

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann
des Fachbereichs Medizin der Phillips-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg

**Dichtigkeitsuntersuchung von Wurzelfüllungen anhand
einer quantitativen Glucose-Penetrations-Methode**

Inaugural-Dissertation zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

Dem Fachbereich Medizin der
Phillips-Universität Marburg
vorgelegt von

Heike Bauer
aus Freiburg im Breisgau

Marburg 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität am: 27.10.08

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. Rothmund

Referent: PD Dr. David Sonntag

1. Korreferent: PD Dr. Michael Stelzel

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einleitung und Problemstellung</i>	1
2	<i>Literaturübersicht</i>	4
2.1	<i>Ziele der Wurzelkanalbehandlung</i>	4
2.2	<i>Ziele der Wurzelkanalaufbereitung</i>	4
2.2.1	<i>Arbeitslängenbestimmung</i>	4
2.2.2	<i>Desinfektion</i>	5
2.2.3	<i>Manuelle Aufbereitung</i>	6
2.2.4	<i>Maschinelle Aufbereitung</i>	7
2.3	<i>Ziele der Wurzelkanalfüllung</i>	8
2.4	<i>Wurzelfüllmaterialien</i>	8
2.4.1	<i>allgemeine Anforderungen an Füllmaterialien</i>	8
2.4.2	<i>Wurzelfüllpasten</i>	8
2.4.3	<i>Guttapercha</i>	10
2.4.4	<i>Resilon-System</i>	12
2.4.5	<i>Thermafil-System</i>	13
2.4.6	<i>Titan- und Silberstifte</i>	14
2.5	<i>Wurzelfülltechniken</i>	15
2.5.1	<i>Laterale Kompaktionstechnik</i>	15
2.5.2	<i>Vertikale Kompaktionstechnik</i>	15
2.5.3	<i>Zentralstiftechnik</i>	18
2.6	<i>In-vitro-Methoden zur Überprüfung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung</i>	20
2.6.1	<i>Penetrationsuntersuchungen</i>	20
2.6.2	<i>Farbstoff-Penetrationstest</i>	20
2.6.3	<i>Bakterien-Penetrationstest</i>	22
2.6.4	<i>Penetrationstest durch Flüssigkeitsfiltration</i>	23
2.6.5	<i>Glucose-Penetration</i>	23
2.6.6	<i>Radiologische Untersuchungen</i>	24

3	Zielsetzung	26
4	Material und Methode	28
4.1	Versuchsdesign	29
4.2	Sammeln der Zähne	30
4.3	Einschluss- und Ausschlusskriterien	30
4.4	Röntgen der Zähne	30
4.5	Zahnvorbereitung 1	31
4.6	Verteilung der Zähne	31
4.7	Wurzelkanalaufbereitung	32
4.8	Wurzelfüllung	33
4.8.1	<i>positive Kontrollgruppe: keine Wurzelfüllung</i>	33
4.8.2	<i>negative Kontrollgruppe: Wurzelkanalfüllung vorhanden</i>	33
4.8.3	<i>Gruppe Guttaflow: Zentralstifttechnik mit Guttaflow</i>	33
4.8.4	<i>Gruppe Gutta lateral: Laterale Kompaktion mit Guttapercha und AH plus</i>	35
4.8.5	<i>Gruppe RealSeal lateral: Laterale Kompaktion mit dem RealSeal-System</i>	36
4.8.6	<i>Gruppe Gutta vertikal: Vertikale Kompaktion mit Guttapercha und AH plus</i>	38
4.8.7	<i>Gruppe RealSeal vertikal: Vertikale Kompaktion mit dem RealSeal-System</i>	39
4.9	Zahnvorbereitung 2	40
4.10	Versuchsaufbau	41
4.10.1	<i>Aufbau der Versuchsanordnung</i>	41
4.10.2	<i>Einfügen der Zahnwurzeln</i>	44
4.10.3	<i>Befüllen mit Glucoselösung und Natriumacidlösung</i>	45
4.10.4	<i>Messung der Verdunstung</i>	46
4.10.5	<i>Lagerung im Wärmeschrank</i>	46
4.10.6	<i>Entnahme der Proben und Wiederbefüllung</i>	47
4.11	Bestimmung der Glucosekonzentration	47

4.11.1	<i>Die Glucoseoxidase-Methode</i>	47
4.11.2	<i>Bestimmung der Standardlösungen</i>	48
4.11.3	<i>Befüllung der Mikrotiterplatte und Inkubation</i>	48
4.11.4	<i>Spektrophotometrie und Bestimmung der Glucosekonzentration</i>	49
4.12	Vorversuche	51
4.13	Statistik	52
4.13.1	<i>Differenzierung der Daten</i>	52
4.13.2	<i>Signifikanzniveau</i>	52
4.13.3	<i>Statistische Auswertung</i>	53
4.13.3.1	<i>Boxplotdiagramme</i>	53
4.13.3.2	<i>Der Median</i>	53
4.13.3.3	<i>Quartile</i>	54
4.13.3.4	<i>Erstellung der Boxplotdiagramme</i>	54
4.13.3.5	<i>Boxplotdiagramme pro Gruppe</i>	54
4.13.3.6	<i>Boxplotdiagramme pro Messtag</i>	54
5	Ergebnisse	55
5.1	Ergebnisse der Kontrollgruppen	55
5.1.1	<i>Ergebnisse der positiven und der negativen Kontrollgruppe</i>	55
5.2	Vergleich der Messungen an den Tagen 7, 10, 15, 20, 30 pro Gruppe	57
5.2.1	<i>Ergebnisse der Messung mit Guttaflow</i>	57
5.2.2	<i>Ergebnisse der Messung mit Gutta lateral</i>	59
5.2.3	<i>Ergebnisse der Messung mit RealSeal lateral</i>	61
5.2.4	<i>Ergebnisse der Messung mit Gutta vertikal</i>	63
5.2.5	<i>Ergebnisse der Messung mit RealSeal vertikal</i>	65
5.3	Gruppenvergleich pro Messtag	68
5.3.1	<i>Ergebnisse der Messung an Tag 7</i>	68
5.3.2	<i>Ergebnisse der Messung an Tag 10</i>	70
5.3.3	<i>Ergebnisse der Messung an Tag 15</i>	72
5.3.4	<i>Ergebnisse der Messung an Tag 20</i>	74
5.3.5	<i>Ergebnisse der Messung an Tag 30</i>	76
5.4	Prüfung der Arbeitshypothesen	78

6	<i>Diskussion</i>	80
6.1	<i>Diskussion der Problemstellung</i>	80
6.2	<i>Diskussion der Zielsetzung</i>	80
6.3	<i>Diskussion von Material und Methode</i>	81
6.3.1	<i>Anforderungen an die Versuchsobjekte</i>	81
6.3.2	<i>Arbeitslängenbestimmung</i>	83
6.3.3	<i>Wurzelkanalaufbereitung</i>	83
6.3.4	<i>Spülkonzept</i>	85
6.3.5	<i>Wurzelfüllung</i>	87
6.3.6	<i>Glukose-Penetrationstest</i>	88
6.4	<i>Diskussion der Statistik</i>	92
6.5	<i>Diskussion der Ergebnisse</i>	93
6.5.1	<i>Kontrollgruppen</i>	93
6.5.2	<i>Ergebnisse aus dem Vergleiche der Messtage 7, 10, 15, 20 und 30 pro Gruppe</i>	93
6.5.3	<i>Ergebnisse der Gruppenvergleiche pro Messtag</i>	94
6.5.3.1	<i>Ergebnisse an den Messtagen 7, 10, 15, 20 und 30 aus dem Vergleich des Goldstandards „Gutta lateral“ mit der Gruppe:</i>	94
6.5.3.1.1	<i>Guttaflow</i>	94
6.5.3.1.2	<i>RealSeal lateral</i>	96
6.5.3.1.3	<i>Gutta vertikal</i>	100
6.5.3.1.4	<i>RealSeal vertikal</i>	102
6.6	<i>Schlussfolgerungen</i>	104
7	<i>Zusammenfassungen</i>	105
7.1	<i>Zusammenfassung für das Rigorosum</i>	105
7.2	<i>Zusammenfassung für die Marburger Bibliographie</i>	111
7.3	<i>Zusammenfassung in Englisch</i>	113
8	<i>Literaturverzeichnis</i>	115
9	<i>Anhang/Materialliste</i>	135

1 Einleitung und Problemstellung

Die Endodontologie beschäftigt sich mit der Ätiologie, Pathologie, Diagnose und Therapie von Erkrankungen der Zahnpulpa, des umliegenden Dentins und des periradikulären Gebietes.

Ist die Pulpa eines Zahnes irreversibel geschädigt, nekrotisch oder ist vor restaurativen Maßnahmen eine Devitalisierung der Pulpa notwendig, ist eine Wurzelkanalbehandlung indiziert. Die Wurzelkanalbehandlung umfasst die chemo-mechanische Aufbereitung sowie die Füllung des Wurzelkanals.

Um eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung zu erzielen, sind die vollständige Entfernung von Pulpagewebe und Mikroorganismen sowie die dichte Obturation des Wurzelkanals von entscheidender Bedeutung. Der Eintritt von Flüssigkeiten oder Bakterien entlang einer Grenzfläche zwischen Zahn und Füllmaterial wird als Mikroleakage bezeichnet. Das koronale Mikroleakage wird heute als wichtiger Grund für den Misserfolg bei einer Wurzelkanalbehandlung angesehen. Deshalb soll die Wurzelkanalfüllung das gesamte Kanalsystem sowohl nach apikal als auch nach koronal hermetisch abdichten, um das Eindringen von Mikroorganismen zu verhindern. Zusätzlich sollen auch akzessorische Kanäle und offen liegende Dentintubuli mitverschlossen werden.

Die bei einer Wurzelkanalbehandlung verwendeten Wurzelkanalfüllmaterialien müssen bestimmte Anforderungen erfüllen. Sie sollen biokompatibel, dimensionsstabil, undurchlässig und unlöslich in Gewebeflüssigkeiten, radioopak und revidierbar sein. Außerdem müssen sie an der Zahnhartsubstanz haften können und dürfen das Wachstum von Bakterien nicht fördern.

Da diese Anforderungen bis heute von keinem Material erfüllt werden, wird ein halbfestes Kernmaterial in Kombination mit einem Wurzelkanalsealer verwendet. Der Sealer soll dabei die Inkongruenzen zwischen dem halbfestem Kernmaterial und der Wurzelkanalwand formstabil ausfüllen.

Die Kombination von Guttapercha mit einem Sealer hat sich aufgrund ihrer guten Eigenschaften über nahezu 100 Jahre bewährt, da Guttapercha biokompatibel, einfach zu applizieren und gleichermaßen für Kalt- wie auch für Warmfülltechniken geeignet ist.

Trotzdem kann auch die Kombination dieser Materialien keinen absolut dichten Verschluss des Kanalsystems gewährleisten. Eine vollständige Reinfektion des Kanalsystems ist bei unzureichender koronaler Abdichtung schon nach drei Tagen möglich.

Neuere Wurzelkanalfüllmaterialien versuchen durch Herstellung eines geeigneten Verbunds zwischen Kanalwand und Kanalfüllmaterial die Abdichtung zu verbessern. Dieses Ziel soll zum einen durch die Entwicklung neuer Sealer und zum anderen durch die Entwicklung einer sich adhäsiv mit der Kanalwand verbindenden Wurzelfüllung erreicht werden.

Daher stellt sich die Frage, ob neuere Materialien hinsichtlich ihrer Fähigkeit der Kanalabdichtung das jahrelang bewährte Guttapercha in Verbindung mit einem traditionellen Sealer ersetzen können.

Um die in ihrer anatomischen Konfiguration sehr vielfältigen Wurzelkanäle dauerhaft abdichten zu können, ist für die Wurzelkanalfüllung ein geeignetes Kompaktionsverfahren erforderlich.

An deutschen Universitäten gilt die laterale Kompaktion unter Verwendung von Guttapercha-Stiften nach Weine noch immer als Goldstandard. Mit der lateralen Kompaktions-Technik können großlumige und gerade Kanäle ideal gefüllt werden. Nachteile der lateralen Kompaktionstechnik sind die mangelhafte Anpassung der Füllung an den Kanalverlauf und die somit potentiell unterschiedliche Schichtdicke des Sealers innerhalb der Wurzelfüllung. Kanalausbuchtungen werden entweder nur unvollständig mit Guttapercha oder ausschließlich mit Sealer gefüllt.

Eine andere Fülltechnik ist die vertikale Kompaktion, welche im Jahre 1967 von Schilder als Methode zur „dreidimensionalen Wurzelfüllung“ publiziert wurde. Die vertikale Kompaktionstechnik eignet sich gut zur Obturation des gesamten Kanalsystems einschließlich lateraler Kanäle. Jedoch ist sie im Vergleich zu der einfach und schnell zu erlernenden lateralen Kompaktion sehr techniksensitiv und es besteht das im Vergleich zur lateralen Kompaktion erhöhte Risiko, Sealer in periapikales Gewebe zu überpressen.

Ein anderes gängiges Verfahren zur Obturation von Wurzelkanälen ist die Zentralstiftechnik. Sie wurde im Jahre 1985 von Ingle vorgestellt und bietet einen guten Verschluss bei kreisrunden Kanälen. Sie hat gegenüber den Kompaktionsverfahren einen Zeitvorteil, ist aber indikationsbeschränkt, da bei vielen

ovalen Kanälen die Wandständigkeit des Kernmaterials nicht als optimal bezeichnet werden kann.

Ziel dieser Arbeit ist es, drei moderne Wurzelfüllmaterialien unter Verwendung drei verschiedener Wurzelkanaltechniken gegen den Goldstandard in Bezug auf ihre Dichtigkeit zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

2 Literaturübersicht

2.1 Ziele der Wurzelkanalbehandlung

Das Ziel einer Wurzelkanalbehandlung ist die langfristige Erhaltung des Zahnes als funktionsfähige Kaueinheit und die Erhaltung oder Wiederherstellung gesunder periradikulärer Strukturen (DGZ 2005).

Eine Wurzelkanalbehandlung wird primär dann durchgeführt, wenn die Pulpa irreversibel geschädigt oder avital ist oder bereits entfernt wurde, um einer apikalen Parodontitis vorzubeugen oder diese zu therapieren. Eine Wurzelkanalbehandlung dient entweder dem Zweck, die Asepsis des Wurzelkanalsystems aufrecht zu erhalten oder dieses zu desinfizieren (ESE 2006).

Die Kernpunkte der Wurzelkanalbehandlung sind das Auffinden, die Aufbereitung, die Desinfektion und die dichte Obturation der Kanalsysteme (Peters 2004).

2.2 Ziele der Wurzelkanalaufbereitung

Die Ziele der Wurzelkanalaufbereitung sind: (ESE 2006)

- Verbliebenes Pulpagewebe zu entfernen
- Mikroorganismen zu eliminieren
- Debris zu entfernen
- Den oder die Wurzelkanäle in eine Form zu bringen, die eine Reinigung und Füllung des Wurzelkanalsystems ermöglicht

Dabei sollte zum einen der präparierte Kanal den ursprünglichen Kanal umschließen und von koronal nach apikal kontinuierlich konisch zulaufen, zum anderen sollte die apikale Konstriktion erhalten bleiben und gleichzeitig den Endpunkt des präparierten Kanals darstellen.

2.2.1 Arbeitslängenbestimmung

Die Bestimmung der Arbeitslänge ermöglicht eine Wurzelkanalaufbereitung, die direkt an die Zement-Dentin-Grenze heranreicht. Diese (apikale Konstriktion) befindet sich gewöhnlich zwischen 0,5 und 2 mm vom röntgenologischen Apex entfernt (ESE 2006).

Allerdings ergeben sich aufgrund der Variabilität der Form und Lokalisation der apikalen Konstriktion oft Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Arbeitslänge (Gyorfi & Fazekas 2006).

Elektrometrische Methoden zur Arbeitslängenbestimmung geben direkte Anhaltspunkte für die Lokalisierung der apikalen Konstriktion und sind der röntgenologischen Bestimmung überlegen (Pratten et al. 1996; De Moor et al. 1999). Trotzdem sollte nach Empfehlung der europäischen Fachgesellschaften auch aus forensischen Gründen eine zusätzliche röntgenologische Kontrolle erfolgen (ESE 2006), insbesondere weil Endometer keine Angaben zu Krümmung und deren Richtung machen können.

Es ist deshalb eine Kombination aus elektrometrischer und röntgenologischer Längenbestimmung anzustreben.

2.2.2 *Desinfektion*

Um eine ausreichende Desinfektion der Kanalsysteme zu erreichen, muss die mechanische Aufbereitung immer durch den Gebrauch von geeigneten antimikrobiellen Spüllösungen unterstützt werden (Byström et al. 1981). Es erfolgt somit eine chemomechanische Aufbereitung.

Die Ziele der Wurzelkanalspülung sind: (ESE 2006)

- Eliminierung der Mikroorganismen
- Ausschwemmung von Debris
- Erhöhte Gleitfähigkeit für Wurzelkanalinstrumente
- Auflösung von organischen Debris

Die antimikrobielle Wirkung einer Spüllösung steigt in Abhängigkeit von der Applikationsmenge, der Applikationsdauer, der Konzentration und der Temperatur der Spüllösung. Die Spülwirkung ist nur effektiv, wenn die Aufbereitung ein Vordringen der Spülkanüle in apikale Bereiche erlaubt. Daher ist es empfehlenswert, entsprechend weit aufzubereiten und dünne Kanülen zu verwenden. Eine Aktivierung zum Beispiel durch Ultraschall ist von Vorteil (van der Sluis et al. 2007). Natriumhypochlorid gilt aufgrund seiner guten antimikrobiellen (Siqueira et al. 2007) und gewebeauflösenden (Naenni et al. 2004) Eigenschaften bei geringer Toxizität als Spüllösung der ersten Wahl und wird deshalb am meisten genutzt (Vianna et al. 2006).

Bei der mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanals entsteht an den bearbeiteten Kanalabschnitten eine Schmierschicht aus Dentin, Pulparesten und Bakterien, die die Dentintubuli verblockt. Die Schmierschicht verhindert dadurch die Wirkung von Spüllösungen auf Bakterien, die in das Wurzelentin vorgedrungen sind und beeinträchtigt den Verbund zwischen Wurzelfüllmaterial und Kanalwand (Kokkas et al. 2004). Zur Entfernung der Schmierschicht wird zusätzlich zur Spülung mit Natriumhypochlorid eine Spüllösung bestehend aus EDTA oder Zitronensäure benutzt.

Ist bei der Wurzelkanalbehandlung mehr als eine Behandlungssitzung notwendig, sollten die Kanäle mit einer medikamentösen Einlage versorgt werden, um das Wachstum und die Vermehrung von zurückgebliebenen Mikroorganismen zu verhindern (ESE 2006). Byström und Sundqvist haben gezeigt, dass verbliebene Bakterien in einem instrumentierten aber ungefüllten Kanal sich wieder bis auf Ihre ursprüngliche Anzahl innerhalb von 2-4 Tagen vermehren können (Byström & Sundqvist 1981).

2.2.3 Manuelle Aufbereitung

Bei der manuellen Aufbereitung werden zumeist Handinstrumente aus Edelstahl verwendet, die nach ISO-Norm eine Konizität von 2 % aufweisen.

Bei der Step-back Technik erfolgt zuerst die apikale Aufbereitung des Wurzelkanals durch Benutzung von Handinstrumenten mit aufsteigender ISO-Größe. Abschließend wird das apikale Wurzel Drittel durch sukzessives Verkürzen der Arbeitlänge mit Instrumenten zunehmender Größe konisch ausgeformt. Da größere Handinstrumente aus Edelstahl nur wenig flexibel sind, kann die Aufbereitung in gekrümmten Kanälen bei Anwendung der Step-back Technik iatrogene Schäden verursachen (Schäfer et al. 2002, Peters et al. 2004).

Bei den koronal-apikalen Methoden wird zuerst der koronale Anteil des Wurzelkanals erweitert. Nach Bestimmung der Arbeitslänge erfolgt jetzt die konische Gestaltung der Wurzelkanäle in apikaler Richtung. Die Vorteile von koronal-apikalen Methoden sind (Young et al. 2007):

- Schaffung eines geradlinigen Zugangs zur apikalen Region
- Verbesserte taktile Kontrolle
- Bessere Penetration von Spülflüssigkeiten
- Bessere Ausschwemmung von Debris

Die Entwicklung von hoch-flexiblen Nickel-Titan-Instrumenten ermöglicht die sichere Aufbereitung von gekrümmten Kanälen. Wegen der Flexibilität werden bei der Aufbereitung mit Ni-Ti-Instrumenten weniger Kanäle begradigt als bei der Aufbereitung mit Edelstahl-Instrumenten (Peters et al. 2004).

Aufgrund der größeren Steifheit von Edelstahl-Instrumenten im Vergleich zu den hoch flexiblen Ni-Ti-Instrumenten sollte die initiale Instrumentierung und das Anlegen eines Gleitpfades vor der NiTi-Instrumentierung mit Edelstahl-Instrumenten erfolgen. Dadurch wird ein Gleitweg von koronal nach apikal erzeugt, der das Risiko von iatrogenen Schäden und Instrumentenbrüchen reduziert (Young et al. 2007).

2.2.4 Maschinelle Aufbereitung

Da Ni-Ti-Legierungen ein pseudoelastisches Verhalten (Schäfer et al. 1998) aufweisen, können Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit vollrotierend angetriebenen Aufbereitungshilfen eingesetzt werden. Zu den Design-Merkmalen von Ni-Ti-Instrumenten gehören unter anderem nicht-schneidende Instrumentenspitzen und variierende Konizitäten. Der vollrotierende Einsatz dieser Instrumente bedingt eine weitestgehend passive Arbeitsweise, überwiegend die Anwendung der Crown-Down-Technik (koronal-apikale Methode) sowie eine exakte Drehzahlkontrolle und Drehmomentbegrenzung. Es kann eine bessere Erhaltung der Kanalkrümmung auch bei Aufbereitung von gekrümmten Kanälen beschrieben werden als bei Aufbereitung mit Hand-Instrumenten (Gluskin et al. 2001). In Bezug auf die Kanalsauberkeit jedoch existieren widersprüchliche Ergebnisse. (Ahlquist et al. 2001; Schäfer et al. 2002; Schäfer et al. 2006, b).

Das seit 2003 eingeführte maschinelle Aufbereitungssystem Mtwo soll die Arbeitsweise der Aufbereitung vereinfachen, indem alle Instrumente sofort auf Arbeitslänge eingeführt werden. Untersuchungen zeigen bei der sogenannten Single-Length-Technik unter Benutzung von Mtwo Feilen im Vergleich zu anderen modernen Systemen wie ProTaper oder Endoflare-Hero Shaper gleichwertige Ergebnisse (Foschi et al. 2004, Veltri et al. 2005).

Im Vergleich zu dem RaCe- und K3 System ist das Feilensystem Mtwo zum einen einfach und schnell anzuwenden, zum anderen ist mit Mtwo-Instrumenten

eine gute Sauberkeit der Kanäle und ein besserer Erhalt der Kanalkrümmung zu erzielen (Schäfer et al. 2006 a, 2006 b).

2.3 Ziele der Wurzelkanalfüllung

Ziele der Wurzelkanalfüllung sind der Ausschluss der Passage von Mikroorganismen und Flüssigkeiten entlang des Wurzelkanals und die Obturation des gesamten Kanalsystems; letzteres nicht nur, um die apikalen Foramina, sondern auch Dentinkanälchen und akzessorische Kanäle zu versiegeln (ESE 2006).

Apikaler Endpunkt der Wurzelkanalfüllung sollte die apikale Konstriktion, bzw die Zement-Dentin-Grenze sein (Ricucci 1998), welche sich zwischen 0,5 und 2 mm vor dem röntgenologischen Apex befindet (ESE 2006). Sowohl eine zu kurze Wurzelfüllung als auch ein Überfüllen von Wurzelfüllmaterial ist nicht erwünscht (ESE 2006). Überfülltes Wurzelfüllmaterial kann zu histologisch nachweisbaren Abwehr- und Entzündungsreaktionen führen (Ricucci 1998), während zu kurze Wurzelfüllungen Raum für Bakterien lassen, die sich in ungefüllten Bereichen des Kanals leicht vermehren können.

2.4 Wurzelfüllmaterialien

2.4.1 allgemeine Anforderungen an Füllmaterialien

Wurzelfüllmaterialien sollen folgende Anforderungen erfüllen (ESE 2006):

- biokompatibel
- dimensionsstabil
- unempfindlich und unlöslich durch Gewebeflüssigkeiten
- bakterielles Wachstum nicht fördern
- röntgenopak
- einfach aus dem Kanal entfernenbar sein, wenn eine Revision erforderlich wird

2.4.2 Wurzelfüllpasten

Die meisten Wurzelfüllpasten schrumpfen beim Erhärten, sind resorbierbar und weisen Porositäten auf (Mutal et al. 2005). Deshalb sind sie als alleiniges Füllmaterial zum definitiven Verschluss eines Wurzelkanals ungeeignet (DGZ, 2005). Als Wurzelkanalfüllung wird daher eine Kombination aus halbfestem Kernmaterial und Sealer empfohlen. Dabei hat der Sealer die Aufgabe, Inkong-

ruenzen zwischen der Kanalwand und dem Kernmaterial auszugleichen sowie offen liegende Dentintubuli, akzessorische und laterale Kanäle zu verschließen und eine dichte Verbindung zwischen Kanalwand und Kernmaterial herzustellen (De-Deus et al. 2006)

In der Vergangenheit basierten klassische Wurzelkanalsealer zunächst auf einer Zinkoxid-Eugenol-Komposition (Grossmann's Cement). Es folgten Präparate auf Calciumhydroxid-Basis, welche eine Gewebsbildung zum apikalen Verschluss induzieren sollten (Tronstad et al. 1988) sowie Produkte auf Glasionomer-Basis, die eine chemische Haftung zur Dentinwand des Wurzelkanals erzielten (Weiger et al. 1995). Zudem wurden Wurzelkanalsealer auf Kunstharz-Basis eingeführt, die eine deutlich reduzierte Löslichkeit gegenüber Gewebsflüssigkeiten versprachen. Zu den bekanntesten Präparaten zählen AH 26 bzw. das Folgepräparat AH plus. AH plus setzt im Unterschied zu AH 26 kein Formaldehyd beim Abbindeprozess mehr frei und zeigt ein reduziertes Schrumpfungsverhalten.

Beide Präparate erzielten in zahlreichen Untersuchungen gute Resultate in Bezug auf Löslichkeit (Schäfer & Zandbigari 2003), Haftfestigkeit an Dentin und Guttapercha (Lee et al. 2002) sowie ihrer Fließfähigkeit (Lussi et al. 1999).

Der neu entwickelte Sealer RoekoSeal ist ein additionsvernetzendes, auf Silikonbasis hergestelltes Präparat. Im Gegensatz zu den herkömmlich verwendeten Sealern weist RoekoSeal eine 0,2 % ige Abbindeexpansion auf. Unter Verwendung von RoekoSeal wurden bei der Zentralstift-Technik (engl. „Single-cone“) dieselben Dichtigkeitswerte gemessen, wie bei der lateralen Kompaktion (Wu et al. 2003). RoekoSeal soll sowohl eine gute Anhaftung an die Kanalwand als auch eine gute Biokompatibilität aufweisen (Gencoglu et al. 2003). Eine Weiterentwicklung des Sealers RoekoSeal stellt das Wurzelfüllmaterial Guttaflow dar. Hier wurden der Polydimethylsiloxanmatrix mikrofeine, kugelförmige Guttapercha-Partikel der Größe 30 µm beigemischt. Zusätzlich enthält Guttaflow Nanosilber welches antibakteriell wirken soll.

Dieses Füllsystem arbeitet mit kalter, fließfähiger Guttapercha, das tixotroph eingestellt ist. Das in Kapseln enthaltene Material (Kapitel 4.8, Abbildung 4.3) wird manuell aktiviert und für 30 s in einem Triturator angemischt.

Diese Kombination aus circa 50 % Guttapercha- Pulver und 50 % Siloxanmatrix soll die Fließfähigkeit des Materials erhöhen, welches zusammen mit der

Tixotropie zur Ausfüllung von Spalträumen und lateralen Kanälchen des Wurzelkanals führen soll. Im Sinne eines Kaltfüllsystems wird Guttaflow ohne Erwärmung mit Hilfe eines Applikators in den Wurzelkanal injiziert. Somit werden einige Eigenschaften der Kaltfülltechnik mit denen der thermoplastischen Methoden kombiniert. Bei einer Verarbeitungszeit von 15 Minuten erfolgt die Aushärtung nach circa 25-30 Minuten wobei Wärme die Verarbeitungszeit verringert. Durch die Kaltfülltechnik soll jegliche thermische Traumatisierung des periapikalen Gewebes verhindert werden. Da auch Guttaflow eine leichte Abbindeexpansion aufweist (0,2%) stellt das Ausbleiben der bei warm applizierter Guttapercha auftretenden Schrumpfung einen weiteren Vorteil dar. Die durch die leichte Expansion des Materials bedingte Retention soll nach Herstellerangaben zu einem guten Randschluss auch ohne chemische Anbindung ans Dentin führen.

In-vitro-Untersuchungen zeigen eine geringe Zytotoxizität und gute Biokompatibilität von Guttaflow (Gencoglu et al. 2005; Eldeniz et al. 2007; Bouillaguet et al. 2006).

Außerdem besitzt Guttaflow gute physikalische Eigenschaften bezüglich der Fließfähigkeit, Filmdicke, Radioopazität und der Kompressionsstärke gemäß der ISO-Normen 6876-1984 und 2001 (Eldeniz & Orstavik 2005).

In der Studie von ElAyouti et al. (2005) konnte gezeigt werden, dass bei Applikation von Guttaflow mit einem Lentulo insgesamt das signifikant kleinste Gesamtvolumen an Hohlräumen und eine gute Adaptation an die Wurzelkanalwand im Vergleich zu Guttapercha unter vertikaler und lateraler Kompaktion vorhanden war. Die Anzahl von diesen, allerdings sehr kleinen Hohlräumen war jedoch signifikant höher (ElAyouti et al. 2005). Eine andere in-vitro-Studie zeigt eine signifikant bessere Benetzbarkeit von Wurzelentin und Guttapercha bei Verwendung von AH26 im Vergleich zu Guttaflow (Kontakiotis et al. 2007, b).

2.4.3 *Guttapercha*

Schon seit nahezu 100 Jahren wird das Material Guttapercha in unterschiedlichen Formen als Obturationsmaterial verwendet (Weine 1996).

Guttapercha in seiner reinen Form ist ein kautschukähnlicher Werkstoff, der aus dem eingedickten Saft von Bäumen der *Palagium*- und *Isonandra*arten (Sumatra) gewonnen wird. Es ist unlöslich in Wasserstoffperoxid und löslich in Chloro-

form und Xylol. Guttapercha ist biokompatibel, bei Temperaturen bis 60°Celsius plastisch verformbar und bei niedrigen Temperaturen dimensionsstabil. Guttapercha kann in zwei verschiedenen kristallinen Formen und in einer amorphen Phase vorliegen. Die natürliche Form der Guttapercha ist die alpha-Form. Sie wird zumeist für warme Guttapercha-Fülltechniken eingesetzt, da sie weicher ist und niedrigere Schmelztemperaturen aufweist. Guttapercha-Stifte werden aus beta-Guttapercha hergestellt. Durch Erwärmen auf 42° - 49°Celsius kann sie in die alpha-Form umgewandelt werden, bei stärkerer Erhitzung geht Guttapercha in die amorphe Phase über, beim Abkühlen findet sie meist wieder in die beta-Form zurück. Bei jeder Erwärmung kommt es beim Abkühlen zu einer Volumenveränderung. Je stärker die Guttapercha erhitzt wird, desto stärker schrumpft das Material beim Abkühlen.

Guttapercha-Stifte, wie sie bei kalten Fülltechniken verwendet werden, entstehen durch Beimengung von verschiedenen Materialien. Dabei führt jede Beimengung zur Guttapercha zu Veränderungen im physikalischen Verhalten (Combe et al. 2001). Guttapercha-Stifte sind biegsame, konische Stifte, die in unterschiedlichen Größen und Konizitäten zur Obturation erhältlich sind. Sie bestehen in der Regel zu 20 % aus Guttapercha als Matrix, zu 66% aus Zinkoxid als Füller, zu 3% aus Plastikwachsen und Kunststoffen zur Erhöhung der Plastizität und zu 11% aus Metallsulfaten und Farbpigmenten zur Schaffung der Röntgenopazität.

Da Guttapercha keinen Verbund zur Kanalwand eingeht (Skinner & Van Himmel 1987) wird die Verwendung eines Sealers empfohlen (ESE 2006). Bis heute gilt Guttapercha weltweit als Goldstandard unter den Obturationsmaterialien. Somit dient es bei vielen Untersuchungen als Vergleichsmaterial (Baumgartner et al. 2007; Tay et al. 2005 b; Schäfer et al. 2007; Verissimo et al. 2007; ElAyouti et al. 2005; Monticelli et al. 2007 a), da es trotz der Unfähigkeit die Kanalwand vollständig abzudichten das bis heute am besten untersuchte Material ist.

2.4.4 Resilon-System

Um die Haftfestigkeiten und Versiegelungseigenschaften von Wurzelkanalfüllmaterialien zu verbessern, wurden nach dem Vorbild der adhäsiven Dentin-Technologie Materialien entwickelt, die einen chemischen Verbund zur Kanalwand ermöglichen sollten. So wurde im Jahre 2003 das auf einem Polyester basierende thermoplastische Material Resilon auf den Markt gebracht.

Das Resilon-System soll über einen niedrig viskösen Sealer einen adhäsiven Verbund zwischen dem Wurzelkanaldentin und dem Kernmaterial generieren und einen so genannten „Monoblock“ im Wurzelkanal ausbilden. Das System besteht aus einem selbstätzenden Primer auf Wasser-Basis (funktionelles Monomer, HEMA, Polymerisationsinhibitoren), einem dualhärtenden Sealer (BisGMA, ethoxyliertes BisGMA, UDMA und einem Fülleranteil von 70 Gew.%) sowie einem Kernmaterial aus thermoplastischem synthetischen Polymer, auf Basis von Polyester Polymeren (difunktionelle Methacrylate, bioaktive und radioopake Füller).

Resilon kann wie Guttapercha sowohl in Kalt- als auch in Warmfülltechniken verwendet werden und soll ein ähnliches Verarbeitungs- und Revisionsverhalten wie Guttapercha aufweisen (Barnett & Trope 2004). Es sind Resilon-Stifte in denselben ISO-Größen und Konizitäten wie die Guttapercha-Stifte für die laterale und vertikale Kompaktion sowie Resilon-Pellets für den Backfill der vertikalen Kompaktion erhältlich.

In der Literatur führt die Verwendung von Resilon zu unterschiedlichen Ergebnissen. Viele Untersuchungen hierzu zeigen ein besseres Abdichtungsverhalten für das adhäsive Material im Vergleich zu herkömmlichen Füllmaterialien (Verissimo et al. 2007; Sagsen et al. 2006; Bodrumlu & Tunga 2006; Tunga & Bodrumlu 2006; von Fraunhofer et al. 2006; Stratton et al. 2006; Aptekar & Ginnan 2006; Shipper et al. 2005; Shipper et al. 2004). In der In-vitro-Studie an humanen Zähnen mittels Bakterien-Penetration beispielsweise gewährleistete Resilon mit dem Epiphany-Sealer sowohl bei der lateralen als auch der vertikalen Kompaktion eine signifikant bessere Abdichtung des Wurzelkanals als Guttapercha in Kombination mit AH 26 unter Verwendung lateraler und vertikaler Kompaktion (Shipper et al. 2004). Diese Ergebnisse werden durch eine In-vivo-Studie an Hundezähnen bestätigt (Shipper et al. 2005).

In einigen Studien sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar (Baumgartner et al. 2007; Pitout et al. 2006; Biggs et al. 2006; Tay et al. 2005 b) und in anderen Untersuchungen weist Guttapercha ein besseres Abdichtungsverhalten als Resilon auf (Shemesh et al. 2006; Onay et al. 2006; Kaya et al. 2007).

Die meisten neueren Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis das Wurzelfüllungen aus Resilon keine ersichtlichen Vorteile gegenüber Wurzelfüllungen aus Guttapercha bieten können (Fransen et al. 2008; Jack et al. 2008; De-Deus et al. 2008; Bodrumlu et al. 2007; Shemesh et al. 2006; Kaya et al. 2007).

Adhäsive Füllungsmaterialien scheinen durch bakterielle Enzyme abgebaut werden zu können (Tay et al. 2005 d). Das Langzeitverhalten unter klinischen Bedingungen kann somit noch nicht eingeschätzt werden.

