Guttapercha flüssig ist (Goodman et al. 1974). Diese Temperaturänderungen führen demnach zu veränderten physikalischen und chemischen Eigenschaften, wobei Wärme zu einer Ausdehnung der Guttapercha und Abkühlung wiederum zu einer Schrumpfung des Materials führt (Gurney et al. 1971). Die erwärmte Guttapercha sollte während der Abkühlungsphase mit Instrumenten im Kanal kompaktiert werden, um die Schrumpfung möglichst gering zu halten und Lufteinschlüsse zu reduzieren (Schilder et al. 1974). Guttapercha ist allerdings nicht in der Lage, einen suffizienten Verschluss des apikalen und koronalen Kanaleingangs, der Seitenkanäle und der offenen Dentintubuli zu erzielen (Skinner und Himel 1987; Tagger et al. 1994), weswegen die Kombination von Guttapercha mit einem *Sealer* notwendig ist (Hata et al. 1995; DGZMK 2000).

2.4.1.2 Wurzelkanalfüllpasten (*Sealer*)

Sealer füllen die Zwischenräume zwischen Guttapercha und Kanalwand aus und verschließen akzessorische Kanäle und Dentintubuli. Die alleinige Verwendung von Füllpasten ist aufgrund der Resorbierbarkeit obsolet (DGZMK 2000). Zusätzlich sollte die verwendete *Sealer*-Menge möglichst gering sein, um Hohlräume durch die Resorption von *Sealer* zu vermeiden (Wu et al. 1995).

Wichtige Anforderungen an einen *Sealer* sind (Hellwig et al. 2009):

- Verschluss von Seitenkanälen und Dentintubuli;

- Adhäsion an Guttapercha und Dentin, um Unregelmäßigkeiten auszugleichen;
- Biokompatibilität;
- Dimensionsstabilität.

In Abhängigkeit von dem verwendeten Basismaterial lassen sich fünf Hauptgruppen von *Sealer* unterscheiden. Entwickelt wurden *Sealer* auf Epoxidharz-, Polydimethylsiloxan-, Zinkoxid-Eugenol-, Salicylat- und Kalziumhydroxidbasis sowie mit medikamentösen Zusätzen. Die Füllpaste der Wahl stellen momentan *Sealer* auf Epoxidharzbasis dar (DGZMK 2000). Der Grund ist die geringe Abbindeexpansion und damit ein optimales Abdichtungsverhalten. Die anderen vorgestellten *Sealer* sollten wegen nachgewiesener Resorbierbarkeit, Zytotoxizität und Neurotoxizität und geringen Erfahrungswerten keine Verwendung finden (DGZMK 2000).

2.4.2 Techniken der Wurzelkanalfüllung

Grundsätzlich lässt sich zwischen den Kalt- und Warmtechniken unterscheiden. Die am häufigsten verwendeten Obturationstechniken sind die kalte Ein-Stift-Technik und kalte laterale Kompaktion sowie die warme vertikale Kompaktion (Whitworth 2005).

2.4.2.1 Ein-Stift-Technik

Hierbei wird das präparierte und desinfizierte Wurzelkanalsystem mit einem einzigen Guttaperchastift aus β -Guttapercha gefüllt, der im Idealfall in seiner Dimension dem zuletzt verwendeten Präparationsinstrument in Größe und Konizität entspricht. Der mit *Sealer* benetzte Guttaperchastift wird auf Arbeitslänge in den Kanal eingebracht, wobei eine weitere Kompaktion des Füllmaterials nicht stattfindet. Diese Methode ist vor allem durch eine Zeit- und Materialersparnis gekennzeichnet und sehr schnell zu erlernen. Allerdings ist die verhältnismäßig große Menge an *Sealer*, die vor allem bei der Füllung ovaler und irregulärer Kanäle nötig wird, kritisch zu beurteilen, da dies häufig mit einer ungenügenden Adaptation des Füllmaterials im koronalen und mittleren Kanalbereich einhergeht (Somma et al. 2011). Der Indikationsbereich beschränkt sich somit vor allem auf Zähne mit einem annähernd runden Wurzelkanalquerschnitt (Petschelt 1989).

2.4.2.2 Laterale Kompaktion

Dabei wird der sogenannte Masterpoint aus β -Guttapercha mit leichter Friktion im apikalen Bereich auf Arbeitslänge eingebracht. Anschließend wird der Guttaperchastift mit einem Spreader lateral, also Richtung Kanalwand, gedrückt. Die auf diese Art entstandenen Hohlräume werden mit weiteren akzessorischen Guttaperchastiften gefüllt, bis der Spreader nur

noch bis ins koronale Kanaldrittel vorgeschoben werden kann. Alle verwendeten Guttaperchastifte werden bei dieser Technik mit *Sealer* bestrichen (Hülsmann 2008; Rödiger et al. 2009). Das Ziel ist dabei, möglichst viel Guttapercha und möglichst wenig *Sealer* zu verwenden (Kuttler 1979; Heidemann 1989). Die laterale Kompaktion gilt nach wie vor als Goldstandard bei der Wurzelkanalfüllung (Dummer et al. 1994; Gilhooly et al. 2000; Jacobson et al. 2002).

2.4.2.3 Warme vertikale Kompaktion

Diese Technik wurde 1967 von Schilder entwickelt (Schilder 1967). Dabei wird ein mit *Sealer* benetzter Guttaperchastift (α -Guttapercha) auf 0,5 mm vor Arbeitslänge in den präparierten Kanal integriert, auf Höhe des Kanaleingangs mit einem heißen Instrument abgetrennt und mit Hilfe eines Pluggers nach apikal kompaktiert. Im nächsten Schritt wird ein Hitzeträger in den Kanal eingeführt, die Guttapercha wieder teilweise entfernt und während des Abkühlens nach apikal kompaktiert. Dieser Vorgang wird mehrfach bis ungefähr 4 mm vor Arbeitslänge wiederholt. Das Auffüllen des Kanals erfolgt anschließend mit warmer, injizierbarer Guttapercha, die abschließend ebenfalls mit Handinstrumenten verdichtet wird. Diese Fülltechnik erlaubt eine homogene Obturation vor allem bei irregulären Wurzelkanalquerschnitten (Schilder 2006; Arnold 2010).

2.4.3 Korrespondierende Guttaperchastifte der untersuchten Ein-Feilen-Systeme

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden neben den oben beschriebenen Ein-Feilen-NiTi-Systemen (Kapitel 2.3) auch die von den Herstellern angebotenen, korrespondierenden Guttaperchastifte vermessen. Das OneShape-System enthält α -Guttapercha in den Größen 25/.06, 30/.04 und 35/.06 (Abbildung 6), die für kalte oder warme Wurzelkanalfülltechniken verwendet werden kann (MICRO-MEGA Endobook o. J.; MICRO-MEGA Broschüre o. J.). Die Guttaperchastifte der Größen 30/.04 und 35/.06 weisen im Gegensatz zu den korrespondierenden NiTi-Instrumenten (30/.06 und 37/.06) eine durchgängige Konizität von 6% bzw. 4% auf. Forminkongruenzen zwischen NiTi-Instrumenten und den dazugehörigen Guttaperchastiften treten somit herstellerbedingt bereits ab Messpunkt D8 (30/.04) bzw. Messpunkt D6 (35/.06) auf. Beim F360-System werden die dazugehörigen β -Guttaperchastifte in Einstift-Technik verwendet, welche die gleiche Größe und Konizität wie die Präparationsinstrumente aufweisen und somit in den Größen 25/.04, 35/.04, 45/.04 und 55/.04 erhältlich sind (Abbildung 8) (Komet Dental o. J.). Auch beim Reciproc-System werden zu den Instrumenten passende Guttaperchastifte vom Hersteller angeboten (Größe 25, 40 und 50) (Abbildung 10). Die Guttapercha liegt in einer speziellen α -Phase mit niedrigem Schmelzpunkt von 67 °C vor

(VDW SA-G o. J.), die sowohl die Verwendung mit einer kalten als auch warmen Fülltechnik ermöglicht (VDW RA o. J.).

2.5 Standardisierung und Norm

2.5.1 Instrumente

Die heute gültige DIN EN ISO-Norm 3630 geht auf das Bestreben von Ingle (1955) zurück. Er formulierte die Dringlichkeit zur Standardisierung von endodontologischen Instrumenten (Ingle 1955). Die erste tatsächliche ISO-Norm wurde 1974 von der *International Organization for Standardization* (ISO) beschlossen, in den Jahren 1994, 1996, 2001 und 2006 korrigiert und vervollständigt, wobei momentan die Fassung von 2008 Gültigkeit hat.

Hierbei werden die Form, die Länge, der Durchmesser und die Konizität definiert und Toleranzgrenzen für endodontologische Stahlinstrumente festgelegt (Städler und Jeglitsch 1993; Weber 2016).

Charakterisierung eines Präparationsinstrumentes nach DIN EN ISO-Norm 3630 (DIN 2008; Rödiger et al. 2009) (Abbildung 11):

- Gesamtlänge: Länge des gesamten Instruments mit Griff;
- Arbeitslänge: Länge des gesamten Instruments, ohne Griff liegt sie bei 21, 25 oder 31 mm, da die Schaftlänge zwischen 5-15 mm variieren kann;
- Arbeitsteil: aktiv schneidender Instrumentenanteil mit einer Länge von 16 mm;
- Konizität: immer 2%, das entspricht einer Zunahme des Durchmessers pro Millimeter um 0,02 mm;
- d1: Durchmesser der Projektion des Arbeitsteils am Ende der Spitze (Referenzgröße), ist durch den Farbcode am Handgriff zur optischen Erkennung gekennzeichnet;
- d2: Durchmesser bei 3 mm hinter der Instrumentenspitze;
- d3: Durchmesser am Ende des Arbeitsteils bei 16 mm.

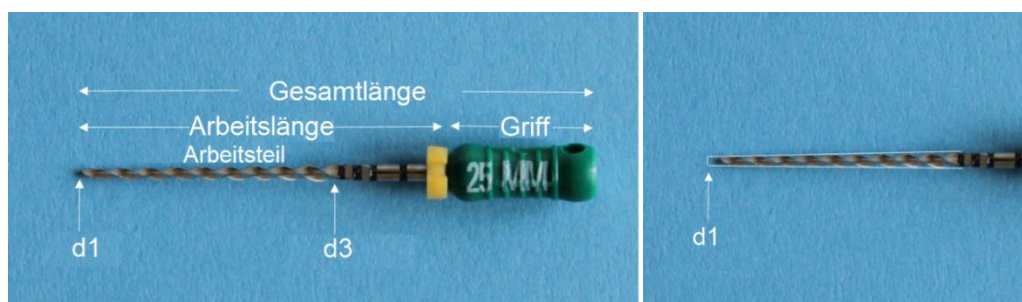


Abbildung 11: Charakteristika eines ISO-normierten Wurzelkanalinstrumentes der ISO-Größe 35

Die verwendete Einheit des Durchmessers ist hundertstel Millimeter, d. h. ein Instrument der ISO-Größe 10 hat einen Durchmesser an der Instrumentenspitze (d_1) von 0,10 mm. Alle Instrumente weisen einen speziellen ISO-normierten Farbcode des Griffes auf. Die kleinen Instrumentengrößen ISO 06, 08, 10 haben die Grifffarben Rosa, Grau und Lila. Die ISO-Größe 15 beginnt mit der Farbreihenfolge Weiß, gefolgt von Gelb (ISO 20), Rot (ISO 25), Blau (ISO 30), Grün (ISO 35) und Schwarz (ISO 40). Diese Farbfolge wiederholt sich dreimal, bis die größte ISO-Größe von 140 erreicht wird. Bis ISO-Größe 60 nimmt der Spitzendurchmesser pro Instrument um 0,05 mm zu, ab ISO 60 jeweils um 0,10 mm.

Die ISO-Norm legt ebenfalls Toleranzbereiche von $\pm 0,02$ mm für Handinstrumente fest, die sich auf den Durchmesser am jeweiligen Messpunkt beziehen. Zusätzlich wurde für die Konizität durch die ANSI-/ADA-Spezifikation Nr. 101 2001 ein Toleranzbereich von $\pm 0,05$ mm festgelegt (Lask et al. 2006; Hatch et al. 2008; Chesler et al. 2013).

2.5.2 Guttapercha

Zusätzlich zur ISO-Norm für Wurzelkanalinstrumente wurden auch Standardgrößen für Materialien zur Wurzelkanalfüllung formuliert. Die aktuellste Fassung ist die ISO-Norm 6877 aus dem Jahr 2006 (ISO 2006).

Die grundsätzlichen Merkmale der Handinstrumente sind auf die der Guttaperchastifte übertragbar, wobei die Konizität von 2% und die Farbkodierung identisch sind. Die Toleranzbereiche wurden allerdings aufgrund des Herstellungsprozesses der Guttapercha angepasst. Der Rohstoff Guttapercha wird in Kombination mit weiteren Zusätzen (siehe Kapitel 2.4.1.1) bei ca. 60° C plastisch und wird anschließend entweder über ein Gussverfahren in Stiftform gegossen oder über einen maschinell gesteuerten Rollprozess geformt. Für ISO-Größe 10-25 gilt eine Abweichung von $\pm 0,05$ mm als tolerierbar, ab ISO 25 erhöht sich der Toleranzwert auf $\pm 0,07$ mm (ISO 2006). Durch die ANSI-/ADA-Spezifikation Nr. 78 gilt für die Konizität bei Guttaperchastiften ein Toleranzbereich von $\pm 0,05$ mm (Lask et al. 2006; Hatch et al. 2008; Chesler et al. 2013).

2.6 Aktueller Wissensstand

Es liegen bislang nur wenige Studien zur Übereinstimmung zwischen der ISO-Norm und der ANSI-/ADA Spezifikation vor (Kerekes 1979; Städtler und Jeglitsch 1993; Stenman und Spångberg 1993; Moule et al. 2002; Zinelis et al. 2002; Gordon et al. 2005; Cunningham et al. 2006; Lask et al. 2006; Hatch et al. 2008; Chesler et al. 2013). In verschiedenen Untersuchungen von Handinstrumenten aus Edelstahl mit einer Konizität von 2% wurde festgestellt, dass die ermittelten Werte des Durchmessers eine breite Streuung aufwiesen; allerdings wurden

selten die Toleranzwerte der ISO-Norm überschritten (Städtler und Jeglitsch 1993; Zinelis et al. 2002). Zusätzlich konnte eine Korrelation zwischen dem Herstellungsverfahren und der Abweichung ermittelt werden. Gefräste Edelmetallinstrumente waren weicher als verdrehte Instrumente (Städtler und Jeglitsch 1993). Die weicheren Instrumente waren zum einen flexibler zum anderen wiesen sie eine größere Abweichung vom Soll-Wert auf (Städtler und Jeglitsch 1993). Die Konizität von Hedström-Feilen stimmte zwischen 65-96% an D1 mit den Soll-Werten überein (Kerekes 1979). Auch bei der Vermessung von Guttaperchastiften von acht verschiedenen Herstellern fiel eine große Dimensionsvariabilität auf (Moule et al. 2002). Trotz Einhaltung der ISO-Norm trat aufgrund der großen Toleranzbereiche das Problem auf, dass ein Guttaperchastift mehr als eine Größe nach oben bzw. nach unten abwich. Beispiel: Soll-ISO-Größe von 30 bei einem Toleranzbereich von $\pm 0,7$ mm, d. h. Abweichungen im Durchmesser an D1 in einem Bereich von 0,23-0,37 mm sind tolerabel, obwohl dies die nächstkleinere bzw. -höhere ISO-Größe (25 bzw. 35) umfasst. Daraus resultiert ein häufiges Verwerfen von Guttaperchastiften bei dem Versuch, ihn im Wurzelkanal mit apikaler Friktion anzupassen (Moule et al. 2002).

Nach der Einführung von Nickel-Titan-Instrumenten nahm das Angebot an verschiedenen Konizitäten, Längen und Präparationskonzepten stark zu. Dennoch gelten trotz neuer Materialien und Konstruktionsmerkmale der Instrumente weiterhin die von der ISO-Norm definierten Toleranzbereiche der Edelmetallinstrumente. In zwei aktuellen Studien wurden bei verschiedenen NiTi-Instrumenten und Guttaperchastiften der Durchmesser und die Konizität ermittelt und mit den Angaben des Herstellers und den Toleranzwerten der gültigen ISO-Norm und der ANSI-/ADA-Spezifikation verglichen. Dabei wurden NiTi-Instrumente der Größe 30/.04 von vier verschiedenen Herstellern (Lask et al. 2006) und Guttaperchastifte der Größe 30/.04 von fünf unterschiedlichen Produzenten (Cunningham et al. 2006) vermessen. Generell fiel auf, dass eine breite Streuung der Werte bei beiden Materialien innerhalb eines Systems, aber auch zwischen den Systemen vorlag, die Abweichungen von den Herstellerangaben überschritten jedoch nie den Toleranzbereich (Cunningham et al. 2006; Lask et al. 2006).

In einer weiteren Studie wurden Durchmesser und Konizität von Instrumenten an zwei Messpunkten (D1 und D4) ermittelt (Hatch et al. 2008). Dabei wurden die ersten vier Millimeter der Größen 35, 40 und 45 von drei verschiedenen Systemen mit einer Soll-Konizität von 6% unter dem Lichtmikroskop fotografiert. Alle berechneten Konizitäten lagen im erlaubten Toleranzbereich. Die Analyse der Durchmesser wies bei einem System eine Abweichung von 14% vom Toleranzwert auf, die beiden anderen Systeme besaßen keine bzw. lediglich eine

geringe Abweichung von 3%. Die hohe Übereinstimmung mit den Toleranzwerten zeigte, dass eine genaue Herstellung der Instrumente möglich ist (Hatch et al. 2008). Darüber hinaus formulierten Hatch et al. auch Probleme, die trotz der Einführung der ISO-Norm weiterhin bestehen (2008). Da es kein einheitliches Nummerierungssystem gibt, dürfen auch Instrumente, die keiner ISO-Größe entsprechen, vermarktet werden (z. B. OneShape 37/06). Des Weiteren gibt es keine einheitliche Methode zur Bestimmung der Instrumentengröße und keine einheitliche Progression der Konizität von einer zur nächsten Größe. Zwischen Instrumenten und Guttaperchastiften gibt es kein einheitliches Verhältnis in Form und Größe (Hatch et al. 2008).

In einer Studie aus dem Jahr 2013 wurden erstmalig NiTi-Instrumente und die jeweiligen korrespondierenden Guttaperchastifte hinsichtlich ihrer Formkongruenz überprüft (Chesler et al. 2013). Dabei wurden drei verschiedene NiTi-Instrumente der Größe 30/.04 und die dazugehörigen Guttaperchastifte in Bezug auf Durchmesser und Konizität verglichen. Es fielen signifikante Unterschiede zwischen den Instrumenten und Guttaperchastiften auf, wobei auch einige Werte außerhalb des erlaubten Toleranzbereichs lagen (Chesler et al. 2013). Chesler et al. untersuchten allerdings nur Instrumente von Mehr-Feilen-Systemen (2013). In einer anderen Studie wurden verschiedene Instrumentengrößen mit einer Konizität von 6% (35, 40, 45) drei verschiedener Hersteller analysiert, wobei allerdings auf die Untersuchung der dazu passenden Guttaperchastifte verzichtet wurde (Hatch et al. 2008).

Bislang liegt keine Studie zur Formkongruenz zwischen Ein-Feilen-NiTi-Systemen und den korrespondierenden Guttaperchastiften vor. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Formkongruenzen zwischen NiTi-Instrumenten und korrespondierender Guttapercha sowie die Übereinstimmung mit den gültigen ISO-Normen und der ANSI-/ADA-Spezifikation zu untersuchen.

3 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Studie war es, drei Ein-Feilen-NiTi-Systeme und die jeweiligen korrespondierenden Guttaperchastifte (OneShape, MICRO-MEGA; F360, Komet Dental; Reciproc, VDW) in Bezug auf den Durchmesser und die Konizität mit den Angaben des Herstellers und dem Toleranzbereich der aktuell gültigen ISO-Norm 3630 (DIN 2008) bzw. ISO-Norm 6877 (ISO 2006) und der ANSI-/ADA-Spezifikation Nr. 101 (Lask et al. 2006; Hatch et al. 2008; Chesler et al. 2013) zu vergleichen.

Folgende Nullhypothesen wurden überprüft:

- Die Instrumente und Guttaperchastifte entsprechen in Bezug auf Durchmesser und Konizität den Herstellerangaben.
- Die Instrumente und die nach Herstellerangabe korrespondierenden Guttaperchastifte sind formkongruent.
- Die Toleranzwerte der ISO-Norm und der ANSI-/ADA-Spezifikation für manuelle Wurzelkanalinstrumente sind auf maschinelle NiTi-Instrumente übertragbar.

4 Material und Methoden

In der vorliegenden Studie wurden drei Ein-Feilen-NiTi-Systeme für die maschinelle Präparation des Wurzelkanalsystems und deren korrespondierende Guttaperchastifte vermessen. Dabei wurden die Instrumente und Guttapercha des OneShape-Systems, des F360-Systems und des Systems Reciproc gegenübergestellt.

4.1 Messpunkte

Die Messung des Durchmessers erfolgte aufgrund der unterschiedlichen Konstruktionsmerkmale der Instrumente an individuellen Messpunkten. Bei OneShape 25/.06- und F360-Instrumenten und der jeweiligen Guttapercha wurde die Vermessung aufgrund der konstanten Konizität an drei Referenzpunkten (D1, D3, D16) vorgenommen (Abbildung 12), die OneShape-Instrumente und Guttaperchastifte der Größe 30/.06 bzw. 30/.04 und 37/.06 bzw. 35/.06 wurden für die Berechnung der Konizität zusätzlich an D13 vermessen (Abbildung 12):

D1: Durchmesser im Abstand von 1 mm zur Spitze;

D3: Durchmesser im Abstand von 3 mm zur Spitze;

D13: Durchmesser im Abstand von 13 mm zur Spitze;

D16: Durchmesser im Abstand von 16 mm zur Spitze.

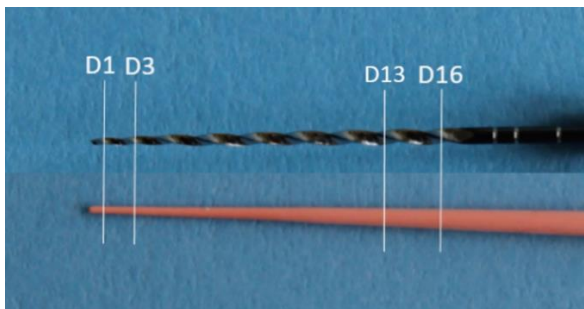


Abbildung 12: 3 Messpunkte am Beispiel des OneShape-Instruments 30/.06

Das Reciproc-System wurde aufgrund der regressiven Konizität der Instrumente und der Guttapercha an jedem Millimeter vermessen (Abbildung 13).