Kontrovers wird auch das materialimmanente Schrumpfungsverhalten während der Polymerisation im Wurzelkanal diskutiert. Aufgrund des ungünstigen C-Faktors (Verhältnis von ungebundener zu gebundener Kompositoberfläche) wird eine dauerhafte adhäsive Versiegelung des Wurzelkanals in Frage gestellt (Tay et al. 2005 a).

Auch wird bezweifelt, dass die im Resilon enthaltene Menge an Dimethacrylat ausreicht, um eine verlässliche adhäsive Bindung am Wurzelkanalentin zu erzielen (Hiraishi et al. 2005).

2.4.5 Thermafil-System

1978 wurde ein neues Wurzelfüllmaterial beschrieben, das mit erwärmter Guttapercha arbeitet (Johnson 1978).

Beim Thermafil-System werden Kunststoff-Träger eingesetzt, die von thermoplastischer Alpha-Guttapercha umhüllt sind. Der Gehalt an Guttapercha wurde erheblich reduziert, um der Kontraktion entgegenzuwirken, die beim Abkühlen von erwärmter Guttapercha entsteht.

Vorraussetzung für eine adäquate Wurzelfüllung mit Thermafil sind eine Wurzelkanalaufbereitung in 4 % iger Konizität und die Verwendung eines Sealers.

Der Wurzelkanal wird hierzu mit derselben Konizität wie der Thermafil-Stift aufbereitet, der später zur Wurzelfüllung verwendet wird. Die Abstimmung zwischen den in verschiedenen ISO-Größen und Konizitäten erhältlichen Thermafil-Stiften und den Wurzelkanalaufbereitungsinstrumenten erfolgt mit dafür vorgesehenen sogenannten Verifiern. Die Obturation des Wurzelkanals erfolgt,

nachdem der Thermafil-Stift in einem speziell dafür vorgesehenen Ofen gleichmäßig erhitzt und somit die Guttapercha erweicht wird. Der Stift wird dann mit leichtem Druck bis auf Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingebracht. Dabei bewirkt der konische Obturatorekern, dass die warme Guttapercha bis zum bereits aufbereiteten apikalen Stop vordringt und gleichzeitig einen Lateraldruck auf die weiche zähflüssige Guttapercha ausübt, sodass sie auch in die offenen Seitenkanäle fließen kann.

Die breitere konische Ausformung des Wurzelkanals ist hierzu notwendig, um den Stopfdruck, der bei dem Einführen des Thermafil-Stiftes entsteht, auf die Seitenwände zu lenken und damit eine Überpressung von Füllmaterial möglichst zu verhindern.

Studien haben gezeigt, dass Thermafil in Bezug auf seine Dichtigkeit eine Alternative im Vergleich zu lateraler Kompaktion und anderen Obturationstechniken darstellt (Chu et al. 2005).

Die Vorteile der Thermafil-Technik sind zum einen der einfach zu erlernende Gebrauch sowie die erhebliche Zeitersparnis (Chu et al. 2005) gegenüber der lateralen Kompaktionstechnik. Nachteilig ist die gegenüber der lateralen Kompaktion erhöhte Gefahr Sealer zu überpressen (Kytridou et al. 1999).

2.4.6 Titan- und Silberstifte

Silberstifte sind gegenüber Guttapercha-Stiften auch in kleinen Größen sehr fest und können gut in enge Kanäle eingeführt werden (Hellwig et al. 2003). Die Anwendung von Silberstiften wird heute jedoch als obsolet bezeichnet, da bei der Korrosion zytotoxische Produkte auftreten können. Verfärbungen der Mundschleimhaut sowie akute und chronische Entzündungsreaktionen des periapikalen Gewebes sind ebenfalls möglich (DGZ, DGZMK 1999).

Demgegenüber sind Titanstifte zwar gewebefreundlicher, allerdings auch weniger flexibel als Silberstifte. Da sie zudem nicht komprimierbar und kreisrund sind, wird eine dichte Wurzelfüllung verhindert. Titanstifte finden deshalb als Wurzelfüllmaterial weitgehend keine Anwendung mehr.

2.5 Wurzelfülltechniken

2.5.1 Laterale Kompaktionstechnik

Die kalte laterale Kompaktion von Guttapercha ist die Standardtechnik der Wurzelkanalfüllung. Neu entwickelte Füllungstechniken werden zumeist mit dieser Methode verglichen (Dummer et al. 1994; Gilhooly et al. 2000; Schäfer et al. 2007; Verissimo et al. 2007). Das Ziel der lateralen Kompaktion ist es, den Wurzelkanal vollständig mit möglichst viel Guttapercha und möglichst wenig Sealer dicht zu füllen (Weine 1996). Dabei werden, neben dem mit Sealer beschickten und zuvor angepassten Masterpoint, soviel akzessorische Guttapercha-Stifte wie möglich eingeschoben und dabei die Guttapercha mit sogenannten Spreadern nach lateral verdichtet. Im Gegensatz zur Zentralstifttechnik gelingt es mit dieser Mehrstifttechnik auch ovale oder nierenförmige Wurzelkanal-Querschnitte zuverlässig zu füllen (Heidemann 1989). Die Größe des durch den Spreader ausgeübten Drucks während der lateralen Kompaktion der Guttapercha scheint keinen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung zu nehmen (Hatton et al. 1988). Diese Tatsache erscheint besonders wichtig, da vor allem bei zu großem Kompaktionsdruck oftmals Wurzelfrakturen als Komplikation dieser Wurzelkanalfülltechnik auftreten (Meister et al. 1980).

Dieses Fraktur Risiko kann durch die Verwendung von Finger-Spreadern anstatt von Handspreadern (Lertchirakarn et al. 1999) und durch die Benutzung von Spreadern aus NiTi anstatt aus Stahl (Joyce et al. 1998) deutlich reduziert werden. Neben dieser schwerwiegenden Komplikation wird als weiterer Nachteil der lateralen Kompaktionsmethode der im Vergleich zur Zentralstifttechnik deutlich erhöhte Zeitaufwand gesehen. Schäfer (2000) beschrieb diese Methode trotzdem als die gegenwärtig am meisten akzeptierte und bekannte Technik. Mit einer klinischen Erfolgsrate von 90 % hat sich die Technik der lateralen Kompaktion über Jahre bewährt (Seltzer 1988).

2.5.2 Vertikale Kompaktionstechnik

Die vertikale Kompaktionstechnik wurde im Jahre 1967 von Herbert Schilder als Methode zur „drei-dimensionalen Wurzelfüllung“ erstmalig publiziert (Schilder 1967). Hierbei wird thermisch erweichte Guttapercha vertikal in Richtung Apex vorgeschoben und verdichtet. Dadurch soll es möglich sein, auch bei komplexer

Anatomie des Kanalsystems eine dichte Wurzelfüllung zu erzielen und zudem akzessorische Seitenkanälchen mitzufüllen.

Bei der klassischen Methode nach H. Schilder wird zunächst ein mit Klemmpassung angepasster Guttapercha-Stift mit Sealer beschickt und in den Wurzelkanal eingebracht. Es folgen die Erwärmung sowie das Abtragen der koronalen Anteile der Guttapercha mit sogenannten „heat carrier“ und die anschließende Kompaktion durch in der Länge angepasste Stopfer (engl. „Plugger“). Das Erwärmen und die anschließende Kompaktion werden solange durchgeführt, bis ein Bereich von 3-5 mm vor dem Apex erreicht wurde. Dabei werden Plugger in absteigender Größe verwendet, die es ermöglichen, eine so genannte Welle bestehend aus verdichteter Guttapercha immer weiter in Richtung Apex zu schieben. Dadurch entsteht ein hydraulischer Druck, der bei konisch geformten Kanälen das Wurzelfüllmaterial in uninstrumentierte Bereiche und in Seitenkanälchen des Wurzelkanals presst. Gleichzeitig entsteht dabei jedoch die potentielle Gefahr Sealer in periapikales Gewebe zu überpressen. Deshalb ist bei Verwendung der vertikalen Kompaktion ein konisch ausgeformter Wurzelkanal notwendig, um den Stopfdruck, der bei der Kompaktion entsteht, auf die Seitenwände zu lenken.

Nach dem down-pack wird der Kanal mit weiteren Sequenzen von warmer Guttapercha und Kompaktion (sog. "backfill") vollständig aufgefüllt.

Diese klassische Methode hat den Nachteil, dass sie schwierig zu erlernen und zu beherrschen ist, sowie mit anfänglich hohem zeitlichem Aufwand einhergeht. Die klassische Methode nach Schilder wurde durch Dr. Stephen Buchanan im Jahre 1987 weiterentwickelt (Buchanan 1994; Buchanan 1996; Buchanan 2004; Nahmias et al. 2001). Durch die Verwendung von elektrisch beheizbaren Plugger - wie zum Beispiel dem System B - kann die Phase des Down-packs auf einen Arbeitsschritt reduziert werden. Indem der erwärmte Plugger kontinuierlich auf 3-5 mm vor den Apex vorgeschoben wird, baut sich in der viskösen Guttapercha eine kontinuierliche hydraulische Druckwelle bis zum Apex auf, daher der Name "continuous wave", welche die Guttapercha in Seitenkanäle und nicht instrumentierte Räume hineinpresst.

Auch die Backfill-Phase wurde durch die Entwicklung von Geräten zur Guttaperchainjektion vereinfacht, von denen heute eine Vielzahl verfügbar ist. Das Backfill kann mit diesen Geräten komplett in einer Arbeitsphase durchgeführt

werden (Johnson & Bond 1999), wobei die Injektionsnadel auf der applizierten Guttapercha "schwimmt" und während der Abgabe zurückgezogen wird.

In einer in-vitro-Studie an humanen Zähnen war die "continuous wave technique" schneller durchzuführen als die laterale Kompaktion. Bei der Wurzelfüllung mit der „continuous wave technique“ wurden jedoch mehr Zähne mit Sealer überpresst als Zähne, die in lateraler Kompaktionstechnik gefüllt wurden (Kececi et al. 2005).

In-vitro-Untersuchungen in Bezug auf das Abdichtungsverhalten von Wurzelfüllungen reichen von vergleichbaren Ergebnissen (Madison & Krell 1984) zwischen der vertikalen und der lateralen Kompaktionstechnik bis zur Überlegenheit der vertikalen gegenüber der lateralen Kompaktionstechnik (DuLac et al. 1999; Jacobson et al. 2002; Gencoglu et al. 2002; Smith et al. 2000; Wu et al. 2001).

In einer in-vivo-Studie aus Toronto wurde nach einer Beobachtungszeit von 4-6 Jahren bei Zähnen, die mit vertikaler Kompaktionstechnik versorgt wurden, eine 10 % höhere Heilungsrate festgestellt als bei Zähnen, die mit step-back Technik und lateraler Kompaktionstechnik versorgt wurden. Der Unterschied bezüglich der Heilungsrate zwischen den beiden Gruppen war dabei signifikant beim Vergleich von Zähnen, die vor der Wurzelkanalbehandlung eine chronische apikale Parodontitis aufwiesen (Farzaneh et al. 2004).

Seitenkanälchen lassen sich mit warmer Guttapercha in allen Bereichen des Wurzelkanals besser abfüllen (DuLac et al. 1999).

Auch die Auswirkung einer überschießenden Wärmeentwicklung auf das periradikuläre Gewebe wurde bei dieser Technik in verschiedenen Studien kritisch betrachtet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ergaben, dass unter den verwendeten Temperaturen von 200° Celsius keine Schädigung des periradikulären Gewebes eintrat (Barkhordar et al. 1990). Die Anwendung des System B bei Temperaturen von 200° Celsius und auch 300° Celsius kann als gefahrlos (Silver et al. 1999; Venturi et al. 2002) beschrieben werden.

Der Verzicht auf die Verwendung eines Sealers bedingt allerdings eine Temperaturerhöhung von 4 – 7 °C auf der Wurzeloberfläche (Marlin & Schilder 1973), was die Notwendigkeit der Sealerverwendung auch zur Temperatursenkung bei der vertikalen Kompaktion unterstreicht.

2.5.3 Zentralstifttechnik

In dieser Untersuchung sollte bei der Zentralstifttechnik zum einen nach der Methode mit Guttapercha & Sealer (a.) und zum anderen nach der Methode mit Guttapercha und Guttaflow (b.) unterschieden werden.

Zu a. Guttapercha & Sealer

Bei der Methode mit Guttapercha und Sealer wird neben dem mit einer K-Feile oder mit einem Lentulo in den Wurzelkanal eingebrachten Sealer ein Guttapercha-Stift als volumenstabiles Kernmaterial eingesetzt. Die Form des Stiftes sollte der des aufbereiteten Wurzelkanals möglichst weitgehend entsprechen, um die Menge des zur Ausfüllung der Inkongruenzen benötigten Sealers möglichst gering zu halten. Diese Forderung setzt eine standardisierte Aufbereitung des Wurzelkanals voraus, welche nur bei geraden Wurzelkanälen mit rundem Querschnitt möglich ist (Heidemann 2001; Petschelt & Oberschachtsiek 1985; Zidan et al. 1987). In der in-vitro-Untersuchung von Gordon et al. (2005) wies die Zentralstifttechnik mit Guttaperchastiften und Aufbereitung in 6%iger Konizität in mesiobukkalen Kanälen keine geringeren Guttapercha-Anteile im Querschnitt auf, als die laterale Kompaktion mit Stiften von 2%iger Konizität bei 6% konischer Aufbereitung. Bei geringem Durchmesser und minimaler Krümmung erscheint diese Technik zur Abdichtung geeignet. Ovale oder große Kanäle würden jedoch einen exzessiven Dentinabtrag notwendig machen (Gordon et al. 2005).

Bei allen Kanälen, die nicht genau der Form der genormten Guttapercha-Stifte entsprechen, wird der Sealeranteil besonders im mittleren und koronalen Wurzel Drittel unverhältnismäßig groß. Dies führt zu Porositäten und mangelnder Randständigkeit der Wurzelfüllung, bedingt durch die Schrumpfung des Sealers beim Abbinden. Hierdurch wird der Indikationsbereich der Zentralstifttechnik deutlich eingegrenzt. Darüber hinaus führt die Zentralstifttechnik in zahlreichen Dichtigkeitsuntersuchungen zu schlechteren Ergebnissen als andere Wurzelkanalfülltechniken (Barthel et al. 1994; Pommel & Camps 2001). In der in-vitro Dichtigkeitsuntersuchung von Pommel & Camps (2001) wird die Zentralstifttechnik mit der vertikalen Kompaktionstechnik und der Thermafil-Technik unter Anwendung verschiedener Testmethoden verglichen. Die Ergebnisse reichen

von überwiegend schlechterer bis zu vergleichbarer Dichtigkeit der Wurzelfüllungen mit Zentralstifttechnik.

Als Vorteile dieser Wurzelkanalfülltechnik können sicherlich ihre rasche Durchführbarkeit und Einfachheit genannt werden. Insgesamt erscheint die Zentralstifttechnik jedoch auf Grund der genannten Nachteile in dieser Form nicht zeitgemäß und akzeptabel.

Zu b. Guttapercha & Guttaflow

Bei dieser Methode wird Guttapercha mit Guttaflow als Sealermaterial mithilfe einer Applikationsspitze verwendet. Da Guttaflow bessere Eigenschaften als herkömmliche Sealermaterialien in Bezug auf Volumenstabilität, Resorbierbarkeit und Abbindeverhalten aufweist, erscheint das Indikationsspektrum erweitert.

Das Dichtigkeitsverhalten von Guttaflow unter Verwendung der Zentralstifttechnik wurde hierzu in verschiedenen in-vitro-Untersuchungen getestet. Bezüglich der Dichtigkeit der apikalen Region erzielte Guttaflow unter Anwendung der Zentralstifttechnik gleichwertige Ergebnisse im Vergleich zu Guttapercha unter Verwendung von AHplus und der Zentralstifttechnik (Roggendorf et al. 2001), sowie im Vergleich zu Guttapercha unter Verwendung vertikaler Kompaktion (Brackett et al. 2006; Monticelli et al. 2007 b).

Es konnten jedoch signifikant mehr Undichtigkeiten im mittleren und koronalen Anteil bei Wurzelfüllungen mit Guttaflow nachgewiesen werden als bei Wurzelfüllungen mit vertikal kondensierter Guttapercha. Deshalb wird von einigen Autoren die Benutzung von akzessorischen Stiften oder die sofortige koronale Restauration empfohlen (Monticelli et al. 2007 b).

Auch in einer Langzeit-in-vitro-Studie zeigte Guttaflow bei Anwendung der Zentralstifttechnik ein gleichwertiges Abdichtungsverhalten im Vergleich zu Guttapercha unter Anwendung vertikaler und lateraler Kompaktion (Kontakiotis et al. 2007 a).

In einer Bakterien-Penetrations-Untersuchung wies Guttaflow jedoch im Vergleich zu warm vertikal kondensierter Guttapercha eine signifikant schlechtere apikale Abdichtung auf (Monticelli et al. 2007 a).

Eine durch die Benutzung von Guttaflow erhöhte Gefahr Wurzelfüllmaterial in periapikales Gewebe zu überpressen, konnte durch in-vitro-Untersuchungen

hierzu nicht bestätigt werden. Im Vergleich zu AH plus in Anwendung der Zentralstifttechnik wurden Zähne, die mit Guttaflow und Masterpoint gefüllt wurden sogar tendenziell weniger überpresst. Vielmehr beeinflusste die Art der Sealer-Verwendung (Lentulo, Applikationsspritze, Masterpoint) signifikant die Gefahr des apikalen Überpressens (Mayer et al. 2005).

2.6 In-vitro-Methoden zur Überprüfung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung

2.6.1 Penetrationsuntersuchungen

Als dicht kann eine Wurzelfüllung dann bezeichnet werden, wenn Flüssigkeiten, Bakterien und Luft nicht mehr in das gefüllte Wurzelkanalsystem penetrieren können (Schilder 1967). Eine der wichtigsten und am häufigsten angewandten Methoden zur Überprüfung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung stellt daher bis heute die Penetrationstestung dar. Bei dieser Methode kann die Passage von verschiedenen Indikatoren entlang der Wurzelkanalfüllung beurteilt und als Maß für die Dichtigkeit verwendet werden. Als Penetrationsindikatoren können Farbstoffe, Radioisotope, Bakterien aber auch Flüssigkeiten angewendet werden.

2.6.2 Farbstoff-Penetrationstest

Neben Fuchsinlösung, schwarzer Tusche und Eosin-rot stellt der Farbstoff Methylblau den am häufigsten verwendeten Indikator beim Farbstoffpenetrationstest dar. Sein geringes Molekulargewicht erlaubt diesem Farbstoff, tiefer in den Wurzelkanal einzudringen als schwarze Tusche (Ahlberg et al. 1995). Die Tiefe der Farbstoffpenetration in dem Wurzelkanal soll mit dem Undichtigkeitsgrad der Wurzelkanalfüllung korrelieren (Wu & Wesselink 1993).

Im Rahmen eines Farbstoffpenetrationstest werden die zu untersuchenden Zähne für eine bestimmte Dauer in eine Farbstofflösung gelegt oder mit Druck penetriert. Um im Anschluss daran das Ausmaß der Farbstoffpenetration auswerten zu können, muss die Wurzelfüllung mittels verschiedener Methoden sichtbar gemacht werden.

Bei den non-invasiven Methoden ermöglichen zum einen spezielle Entkalkungsverfahren die direkte Sicht auf die Wurzelkanalfüllung, um die Penetrationstiefe zu bestimmen (Robertson et al. 1980; Gilhooly et al. 2000), zum anderen sind Volumenmessungen der in der Wurzelfüllung aufgenommenen Farbe

möglich, indem die Farbstoffe mittels einer Säure aus den angefärbten Zähnen wieder gelöst werden und anschließend mit einem Spektrophotometer gemessen werden (Douglas & Zakariasen 1981; Beatty et al. 1986). Da bei der Volumenmessung oft unerwünschte Reste des Farbstoffes auf der Wurzeloberfläche und in den Dentinkanälchen mitgemessen werden und dadurch fehlerhafte Ergebnisse entstehen, erscheint diese Methode jedoch wenig geeignet.

Serielle Schnitte längs und quer des Zahnes gehören zu den invasiven Methoden. Hierbei kann mittels mikroskopischer Betrachtung der Längs- oder Querschnitte der Penetrationsgrad sowie die Penetrationstiefe der Farbstoffe beurteilt werden. Im Gegensatz zur Möglichkeit einer dreidimensionalen Beurteilung der Farbstoffpenetration bei der Entkalkungsmethode können bei der Aufspaltung der Zähne zum einen apikale Undichtigkeiten nicht vollständig dargestellt werden, zum anderen bleiben durch den mit der Aufspaltung verbundenen Substanzverlust Wurzelkanalbereiche unerkannt.

Die Methode der Farbstoffpenetration wurde vielfach variiert. Die Ergebnisse sind deshalb oft nicht vergleichbar (Wu & Wesselink 1993). Bei Anwendung von Farbstoffpenetration kann es leicht zu Verfälschungen der Ergebnisse kommen, da einige Faktoren nicht kontrollierbar sind. Farbstoffe penetrieren besonders in ungefüllte Bereiche des Wurzelkanals. Die dort enthaltene Luft oder Flüssigkeit kann entweder zur erhöhten Penetration von Farbstoff durch Kapillar- oder Diffusionskräfte führen, oder andererseits sogar verhindern, dass Farbstoff penetriert (Wu & Wesselink 1993).

Auch der pH-Wert der verwendeten Indikatoren kann zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen. Indikatoren mit geringem pH-Wert beispielsweise könnten aufgrund der folgenden Demineralisation von Dentin zu erhöhter Farbstoffpenetration führen (Wu & Wesselink 1993). So demonstrierten Starkey et al. (1993), dass die Penetrationstiefe des Farbstoffes signifikant mit dem pH-Wert des verwendeten Methylenblaus anstieg. Leider wird in den meisten Studien, die diese Methode verwenden, der pH-Wert des Indikators nicht mitberücksichtigt (Wu & Wesselink 1993).

Farbstoffpenetrationstests bewerten lediglich die Penetration von sehr kleinen Molekülen in den Kanal. Es können keine Aussagen über ein mögliches Mikroleakage von Bakterien vom Wurzelkanal in die periapikale Region getroffen werden (Susini et al. 2006). Die klinische Relevanz von Farbstoffpenetrations-

testungen wurde somit häufig in Frage gestellt. Möglicherweise ist die Penetration von Farbstoffen zu sensitiv und zeigt Unterschiede auf, die keine klinische Relevanz haben. Susini et al. zeigten, dass Farbstoffpenetrationstests zwar mit der Qualität einer Wurzelfüllung korrelieren, dass mit der Untersuchungsmethode jedoch keine Aussagen über den klinischen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung getroffen werden können (Susini et al. 2006).

2.6.3 Bakterien-Penetrationstest

Im Jahre 1990 wurden erstmals Bakterien als Indikator bei Penetrationsuntersuchungen von Torabinejad et al. (1990) beschrieben.

Der Versuchsaufbau bei dieser Methode besteht aus einer oberen und einer unteren Kammer, die beide nur durch den zu untersuchenden Zahn verbunden sind. Dabei taucht die Wurzelspitze in einem Nährmedium der unteren Kammer, während die Öffnung des Zahnes in die obere Kammer ragt. Eine Bakterienlösung wird zu Versuchsbeginn in die obere Kammer gegeben. Bakterien, die entlang der Wurzelfüllung in die untere Kammer wandern, verursachen durch Wachstum die Eintrübung des Nährmediums. Der Tag, an dem eine Eintrübung stattfindet, wird vermerkt. Der Zeitraum vor der Eintrübung eines jeden Nährmediums steht im direkten Zusammenhang mit der Dichtigkeit der jeweils zugehörigen Wurzelkanalfüllung. Es finden neben den für endodontische Infektionen mitverantwortlichen Mikroorganismen wie *Streptococcus mutans* (Shipper et al. 2004) und *Klebsiella pneumoniae* (Jakobson et al. 2002) auch andere Mikroorganismen als Indikatoren Anwendung, die den oben genannten Mikroorganismen in ihrer Größe und in ihren Eigenschaften (z. B. Gram-negativ) gleichen. Zu nennen sind beispielsweise *Proteus vulgaris* (Gilbert et al. 2001) oder *Enterococcus faecalis* (Shipper et al. 2004). Nachteile dieser Methode bestehen in der nicht möglichen Quantifizierung der penetrierten Bakterien. Selbst eine minimale Anzahl von Bakterien, die in die untere Kammer gelangen, verursacht durch bakterielles Wachstum eine Eintrübung. In Vivo können jedoch Bakterien in minimaler Anzahl durch den körpereigenen Abwehrmechanismus des Menschen vernichtet werden und rufen deshalb nicht immer einen klinischen Misserfolg hervor (Shipper et al. 2004). Ein weiterer Nachteil dieser Methode ist in der Größe des Indikators zu sehen. Einerseits können Bakterien, die in undichte Wurzelkanalfüllungen penetrieren, zu Infektionen führen, andererseits reicht

jedoch auch das Eindringen wesentlich kleinerer Moleküle wie zum Beispiel Zucker aus, um in der Wurzelfüllung verbliebene Bakterien zu ernähren und zu einem klinischen Misserfolg zu führen (Wu & Wesselink 1993). Ein negatives Ergebnis beim Bakterien-Penetrations-Test ist deshalb nicht gleichbedeutend mit vollständiger Dichtigkeit der Wurzelfüllung.

2.6.4 Penetrationstest durch Flüssigkeitsfiltration

Mit der Methode der Flüssigkeitsfiltration ist eine quantitative Messung zur Überprüfung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen möglich. Im Jahre 1986 wurde das Verfahren von Derkson et al. (1986) zur Messung der Dentinpermeabilität vorgestellt und später durch Wu et al. (1993) zur Beurteilung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen modifiziert. Die Methode basiert auf folgendem Prinzip:

Auf die Öffnung eines Zahnes wirkt mit zusätzlichem Druck eine Flüssigkeit (meist steriles Wasser) von koronal nach apikal, deren Bewegung anhand einer im Flüssigkeitssystem befindlichen Luftblase abgelesen wird. Die Messung erfolgt in Intervallen, die Größe der Bewegung korreliert mit der Dichtigkeit der Wurzelfüllung.

Als Vorteile dieses Systems werden die Möglichkeit der quantitativen Analyse, die Messung der gesamten Wurzelfüllung, die Sensitivität der Methode und der Strukturerhalt der Zähne und damit die Reproduzierbarkeit der Untersuchungen genannt (Orucoglu et al. 2005).

Als Nachteil dieses Verfahrens ist die nur intervallsartig zu bestimmten Zeitpunkten durchführbare Messung anzusehen. Kontinuierliche Langzeit-Beobachtungen sind mit dieser Methode nicht möglich. Des Weiteren stellt sich die Frage nach der Genauigkeit der quantitativen Beobachtung der Luftblase bei der Flüssigkeitsfiltrations-Methode durch das bloße Auge (Van der Sluis et al. 2007; Shemesh et al. 2007) im Vergleich zu neueren Methoden wie beispielsweise der Glukose-Penetrations-Untersuchung.

2.6.5 Glucose-Penetration

Erst kürzlich stellten Xu et al. (2005) ein neues Penetrationsmodell vor, bei dem als Indikator eine Glucose-Lösung Verwendung findet. Die Glucose-Methode kann als eine Weiterentwicklung der Flüssigkeitsfiltrations-Methode angesehen

werden. Beide Modelle bewerten die Penetration von Flüssigkeiten entlang der Wurzelfüllung, wobei ein konstanter Druck auf die Wurzelfüllung aufgebaut wird (Van der Sluis et al. 2007). Der Versuchsaufbau der Glucose-Methode besteht gemäß Xu et al. (2005) aus einem Röhrchen, welches mit konzentrierter Glucose-Lösung gefüllt ist und gleichzeitig mit dem koronalen Anteil des zu untersuchenden Zahnes verbunden ist. Die Wurzelspitze des Zahnes ist in eine Flüssigkeit des unteren Gefäßes getaucht. Glucose, die entlang der Wurzelfüllung penetriert, wird in dem unteren Gefäß aufgefangen und mithilfe eines enzymatischen Tests volumetrisch zu bestimmten Zeitpunkten gemessen. Über das Konzentrationsniveau und über die Konzentrationsänderung der aufgefangenen Glucose in einem bestimmten Zeitraum lassen sich nun Rückschlüsse auf das Abdichtungsverhalten der Wurzelfüllung ziehen.

Glucose scheint als Indikator geeignet zu sein, da es ein geringes Molekulargewicht hat und ein Substrat für Bakterien ist. Glukose, die durch koronales Mikroleakage in die Wurzelkanalfüllung eindringt, kann als Substrat für Bakterien, die im Wurzelkanal überlebt haben zu bakteriellem Wachstum und schließlich zu periapikaler Entzündung führen (Xu et al. 2005). Anders als bei der Flüssigkeits-Filtrations-Methode, bei der Messungen nur zu bestimmten Zeitpunkten intervallartig möglich sind, ist es mit der neuen Methode möglich, über einen langen Zeitraum kontinuierlich quantitative Messungen durchzuführen (Shemesh et al. 2006). Auch andere Autoren, die sich dieses Glucose-Modells bedienen, bewerteten es als einen äußerst sensitiven Test um auf non-destruktive Art die Dichtigkeit von Füllungen zu beurteilen (Zou et al. 2006; Zou et al. 2007; van der Sluis et al. 2007; Xu et al. 2007; Shemesh et al. 2007; Kaya et al. 2007; Ozok et al. 2008)

2.6.6 Radiologische Untersuchungen

Mithilfe radiologischer Untersuchungen werden auch heute noch die Homogenität sowie die apikale Ausdehnung der Wurzelfüllung beurteilt. Als homogen werden nur blasenfreie und wandständige Wurzelkanalfüllungen angesehen. Das Kriterium der apikalen Ausdehnung wird erfüllt, wenn die Wurzelfüllung nach apikal die Arbeitslänge des aufbereiteten Wurzelkanals erreicht. Anhand dieser Kriterien können in retrospektiven Kohortenstudien Rückschlüsse auf die Qualität der Wurzelfüllungen gezogen werden.

Voraussetzung für vergleichbare Aussagen ist die größtmögliche Standardisierung der Untersuchungstechnik wie beispielsweise die Belichtungszeit, der Abstand vom Objekt zum Röntgentubus und die Richtung des Strahlenganges, um eine Reproduzierbarkeit und Vergleichsmöglichkeit zu garantieren.

Nachteil dieser radiologischen Untersuchungsmethode ist die nur zweidimensionale Darstellung der an sich dreidimensionalen Struktur der Wurzelkanalfüllung. Um eine Annäherung an die Dreidimensionalität der Wurzelkanalfüllung zu ermöglichen, sind deshalb Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen – in vestibulo-oraler und in mesio-distaler Richtung – zu bevorzugen.

Die Eignung einer in vestibulo-oraler Richtung angefertigten Röntgenkontrollaufnahme zur Qualitätskontrolle einer Wurzelkanalfüllung wird jedoch in einigen in der Vergangenheit veröffentlichten Publikationen kritisch hinterfragt (Youngson et al. 1995; Slaus et al. 2001). Bei der röntgenologischen Beurteilung von Wurzelkanalfüllungen in mesio-distaler Richtung konnten gegenüber den vestibulo-oralen Röntgenkontrollaufnahmen insbesondere Porositäten und fehlende Wandständigkeit innerhalb der untersuchten Wurzelkanalfüllung signifikant häufiger nachgewiesen werden (Slaus et al. 2001). Mängel in der Obturation der Wurzelkanäle, welche sich auf Grund dieser Porositäten und dem fehlenden Wandkontakt als röntgenologische Inhomogenität darstellen, können bei den vestibulo-oralen Kontrollaufnahmen häufig übersehen werden. Möglicherweise lassen sich hierdurch klinische Fälle erklären, welche trotz einer als gut bewerteten Wurzelkanalbehandlung zu einem endodontischen Misserfolg führten (De Cleen et al. 1993).

Da die Beurteilung von Röntgenbildern immer auch partiell subjektiv durch den Betrachter erfolgt, führt eine radiologische Untersuchung immer zu nur bedingt objektiven und damit auch von Betrachter zu Betrachter unterschiedlichen Ergebnissen.

3 Zielsetzung

In der vorliegenden Untersuchung soll die Dichtigkeit von verschiedenen Wurzelkanalfüllmaterialien und Wurzelfülltechniken anhand einer Glucose-Penetrations-Testung überprüft werden.

Bei der Untersuchung sollen fünf experimentelle Gruppen mit jeweils 20 Zähnen sowie zwei Kontrollgruppen mit jeweils fünf Zähnen untersucht werden.

Dabei sollen die Zähne bei lateraler und vertikaler Kompaktionstechnik mit jeweils zwei verschiedenen Wurzelkanalfüllmaterialien und bei Zentralstifttechnik mit einem anderen Füllmaterial versorgt werden.

Eine negative sowie eine positive Kontrollgruppe soll die Validität des Verfahrens überprüfbar werden lassen.

Die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllmaterialien und Wurzelkanalfülltechniken soll mittels einer Glucose-Penetrations-Testung erfolgen. Hierzu werden die Zähne in einen Versuchsaufbau eingearbeitet, in der eine 1mol/Liter Glucose-Lösung entlang der Wurzelkanalfüllung durchpenetrieren kann. Dabei soll ein hydrostatischer Druck von 1,5 kP auf die koronale Wurzelkanalöffnung wirken. Die Messung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung soll anhand der Glucose-Konzentration der penetrierten Lösung am 1., 2., 4., 7., 10., 15., 20. und 30. Tag erfolgen. Die Konzentration wird mit Hilfe der enzymatischen Glucose-Oxidase-Methode und der Spektrophotometrie ermittelt.

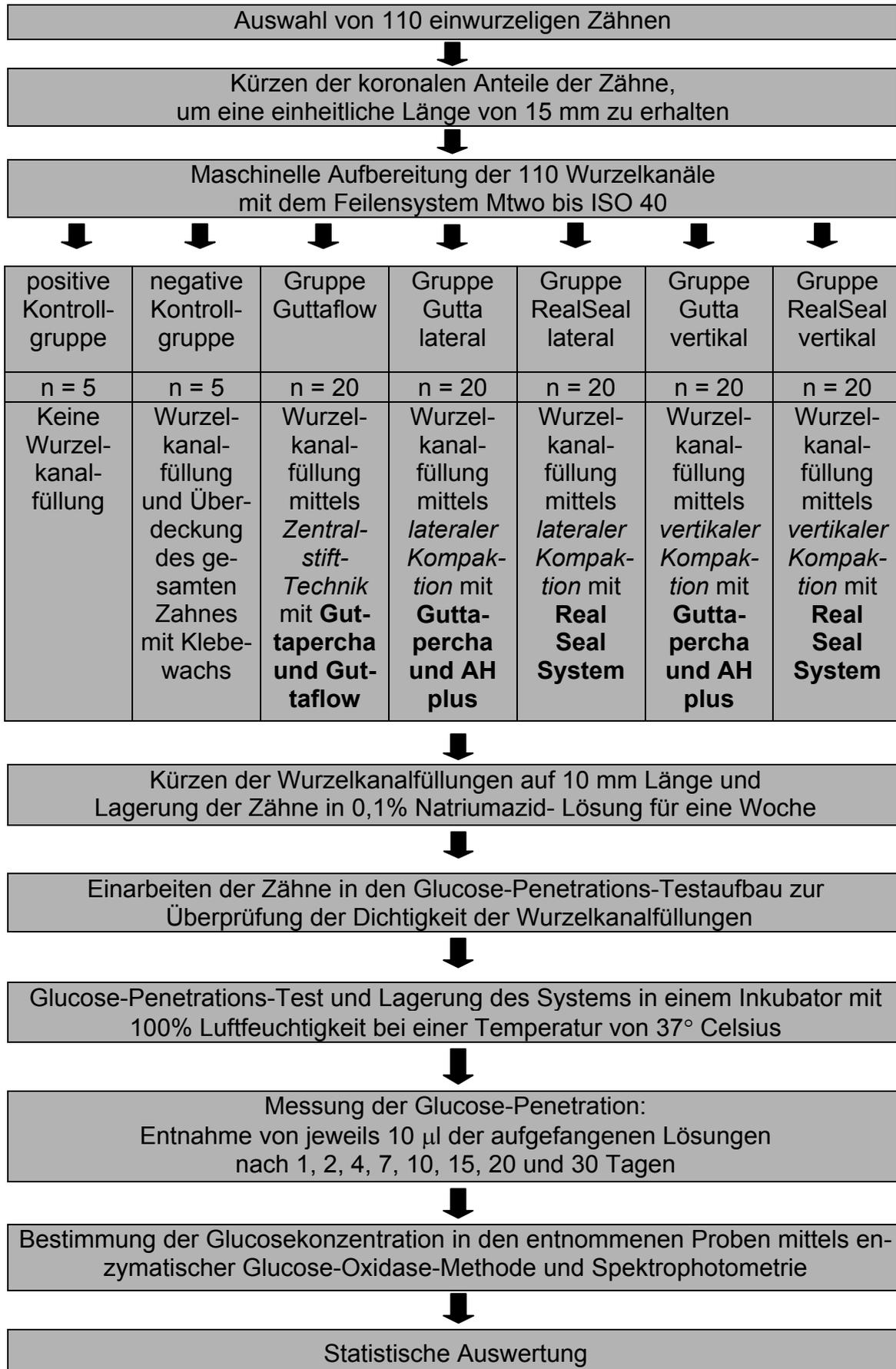
Die gewonnenen Ergebnisse aus der Dichtigkeitsmessung sollen mit geeigneten statistischen Verfahren auf Signifikanz der Unterschiede bei der Dichtigkeit geprüft werden.

Folgende Hypothesen sollen untersucht werden:

1. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration zwischen Wurzelfüllungen mit dem "Goldstandard" Guttapercha bei lateraler Kompaktion und Wurzelfüllungen mit Guttaflow bei Zentralstifttechnik.

2. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration zwischen Wurzelfüllungen mit dem "Goldstandard" Guttapercha bei lateraler Kompaktion und Wurzelfüllungen mit dem RealSeal System bei lateraler Kompaktionstechnik.
3. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration zwischen Wurzelfüllungen mit dem "Goldstandard" Guttapercha bei lateraler Kompaktion und Wurzelfüllungen mit Guttapercha bei vertikaler Kompaktionstechnik.
4. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration zwischen Wurzelfüllungen mit dem "Goldstandard" Guttapercha bei lateraler Kompaktion und Wurzelfüllungen mit dem RealSeal System bei vertikaler Kompaktionstechnik.
5. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration an den Tagen 1, 2, 4, 7, 10, 15, 20 und 30 nach Legen der Wurzelfüllungen.

4 Material und Methode



4.1 Versuchsdesign

110 menschliche, kariesfreie Front- und Eckzähne werden ausgewählt und der koronale Anteil der Zähne gekürzt, so dass die Zähne eine einheitliche Länge von 15 mm aufweisen. Anschließend erfolgt die maschinelle Aufbereitung der Wurzelkanäle mit dem Feilensystem Mtwo (Mat. # 23) bis zur ISO-Größe 40 bis 1 mm vor den anatomischen Apex. Die 110 gekürzten Zähne werden anschließend randomisiert in sieben Gruppen eingeteilt:

positive Kontrollgruppe: (n = 5)	keine Wurzelfüllung (positive Kontrollgruppe)
negative Kontrollgruppe: (n = 5)	Wurzelkanalfüllung und Überdeckung des gesamten Zahnes mit Klebewachs (Mat. # 18) (negative Kontrollgruppe)
Gruppe Guttaflow: (n = 20)	Wurzelkanalfüllung mittels Zentralstifttechnik mit Guttaflow (Mat. # 12)
Gruppe Gutta lateral: (n = 20)	Wurzelkanalfüllung mittels lateraler Kompaktion mit Guttapercha (Mat. # 13) und AH plus (Mat. # 1)
Gruppe RealSeal lateral: (n = 20)	Wurzelkanalfüllung mittels lateraler Kompaktion mit dem RealSeal-System (Mat. # 33)
Gruppe Gutta vertikal: (n = 20)	Wurzelkanalfüllung mittels vertikaler Kompaktion mit Guttapercha (Mat. # 14 & 15) und AH plus (Mat. # 1)
Gruppe RealSeal vertikal: (n = 20)	Wurzelkanalfüllung mittels vertikaler Kompaktion mit dem RealSeal-System (Mat. # 33)

Die bezifferten Materialien sind im Anhang unter *9 Anhang/Materialliste* aufgeschlüsselt.

Es folgt die Wurzelfüllung entsprechend der Gruppeneinteilung. Anschließend wird die Wurzelkanalfüllung jedes Zahnes auf 10 mm Länge gekürzt. Die Zähne werden für eine Woche in 0,1% Natriumazid-Lösung (Mat. # 24) gelagert. Daraufhin werden sie in die Glucose-Penetrations-Testungs-Apparatur zur Überprüfung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen eingearbeitet. Es folgt der Glucose-Penetrations-Test in einem Wärmeschrank (Mat. # 42) mit 100% Luft-

feuchtigkeit bei einer Temperatur von 37° Celsius. Für die Messung der Glucose-Penetration werden nach 1, 2, 4, 7, 10, 15, 20 und 30 Tagen jeweils 10 µl der aufgefangenen Lösung entnommen. Anschließend erfolgt die Bestimmung der Glucosekonzentration in den entnommenen Proben mittels der enzymatischen Glucose-Oxidase-Methode und Spektrophotometrie. Abschließend erfolgt die statistische Auswertung.

4.2 Sammeln der Zähne

Bei niedergelassenen Marburger und Freiburger Zahnärzten wurden ca. 200 extrahierte Front- und Eckzähne gesammelt. Der Zeitpunkt der Extraktion der Zähne lag drei bis sechs Monate zurück. Bis zum Versuchsbeginn wurden sie in einer Thymollösung (Mat. # 40) bei Zimmertemperatur gelagert. Über das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Extraktion sind keine Angaben verfügbar.

4.3 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Um festzustellen, ob die abgetrennten Zähne für den Versuchszweck geeignet sind, werden folgende Kriterien zur Selektion festgelegt:

Die Einschlusskriterien sind:

- Front- und Eckzähne
- Ein Kanal
- Klemmpassung apikal ISO 15

Die Ausschlusskriterien sind:

- Resorptive Defekte
- Wurzelfrakturen
- Mehrere Kanäle
- Teilung eines Kanals (Kanalkonfiguration Typ IV)
- Kariöse Läsionen
- Wurzelfüllungen

4.4 Röntgen der Zähne

Um die Einschluss- und Ausschlusskriterien einhalten zu können, werden die Zähne einer visuellen und röntgenologischen Untersuchung unterzogen. Die

röntgenologische Untersuchung erfolgt mit digitalem Röntgen der Zähne in mesio-distaler Richtung bei 65 kV und einer Belichtungszeit von 0,2 Sekunden. Aus den für den Versuch geeigneten Front- und Eckzähnen werden 110 Zähne zufällig ausgewählt und visuell sowie röntgenologisch bezüglich Ihrer Eignung überprüft.

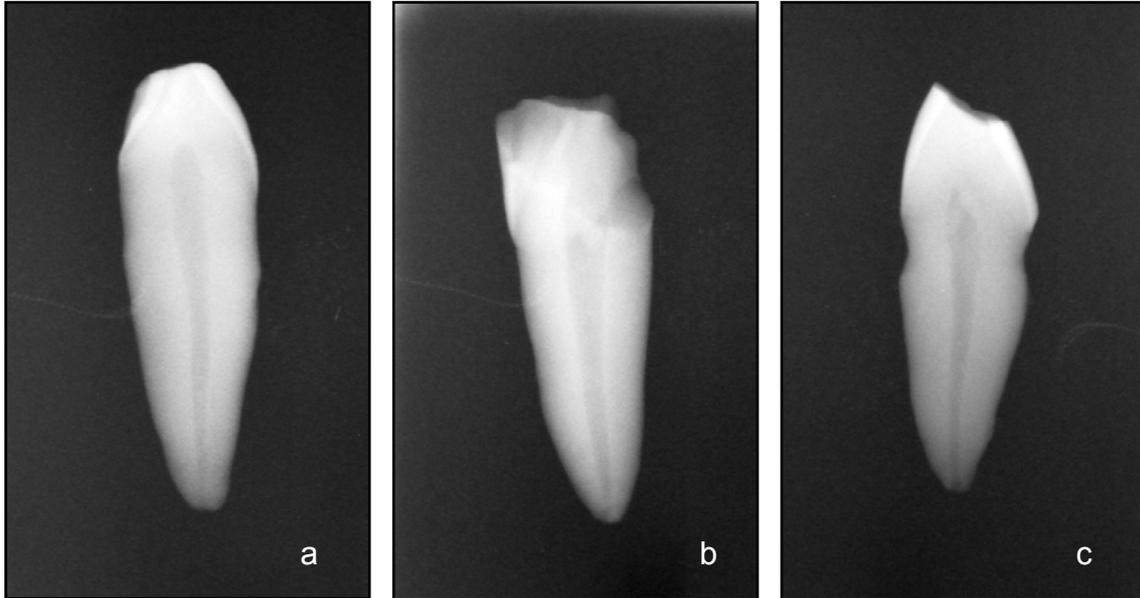


Abbildung 4.1: Beispielhaft sind röntgenologisch untersuchte Zähne dargestellt

4.5 Zahnvorbereitung 1

Die Zähne werden mit einem Scaler (Mat. # 37) gereinigt. Die koronalen Anteile werden dann mit einer Diamanttrennscheibe (Mat. # 4) bis auf 15 mm Gesamtlänge gekürzt.

4.6 Verteilung der Zähne

Die Form der Wurzelkanäle wird nach visueller Begutachtung bei 10-facher Vergrößerung in runde und ovale Wurzelkanäle eingeteilt. 66 Zähne mit rundem Wurzelkanal und 44 Zähne mit ovalem Wurzelkanal werden dementsprechend zu gleichen Teilen auf die fünf Versuchsgruppen (jeweils 12 runde und 8 ovale Wurzelkanäle) und auf die zwei Kontrollgruppen (jeweils drei runde und zwei ovale Wurzelkanäle) aufgeteilt.

Die Zähne werden nun bis zum Beginn der Aufbereitung in destilliertem Wasser bei einer Temperatur von 4° Celsius gelagert.

4.7 Wurzelkanalaufbereitung

Die Kanaleingangsdarstellung erfolgt mit Gates-Glidden-Bohrern (Mat. # 10) im Crown-Down-Verfahren. Anschließend wird zunächst die Instrumentierung der Kanäle mit einer K-Feile der ISO-Größe 10 (Mat. # 17) derart durchgeführt, dass die Spitze der Feile gerade über dem anatomischen Apex sichtbar ist. So wird die apikale Durchgängigkeit gewährleistet und anschließend die Arbeitslänge festgelegt. Die Arbeitslänge wird auf 1 mm vor den Austrittspunkt der Feile festgelegt.

Zur Aufbereitung der Kanäle wird das Feilensystem Mtwo (Mat. # 23) mit dem Motor Endo-IT-professional (Mat. # 5) und einem Winkelstück (Mat. # 28) verwendet. Die Aufbereitung erfolgt nach der Single-Length-Technik, bei der alle Instrumente sofort auf volle Arbeitslänge eingebracht werden. Dabei werden die Feilen 10/.04, 15/.05, 20/.06, 25/.06, 30/.05, 35/.04, 40/.04 und 25/.07 in aufsteigender Reihenfolge verwendet.

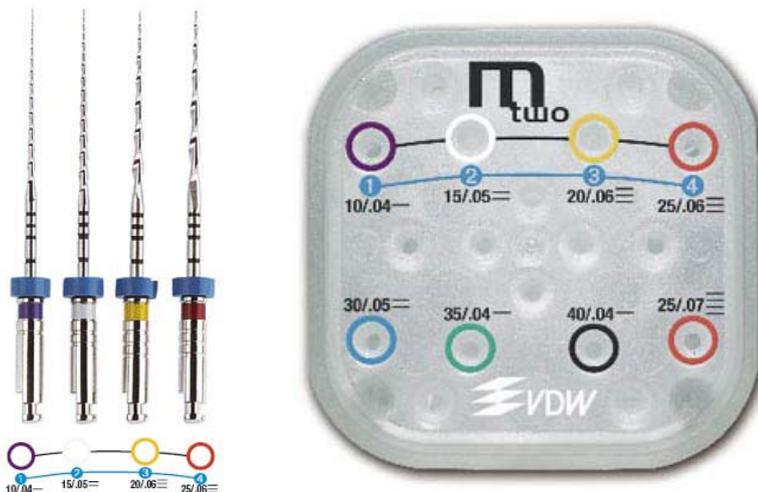


Abbildung 4.2: Darstellung von vier Instrumenten sowie der Systembox für Mtwo Instrumente

Nach jedem Instrumentenwechsel wird mit 3 % Natriumhypochlorid (NaOCl) (Mat. # 25) gespült. Um den Smearlayer zu entfernen wird nach Abschluss der maschinellen Aufbereitung folgendes Spülprotokoll mit jeweils 2 ml Spüllösung bei Raumtemperatur (20°C) in der Reihenfolge angewendet:

- 3 % Natriumhypochlorid (NaOCl) (Mat. # 25)
- 10% Zitronensäurelösung (Mat. # 45)

- 3 % Natriumhypochlorid (NaOCl) (Mat. # 25)
- destilliertes Wasser.

Da Dentinspäne die apikale Region des Wurzelkanals verstopfen können, wird die Durchgängigkeit des Foramen apikale nach Abschluss der Aufbereitung mit einer K-Feile der ISO Größe 10 (Mat. # 17) überprüft. Diese wird unter visueller Kontrolle bei 10-facher Vergrößerung zum Apex vorgeschoben, bis sie an der Wurzelspitze sichtbar wird.

Mit genormten Papierspitzen (Mat. # 30) werden die Wurzelkanäle abschließend getrocknet.

4.8 Wurzelfüllung

4.8.1 Positive Kontrollgruppe:

keine Wurzelfüllung

Die Zahnwurzeln der positiven Kontrollgruppe erhalten keine Wurzelfüllung.

4.8.2 Negative Kontrollgruppe:

Wurzelkanalfüllung vorhanden

Die Zahnwurzeln der negativen Kontrollgruppe werden mit Guttapercha (Mat. # 13) und AH plus (Mat. # 1) unter Anwendung der lateralen Kompaktion gefüllt (siehe Gruppe 2). Zusätzlich werden alle Zahnwurzeln der negativen Kontrollgruppe vollständig mit Klebewachs (Mat. # 18) überdeckt.

4.8.3 Gruppe Guttaflow:

Zentralstifttechnik mit Guttaflow

In dieser Gruppe wird das aus Guttapercha-Pulver und einer Polydimethylsiloxanmatrix bestehende Kaltfüllsystem Guttaflow (Mat. # 12) mit einem Guttapercha-Stift der ISO-Größe 40 und Taper 04 (Mat. # 14) verwendet. Zunächst wird der Durchmesser des auf Arbeitslänge gekürzten Guttapercha-Stiftes mit einer Messlehre (Mat. # 20) überprüft und anschließend die Klemmpassung im Kanal kontrolliert („cone fit“).

Das in Kapseln enthaltene Guttaflow-Material (Abbildung 4.3) wird manuell aktiviert und für 30 s in einem Triturator (Mat. # 41) angemischt.

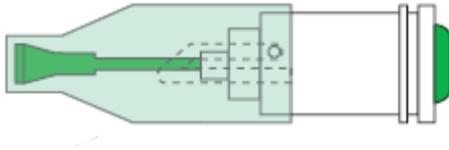


Abbildung 4.3: Schematische Zeichnung einer Guttaflow-Anmisch-Kapsel

Zur Wurzelkanalfüllung wird das Material mittels Applikationsspitze (Abbildung 4.4) in die dafür vorgesehenen Wurzelkanäle so appliziert, dass die Applikationsspitze möglichst in das apikale Drittel des Wurzelkanals vorgeschoben und das angemischte Material eingelassen wird.

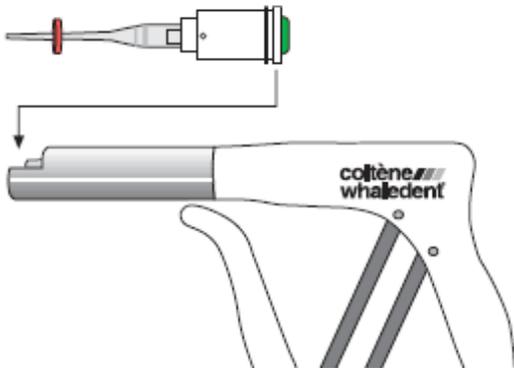


Abbildung 4.4: Schematische Zeichnung eines Guttaflow-Applikators mit Anmischkapsel und Applikationsspitze

Unmittelbar danach erfolgt das Nachschieben des angepassten Guttapercha-Stiftes (Mat. # 14) bis zur Klemmpassung. Im Anschluss daran wird der überschüssige Anteil des Guttapercha-Stiftes (Mat. # 14) mit einem erhitzten Instrument (Mat. # 27) abgetragen. Überschüssiges Guttaflow-Material wird mit einem Wattepellet (Mat. # 43) entfernt. Auch überpresstes Material, das bei den Wurzelfüllungen aus Guttaflow häufig zu beobachten war, wurde vorsichtig mit einem Wattepellet (Mat. # 43) entfernt.

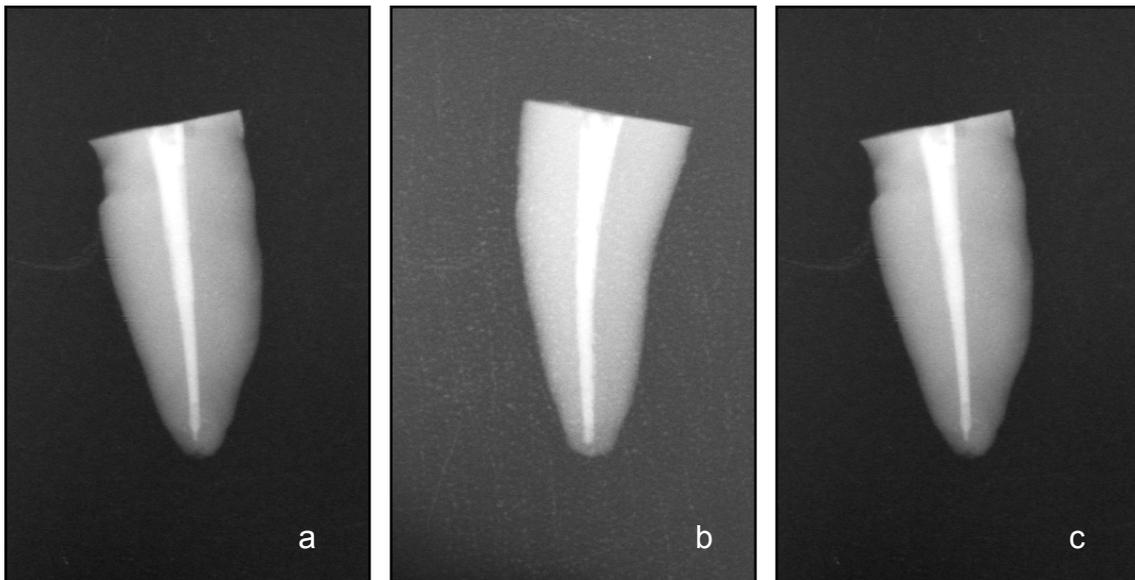


Abbildung 4.5: Beispielhaft sind Röntgenbilder von Zahnwurzeln mit einer Guttaflow-Wurzelfüllung dargestellt

4.8.4 Gruppe Gutta lateral:

Laterale Kompaktion mit Guttapercha und AH plus

Für jeden Wurzelkanal wird ein Guttapercha-Stift (Mat. # 14) der ISO-Größe 40 und Taper 02 (Masterpoint), dessen Durchmesser mit Hilfe einer Messlehre (Mat. # 20) überprüft wird, auf Arbeitslänge gekürzt. Der Guttapercha-Stift (Mat. # 14) wird dann vor Beginn der Wurzelkanalfüllung so angepasst, dass er ohne großen Druck bis zum apikalen Stop unter einer apikalen Klemmpassung („cone fit“) eingeführt werden kann.

Der Sealer AH plus (Mat. # 1) wird auf einer Glasplatte im Verhältnis 1:1 angemischt. Der Masterpoint wird in den angemischten Sealer (Mat. # 1) eingetaucht, so dass er von allen Seiten dünn mit dem Material bedeckt wird. Der Stift wird anschließend langsam und kontinuierlich mittels Pumpbewegungen bis zum apikalen Stop in den Wurzelkanal eingeführt.

Die initiale laterale Kompaktion des ersten Guttapercha-Stiftes (Mat. # 14) erfolgt mit einem NiTi-Fingerspreader der ISO-Größe 25 (Mat. # 26). Es wird darauf geachtet, dass beim Einführen in den Kanal der Spreader 1–2 mm vor Arbeitslänge eingeführt werden kann. Danach wird ein Zusatzstift der ISO-Größe 20 (Mat. # 14) ebenfalls gleichmäßig und dünn mit Sealer (Mat. # 1) bestrichen und in den Kanal eingeschoben. Die Kompaktion wird so oft wiederholt, bis sich der Spreader (Mat. # 26) weniger als 3 mm in den Wurzelkanal einführen lässt. Das überschüssige Guttapercha-Material wird mit einem heißen Instrument

(Mat. # 27) abgetrennt und die Sealer-Reste entfernt. Mit einem Plugger (Mat. # 27) wird die Wurzelfüllung unmittelbar danach vertikal verdichtet.

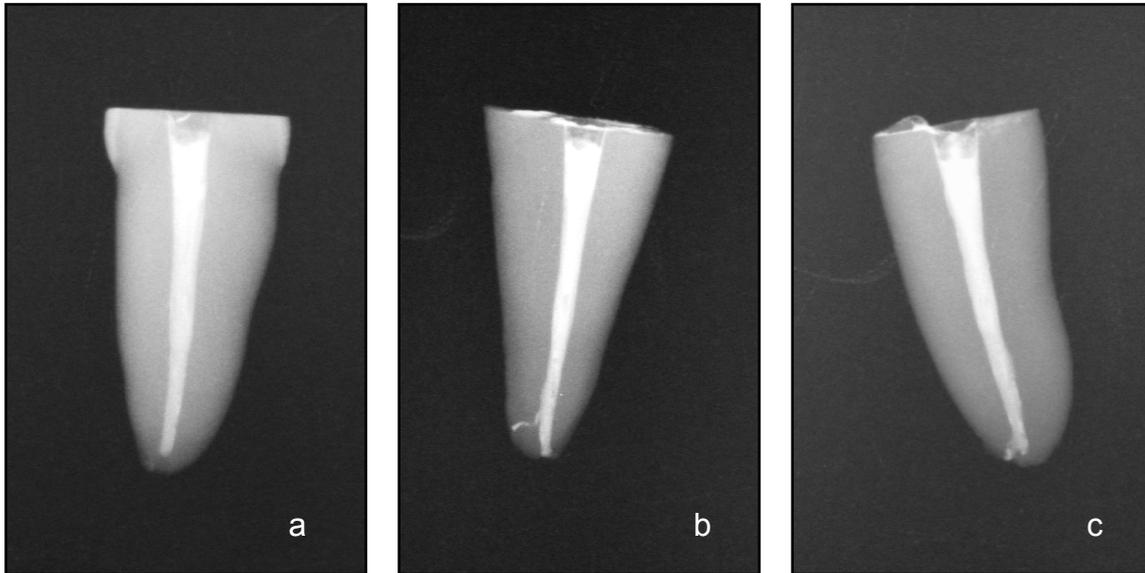


Abbildung 4.6: Beispielhaft sind Röntgenbilder von Zahnwurzeln mit einer Wurzelfüllung aus Guttapercha und lateraler Kompaktionstechnik dargestellt. Auch bei lateraler Kompaktion können Seitenkanäle abgefüllt werden (siehe Abb. b)

4.8.5 Gruppe RealSeal lateral:

Laterale Kompaktion mit dem RealSeal-System

Ein RealSeal-Stift (Mat. # 33) der ISO Größe 40 und Taper 02 wird nach den gleichen Kriterien wie ein Guttapercha-Stift (Mat. # 14) bei der lateralen Kompaktion (s.o.) angepasst. Die Kanäle werden mit einem RealSeal-Primer (Mat. # 33), der mit Hilfe eines dünnen Pluggers (Mat. # 27) auf die Wurzelkanalwand aufgetragen wird, konditioniert. Überschüssige Primerflüssigkeit wird mittels Papierspitzen der ISO Größe 40 (Mat. # 30) entfernt.



Abbildung 4.7: Darstellung von RealSeal-Materialien, RealSeal-Zubehör und Real-Seal-Koffer (Abbildung mit freundlicher Genehmigung des Herstellers)

Um eine geeignete Viskosität zu erhalten wird RealSeal-Sealer (Mat. # 33) aus dem Kartuschensystem auf einer Glasplatte mit Verdünnungsharz (Mat. # 33) vermischt. Die nachfolgende laterale Kompaktion erfolgt nach der gleichen Methodik wie unter Verwendung von Guttaperchastiften (Mat. # 14) und AH plus (Mat. # 1). Dabei werden akzessorische RealSeal-Stifte (Mat. # 33) der ISO Größe 20 verwendet und mit einer Messlehre (Mat. # 20) kontrolliert. Nach der Kompaktion erfolgt eine Lichthärtung von 40 Sekunden.

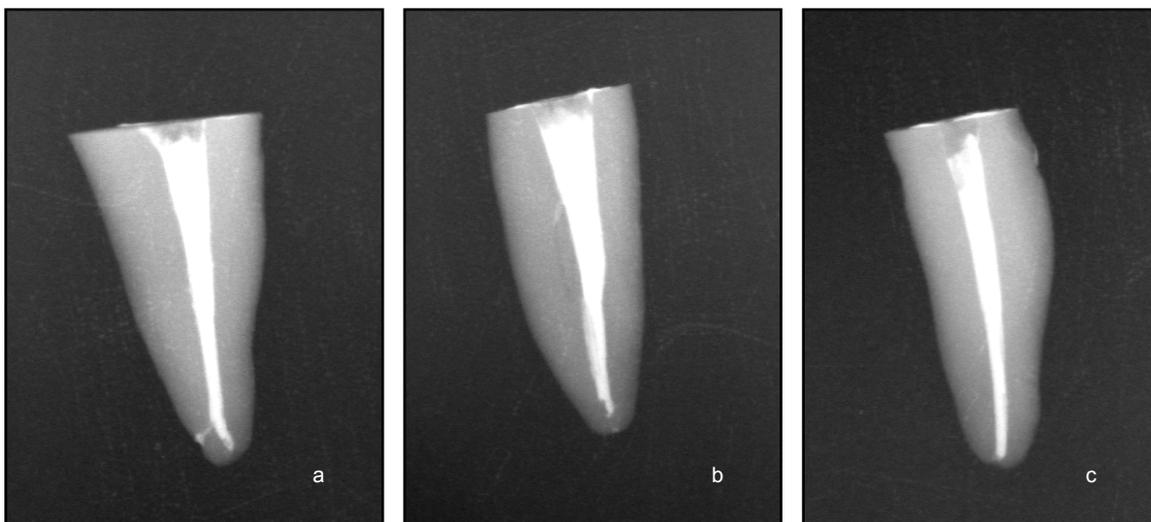


Abbildung 4.8: Beispielhaft sind Röntgenbilder von Zahnwurzeln mit einer RealSeal-Wurzelfüllung und lateraler Kompaktionstechnik dargestellt

4.8.6 Gruppe Gutta vertikal:

Vertikale Kompaktion mit Guttapercha und AH plus

Guttapercha-Stifte (Mat. # 14) der ISO-Größe 40 und Taper 04 werden mit Hilfe einer Messlehre (Mat. # 20) kontrolliert und so angepasst, dass eine Klemmpassung („cone-fit“) erzielt wird. Es wird ein System-B-Plugger (Mat. # 39) so ausgewählt, dass dessen Spitze etwa drei bis fünf Millimeter vor dem Apex klemmt ("binding point"). Der Guttapercha-Stift (Mat. # 14) wird mit dem auf einer Glasplatte angemischten Sealer AH plus (Mat. # 1) beschickt und unter pumpenden Bewegungen in den Kanal eingebracht. Der Anteil über dem Kanaleingang wird mit dem erwärmten System-B-Plugger (Mat. # 39) abgetrennt.

Die Guttapercha wird jetzt erwärmt, indem ein System-B-Plugger (Mat. # 39) in den mit dem Masterpoint gefüllten Kanal eingeführt wird. Vorher in der Länge angepasste Hand-Plugger (Mat. # 27) werden verwendet, um die nun plastifizierte Guttapercha nach apikal zu kondensieren. Die Sequenz bestehend aus Entfernen und Kondensieren („down-pack“) wird solange durchgeführt, bis die Guttapercha auf drei Millimeter vor dem Apex reduziert ist.

Anschließend erfolgt das Auffüllen („backfill“) des Wurzelkanals durch Injektion von kleinen Portionen thermisch plastifizierter Guttapercha (Mat. # 15), wobei nach jeder Injektion die Guttapercha mit Handpluggern (Mat. # 27) nachkondensiert wird. Zum Auffüllen des Wurzelkanals wird das Obtura II Gerät (Mat. # 29) verwendet.

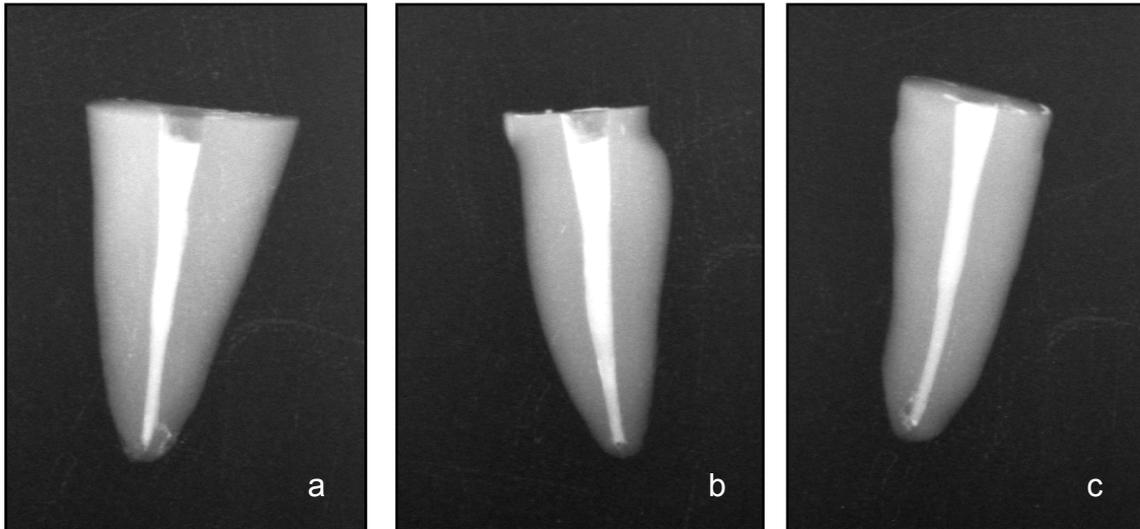


Abbildung 4.9: Beispielhaft sind Röntgenbilder von Zahnwurzeln mit einer Wurzelfüllung aus Guttapercha und vertikaler Kompaktionstechnik dargestellt

4.8.7 Gruppe RealSeal vertikal:

Vertikale Kompaktion mit dem RealSeal-System

Bei der vertikalen Kompaktion mit dem RealSeal-System (Mat. # 33) werden RealSeal-Stifte der ISO Größe 40 und Taper 04 verwendet. Die Anpassung der Stifte sowie die Konditionierung des Kanals erfolgt in gleicher Weise wie bei der lateralen Kompaktion mit RealSeal (Mat. # 33).

Das Down-Pack-Verfahren wird in der gleichen Art und Weise wie bei der vertikalen Kompaktion mit Guttapercha angewendet. Es wird dabei darauf geachtet, dass die Wurzelkanalwand beim Einführen des in Sealer getauchten Real-Seal-Stiftes, vollständig mit Sealer beschickt wird.

Auch das Auffüllen des Wurzelkanals erfolgt unter Anwendung des Obtura II Gerätes (Mat. # 29) und des thermisch plastifizierbarem Resilon-Materials (Mat. # 33) (siehe vertikale Kompaktion mit Guttapercha). Nach der Kompaktion erfolgt eine Lichthärtung von 40 Sekunden.

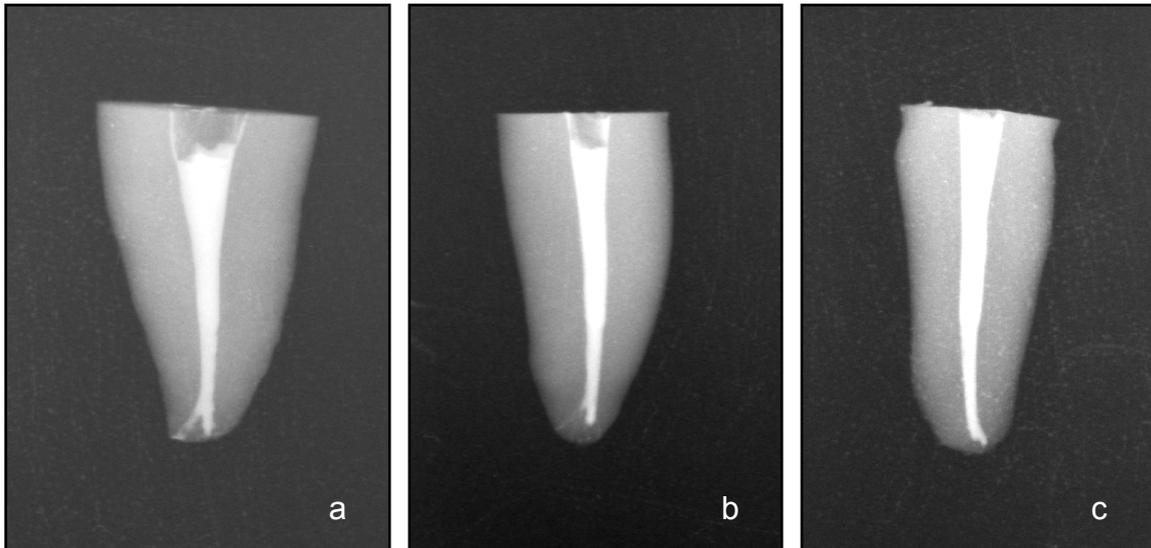


Abbildung 4.10: Beispielhaft sind Röntgenbilder von Zähnen mit einer Real-Seal-Wurzelfüllung und vertikaler Kompaktionstechnik dargestellt

4.9 Zahnvorbereitung 2

Alle Wurzeln werden erneut in mesio-distaler Richtung geröntgt, um die röntgenologische Homogenität und Wandständigkeit der Füllungen zu beurteilen. Inhomogene sowie nicht der Arbeitslänge entsprechende Wurzelfüllungen werden vollständig revidiert und die Kanaldesinfektion gemäß des Spülprotokolls erneut durchgeführt.

Alle Wurzelfüllungen werden nun mit einem Rosenbohrer (Mat. # 35) bis auf eine Länge von 10 mm gekürzt. Anschließend werden alle Zahnwurzeln in 0,1 % Natriumacidlösung (NaN_3) (Mat. # 24) für sieben Tage gelagert.

4.10 Versuchsaufbau

4.10.1 Aufbau der Versuchsanordnung

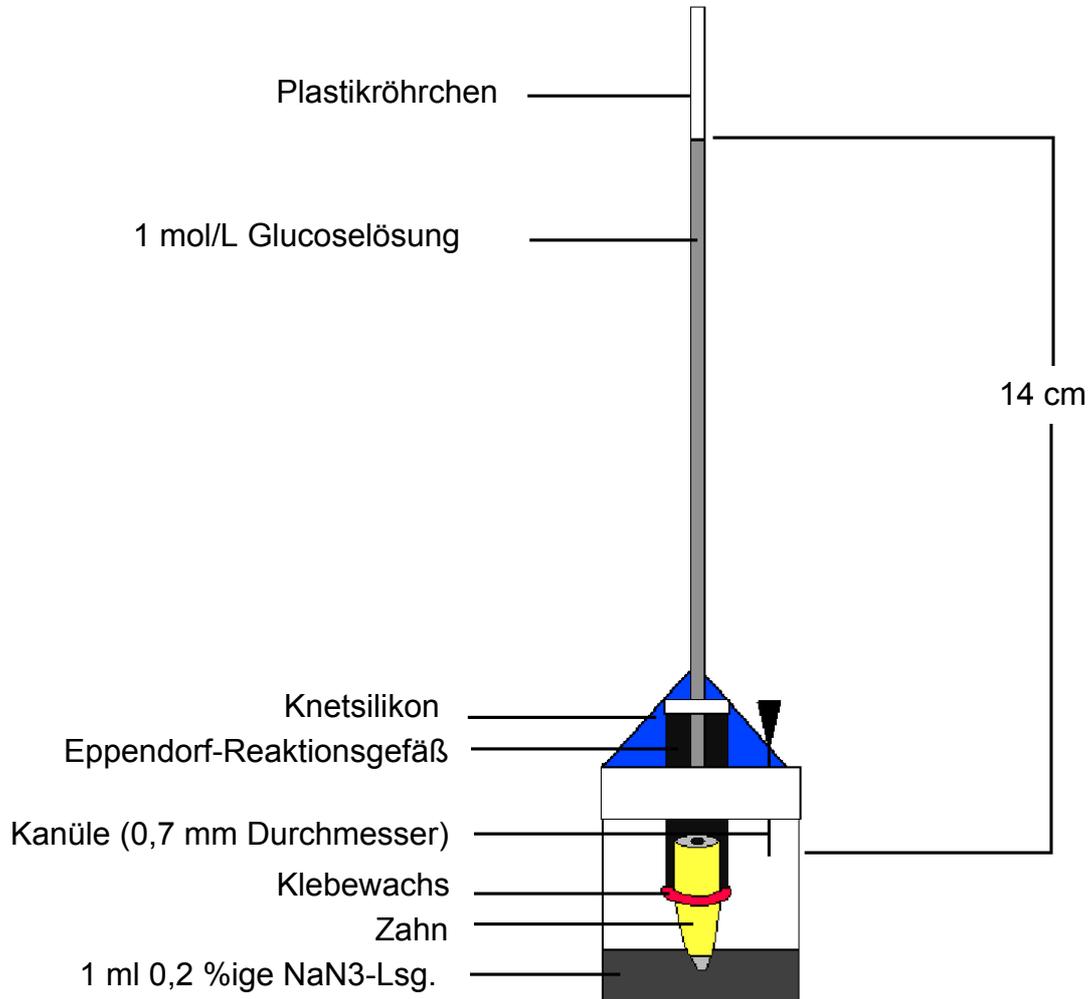


Abbildung 4.11: Schematische Zeichnung des Versuchsaufbaus

In ein Eppendorf Reaktionsgefäß der Größe 1,5 ml (Mat. # 8) wird mit einer Fräse (Mat. # 9) in den Verschlussdeckel eine im Durchmesser 8 mm große Öffnung gebohrt. 7 mm der konischen Spitze des Reaktionsgefäßes (Mat. # 8) werden mit einer Diamanttrennscheibe (Mat. # 4) abgetrennt.