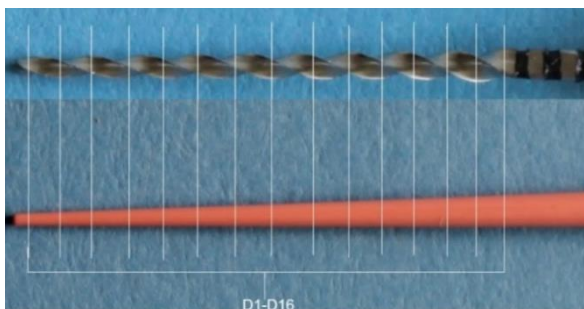


Abbildung 13: 16 Messpunkte für das Reciproc-System

4.2 Methode

4.2.1 Durchführung der Messungen

Für ein korrektes und standardisiertes Vermessen der Instrumente und der Guttapercha wurde mit Hilfe eines Geodreiecks und eines Objektträgers eine Messvorrichtung konstruiert. Hierfür wurde ein gläserner Objektträger mit Sekundenkleber an der Längsseite des Geodreiecks befestigt. Zusätzlich wurde in der Mitte des Geodreiecks (an Millimeter Null) eine dünne Scheibe aus Plexiglas senkrecht zum Geodreieck auf dem Glasobjektträger aufgebracht (Abbildung 14), wodurch ein exaktes Anlegen der NiTi-Instrumente und Guttaperchastifte an eine reproduzierbare Stelle ermöglicht wurde. Für das Vermessen der NiTi-Instrumente wurde die Vorrichtung zusätzlich um eine kleine Plexiglasscheibe im Abstand von 2,5 mm zum Geodreieck ergänzt (Abbildung 14). Diese Konstruktion sorgte für eine rutschfeste Lage der Instrumente auf der Messvorrichtung (Abbildung 15).

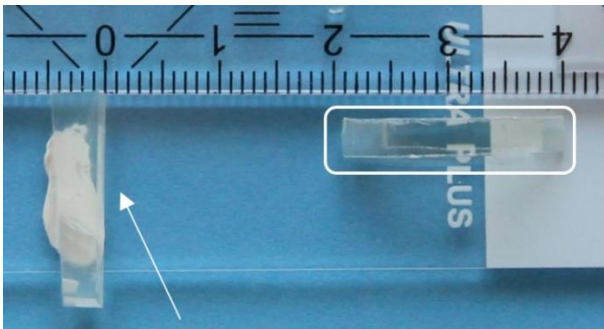


Abbildung 14: Messvorrichtung für NiTi-Instrumente

Der Pfeil kennzeichnet die senkrechte Plexiglasscheibe, die ein exaktes Anlegen der Instrumente ermöglichte. Das abgerundete Rechteck markiert die Plexiglasscheibe, die der Fixierung der NiTi-Instrumente während der Messvorgänge diente.

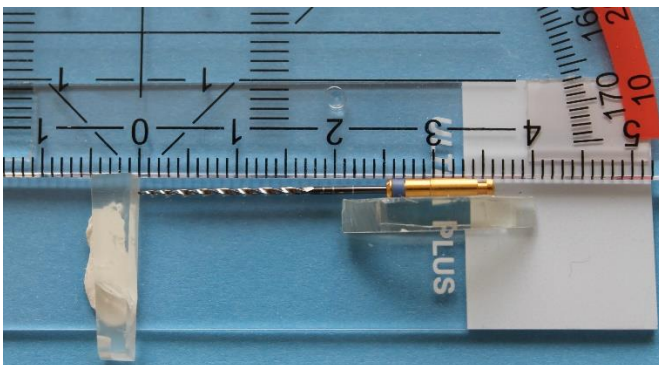


Abbildung 15: NiTi-Instrument in Messvorrichtung

Die Messvorrichtung für Guttaperchastifte wurde anstatt mit Plexiglas durch einen formbaren Stopp modifiziert (Abbildung 16), um sie an die verschiedenen Größen der Guttapercha anzupassen. Zusätzlich wurde zum Erhöhen der ersten fünf Millimeter des Guttaperchastiftes

von der Objektträgeroberfläche ein Plateau aus durchsichtigem fließfähigem Komposit aufgetragen und lichtgehärtet (Abbildung 16), um während der digitalen Fotografie eine Schattenbildung des Guttaperchastiftes zu reduzieren (Abbildung 17).

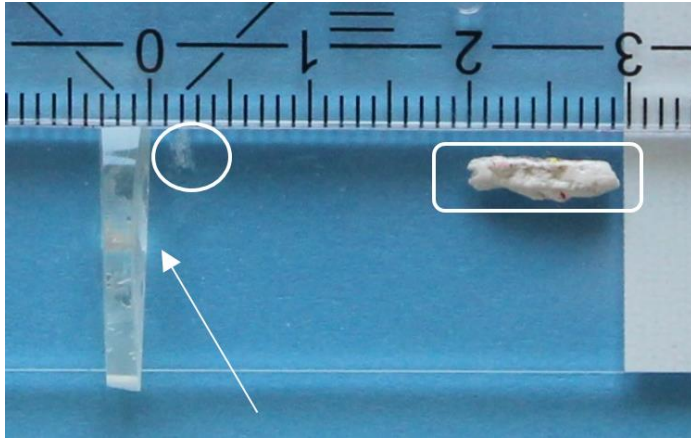


Abbildung 16: Messvorrichtung für Guttaperchastifte

Der Pfeil kennzeichnet die senkrechte Plexiglasscheibe, die ein exaktes Anlegen der Guttaperchastifte ermöglichte. Das abgerundete Rechteck markiert den formbaren Stopp zur Fixierung der Guttaperchastifte während der Messvorgänge. Das Plateau zum Erhöhen der Spitze des Guttaperchastiftes markiert der Kreis.

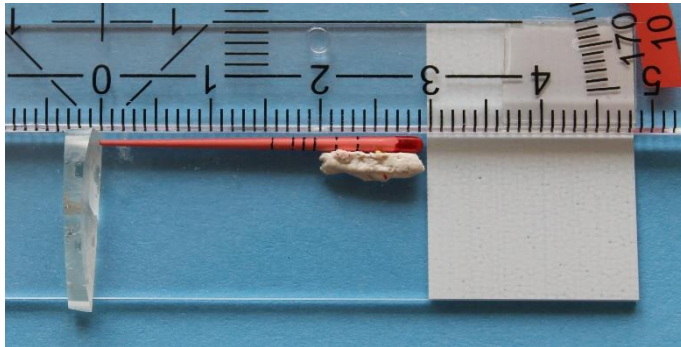


Abbildung 17: Guttaperchastift in Messvorrichtung

In den nun folgend beschriebenen Messungen wurden jeweils 20 Instrumente bzw. 20 Guttaperchastifte jeder erhältlichen Größe der drei vorgestellten Systeme vermessen.

Mit Hilfe der Vorversuche wurde der zu erwartende Messfehler bestimmt. Dafür wurde ein NiTi-Instrument unter dem Mikroskop vergrößert, fotografiert und anschließend zehnmal an den definierten Messpunkten D1, D3 und D16 vermessen. Die Messungen ergaben einen Standardfehler von $0,4 \mu\text{m}$.

Im darauffolgenden Arbeitsschritt wurden alle Instrumente und Guttaperchastifte der drei Systeme mit Hilfe der Messvorrichtung unter einem Mikroskop (Stemi SV11 Apo) in 32-facher Vergrößerung und mit einer Pixelgröße von $2,6 \mu\text{m}$ mit einer am Mikroskop angebrachten Digitalkamera (Diagnostic Instrument) und dem dazugehörigen Computerprogramm

(SPOT Basic Image) fotografiert.

Während der Vorversuche erfolgten verschiedene Aufnahmen der Instrumente und der Guttaperchastifte mit unterschiedlichen Lichtquellen und Fotohintergründen, um eine möglichst geringe Schattenbildung zu erzeugen. Am geeignetsten waren die Aufnahmen mit einer von unten ausgerichteten Lichtquelle und weit geöffneter Blende in Kombination mit einem externen Auflicht.

Anschließend wurden alle 20 Instrumente und Guttaperchastifte jeder verfügbaren Größe der einzelnen Systeme fotografiert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht über alle verfügbaren Größen der untersuchten Instrumente und der korrespondierenden Guttapercha

System	Größe der Instrumente	Größe der Guttapercha
OneShape	25/.06	25/.06
	30/.06*	30/.04
	37/.06*	35/.06
F360	25/.04	25/.04
	35/.04	35/.04
	45/.04	45/.04
	55/.04	55/.04
Reciproc	25	25
	40	40
	50	50
	mit regressiver Konizität	mit regressiver Konizität

* Konizität von 6% nur auf den ersten 5 mm der NiTi-Instrumente

Bei den Fotos der Instrumente wurde darauf geachtet, dass mindestens zwei Schneidekanten des Instrumentes sichtbar waren. Bei den Guttaperchastiften war dieser Aspekt irrelevant. Bei OneShape und F360 wurden zwei Fotografien angefertigt, wobei die erste die ersten 3 mm und die zweite, je nach Lage der Schneidekanten, den Abschnitt zwischen 13 und 17 mm abbildete. Für Reciproc wurden acht bis neun Fotos angefertigt und der gesamte Bereich zwischen 1 bis 16 mm erfasst. Nach jeder Aufnahme wurde das Foto auf eine ausreichende Qualität und eine korrekte Ausrichtung am Bildschirm überprüft.

4.2.2 Vermessung

Für die Bearbeitung und Vermessung der Feilen und der Guttaperchastifte anhand der digitalen Fotografien wurde die Software Axio Vision Zeiss Mikroskop-Software verwendet. Jede digitale Aufnahme wurde mit einer Zahlen- und Buchstabenkombination entsprechend der Nummerierung und Bezeichnung der Feile und der Guttapercha kodiert, um jederzeit eine Rückverfolgung der Abzüge mit den zu untersuchenden Objekten zu ermöglichen. Zu Referenzzwecken wurden die Aufnahmen für die Vermessung der Objekte mit einem Maßstabsbalken von 200 μm versehen. Diese Größenangabe wurde durch die Übertragung der Skalierung von speziell dafür gedachten Objektträgern in die Software Axio Vision ermöglicht (Abbildung 18).

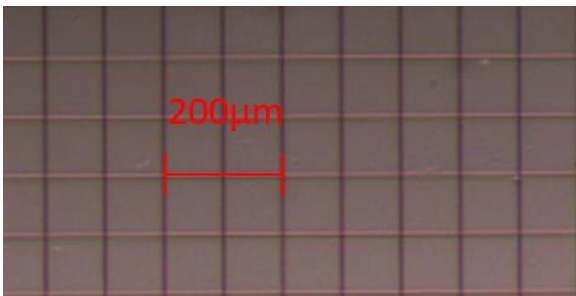


Abbildung 18: Objektträger zur Übertragung der Skalierung

Daraufhin erfolgte die Vermessung der Durchmesser von Instrumenten und Guttaperchastiften an den Messpunkten D1, D3, D16 sowie teilweise an D13 (OneShape, F360) bzw. D1 bis D16 (Reciproc). Dafür wurden bei den Feilen die auf dem Foto ersichtlichen Schneidekanten mit einer eingezeichneten Geraden an ihrer Ober- und Unterkante versehen (Abbildungen 19-22). Zusätzlich wurde am zu messenden Millimeter eine senkrechte Linie, ausgehend vom entsprechenden Millimeter des Geodreiecks, digital auf das Instrument übertragen (Abbildungen 19-22). Nun war es möglich, den Abstand zwischen oberer und unterer Geraden auf der senkrechten Linie und somit den Durchmesser des Instruments zu bestimmen (Abbildungen 19-22).

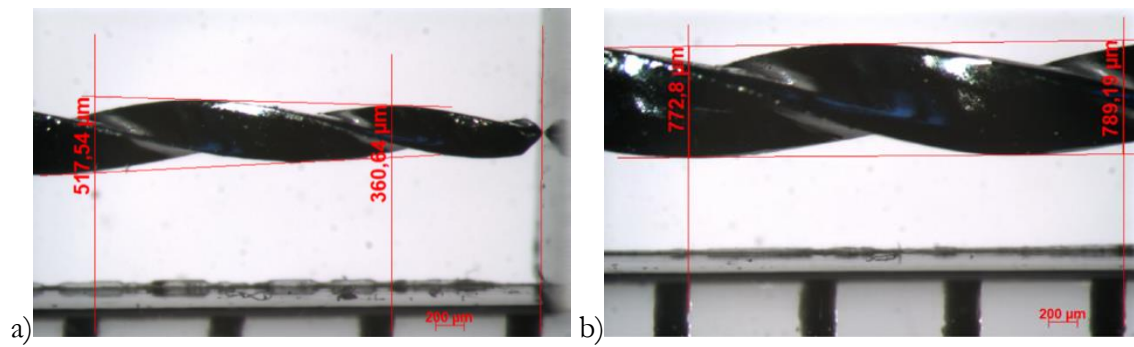


Abbildung 19: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision
Durchmesser an D1, D3 (a) und an D13, D16 (b) am Beispiel eines OneShape-Instruments 30/.06

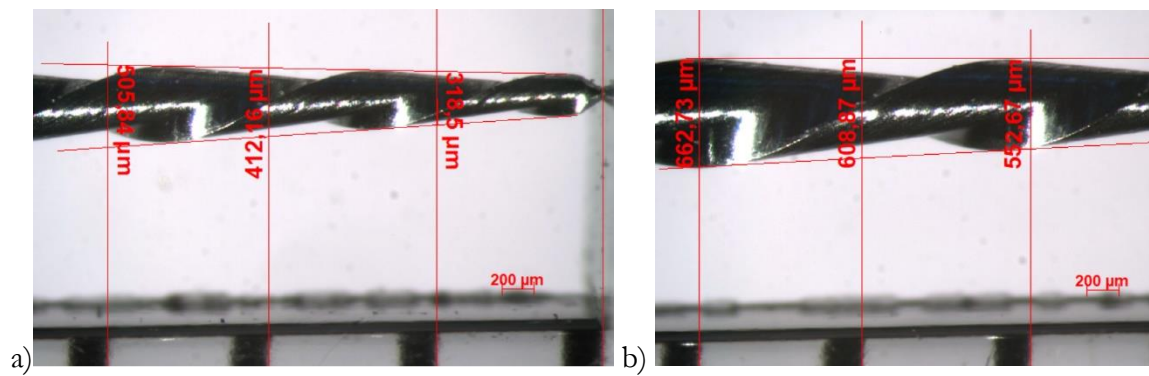


Abbildung 20: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision
Durchmesser an D1-D3 (a) und D4-D6 (b) am Beispiel eines Reciproc-Instruments der Größe 25

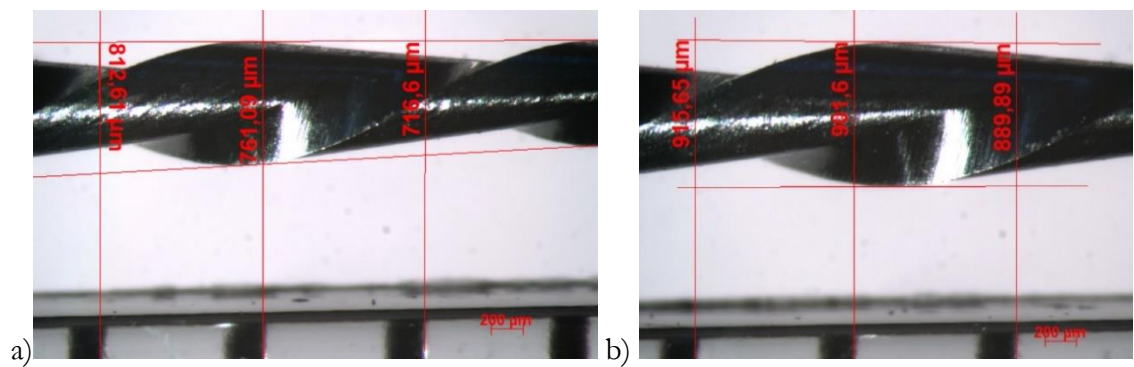


Abbildung 21: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision
Durchmesser an D7-D9 (a) und D10-12 (b) am Beispiel eines Reciproc-Instruments der Größe 25

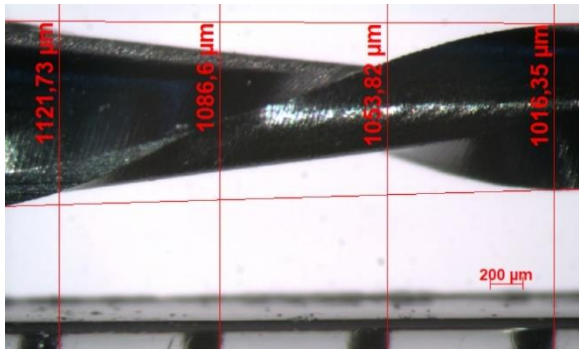


Abbildung 22: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision
Durchmesser an D13-D16 am Beispiel eines Reciproc-Instruments der Größe 25

Für die Berechnung des Durchmessers der Guttaperchastifte war lediglich die senkrechte Linie ausgehend vom Geodreieck am entsprechenden Millimeter nötig (Abbildungen 23-26). Zur Erfassung des Durchmessers wurde der Abstand zwischen Ober- und Unterkante der Guttapercha auf der eingezeichneten senkrechten Linie digital gemessen (Abbildungen 23-26).

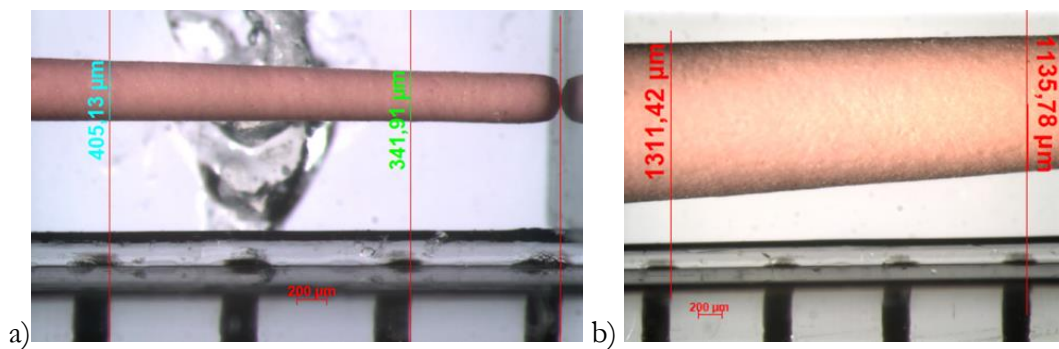


Abbildung 23: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision
Durchmesser an D1 und D3 (a) und D13 und D16 (b) am Beispiel eines OneShape-Guttaperchastiftes 30/.04

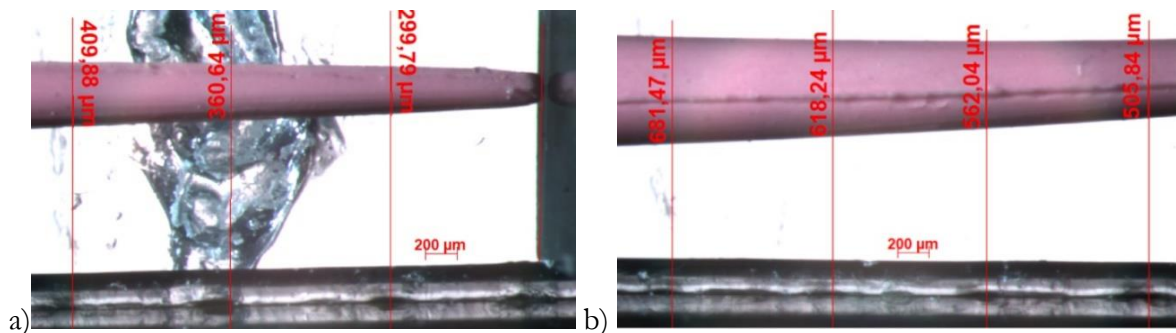


Abbildung 24: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision
Durchmesser an D1-D3 (a) und an D4-D7 (b) am Beispiel eines Reciproc-Guttaperchastiftes der Größe 25

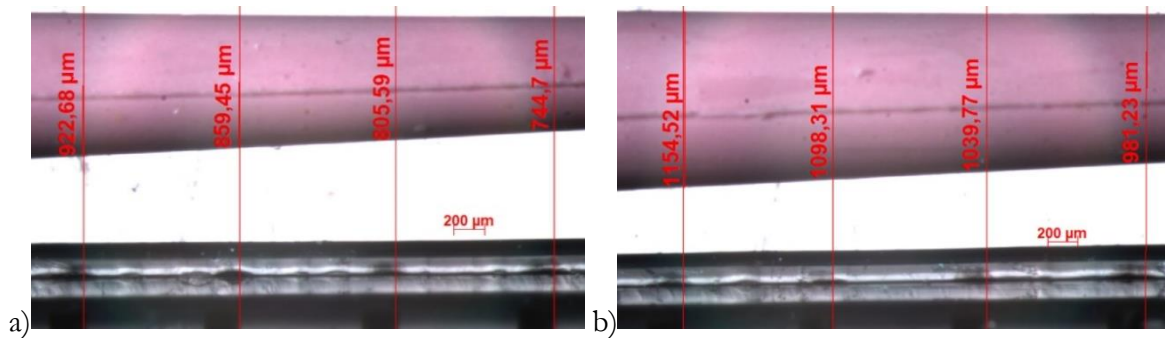


Abbildung 25: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision
Durchmesser an D8-D11 (a) und an D9-12 (b) am Beispiel eines Reciproc-Guttaperchastiftes der Größe 25

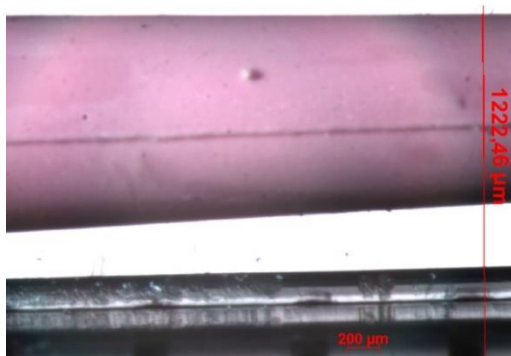


Abbildung 26: Screenshot aus Vermessungssoftware Axio Vision
Durchmesser an D16 am Beispiel eines Reciproc-Guttaperchastiftes der Größe 25

Die Konizität wurde mit folgender Formel für den Messpunkt D3 bei OneShape 25/.06 und F360 sowie an D1 und D13 für OneShape 30/.06 bzw. 30/.04 und 35/.06 bzw. 37/.06 und an jedem Messpunkt für Reciproc berechnet (Lask et al. 2006; Hatch et al. 2008).

$$K = \frac{D_x [\mu\text{m}] - D_y [\mu\text{m}]}{L [\mu\text{m}]}$$

K = Konizität
D_x = Durchmesser an Messpunkt x
D_y = Durchmesser an Messpunkt y
L = Länge zwischen beiden Messpunkten x und y

Für die Untersuchungen stellten die jeweiligen Hersteller Größenangaben für die Instrumente und die Guttaperchastifte zur Verfügung, um die Soll-Werte mit den in der vorliegenden Arbeit ermittelten Ist-Werten zu vergleichen. Der Durchmesser lässt sich aus der vom Hersteller angegebenen Größe der Instrumentenspitze und der Konizität berechnen, da die Konizität einer Zunahme des Durchmessers pro Millimeter um seine angegebene Größe entspricht. Da die OneShape-Instrumente und Guttaperchastifte mit den Größen 30, 35 bzw. 37 eine Konizität von 6% bzw. 4% aufweisen, nimmt der Durchmesser pro Millimeter ausgehend von der Instrumentenspitze jeweils um 60 µm bzw. 40 µm zu. Bei den OneShape-Instrumenten der Größen 30 und 37 erfolgt ab dem fünften Millimeter keine Zunahme des Durchmessers (Ko-

nizität 0%), d. h. ab diesem Punkt sind die Instrumente parallel (Tabelle 2). Die korrespondierenden Guttaperchastifte der Größen 30/.04 und 35/.06 besitzen hingegen eine durchgehende Konizität von 4% bzw. 6%; das bedeutet, dass die Guttaperchastifte ab den Messpunkte D8 (30/.04) bzw. D6 (35/.06) nach den Herstellerangaben größer als die dazugehörigen NiTi-Instrumente sind.