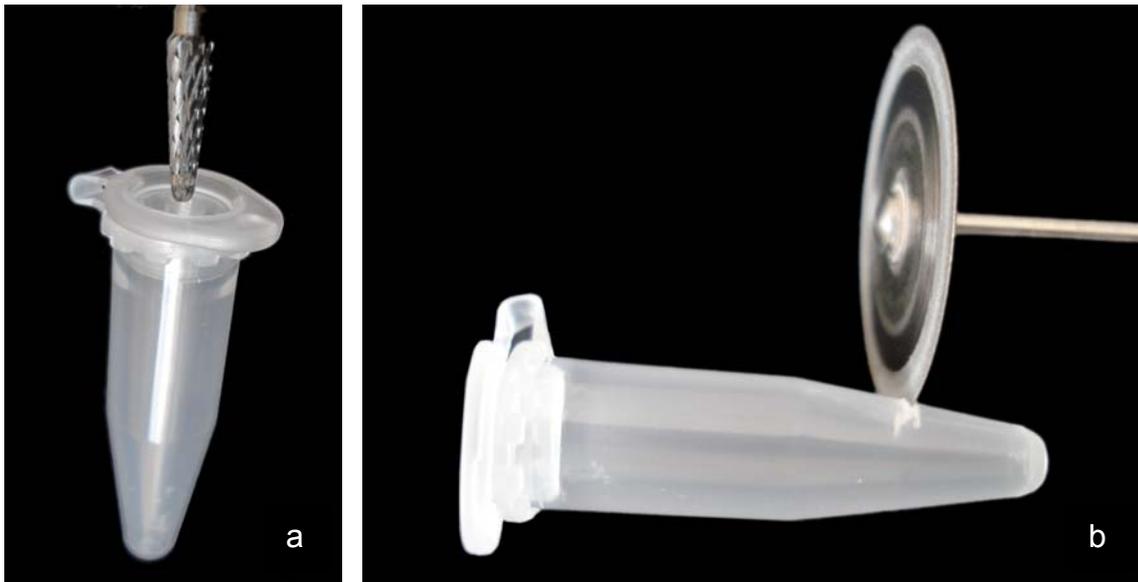


Abbildung 4.12: Beispielhaft sind die Bohrung in den Verschluss des Eppendorf-Reaktionsgefäßes sowie die Abtrennung der Spitze des Eppendorf-Reaktionsgefäßes dargestellt.

Der PE-Schnappdeckel eines Rollrandglases der Größe 5 ml (Mat. # 34) wird mit einer Fräse (Mat. # 9) mit einem Durchmesser von 11 mm eröffnet, so dass das Eppendorf Reaktionsgefäß (Mat. # 8) in der Öffnung platziert werden kann.



Abbildung 4.13: Beispielhaft ist die Bohrung in den PE-Schnappdeckel des Rollrandglases dargestellt.

Ein 15 cm langes Plastikröhrchen (Mat. # 31) mit einem Durchmesser von 7 mm wird zunächst in die Öffnung des Verschlusses des Eppendorf Reaktionsgefäßes (Mat # 8) gesteckt und mit Hilfe von einem 2-Komponenten-Epoxid-

Harz-Kleber (Mat. # 7) befestigt. Undichtigkeiten am Verschluss des Eppendorf-Reaktionsgefäßes (Mat. # 8) werden mit dem 2-Komponenten-Epoxid-Harz-Kleber (Mat. # 7) abgedichtet.



Abbildung 4.14: Vorbereitetes Reaktionsgefäß mit platziertem Plastikröhrchen

Nun wird das Eppendorf-Reaktionsgefäß (Mat. # 8) mit dem Plastikröhrchen (Mat. # 31) in die Öffnung des PE-Schnappdeckels (Mat. # 34) gesteckt und wiederum mit dem 2-Komponenten-Epoxid-Harz-Kleber (Mat. # 7) befestigt.



Abbildung 4.15: Rollrandglas mit vorbereitetem Reaktionsgefäß und Plastikröhrchen

Anschließend wird eine im Durchmesser 0,7 mm große Kanüle (Mat. # 16) durch den PE-Schnappdeckel (Mat. # 34) gesteckt. Diese Kanüle dient der späteren Belüftung des Rollrandglases (Mat. # 34).

Zusätzlich wird nun der Übergang vom PE-Schnappdeckel (Mat. # 34) zum Eppendorf-Reaktionsgefäß (Mat. # 8) sowie vom Eppendorf-Reaktionsgefäß (Mat. # 8) zum Plastikröhrchen (Mat. # 31) mit Hilfe eines Knetsilikons (Mat. # 19) abgedichtet. Es werden 110 Versuchsaufbauten in dieser Art und Weise hergestellt. Alle 110 Zahnwurzeln werden in diese Versuchsapparaturen eingebaut.

4.10.2 Einfügen der Zahnwurzeln

Die Zahnwurzeln der experimentellen Gruppen sowie der positiven Kontrollgruppe werden mit Klebewachs (Mat. # 18) bedeckt. Dabei bleiben der Kanaleingang sowie die apikale Region bis 1 mm vor der Wurzelspitze frei von Klebewachs (Mat. # 18). Die Wurzeln der negativen Kontrollgruppe werden vollständig mit Klebewachs (Mat. # 18) überdeckt.

Alle Zahnwurzeln werden in die Öffnungen der Eppendorf-Reaktionsgefäße (Mat. # 8) gesteckt. Dabei ist der Kanaleingang einer jeden Wurzel dem Eppendorf-Reaktionsgefäß (Mat. # 8) zugewandt. Jetzt werden alle Zahnwurzeln zum Eppendorf-Reaktionsgefäß (Mat. # 8) hin mit Klebewachs (Mat. #18) abgedichtet.

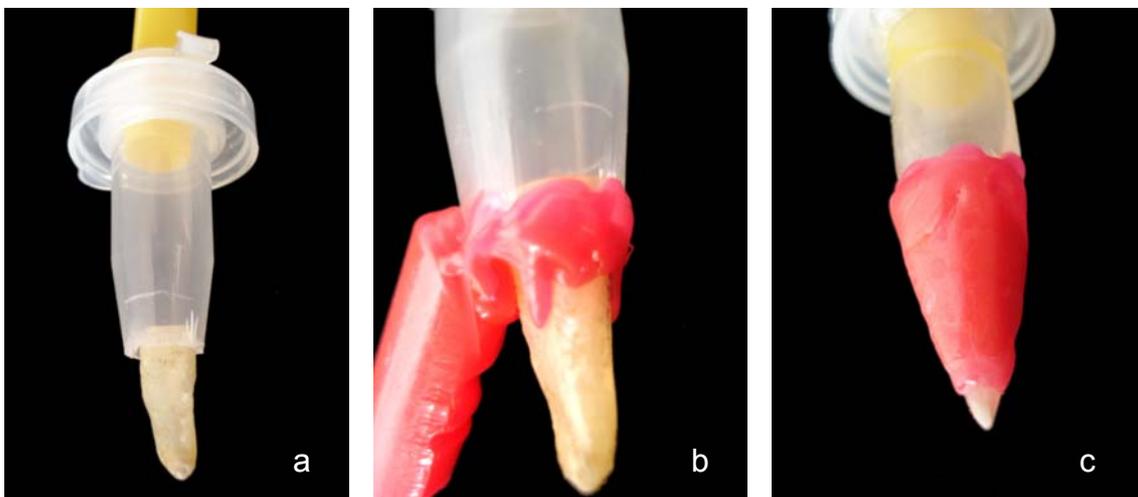


Abbildung 4.16: Beispielhaft ist der Einbau der Zahnwurzeln in das Reaktionsgefäß sowie die Bedeckung der Wurzeln der experimentellen und positiven Gruppen mit Klebewachs dargestellt.

4.10.3 Befüllen mit Glucoselösung und Natriumacidlösung

Die Prüflösung in dieser Studie ist eine 1 mol/l Glucoselösung (Dichtigkeit: $1,09 \times 10^3$ g/l, Viskosität: $1,18 \times 10^{-3}$ Pa s bei 37° Celsius) (Mat. # 2) mit zusätzlich 0,2 % Natriumacid (Mat. # 24).

6 ml der Glucoselösung (Mat. # 2) werden in das Plastikröhrchen (Mat. # 31) gefüllt, so dass der Flüssigkeitsspiegel im Plastikröhrchen (Mat. # 31) genau 14 cm höher als das Ende der Wurzelfüllung im Wurzelkanal ist. Dadurch wird ein hydrostatischer Druck von 1,5 kPa (15 cm H₂O-Säule) aufgebaut. Um eine Verdunstung der Glucoselösung (Mat. # 2) im Plastikröhrchen (Mat. # 31) zu verhindern, werden 0,2 ml Zedernholzöl (Mat. # 44) auf die Glucoselösung (Mat. # 2) gegeben.

Die 110 zuvor sterilisierten Rollrandgläser (Mat. # 34) werden mit 1ml 0,2 %iger Natriumacidlösung (Mat. # 24) befüllt. Anschließend werden die Schnappdeckel, die die Zahnwurzeln und die Eppendorf-Reaktionsgefäße (Mat. # 8) mit den Plastikröhrchen und der Glucoselösung enthalten, auf die Rollrandgläser (Mat. # 34) gesteckt. Dabei wird darauf geachtet, dass die Wurzelspitzen der Versuchszahnwurzeln 1mm in die Natriumacid-Lösung (Mat. # 24) eingetaucht sind. Glucose, die nun entlang der Wurzelfüllung penetriert, kann im Rollrandglas (Mat. # 34) aufgefangen werden.

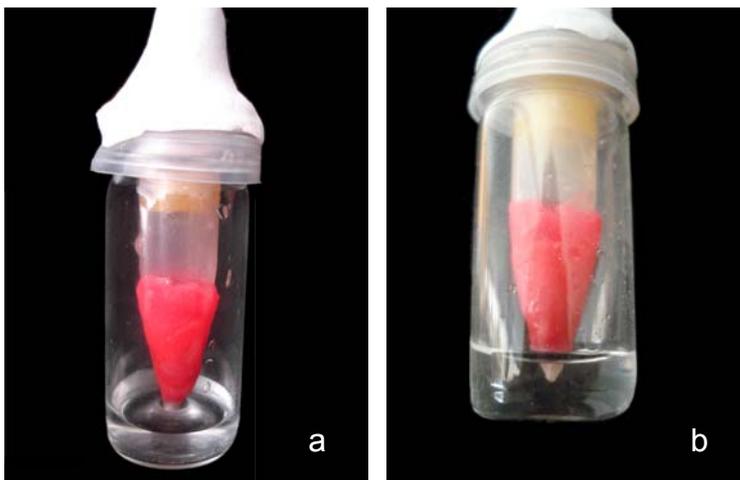


Abbildung 4.17: Beispiel für einen Versuchsaufbau mit eingearbeiteter Zahnwurzel und mit 1 ml NaN₃-Lösung befüllten Rollrandglas

Das Natriumacid wird der Versuchslösung hinzugefügt, um eventuelle Proliferationen von Mikroorganismen, die die Glucose abbauen könnten, zu verhindern. Die Dichtigkeit des Versuchsaufbaus wird überprüft, indem für kurze Zeit Druckluft auf die im Plastikröhrchen befindliche Glucoselösung wirkt. Bei Undichtigkeit sind Luftbläschen an den Abdichtungen zu erkennen. Undichte Versuchsaufbauten werden neu aufgebaut.

4.10.4 Messung der Verdunstung

Um die Verdunstung in den Rollrandgläsern (Mat. # 34) zu messen, wird ein Versuchsaufbau hergestellt, dessen Eppendorf-Reaktionsgefäß-Spitze (Mat. # 8) nicht abgetrennt wird. Lediglich das Rollrandglas (Mat. # 34) wird mit 1 ml 0,2 % Natriumacidlösung (Mat. # 24) befüllt. Das Gewicht dieser Versuchsanordnung wird bei 37° Celsius mit Hilfe einer Präzisionswaage (Mat. # 32) gemessen, notiert und als Referenzgewicht benutzt.



Abbildung 4.18: Präzisionswaage mit eingestellter der Verdunstungsprobe

4.10.5 Lagerung im Wärmeschrank

Alle 111 Versuchsaufbauten (inkl. Verdunstungsapparatur) werden in einem Wärmeschrank (Mat. # 42) bei 100% Luftfeuchtigkeit und 37° Celsius gelagert. Durch Zustellen eines großen Gefäßes (Mat. # 11), welches mit Wasser befüllt ist und durch den luftdichten Wärmeschrank (Mat. # 42) wird eine Luftfeuchtigkeit von 100 % erreicht.



Abbildung 4.19: Wärmeschrank mit 110 Versuchsaufbauten

4.10.6 Entnahme der Proben und Wiederbefüllung

Am 1., 2., 4., 7., 10., 15., 20. und 30. Versuchstag nach Einbau der Zähne in die Versuchsapparatur wird die Glucosekonzentration in den Rollrandgläsern (Mat. # 34) gemessen. Vor Entnahme der Proben zur Glucosemessung wird das Gewicht der Verdunstungsapparatur an jedem Messtag erneut bestimmt und die Differenz zum Anfangsgewicht errechnet. Die korrespondierende Menge an destilliertem Wasser muss allen Rollrandgläsern (Mat. # 34) - sowohl der Verdunstungsapparatur als auch allen Versuchsaufbauten - zugeführt werden. Nun werden jeweils $10\ \mu\text{l}$ der Lösung aus den Rollrandgläsern mit einer Mikropipette (Mat. # 21) entnommen und in $0,5\ \text{ml}$ große Eppendorf-Reaktionsgefäße (Mat. # 8) gegeben. Um ein konstantes Volumen von $1\ \text{ml}$ in den Rollrandgläsern zu erhalten, werden alle Rollrandgläser mit $10\ \mu\text{l}$ frischer $0,2\ \%$ iger Natriumacidlösung (Mat. # 24) wieder befüllt.

4.11 Bestimmung der Glucosekonzentration

4.11.1 Die Glucoseoxidase-Methode

Die Glucose wird mittels eines enzymatischen Farbtests (Mat. # 6) gemessen. Das Prinzip der Messung beruht auf der Bestimmung von Glucose nach enzymatischer Oxidation durch Glucoseoxidase (GOD).

Der kolorimetrische Indikator ist Chinonimin, welches durch die katalytische Wirkung von Peroxidase (POD) aus 4-Aminoantipyrin, Phenol und Wasserstoffperoxid entsteht (Trinder-Reaktion).

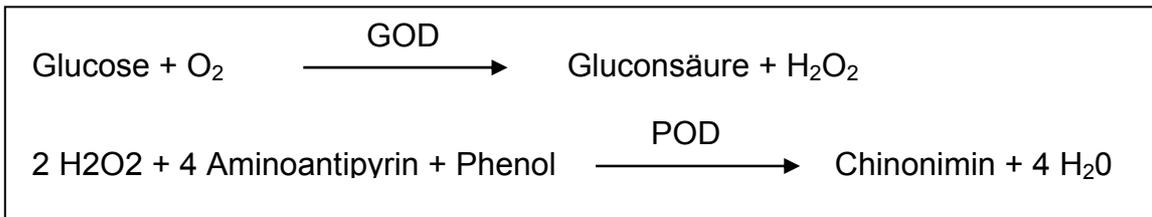


Abbildung 4.20: Reaktion der Glucoseoxidase-Methode

Die Farbintensität der erhaltenen violetten Lösung ist proportional der Konzentration der Glucose.

4.11.2 Bestimmung der Standardlösungen

Anhand der Vorversuche (siehe Abschnitt 4.12) wird ein Messbereich von 0,06 mmol/l bis 7 mmol/l Glucosekonzentration definiert. Es werden 6 verschiedene Standardlösungen aus diesem Messbereich hergestellt:

- 0,1 mmol/l Standardlösung
- 0,25 mmol/l Standardlösung
- 0,5 mmol/l Standardlösung
- 0,75 mmol/l Standardlösung
- 1,0 mmol/l Standardlösung
- 5 mmol/l Standardlösung

Mit Hilfe dieser Standardlösungen können nun unbekannte Glucosekonzentrationen errechnet werden.

Messproben, deren Konzentrationen nahe an die obere Grenze des festgelegten Messbereichs reichen, werden an den folgenden Messtagen soweit verdünnt, dass die zu bestimmenden Konzentrationen sich wieder innerhalb des Messbereichs befinden. Diese Verdünnung muss bei der Berechnung der Konzentrationen mitberücksichtigt werden.

4.11.3 Befüllung der Mikrotiterplatte und Inkubation

Jeweils 150 µl einer Reagenzlösung (Mat. # 6) werden in eine Mikrotiterplatte (Mat. # 22) pipettiert. Diese Reagenzlösung (Mat. # 6) enthält Bestandteile, die zur Reaktion mit der Glucose führen. Diese sind:

- Phosphatpuffer
- Phenol
- 4-Aminoantipyrin

- Glucoseoxidase
- Peroxidase

Die Mikrotiterplatte (Mat. #22) wird nach folgendem Schema befüllt:

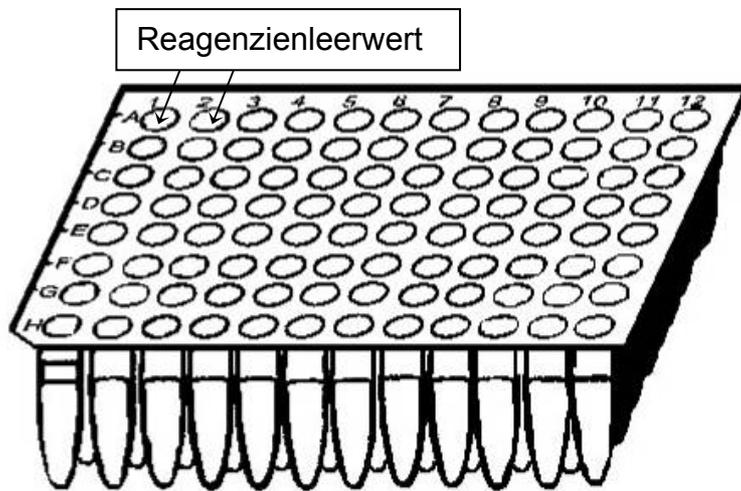


Abbildung 4.21: Befüllungsschema Mikrotiterplatte

- A1 - H12: 150 μ l Reagenzlösung
- B1/B2: 10 μ l Standardlösung 0,1 mmol/l
- C1/C2: 10 μ l Standardlösung 0,25 mmol/l
- D1/D2: 10 μ l Standardlösung 0,5 mmol/l
- E1/E2: 10 μ l Standardlösung 0,75 mmol/l
- F1/F2: 10 μ l Standardlösung 1 mmol/l
- G1/G2: 10 μ l Standardlösung 5 mmol/l
- A3 – H12: jew. 10 μ l Messprobenlösungen

Nun werden die Lösungen in der Mikrotiterplatte (Mat. # 22) gemischt, indem sie auf einen Rüttler (Mat. # 36) gestellt werden, und bei 20° – 25° Celsius circa 20 Minuten inkubiert. Während der Inkubation ergibt sich in den einzelnen Vertiefungen der Mikrotiterplatte (Mat. # 22) ein Farbumschlag entsprechend der Glucosekonzentration.

4.11.4 Spektrophotometrie und Bestimmung der Glucosekonzentration

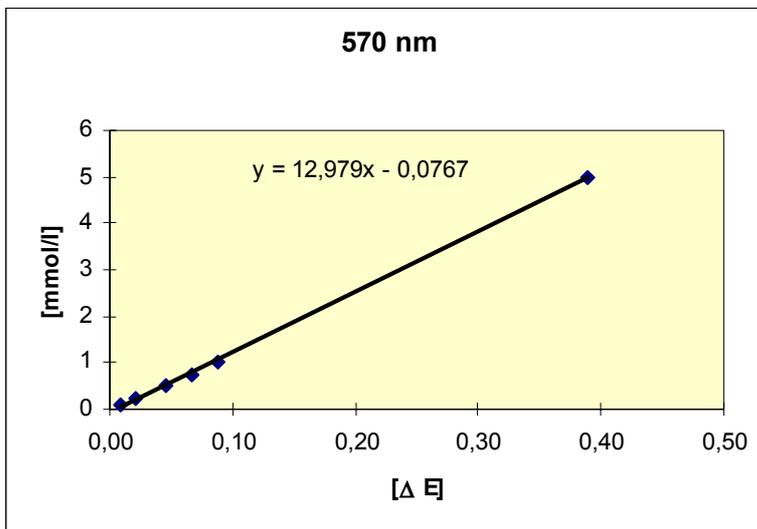
Mit dem Spektrophotometer (Mat. # 38) werden die Spektren der flüssigen Proben aufgenommen, d.h. es werden jeweils die Extinktionen bei einer Wellenlänge von 570 nm gemessen.

Im Zusammenhang mit der Spektrophotometrie versteht man unter Extinktion die Abschwächung eines Lichtstrahls im Probemedium. Berechnet wird die Extinktion als negativer natürlicher Logarithmus des Verhältnisses von ausfallender zu einfallender Strahlung.

Das Gerät (Mat. # 38) subtrahiert bei der Messung den Reagenzienleerwert (die Extinktion der Reagenzlösung) von den Extinktionen der Messproben + Reagenzlösung und errechnet daraus automatisch die Extinktionen der Messproben.

Diese Extinktionen sind proportional zur Konzentration der Glucose. Über eine Standardkurve (Extinktionen der Standardlösungen, „Eichkurve“) können mit Hilfe der Steigung und des y-Achsen-Abschnittes dieser Eichkurve die Konzentrationen der Messproben errechnet werden.

Standardlösungen:			
$\Delta E 1$	$\Delta E 2$	Mittelwert ΔE	Konzentration [mmol/l]
0,399	0,380	0,390	5
0,087	0,089	0,088	1
0,065	0,070	0,068	0,75
0,046	0,045	0,046	0,5
0,021	0,023	0,022	0,25
0,008	0,009	0,009	0,1



Steigung:	12,979
y-Achsen-Abschnitt:	-0,0767

Abbildung 4.22: Beispiel für eine Eichkurve mit Steigungswert und Y-Achsenabschnitt sowie Messwerte von Standardlösungen

In der hier vorliegenden Studie wird die Mikrotiterplatte (Mat. # 22) in ein Spektrophotometer (Mat. # 38) gestellt, und die Extinktionen der Messproben bestimmt. Anhand der Eichkurven, die für jede Mikrotiterplatte (Mat. # 22) neu bestimmt werden, können die Glucosekonzentrationen der Messproben bestimmt werden.

Vorher verdünnte Proben müssen bei der Berechnung der Glukosekonzentration mit dementsprechenden Verdünnungsgrad multipliziert werden.



Abbildung 4.23: Spektrophotometer mit befüllter Mikrotiterplatte

4.12 Vorversuche

Um die Validität des Versuchsaufbaus zu überprüfen, werden Vorversuche durchgeführt. Es werden verschiedene Materialien zur Abdichtung des Versuchsaufbaus getestet. Die schon beschriebenen Materialien (Zweikomponenten-Kleber (Mat. # 7), Knetsilikon (Mat. # 19), Klebewachs (Mat. # 18)) zeigen die besten Abdichtungseigenschaften und werden deshalb ausgewählt.

Es werden jeweils 5 Zahnwurzeln mit Guttaflow (Mat. # 12) gefüllt. Weiterhin werden jeweils eine ungefüllte Zahnwurzel einer negativen und eine mit Guttaflow gefüllte Zahnwurzel einer positiven Kontrollgruppe zugeordnet. Die Art der Aufbereitung, der Abfüllung, des Versuchsaufbaus und der Messung erfolgen nach gleichem Schema wie schon beschrieben. Es wird am 1., 3. und 5. Tag gemessen.

Anhand der Ergebnisse der Vorversuche wird ein Messbereich definiert und es werden die Konzentrationen der Standardlösungen festgelegt.

4.13 Statistik

Alle ermittelten Daten wurden zunächst tabellarisch erfasst und anschließend in das Statistikprogramm SPSS, Version 12.0, übertragen.

Zunächst wurde die deskriptive Statistik für die Messungen zu Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal, RealSeal vertikal, positiver und negativer Kontrolle an den Tagen 1, 2, 4, 7, 10, 15, 20 und 30 mit einem Test auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) berechnet. Als Niveau für eine Signifikanz der Unterschiede wurde ein p-Wert von 0,05 gesetzt.

Der Vergleich der Messungen an den Untersuchungstagen 7, 10, 15, 20 und 30 pro Gruppe (abhängige Beobachtungen) erfolgt mit dem Friedman-Test. Es wird ein nicht parametrisches Verfahren gewählt, da es in allen Gruppen (bis auf RealSeal lateral und den Kontrollgruppen) an einigen oder teilweise allen Tagen signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung gibt. Post-Hoc-Paarvergleiche werden mittels Test nach Wilcoxon und Wilcox durchgeführt.

Mittels Kruskal-Wallis-Test werden die Versuchsgruppen pro Messtag (unabhängige Beobachtungen) miteinander verglichen. Post-Hoc-Paarvergleiche erfolgen mit dem Test von Dunn.

Schließlich erfolgt die grafische Darstellung der zu vergleichenden Materialien im zeitlichen Verlauf anhand von Boxplotdiagrammen.

4.13.1 Differenzierung der Daten

Einige der gemessenen Werte liegen unter der mit diesem Glukose-Test (Mat. # 6) nachweisbaren Grenze von 0,06 mmol/l. Da an den Messtagen 1, 2 und 4 mehr als 50 % der Daten einen Wert von unter 0,06 mmol/l zeigen, wurden die Messtage 1, 2 und 4 sowohl im Vergleich der Tage innerhalb einer Gruppe als auch im Vergleich der Gruppen an einem Messtag nicht berücksichtigt.

4.13.2 Signifikanzniveau

Das Signifikanzniveau wurde für Korrelationsbestimmungen in der vorliegenden Untersuchung auf die drei Stufen:

$p < 0,05$ mit signifikant (*),

$p < 0,01$ mit sehr signifikant (**) und

$p < 0,001$ mit höchst signifikant (***)

festgelegt. Für den Fall $p \geq 0,05$ ist die Nullhypothese (kein Unterschied) zu verwerfen.

4.13.3 Statistische Auswertung

4.13.3.1 Boxplotdiagramme

Der Boxplot ist ein Diagramm, das zur graphischen Darstellung einer Reihe numerischer Daten verwendet wird. Er fasst verschiedene Maße der zentralen Tendenz, Streuung und Schiefe in einem Diagramm zusammen. Alle Werte der Fünf-Punkte-Zusammenfassung, also der Median, die zwei Quartile und die beiden Extremwerte, sind dargestellt; zusätzlich sind - wenn vorhanden - Ausreißer markiert (siehe z.B. Abb. 5.1).

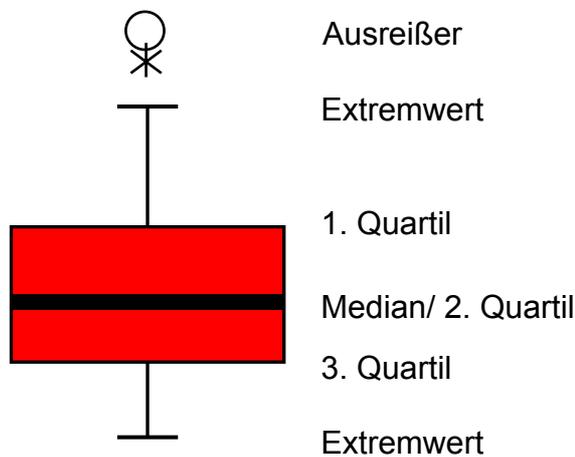


Abb. 4.24: Darstellung eines Boxplots mit Median, 1. und 3. Quartil, den Extremwerten und einem Ausreißer

4.13.3.2 Der Median

Der Median bezeichnet eine Grenze zwischen zwei Hälften. In der Statistik halbiert der Median eine Stichprobe. Gegenüber dem arithmetischen Mittel, auch Durchschnitt genannt, hat der Median den Vorteil, robuster gegenüber Ausreißern (extrem abweichenden Werten) zu sein und sich auch auf ordinal skalierte Variablen anwenden zu lassen. Der Median wird ermittelt, indem die Messwerte der Größe nach geordnet werden und der mittlere Wert gesucht wird. Bei einer geraden Anzahl von Werten wird die Summe aus den beiden mittleren Werten gebildet und durch 2 geteilt.

4.13.3.3 Quartile

Quartile (lat. „Viertelwerte“) sind die Quantile $Q_{.25}$ (0,25-Quantil), $Q_{.50}$ (0,5-Quantil=Median) und $Q_{.75}$ (0,75-Quantil), die auch als Q1 („*unteres Quartil*“), Q2 („*mittleres Quartil*“) und Q3 („*oberes Quartil*“) bezeichnet werden. Sie sind die in der Statistik mit am häufigsten verwendete Form der Quantile.

Der *Quartilabstand* bezeichnet die Differenz zwischen dem oberen und dem unteren Quartil, also $Q_{.75} - Q_{.25}$ und umfasst daher 50% der Verteilung. Der Quartilabstand wird als Streuungsmaß verwendet.

4.13.3.4 Erstellung der Boxplotdiagramme

In dieser Arbeit wird die Glucosekonzentration (y-Achse, angegeben in mmol/l) entweder den Messtagen (x-Achse, angegeben in Tagen) oder den Gruppen (x-Achse, angegeben in Gruppe) gegenübergestellt. Um einen Vergleich zwischen den einzelnen Diagrammen zu ermöglichen, werden an jedem Messtag bzw. in jeder Gruppe zwei Boxplot-Diagramme erstellt.

4.13.3.5 Boxplotdiagramme pro Gruppe

Für alle Gruppen werden zunächst Boxplotdiagramme mit einem y-Achsen-Abschnitt im Bereich zwischen -10 und 80 mmol/l gewählt. So können in jeder Gruppe die Messtage mit ihren Ausreißern im Verlauf verglichen werden.

Pro Gruppe wird ein zweites Boxplot-Diagramm erstellt, welches für die Gruppen Guttaflow, Gutta lateral und Gutta vertikal einen Y-Achsen-Abschnitt im Bereich von -0,2 bis 1 mmol/l, für die Gruppe RealSeal lateral einen Y-Achsen-Abschnitt im Bereich von -5 bis 30 mmol/l und für die Gruppe RealSeal vertikal einen Y-Achsen-Abschnitt im Bereich von -2 bis 10 mmol/l zeigt.

4.13.3.6 Boxplotdiagramme pro Messtag

Für die Messtage 7, 10, 15, 20 und 30 werden zunächst Boxplotdiagramme mit einem y-Achsen-Abschnitt im Bereich zwischen -10 und 80 mmol/l gewählt. So können an jedem Messtag die Gruppen mit ihren Ausreißern im Verlauf verglichen werden.

Pro Messtag wird ein zweites Boxplot-Diagramm erstellt, welches für die Messtage 7 – 30 einen y-Achsen-Abschnitt im Bereich von -5 bis 20 mmol/l zeigt.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Kontrollgruppen

5.1.1 Ergebnis der positiven und der negativen Kontrollgruppe

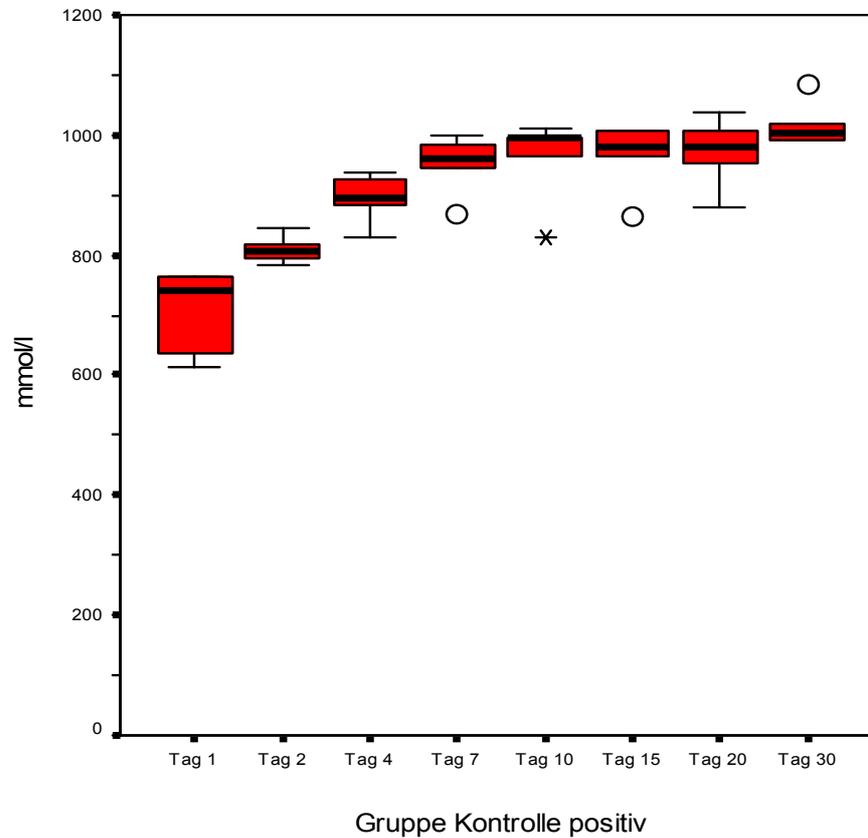


Abb. 5.1.1: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1 – 30 der positiven Kontrollgruppe (angegeben in mmol/l Glucose)

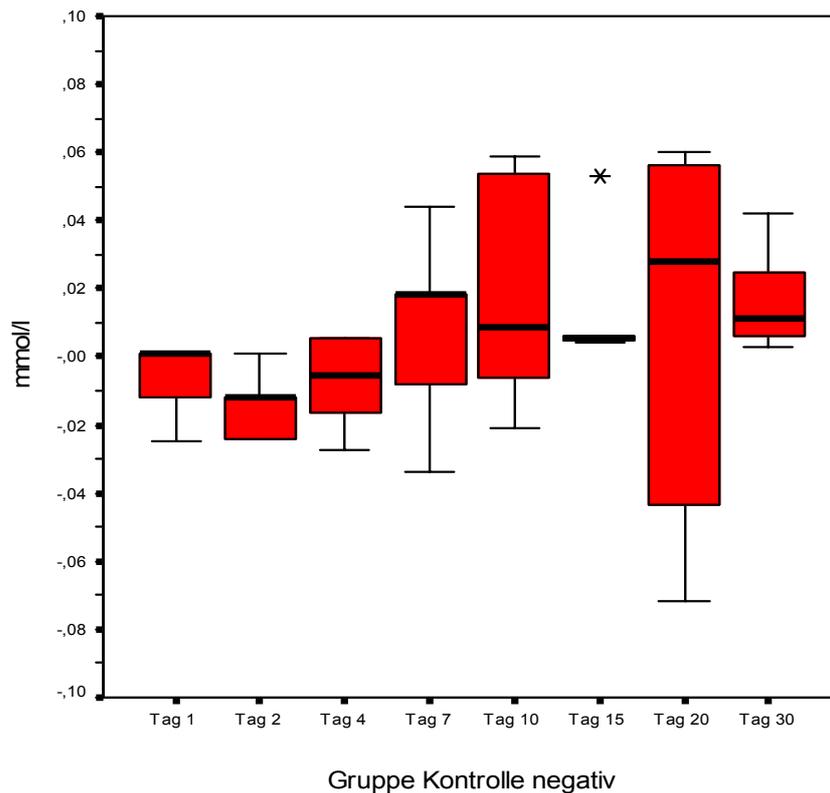


Abb. 5.1.2: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1 – 30 der negativen Kontrollgruppe (angegeben in mmol/l Glucose)

Messtag	Mittelwert der positiven Kontrollgruppe (mmol/l Glucose)	Mittelwert der negativen Kontrollgruppe (mmol/l Glucose)
1	703,9800	-0,006742
2	809,3800	-0,014082
4	894,3000	-0,007606
7	951,2800	0,007738
10	958,7400	0,018944
15	964,7600	0,014744
20	971,6200	0,005873
30	1018,0000	0,017413

Tabelle 5.1: Mittelwerte der positiven Kontrollgruppe und der negativen Kontrollgruppe an den Messtagen 1 bis 30 (Mittelwerte angegeben in mmol/l Glucose)

Für die positive und die negative Kontrollgruppe konnten statistisch höchst signifikante Unterschiede festgestellt werden. In der positiven Kontrollgruppe wur-

de eine Glucosepenetration vom Messtag 1 mit im Mittel 703,98 mmol/l Glucose bis zum Messtag 30 mit 1018 mmol/l Glucose erreicht. Im Gegensatz dazu ergaben sich Werte für die Gruppe negative Kontrollgruppe am Tag 1 mit im Mittel -0,006742 mmol/l Glucose bis zum Messtag 30 mit 0,017413 mmol/l Glucose. Alle Ergebnisse der negativen Kontrollgruppe liegen somit unterhalb der Nachweisgrenze von 0,06 mmol/l Glukose.