Tabelle 2: Soll-Werte des OneShape-Systems nach Herstellerangaben für Instrumente (F) und Guttaperchastifte (GP)

Größe		Messpunkt	Durchmesser (μm)		Konizität (%)	
F	GP		F	GP	F	GP
25	25	D1	310	310	6	6
		D3	430	430	6	6
		D16	1210	1210	6	6
30	30	D1	360	340	6	4
		D3	480	420	6	4
		D13	600	820	0	4
		D16	600	940	0	4
37	35	D1	430	410	6	6
		D3	550	530	6	6
		D13	670	1130	0	6
		D16	670	1310	0	6

Alle F360-Instrumente und Guttaperchastifte verfügen über eine konstante Konizität von 4%, sodass der Durchmesser pro Millimeter bis zum Ende des Arbeitsteils um $40 \mu\text{m}$ ansteigt (Tabelle 3). Die jeweiligen Konizitäten wurden den Produktbeschreibungen der Hersteller entnommen (Komet Dental o. J.).

Tabelle 3: Soll-Werte des F360-Systems nach Herstellerangaben für Instrumente und Guttaperchastifte

Größe	Messpunkt	Durchmesser (μm)	Konizität (%)
25	D1	290	4
	D3	370	4
	D16	890	4
35	D1	390	4
	D3	470	4
	D16	990	4
45	D1	490	4
	D3	570	4
	D16	1090	4
55	D1	590	4
	D3	670	4
	D16	1190	4

Die Soll-Werte des Reciproc-Systems wurden von der Firma VDW zur internen Nutzung im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung gestellt und dürfen – mit Ausnahme der Werte an D1, D3 und D16 – nicht veröffentlicht werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Soll-Werte des Reciproc-Systems nach Herstellerangaben für Instrumente und Guttaperchastifte

Größe	Messpunkt	Durchmesser (μm)	Konizität (%)
25	D1	330	8
	D3	490	8
	D16	1050	3
40	D1	460	6
	D3	580	6
	D16	1100	4
50	D1	550	5
	D3	650	5
	D16	1170	4

Anschließend wurden die Ist-Werte der Durchmesser und die daraus berechnete Konizität der Instrumente und Guttaperchastifte mit den Soll-Werten nach Herstellerangaben verglichen. Dafür wurde die Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert ermittelt, wobei diese der Abweichung vom Soll-Wert entspricht. Im Anschluss erfolgt die statistische Auswertung der zuvor ermittelten Abweichungen.

4.2.3 Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen wurden mit der Software STATISTICA Version 13.0 durchgeführt und erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Statistik der Universitätsmedizin Göttingen.

Für die Auswertung der Versuchsparameter wurden folgende Tests verwendet:

Vergleich einer empirischen Häufigkeitsverteilung mit einer theoretischen Verteilung:

- Quantil-Quantil-Test zur grafischen Inspektion auf Normalverteilung vor der Durchführung eines parametrischen Testverfahrens.

Die Auswertung ergab eine Normalverteilung der Daten.

Die Ermittlung grundlegend signifikanter Unterschiede erfolgte durch eine einfaktorielle ANOVA.

Signifikante Unterschiede des Ist-Durchmessers zwischen Instrumenten und korrespondierender Guttapercha:

- Innerhalb eines Systems an den verschiedenen Messpunkten: Scheffé-Test.

Signifikante Unterschiede der Ist-Konizität zwischen NiTi-Instrumenten und korrespondierender Guttapercha:

- Innerhalb eines Systems: t-Test für unabhängige Stichproben.

Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Somit liegt die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit bei 5%. Ergebnisse wurden als signifikant betrachtet, wenn der p-Wert kleiner oder gleich dem Signifikanzniveau war.

Der Quantil-Quantil-Test zeigte in allen Gruppen eine Normalverteilung der Ergebnisse. Der Vergleich innerhalb eines Systems (Instrumente und Guttapercha einer Größe) in Bezug auf die Abweichung vom Ist-Durchmesser wurde mit einer Varianzanalyse (einfaktorielle ANOVA) durchgeführt. Das Ergebnis dieser Analyse gab lediglich darüber Auskunft, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Instrumenten und den Guttaperchastiften vorlag, jedoch nicht, worin dieser bestand oder an welchen Messpunkten dieser auftrat. Beim Vorliegen eines signifikanten Unterschieds zwischen den Instrumenten und der Guttapercha wurde ein Post-Hoc-Test durchgeführt, um die einzelnen Gruppen gegeneinander zu testen. Hierfür wurde der Scheffé-Test als statistisches Verfahren verwendet.

Die Auswertung der Abweichungen von der Ist-Konizität wurden mittels t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt.

5 Ergebnisse

Bei den erhobenen Daten wurde jeweils die Abweichung des Ist-Wertes vom Soll-Wert betrachtet, wobei die schwarze Linie an Punkt 0 der y-Achse die Soll-Werte gemäß Herstellerangaben darstellt. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurden von allen Instrumenten und Guttaperchastiften in Bezug auf den Durchmesser nur die Messpunkte D1, D3 und D16 und bei der Konizität nur Messpunkt D3 grafisch dargestellt. Eine Übersicht aller Messwerte des Reciproc-Systems ist im Anhang zu finden (Kapitel 8). Des Weiteren werden nachfolgende Vergleiche vorgenommen:

- Vergleich der Instrumente und Guttaperchastifte mit der ISO-Norm 3630 / 6877 und ANSI-/ADA-Spezifikation Nr. 101.
- Überprüfung der Formkongruenz von Instrument und Guttapercha sowie Vergleich mit Soll-Wert nach Herstellerangaben.

5.1 OneShape-System

OneShape 25/.06

Herstellungsgenauigkeit

Am Messpunkt D1 lagen die meisten NiTi-Instrumente innerhalb des Toleranzbereichs (Abbildung 27). An D3 waren alle OneShape 25/.06-Instrumente kleiner als die laut ISO-Norm erlaubte Abweichung von 20 μm und bei D16 lag ebenfalls die Mehrheit der untersuchten Instrumente unterhalb des Toleranzbereichs (Abbildung 27).

Die Präzision der Guttaperchastifte war im Vergleich zu den Instrumenten größer, da die Stifte an D1 und D3 innerhalb des Toleranzbereichs lagen. Lediglich an D16 war die Guttapercha teilweise kleiner als der zulässige Toleranzwert (Abbildung 27).

Hinsichtlich der Konizität lagen alle NiTi-Instrumente und Guttaperchastifte innerhalb des Toleranzbereichs (Abbildung 28).

Formkongruenz

Am Messpunkt D1 waren die OneShape 25/.06-Instrumente signifikant größer als die korrespondierenden Guttaperchastifte ($p = 0,041$) (Tabelle 5). An den beiden übrigen Messpunkten D3 und D16 lag kein signifikanter Unterschied zwischen Instrumenten und Guttapercha vor ($p = 0,057$; $p = 0,982$) (Tabelle 5).

Der Vergleich der Konizität zwischen NiTi-Instrumenten und Guttapercha wies ebenfalls keine signifikanten Unterschiede auf ($p = 0,159$) (Tabelle 6).

OneShape 30/.06 bzw. 30/.04

Herstellungsgenauigkeit

Die OneShape 30/.06-Instrumente lagen an den Messpunkten D1 und D3 größtenteils innerhalb des Toleranzbereichs, während an D16 alle vermessenen Instrumente ungefähr 180 μm größer als der von der ISO-Norm vorgegebene Toleranzbereich von $\pm 20 \mu\text{m}$ waren (Abbildung 27).

Der Durchmesser aller vermessenen Guttaperchastifte (30/.04) lag an allen drei Messpunkten innerhalb des Toleranzbereichs von $\pm 70 \mu\text{m}$ (Abbildung 27).

Sowohl Instrumente als auch Guttaperchastifte lagen in Bezug auf die Konizität im Toleranzbereich von $\pm 50 \mu\text{m}$ (Abbildung 28).

Formkongruenz

Nur an D16 zeigten die NiTi-Instrumente einen signifikant kleineren Durchmesser als die dazugehörigen Guttaperchastifte ($p < 0,001$) (Tabelle 5). Am Messpunkt D3 lag ein signifikanter Unterschied im Durchmesser von Instrumenten und Guttapercha vor ($p < 0,001$) (Tabelle 5), da die NiTi-Instrumente eine höhere Konizität (6%) im Vergleich zu den Guttaperchastiften (4%) aufweisen. So besitzen die untersuchten NiTi-Instrumente und die korrespondierenden Guttaperchastifte bereits herstellerbedingt unterschiedliche Konizitäten. Die NiTi-Instrumente besitzen nur bis zum Millimeter 5 eine Konizität von 6%, auf den restlichen 11 mm verläuft das Instrument parallel. Die dazugehörigen Guttaperchastifte besitzen hingegen eine konstante Konizität von 4%. So ergeben sich unterschiedliche Soll-Werte von Instrumenten und Guttaperchastiften (Tabelle 2). Obwohl alle Instrumente und Guttaperchastifte im Toleranzbereich lagen, gab es auch bezüglich der Konizität signifikante Unterschiede. An Messpunkt D1 waren die Instrumente signifikant größer als die Guttaperchastifte ($p < 0,001$) (Tabelle 6). An D13 hingegen waren die Konizitäten der NiTi-Instrumente signifikant kleiner als die der Guttapercha ($p < 0,001$) (Tabelle 6).

OneShape 37/.06 bzw. 35/.06

Herstellungsgenauigkeit

Die 37/.06-Instrumente lagen an den Messpunkten D1 und D3 jeweils nur zu etwa 50% innerhalb der Toleranzgrenzen. Die übrigen 50% der Messwerte befanden sich unterhalb des erlaubten Grenzwertes von $-20 \mu\text{m}$ (Abbildung 27). An D16 lagen alle Instrumente oberhalb des Toleranzbereichs (Abbildung 27).

Die Guttaperchastifte lagen bis auf wenige Ausreißer innerhalb des Toleranzbereichs von $\pm 70 \mu\text{m}$ (Abbildung 27).

Hinsichtlich der Konizität stimmten alle NiTi-Instrumente und Guttaperchastifte an D1 und D13 mit der ANSI-/ADA-Spezifikation überein (Abbildung 28).

Formkongruenz

Am Messpunkt D16 waren alle untersuchten NiTi-Instrumente mit durchschnittlich 520 μm signifikant kleiner als die korrespondierenden Guttaperchastifte ($p < 0,001$) (Tabelle 5). An den übrigen Messpunkten ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Instrument und Guttapercha feststellen (Tabelle 5).

Zwischen den Instrumenten und Guttaperchastiften bestanden bezüglich der Konizität an D1 und D13 keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 6). Herstellerbedingt besitzen die Guttaperchastifte und die NiTi-Instrumente aber eine unterschiedliche Konizität an Messpunkt D13. Da die Instrumente ab 5 mm parallel verlaufen, liegt eine Konizität von 0% vor. Die Guttapercha besitzt hingegen eine kontinuierliche Konizität von 6%. Das bedeutet, dass trotz statistisch fehlender Unterschiede die Guttaperchastifte an D13 schon deutlich größer und an D16 fast doppelt so dick wie die NiTi-Instrumente waren.

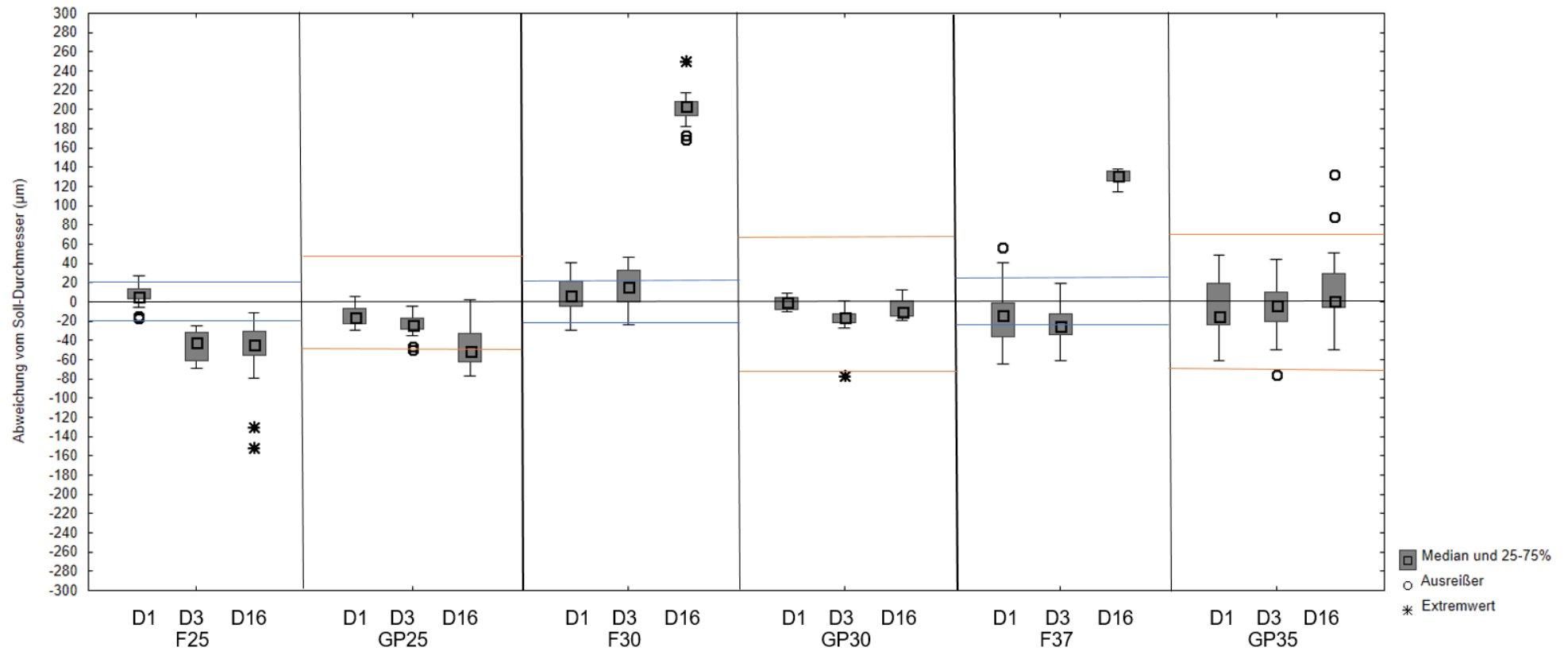


Abbildung 27: Box-Plot-Diagramm der Abweichung vom Soll-Durchmesser des OneShape-Systems

Die schwarze Linie veranschaulicht die Soll-Werte gemäß der Herstellerangabe. Der Toleranzbereich nach ISO-Norm liegt für NiTi-Instrumente bei $\pm 20 \mu\text{m}$ (blaue Linien). Für Guttapercha liegt der Toleranzbereich in Abhängigkeit von der ISO-Größe bei $\pm 50 \mu\text{m}$ bzw. $\pm 70 \mu\text{m}$ (orangefarbene Linien)

F: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

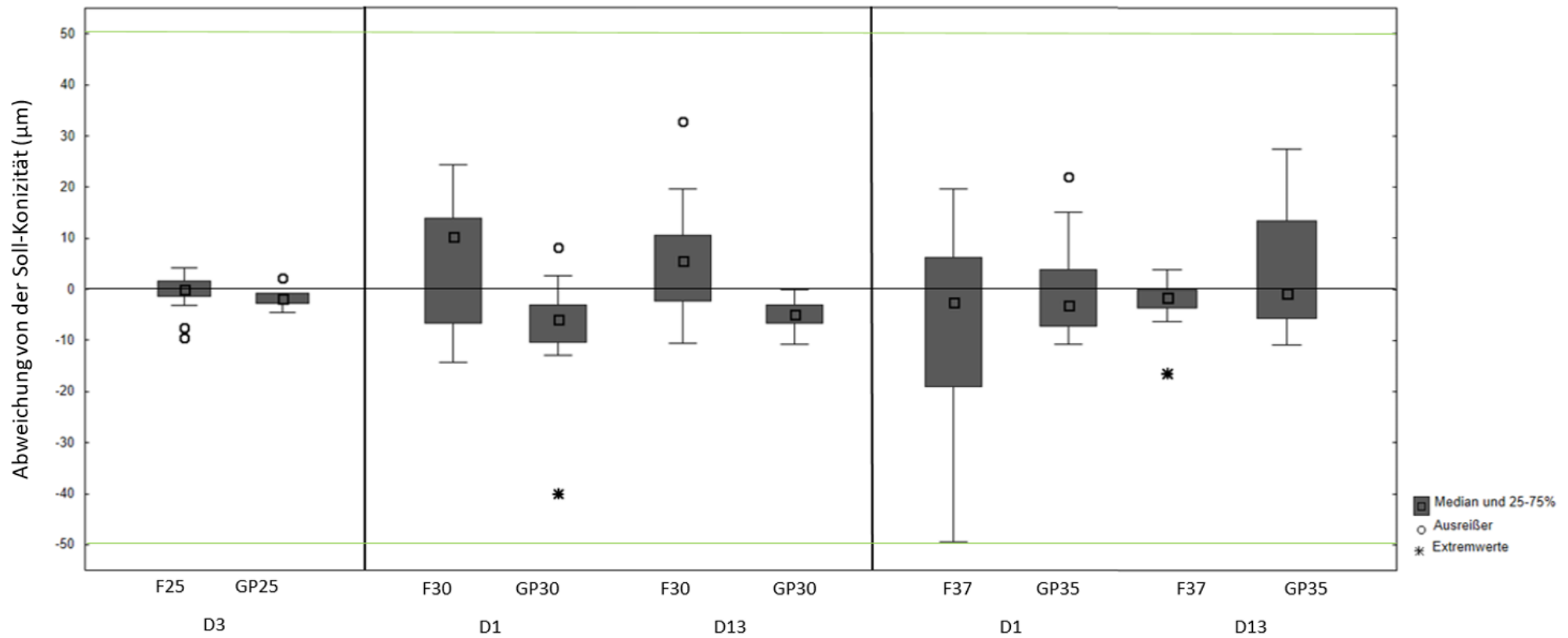


Abbildung 28: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität an D1, D3 und D13 des OneShape-Systems
 Soll-Werte nach Herstellerangaben (schwarze Linie), Toleranzbereich $\pm 50 \mu\text{m}$ gemäß ANSI-/ADA-Standard (grüne Linien)
 F: NiTi-Instrumente
 GP: Guttapercha

Tabelle 5: Statistische Auswertung der Messwerte für den Durchmesser von Instrumenten und Guttaperchastiften des OneShape-Systems

Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation
25	D1	0,041	Instrumente > GP
	D3	0,057	
	D16	0,982	
30	D1	0,805	
	D3	<0,001	Instrumente > GP
	D16	<0,001	Instrumente < GP
35/37	D1	0,975	
	D3	0,671	
	D16	<0,001	Instrumente < GP

GP: Guttapercha

In der Spalte „Interpretation“ sind in Rot die klinisch relevanten Ergebnisse dargestellt, bei der die NiTi-Instrumente einen kleineren Durchmesser als die korrespondierenden Guttaperchastifte aufweisen.

Tabelle 6: Statistische Auswertung der Messwerte für die Konizität von Instrumenten und Guttaperchastiften des OneShape-Systems

Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation
25	D3	0,159	
30	D1	<0,001	Instrumente > GP
	D13	<0,001	Instrumente < GP
35/37	D1	0,356	
	D13	0,066	

GP: Guttapercha

In der Spalte „Interpretation“ sind in Rot die klinisch relevanten Ergebnisse dargestellt, bei der die NiTi-Instrumente eine kleinere Konizität als die korrespondierenden Guttaperchastifte aufweisen.

5.2 F360-System

Größe 25/.04

Herstellungsgenauigkeit

Ein Überschreiten des Grenzwertes von $\pm 20 \mu\text{m}$ ließ sich nur am Messpunkt D16 der NiTi-Instrumente 25/.04 feststellen (Abbildung 29). Die Guttaperchastifte lagen an jedem der drei Messpunkte im ISO-Normbereich von $\pm 50 \mu\text{m}$ (Abbildung 29).

Die Konizitäten der Instrumente und Guttaperchastifte erfüllten die ANSI-/ADA-Spezifikation Nr. 101 ebenfalls vollständig (Abbildung 30).

Formkongruenz

An den Messpunkten D1 und D16 waren die NiTi-Instrumente signifikant größer als die Guttaperchastifte ($p = 0,036$; $p < 0,001$) (Tabelle 7).

Die Konizität der NiTi-Instrumente war signifikant größer als die der korrespondierenden Guttaperchastifte ($p = 0,009$) (Tabelle 8).

Größe 35/.04

Herstellungsgenauigkeit

Beinahe die Hälfte der NiTi-Instrumente war an Messpunkt D1 größer als der ISO-Grenzwert (Abbildung 29). An D3 und an D16 lagen nur einzelne Instrumente außerhalb der Grenzbereiche. Bei den Guttaperchastiften wurde der Toleranzbereich hingegen nur an D16 geringfügig unterschritten (Abbildung 29).