Die Ergebnisse der Kontrollgruppen sprechen für die Validität der Untersuchungsmethode.

5.2 Vergleich der Messungen an den Tagen 7, 10, 15, 20, 30 pro Gruppe

5.2.1 Ergebnisse der Messung mit Guttaflow

Tag	Median	10	15	20	30
7	0,102658	p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **	p < 0,01 **
10	0,172730		p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **
15	0,187800			p > 0,05	p < 0,01 **
20	0,201654				p > 0,05
30	0,230610				

Tab. 5.2.1: Messwerte an den Tagen 7 – 30 für die Gruppe Guttaflow
(Median angegeben in mmol/l Glucose)

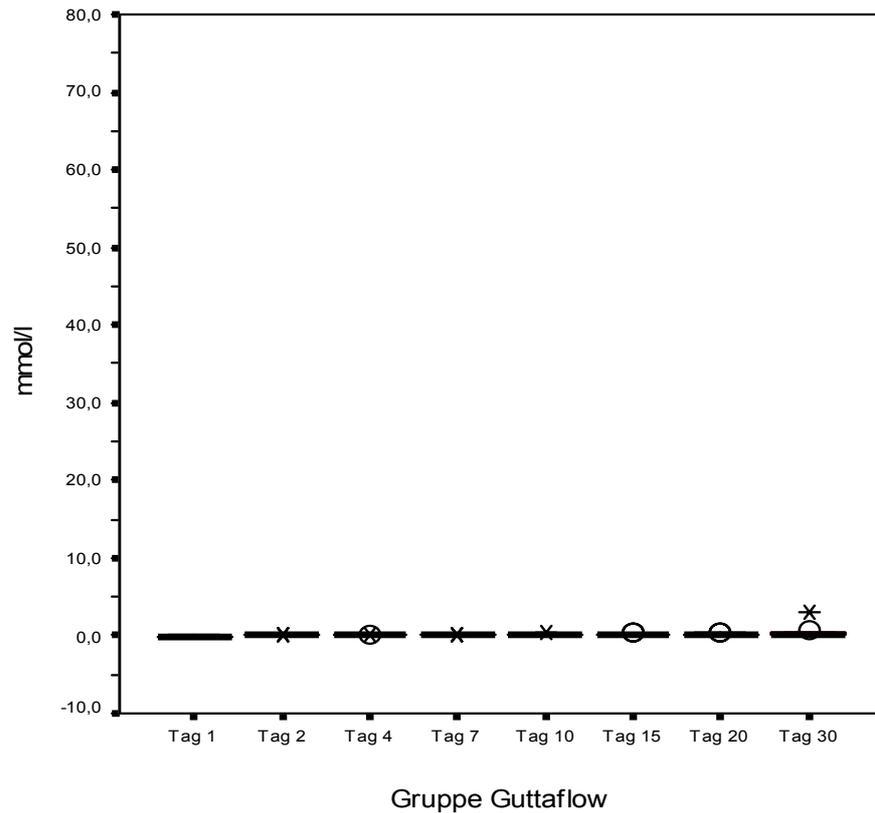


Abb. 5.2.1: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1 – 30 der Gruppe Guttaflow im y-Achsenabschnitt von -10,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

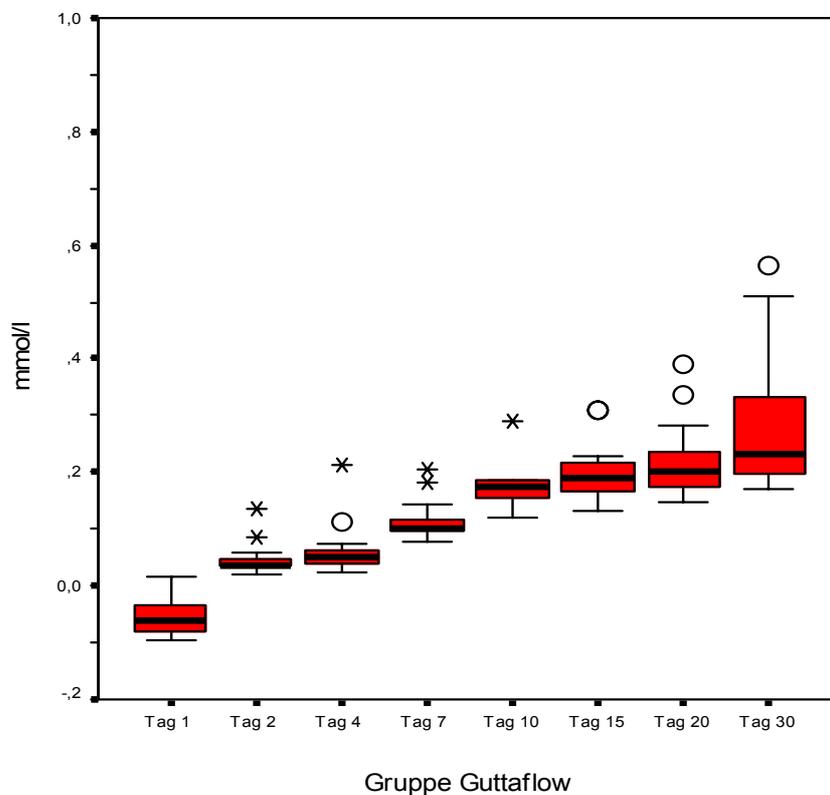


Abb. 5.2.2: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1 – 30 der Gruppe Guttaflow im y-Achsenabschnitt von -0,2 bis 1,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.2.1 und 5.2.2 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt. Aus Darstellungsgründen wurden hierbei zwei unterschiedliche y-Achsenabschnitte gewählt, um einen Vergleich der Gruppen untereinander zu ermöglichen.

Der Vergleich der Messtage 7 bis 30 ergab in der Gruppe Guttaflow statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.2.1).

Die geringste Glucosepenetration in der Gruppe Guttaflow wurde am Tag 7 mit 0,102658 mmol/l Glucose erreicht, die höchste Glucosepenetration lieferte der Messtag 30 mit 0,230610 mmol/l Glucose.

Die Glucosekonzentration am Messtag 7 zeigte einen statistisch sehr signifikanten Unterschied zu den Konzentrationen an den Messtagen 15, 20 und 30.

Am Messtag 10 konnte ein sehr signifikanter Unterschied zu den Messtagen 20 und 30 gezeigt werden.

Am Messtag 15 konnte ein sehr signifikanter Unterschied zum Messtag 30 gezeigt werden.

Der Verlauf der Mediane zeigt von Messtag zu Messtag einen Anstieg der Glucosekonzentration.

5.2.2 Ergebnisse der Messung mit Gutta lateral

Tag	Median	10	15	20	30
7	0,102658	p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **	p < 0,01 **
10	0,128402		p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **
15	0,174100			p > 0,05	p < 0,05 *
20	0,184217				p > 0,05
30	0,210208				

Tab. 5.2.2: Messwerte an den Tagen 7 – 30 für die Gruppe Gutta lateral (Median angegeben in mmol/l Glucose)

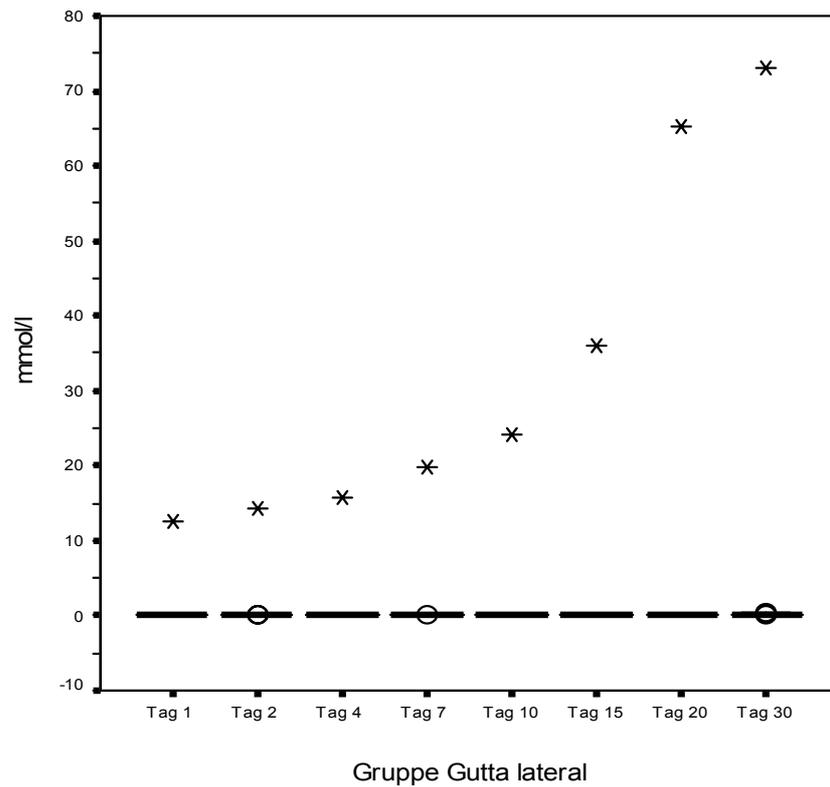


Abb. 5.2.3: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1–30 der Gruppe Gutta lateral im y-Achsenabschnitt von -10,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

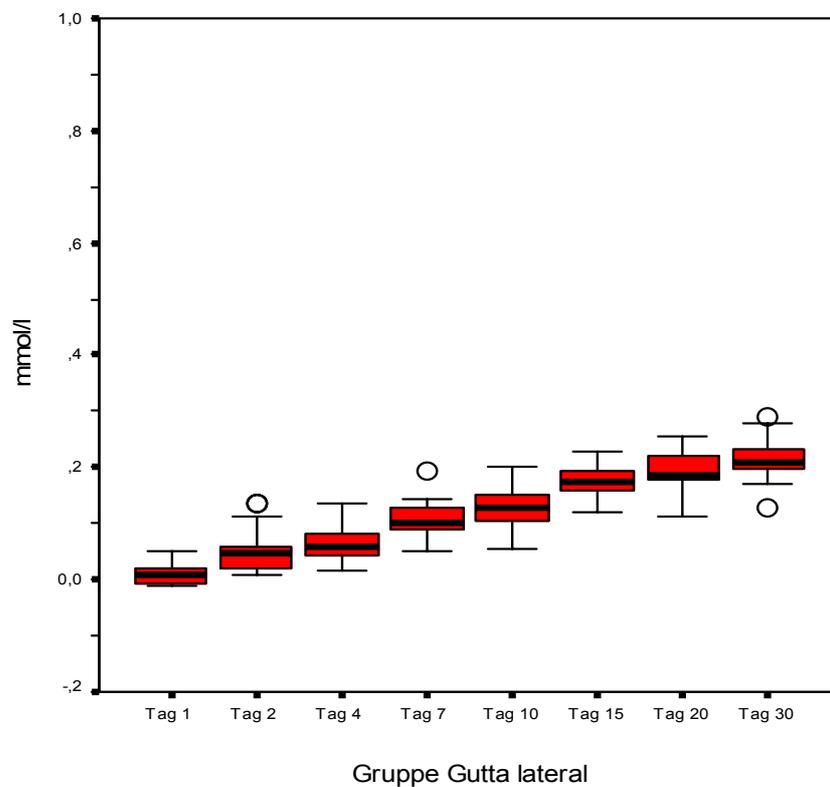


Abb. 5.2.4: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1–30 der Gruppe Gutta lateral im y-Achsenabschnitt von -0,2 bis 1,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.2.3 und 5.2.4 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Messtage 7 bis 30 ergab in der Gruppe Gutta lateral statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.2.2).

Die geringste Glucosepenetration in der Gruppe Gutta lateral wurde am Tag 7 mit 0,102658 mmol/l Glucose erreicht, die höchste Glucosepenetration lieferte der Messtag 30 mit 0,210208 mmol/l Glucose.

Die Glucosekonzentration am Messtag 7 zeigte einen sehr signifikanten Unterschied zu den Konzentrationen der Messtage 15, 20 und 30.

Am Messtag 10 konnte ein sehr signifikanter Unterschied zu den Messtagen 20 und 30 gezeigt werden.

Der Verlauf der Mediane zeigt von Messtag zu Messtag einen Anstieg der Glucosekonzentration.

5.2.3 Ergebnisse der Messung mit RealSeal lateral

Tag	Median	10	15	20	30
7	1,420027	p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **	p < 0,01 **
10	2,428238		p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **
15	3,519200			p > 0,05	p < 0,01 **
20	4,027800				p > 0,05
30	6,465450				

Tab. 5.2.3: Messwerte an den Tagen 7 – 30 für die Gruppe RealSeal lateral (Median angegeben in mmol/l Glucose)

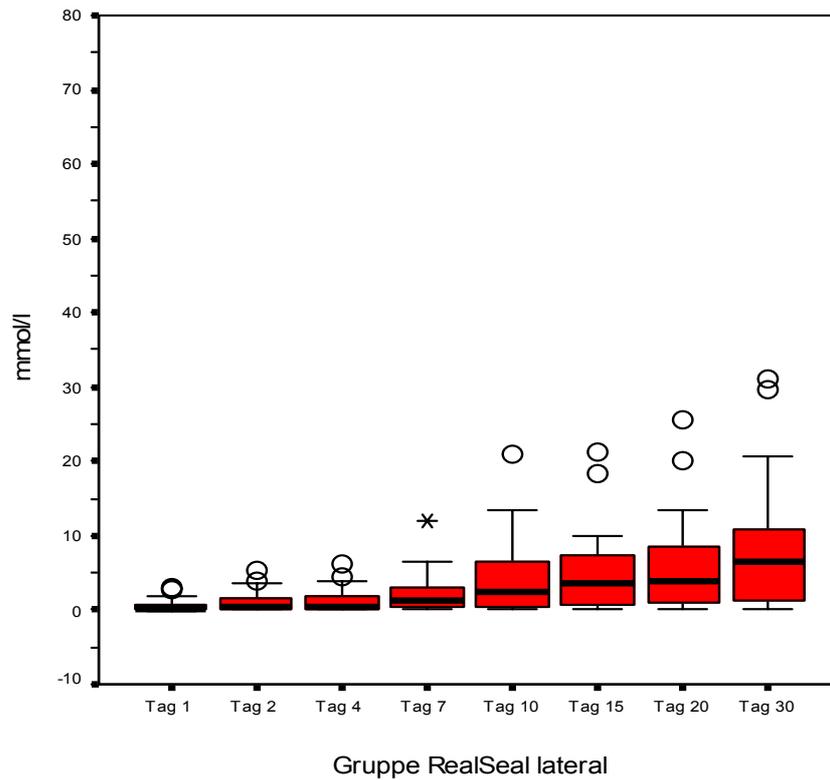


Abb. 5.2.5: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1–30 der Gruppe RealSeal lateral im y-Achsenabschnitt von -10,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

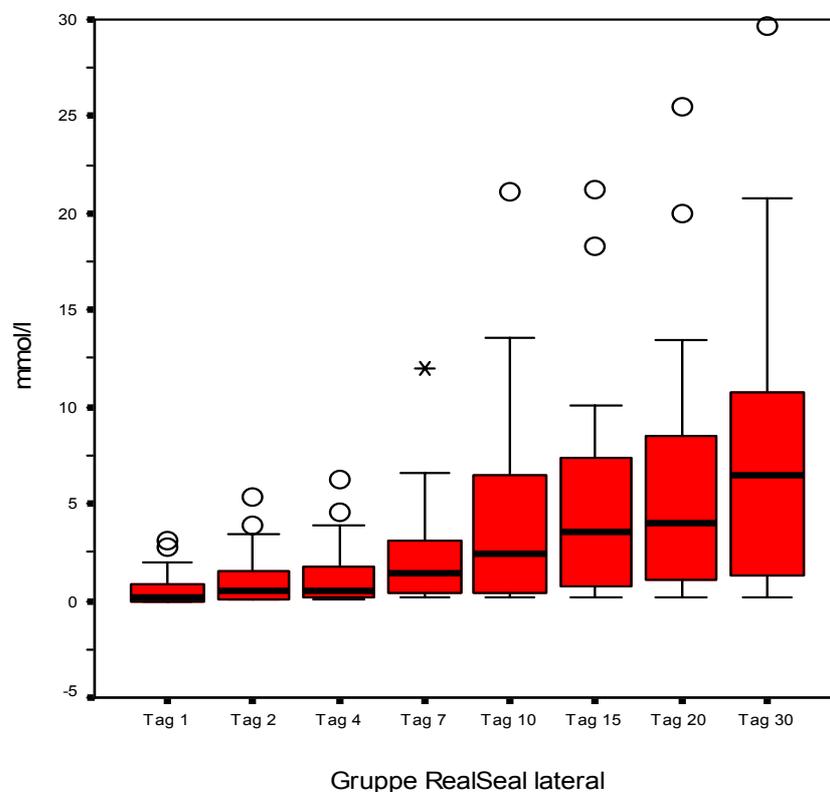


Abb. 5.2.6: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1–30 der Gruppe RealSeal lateral im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 30,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.2.5 und 5.2.6 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Messtage 7 bis 30 ergab in der Gruppe RealSeal lateral statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.2.3).

Die geringste Glucosepenetration in der Gruppe RealSeal lateral wurde am Tag 7 mit 1,420027 mmol/l Glucose erreicht, die höchste Glucosepenetration lieferte der Messtag 30 mit 6,465450 mmol/l Glucose.

Die Glucosekonzentration am Messtag 7 zeigte einen sehr signifikanten Unterschied zu den Konzentrationen der Messtage 15, 20 und 30.

Am Messtag 10 konnte ein signifikanter Unterschied zu den Messtagen 20 und 30 gezeigt werden.

Am Messtag 15 konnte ein sehr signifikanter Unterschied zum Messtag 30 gezeigt werden.

Der Verlauf der Mediane zeigt von Messtag zu Messtag einen Anstieg der Glucosekonzentration.

5.2.4 Ergebnisse der Messung mit Gutta vertikal

Tag	Median	10	15	20	30
7	0,115637	p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **	p < 0,01 **
10	0,185620		p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **
15	0,187800			p > 0,05	p < 0,01 **
20	0,215260				p > 0,05
30	0,339418				

Tab. 5.2.4: Messwerte an den Tagen 7 – 30 für die Gruppe Gutta vertikal (Median angegeben in mmol/l Glucose)

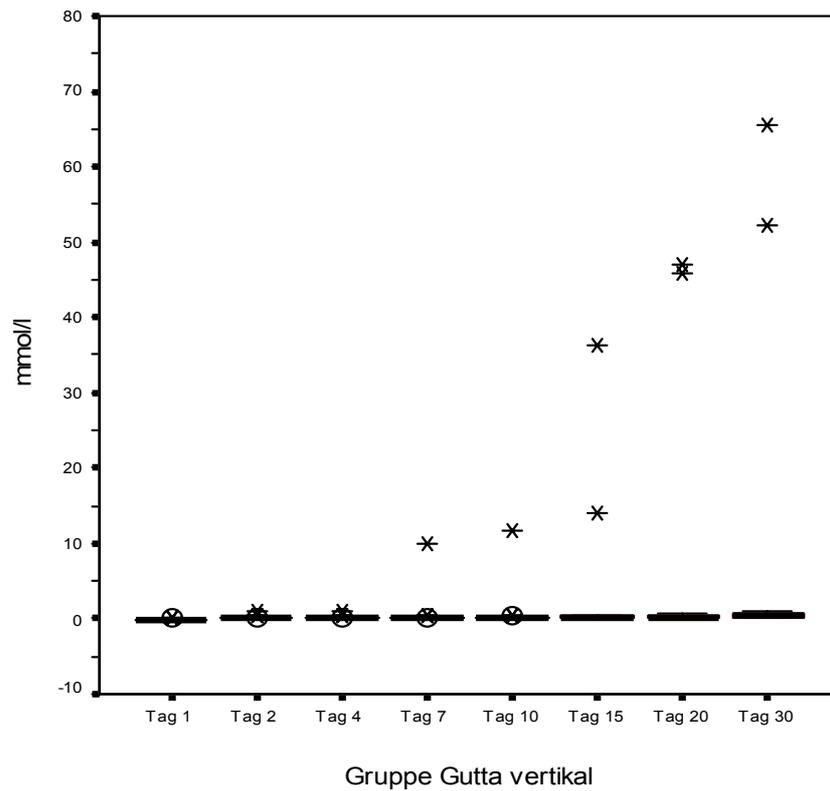


Abb. 5.2.7: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1 – 30 der Gruppe Gutta vertikal im y-Achsenabschnitt von -10,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

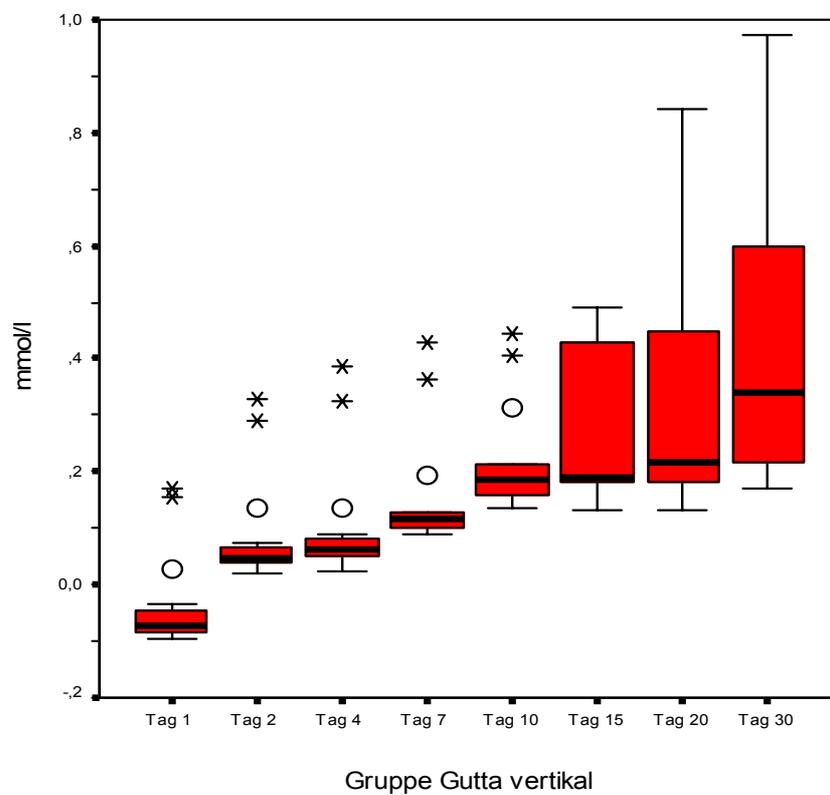


Abb. 5.2.8: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1 – 30 der Gruppe Gutta vertikal im y-Achsenabschnitt von -0,2 bis 1,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.2.7 und 5.2.8 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Messtage 7 bis 30 ergab in der Gruppe Gutta vertikal statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.2.4).

Die geringste Glucosepenetration in der Gruppe Gutta vertikal wurde am Tag 7 mit 0,115637 mmol/l Glucose erreicht, die höchste Glucosepenetration lieferte der Messtag 30 mit 0,339418 mmol/l Glucose.

Die Glucosekonzentration am Messtag 7 zeigte einen sehr signifikanten Unterschied zu den Messtagen 15, 20 und 30.

Am Messtag 10 konnte ein signifikanter Unterschied zu den Messtagen 20 und 30 gezeigt werden.

Am Messtag 15 konnte ein sehr signifikanter Unterschied zum Messtag 30 gezeigt werden.

Der Verlauf der Mediane zeigt von Messtag zu Messtag einen Anstieg der Glucosekonzentration.

5.2.5 Ergebnisse der Messung mit RealSeal vertikal

Tag	Median	10	15	20	30
7	0,636770	p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **	p < 0,01 **
10	0,733229		p > 0,05	p < 0,01 **	p < 0,01 **
15	1,037013			p > 0,05	p < 0,01 **
20	1,086743				p > 0,05
30	1,671102				

Tab. 5.2.5: Messwerte an den Tagen 7 – 30 für die Gruppe RealSeal vertikal (Median angegeben in mmol/l Glucose)

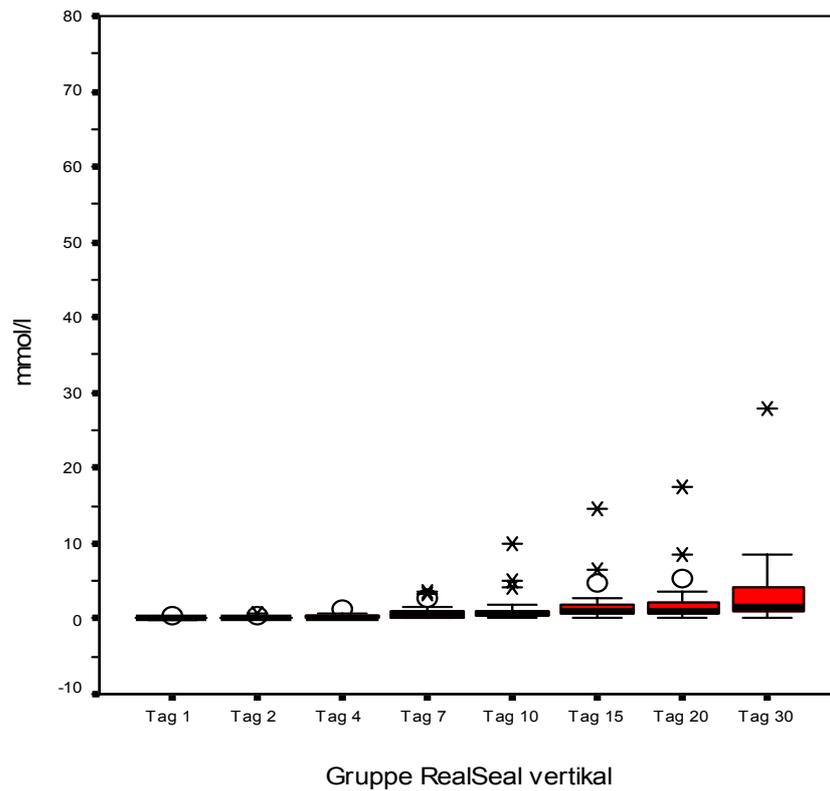


Abb. 5.2.9: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1 - 30 der Gruppe RealSeal vertikal im y-Achsenabschnitt von -10,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

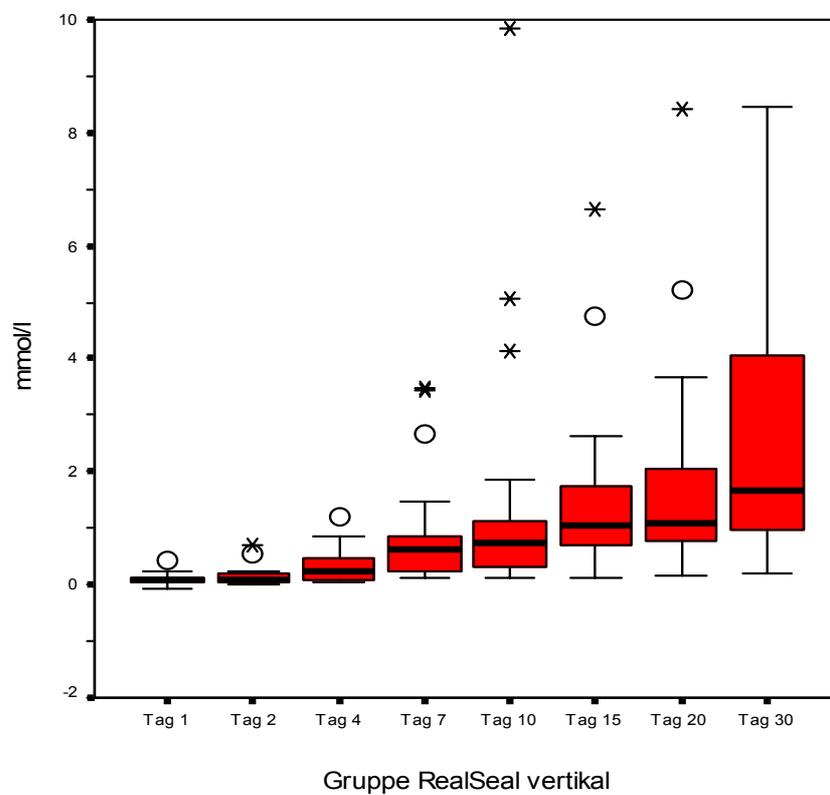


Abb. 5.2.10: Verteilung der Messwerte an den Tagen 1-30 der Gruppe RealSeal vertikal im y-Achsenabschnitt von -2,0 bis 10,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.2.9 und 5.2.10 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Messtage 7 bis 30 ergab in der Gruppe RealSeal vertikal statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.2.5).

Die geringste Glucosepenetration in der Gruppe RealSeal vertikal wurde am Tag 7 mit 0,636770 mmol/l Glucose erreicht, die höchste Glucosepenetration lieferte der Messtag 30 mit 1,671102 mmol/l Glucose.

Die Glucosekonzentration am Messtag 7 zeigte einen sehr signifikanten Unterschied zu den Messtagen 15, 20 und 30.

Am Messtag 10 konnte ein sehr signifikanter Unterschied zu den Messtagen 20 und 30 gezeigt werden.

Am Messtag 15 konnte ein sehr signifikanter Unterschied zum Messtag 30 gezeigt werden.

Der Verlauf der Mediane zeigt von Messtag zu Messtag einen Anstieg der Glucosekonzentration.

5.3 Gruppenvergleich pro Messtag

In dem hier vorliegenden Abschnitt soll ein Vergleich zwischen den einzelnen Versuchsgruppen (Guttapercha vertikal, Guttaflow, RealSeal lateral und RealSeal vertikal) und einem festgelegten „Goldstandard“ hergestellt werden. Als Goldstandard wird in diesem Fall die Gruppe Guttapercha lateral ausgewählt.

5.3.1 Ergebnisse der Messung an Tag 7

Material	Median	Gutta lateral	RealSeal lateral	Gutta vertikal	RealSeal vertikal
Gutta Flow	0,102658	p = 0,8721	p < 0,0001 ***	p = 0,2383	p < 0,0001 ***
Gutta Lateral	0,102658		p < 0,0001 ***	p = 0,3622	p < 0,0001 ***
RealSeal Lateral	1,420027			p < 0,0001 ***	p = 0,5398
Gutta Vertikal	0,115637				p = 0,0001 ***
RealSeal Vertikal	0,636770				

Tab. 5.3.1: Messwerte der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Messtag 7 (Median angegeben in mmol/l Glucose)

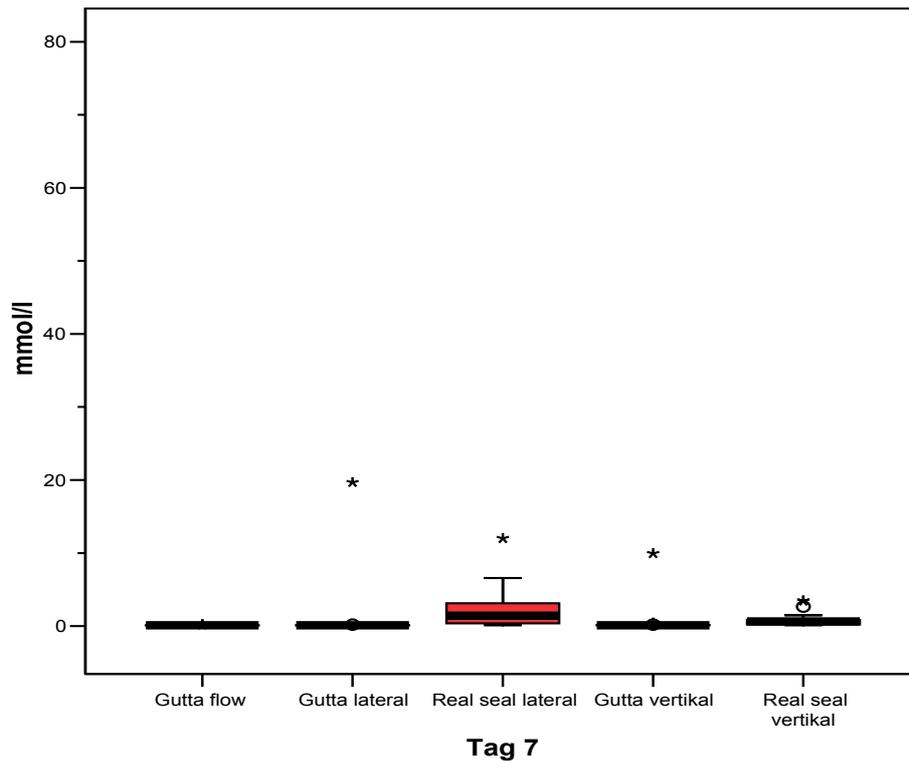


Abb. 5.3.1: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Messtag 7 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

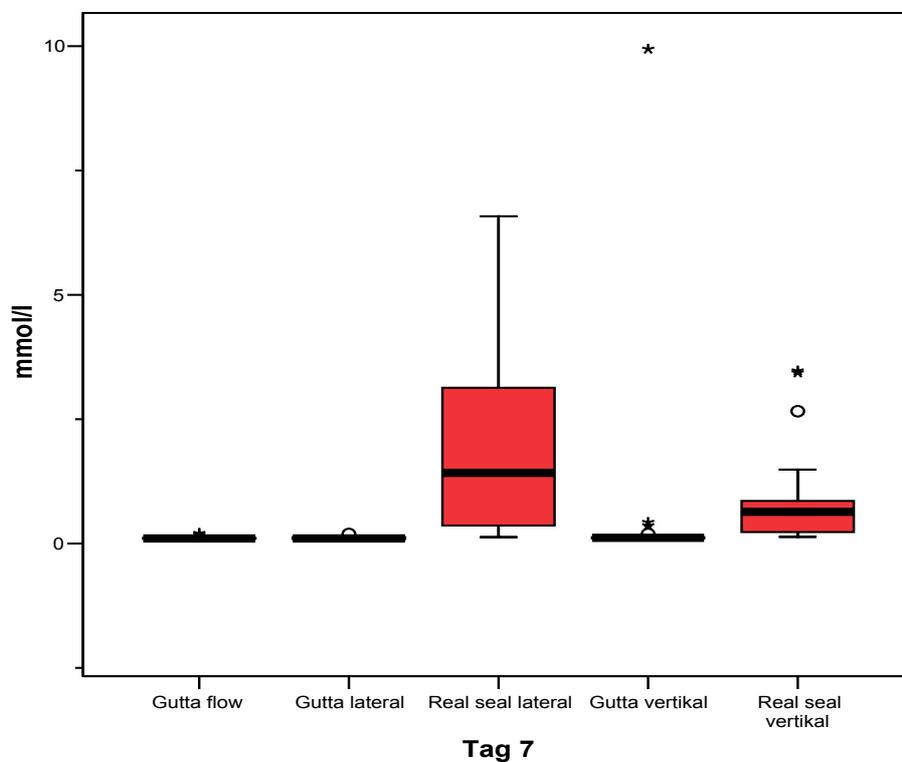


Abb. 5.3.2: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Messtag 7 im y-Achsenabschnitt von -4,0 bis 10,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.3.1 und 5.3.2 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal ergab am Messtag 7 statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.3.1).

Der Goldstandard Gutta lateral zeigte am Messtag 7 die niedrigste Glucosekonzentration von 0,102658 mmol/l Glucose, die höchste statistisch erfasste Glucosepenetration lieferte die Gruppe RealSeal lateral mit 1,420027 mmol/l Glucose.

Die Gruppen Guttaflow und Gutta vertikal zeigen **keinen** statistisch signifikanten Unterschied in der Glucosekonzentration zu Gutta lateral.

RealSeal lateral (1,420027 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,102658 mmol/l).

RealSeal vertikal (0,636770 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,102658 mmol/l).

5.3.2 Ergebnisse der Messung an Tag 10

Material	Median	Gutta lateral	RealSeal lateral	Gutta vertikal	RealSeal vertikal
Gutta Flow	0,172730	p = 0,0778	p < 0,0001 ***	p = 0,2729	p = 0,0003 ***
Gutta Lateral	0,128402		p < 0,0001 ***	p = 0,0043 ***	p < 0,0001 ***
RealSeal Lateral	2,428238			p = 0,0005 ***	p = 0,3347
Gutta Vertikal	0,185620				p = 0,0112 **
RealSeal vertikal	0,733229				

Tab. 5.3.2: Messwerte der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Messtag 10 (angegeben in mmol/l Glucose)

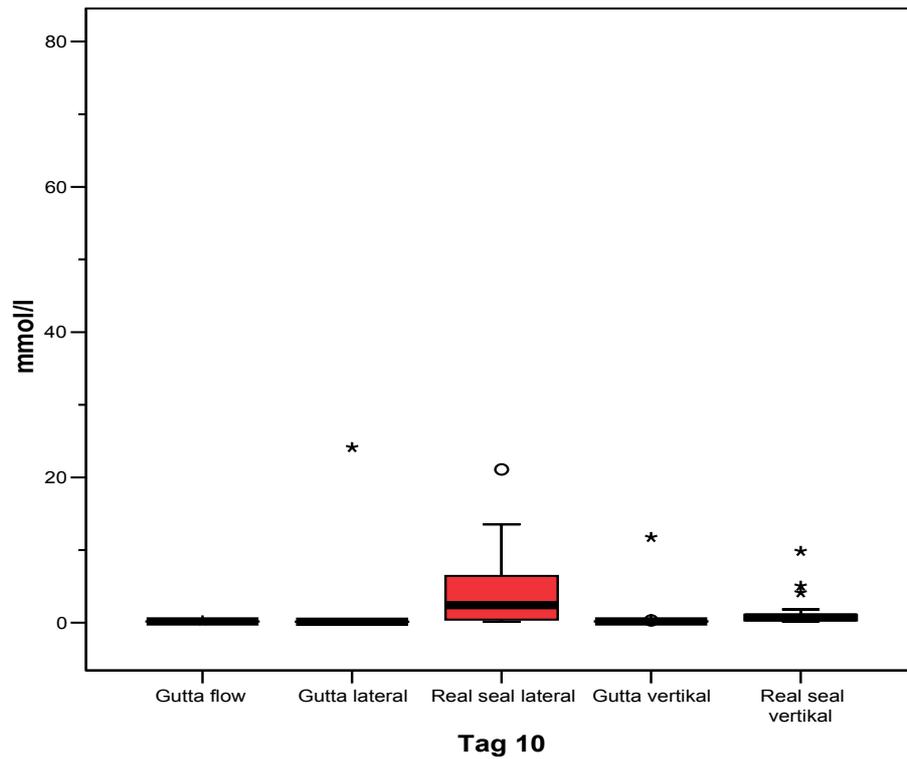


Abb. 5.3.3: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Mess-tag 10 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

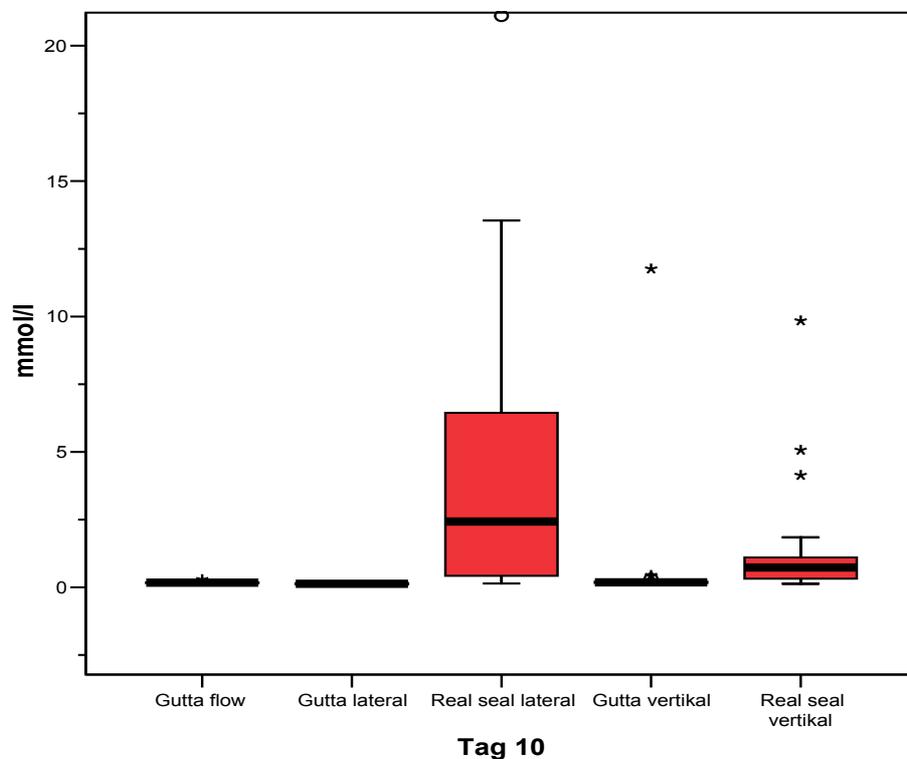


Abb. 5.3.4: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Mess-tag 10 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 20,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.3.3 und 5.3.4 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal ergab am Messtag 10 statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.3.2).

Der Goldstandard Gutta lateral zeigte am Messtag 10 die niedrigste Glucosekonzentration von 0,128402 mmol/l Glucose, die höchste statistisch erfasste Glukosepenetration lieferte die Gruppe RealSeal lateral mit 2,428238 mmol/l Glucose.

Die Gruppe Guttaflow zeigt **keinen** statistisch signifikanten Unterschied in der Glucosekonzentration zu Gutta lateral.

RealSeal lateral (2,428238 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,128402 mmol/l).

Gutta vertikal (0,185620 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,128402 mmol/l).

RealSeal vertikal (0,733229 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,128402 mmol/l).

5.3.3 Ergebnisse der Messung an Tag 15

Material	Median	Gutta lateral	RealSeal lateral	Gutta vertikal	RealSeal vertikal
Gutta flow	0,187800	p = 0,6024	p < 0,0001 ***	p = 0,2728	p < 0,0001 ***
Gutta lateral	0,174100		p < 0,0001 ***	p = 0,1059	p < 0,0001 ***
RealSeal lateral	3,519200			p < 0,0001 ***	p = 0,3570
Gutta vertikal	0,187800				p = 0,0016 ***
RealSeal vertikal	1,037013				

Tab. 5.3.3: Messwerte der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Messtag 15 (angegeben in mmol/l Glucose)

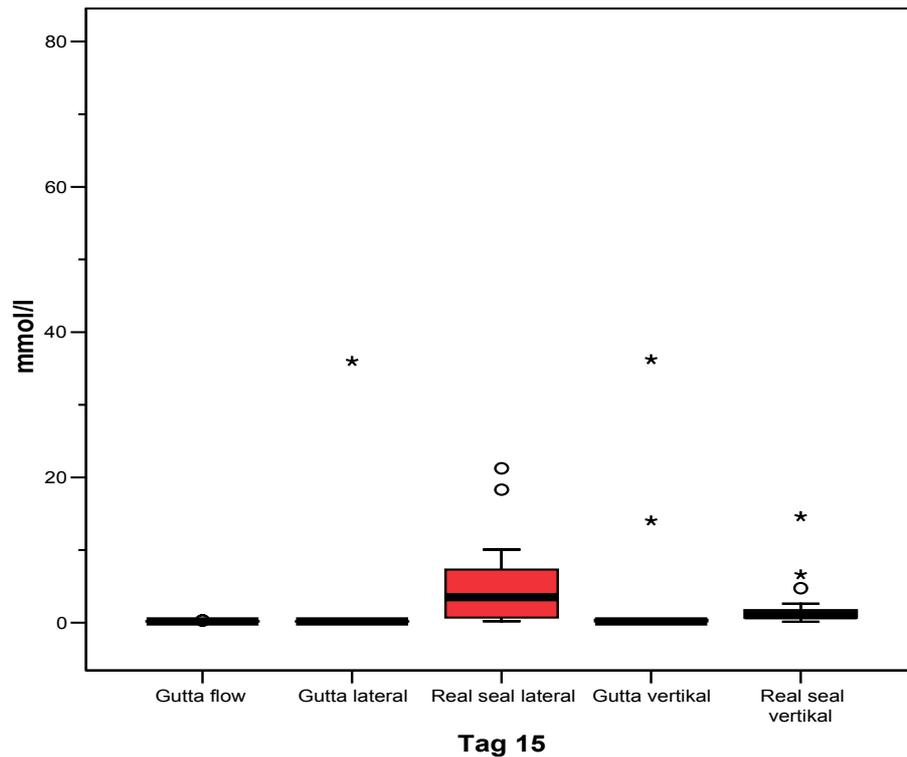


Abb. 5.3.5: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Mess-tag 15 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

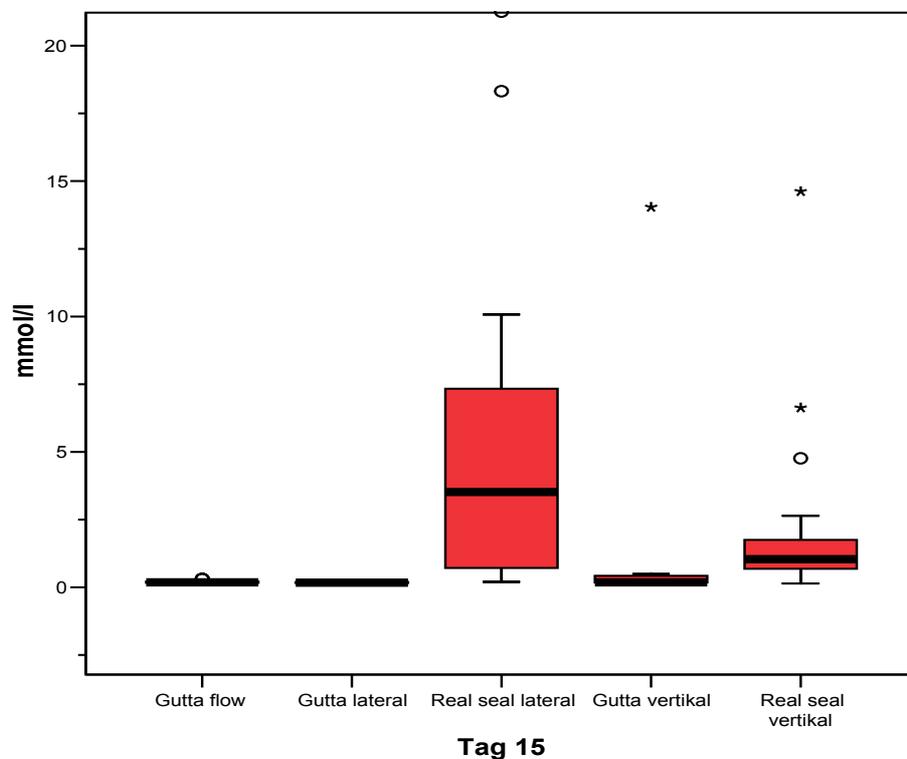


Abb. 5.3.6: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Mess-tag 15 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 20,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.3.5 und 5.3.6 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal ergab am Messtag 15 statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.3.3).

Der Goldstandard Gutta lateral zeigte am Messtag 15 die niedrigste Glucosekonzentration von 0,174100 mmol/l Glucose, die höchste statistisch erfasste Glukosepenetration lieferte die Gruppe RealSeal lateral mit 3,519200 mmol/l Glucose.

Die Gruppen Guttaflow und Gutta vertikal zeigen **keinen** statistisch signifikanten Unterschied in der Glucosekonzentration zu Gutta lateral.

RealSeal lateral (3,519200 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,174100 mmol/l).

RealSeal vertikal (1,037013 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,174100 mmol/l).

5.3.4 Ergebnisse der Messung an Tag 20

Material	Median	Gutta lateral	RealSeal lateral	Gutta vertikal	RealSeal vertikal
Gutta flow	0,201654	p = 0,6787	p < 0,0001 ***	p = 0,2684	p < 0,0001 ***
Gutta lateral	0,184217		p < 0,0001 ***	p = 0,1283	p < 0,0001 ***
RealSeal lateral	4,027800			p < 0,0001 ***	p = 0,3226
Gutta vertikal	0,215260				p = 0,0021 ***
RealSeal vertikal	1,086743				

Tab. 5.3.4: Messwerte der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Messtag 20 (angegeben in mmol/l Glucose)

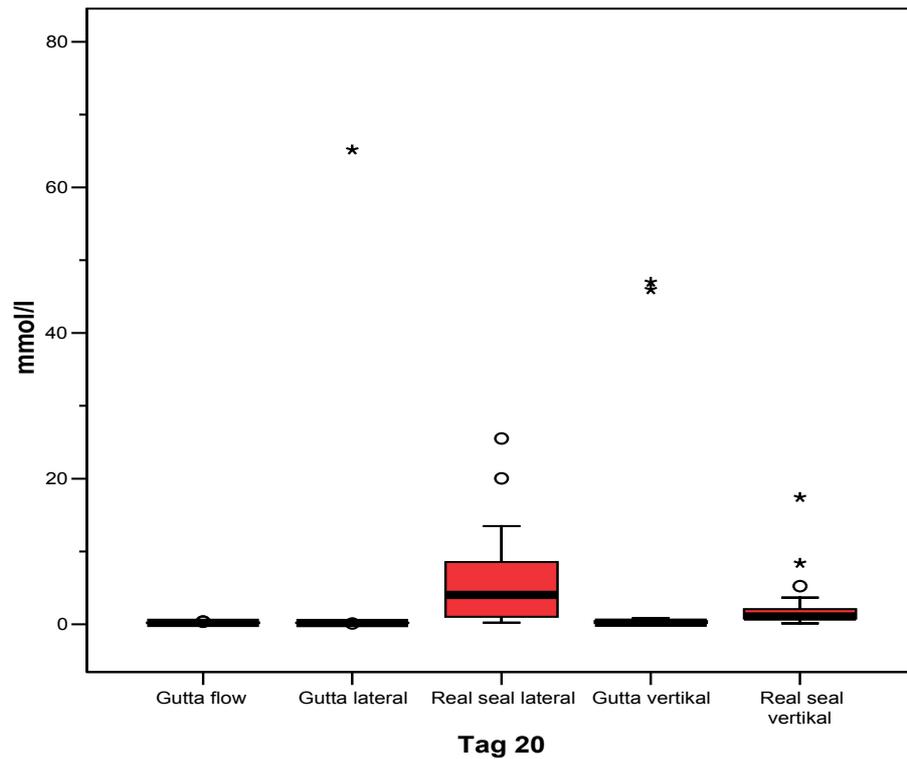


Abb. 5.3.7: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Mess-tag 20 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

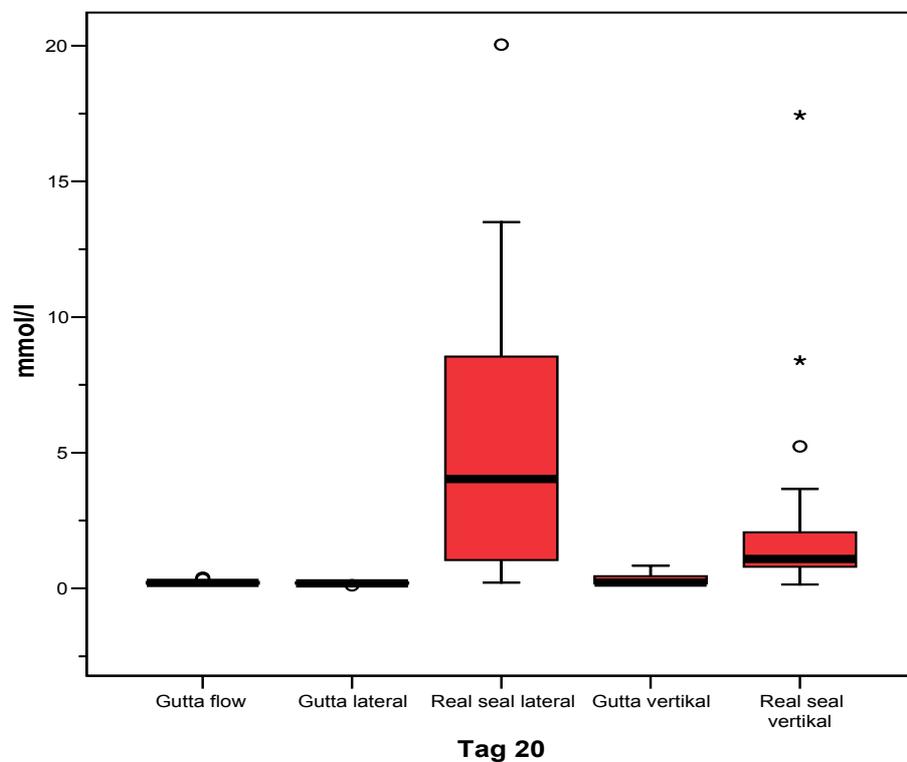


Abb. 5.3.8: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Mess-tag 20 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 20,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.3.7 und 5.3.8 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal ergab am Messtag 20 statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.3.4).

Der Goldstandard Gutta lateral zeigte am Messtag 20 die niedrigste Glucosekonzentration von 0,184217 mmol/l Glucose, die höchste statistisch erfasste Glukosepenetration lieferte die Gruppe RealSeal lateral mit 4,027800 mmol/l Glucose.

Die Gruppen Guttaflow und Gutta vertikal zeigen **keinen** statistisch signifikanten Unterschied in der Glucosekonzentration zu Gutta lateral.

RealSeal lateral (4,027800 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,184217 mmol/l).

RealSeal vertikal (1,086743 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,184217 mmol/l).

5.3.5 Ergebnisse der Messung an Tag 30

Material	Median	Gutta lateral	RealSeal lateral	Gutta vertikal	RealSeal vertikal
Gutta flow	0,230610	p = 0,4292	p < 0,0001 ***	p = 0,1404	p < 0,0001 ***
Gutta lateral	0,210208		p < 0,0001 ***	p = 0,0235 *	p < 0,0001 ***
RealSeal lateral	6,465450			p = 0,0004 ***	p = 0,3430
Gutta vertikal	0,339418				p = 0,0088 ***
RealSeal vertikal	1,671102				

Tab. 5.3.5: Messwerte der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Messtag 30 (angegeben in mmol/l Glucose)

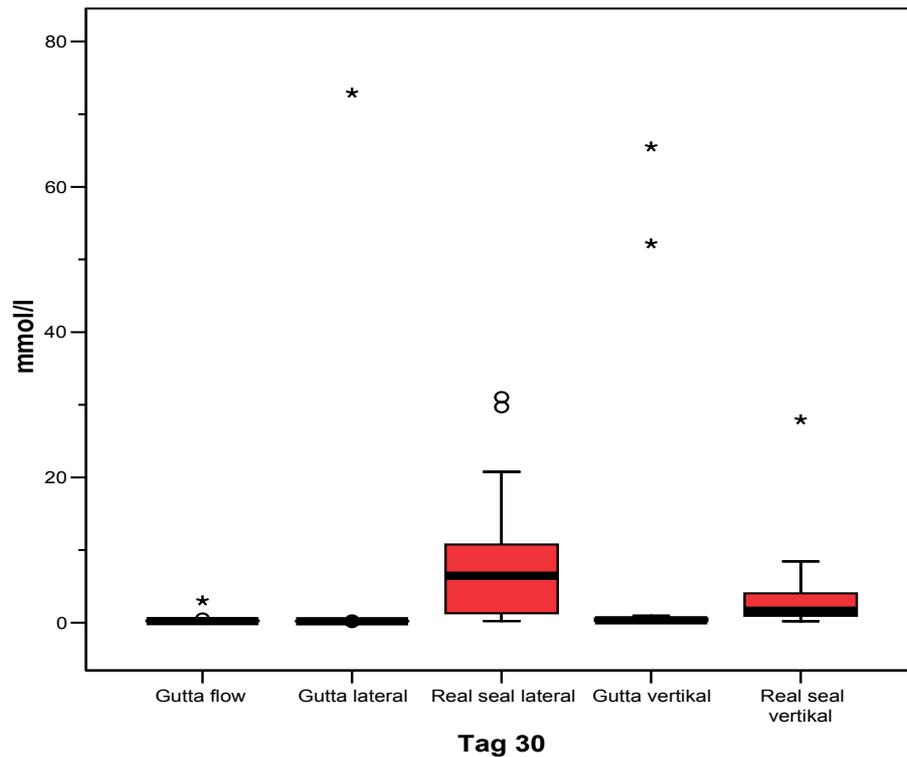


Abb. 5.3.9: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Mess-tag 30 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 80,0 mmol/l Glucose

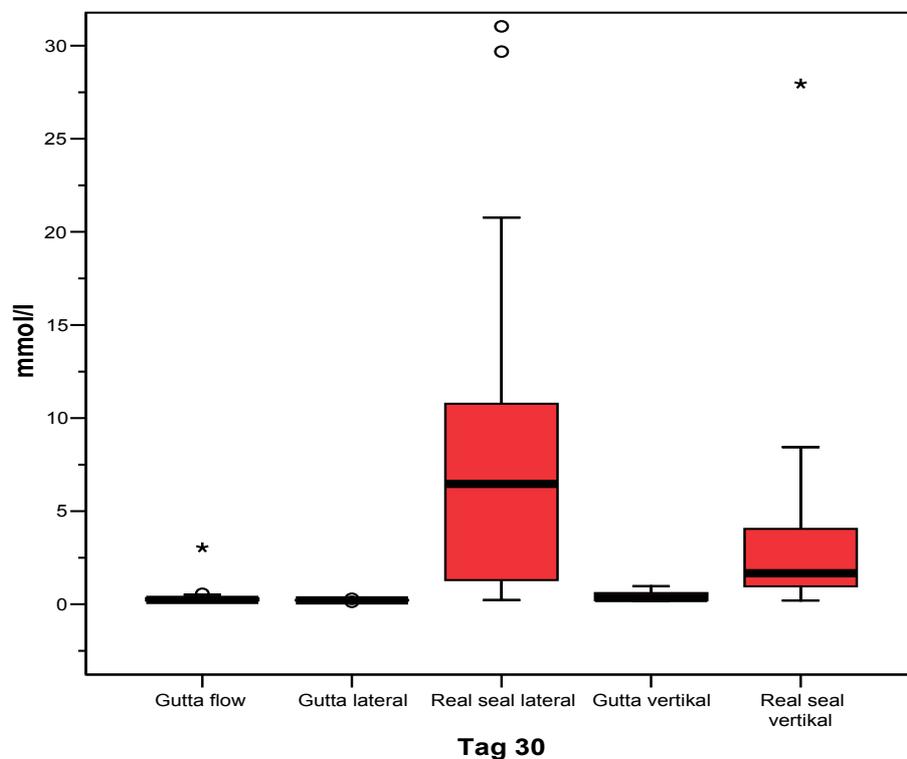


Abb. 5.3.10: Verteilung der Messwerte in den Gruppen Gutta flow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal für den Mess-tag 30 im y-Achsenabschnitt von -5,0 bis 30,0 mmol/l Glucose

In den Abbildungen 5.3.9 und 5.3.10 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Glucosepenetration in Boxplotdiagrammen dargestellt.

Der Vergleich der Gruppen Guttaflow, Gutta lateral, RealSeal lateral, Gutta vertikal und RealSeal vertikal ergab am Messtag 30 statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 5.3.5).

Der Goldstandard Gutta lateral zeigt am Messtag 30 die niedrigste Glucosekonzentration von 0,210208 mmol/l Glucose, die höchste statistisch erfasste Glucosepenetration lieferte die Gruppe RealSeal lateral mit 6,465450 mmol/l Glucose.

Die Gruppe Guttaflow zeigt **keinen** statistisch signifikanten Unterschied in der Glucosekonzentration zu Gutta lateral.

RealSeal lateral (6,465450 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,210208 mmol/l).

Gutta vertikal (0,339418 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,210208 mmol/l).

RealSeal vertikal (1,671102 mmol/l Glucose) zeigt eine signifikant höhere Glucosepenetration als Gutta lateral (0,210208 mmol/l).

5.4 Prüfung der Arbeitshypothesen

5.4.1 Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration zwischen Wurzelfüllungen mit dem "Goldstandard" Guttapercha bei lateraler Kompaktion und Wurzelfüllungen mit Guttaflow bei Zentralstifttechnik.

Die Arbeitshypothese wird bestätigt.

5.4.2 Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration zwischen Wurzelfüllungen mit dem "Goldstandard" Guttapercha bei lateraler Kompaktion und Wurzelfüllungen mit dem RealSeal System bei lateraler Kompaktionstechnik.

Die Arbeitshypothese wird abgelehnt. Wurzelfüllungen aus RealSeal in lateraler Kompaktionstechnik zeigen eine signifikant höhere Glukose-Penetration als Wurzelfüllungen aus dem Goldstandard.

5.4.3 Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration zwischen Wurzelfüllungen mit dem "Goldstandard" Guttapercha bei lateraler Kompaktion und Wurzelfüllungen mit Guttapercha bei vertikaler Kompaktionstechnik.

Die Arbeitshypothese wird überwiegend bestätigt. Bis auf die Ergebnisse der Messtage 10 und 30 bestehen an allen anderen Messtagen keine signifikanten Unterschiede in der Glukose-Penetration der beiden Fülltechniken. An den Messtagen 10 und 30 weisen die Wurzelfüllungen mit Guttapercha in vertikaler Kompaktionstechnik eine signifikant höhere Glukose-Penetration als Wurzelfüllungen mit dem Goldstandard auf.

5.4.4 Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration Wurzelfüllungen mit dem "Goldstandard" Guttapercha bei lateraler Kompaktion und Wurzelfüllungen mit dem RealSeal System bei vertikaler Kompaktionstechnik.

Die Arbeitshypothese wird abgelehnt. Wurzelfüllungen aus RealSeal zeigen in vertikaler Kompaktionstechnik eine signifikant höhere Glukose-Penetration als Wurzelfüllungen mit dem Goldstandard.

5.4.5 Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration an den Tagen 7, 10, 15, 20 und 30 nach Legen der Wurzelfüllungen.

Die Arbeitshypothese wird abgelehnt. Es bestehen signifikante Unterschiede in der Glukose-Penetration an den Tagen 7, 10, 15, 20 und 30 nach Legen der Wurzelfüllungen. Dabei sind bei allen Versuchsgruppen jeweils zwischen einem Messtag und dem jeweils übernächsten Messtag signifikante Unterschiede zu verzeichnen. Jeweils zwischen dem 7. und 15. Messtag, dem 10. und 20. sowie dem 15. und 30. Messtag nimmt der Grad der Glukose-Penetration aller Versuchsgruppen im Zeitverlauf stetig zu.

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Problemstellung

Die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung sowie die nachfolgende suffiziente Restauration des Zahnes haben einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung (Segura-Egea et al. 2004). Undichte Wurzelfüllungen lassen Raum für Bakterien, die zu einer Reinfektion des Wurzelkanalsystems und somit zum Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung führen können.

Die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung hängt maßgeblich von der Fülltechnik sowie vom verwendeten Füllmaterial ab. So ergeben sich bei Verwendung unterschiedlicher Füll- und Aufbereitungstechniken Unterschiede in Bezug auf die Heilungsrate einer Wurzelkanalbehandlung (Farzaneh et al. 2004).

Schon seit nahezu 100 Jahren wird das Wurzelfüllmaterial Guttapercha verwendet (Weine 1996). Doch ein absolut hermetischer Verschluss des Wurzelkanalsystems ist auch mit Guttapercha nicht zu erreichen.

Deshalb wird durch die Entwicklung neuerer Wurzelfüllmaterialien und -techniken versucht, die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung zu verbessern.

Aus diesem Kontext resultiert die Problemstellung der vorliegenden Arbeit: die Dichtigkeit von verschiedenen Wurzelfüllmaterialien und -techniken zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

6.2 Diskussion der Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Dichtigkeit von verschiedenen Wurzelkanalfüllmaterialien und Wurzelfülltechniken anhand einer Glucose-Penetrations-Testung zu überprüfen. Es wurden mehrere Nullhypothesen formuliert.

Es wird angenommen, dass im Verlauf der Messtage keine signifikanten Unterschiede zwischen Wurzelfüllungen mit dem Goldstandard (Guttapercha in lateraler Kompaktion) und anderen Wurzelfüllungen mit unterschiedlichen Materialien und Kompaktionstechniken bestehen. Dabei werden Wurzelfüllungen mit Guttapercha in vertikaler Kompaktion, Wurzelfüllungen mit RealSeal in lateraler und vertikaler Kompaktionstechnik und Wurzelfüllungen mit Guttaflow in Zentralstifttechnik mit dem Goldstandard verglichen. Des Weiteren wird die Nullhypothese aufgestellt, dass keine signifikanten Unterschiede in der Glukose-

Konzentration zwischen den Messtagen 7, 10, 15, 20 und 30 nach Legen der Wurzelfüllungen bestehen.

Die Einbeziehung von Guttapercha erfolgt vor dem Hintergrund, dass sich die Verwendung von Guttapercha in Kombination mit einem Sealer über nahezu 100 Jahre traditionell bewährt hat. Es stellt sich die Frage, wie sich im Zuge der modernen Adhäsivtechnik neuere auf den Markt getretene Materialien im Bezug auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung verhalten. Der völlige Ersatz von Guttapercha, z.B. durch das thermoplastische Polymer des Resilon-Systems, in diesem Fall das RealSeal-System, soll einen neuen Weg in der Entwicklung von Obturationsmaterialien darstellen. Das RealSeal-System soll einen adhäsiven Verbund zwischen dem Wurzelkanalentin einerseits und dem Kernmaterial andererseits generieren. RealSeal kann wie Guttapercha sowohl in Kalt- als auch in Warmfülltechniken verwendet werden.

Die Verwendung von Guttaflow im Sinne einer Zentralstifttechnik findet zunehmend verbreitete Anwendung und ist daher mit in diese Untersuchung einbezogen worden.

6.3 Diskussion von Material und Methode

6.3.1 Anforderungen an die Versuchsobjekte

Im Rahmen der hier vorliegenden Studie wurden humane Front- und Eckzähne ausgewählt, um sie hinsichtlich der Dichtigkeit von Wurzelfüllungen zu untersuchen. Um sie miteinander vergleichen zu können, wurden spezielle Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt. Es wurde somit versucht möglichst viele Parameter zu standardisieren, um Standardabweichungen in den einzelnen Gruppen möglichst gering zu halten und eine unerwünschte Streuung der Ergebnisse zu vermeiden.

Die Standardisierbarkeit einer In-vitro-Studie wirkt sich insofern vorteilhaft aus, dass Ergebnisse miteinander verglichen und entsprechend ausgewertet werden können. Dadurch wird eine hohe Aussagekraft der Untersuchungen erreicht.

Diese Vereinheitlichung der Versuchsobjekte erfolgte in der hier vorliegenden Arbeit im Wesentlichen auf Grundlage der Studie von Xu Q. et al. (2005).

Die Form und die Wurzelkanalanatomie der Versuchszähne wurden weitestgehend standardisiert. Es wurden nur Front- und Eckzähne mit gerader Wurzel und einem einzigen Wurzelkanal ausgewählt. Somit wurde eine Formvariation

als beeinflussender Faktor der Untersuchungsergebnisse in Bezug auf die Dichtigkeit weitestgehend ausgeschlossen.

Auch der Wurzelkanalquerschnitt kann einen Einfluss auf die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen nehmen (van der Sluis et al. 2007). Daher wurden die ausgewählten Zähne dem Wurzelkanalquerschnitt nach in runde und ovale Kanäle eingeteilt und gleichmäßig auf die Versuchsgruppen aufgeteilt.

Da die Zahnstruktur von kariösen Zähnen und Zähnen mit resorptiven Defekten verändert ist, und damit Einfluss auf die Verbundfestigkeit von Wurzelfüllmaterial zur Wurzelkanalwand und so auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllungen nehmen kann, wurden solche Zähne nicht verwendet. Auch Zähne mit Wurzelfrakturen wurden ausgeschlossen, da diese die Penetration von Glukose beeinflussen können.

Um schließlich auch die Länge der Zähne zu vereinheitlichen, wurden alle ausgewählten Zähne auf eine Gesamtlänge von 15 Millimeter gekürzt.

Der Einsatz von humanen extrahierten Zähnen hat sich bei in-vitro-Untersuchungen zu Wurzelkanalfüllungen als valides Mittel etabliert und wird deshalb von vielen Autoren genutzt (Xu et al. 2005; Shemesh et al. 2006; Monticelli et al. 2007). Ein erschwerender Faktor bei der Verwendung von menschlichen Zähnen ist jedoch die große anatomische Variabilität und Komplexität der Wurzelkanal-Morphologie. Auch die, abhängig vom Alter, unterschiedliche Materialstruktur der Zähne stellt einen Nachteil bei der Standardisierung der Wurzelfüllung dar. Eine vollkommene Vereinheitlichung von menschlichen Zähnen ist deshalb nicht möglich.

So waren zum Beispiel Angaben zum Alter des Patienten, zur Vitalität sowie zum Zeitpunkt der Extraktion leider nicht verfügbar. Daraus ergibt sich eine Varianz der möglich veränderten Zahnstruktur aufgrund der unterschiedlichen Vitalität und des unterschiedlichen Alters der Zähne, welche möglicherweise einen Einfluss auf die Verbundfestigkeit von Wurzelfüllmaterial zur Wurzelkanalwand haben könnte.

Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, werden deshalb in verschiedenen Untersuchungen zur Wurzelkanalaufbereitung des öfteren künstliche Wurzelkanäle aus Methacrylat oder ähnlichen Kunststoffen herangezogen (Tepel 2000).

Künstliche Wurzelkanäle bieten zwar aufgrund der maschinellen Fertigung eine ideale Voraussetzung zur Standardisierung hinsichtlich Kanalgeometrie,

Krümmungsradius und Kanaldurchmesser bei der Wurzelkanalaufbereitung, sie können aber den Anforderungen an eine Wurzelfüllung nicht entsprechen und auch nicht alle Faktoren, welche die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen beeinflussen simulieren. Gerade der Verbund zwischen Kanalwand und Füllmaterial – insbesondere bei den in unserer Studie verwendeten adhäsiven Materialien – hat einen entscheidenden Einfluss auf die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung und kann mittels künstlicher Zähne nicht nachgeahmt werden.

In vivo vorkommende Faktoren, wie Kanalwandbeschaffenheit, Schmierschicht und Interaktionen zwischen Füllmaterial und Dentinoberfläche beeinflussen die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung und können nur durch die Verwendung von humanen Zähnen mitberücksichtigt werden.

In den meisten Untersuchungen zu Wurzelfüllmaterialien werden daher menschliche Zähne verwendet (Shipper et al. 2004; Verissimo et al. 2007.; Xu et al. 2005).

6.3.2 Arbeitslängenbestimmung

Auch die Länge einer Wurzelkanalaufbereitung und -füllung hat Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung (Young et al. 2007). Unterschiede in der Arbeitslänge könnten demzufolge auch die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen beeinflussen.

Die Europäische Gesellschaft für Endodontie empfiehlt eine Wurzelkanalaufbereitung so nahe wie möglich an die Zement-Dentin- Grenze, auch apikale Konstriktion genannt. Diese liegt zumeist zwischen 0,5 und 2 mm vom radiologischen Apex entfernt (ESE 2006).

Um in der hier vorliegenden Arbeit auch diese Variable zu standardisieren, wurde eine Arbeitslänge von einem Millimeter vor dem anatomischen Apex gewählt.

6.3.3 Wurzelkanalaufbereitung

Die Aufbereitung aller Zähne wurde standardisiert, um hinreichende Bedingungen für einen Gruppenvergleich herstellen zu können.

Die koronale Aufbereitung erfolgte hierzu im Crown-Down-Verfahren mit Gates-Glidden-Bohrern. Für die weitere Wurzelkanalaufbereitung wurde das maschinelle Feilensystem Mtwo verwendet, dessen Aufbereitungstechnik von dem Be-

handler im Vorfeld an circa 15 Wurzelkanälen unter Anleitung geübt wurde, um anwenderbedingte Fehler und Unterschiede in der Aufbereitungsform zu vermeiden.