Sowohl für Instrumente als auch für Guttaperchastifte lagen die Konizitäten vollständig in den erlaubten Grenzbereichen von $\pm 50 \mu\text{m}$ (Abbildung 30).

Formkongruenz

Die NiTi-Instrumente der Größe 35/.04 waren an allen drei Messpunkten im Durchmesser signifikant größer als die entsprechenden Guttaperchastifte ($p < 0,001$) (Tabelle 7).

Die Konizitäten der Instrumente und der Guttapercha waren nahezu identisch ($p = 0,989$) (Tabelle 8).

Größe 45/.04

Herstellungsgenauigkeit

Ein Großteil der NiTi-Instrumente 45/.04 lag an allen drei Messpunkten innerhalb der erlaubten Abweichung von $\pm 20 \mu\text{m}$, wobei die Abweichung von der ISO-Norm an D1 am größten war (Abbildung 29). Die Guttaperchastifte erfüllten an allen Messpunkten die ISO-Norm (Abbildung 29).

In Bezug auf die Konizität lagen alle Instrumente und Guttaperchastifte im Toleranzbereich von $\pm 50 \mu\text{m}$ (Abbildung 30).

Formkongruenz

Der Durchmesser der NiTi-Instrumente an Messpunkt D1 und D3 war signifikant größer als bei den vermessenen Guttaperchastiften ($p < 0,001$; $p = 0,024$) (Tabelle 7). An D16 war kein Unterschied zwischen den Instrumenten und der Guttapercha erkennbar ($p = 0,999$) (Tabelle 7).

Die Instrumente besaßen eine signifikant geringere Konizität als die Guttaperchastifte ($p = 0,015$) (Tabelle 8).

Größe 55/.04Herstellungsgenauigkeit

Nahezu alle Instrumente lagen an Messpunkt D16 unterhalb des Toleranzbereichs von $\pm 20 \mu\text{m}$ (Abbildung 29). Der Durchmesser der Guttaperchastifte lag an zwei von drei Messpunkten innerhalb der ISO-Norm. Am Messpunkt D16 waren einige Guttaperchastifte kleiner als die Norm (Abbildung 29).

Die Konizität der Instrumente und der Guttaperchastifte entsprach den Norm-Werten (Abbildung 30).

Formkongruenz

An den Messpunkten D1 und D3 waren die Durchmesser der NiTi-Instrumente signifikant größer als die der Guttaperchastifte ($p = <0,001$; $p = <0,001$) (Tabelle 7).

Die Instrumente besaßen eine signifikant kleinere Konizität als die dazugehörigen Guttaperchastifte ($p < 0,001$) (Tabelle 8).

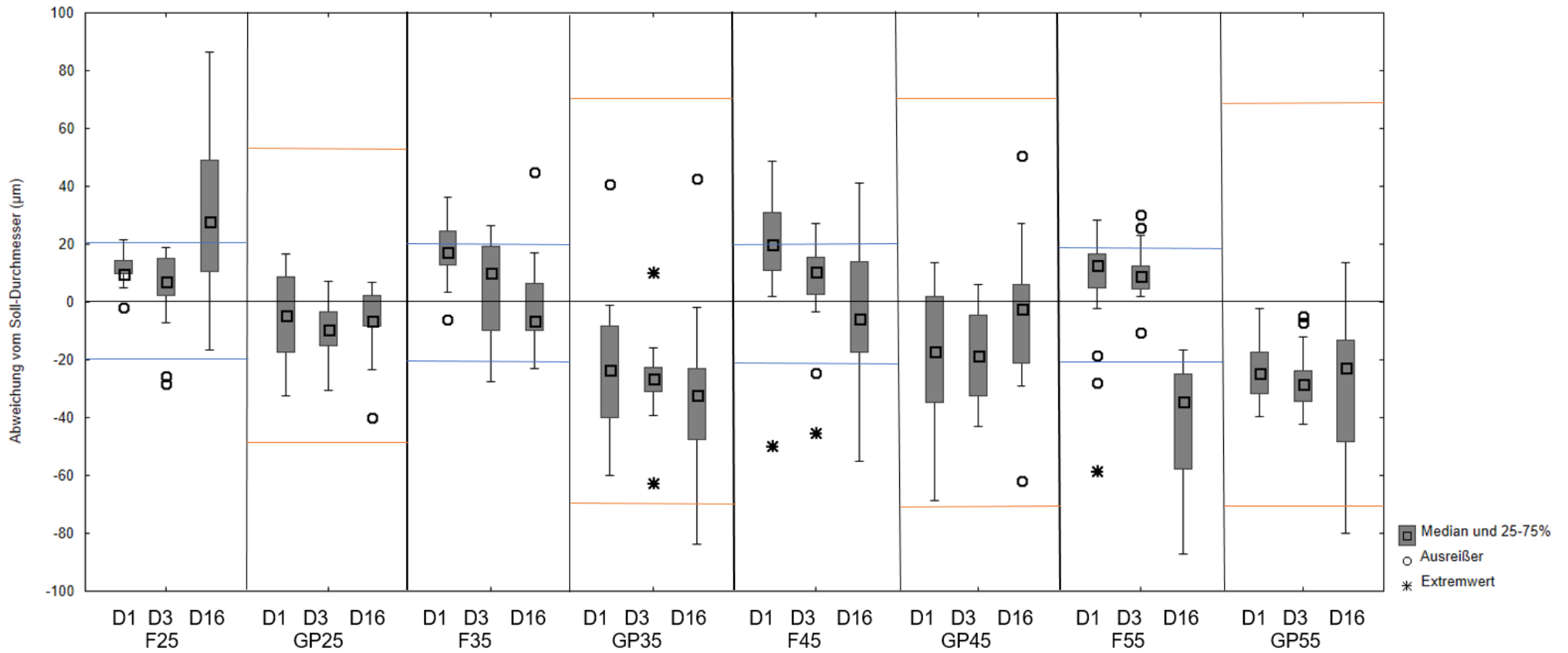


Abbildung 29: Box-Plot-Diagramm der Abweichung vom Soll-Durchmesser des F360-Systems

Die schwarze Linie veranschaulicht die Soll-Werte gemäß der Herstellerangabe. Der Toleranzbereich nach ISO-Norm liegt für NiTi-Instrumente bei $\pm 20 \mu\text{m}$ (blaue Linien). Für Guttapercha liegt der Toleranzbereich in Abhängigkeit von der ISO-Größe bei $\pm 50 \mu\text{m}$ bzw. $\pm 70 \mu\text{m}$ (orangefarbene Linien).

F: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

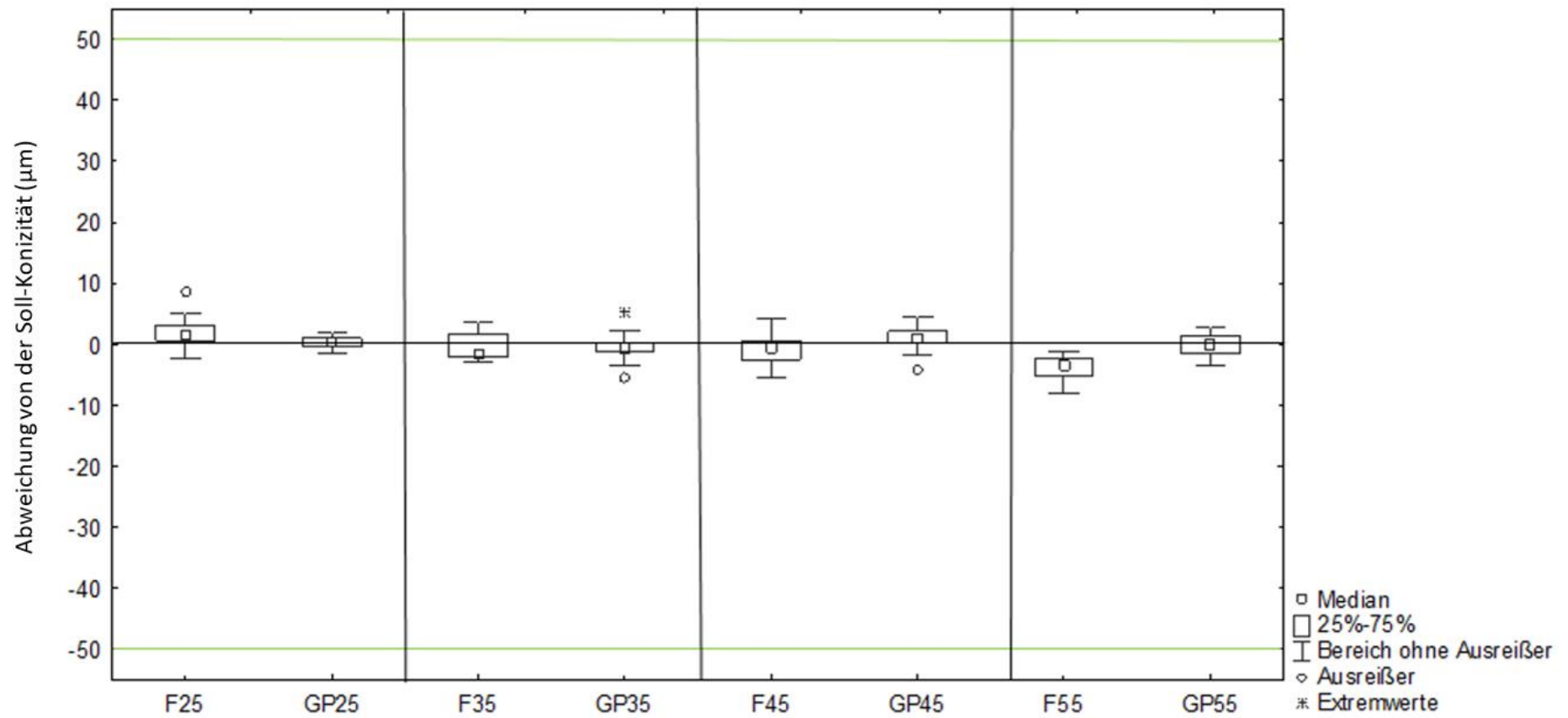


Abbildung 30: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität an D3 des F360-Systems
Soll-Werte nach Herstellerangaben (schwarze Linie), Toleranzbereich $\pm 50 \mu\text{m}$ gemäß ANSI-/ADA-Standard (grüne Linien)
F: NiTi-Instrumente
GP: Guttapercha

Tabelle 7: Statistische Auswertung der Messwerte für den Durchmesser von Instrumenten und Guttaperchastiften des F360-Systems

Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation
25	D1	0,036	Instrumente > GP
	D3	0,081	
	D16	<0,001	Instrumente > GP
35	D1	<0,001	Instrumente > GP
	D3	<0,001	Instrumente > GP
	D16	<0,001	Instrumente > GP
45	D1	<0,001	Instrumente > GP
	D3	0,024	Instrumente > GP
	D16	0,999	
55	D1	<0,001	Instrumente > GP
	D3	<0,001	Instrumente > GP
	D16	0,504	

GP: Guttapercha

Tabelle 8: Statistische Auswertung der Messwerte für die Konizität von Instrumenten und Guttaperchastiften des F360-Systems

Größe	p-Wert	Interpretation
25	0,009	Instrumente > GP
35	0,989	
45	0,015	Instrumente < GP
55	<0,001	Instrumente < GP

GP: Guttapercha

In der Spalte „Interpretation“ sind in Rot die klinisch relevanten Ergebnisse dargestellt, bei der die NiTi-Instrumente eine kleinere Konizität als die korrespondierenden Guttaperchastifte aufweisen.

5.3 Reciproc-System

Größe 25

Herstellungsgenauigkeit

Die Reciproc-Instrumente lagen bis auf wenige Ausnahmen bis zum Messpunkt D11 innerhalb der erlaubten Abweichung von $\pm 20 \mu\text{m}$. An D12 waren ungefähr die Hälfte der Instrumente größer, ab D13 bis D16 teilweise über Zweidrittel der Instrumente (Abbildungen 31 und 33).

Bei der Guttapercha wurde die ISO-Norm nur an den Messpunkten D1 sowie D9 bis D11 vollständig eingehalten (Abbildungen 31 und 33). An den übrigen Messpunkten befand sich der Großteil der Guttaperchastifte außerhalb des Toleranzbereichs. An D2 bis D8 waren die Stifte kleiner und ab D12 größer als die Herstellerangaben deklarieren (Abbildung 33).

In Bezug auf die Konizität lagen nur vereinzelte Instrumente und Guttaperchastifte außerhalb des ANSI-/ADA-Grenzwerts (Abbildungen 32 und 34).

Formkongruenz

Zwischen den Instrumenten und Guttaperchastiften lagen an den Messpunkten D3 ($p = 0,006$) sowie an D14 bis D16 signifikante Unterschiede des Durchmessers vor ($p < 0,001$) (Tabelle 9). An D3 waren die Instrumente signifikant größer als die Guttapercha, an den übrigen Messpunkten D14, D15 und D16 signifikant kleiner (Tabelle 9).

In Bezug auf die Konizität waren an D1 und D2 ($p < 0,001$) (Tabelle 10) die Instrumente größer als die Guttaperchastifte, ab D7 bis D12 und an D14 war hingegen die Konizität der Guttaperchastifte stärker als die der Instrumente (Tabelle 10 und Abbildung 34).

Größe 40

Herstellungsgenauigkeit

Die Instrumente der Größe 40 befanden sich an den meisten Messpunkten außerhalb von $\pm 20 \mu\text{m}$, über die Hälfte lag dabei an D5 bis D7 oberhalb und an D13 bis D16 unterhalb des Toleranzbereichs (Abbildungen 31 und 35).

Die korrespondierenden Guttaperchastifte lagen an D1 und D2 vollständig und an den übrigen Messpunkten größtenteils innerhalb der ISO-Grenzen von $\pm 70 \mu\text{m}$ (Abbildungen 31 und 35).

Die Konizität lag bei den Guttaperchastiften an allen Messpunkten und bei den Instrumenten bis auf einzelne Ausreißer innerhalb des Toleranzbereichs (Abbildungen 32 und 36).

Formkongruenz

An den Messstellen von D2 bis D11 (Tabelle 9) lag ein signifikant größerer Durchmesser der Instrumente gegenüber den Guttaperchastiften vor ($p < 0,003$).

An D1, D2 ($p < 0,001$), D5 ($p < 0,001$) und D 14 ($p = 0,017$) (Tabelle 10) besaßen die Instrumente eine signifikant geringere Konizität als die Guttaperchastifte (Tabelle 10). Im Abschnitt D6 bis D13 (Tabelle 10) waren die Instrumente signifikant konischer als die Guttaperchastifte ($p < 0,021$) (Tabelle 10).

Größe 50

Herstellungsgenauigkeit

Bis zum Messpunkt D11 lagen die meisten Instrumente innerhalb der ISO-Norm. Ungefähr 50% der Instrumente wichen an D1, D5, D6, D7 und D12 vom Normwert $\pm 20 \mu\text{m}$ ab. An den übrigen Messstellen D13 bis D16 waren die Instrumente deutlich kleiner als die erlaubte Abweichung (Abbildungen 31 und 37).

Der Durchmesser der Guttaperchastifte lag, abgesehen von wenigen Ausreißern, an allen Messpunkten innerhalb des Grenzwertes von $\pm 70 \mu\text{m}$ (Abbildungen 32 und 37).

In Bezug auf die Konizität lagen alle NiTi-Instrumente im Toleranzbereich (Abbildung 32). Bei den Guttaperchastiften lag die Mehrheit ebenfalls innerhalb der Grenzwerte, wobei die größte Abweichung an D16 vorlag (Abbildungen 32 und 38).

Formkongruenz

Die Instrumente besaßen an den Messpunkten D1 sowie D14 bis D16 einen signifikant kleineren Durchmesser ($p < 0,009$) als die korrespondierenden Guttaperchastifte (Tabelle 9 und Abbildung 37).

An D1, D2 und D4 wiesen die Instrumente eine signifikant geringere Konizität ($p < 0,001$) als die Guttapercha auf (Tabelle 10). An den Messpunkten D7, D9 bis D14 war die Konizität der Instrumente hingegen signifikant ausgeprägter als die der Guttaperchastifte ($p < 0,001$) (Tabelle 10 und Abbildung 38).

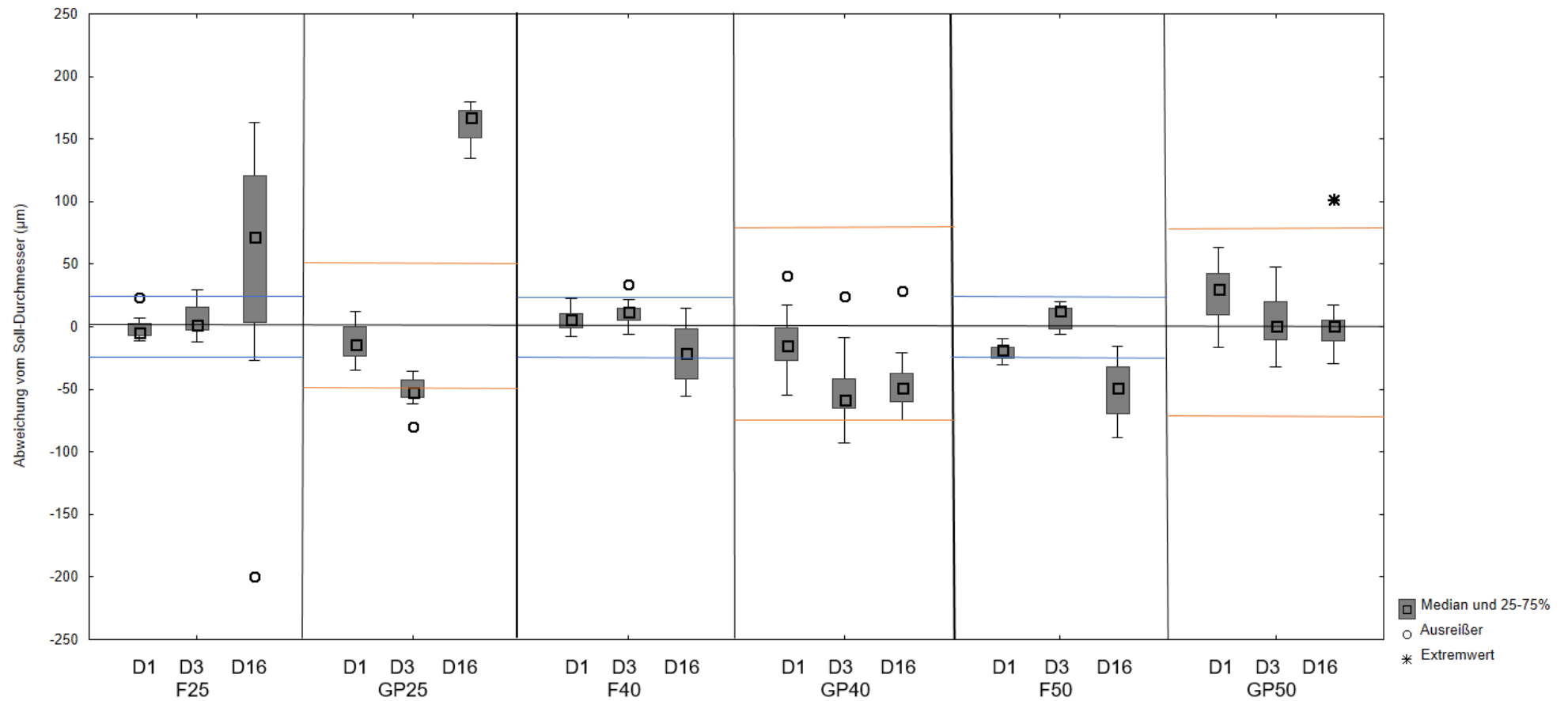


Abbildung 31: Box-Plot-Diagramm der Abweichung vom Soll-Durchmesser des Reciproc-Systems

Die schwarze Linie veranschaulicht die Soll-Werte gemäß der Herstellerangabe. Der Toleranzbereich nach ISO-Norm liegt für NiTi-Instrumente bei $\pm 20 \mu\text{m}$ (blaue Linien). Für Guttapercha liegt der Toleranzbereich in Abhängigkeit von der ISO-Größe bei $\pm 50 \mu\text{m}$ bzw. $\pm 70 \mu\text{m}$ (orangefarbene Linien)

F: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

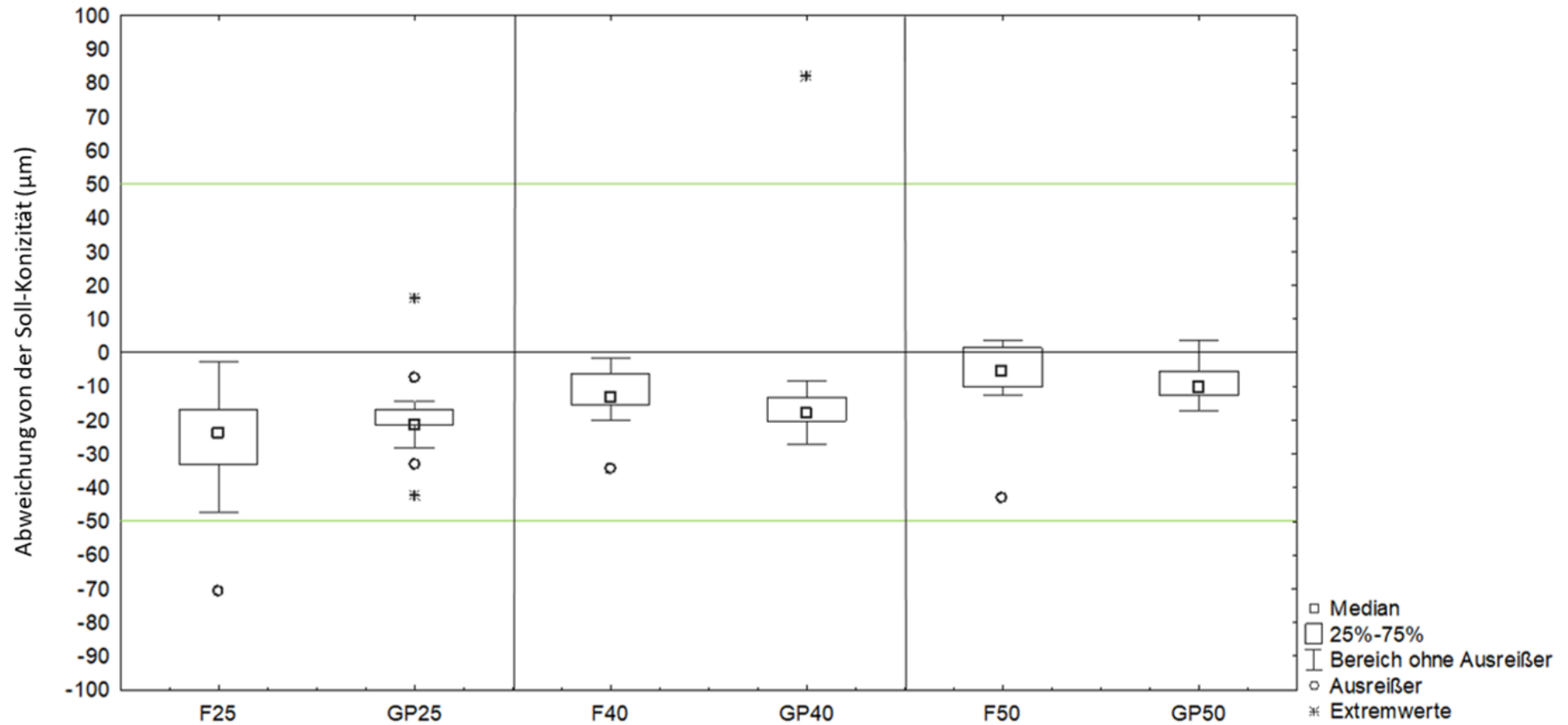


Abbildung 32: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität an D3 des Reciproc-Systems

Die Soll-Werte nach Herstellerangaben (schwarze Linie), Toleranzbereich $\pm 50 \mu\text{m}$ gemäß ANSI-/ADA-Standard (grüne Linien)

F: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

Tabelle 9: Statistische Auswertung der Messwerte für den Durchmesser von Instrumenten und Guttaperchastiften des Reciproc-Systems

Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation	Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation	Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation
25	D1	1		40	D1	0,995		50	D1	0,008	Instrument < GP
	D2	0,827			D2	<0,001	Instrument > GP		D2	1	
	D3	0,006	Instrument > GP		D3	<0,001	Instrument > GP		D3	1	
	D4	0,057			D4	<0,001	Instrument > GP		D4	1	
	D5	0,135			D5	<0,001	Instrument > GP		D5	0,999	
	D6	0,108			D6	<0,001	Instrument > GP		D6	0,998	
	D7	0,308			D7	<0,001	Instrument > GP		D7	0,993	
	D8	0,963			D8	<0,001	Instrument > GP		D8	0,999	
	D9	0,997			D9	<0,001	Instrument > GP		D9	1	
	D10	1			D10	<0,001	Instrument > GP		D10	1	
	D11	1			D11	0,003	Instrument > GP		D11	1	
	D12	0,999			D12	0,767			D12	0,999	
	D13	0,273			D13	0,999			D13	0,869	
	D14	<0,001	Instrument < GP		D14	1			D14	0,009	Instrument < GP
	D15	<0,001	Instrument < GP		D15	0,998			D15	<0,001	Instrument < GP
	D16	<0,001	Instrument < GP		D16	0,997			D16	<0,001	Instrument < GP

GP: Guttapercha

In der Spalte „Interpretation“ sind in Rot die klinisch relevanten Ergebnisse dargestellt, bei der die NiTi-Instrumente einen kleineren Durchmesser als die korrespondierenden Guttaperchastifte aufweisen.