Nach durchgeführter Aufbereitung wurde abschließend die Durchgängigkeit der Kanäle erneut überprüft, um eine eventuelle Verblockung, die die Glukosepenetration beeinflussen könnte, zu vermeiden.

Eine Alternative zur maschinellen Aufbereitung stellt, die in deutschen Zahnarztpraxen immer noch weitverbreitete konventionelle, manuelle Methode mit Instrumenten aus Edelstahl oder Nickel-Titan dar. Da die Aufbereitung per Hand eine bessere taktile Kontrolle erlaubt, wird die manuelle Aufbereitung bis heute an deutschen Hochschulen als eine ergänzende Methode zur Kanalaufbereitung gelehrt.

In der hier vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich die maschinelle Aufbereitung mit rotierenden Instrumenten angewendet, da mit dieser Methode eine bessere Standardisierung der Wurzelkanäle möglich ist. So kann im Vergleich zu manuellen Techniken beim Einsatz rotierender NiTi-Instrumente ein besserer Erhalt des Wurzelkanalverlaufs festgestellt werden (Gluskin et al. 2001). Insbesondere bei gekrümmten Kanälen ist die maschinelle der manuellen Technik überlegen, da weniger Aufbereitungsfehler im Sinne von Kanaltransportation, Zip- und Elbow-Formationen auftreten. In Untersuchungen hierzu erzielten ungeübte Behandler mit rotierenden Systemen bessere Resultate hinsichtlich der Qualität der Aufbereitung als mit Hand-Instrumenten (Sonntag et al. 2003, a und b).

In Bezug auf die Kanalsauberkeit im Vergleich zu manuellen Techniken mit Edelstahl-Instrumenten existieren jedoch widersprüchliche Ergebnisse (Ahlquist et al. 2001; Schäfer et al. 2002; Schäfer et al. 2006, b).

Ein erheblicher Zeitvorteil kann für die Anwendung der rotierenden Systeme dokumentiert werden (Gluskin et al. 2001). Auch ein kontinuierlicher Aufbereitungskonus von mehr als 6 % kann mit ISO genormten Handinstrumenten nur mit viel Übung erzeugt werden. Diese höhere Konizität der Kanäle ist für die vertikale Kompaktionstechnik notwendig (Diemer et al. 2006) und macht es daher möglich, verschiedene Wurzelkanalfülltechniken anzuwenden und miteinander zu vergleichen.

Im Vergleich zu anderen modernen rotierenden Systemen sind mit dem Mtwo-System eine Aufbereitung mit weniger Zips (Sonntag et al. 2007), ein erfolgreicher Beibehalt des ursprünglichen Kanalverlaufs und eine gute Sauberkeit der Kanäle (Schäfer et al. 2006 a, b) zu beobachten. Das Risiko von Instrumentenbrüchen konnte in der hier vorliegenden Studie durch die Benutzung eines Motors mit exakter Drehzahl- und Drehmomentkontrolle herabgesetzt werden.

6.3.4 Spülkonzept

Die Desinfektion der Wurzelkanäle erfolgte nach einem speziellen Spülkonzept welches bei allen Wurzelkanälen in gleicher Art und Weise angewendet wurde. Um gleiche mikrobielle Voraussetzungen bei allen Wurzelkanälen zu erhalten, wurde in der hier vorliegenden Arbeit die Applikationsmenge, die Applikationsdauer, die Konzentration und die Temperatur der Spüllösung standardisiert, da diese Faktoren in Zusammenhang mit der antimikrobiellen Wirkung einer Spüllösung stehen (DGZMK, DGZ 2006). Unterschiede in der Menge an verbliebenen Bakterien eines jeden Wurzelkanals könnten die Ergebnisse beeinflussen, da Glucose, die entlang der Wurzelfüllung penetriert von verbliebenen Bakterien verstoffwechselt werden könnte.

Als Zwischenspülung kam in der hier vorliegenden Arbeit Natriumhypochlorid in einer 3 %igen Konzentration zum Einsatz. Zur Entfernung der Schmierschicht wurden die Kanäle mit 10 %iger Zitronensäure gespült, als nächstes erfolgte eine erneute Spülung mit Natriumhypochlorid, um die in den Dentintubuli verbliebenen Bakterien zu erreichen. Da Natriumhypochlorid die Verbundstärke von adhäsiven Materialien beeinflusst (Morris et al. 2001), wurde eine Abschlusspülung mit destilliertem Wasser vorgenommen. Nach Herstellerangaben soll dadurch eine Erstarrung der Harze von RealSeal durch peroxidhaltige Schmiermittel und die negative Wirkung von Natriumhypochlorid auf die Haftung des Primers verhindert werden.

Dieses spezielle Spülkonzept wurde, um standardisierte Voraussetzungen für einen Vergleich zu erhalten, in allen Gruppen angewandt.

Die hier verwendete Spüllösung Natriumhypochlorid (NaOCl) ist das zur Wurzelkanal-desinfektion meistgenutzte Präparat (Vianna et al. 2006). Es stellt sich jedoch die Frage warum in der hier vorliegenden Studie Natriumhypochlorid zur Anwendung kam, wo es doch die Verbundstärke von adhäsiven Materialien be-

einflusst, und nicht auf andere Spülmittel wie beispielsweise Chlorhexidin (CHX) zurückgegriffen wurde. CHX wird von vielen Autoren aufgrund seiner guten Biokompatibilität (Vianna et al. 2006), seiner guten antibakteriellen Eigenschaft (Siqueira et al. 2007) und seiner hohen Substantivität (Rosenthal et al. 2004) empfohlen. Leider weist CHX jedoch nur einen geringen gewebeauflösenden Effekt auf (Vianna et al. 2006). Auch hinsichtlich der antibakteriellen Wirksamkeit sind zwischen Natriumhypochlorid und CHX keine Unterschiede festzustellen (Siqueira et al. 2007; White et al. 1999). NaOCl ist hinsichtlich seiner Fähigkeit, nekrotische Gewebe aufzulösen, allen anderen Spüllösungen überlegen (Naenni et al. 2004). Da die Kanalwand für einen optimalen Verbund zwischen Wurzelkanalwand und Wurzelfüllmaterial möglichst frei von nekrotischen Geweberesten sein sollte, stellt diese Eigenschaft eine wichtige Voraussetzung zu einer möglichst dichten Wurzelkanalfüllung dar. Aufgrund dieser guten antimikrobiellen und gewebeauflösenden Eigenschaften bei geringer Toxizität wurde Natriumhypochlorid verwendet.

Bei der mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanals entsteht an den bearbeiteten Kanalabschnitten eine Schmierschicht aus Dentin, Pulparesten und Bakterien, die die Dentintubuli verblockt.

Einige Autoren betrachteten diese Schmierschicht als Schutzschicht, die die Dentintubuli versiegelt und dadurch das Nachsickern von Flüssigkeiten aus den Dentinkanälchen und ein Eintreten von Bakterien in den Wurzelkanal verhindert (Drake et al. 1994; Peters et al. 2000).

Zum Einfluss der Schmierschicht auf die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen sind in der Literatur unterschiedliche Resultate anzutreffen. Die Ergebnisse reichen von signifikant höherer Dichtigkeit (Shahravan et al. 2007; Cobancara et al. 2004; von Fraunhofer et al. 2000) von Wurzelfüllungen nach Entfernung der Schmierschicht über den fehlenden Einfluss der Schmierschicht auf die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen (Saleh et al. 2008; Shemesh et al. 2006) bis hin zu signifikant geringerer Dichtigkeit (Ghoddusi et al. 2007; Timpawat et al. 2001). Der Anteil an Studien, in der die Entfernung der Schmierschicht einen positiven Effekt auf die Dichtigkeit hat, ist jedoch signifikant höher, wie in der Meta-Analyse von Shahravan et al. (2007) gezeigt wurde.

So sind mehrere Gründe anzuführen, die Schmierschicht vor der Füllung des Wurzelkanals zu entfernen. Durch die Entfernung der Schmierschicht wird das

Penetrieren von Wurzelkanalfüllungsmaterialien in die Dentintubuli erhöht (Kokkas et al. 2004). Diese Penetration fördert die Haftung von Wurzelfüllmaterialien an der Wurzelkanalwand. Vor allem gilt dies bei der Verwendung von erweichten Wurzelfüllmaterialien, die aufgrund ihres Fließverhaltens in kleinere Räume eindringen können (von Fraunhofer et al. 2000).

Die Schmierschicht gilt außerdem als Diffusionsbarriere, die die Wirkung von antimikrobiellen Substanzen bei der chemischen Bearbeitung des Wurzelkanals verhindern (Torabinejad et al. 2002).

Um optimale Voraussetzungen für eine möglichst dichte Wurzelkanalfüllung zu erhalten, wurde die Schmierschicht mittels Zitronensäure entfernt, da eine alleinige Verwendung des Spülmittels Natriumhypochlorid nicht ausreicht (Baumgartner et al. 1984).

6.3.5 Wurzelfüllung

Da die Qualität der zu untersuchenden Wurzelkanalfüllungen auch von der Erfahrung und dem Geschick des jeweiligen Behandlers abhängt, wurde in der hier vorliegenden Arbeit versucht eine möglichst hohe Qualität bei der Durchführung der Wurzelkanalfüllungen zu erlangen. Die techniksensitive und übungsintensive vertikale Kompaktion wurde von einem in dieser Methode erfahrenen Behandler durchgeführt. Auch die Fülltechnik mit Guttaflow und der Umgang mit dem vorher unbekanntem adhäsiven Füllmaterial RealSeal wurden im Vorfeld an jeweils circa 15 Wurzelkanälen erprobt. Die Methode der lateralen Kompaktion war ebenfalls schon mehrfach durch den Behandler verwendet worden. Hierdurch sollte der behandlerbedingte Fehler bei der Füllung der Wurzelkanäle möglichst gering gehalten werden.

Bei der Fülltechnik mit Guttaflow konnten allerdings viele Überpressungen des Guttaflow-Materials beobachtet werden. Das überpresste Material wurde zwar vorsichtig entfernt, jedoch könnte es dadurch zu einer höheren Versiegelung der Dentinkanälchen gekommen sein. Eine Verfälschung der Ergebnisse hierdurch kann nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Alle Wurzelkanalfüllungen unterlagen einer Qualitätskontrolle durch standardisierte Röntgenaufnahmen. Die Wurzelkanalfüllungen wurden hinsichtlich ihrer Homogenität und Länge beurteilt. Inhomogene oder zu kurze Wurzelfüllungen wurden revidiert. Die Aussagekraft der Röntgenkontrolle zur Beurteilung der

Qualität einer Wurzelfüllung ist jedoch kritisch zu betrachten (Slaus et al. 2001). Nachteilig anzusehen ist die lediglich zweidimensionale Betrachtung einer an sich dreidimensionalen Struktur. Die in der hier vorliegenden Arbeit in mesio-distaler Richtung angefertigten Röntgenaufnahmen sind hinsichtlich des Nachweises von Mängeln der Wurzelfüllung den in vestibulo-oraler Richtung angefertigten Aufnahmen überlegen (Slaus et al. 2001). Jedoch lassen sich eventuelle Lunker oder Porositäten in der Wurzelfüllung nicht vollständig ausschließen. Eine absolute Standardisierung in Bezug auf die Qualität aller Wurzelfüllungen ist daher nicht möglich.

6.3.6 *Glukose-Penetrationstest*

In der Literatur sind eine Reihe verschiedener Penetrationsverfahren bekannt. Zu den wichtigsten zählen unter anderem der Farbstoffpenetrationstest, die Flüssigkeitsfiltrationsmethode und das Bakterienpenetrationsmodell. Leider sind die Ergebnisse vieler Dichtigkeitsuntersuchungen oft widersprüchlich und nicht vergleichbar (Wu & Wesselink 1993). Die klinische Relevanz vieler Dichtigkeitsuntersuchungen erscheint deshalb fragwürdig (Karagenc et al. 2006). Die Gründe werden in der fehlenden Standardisierung der verschiedenen Methoden gesucht. Die Methode der Farbstoffpenetration zum Beispiel wurde vielfach variiert, weshalb die Ergebnisse deshalb oft nicht reproduzierbar und nicht komparabel sind (Wu & Wesselink 1993). Einige Autoren zeigen zudem, dass keine Korrelation zwischen Farbstoffpenetrationstests und periapikaler Gewebereaktion besteht (Pitt Ford 1983; Susini et al. 2006), wodurch die klinische Relevanz dieser Untersuchungen in Frage gestellt wird. Weiterhin wird die Methode der Farbstoffpenetration in einigen Studien als weniger reliabel als das Flüssigkeitsfiltrationsverfahren beurteilt (Camps et al. 2003).

In der hier vorliegenden Arbeit wurde das Glucose-Penetrationmodell, welches von Xu et al. 2005 erstmals vorgestellt wurde, verwendet. Das Glucose-Penetrationverfahren wurde bereits in mehreren Studien angewandt und als äußerst sensitive und einfache Art bewertet, um Dichtigkeitsuntersuchungen durchzuführen (Zou et al. 2006; Shemesh et al. 2006; Zou et al. 2007; van der Sluis et al. 2007; Xu et al. 2007; Shemesh et al. 2007; Kaya et al. 2007; Ozok et al. 2008).

Sie kann als eine Weiterentwicklung der Flüssigkeitsfiltrations-Methode angesehen werden. Beide Modelle bewerten die Penetration von Flüssigkeiten entlang der Wurzelfüllung, wobei ein konstanter Druck auf die Wurzelfüllung aufgebaut wird (Van der Sluis et al. 2007). Dieser niedrig gewählte Druck wird von einigen Autoren als vorteilhaft beschrieben, um die Luft oder Flüssigkeit, die sich in ungefüllten Bereichen der Wurzelfüllung befindet, zu verdrängen (Xu et al. 2005; Kaya et al. 2007). Diese Luft oder Flüssigkeit kann entweder zur erhöhten Penetration durch Kapillar- oder Diffusionskräfte führen, oder andererseits sogar verhindern, dass Penetration stattfindet. Eine Verfälschung der Ergebnisse soll hierdurch vermieden werden.

Das Glucose-Penetrationsmodell gilt als klinisch relevante Methode um die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung in koronal-apikaler Richtung zu bewerten. Es simuliert die Situation, in der die koronale Restauration undicht wird und orale Mikroorganismen in den Wurzelkanal eindringen können (Xu et al. 2007). Besonders der verwendete Indikator Glucose soll klinische Relevanz besitzen (Van der Sluis et al. 2006). Glucose hat ein niedriges Molekulargewicht, ist hydrophil und chemisch stabil. Von einigen Autoren wird der Gebrauch von Indikatoren mit kleinem Molekulargewicht bevorzugt, um eine höhere Sensitivität des Verfahrens zu erlangen (Zou et al. 2007). Bakterien als Indikator für Dichtigkeitsuntersuchungen sind zwar klinisch relevant, jedoch bleiben viele undichte Wurzelfüllungen unentdeckt, da schon die Penetration von kleineren Molekülen wie zum Beispiel Endotoxine, Enzyme oder Nährstoffe ausreichend sind um eine periapikale Inflammation auszulösen (Zou et al. 2007).

Glucose könnte ein Indiz für Bakterientoxine sein, die entlang der Wurzelfüllungen wandern (Van der Sluis et al. 2007). Zudem ist Glucose ein wichtiger Nährstoff für Bakterien in einem Biofilm. Da es unmöglich ist den Biofilm in einem Wurzelkanal vollständig zu entfernen (Nair et al. 2005), könnten schon kleine Mengen an Glucose ausreichen um den Biofilm aufrecht zu erhalten oder sogar ein Wachstum und damit eine periapikale Infektion des Wurzelkanals zu provozieren (Van der Sluis et al. 2007).

Die Konzentration von Glucose ist mittels Spektrophotometrie messbar. Dadurch wird es möglich, quantitative und kontinuierliche Messungen über einen langen Zeitraum zu erheben. Anders als bei dem Verfahren der Flüssigkeitsfiltration, bei dem Messungen nur intervallsartig zu bestimmten Zeitpunkten mög-

lich sind, kann bei der Glucose-Penetrations-Untersuchung die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen, stetig über eine lange Dauer beobachtet werden. Von einigen Autoren wird der Glucose-Penetrations-Methode eine höhere Sensitivität zugeschrieben (Van der Sluis et al. 2007; Shemesh et al. 2006; Shemesh et al. 2007). Die Gründe dafür sind zum einen in dem Zeitunterschied der Messungen der verschiedenen Methoden zu suchen. Zum anderen ist das Spektrophotometer bei der Glucose- Penetrations- Methode, bezüglich der Sensitivität, dem bloßen Auge bei der Beobachtung der Luftblase bei der Flüssigkeitsfiltrations-Methode, überlegen (Van der Sluis et al. 2007; Shemesh et al. 2007).

Die Validität des Glucose-Penetrationsverfahrens wurde in der Studie von Shemesh et al. (2007) bestätigt. In dieser Untersuchung wurde die Gültigkeit des Glucose-Modells überprüft, indem die Penetration von Wurzelentin mit der Penetration von gefüllten Wurzelkanälen verglichen wurde. Im Wurzelentin fand keine Penetration statt, deshalb penetriert Glucose tatsächlich entlang der Wurzelfüllung und nicht durch die Dentintubuli des Wurzelentins (Shemesh et al. 2007). Somit ist es mit dem Glucose-Penetrationstest möglich, tatsächlich die Dichtigkeit der Wurzelfüllung zu beurteilen.

In der hier vorliegenden Arbeit wurde versucht eine größtmögliche Standardisierung der Modelle zu erreichen um die Fehlerquote möglich klein zu halten.

Im Rahmen von Vorversuchen wurden verschiedene Materialien zur Abdichtung des Versuchsaufbaus getestet. Eine fehlerhafte Abdichtung der Modelle könnte zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen, da der Indikator Glucose dann nicht nur entlang der Wurzelfüllung sondern auch entlang der Verbundstellen zwischen Wurzel und Eppendorf-Reaktionsgefäß, in die untere Auffangkammer penetrieren könnte. Die Abdichtung der Verbundstellen der Versuchsmodelle stellt somit eine wichtige Rolle zur Einhaltung der Validität des Verfahrens dar. Da es bei alleiniger Verwendung von Cyanoacrylat zu positiven Glucosekonzentrationen in der negativen Kontrollgruppe im Rahmen der Vorversuche kam, wurde diese Form der Isolierung als nicht ausreichend erachtet. Nach mehrmaligem Testen verschiedener Materialien wurde die Kombination aus Zweikomponenten-Kleber, Knetsilikon und Klebewachs zur Abdichtung der Versuchsmodelle gewählt, da diese Versuchsaufbauten valide Ergebnisse erzielten. Nach Befüllen der Versuchsaufbauten mit den verschiedenen Lösungen wurde zusätzlich die Dichtigkeit eines jedes Versuchsaufbaus überprüft, indem

für kurze Zeit Druckluft auf die im Plastikröhrchen befindliche Glucoselösung wirkte. Bei Undichtigkeit waren Luftbläschen an den Abdichtungen zu erkennen. Undichte Versuchsaufbauten wurden neu aufgebaut.

Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch zusätzliche Penetration von Glucose entlang der Verbundstellen der Versuchsaufbauten wurde hierdurch vermieden. Die Prüflösung in dieser Studie ist eine 1 mol/l Glucoselösung bei einer Dichtigkeit von $1,09 \times 10^3$ g/l und bei einer Viskosität von $1,18 \times 10^{-3}$ Pa s bei 37° Celsius. Sie enthält zusätzlich 0,2 % Natriumacid. Auch die Lösung der unteren Kammer des Versuchsaufbaus enthält Natriumacid. Es wurde der Versuchslösung hinzugefügt, um eventuelle Proliferationen von Mikroorganismen, die die Glucose abbauen könnten, zu verhindern.

Durch einige Maßnahmen wurde versucht eine Verfälschung der Ergebnisse durch eine Verdunstung der Versuchslösungen zu verhindern.

Zum einen wurde die Verdunstung der Glucoselösung im Plastikröhrchen durch Zugeben von 0,2 ml Zedernholzöl auf die Glucoselösung vermieden. Zum anderen konnte die Verdunstung in der unteren Kammer der Versuchsaufbauten so gering wie möglich gehalten werden, indem alle Versuchsmodelle während des Experiments in einem Wärmeschrank mit 100 % Luftfeuchtigkeit gelagert wurden. Durch Zustellen eines Versuchsaufbaus mit bekanntem Gewicht, konnte die durch Verdunstung trotzdem verloren gegangene Feuchtigkeit in den unteren Kammern der Versuchsaufbauten gemessen werden und vor den jeweiligen Messungen dadurch wieder zugeführt werden.

Zur Messung der Glukose-Konzentrationen wurde ein enzymatisch photometrischer Test, die Glukose-Oxidase-Methode gewählt. Die Bestimmung von Glukose nach enzymatischer Oxidation durch Glukoseoxidase und anschließender spektrophotometrischer Auswertung stellt eine bewährte Methode dar. Verglichen mit anderen Verfahren, wie zum Beispiel Messungen mit Kupfer oder Ferricyaniden, bietet die Glukose-Oxidase-Methode ein hohes Maß an Spezifität und Sensitivität (Bishop et al. 1985).

Der Test ist zur Messung von Glukose-Konzentrationen von 0,06 – 22,2 mmol/l geeignet (Glucose GOD FS Analyse, DiaSys Diagnostic Systems GmbH, Holzheim, Deutschland). Wurde dieser Bereich überschritten, wurden die Versuchsproben mit Kochsalzlösung verdünnt. Die untere Nachweisgrenze ist 0,06 mmol/l. Da an den Messtagen 1, 2 und 4 über 50 % der Glukosekonzentrationen

trationen unterhalb der Nachweisgrenze lagen, wurden diese Messtage bei der Interpretation der Ergebnisse nicht berücksichtigt.

6.4 Diskussion der Statistik

Die ermittelten Penetrationsdaten wurden zunächst tabellarisch erfasst und dann in das Statistikprogramm SPSS, Version 12.0, übertragen.

Die Daten der zu vergleichenden Gruppen wurden danach mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft.

Als Niveau für eine Signifikanz der Unterschiede wurde ein p-Wert von 0,05 gesetzt.

Der Vergleich der Messungen an den Untersuchungstagen 7, 10, 15, 20 und 30 pro Gruppe (abhängige Beobachtungen) erfolgte mit dem Friedman-Test. Es wurde ein nicht parametrisches Verfahren gewählt, da es in allen Gruppen (bis auf RealSeal lateral und den Kontrollgruppen) an einigen oder sogar allen Tagen signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung gab. Post-Hoc-Paarvergleiche wurden mittels Test nach Wilcoxon und Wilcox durchgeführt.

Mittels Kruskal-Wallis-Test wurden die Versuchsgruppen pro Messtag (unabhängige Beobachtungen) miteinander verglichen. Post-Hoc-Paarvergleiche erfolgten mit dem Test von Dunn.

Anschließend wurden die Daten als Box-Plot-Diagramme graphisch aufbereitet. Die Darstellung der Daten als Box-Plot ermöglicht unmittelbar zu erkennen, mit welchen Streubreiten sich die Daten in den vier Quartilen verteilen. Zusätzlich wird der Median dargestellt. Die Box-Plot-Darstellung setzt anders als die graphische Darstellung von Mittelwert und Standardabweichung keine Normalverteilung der Daten voraus. Die Darstellung der Daten mit dem Box-Plot gibt auch Ausreißer wieder, ohne in der Aussage empfindlich gegen diese zu sein.

6.5 Diskussion der Ergebnisse

6.5.1 Kontrollgruppen

Die Ergebnisse der Kontrollgruppen bestätigen die Validität des Glukose-Penetrations-Verfahrens. Die Ergebnisse der negativen Kontrollgruppe zeigen, dass durch Versiegelung des gesamten Zahnes mit Wachs und Abdichtung der Versuchsaufbauten aus einer Kombination aus Knetsilikon und Zwei-Komponenten-Kleber eine Penetration von Glukose nicht stattfinden kann, bzw. nicht nachgewiesen werden kann. Die Ergebnisse der positiven Kontrollgruppe zeigen eine positive Glukose- Penetration bei ungefüllten Wurzelkanälen.

Betrachtet man die Ergebnisse beider Kontrollgruppen zusammen, wird bewiesen, dass eine Penetration von Glukose entlang des Wurzelkanals, bzw. entlang der Wurzelfüllung stattfinden kann.

6.5.2 Ergebnisse aus dem Vergleich der Messtage 7, 10, 15, 20 und 30 pro Gruppe.

In allen Versuchsgruppen war ab dem Messtag 7 eine positive Glukose-Konzentration zu verzeichnen. An den Messtagen 1, 2 und 4 lagen über 50 % der Glukose-Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze, weshalb diese Messtage bei der Interpretation der Ergebnisse nicht berücksichtigt wurden.

Signifikante Unterschiede in den Glukosekonzentrationen waren bei allen Versuchsgruppen jeweils zwischen einem Messtag und dem jeweils übernächsten Messtag zu verzeichnen, demnach jeweils zwischen dem 7. und 15. Messtag, dem 10. und 20. sowie dem 15. und 30. Messtag.

Keines der Wurzelfüllmaterialien und -techniken kann somit eine langfristige hermetisch dichte Wurzelfüllung erzielen. Ab dem 7ten Messtag zeigen alle Versuchsgruppen undichte Wurzelfüllungen, die mit zunehmender Liegedauer konstant undichter werden. Die Veränderung der Dichtigkeit im Verlauf der Zeit ist bei allen Versuchsgruppen ähnlich, das heißt alle Wurzelfüllungen werden mit zunehmender Liegedauer prozentual ähnlich undichter.

Der Grad der Dichtigkeit ist zwischen einigen Wurzelfüllmaterialien und -techniken signifikant unterschiedlich, zwischen anderen auch ähnlich, die Abnahme der Dichtigkeit im Verlauf der Zeit ist jedoch bei allen Wurzelfüllmaterialien und -techniken vergleichbar.

6.5.3 Ergebnisse der Gruppenvergleiche pro Messtag

Alle Versuchsgruppen zeigten eine positive Glukose-Penetration. Das heißt eine absolute hermetische Dichtigkeit konnte mit keiner der getesteten Wurzelfüllmaterialien oder -techniken erreicht werden. Diese Ergebnisse repräsentieren den Stand der Wissenschaft. Eine dauerhafte absolute Versiegelung des Wurzelkanalsystems konnte bisher in keiner Dichtigkeitsuntersuchung nachgewiesen werden.

6.5.3.1 Ergebnisse an den Messtagen 7, 10, 15, 20 und 30 aus dem Vergleich des Goldstandards „Gutta lateral“ mit der Gruppe:

6.5.3.1.1 Guttaflow

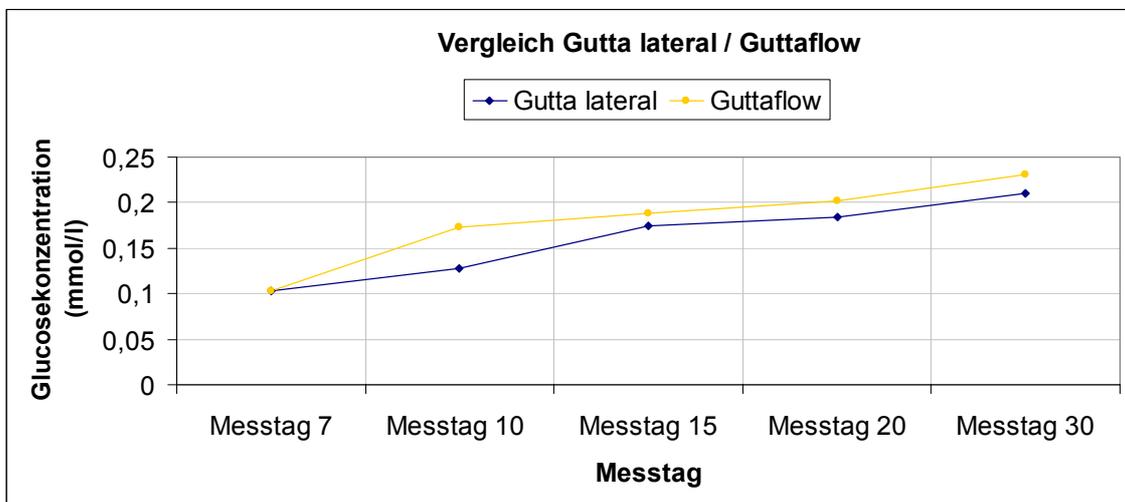


Abb. 6.1: Vergleich der Gruppen Gutta lateral und Guttaflow im Zeitverlauf (Messtage 7 - 30)

Die Ergebnisse der Gruppe Guttaflow zeigen an allen Messtagen keine signifikanten Unterschiede in der Glukose Konzentration verglichen mit dem Goldstandard Gutta lateral sowie mit der Gruppe Gutta vertikal. Tendenziell ergibt sich eine leicht höhere Konzentration bei Guttaflow als bei Gutta lateral. Wurzelfüllungen aus Guttaflow in Zentralstifttechnik und aus Guttapercha in lateraler sowie in vertikaler Kompaktionstechnik ähneln sich demnach in ihrem Abdichtungsverhalten.

Viele In-vitro-Untersuchungen in der Literatur zeigen hierzu ähnliche Ergebnisse.

Bezüglich der Dichtigkeit der apikalen Region erzielte Guttaflow unter Anwendung der Zentralstifttechnik gleichwertige Ergebnisse zum einen im Vergleich

zu Guttapercha unter Verwendung von AHplus und der Zentralstifttechnik (Roggendorf et al. 2001), sowie zum anderen im Vergleich zu Guttapercha unter Verwendung vertikaler Kompaktion (Brackett et al. 2006; Monticelli et al. 2007, b). Monticelli konnte dabei jedoch signifikant mehr Undichtigkeiten im mittleren und koronalen Anteil bei Wurzelfüllungen mit Guttaflow nachweisen als bei Wurzelfüllungen mit vertikal kondensierter Guttapercha. In der hier vorliegenden Studie wurde die Dichtigkeit der gesamten Wurzelfüllung in koronal-apikaler Richtung betrachtet. Lufteinschlüsse oder Undichtigkeiten, die sich im koronalen oder mittleren Wurzel Drittel befinden, haben bei dieser Glukose-Penetrations-Methode keinen Einfluss auf die Glukose-Konzentration und bleiben somit unentdeckt. Eine Teilung der Wurzeln wäre notwendig um solche Luftblasen in den verschiedenen Anteilen nachweisen zu können.

Auch in einer Langzeit-in-vitro-Studie zeigte Guttaflow in Verwendung der Zentralstifttechnik ein gleichwertiges Abdichtungsverhalten im Vergleich zu Guttapercha unter Anwendung vertikaler und lateraler Kompaktion (Kontakiotis et al. 2007, a). In der Studie von De-Deus et al. (2007) konnte für Guttaflow unter Anwendung der lateralen Kompaktion sogar ein besseres Abdichtungsverhalten nachgewiesen werden als für Guttapercha und AH plus in lateraler Kompaktion. Die gute Adaption an die Kanalwand durch Guttaflow (ElAyouti et al. 2005) sowie die Eigenschaft von Guttaflow beim Abbinden zu expandieren (Hammad et al. 2008) scheint einen positiven Einfluss auf das Abdichtungsverhalten von Guttaflow in Zentralstifttechnik zu nehmen. Die Tatsache, dass Wurzelfüllungen aus Guttaflow viele kleine Luftbläschen einschließen im Vergleich zu Wurzelfüllungen aus Guttapercha in lateraler und vertikaler Kompaktion, die insgesamt größere Luftblasen enthalten, scheint das Abdichtungsverhalten der verschiedenen Wurzelfüllmaterialien nicht, beziehungsweise gleichstark zu beeinflussen.

Ein Abfüllen von Seitenkanälchen durch die erhöhte Fließfähigkeit von Guttaflow wie durch den Hersteller proklamiert wird, konnte bei unseren Wurzelfüllungen nicht beobachtet werden.

Allerdings wies Guttaflow in einer Bakterien-Penetrations-Untersuchung im Vergleich zu warm vertikal kondensierter Guttapercha eine signifikant schlechtere apikale Abdichtung auf (Monticelli et al. 2007, a).

Auch in der Glukose- Penetrations- Studie von Özok et al. 2008 wird eine signifikant höhere Glukosepenetration bei Wurzelfüllungen aus Guttaflow in Zentralstifttechnik verglichen mit Wurzelfüllungen aus Guttapercha in lateraler Kompaktion festgestellt. Diese Ergebnisse scheinen zu unseren Ergebnissen im Widerspruch zu stehen. Möglicherweise sind die Gründe dieser Unterschiede in der unterschiedlichen Aufbereitungs- und Fülltechnik zu suchen. In der Untersuchung von Özok wurde beispielsweise mit einer höheren Konizität aufbereitet. Das Füllmaterial Guttaflow wurde mit einem Lentulo eingebracht, während in der hier vorliegenden Untersuchung das Material mittels einer Applikationspitze eingebracht wurde. Möglicherweise sind mit dieser Aufbereitungs- und Fülltechnik beim Füllen mehr Hohlräume entstanden, die in der Studie von Özok zu erhöhten Glukose-Konzentrationen führten als bei unsere Untersuchung. In der hier vorliegenden Studie konnten außerdem viele Überpressungen bei der Füllmethode mit Guttaflow beobachtet werden. Durch zwar vorsichtiges Abwischen des überpressten Materials kam es möglicherweise so zu einer höheren Versiegelung der Dentinkanälchen und somit zu einer niedrigeren Glukose-Konzentration. Eine Verfälschung der Ergebnisse aufgrund dieser Überpressungen kann deshalb nicht sicher ausgeschlossen werden.

6.5.3.1.2 RealSeal lateral

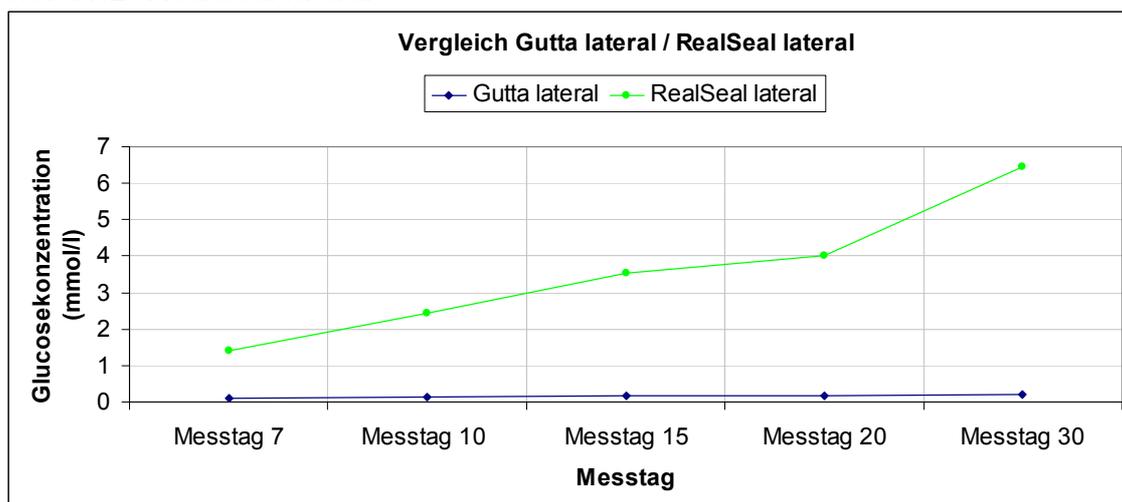


Abb. 6.2: Vergleich der Gruppen Gutta lateral und RealSeal lateral im Zeitverlauf (Messtage 7 - 30)

Die Ergebnisse der Gruppe RealSeal lateral zeigen an allen Messtagen eine signifikant höhere Glukosekonzentration verglichen mit dem Goldstandard Gut-

ta lateral. Die Gruppe RealSeal lateral erreicht im Vergleich mit allen anderen Medianwerten der Versuchsgruppen an allen Messtagen die höchsten Glukosekonzentrationen. Auch der Vergleich mit der Gruppe Gutta vertikal zeigt für die Gruppe RealSeal lateral an allen Messtagen eine signifikant höhere Glukosekonzentration.

Eine Wurzelfüllung mit dem adhäsiven Wurzelfüllmaterial RealSeal in lateraler Kompaktionstechnik scheint hinsichtlich der Dichtigkeit der mit Guttapercha sowohl in lateraler wie auch in vertikaler Kompaktionstechnik angewandten Wurzelfüllung unterlegen zu sein.

In der Literatur finden sich viele Dichtigkeitsuntersuchungen mit dem Wurzelfüllmaterial Resilon mit jedoch widersprüchlichen Ergebnissen.