Tabelle 10: Statistische Auswertung der Messwerte für die Konizität von Instrumenten und Guttaperchastiften des Reciproc-Systems

Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation	Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation	Größe	Messpunkt	p-Wert	Interpretation
25	D1	<0,001	Instrument > GP	40	D1	<0,001	Instrument < GP	50	D1	<0,001	Instrument < GP
	D2	<0,001	Instrument > GP		D2	<0,001	Instrument < GP		D2	<0,001	Instrument < GP
	D3	0,174			D3	0,953			D3	0,318	
	D4	0,156			D4	0,058			D4	<0,001	Instrument < GP
	D5	0,704			D5	<0,001	Instrument < GP		D5	0,078	
	D6	0,18			D6	0,004	Instrument > GP		D6	0,316	
	D7	<0,001	Instrument < GP		D7	<0,001	Instrument > GP		D7	<0,001	Instrument > GP
	D8	0,015	Instrument < GP		D8	0,021	Instrument > GP		D8	0,064	
	D9	0,004	Instrument < GP		D9	0,006	Instrument > GP		D9	<0,001	Instrument > GP
	D10	<0,001	Instrument < GP		D10	<0,001	Instrument > GP		D10	<0,001	Instrument > GP
	D11	<0,001	Instrument < GP		D11	<0,001	Instrument > GP		D11	<0,001	Instrument > GP
	D12	0,009	Instrument < GP		D12	<0,001	Instrument > GP		D12	<0,001	Instrument > GP
	D13	0,05			D13	<0,001	Instrument > GP		D13	<0,001	Instrument > GP
	D14	0,004	Instrument < GP		D14	0,017	Instrument < GP		D14	<0,001	Instrument > GP
	D15	0,397			D15	0,925			D15	0,103	

GP: Guttapercha

In der Spalte „Interpretation“ sind in Rot die klinisch relevanten Ergebnisse dargestellt, bei der die NiTi-Instrumente eine kleinere Konizität als die korrespondierenden Guttaperchastifte aufweisen.

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Methode

Es wurden drei Ein-Feilen-NiTi-Systeme und die jeweiligen, korrespondierenden Guttaperchastifte (OneShape, F360, Reciproc) untersucht. Alle Instrumente und Guttaperchastifte waren von Seiten des Herstellers verpackt und wurden unmittelbar vor der jeweiligen Messung aus der Verpackung entnommen. Die Lagerung der Materialien erfolgte bei Raumtemperatur, wodurch extreme Temperaturschwankungen, die zur Schrumpfung oder Expansion der Guttapercha führen können (Cunningham et al. 2006), ausgeschlossen wurden. Die Bedingungen während des Versands konnten von unserer Seite nicht überprüft werden.

In ähnlichen Studien wurden die NiTi-Instrumente vor den Messungen für zehn Stunden bei $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ aufbewahrt (Lask et al. 2006; Chesler et al. 2013). Die Guttapercha wurde ebenfalls vor den Messungen für 24 Stunden einem Milieu von $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchtigkeit von $50 \pm 5\%$ ausgesetzt (Cunningham et al. 2006). In anderen Studien wurden wiederum keine standardisierten Umgebungsbedingungen für Temperatur und Luftfeuchtigkeit geschaffen (Gordon et al. 2005; Hatch et al. 2008).

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen wurden in einem Labor bei konstanter Raumtemperatur durchgeführt. Guttapercha besitzt einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von 137×10^{-6} pro Grad Celsius (Cohen et al. 1992), das bedeutet eine Volumendifferenz von 0,07% bei einer Temperaturänderung von $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Der Ausdehnungskoeffizient für Nickel-Titan beträgt 11×10^{-6} pro Grad Celsius (Euroflex Nitinol Werkstoffdaten o. J.). Dieser entspricht einer Volumendifferenz von 0,006% bei einer Temperaturänderung von $5 \text{ }^\circ\text{C}$ und war somit für die vorliegende Messung zu vernachlässigen.

Die Messmethode für die Bestimmung des Durchmessers von NiTi-Instrumenten und Guttaperchastiften orientierte sich an bereits publizierten Studien (Moule et al. 2002; Cunningham et al. 2006; Lask et al. 2006; Hatch et al. 2008; Chesler et al. 2013). Die verwendete Messvorrichtung ermöglichte eine reproduzierbare und exakte Positionierung der Instrumente und der Guttapercha unter dem Mikroskop. Dabei war entscheidend, dass sich die Spitze der Guttaperchastifte und der NiTi-Instrumente immer exakt an der gleichen Stelle (bei 0 mm) befand. Eine ähnliche Messkonstruktion, ebenfalls bestehend aus einem Lineal und einer Auflage für die zu vermessenden Objekte, wurde bereits in einer früheren Studie beschrieben (Hatch et al. 2008). Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, die Messpunkte im Nachhinein per Software in die Bilder einzufügen, wodurch eine reproduzierbare Lage der Objekte nicht notwendig ist

(Lask et al. 2006; Chesler et al. 2013). Durch die in der vorliegenden Arbeit verwendete Messkonstruktion war es möglich, alle benötigten Messpunkte während einer Aufnahme gleichzeitig abzubilden und sofort zu überprüfen, ob sich die beiden für die Messung notwendigen Instrumenten-Windungen auf demselben Bildausschnitt befanden. Die exakte Positionierung der NiTi-Instrumente in der Messvorrichtung stellte zudem sicher, dass die Reflexionen und Schattenwürfe möglichst gering gehalten und die Ober- und Untergrenze der Instrumente und Guttaperchastifte an den entsprechenden Messpunkten eindeutig definiert werden konnten. Die digitale Methode zur Festlegung der Messpunkte, wie sie von Lask et al. (2006) und Chesler et al. (2013) beschrieben wurde, bietet diese Vorteile nicht.

Darüber hinaus wurden in älteren Arbeiten zur Vermessung des Durchmessers von Handinstrumenten spezielle Messtaster verwendet (Städtler und Jeglitsch 1993). Diese scheiden allerdings für Messungen der meisten NiTi-Instrumente aus, da sie ausschließlich für Instrumente mit einer konstanten Konizität von 2% genutzt werden können (Städtler und Jeglitsch 1993).

In der Literatur gibt es bezüglich des Durchmessers keine einheitlichen Messpunkte (Moule et al. 2002; Hatch et al. 2008). Hinsichtlich der Konizität wurden jedoch stets die Messpunkte D3 und D16 gewählt (Cunningham et al. 2006; Lask et al. 2006; Chesler et al. 2013), da diese Punkte für die Berechnung der Konizität nach Lask et al. (2006) notwendig sind.

In der bislang einzigen Studie zur Herstellungsgenauigkeit des ProTaper-Systems, das multiple Konizitäten innerhalb eines Instruments aufweist, wurden lediglich die Messpunkte D1, D3 und D16 berücksichtigt (Chesler et al. 2013). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden sowohl die Reciproc-Instrumente als auch die Instrumente 30/.06 und 37/.06 des OneShape Systems, die ebenfalls variable Konizitäten besitzen, an jedem Millimeter des Arbeitsteils (D1-D16) bzw. an D1, D3, D13 und D16 vermessen, um den komplexen Aufbau dieser Instrumente bei der Analyse zu berücksichtigen.

Die Genauigkeit der Messungen ist maßgeblich von dem verwendeten Mikroskop abhängig, auch hier sind in der Literatur unterschiedliche Verfahren beschrieben. Bislang fanden unter anderem ein Elektronenmikroskop mit 35-facher Vergrößerung (Chesler et al. 2013), ein Mikroskop mit einer Genauigkeit von 0,001 mm und einer Toleranz von $\pm 0,003$ mm (Lask et al. 2006) sowie ein Lichtmikroskop mit einer 22-fachen Vergrößerung (Hatch et al. 2008) Verwendung.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Durchmesser von Guttaperchastiften und NiTi-Instrumenten zu ermitteln. Dafür waren sowohl definierte Objektgrenzen der NiTi-Instrumente und der Guttaperchastifte als auch eine ausreichend hohe Vergrößerung der Ob-

jekte notwendig, die zum einen eine Messung durchführbar machten, zum anderen mindestens zwei Schneidekanten der Instrumente auf einem Bildausschnitt ermöglichten. Aus diesen Gründen wurde ein Lichtmikroskop mit einer 32-fachen Vergrößerung verwendet. Hatch (2008) arbeitete ebenfalls mit einem Lichtmikroskop und benutzte eine 22-fache Vergrößerung. Chesler et al. (2013) benutzten hingegen ein Elektronenmikroskop mit 35-facher Vergrößerung. Dafür mussten die Instrumente mit Karbon-Klebeband auf der Messvorrichtung befestigt werden. Zusätzlich wurde die Oberfläche der Guttaperchastifte mit einer Gold-Palladium-Beschichtung versehen (Chesler et al. 2013). Gegen die Messung mit einem Elektronenmikroskop sprach, dass lediglich die Ober- und Unterkante der NiTi-Instrumente und der Guttaperchastifte deutlich abgebildet werden mussten. Eine hochauflösende Darstellung der Oberfläche wurde für die vorliegende Fragestellung nicht benötigt. Zusätzlich konnte durch die Verwendung des Lichtmikroskops die Ausleuchtung der Objekte optimal gesteuert werden, um deutliche Objektgrenzen zu erzielen.

Bei den Messungen bestand die Schwierigkeit, die Reflexionen der NiTi-Instrumente bzw. den Schattenwurf der Guttaperchastifte so weit wie möglich zu reduzieren, um exakte Objektgrenzen für die Messung zu erhalten. Dies wird in keiner der bisherigen Studien erwähnt. Es kann aber vermutet werden, dass aus diesem Grund eine Beschichtung der Guttapercha vor der Messung vorgenommen wurde (Chesler et al. 2013). Darüber hinaus wurden auch Messungen des Schattenbildes der Guttaperchastifte vorgenommen (Moule et al. 2002). In der vorliegenden Arbeit wurden die Objekte mit einer Kombination aus externem Auflicht und einer unter dem Objekt positionierten Lichtquelle beleuchtet, um die Reflexionen und Schattenwürfe der Instrumente und Guttaperchastifte zu reduzieren.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Da in der vorliegenden Arbeit eine enorme Vielzahl an Messwerten erhoben wurde, bezieht sich die grafische Darstellung wegen der besseren Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit der Daten ausschließlich auf die Abweichungen von den Soll-Werten. Dabei wurden die Messwerte der Durchmesser für die verschiedenen Instrumente an den Punkten D1, D3 und D16 sowie für die Konizität an den Messpunkten D3 bzw. D1 und D13 in Grafiken zusammengefasst und abgebildet. Diese Darstellungsweise orientierte sich an der einzig verfügbaren Arbeit, in der ebenfalls mehrere Instrumente der Größe 30/.04 verschiedener Hersteller in Bezug auf Durchmesser und Konizität untersucht wurden (Chesler et al. 2013).

Es sind keine Studien zu den drei in dieser Arbeit untersuchten Systemen bezüglich der Formkongruenzen und Einhaltung der verschiedenen ISO- bzw. ANSI-/ADA-Normen vor-

handen. Die Systeme OneShape, F360 und Reciproc wurden vor allem im Hinblick auf die Schneidleistung (Bürklein et al. 2012, 2013; Liu et al. 2013; Nabeshima et al. 2014), Kanalverlegungen und -begradigungen (Bürklein et al. 2012; 2013), Debris-Extrusion nach periapikal (Koçak et al. 2013; Bürklein et al. 2014), Frakturverhalten (Arias et al. 2012) sowie den Zeitbedarf für die Präparation (Bürklein et al. 2013) analysiert.

Bisherige Untersuchungen zur Herstellungsgenauigkeit von Wurzelkanalinstrumenten und Guttaperchastiften gaben entweder eine prozentuelle oder absolute Abweichung von den Soll-Werten oder dem Toleranzbereich an. In den Studien von Lask et al. (2006) und Cunningham et al. (2006), in denen vier verschiedene NiTi-Instrumente bzw. fünf verschiedene Guttaperchastifte der Größe 30/.04 vermessen wurden, fielen bei der Mehrheit der Instrumente Abweichungen an der Instrumentenspitze von 10-20 μm auf (Lask et al. 2006). Dabei entspricht der Bereich von $\pm 20 \mu\text{m}$ den Grenzwerten der ISO-Norm (DIN 2008). Von insgesamt 60 vermessenen Instrumenten lagen 11 außerhalb des Toleranzbereichs, d. h. 49 Instrumente wiesen einen Durchmesser an D1 von 280 bis 320 μm auf und entsprachen demnach der ISO-Norm (Lask et al. 2006). Die Analyse der Konizität zeigte, dass die angegebene Konizität von 4% mehrheitlich um 0,1% unterschritten wurde (Lask et al. 2006). Alle berechneten Konizitäten lagen jedoch in dem erlaubten Toleranzbereich von $\pm 50 \mu\text{m}$ (Lask et al. 2006). Im Hinblick auf die Herstellungsgenauigkeit von Guttaperchastiften entsprachen weniger als 10% der untersuchten 75 Guttaperchastifte einem Soll-Wert von 300 μm (Cunningham et al. 2006). Die meisten Guttaperchastifte waren dabei an D1 zwischen 10 bis 40 μm größer als der Soll-Wert, lagen aber dennoch im Toleranzbereich von $\pm 70 \mu\text{m}$ (Cunningham et al. 2006). Die Konizität der Guttaperchastifte wich vom Soll-Wert maximal um 3% nach unten und um 6,7% nach oben ab, erfüllte jedoch die Toleranzwerte (Cunningham et al. 2006).

Eine andere Studie erzielte ähnliche Ergebnisse bei der Vermessung von Guttaperchastiften, da trotz einer kaum vorhandenen Übereinstimmung mit den Soll-Werten die Abweichungen auch nur selten die Toleranzbereiche von $\pm 50 \mu\text{m}$ (bis ISO-Größe 25) bzw. $\pm 70 \mu\text{m}$ (ab ISO-Größe 30) überschritten und daher innerhalb der ISO-Norm lagen (Moule et al. 2002).

Das Studiendesign der vorliegenden Arbeit ist mit dem Versuchsaufbau von Chesler et al. (2013) vergleichbar, da auch hierbei signifikante Unterschiede zwischen allen untersuchten NiTi-Instrumenten der Größe 30/.04 und den jeweiligen korrespondierenden Guttaperchastiften auffielen (Chesler et al. 2013). Am Messpunkt D1 waren alle Instrumente im Durchmesser kleiner als die dazugehörigen Guttaperchastifte (Chesler et al. 2013). Bezogen auf die Konizität wiesen zwei von drei verschiedenen NiTi-Instrumenten eine größere Konizität als die korrespondierende Guttapercha auf. Lediglich das ProTaper-System mit multiplen

Konizitäten besaß in Bezug auf die Konizität größere Guttaperchastifte als NiTi-Instrumente (Chesler et al. 2013). Alle untersuchten Guttaperchastifte lagen im Toleranzbereich, wobei sich nur 20 der 60 untersuchten NiTi-Instrumente im Grenzbereich von $\pm 20 \mu\text{m}$ befanden. Bei einem Hersteller (Brasseler, Savannah, GA, USA) lagen alle EndoSequence-Instrumente der Größe 30/.04 außerhalb des Toleranzbereichs (Chesler et al. 2013). Das ProTaper-System (Dentsply Maillefer) mit multiplen Konizitäten schnitt am besten ab, da hierbei lediglich 25% der 30/.04-Instrumente außerhalb der zulässigen Abweichungen lagen (Chesler et al. 2013). Bezüglich der Konizität befanden sich alle NiTi-Instrumente sowie auch Guttaperchastifte innerhalb der Toleranzgrenzen (Chesler et al. 2013). In einer anderen Arbeit wurden ausschließlich NiTi-Instrumente verschiedener Größen von drei unterschiedlichen Systemen (ProFile, Guidance, EndoSequence) untersucht (Hatch et al. 2008). Bei den EndoSequence-Instrumenten lag der Durchmesser auf den ersten vier Millimetern zu 14% außerhalb des Toleranzbereichs, die anderen beiden Systeme wiesen keine (Profile) bzw. eine sehr geringe Abweichung um 3% (Guidance) auf. Zusätzlich lagen alle berechneten Konizitäten innerhalb des erlaubten Bereichs nach ANSI-/ADA-Spezifikation (Hatch et al. 2008).

Grundsätzlich stimmen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit den in der Literatur beschriebenen Resultaten überein (Cunningham et al. 2006; Lask et al. 2006; Hatch et al. 2008; Chesler et al. 2013). Es wurden teilweise große Diskrepanzen zwischen den ermittelten Durchmessern der NiTi-Instrumente und Guttaperchastifte und den Herstellerangaben festgestellt. Die Instrumente wichen am Messpunkt D1 meistens zwischen 10 bis 20 μm von den Herstellerangaben ab (Lask et al. 2006). Bei den Guttaperchastiften ließ sich die Tendenz, dass Guttapercha durchschnittlich um 10 bis 40 μm größer war als der Grenzwert der ISO-Norm, nicht bestätigen (Cunningham et al. 2006). Die Guttaperchastifte lagen zum größten Teil in der erlaubten Abweichung von $\pm 50 \mu\text{m}$ bzw. $\pm 70 \mu\text{m}$. Auch wiesen die NiTi-Instrumente von OneShape und F360 am Messpunkt D1, anders als bei Chesler et al. (2013), einen größeren Durchmesser als die korrespondierenden Guttaperchastifte auf. In der vorliegenden Arbeit waren hingegen bei dem Reciproc-System die Guttaperchastifte größer als die NiTi-Instrumente, wobei dieses Ergebnis mit der einzig verfügbaren Studie, in der ebenfalls ein System mit multiplen Konizitäten (ProTaper-System) analysiert wurde, übereinstimmt (Chesler et al. 2013). Die meisten OneShape- und Reciproc-Instrumente besaßen allerdings eine größere Konizität als die korrespondierenden Guttaperchastifte, wobei Chesler et al. (2013) feststellten, dass die untersuchten Guttaperchastifte von EndoSequence und K3 signifikant geringere Konizitäten als die korrespondierenden NiTi-Instrumente aufwiesen. Das Studien-

ergebnis muss vor allem in Bezug auf das OneShape System differenzierter betrachtet werden. Aufgrund der Herstellerangaben ist erkennbar, dass die Größen 30 und 37 der NiTi-Instrumente auf den ersten 5 mm größer sind als die korrespondierenden Guttaperchastifte. Anschließend verlaufen die Instrumente parallel, es kommt also zu keiner Zunahme der Konizität. Die Guttaperchastifte besitzen hingegen eine konstante Konizität, sodass ab D6 (37/.06 und 35/.06) bzw. D8 (30/.06 und 30/.04) die Guttapercha deutlich größer ist als das Instrument. Der präparierte Wurzelkanal weist somit ab D8 bzw. D6 einen zu geringen Durchmesser auf, um den dazugehörigen Guttaperchastift auf Arbeitslänge inserieren zu können.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde für das Reciproc-System ähnlich wie beim ProTaper-System (multiple Konizitäten) festgestellt, dass die Instrumente an den Messstellen D1 und D3 in Bezug auf die Konizität kleiner als die korrespondierenden Guttaperchastifte waren (Chesler et al. 2013). Die Durchmesser von NiTi-Instrumenten und Guttaperchastiften wichen aber erst an den Messpunkten D13 bis D16 so stark voneinander ab, dass in der klinischen Situation die Guttapercha zu dick für den mit den entsprechenden Instrumenten präparierten Kanal war. Im Allgemeinen waren die Abweichungen von den Toleranzgrenzen der Konizität wesentlich geringer als die der Durchmesser. Der Toleranzbereich der Konizität nach ANSI-/ADA-Spezifikation wurde somit mehrheitlich eingehalten (Cunningham et al. 2006; Lask et al. 2006; Chesler et al. 2013).

Die Streuung der ermittelten Durchmesser war ebenfalls, wie in der Literatur beschrieben, bei den Guttaperchastiften größer als bei den NiTi-Instrumenten (Cunningham et al. 2006; Lask et al. 2006). Die Abweichungen waren allerdings selten größer als die Toleranzen der ISO-Norm (ISO 2006; DIN 2008) und der ANSI-/ADA-Spezifikation (Chesler et al. 2013). Daraus lässt sich schließen, dass eine genaue Produktion der Instrumente und Guttaperchastifte seitens der Hersteller möglich ist.

Aufgrund einer telefonischen Nachfrage zur Erläuterung des Herstellungsprozesses bei den drei verschiedenen Herstellern (MICRO-MEGA, Komet und VDW) wurde das Produktionsverfahren in groben Zügen dargestellt. Die NiTi-Instrumente werden aus runden, superelastischen M-Wire-(Reciproc-System) bzw. NiTi- (OneShape- und F360-System) Rohlingen in einem mehrstufigen Prozess bestehend aus Ablängen, Formgebung und Verzahnung erstellt und im Anschluss mit Schäften für das Winkelstück verbunden, dann mit Farbringen und dem Silikonstopper versehen und einzeln verpackt.

Bei der Produktion der Guttaperchastifte wurde zwischen zwei Methoden unterschieden. Der Rohstoff Guttapercha wird durch Eintrocknen des Milchsafte des Palaquium-Baumes gewonnen. In Kombination mit weiteren Zusätzen wird Guttapercha bei ca. 60 °C plastifiziert

und anschließend über ein Gussverfahren in Form gebracht und verdichtet oder anhand eines maschinell gesteuerten Rollprozesses geformt. Anschließend erfolgt die Kennzeichnung und Verpackung des Produktes. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Herstellungsprozesse für Guttaperchastifte und NiTi-Instrumente wurden die jeweiligen ISO-Grenzen unterschiedlich weit gefasst. Der bei Guttapercha erlaubte Toleranzbereich von $\pm 70 \mu\text{m}$ bedeutet jedoch, dass ein Guttaperchastift mehr als eine Größe nach oben bzw. nach unten abweichen kann und dennoch im Toleranzbereich der ISO-Norm liegt, d. h. ein Guttaperchastift der Größe 30 ($300 \mu\text{m}$) darf entsprechend der ISO-Norm an D1 eine Größe zwischen $230 \mu\text{m}$ und $370 \mu\text{m}$ aufweisen, obwohl in diesem Bereich auch die ISO-Größen 25 ($250 \mu\text{m}$) und 35 ($350 \mu\text{m}$) enthalten sind (Cunningham et al. 2006).

Auf Grund der in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse und der in Studien publizierten Daten (Cunningham et al. 2006; Lask et al. 2006; Hatch et al. 2008; Chesler et al. 2013) scheint es von Seiten der Hersteller möglich, sowohl die NiTi-Instrumente als auch die Guttaperchastifte nach korrekten Maßangaben fertigen zu können. Ein umfangreiches Qualitätsmanagement, bestehend aus mehrmals täglichen Kontrollmessungen, gewährleistet, dass Produktionsfehler möglichst gering gehalten werden, ein absoluter Ausschluss von Abweichungen in den Latenzzeiten zwischen Kontrollmessung und Nachjustierung an der Maschine ist jedoch nicht möglich.

Bei der Vermessung des Durchmessers und der Berechnung der Konizität kann die bei dem Gussverfahren entstehende Pressfahne an den Guttaperchastiften zu Differenzen bei den Messungen führen. Diese Pressfahne führte zu erhöhtem Schattenwurf und unscharfen Rändern bei den Aufnahmen unter dem Mikroskop (Cunningham et al. 2006). Während der digitalen Vermessung war es daher teilweise problematisch, den Durchmesser korrekt zu bestimmen. Auch können extreme Bedingungen während des Versandprozesses und der Lagerung der Produkte zu Schrumpfungen und Expansionen vor allem bei der Guttapercha führen und Abweichungen begünstigen (Cunningham et al. 2006). Zusätzlich können aufgrund der Plastizität der Guttapercha starke Drücke und eine unsachgemäße Entnahme aus der Verpackung zu Formveränderungen führen. NiTi-Instrumente sind aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften davon sehr selten betroffen (Hatch et al. 2008). Alle beschriebenen Punkte führten dazu, dass ein exaktes Übereinstimmen von Durchmesser und Konizität zwischen korrespondierenden Guttaperchastiften und NiTi-Instrumenten nur selten erreicht werden konnte. Das wiederum bedeutet in der klinischen Situation, dass *Sealer* (Wurzelkanalfüllpaste) teilweise in großen Mengen eingesetzt wird und somit auf Dauer Undichtigkeiten in der Wurzelkanalfüllung auftreten können (Somma et al. 2011).

Passungengenauigkeiten zwischen NiTi-Instrument und Guttaperchastift können während der zahnärztlichen Behandlung zu Frustration beim Behandler führen. Zum einen entstehen wirtschaftliche Einbußen durch das Verwerfen von getesteten, aber nicht zur Füllung benutzten Guttaperchastiften. Zum anderen führt ein vermehrtes Anpassen verschiedener Guttaperchastifte in den präparierten Kanal zu einer Zeitverzögerung im Behandlungsablauf (Moule et al. 2002). Eine Frage, die sich dabei stellt, ist: Wiegt der Zeitverlust beim Füllen die von den Herstellern beworbene Zeitersparnis der Ein-Feilen-NiTi-Systeme (MICRO-MEGA Broschüre o. J.; VDW RP o. J.; Komet Dental o. J.) wieder auf? Dieser Punkt sollte in weiteren Studien untersucht werden. Auch andere klinische Aspekte, die im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit nicht berücksichtigt werden konnten, sollten genauer untersucht werden. Präparierte Kanäle entsprechen selten den Instrumentengrößen, mit denen sie instrumentiert wurden, sondern weisen in der Regel einen größeren Querschnitt als das Instrument auf (Jeon et al. 2014). Es wäre somit auch möglich, dass die Übereinstimmung hinsichtlich der Passform von Guttaperchastiften und präparierten Wurzelkanälen so hoch ist, dass eine Abweichung der Instrumente und Guttaperchastifte von der ISO-Norm klinisch nicht auffällt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die tatsächliche Länge eines Wurzelkanals. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen deutlich, dass die größten Differenzen zum Soll-Wert und zum Toleranzbereich an den Messpunkten D13 bis D16 lagen. Klinisch gesehen ist dabei die Frage relevant, ob sich diese Messpunkte mit den größten Abweichungen noch im Wurzelkanal oder schon in der Zugangskavität befinden. Als Wurzelkanallänge bezeichnet man die Strecke zwischen der Schmelz-Zement-Grenze bzw. dem Pulpakammerboden bis zur Wurzelspitze (Beer und Baumann 1997). In einer Studie wurden vor Wurzelspitzenresektion die Wurzellängen mit Hilfe einer digitalen Volumentomografie (DVT) ermittelt, wobei der Referenzpunkt hierbei an der Schmelz-Zement-Grenze lag (von Arx et al. 2015). In die Durchschnittswerte wurden alle Zahngruppen des Ober- als auch des Unterkiefers einbezogen. Im Mittel waren die Wurzeln 12,94 mm lang, wobei das Minimum bei 8,18 mm und das Maximum bei 18,60 mm lag (von Arx et al. 2015). Im Rahmen einer weiteren DVT-Untersuchung wurden bei Patienten vor kieferorthopädischer Behandlung im Ober- und Unterkiefer Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren vermessen (Kim et al. 2013). Darauf erfolgte die kieferorthopädisch notwendige Extraktion der Prämolaren (Kim et al. 2013). Zwischen den ermittelten Wurzelkanallängen des DVT-Scans und den gemessenen Längen der Prämolarenwurzeln nach Extraktion konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (Kim et al. 2013). Im Durchschnitt betrug die Wurzellängen bei Oberkiefer-Schneidezähnen zwischen 11,75-13,25 mm, die der Eckzähne 15 mm und die der Prämolaren zwischen 12,4-13,24 mm. Die Zähne des Unterkiefers wie-

sen im Durchschnitt Wurzellängen von 10,99-12,75 mm (Schneidezähne), 15 mm (Eckzähne) und 12,4-13,24 mm (Prämolaren) auf (Kim et al. 2013). Weiterhin waren bei männlichen Patienten die Zahnwurzeln länger als bei weiblichen Personen. Es kann somit festgehalten werden, dass sich die Wurzellängen sowohl von Zahn zu Zahn als auch von Individuum zu Individuum unterscheiden (Kim et al. 2013). Anhand der in den beiden DVT-Studien ermittelten Werte (Kim et al. 2013; von Arx et al. 2015) für die Wurzellängen kann man annehmen, dass die Messpunkte D13 bis D16 teilweise im Bereich der Wurzelkanäle lagen und somit Passungsgenauigkeiten zwischen den mit NiTi-Instrumenten präparierten Kanälen und den korrespondierenden Guttaperchastiften zu Problemen bei der Obturation führen können. Der Guttaperchastift erreicht in diesen Fällen entweder nicht die Arbeitslänge oder ist zu dünn für den präparierten Kanal, sodass mehr *Sealer* verwendet und daraus resultierende Hohlräume in Kauf genommen werden müssen. Gleichzeitig besteht die Gefahr, einen zu dünnen Guttaperchastift in das periapikale Gewebe zu extrudieren, woraus eine chronische Entzündung in diesem Bereich entstehen kann. Entsprechend der Daten von Kim et. al. (2013) treten diese Probleme vorwiegend bei Eckzähnen und Prämolaren männlicher Patienten auf, da diese Zähne längere Wurzeln aufweisen können. Dieser Aspekt sollte in weiteren Untersuchungen mit modernen Verfahren, wie beispielweise einer dreidimensionalen Micro-Computertomographie genauer überprüft werden, bei der die Position des Guttaperchastiftes im Verhältnis zum präparierten Wurzelkanalsystem präzise ermittelt werden kann. Bei Störkontakten der Guttaperchastifte an den Messpunkten D13 bis D16 kann die praktische Empfehlung gegeben werden, den Kanaleingang selektiv zu erweitern, um eine Insertion des korrespondierenden Guttaperchastiftes auf Arbeitslänge zu gewährleisten. Diese unterstützende Maßnahme ist bei den OneShape-Instrumenten und korrespondierenden Guttaperchastiften, bei denen die Größendifferenzen bereits an D6 bzw. D8 auftreten, nicht möglich. In diesen Fällen müssten 8 bis 10 mm des Wurzelkanals erweitert werden, wobei dies einen unnötigen Abtrag der Zahnhartsubstanz darstellt, um die korrespondierenden Guttaperchastifte verwenden zu können.

Abschließend lässt sich auf Grundlage der Ergebnisse zusammenfassen, dass größtenteils eine Übereinstimmung in Durchmesser und Konizität zwischen NiTi-Instrumenten und korrespondierenden Guttaperchastiften vorlag. Diese Übereinstimmungen waren beim F360-System am größten und beim OneShape-System am geringsten. Die größten Differenzen traten beim Reciproc-System an den Messpunkten D13 bis D16 und beim OneShape-System der Größen 30/.06 bzw. 30/.04 und 37/.06 bzw. 35/.06 ab D6 bzw. D8 auf. Trotz der signifikanten Un-

terschiede und der breiten Streuung der gemessenen Werte innerhalb einer Größe eines Systems wurden die ISO- und ANSI-/ADA-Normen nur selten überschritten. Die Konizitäten der Instrumente und Guttaperchastifte lagen allerdings wesentlich häufiger innerhalb der Toleranzgrenzen als die Durchmesser. Allerdings erscheint es sinnvoll, die Toleranzgrenzen von $\pm 20 \mu\text{m}$ für NiTi-Instrumente auch auf die Guttaperchastifte zu übertragen. Bei den Guttaperchastiften zeigte sich, dass der Toleranzbereich der ISO-Norm zu großzügig gewählt war und eine Reduktion um durchschnittlich $20 \mu\text{m}$ auf $\pm 30 \mu\text{m}$ bzw. $\pm 50 \mu\text{m}$ angebracht wäre. Dieses scheint auch realistisch, da neuere Herstellungsverfahren eine präzisere Produktion der Guttaperchastifte ermöglichen. Darüber hinaus ist auch der Toleranzwert für die Konizität zu großzügig definiert. Ein Bereich von $\pm 30 \mu\text{m}$ würde ebenfalls besser zu den neueren und genaueren Produktionsmethoden passen. Dabei wäre es außerdem sinnvoll, verschiedene Toleranzbereiche für die Konizitäten von NiTi-Instrumenten und Guttaperchastiften zu definieren (Moule et al. 2002; Cunningham et al. 2006; Hatch et al. 2008).

7 Zusammenfassung

Ziel der Studie

Bislang liegen nur wenige Studien zu Formkongruenzen zwischen Ein-Feilen-NiTi-Systemen und korrespondierenden Guttaperchastiften sowie zur Übereinstimmung mit der ISO-Norm und den ANSI-/ADA-Standards vor. Ziel der vorliegenden Studie war es, drei Ein-Feilen-NiTi-Systeme und die jeweils korrespondierenden Guttaperchastifte (OneShape, MICRO-MEGA; F360, Komet Dental; Reciproc, VDW) in Bezug auf Formkongruenzen zwischen Instrumenten und Guttapercha zu untersuchen. Weiterhin wurden Durchmesser und Konizität der NiTi-Instrumente und Guttaperchastifte mit der aktuell gültigen ISO-Norm 3630 bzw. ISO-Norm 6877 und dem ANSI-/ADA-Standard Nr. 101 verglichen.

Material und Methode

Die in der Studie verwendeten NiTi-Instrumente und Guttaperchastifte wurden mit Hilfe einer Messvorrichtung mit einem Standardfehler von 0,4 μm vermessen. Dabei wurden jeweils 20 NiTi-Instrumente und Guttaperchastifte jeder verfügbaren Größe der einzelnen Systeme in der Messvorrichtung unter einem Lichtmikroskop bei 32-facher Vergrößerung fotografiert. Es erfolgte die Vermessung mittels der Axio Vision Zeiss Mikroskop-Software. Der Durchmesser von Instrumenten und Guttaperchastiften wurde abhängig vom verwendeten System an drei, vier oder 16 Messpunkten ermittelt. Die Konizität wurde je nach System an den Messpunkten D3, D1 und D13 sowie an D1 bis D15 berechnet. Im Anschluss erfolgte die Feststellung der Differenz zwischen den ermittelten Durchmessern und Konizitäten und den Herstellerangaben. Die statistischen Auswertungen wurden mit der Software STATISTICA durchgeführt. Der Quantil-Quantil-Test ergab eine Normalverteilung der Daten. Zur Analyse der signifikanten Unterschiede bezüglich des Durchmessers wurde ein Post-Hoc-Test (Scheffé-Test) durchgeführt. Die Signifikanzen der Konizität wurden mittels t-Test für unabhängige Stichproben ermittelt. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

Die statistische Analyse ergab, dass bei allen untersuchten Systemen größtenteils eine Übereinstimmung in Bezug auf Durchmesser und Konizität zwischen NiTi-Instrumenten und korrespondierenden Guttaperchastiften vorlag. Diese Übereinstimmungen waren beim F360-System am größten und beim OneShape-System am geringsten. Das lag vor allem daran, dass die OneShape NiTi-Instrumente und ihre korrespondierenden Guttaperchastifte herstellerbedingt unterschiedliche Konizitäten aufweisen. Die NiTi-Instrumente der Größen 30 und 37 besitzen

auf den ersten 5 mm eine Konizität von 6%, die dazugehörigen Guttaperchastifte der Größe 30 bzw. 35 weisen hingegen eine konstante Konizität von 6% bzw. 4% auf. So liegen bereits produktionsbedingt ab Messpunkt D6 bzw. D8 Formkongruenzen vor. Die größten Differenzen lagen dabei an Messpunkt D16 vor. An diesem wurde der ISO-Toleranzbereich des Durchmessers von $\pm 20 \mu\text{m}$ am häufigsten von den NiTi-Instrumenten überschritten. Die Guttaperchastifte der drei Systeme lagen deutlich seltener außerhalb der ISO-Norm. In Bezug auf die Konizität konnten Abweichungen von der ANSI-/ADA-Toleranzgrenze bei allen Größen des Reciproc-Systems ermittelt werden. Trotz der signifikanten Unterschiede und der breiten Streuung der gemessenen Daten wurden die Toleranzgrenzen des Durchmessers nur punktuell überschritten. Die größten Abweichungen wiesen hier die Systeme OneShape und Reciproc auf.

Schlussfolgerung

Auf Grundlage der Ergebnisse lässt sich zusammenfassen, dass größtenteils Formkongruenzen zwischen NiTi-Instrumenten und Guttaperchastiften vorhanden waren. Trotzdem gab es an einigen Messpunkten Unterschiede bezüglich der Durchmesser und Konizitäten. Als Gründe für die ermittelten Formkongruenzen und die Abweichungen von der ISO- bzw. ANSI-/ADA-Norm können vor allem die spezifischen physikalischen Eigenschaften der Guttapercha und produktionsbedingte Ungenauigkeiten vermutet werden.

Diese Passungenauigkeiten zwischen den mit NiTi-Instrumenten präparierten Kanälen und den korrespondierenden Guttaperchastiften können zu Problemen während der Wurzelkanalfüllung führen. Dabei ist es möglich, dass ein zu großer Guttaperchastift die Arbeitslänge nicht erreicht oder ein zu kleiner Guttaperchastift über den Wurzelkanal hinaus in die periapikalen Gewebe extrudiert wird oder das Wurzelkanalsystem nicht vollständig ausfüllt.

8 Anhang

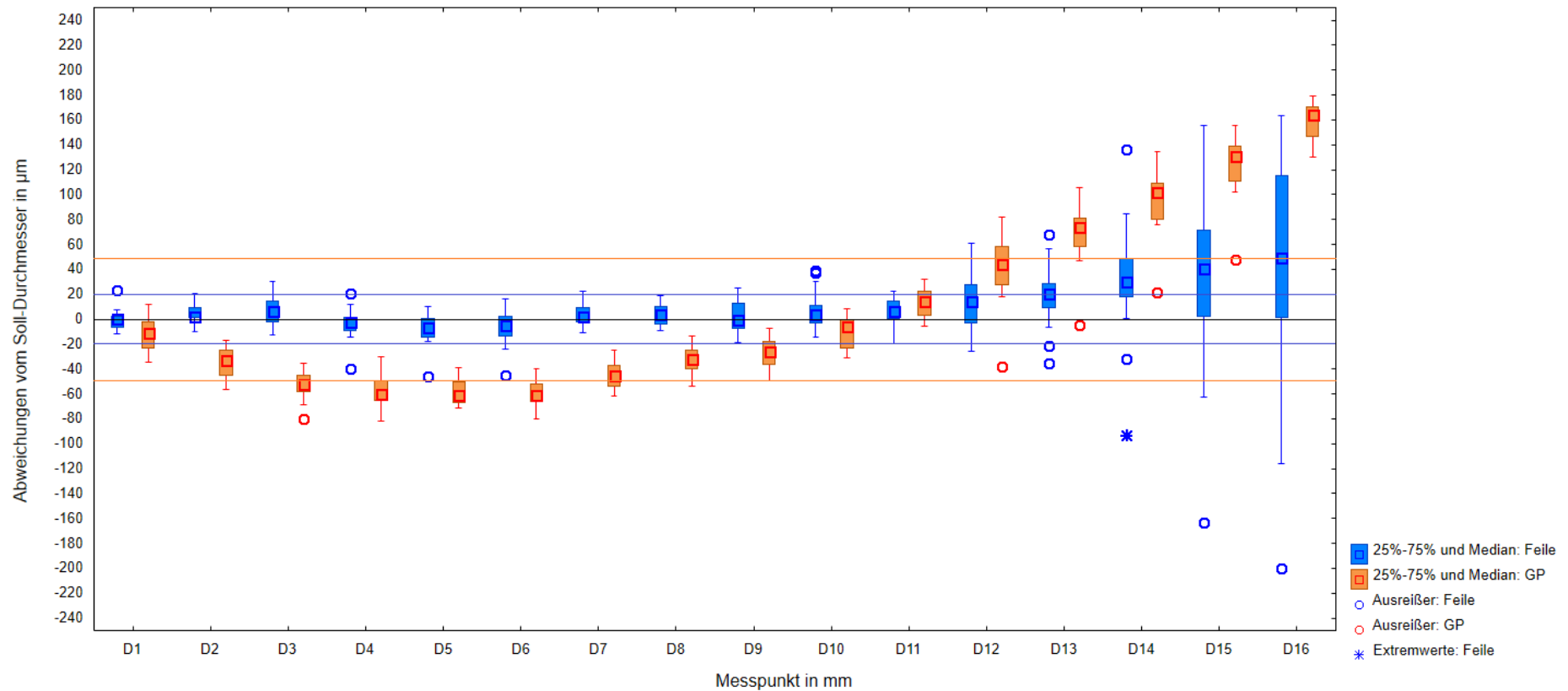


Abbildung 33: Box-Plot-Diagramm der Abweichungen vom Soll-Durchmesser Reciproc 25

Die schwarze Linie veranschaulicht die Soll-Werte gemäß der Herstellerangabe. Der Toleranzbereich nach ISO-Norm liegt für NiTi-Instrumente bei $\pm 20 \mu\text{m}$ und für Guttapercha bei $\pm 50 \mu\text{m}$ und wurde entsprechend der Farbe des jeweiligen Box-Plots farbig markiert.

Feile: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

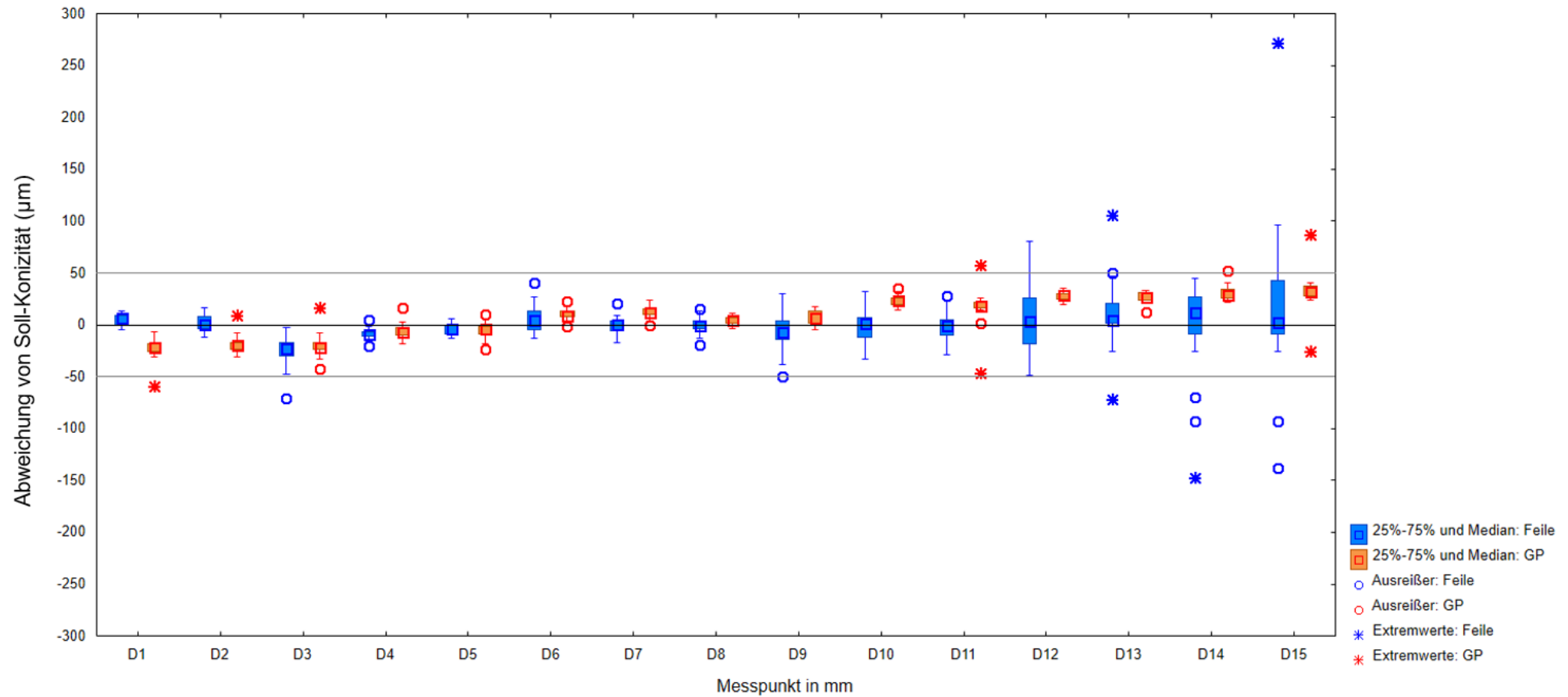


Abbildung 34: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität Reciproc 25

Die schwarze Linie stellt die Soll-Werte nach Herstellerangaben dar. Der Toleranzbereich $\pm 50 \mu\text{m}$ gemäß ANSI-/ADA-Standard wurde mit grauen Linien gekennzeichnet.

Feile: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

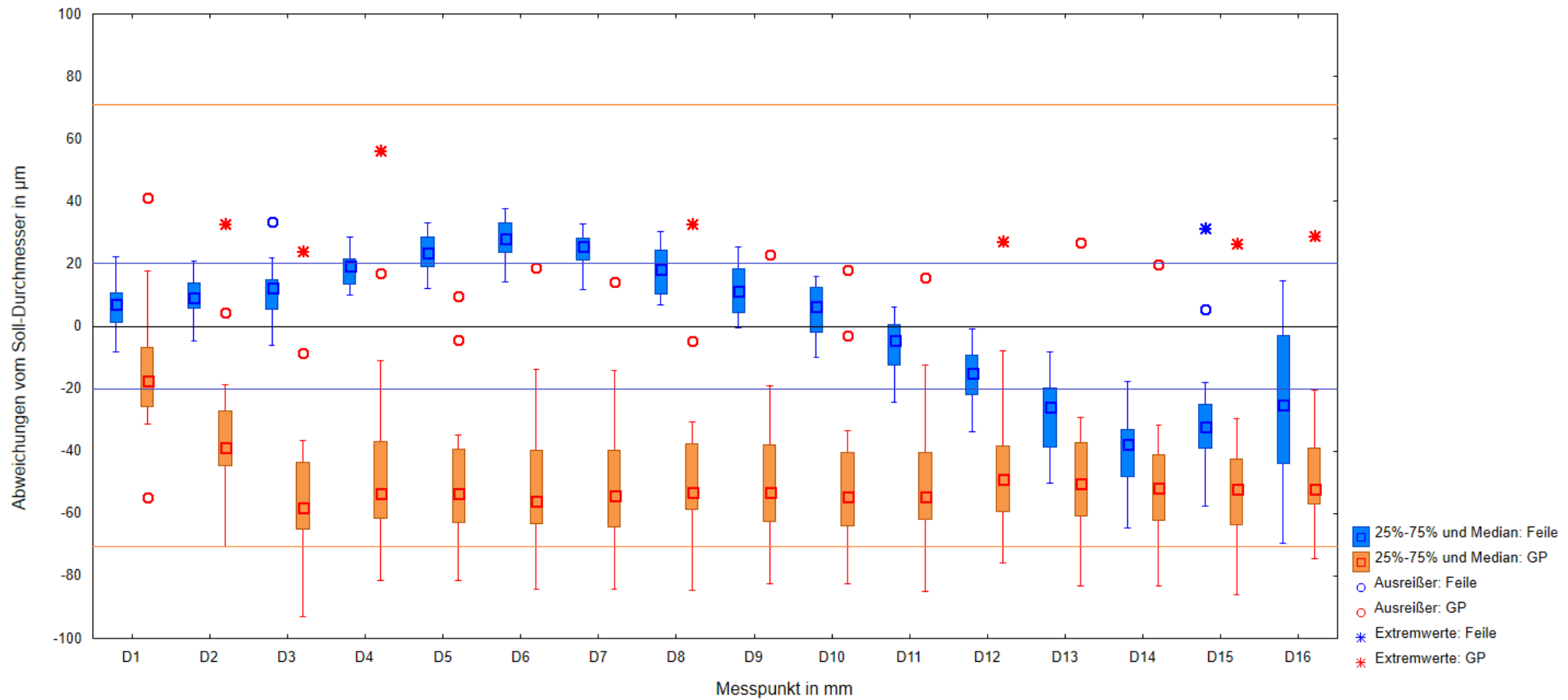


Abbildung 35: Box-Plot-Diagramm der Abweichungen vom Soll-Durchmesser Reciproc 40

Die schwarze Linie veranschaulicht die Soll-Werte gemäß der Herstellerangabe. Der Toleranzbereich nach ISO-Norm liegt für NiTi-Instrumente bei $\pm 20 \mu\text{m}$ und für Guttapercha bei $\pm 70 \mu\text{m}$ und wurde entsprechend der Farbe des jeweiligen Box-Plots farbig markiert.

Feile: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

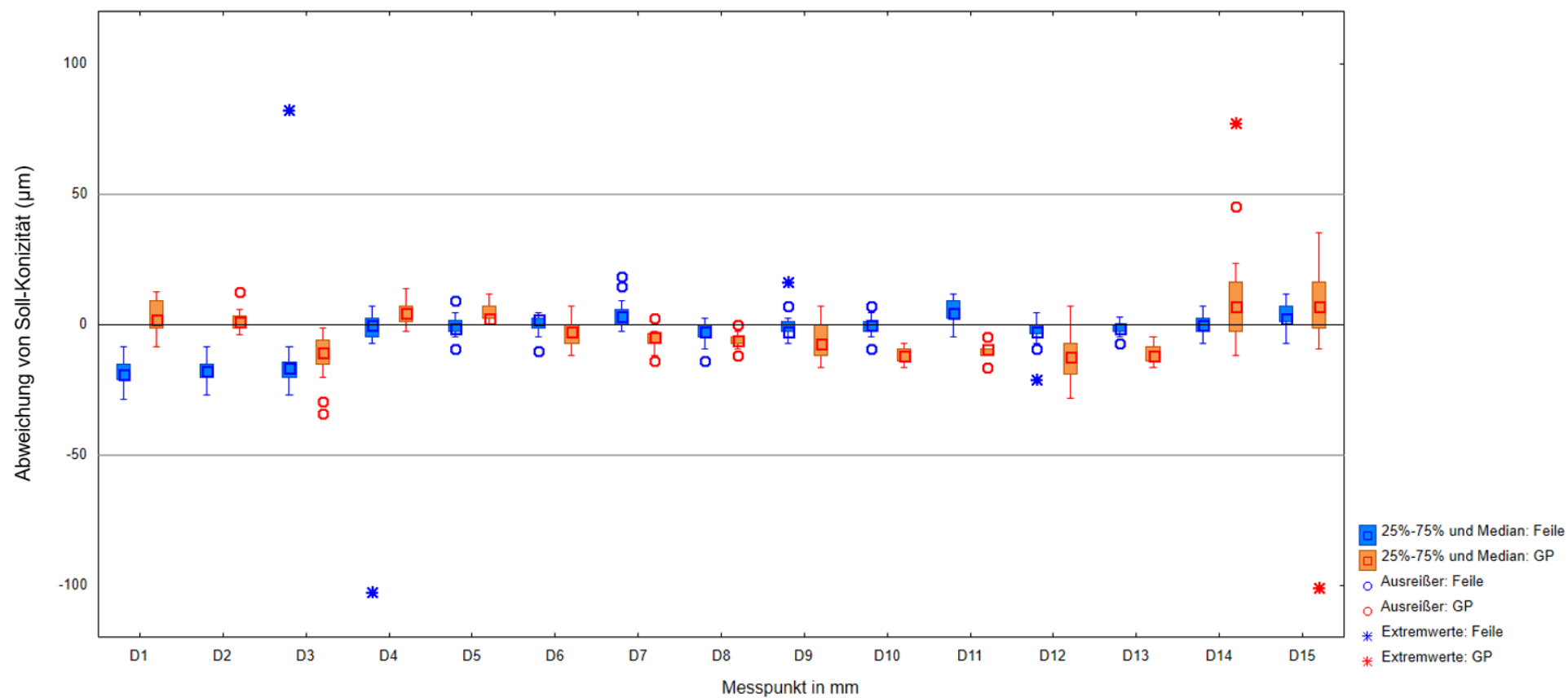


Abbildung 36: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität Reciprocal 40

Die schwarze Linie stellt die Soll-Werte nach Herstellerangaben dar. Der Toleranzbereich $\pm 50 \mu\text{m}$ gemäß ANSI-/ADA-Standard wurde mit grauen Linien gekennzeichnet.

Feile: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

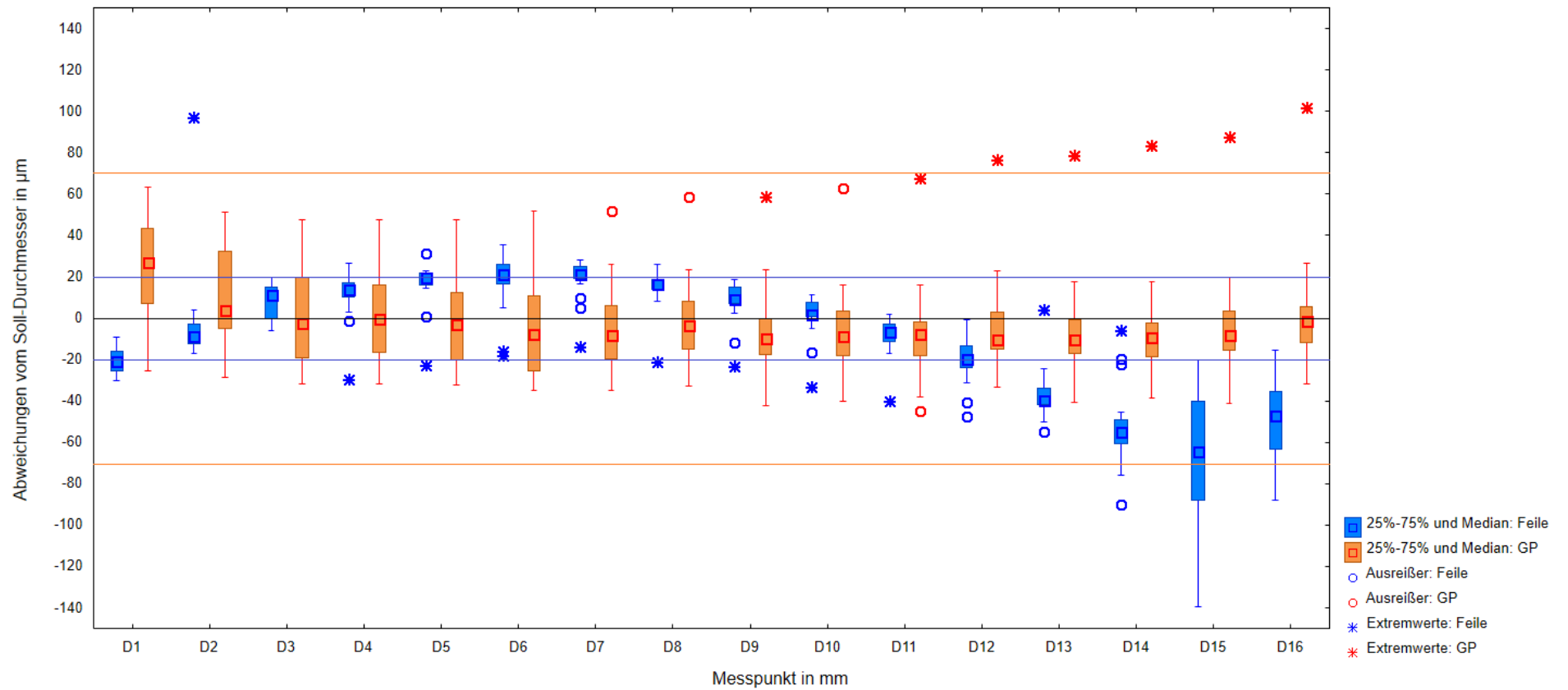


Abbildung 37: Box-Plot-Diagramm der Abweichungen vom Soll-Durchmesser Recipro 50

Die schwarze Linie veranschaulicht die Soll-Werte gemäß der Herstellerangabe. Der Toleranzbereich nach ISO-Norm liegt für NiTi-Instrumente bei $\pm 20 \mu\text{m}$ und für Guttapercha bei $\pm 70 \mu\text{m}$ und wurde entsprechend der Farbe des jeweiligen Box-Plots farbig markiert.

Feile: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

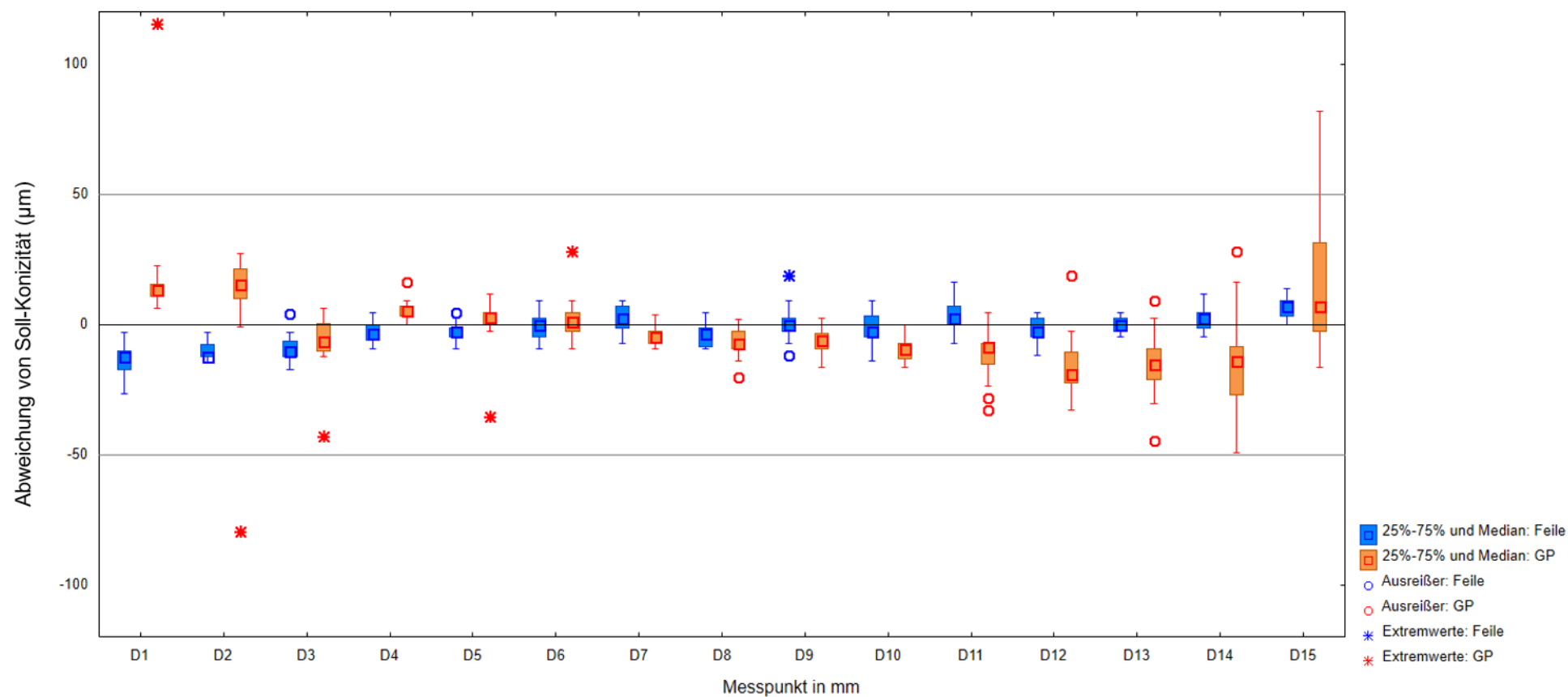


Abbildung 38: Box-Plot-Diagramm der Abweichung von der Soll-Konizität Reciproc 50

Die schwarze Linie stellt die Soll-Werte nach Herstellerangaben dar. Der Toleranzbereich $\pm 50 \mu\text{m}$ gemäß ANSI-/ADA-Standard wurde mit grauen Linien gekennzeichnet.

Feile: NiTi-Instrumente

GP: Guttapercha

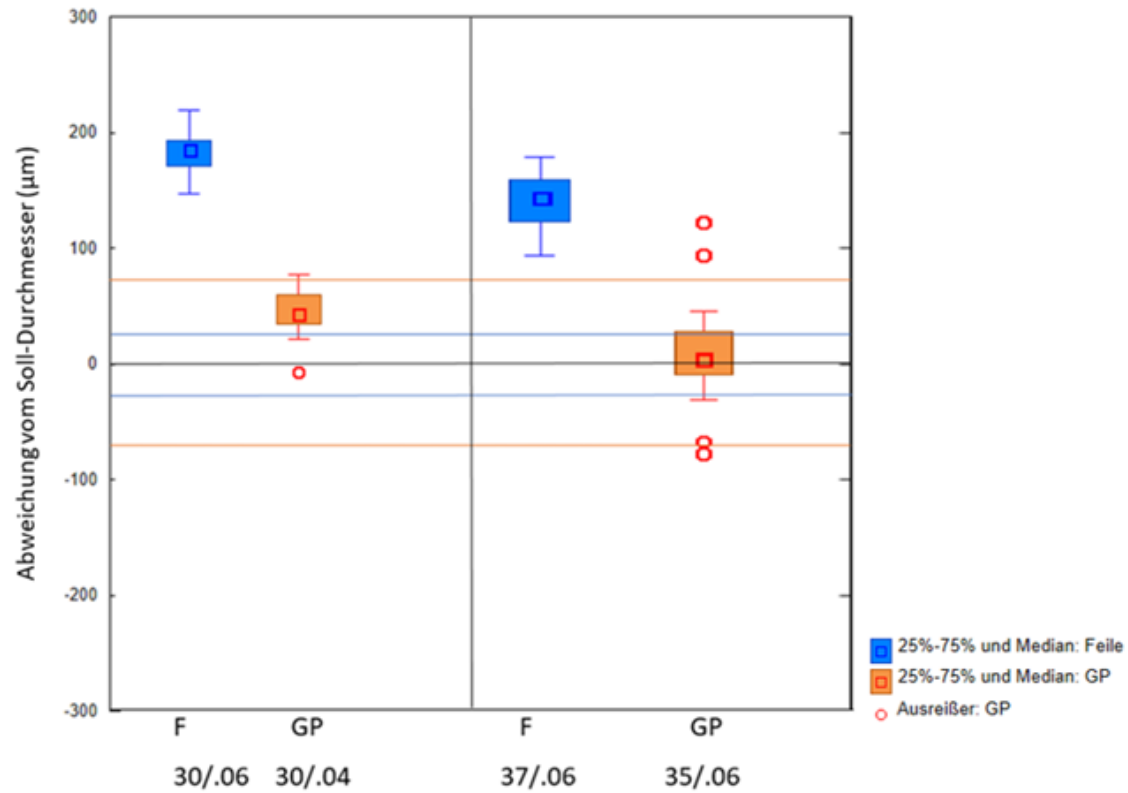


Abbildung 39: Box-Plot-Diagramm der Abweichungen vom Soll-Durchmesser an D13 von OneShape 30/.06 bzw. 30/.04 und 37/.06 bzw. 35/.06
 Die schwarze Linie veranschaulicht die Soll-Werte gemäß der Herstellerangabe. Der Toleranzbereich nach ISO-Norm liegt für NiTi-Instrumente bei $\pm 20 \mu\text{m}$ und für Guttapercha bei $\pm 70 \mu\text{m}$ und wurde entsprechend der Farbe des jeweiligen Box-Plots farbig markiert.
 Feile: NiTi-Instrument
 GP: Guttapercha

9 Materialliste

Geodreiecke	VIVESS, Rewe Group, Köln, Deutschland
Objektträger	SuperFrost Ultra Plus® Objektträger 75x25x1mm, Thermo Fisher Scientific Menzel B.V.& Co. KG, Braunschweig, Deutschland
Sekundenkleber	UHU GmbH & Co. KG Bühl, Deutschland
Kunststoffplateau	Venus® Flow Heraeus Kulzer GmbH Hanau, Deutschland
Formbarer Stopp	UHU Tac Klebepads Bühl, Deutschland
OneShape Instrumente 25/06	MICRO-MEGA®Besançon Cedex, Frankreich REF 20949002 LOT 031015
OneShape Instrumente 30/06	MICRO-MEGA®Besançon Cedex, Frankreich REF 20949202 LOT 031615
OneShape Instrumente 37/06	MICRO-MEGA®Besançon Cedex, Frankreich REF 20949212 LOT 031715
OneShape Guttapercha 25/06	MICRO-MEGA®Besançon Cedex, Frankreich REF 20600148 LOT 021013
OneShape Guttapercha 30/04	MICRO-MEGA®Besançon Cedex, Frankreich REF 20600149 LOT 031014
OneShape Guttapercha 35/06	MICRO-MEGA®Besançon Cedex, Frankreich REF 20600150 LOT 092015
F 360 Instrumente 25/04	Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland
F 360 Instrumente 35/04	Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland

F 360 Instrumente 45/04	Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland
F 360 Instrumente 55/04	Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland
F 360 Guttapercha 25/04	Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland REF GPF04 LOT B90780214
F 360 Guttapercha 35/04	Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland REF GPF04 LOT B90780214
F 360 Guttapercha 45/04	Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland REF GPF04 LOT B90780214
F 360 Guttapercha 55/04	Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland REF GPF04 LOT B90780214
Reciproc Instrumente 25	VDW GmbH, München, Deutschland REF V040212025025 LOT 129951, 1104001594
Reciproc Instrumente 40	VDW GmbH, München, Deutschland REF V040012025200 REF V040212025040 REF V040212025233 LOT 1108001684, 013483, 122741, 015749
Reciproc Instrumente 50	VDW GmbH, München, Deutschland REF V040212025050 REF V040012025200 REF V04212025233 LOT 125888, 015749, 013483, 1107001364, 1108001684
Reciproc Guttapercha 25	VDW GmbH, München, Deutschland REF V040214028050 REF V04214028237 LOT 111391H, 934390F

Reciproc Guttapercha 40	VDW GmbH, München, Deutschland REF V040214038040 REF V04214028237 LOT 109664H, 466074D
Reciproc Guttapercha 50	VDW GmbH, München, Deutschland REF V040214028050 REF V04214028237 LOT 111391H, 466074D
Permanentmarker	Faber-Castell, Stein, Deutschland
Mikroskop	Stemi SV11 Apo, Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Deutschland
Mikroskop-Digitalkamera	Diagnostic Instruments Inc. Model # 3.2.0 Serial # 206934, Scientific Instruments Company, Inc. Campbell, CA, USA
PC-Programm für das Mikroskop	SPOT Basic Image Capture Software, Burrells, MI, USA
Vermessungsprogramm	Axio Vision Zeiss Mikroskop-Software SE64 Rel. 4.9, 2013, Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Deutschland
Statistikprogramm	STATISTICA Version 13.0, 2015, STATISTICA Inc., Tulsa, OK, USA
Bildbearbeitungsprogramm	Microsoft Paint, 2016, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA
Digitalkamera	Canon EOS 1100D, Canon Inc., Tokio, Japan
Externes Auflicht	Bausch & Lomb Mikroskop Beleuchtung 31-33-36, New York, NY, USA

10 Literaturverzeichnis

- Alapati SB, Brantley WA, Svec TA, Powers JM, Mitchell JC (2003): Scanning electron microscope observations of new and used Nickel-Titanium rotary files. *J Endod* 29, 667–669
- Alapati SB, Brantley WA, Svec TA, Powers JM, Nusstein JM, Daehn GS (2004): Proposed role of embedded dentin chips for the clinical failure of Nickel-Titanium rotary instruments. *J Endod* 30, 339–341
- Arias A, Perez-Higueras JJ, de la Macorra JC (2012): Differences in cyclic fatigue resistance at apical and coronal levels of Reciproc and WaveOne new files. *J Endod* 38, 1244–1248
- Arnold M (2010): Techniken zur Wurzelkanalfüllung - Bewertung und praktische Hinweise. *BZB* 60–65
- Basrani B, Haapasalo M (2012): Update on endodontic irrigating solutions. *Endod Top* 27, 74–102
- Baumann MA, Roth A (1999): Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 88, 714–718
- Bechelli C, Orlandini SZ, Colafranceschi M (1999): Scanning electron microscope study on the efficacy of root canal wall debridement of hand versus Lightspeed instrumentation. *Int Endod J* 32, 484–493
- Beer R, Baumann MA: *Zahnatlas der Zahnmedizin – Endodontologie*. 1.Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York 1997
- Beer R, Baumann MA: *Endodontologie - Farbatlas der Zahnmedizin*. 2.Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York 2007
- Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D (2004): Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod* 30, 228–230
- Bürklein S, Hinschitzka K, Dammaschke T, Schäfer E (2012): Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int Endod J* 45, 449–461
- Bürklein S, Benten S, Schäfer E (2013): Shaping ability of different single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 46, 590–597
- Bürklein S, Benten S, Schäfer E (2014): Quantitative evaluation of apically extruded debris with different single-file systems: Reciproc, F360 and OneShape versus Mtwo. *Int Endod J* 47, 405–409
- Camps J, Pertot WJ (1994): Torsional and stiffness properties of canal master U stainless steel and nitinol instruments. *J Endod* 20, 395–398
- Chesler MB, Tordik PA, Imamura GM, Goodell GG (2013): Intramanufacturer diameter and taper variability of rotary instruments and their corresponding gutta-percha cones. *J Endod* 39, 538–541

- Civjan S, Huget EF, DeSimon LB (1975): Potential Applications of Certain Nickel-Titanium (Nitinol) Alloys. *J Dent Res* 54, 89–96
- Cohen B, Combe E, Lilley J (1992): Effect of thermal placement techniques on some physical properties of gutta-percha. *Int Endod J* 25, 292–6
- Cunningham KP, Walker MP, Kulild JC, Lask JT (2006): Variability of the diameter and taper of size #30, 0.04 gutta-percha cones. *J Endod* 32, 1081–1084
- Davis SR, Brayton SM, Goldman M (1972): The morphology of the prepared root canal: A study utilizing injectable silicone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 34, 642–648
- De-Deus G, Moreira EJJ, Lopes HP, Elias CN (2010): Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int Endod J* 43, 1063–1068
- DGZMK (2000): Wissenschaftliche Stellungnahme: Wurzelfüllpasten und -stifte. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 55, 9–11
- Dietz DB, Di Fiore PM, Bahcall JK, Lautenschlager EP (2000): Effect of rotational speed on the breakage of Nickel-Titanium rotary files. *J Endod* 26, 68–71
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2008): Zahnheilkunde - Wurzelkanalinstrumente - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren (ISO 3630-1:2008); Deutsche Fassung EN ISO 3630-1:2008
- Dummer PMH, Lyle L, Rawle J, Kennedy JK (1994): A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. *Int Endod J* 27, 32–38
- Dummer PMH, Al-Omari MAO, Bryant S (1998): Comparison of the performance of four files with rounded tips during shaping of simulated root canals. *J Endod* 24, 364–371
- Esposito PT, Cunningham CJ (1995): A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *J Endod* 21, 173–176
- Euroflex Nitinol Werkstoffdaten.
https://www.euroflex.de/fileadmin/content/PDF/Datenbl%C3%A4tter_NEU_dt/Imagebrosch%C3%BCre_2014_01.pdf; Zugriff am 18.07.2017
- Europäische Gesellschaft für Endodontologie (2004): Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung-Konsenspapier. *Endodontie* 13/3, 271–284
- Friedman CM, Sandrik JL, Heuer MA, Rapp GW (1975): Composition and mechanical properties of gutta-percha endodontic points. *J Dent Res* 54, 921–925
- Gambarini G (2000): Rationale for the use of low-torque endodontic motors in root canal instrumentation. *Dent Traumatol* 16, 95–100
- Gambarini G, Laszkiewicz J (2002): A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments. *Int Endod J* 35, 422–427
- Gambill JM, Alder M, del Rio CE (1996): Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod* 22, 369–375

- Gilhooly RMP, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PMH (2000): Comparison of cold lateral condensation and a warm multiphase gutta-percha technique for obturating curved root canals. *Int Endod J* 33, 415–420
- Glosson CR, Haller RH, Brent Dove S, del Rio CE (1995): A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endod* 21, 146–151
- Goldberg F, Abramovich A (1977): Analysis of the effect of EDTAC on the dentinal walls of the root canal. *J Endod* 3, 101–105
- Goodman A, Schilder H, Aldrich W (1974): The thermomechanical properties of gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 37, 954–961
- Gordon MPJ, Love RM, Chandler NP (2005): An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. *Int Endod J* 38, 87–96
- Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR (2009): Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod* 35, 791–804
- Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM (2005): Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 38, 743–752
- Gurney BF, Best EJ, Gervasio G (1971): Physical measurements on gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 260–270
- Haikel Y, Serfaty R, Bateman G, Senger B, Allemann C (1999): Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 25, 434–440
- Hashem AAR, Ghoneim AG, Lutfy RA, Foda MY, Omar GAF (2012): Geometric analysis of root canals prepared by four rotary NiTi shaping systems. *J Endod* 38, 996–1000
- Hata G, Kawazoe S, Toda T, Weine FS (1995): Sealing ability of thermoplasticized gutta-percha fill techniques as assessed by a new method of determining apical leakage. *J Endod* 21, 167–172
- Hatch GW, Roberts S, Joyce AP, Runner R, McPherson III JC (2008): Comparative study of the variability of 0.06 tapered rotary endodontic files to current taper standards. *J Endod* 34, 463–465
- Heidemann D (1989): Die Wurzelfüllung-manuell-maschinell. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 44, 414–416
- Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. 5.; Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln 2009
- Hülsmann M (1993): Guttapercha - Geschichte, Chemie, Eigenschaften und Verarbeitung. *Endodontie* 2, 115–125
- Hülsmann M (2006): Die Desinfektion des endodontischen Systems. *Endodontie* 15, 147–168
- Hülsmann M: Checkliste der Zahnmedizin Endodontie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York 2008

- Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH (2005): Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Top* 10, 30–76
- Ingle JI (1955): The need for endodontic instrument standardization. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 8, 1211–1213
- Ingle JI (1961): A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 14, 83–91
- International Organization for Standardization (2006): International Standard: ISO 6877 Dentistry root-canal obturating points; 2. Auflage, Englische Fassung.
- Jacobson HLJ, Xia T, Baumgartner JC, Marshall JG, Beeler WJ (2002): Microbial Leakage Evaluation of the Continuous Wave of Condensation. *J Endod* 28, 269–271
- Jeon H-J, Paranjpe A, Ha J-H, Kim E, Lee W, Kim H-C (2014): Apical Enlargement According to Different Pecking Times at Working Length Using Reciprocating Files. *J Endod* 40, 281–284
- Jeon I-S, Spångberg LSW, Yoon T-C, Kazemi RB, Kum K-Y (2003): Smear layer production by 3 rotary reamers with different cutting blade designs in straight root canals: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 96, 601–607
- Kapalas A, Lambrianidis T (2000): Factors associated with root canal ledging during instrumentation. *Dent Traumatol* 16, 229–231
- Kerekes K (1979): Evaluation of standardized root canal instruments and obturating points. *J Endod* 5, 145–150
- Kiefner P, Ban M, De-Deus G (2014): Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments? *Int Endod J* 47, 430–436
- Kim H-C, Kwak S-W, Cheung GS-P, Ko D-H, Chung S-M, Lee W (2012): Cyclic fatigue and torsional resistance of two new Nickel-Titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc Versus WaveOne. *J Endod* 38, 541–544
- Kim S-Y, Lim S-H, Gang S-N, Kim H-J (2013): Crown and root lengths of incisors, canines, and premolars measured by cone-beam computed tomography in patients with malocclusions. *Korean J Orthod* 43, 271
- Koçak S, Koçak MM, Sağlam BC, Türker SA, Sağsen B, Er Ö (2013): Apical extrusion of debris using self-adjusting file, reciprocating single-file, and 2 rotary instrumentation systems. *J Endod* 39, 1278–1280
- Koch K, Brave D (2002): Design features of rotary files and how they affect clinical performance. *Oral Health* 96, 601–607
- Komet Dental.
https://www.kometdental.de/~ /media/KometDental/Brochures/SyncFolder/418155_pdf.pdf?5905b1a0-2ba1-4ab7-ba48-e6a0689eb46b; Zugriff am 22.02.2017
- KRINKO, RKI, BfArM (2012): Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten. *Bundesgesundheitsbl* 55, 1244–1310

- Kuhn G, Tavernier B, Jordan L (2001): Influence of structure on Nickel-Titanium endodontic instruments failure. *J Endod* 27, 516–520
- Kuhn WG, Carnes DL, Clement DJ, Walker WA (1997): Effect of tip design of nickel-titanium and stainless steel files on root canal preparation. *J Endod* 23, 735–738
- Kuttler Y (1979): Analysis and comparison of root canal filling techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 48, 153–159
- Lask JT, Walker MP, Kulild JC, Cunningham KP, Shull PA (2006): Variability of the diameter and taper of size #30, 0.04 Nickel-Titanium rotary files. *J Endod* 32, 1171–1173
- Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu M-K, Shemesh H (2013): The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod* 39, 1054–1056
- Mandel E, Adib-Yazdi M, Benhamou L-M, Lachkar T, Mesgouez C, Sobel M (1999): Rotary Ni-Ti profile systems for preparing curved canals in resin blocks: influence of operator on instrument breakage. *Int Endod J* 32, 436–443
- McSpadden J: *Mastering Endodontic Instrumentation*. Arbor Books, Ramsey, New Jersey 2006
- MICRO-MEGA: Endobook.
http://micro-mega.com/de/wp-content/uploads/2012/10/EndoBook_DE1_14_v1.pdf; Zugriff am 24.02.2017a
- MICRO-MEGA: Broschüre: OneShape. Complete canal shaping with only one single file in continuous rotation!
http://micro-mega.com/de/wp-content/uploads/2012/10/OneShape_brochure.pdf;
Zugriff am 24.02.2017b
- Moule AJ, Kellaway R, Glarkson R, Rowell J, Macfarlane R, Lewis D, Cameron T, Atkins D (2002): Variability of master gutta-percha cones. *Aust Endod J* 28, 38–43
- Nabeshima CK, Caballero-Flores H, Cai S, Aranguren J, Borges Britto ML, de Lima Machado ME (2014): Bacterial removal promoted by 2 single-file systems: Wave One and One Shape. *J Endod* 40, 1995–1998
- Ng Y-L, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K (2007): Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature – Part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *Int Endod J* 40, 921–939
- Ørstavik D, Haapasalo M (1990): Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Dent Traumatol* 6, 142–149
- Paqué F, Musch U, Hülsmann M (2005): Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 38, 8–16
- Parashos P, Messer HH (2006): Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod* 32, 1031–1043
- Parashos P, Gordon I, Messer HH (2004): Factors influencing defects of rotary Nickel-Titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod* 30, 722–725

- Patiño PV, Biedma BM, Liébana CR, Cantatore G, Bahillo JG (2005): The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod* 31, 114–116
- Pertot W-J, Camps J, Damiani M-G (1995): Transportation of curved canals prepared with canal master U, canal master U NiTi, and stainless steel K-type files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 79, 504–509
- Peters OA (2004): Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: A review. *J Endod* 30, 559–567
- Peters OA, Schönenberger K, Laib A (2001): Effects of four Ni–Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 34, 221–230
- Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F (2003): ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J* 36, 86–92
- Petschelt A (1989): Endodontie: Maschinell-manuell? Die Aufbereitung und Spülung des Wurzelkanals. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 44, 407–413
- Powell SE, Simon JHS, Maze BB (1986): A comparison of the effect of modified and non-modified instrument tips on apical canal configuration. *J Endod* 12, 293–300
- Rangel S, Cremonese R, Bryant S, Dummer P (2005): Shaping ability of RaCe rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. *J Endod* 31, 460–463
- Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG (1985): The “balanced force” concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 11, 203–211
- Rödig T, Hülsmann M, Nordmeyer S, Drebensted S: *Grundlagen der modernen Endodontie*. Spitta Verlag, Balingen, 2009
- Roggendorf MJ, Frankenberger R (2012): Maschinelle Nickel-Titan-Systeme im Überblick. *Quintessenz* 63, 31–37
- Ruddle CJ (2012): Canal preparation: Single-file shaping technique. <http://www.dentistrytoday.com/endodontics/6717-canal-preparation-single-file-shaping-technique>; Zugriff am 24.02.2017
- Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JEA, Messer HH (2000): Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 26, 161–165
- Saunders WP, Saunders EM (1994): Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review. *Dent Traumatol* 10, 105–108
- Schäfer E, Lau R (1999): Comparison of cutting efficiency and instrumentation of curved canals with nickel-titanium and stainless-steel instruments. *J Endod* 25, 427–430
- Schäfer E, Fritzenschaft B (1999): Vergleichende Untersuchung zweier permanentrotierender Wurzelkanalaufbereitungssysteme auf Nickel-Titan-Basis. *Endodontie* 8, 213–222

- Schäfer E, Zapke K (2000): A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod* 26, 660–664
- Schäfer E, Lohmann D (2002): Efficiency of rotary nickel–titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 35, 514–521
- Schäfer E, Oitzinger M (2008): Cutting efficiency of five different types of rotary Nickel–Titanium instruments. *J Endod* 34, 198–200
- Schilder H (1967): Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* 723–44
- Schilder H, Goodman A, Aldrich W (1974): The thermomechanical properties of gutta-percha: I. The compressibility of gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 37, 946–953
- Schneider K, Korkmaz Y, Addicks K, Lang H, Raab WH-M (2007): Prion protein (PrP) in human teeth: An unprecedented pointer to PrP's function. *J Endod* 33, 110–113
- Short JA, Morgan LA, Baumgartner JC (1997): A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques. *J Endod* 23, 503–507
- Skinner RL, Himel VT (1987): The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha with and without the use of sealers. *J Endod* 13, 315–317
- Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, Angerame D (2011): Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 44, 362–369
- Sonntag D (2005): Single-length-Technik. *J Endod* 1, 36–37
- Sonntag D, Peters OA (2007): Effect of prion decontamination protocols on Nickel-Titanium rotary surfaces. *J Endod* 33, 442–446
- Sonntag D, Guntermann A, Kim SK, Stachniss V (2003): Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary Ni–Ti files performed by students. *Int Endod J* 36, 246–255
- Städtler P, Jeglitsch M (1993): Elastizität und Maßtreue endodontische Aufbereitungsinstrumente. *Endodontie* 1, 25–31
- Stenman E, Spångberg LSW (1993): Root canal instruments are poorly standardized. *J Endod* 19, 327–334
- Stewart GG (1955): The importance of chemomechanical preparation of the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 8, 993–997
- Tagger M, Katz A, Tamse A (1994): Apical seal using the GPII method in straight canals compared with lateral condensation, with or without sealer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 78, 225–231

- Thompson SA (2000): An overview of nickel–titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 33, 297–310
- Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM (2000): Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of Nickel-Titanium root canal instrument models. *J Endod* 26, 414–417
- Varela-Patiño P, Ibañez-Párraga A, Rivas-Mundiña B, Cantatore G, Otero XL, Martín-Biedma B (2010): Alternating versus continuous rotation: A comparative study of the effect on instrument life. *J Endod* 36, 157–159
- VDW RA.
http://www.vdwdental.com/fileadmin/redaktion/downloads/produkte/RECIPROC_user_brochure_de_Rev6_web.pdf; Zugriff am 21.02.2017a
- VDW RP.
http://www.vdwdental.com/fileadmin/redaktion/downloads/produkte/RECIPROC_product_brochure_A4_de_rev3_web.pdf; Zugriff am 21.02.2017b
- VDW SA-G.
<http://www.vdwdental.com/fileadmin/redaktion/downloads/infomaterial/SDB-alpha-guttapercha-d.pdf>; Zugriff am 21.02.2017
- Viana ACD, Chaves Craveiro de Melo M, Guiomar de Azevedo Bahia M, Lopes Buono VT (2010): Relationship between flexibility and physical, chemical, and geometric characteristics of rotary nickel-titanium instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 110, 527–533
- von Arx T, Jensen SS, Bornstein MM (2015): Changes of root length and root-to-crown ratio after apical surgery: An analysis by using cone-beam computed tomography. *J Endod* 41, 1424–1429
- Walia H, Brantley WA, Gerstein H (1988): An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. *J Endod* 14, 346–351
- Weber T: *Memorix Zahnmedizin*. 4., unveränderte Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York 2016
- Whitworth J (2005): Methods of filling root canals: principles and practices. *Endod Top* 12, 2–24
- Wolcott J, Himel VT (1997): Torsional properties of nickel-titanium versus stainless steel endodontic files. *J Endod* 23, 217–220
- Wu M-K, Wesselink PR, Boersma J (1995): A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J* 28, 185–9
- Yared G (2008): Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 41, 339–344
- Yared G (2011): Ein neues Konzept: Wurzelkanalaufbereitung mit nur einem reziprok arbeitenden Instrument ohne initiale Handaufbereitung. *Anwenderbroschüre Reciproc®-System*, 1-7

- Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S (2007): A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. *J Oral Sci* 49, 47–52
- Zehnder M (2006): Root canal irrigants. *J Endod* 32, 389–398
- Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T (2005): Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod* 31, 817–820
- Zinelis S, Magnissalis EA, Margelos J, Lambrianidis T (2002): Clinical relevance of standardization of endodontic files dimensions according to the ISO 3630-1 specification. *J Endod* 28, 367–370

Danksagung

Herzlich danke ich Frau PD Dr. Tina Rödiger für die freundliche Überlassung des Themas, für ihre äußerst engagierte, umfassende und hilfsbereite Unterstützung bei der Planung und Durchführung der Arbeit. Des Weiteren danke ich ihr für das geduldige Korrekturlesen der Niederschrift.

Erwähnenswert ist auch die sehr gute Zusammenarbeit zwischen Frau PD Dr. Sabine Sennhenn-Kirchner und Frau PD Dr. Tina Rödiger im Rahmen der konstruktiven Zwischengespräche, dadurch konnten zahlreiche methodischen Probleme direkt gelöst werden. Dafür bedanke ich mich bei beiden herzlich.

Danke sagen möchte ich auch Frau Dr. rer. nat. Marta Rizk-Lungová für den fachlichen Rat in Bezug auf die Versuchsdurchführung und die ausführliche Beantwortung methodischer Fragen.

Für die Einweisung und Hilfestellung am Lichtmikroskop möchte ich Herrn Hans-Georg Sydow aus der Abteilung für Anatomie und Embryologie der Universitätsmedizin Göttingen danken.

Außerdem bedanke ich mich für die Unterstützung in statistischen Fragen und den langwierigen Auswertungen bei Frau Maria Stark und Frau Clara Schartner im Rahmen des „Betreuten Arbeitens“ der Abteilung Medizinische Statistik der Universitätsmedizin Göttingen.

Lebenslauf

Am 18.05.1992 bin ich als erstes von zwei Kindern meiner Eltern in Lippstadt geboren. Im Jahre 1998 erfolgte meine Einschulung in die städtische Martin-Grundschule Lippstadt. Im Anschluss besuchte ich von 2002 bis 2008 die Drost-Rose-Realschule in Lippstadt.

Darauf wechselte in die Oberstufe des privaten Evangelischen Gymnasiums in Lippstadt; die allgemeine Hochschulreife erlangte ich im Juli 2011.

Im Anschluss begann ich zum Wintersemester 2011/2012 mit dem Studium der Zahnmedizin an der Georg-August-Universität Göttingen und schloss dieses in Regelstudienzeit und mit einem sehr guten Staatsexamen im November 2016 ab. 2016 erhielt ich ebenfalls die zahnärztliche Approbation. Während meines Studiums begann ich im November 2015 mit der wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen meiner Dissertation. Nach Abschluss des Studiums beschäftige ich mich bis September 2017 ausschließlich mit der Dissertation. Seit September 2017 praktiziere ich als Assistenz Zahnärztin in einer freien Praxis in Neumünster (Schleswig-Holstein).