In einigen Studien erreichte das Wurzelfüllmaterial Resilon eine bessere Dichtigkeit als Guttapercha (Shipper et al. 2004; Shipper et al. 2005; Verissimo et al. 2007; Sagsen et al. 2006), in manchen wurde den beiden Füllmaterialien ein gleichwertiges Abdichtungsverhalten zugesprochen (Baumgartner et al. 2007; Pitout et al. 2006; Biggs et al. 2006; Tay et al. 2005, b) und in anderen waren Wurzelfüllungen aus Resilon den herkömmlichen Wurzelfüllungen aus Guttapercha unterlegen (Shemesh et al. 2006; Onay et al. 2006). Möglicherweise sind diese unterschiedlichen Ergebnisse auf die unterschiedliche Füll- und Aufbereitungstechnik sowie auf die unterschiedliche Methodik der Untersuchungen zurückzuführen. Untersuchungen mit der Flüssigkeitsfiltrationsmethode beispielsweise scheinen eine niedrigere Sensitivität als Untersuchungen mit der Glukose-Methode zu haben (Van der Sluis et al. 2007; Shemesh et al. 2006, Shemesh et al. 2007).

Frühe Untersuchungen zu dem neuen Wurzelfüllmaterial zeigten weniger Bakterienpenetration bei Wurzelkanälen, die mit dem adhäsiven Füllmaterial Resilon gefüllt waren (Shipper et al. 2004).

Tay et al. (2005, a) stellten bei Wurzelfüllungen mit dem Resilon System Luft-einschlüsse von circa zwei Mikrometern zwischen der Wurzelkanalwand und dem Primer fest. Da Bakterien eine durchschnittliche Größe von circa 0,2 bis zu 10 Mikrometern haben (Hobot 2002) können möglicherweise viele Bakterien aufgrund ihrer Größe nicht entlang der Wurzelfüllung penetrieren. Viele Undichtigkeiten bleiben somit in Bakterien-Penetrations-Untersuchungen unentdeckt und könnten eine mögliche Erklärung für diese widersprüchlichen Ergebnisse

sein. Die meisten neueren Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis das Wurzelfüllungen aus Resilon keine ersichtlichen Vorteile gegenüber Wurzelfüllungen aus Guttapercha bieten (Fransen et al. 2008; Jack et al. 2008; De-Deus et al. 2008; Bodrumlu et al. 2007).

Alle kürzlich mit der Glukose-Penetrations-Methode durchgeführten Dichtigkeitsuntersuchungen zu dem Wurzelfüllmaterial Resilon erzielten ähnliche Ergebnisse wie diese in der hier vorliegenden Untersuchung (Shemesh et al. 2006; Kaya et al. 2007).

Ein hermetisch dichter Verbund, der so genannte Monoblock zwischen Wurzelkanal und Füllmaterial, wie vom Hersteller proklamiert wird, scheint nicht möglich zu sein. Offenbar ist der adhäsive Verbund im Wurzelkanal mit einigen speziellen Problemen behaftet. Die Gründe hierfür sind sowohl in dem Wurzelfüllmaterial selbst als auch in der speziellen Wurzelkanalkonstruktion zu suchen.

Das Wurzelkanalsystem weist aufgrund seiner Anatomie einen ungünstigen C-Faktor (circa 100:1) auf. Ein schlechteres Verhältnis als 3:1 wird heute als unvorteilhaft für den Verbund zwischen Dentin und Füllmaterial betrachtet (Schwartz 2006). Aufgrund der beim Aushärten entstehenden Polymerisations-schrumpfung von adhäsivem Material bei diesem ungünstigen C-Faktor scheint es unmöglich zu sein einen dichten Verbund zur Kanalwand ohne Spaltbildung zu erreichen.

Für einen optimalen Verbund zwischen Wurzelentin und Wurzelfüllmaterial sind nach Schwartz (2006) einige Voraussetzungen notwendig, die speziell durch die Wurzelkanalanatomie nicht ideal erfüllt werden können:

- 1) Eine Applikation des Primers bis ins apikale Wurzeldrittel ist erschwert.
- 2) Eine optimale Verdunstung des Trägerstoffes (Aceton oder Alkohol) im Primer kann nicht gewährleistet werden, da ein Verblasen im Wurzelkanal nicht durchgeführt werden kann.
- 3) Eine absolute Sauberkeit im Wurzelkanal kann nicht erreicht werden, da viele Anteile des Wurzelkanals nicht instrumentierbar (Peters 2004) sind und Debris durch alleinige Spülung nicht vollständig entfernt werden können. Auch Reste von medikamentösen Einlagen wie beispielsweise Calciumhydroxid, die nicht vollständig entfernt werden können, könnten den Verbund zum Wurzelkanal erschweren.

Dadurch wird der Verbund von Sealer zur Kanalwand offenbar negativ beeinflusst (Schwartz 2006).

Selbst der Verbund von Sealer zu Resilon-Stiften ist fraglich, da ein für den adhäsiven Verbund notwendiges unpolymerisiertes Polymer in den Stiften fehlt.

Die adhäsive Wurzelfüllung muss sich jedoch auch mit den Problemen der allgemeinen Adhäsivtechnik auseinandersetzen. Mehrere Studien konnten bereits belegen, dass mit der Zeit der Verbund zwischen adhäsivem Material und Dentin schwächer wird (De Munck et al. 2005; Hashimoto et al. 2001). Dies wird auf funktionelle Belastungen und wiederholte Stressbelastungen, welche Mikrofrakturen und Risse im adhäsiven Material verursachen, zurückgeführt.

Die Torsions- und Biegekräfte, die während funktioneller und parafunktioneller Belastungen im Wurzelkanal auftreten, könnten möglicherweise einen negativen Effekt auf den Verbund des adhäsiven Materials zur Wurzelkanalwand ausüben (Schwartz 2006).

Um die langfristige Dichtigkeit von adhäsiven Wurzelfüllungen besser beurteilen zu können sind weitere Studien notwendig, die funktionelle Kräfte auf den Wurzelkanal simulieren.

Weitere Gründe für die erhöhte Penetration von Glukose in Wurzelfüllungen aus RealSeal in lateraler Kompaktionstechnik sind in dem Füllmaterial selbst zu suchen. Mehrere Studien konnten bereits zeigen, dass Resilonstifte und adhäsive Sealer eine höhere Löslichkeit und Biodegradation als Guttapercha und AHplus aufweisen (Tay et al. 2007; Tay et al. 2005, c; Versiani et al. 2006; Donnelly et al. 2007). Eine erhöhte Penetration von Glukose ist deshalb auch aufgrund der möglichen Auflösung von RealSeal-Material durch die in der hier vorliegenden Untersuchung verwendeten Testlösungen zu erklären. Weitere Untersuchungen hierzu sind notwendig.

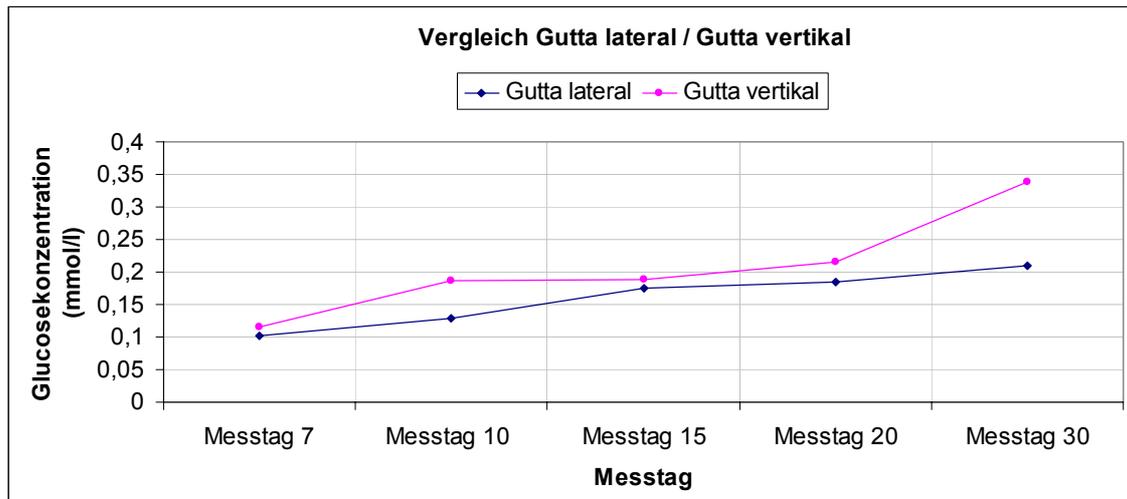
6.5.3.1.3 *Gutta vertical*

Abb. 6.3: Vergleich der Gruppen Gutta lateral und Gutta vertikal im Zeitverlauf (Messtage 7 – 30)

Verglichen mit dem Goldstandard zeigen die Ergebnisse der Gruppe Gutta vertikal an fast allen Messtagen keine signifikanten Unterschiede in der Glukosekonzentration. An den Messtagen 10 und 30 ergeben sich signifikant höhere Glukosekonzentrationen bei Anwendung von Guttapercha in vertikaler Kompaktionstechnik. Daher kann von einer gleichen bis tendenziell besseren Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit Guttapercha in lateraler Kompaktionstechnik verglichen mit vertikaler Kompaktionstechnik gesprochen werden. Die Art der Kompaktion scheint also keinen großen Einfluss auf die Abdichtungsfähigkeit von Wurzelfüllungen zu nehmen.

In der Literatur liefern Untersuchungen in Bezug auf das Abdichtungsverhalten von Wurzelfüllungen aus Guttapercha in vertikaler Kompaktion allerdings unstimige Ergebnisse.

Sie reichen von schlechteren Ergebnissen hinsichtlich der Dichtigkeit bei vertikaler Kompaktion (Wu et al. 2003) über vergleichbaren Ergebnissen (Madison & Krell 1984; Wu et al. 2001; Brosco et al. 2008; De-Deus et al. 2006) zwischen der vertikalen und der lateralen Kompaktionstechnik bis zu Überlegenheit der vertikalen Kompaktionstechnik gegenüber der lateralen (Jacobson et al. 2002; Gencoglu et al. 2002; Smith et al. 2000; Xu et al. 2007).

Diese widersprüchlichen Ergebnisse sind möglicherweise auf die unterschiedliche Methodik der Untersuchungen zurückzuführen. In der Glukose-Penetrationsuntersuchung von Xu et al. (2007) werden die Wurzelfüllungen ei-

ner im Vergleich zu der hier vorliegenden Untersuchung erheblich längeren Beobachtungsdauer von 12 Wochen (hier: 30 Tage), unterstellt.

In der Glukose-Penetrationsuntersuchung von Kaya et al. (2007) weisen Wurzelfüllungen aus Guttapercha in vertikaler Kompaktion ähnliche Glukose-Konzentrationen wie Wurzelfüllungen aus lateral kompaktierter Guttapercha auf.

Bei der klinischen Toronto-Studie (Farzaneh et al. 2004) jedoch wurde nach einer Beobachtungszeit von 4-6 Jahren bei Zähnen, die mit vertikaler Kompaktionstechnik versorgt wurden eine 10 % höhere Heilungsrate festgestellt, als bei Zähnen, die mit step-back Technik und lateraler Kompaktionstechnik versorgt wurden. Bei dieser Untersuchung wurden die Kanäle in der Gruppe der vertikalen Kompaktion allerdings auch mit einer anderen Technik aufbereitet (mit einer größeren Konizität) als in der Gruppe der lateralen Kompaktion.

Die Ergebnisse der hier vorliegenden Untersuchung werden durch die Ergebnisse der Meta- Analyse von Peng et al. (2007) unterstützt, in der klinische Erfolge von Wurzelfüllungen aus vertikal kompaktierter Guttapercha mit Wurzelfüllungen aus lateral kompaktierter Guttapercha verglichen werden. Bezüglich der verschiedenen Parameter (postoperative Schmerzen, Langzeit-Erfolg und Obturationsqualität) wurden keine Unterschiede zwischen den beiden Kompaktionssarten festgestellt.

Eine absolute Dichtigkeit von Wurzelfüllungen aus vertikal kompaktierter Guttapercha konnte jedoch in keiner der verschiedenen Studien nachgewiesen werden.

Eine mögliche Erklärung für die unvollständige Abdichtung von vertikal kompaktierter Guttapercha ist möglicherweise in den physikalischen Eigenschaften des Füllmaterials Guttapercha zu suchen. Guttapercha wird bei Anwendung der vertikalen Kompaktionstechnik erhitzt um sie weich und plastisch verformbar in alle Seitenkanälchen kompaktieren zu können. Mit jeder Veränderung der Temperatur im Füllmaterial ist jedoch auch eine Volumenveränderung verbunden. Dies ist besonders im Hinblick auf die entstehende Schrumpfung des Materials beim Abkühlen der Guttapercha wichtig. Beim Abkühlen der Guttapercha sind Spaltbildungen zwischen Guttapercha und Kanalwand möglich, die eine Erklärung für die positiven Glukose-Konzentrationen darstellen könnten.

6.5.3.1.4 RealSeal vertikal

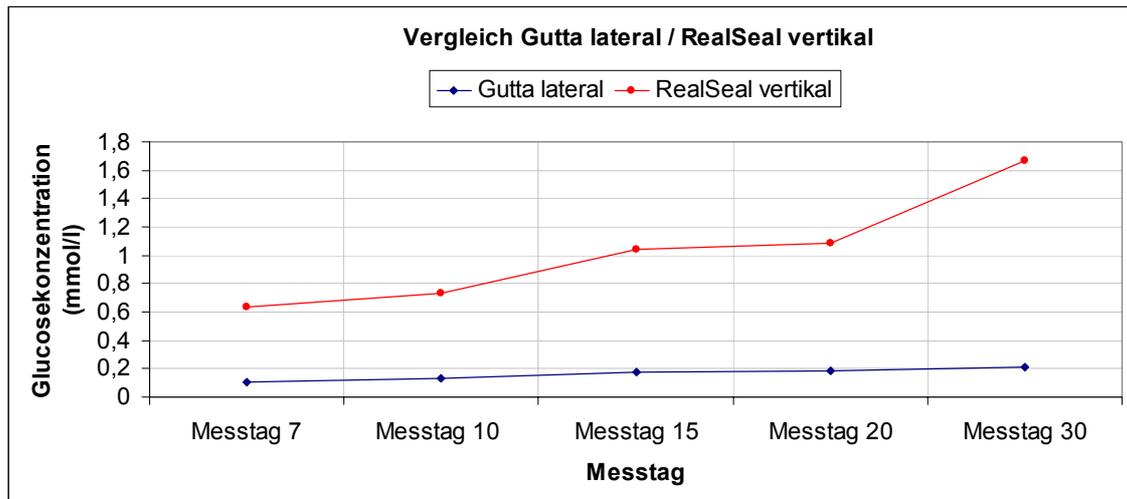


Abb. 6.4 Vergleich der Gruppen Gutta lateral und RealSeal vertikal im Zeitverlauf (Messtage 7 - 30)

Die Ergebnisse der Gruppe RealSeal vertikal zeigen an allen Messtagen eine signifikant höhere Glukosekonzentration verglichen mit dem Goldstandard Gutta lateral. Auch der Vergleich mit der Gruppe Gutta vertikal zeigt für die Gruppe RealSeal vertikal an allen Messtagen eine signifikant höhere Glukosekonzentration.

Eine Wurzelfüllung mit dem adhäsiven Wurzelfüllmaterial RealSeal in vertikaler Kompaktionstechnik ist hinsichtlich der Dichtigkeit der mit Guttapercha in lateraler Kompaktionstechnik angewandten Wurzelfüllung unterlegen.

Verglichen mit den Ergebnissen der Gruppe RealSeal lateral zeigen sich an allen Messtagen keine signifikanten Unterschiede in der Glukosekonzentration zur Gruppe RealSeal vertikal.

Die Art der Kompaktion scheint also auch bei der Verwendung von dem adhäsiven Füllmaterial RealSeal keinen Einfluss auf das Abdichtungsverhalten von Wurzelfüllungen zu nehmen.

Diese Ergebnisse werden durch die in der Literatur vorhandenen Untersuchungen, die mit der Glukose-Penetrationsmethode und dem adhäsiven Wurzelfüllmaterial durchgeführt wurden, unterstützt.

Shemesh et al. (2007) verglichen die Glukosepenetration von Wurzelfüllungen aus vertikal kompaktiertem Resilon- und Guttapercha-Material miteinander und stellten ein tendenziell schlechteres Abdichtungsverhalten bei Wurzelfüllungen aus Resilon fest.

Betrachtet man die Medianwerte der Ergebnisse aus der Studie von Kaya et al. (2007), ergeben sich höhere Glukose- Konzentrationen bei Wurzelfüllungen aus vertikal und lateral kompaktiertem Resilon verglichen mit Wurzelfüllungen aus vertikal und lateral kompaktierter Guttapercha. Die Ergebnisse von Wurzelfüllungen aus Resilon in vertikaler Kompaktionstechnik verglichen mit lateraler Kompaktionstechnik ähneln sich in ihrer nach Penetration festgestellten Glukosekonzentration.

Die Gründe für dieses deutlich schlechtere Abdichtungsverhalten von vertikal kompaktiertem RealSeal im Vergleich zu lateral kompaktierter Guttapercha sind in der allgemeinen Problematik einer adhäsiven Wurzelfüllung im Wurzelkanal-system wie unter Punkt 6.5.2.1.2. schon beschrieben, zu suchen.

6.6 *Schlussfolgerungen*

- Weder Wurzelfüllungen aus Guttaflow in Zentralstifttechnik noch Wurzelfüllungen aus Guttapercha und RealSeal in lateraler und vertikaler Kompaktion konnten einen hermetisch dichten Verschluss des Kanalsystems erzielen.
- Alle Wurzelfüllungen wurden mit zunehmender Liegedauer konstant undichter.
- Wurzelfüllungen aus RealSeal waren sowohl in vertikaler als auch in lateraler Kompaktion dem Goldstandard* höchst signifikant unterlegen.
- Wurzelfüllungen aus Guttapercha in vertikaler Kompaktion unterschieden sich in ihrem Dichtigkeitsverhalten nicht signifikant vom Goldstandard*. Lediglich an zwei Messtagen zeigten sich signifikant bessere Ergebnisse für den Goldstandard*.
- Wurzelfüllungen aus Guttaflow in Zentralstifttechnik unterschieden sich in ihrem Dichtigkeitsverhalten nicht signifikant vom Goldstandard*.

* Die Wurzelfüllung aus Guttapercha in Kombination mit einem Sealer in lateraler Kompaktion wird als Goldstandard bezeichnet

7 Zusammenfassungen

7.1 Zusammenfassung für das Rigorosum

Dichtigkeitsuntersuchung von Wurzelfüllungen anhand einer quantitativen Glucose-Penetrations-Methode

Bauer, Heike

Problemstellung: Die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung beeinflusst maßgeblich den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. Traditionell hat sich das seit über 100 Jahren verwendete Wurzelfüllmaterial Guttapercha in Verbindung mit einem Sealer bewährt. Doch auch mit dieser Materialkombination ist kein hermetisch dichter Verschluss zu erreichen. Durch verschiedene Wurzelfülltechniken und die Entwicklung neuer Materialien bestehen Anstrengungen, die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung zu verbessern.

Literatur: In der Literatur finden sich zahlreiche Untersuchungen zur Beurteilung der Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung. Sowohl verschiedene Wurzelkanalfüllmaterialien als auch verschiedene Fülltechniken werden anhand unterschiedlicher Methoden überprüft. Leider sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen oft widersprüchlich und teilweise schwer vergleichbar. Die Gründe hierfür liegen nach Wu & Wesselink (1993) in der fehlenden Standardisierung der verschiedenen Methoden.

a) Materialien: Es existieren zu den verschiedenen Wurzelfüllmaterialien wie dem neu entwickelten adhäsiven Wurzelfüllmaterial Resilon sehr unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der Dichtigkeit. Die meisten aktuellen Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass Resilon keine ersichtlichen Vorteile gegenüber Guttapercha bietet (Fransen et al. 2008; Jack et al. 2008; De-Deus et al. 2008; Bodrumlu et al. 2007; Shemesh et al. 2006; Kaya et al. 2007). Untersuchungen zu dem ebenfalls neu entwickelten Füllmaterial Guttaflow beschreiben ein gleichwertiges Abdichtungsverhalten im Vergleich zu Guttapercha in lateraler oder vertikaler Kompaktion (Kontakiotis et al. 2007; Monticelli et al. 2007, b; Brackett et al. 2006). Einige Untersucher fanden eine signifikant höhere Dichtigkeit (Bouillaguet et al. 2008; De-Deus et al. 2007), andere eine signifikant

schlechtere Abdichtungsfähigkeit von Guttaflow im Vergleich zu Guttapercha (Romieu et al. 2008; Ozok et al. 2008; Monticelli et al. 2007, a).

b) Techniken: Dichtigkeitsuntersuchungen zu den verschiedenen Kompaktionstechniken weisen ebenfalls unterschiedliche Resultate auf. Sie reichen von schlechteren Ergebnissen hinsichtlich der Dichtigkeit bei vertikaler Kompaktionstechnik im Vergleich zur lateralen Kompaktionstechnik (Wu et al. 2003) über vergleichbare Ergebnisse zwischen der vertikalen und der lateralen Kompaktionstechnik (Madison & Krell 1984; Wu et al. 2001; Brosco et al. 2008; De-Deus et al. 2006) bis hin zur Überlegenheit der vertikalen gegenüber der lateralen Kompaktionstechnik (Jacobson et al. 2002; Gencoglu et al. 2002; Smith et al. 2000; Xu et al. 2007).

Mit der Einführung des Glukose-Penetrations-Verfahrens von Xu et al. (2005) zur Untersuchung der Dichtigkeit ist ein Verfahren entwickelt worden, das eine valide Überprüfung der Dichtigkeit von Wurzelfüllungen zulässt.

Ziel: Untersuchung der Dichtigkeit von verschiedenen Wurzelkanalfüllmaterialien und –techniken anhand des Glukose-Penetrations-Verfahrens. Es sollte hierbei eine 1 mol/Liter Glukose-Lösung mit einem hydrostatischen Druck von 1,5 kPa auf die koronale Wurzelkanalöffnung wirken und bei Undichtigkeit durch die Wurzelfüllung penetrieren. Die Messung der Dichtigkeit der Wurzelfüllung sollte anhand der Konzentration der penetrierten Glukose an verschiedenen Messtagen erfolgen. Dabei wurden Wurzelfüllungen aus Guttapercha und Sealer in lateraler Kompaktion (Goldstandard) mit Wurzelfüllungen aus einem adhäsiven Füllmaterial in lateraler und vertikaler Kompaktion, aus Guttaflow in Zentralstifttechnik und aus Guttapercha in vertikaler Kompaktion miteinander verglichen.

Arbeitshypothesen:

- Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration beim Vergleich von Wurzelfüllungen mit dem Goldstandard und:
 - Wurzelfüllungen mit Guttaflow bei Zentralstifttechnik.
 - Wurzelfüllungen mit dem RealSeal System bei lateraler Kompaktionstechnik.
 - Wurzelfüllungen mit Guttapercha bei vertikaler Kompaktionstechnik.
 - Wurzelfüllungen mit dem RealSeal System bei vertikaler Kompaktionstechnik.

- Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Glucose-Penetration zwischen den Messtagen 7, 10, 15, 20 und 30 nach Legen der Wurzelfüllungen.

Material & Methode: 110 menschliche, kariesfreie Ober- und Unterkieferfrontzähne mit einem einzigen geraden Wurzelkanal wurden ausgewählt und auf eine Länge von 15 mm gekürzt. Sie wurden dem Wurzelkanalquerschnitt nach in runde und ovale Kanäle unterschieden und gleichmäßig auf fünf Prüfgruppen mit jeweils 20 Zähnen und zwei Kontrollgruppen mit jeweils 5 Zähnen aufgeteilt.

Positive Kontrollgruppe: keine Wurzelfüllung.

Negative Kontrollgruppe: Wurzelkanalfüllung und Überdeckung des gesamten Zahnes mit Klebewachs.

Gruppe Guttaflow: Wurzelkanalfüllung mittels Zentralstifttechnik mit Guttaflow

Gruppe Gutta lateral: Wurzelkanalfüllung mittels lateraler Kompaktion mit Guttapercha und AH plus (Goldstandard)

Gruppe RealSeal lateral: Wurzelkanalfüllung mittels lateraler Kompaktion und dem RealSeal-System

Gruppe Gutta vertikal: Wurzelkanalfüllung mittels vertikaler Kompaktion mit Guttapercha und AH plus

Gruppe RealSeal vertikal: Wurzelkanalfüllung mittels vertikaler Kompaktion mit dem RealSeal-System

Alle Zähne wurden zuerst mit Gates-Glidden-Bohrern im koronalen Drittel und anschließend bis auf eine Länge von 1 mm vor den anatomischen Apex mit dem maschinellen Feilensystem Mtwo bis zu einer ISO-Größe 40 und einer Konizität von mehr als 4 % aufbereitet. Es folgte die Wurzelfüllung entsprechend der Gruppenaufteilung und die Kürzung der Wurzelfüllung auf 10 mm Gesamtlänge. Alle gefüllten Zähne wurden durch die Anfertigung eines Röntgenbildes einer Qualitätskontrolle unterzogen. Die Zähne wurden für eine Woche in 0,1% Natriumazid-Lösung gelagert. Daraufhin wurden sie in die Glucose-Penetrations-Apparatur zur Überprüfung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen eingearbeitet. Der Glucose-Penetrations-Test wurde in einem Wärmeschrank mit 100% Luftfeuchtigkeit bei einer Temperatur von 37° Celsius durchgeführt. Für die Messung der Glucose-Penetration wurden nach 1, 2, 4, 7, 10, 15, 20 und 30 Tagen jeweils 10 µl der aufgefangenen Lösung entnommen. An-

schließlich erfolgte die Bestimmung der Glukosekonzentration in den entnommenen Proben mit Hilfe der enzymatischen Glukose-Oxidase-Methode mit Spektrophotometrie. Mittels einer Eichkurve wurden die entsprechenden Glukose-Konzentrationen berechnet. Abschließend erfolgte die statistische Auswertung. Die Daten der Glukose-Penetration wurden auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) geprüft sowie auf Signifikanz der Unterschiede zwischen den Messtagen pro Gruppe (Friedman-Test) und der Gruppenunterschiede pro Messtag (Kruskal-Wallis-Test) getestet.

Ergebnisse: An den Messtagen 1, 2 und 4 lagen über 50 % der Ergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze von 0,06 mmol/l Glukose. Diese Messtage wurden bei der Auswertung der Ergebnisse nicht berücksichtigt.

Die positive Kontrollgruppe zeigte ab dem ersten Messtag eine positive Glukose-Konzentration. In der negativen Kontrollgruppe lag an allen Messtagen die Glukose-Konzentration unterhalb der Nachweisgrenze.

In den 5 Prüfgruppen waren ab dem Messtag 7 positive Glukose-Konzentrationen zu verzeichnen. Der Vergleich der Glukosekonzentrationen in Abhängigkeit von den Messtagen in den einzelnen Prüfgruppen zeigte signifikante Unterschiede bei allen Prüfgruppen jeweils zwischen dem 7. und 15. Messtag, dem 10. und 20. Messtag sowie dem 15. und 30. Messtag. Die Dichtigkeit der Wurzelfüllungen der Prüfgruppen nahm im Verlauf der Messtage kontinuierlich ab.

Der Vergleich der Gruppe Guttaflow mit dem Goldstandard zeigte an keinen Messtagen signifikante Unterschiede in der Glukosekonzentration. In der Gruppe RealSeal lateral und in der Gruppe RealSeal vertikal waren an allen Messtagen signifikant höhere Glukosekonzentrationen im Vergleich zum Goldstandard zu verzeichnen. Die Gruppe RealSeal lateral erreichte im Vergleich zu allen anderen Prüfgruppen an allen Messtagen die höchsten Glukosepenetrationen. Verglichen mit dem Goldstandard zeigten die Ergebnisse der Gruppe Gutta vertikal an den Messtagen 7, 15, und 20 keine signifikanten Unterschiede in der Glukosekonzentration. An den Messtagen 10 und 30 ergaben sich signifikant höhere Glukosekonzentrationen für die Gruppe Gutta vertikal als für den Goldstandard.

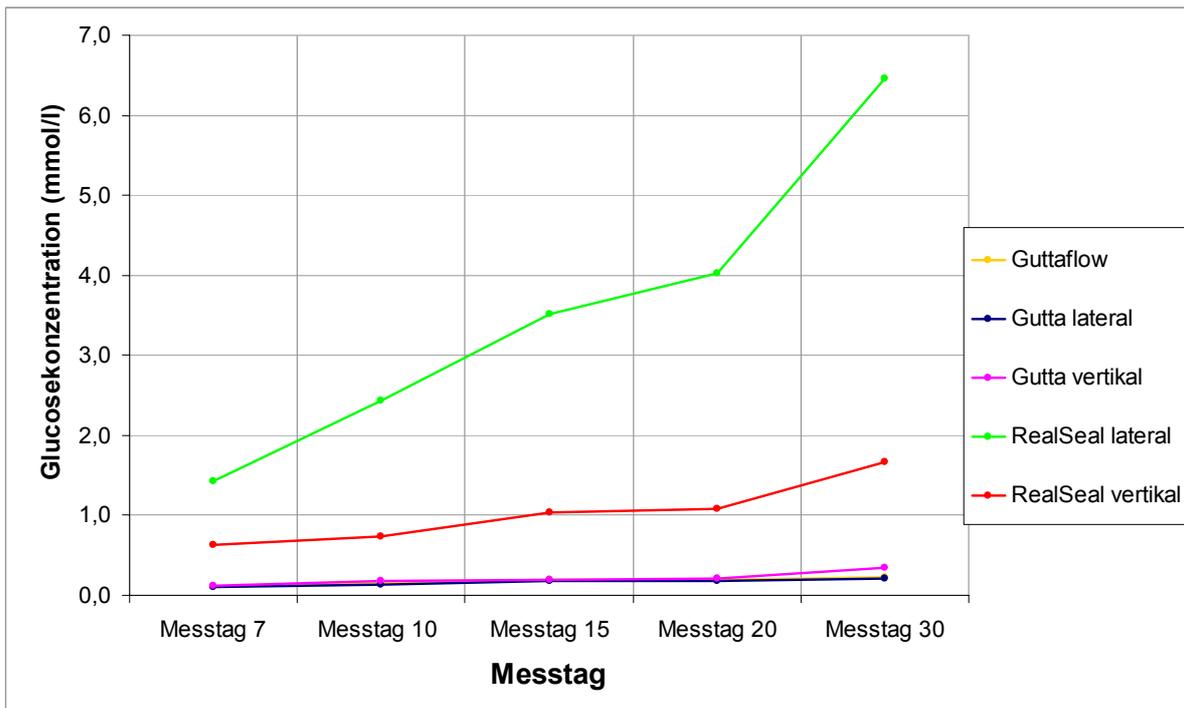


Abb. 7.1 Übersicht über alle Prüfgruppen im Zeitverlauf (Messtage 7 - 30) im y-Achsenabschnitt von 0,0 bis 7,0 mmol/l Glucose

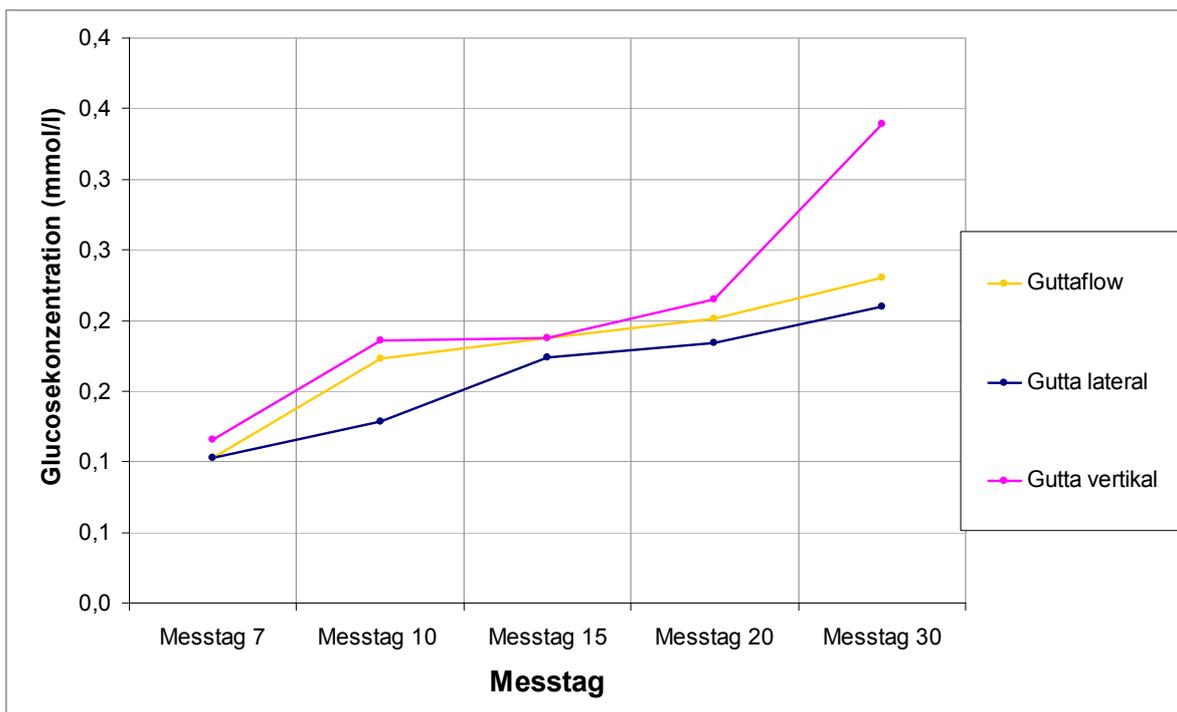


Abb. 7.2 Übersicht über die Prüfgruppen Guttaflow, Gutta lateral und Gutta vertikal im Zeitverlauf (Messtage 7 - 30) im y-Achsenabschnitt von 0,0 bis 0,4 mmol/l Glucose

Diskussion & Schlussfolgerung: Die Glukose-Penetrations-Methode kann als eine sensitive, non-destruktive Methode mit klinischer Relevanz bezeichnet werden, um die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung zu beurteilen. Schon mehrere Autoren bedienten sich dieses Modells mit dem es möglich ist, quantitative, kontinuierliche Messungen über einen längeren Zeitraum durchzuführen (Xu et al. 2005; Zou et al. 2006; Shemesh et al. 2006; Zou et al. 2007; van der Sluis et al. 2007; Xu et al. 2007; Shemesh et al. 2007; Kaya et al. 2007; Ozok et al. 2008).

Weder Wurzelfüllungen aus Guttaflow in Zentralstifttechnik noch Wurzelfüllungen aus Guttapercha und RealSeal in lateraler und vertikaler Kompaktion konnten langfristig eine hermetische Abdichtung erzielen. Die Dichtigkeit der Wurzelfüllungen nahm mit zunehmender Liegedauer konstant ab.

Das neue adhäsive Wurzelfüllmaterial RealSeal war sowohl unter Verwendung der lateralen als auch der vertikalen Kompaktion hinsichtlich seiner Abdichtungsfähigkeit dem Goldstandard höchst signifikant unterlegen. Wurzelfüllungen aus RealSeal in lateraler Kompaktion zeigten in unserer Untersuchung die insgesamt schlechtesten Ergebnisse bezüglich der Dichtigkeit.

Beim Vergleich der Wurzelfüllungen aus Guttapercha in vertikaler Kompaktion mit dem Goldstandard zeigte sich, dass Wurzelfüllungen aus Guttapercha in vertikaler Kompaktion in ihrem Dichtigkeitsverhalten vergleichbar mit dem Goldstandard waren. Lediglich an zwei Messtagen zeigten sich signifikant bessere Ergebnisse für den Goldstandard.

Auch Wurzelfüllungen aus Guttaflow in Zentralstifttechnik waren in ihrer Dichtigkeit vergleichbar mit Wurzelfüllungen aus dem Goldstandard, es zeigten sich hierbei keine signifikanten Unterschiede.

Bei einwurzeligen Frontzähnen des Ober- und des Unterkiefers konnte eine gute Abdichtung der Kanäle mit Guttapercha in lateraler und vertikaler Kompaktion sowie mit Guttaflow und einem Zentralstift erreicht werden.

7.2 Zusammenfassung für die Marburger Bibliographie

Dichtigkeitsuntersuchung von Wurzelfüllungen anhand einer quantitativen Glucose-Penetrations-Methode

Bauer, Heike

Problemstellung: Die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung beeinflusst maßgeblich den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. **Ziel:** Untersuchung der Dichtigkeit von verschiedenen Füllmaterialien und Fülltechniken anhand einer Glukose-Penetrations-Methode. **Material & Methode:** Menschliche Frontzähne wurden maschinell bis zur ISO Größe 40 aufbereitet und in 5 Prüfgruppen mit jeweils 20 Zähnen und 2 Kontrollgruppen mit jeweils 5 Zähnen aufgeteilt. Pos. Kontrollgr.: keine Wurzelfüllung; Neg. Kontrollgr.: Wurzelkanalfüllung und Überdeckung des gesamten Zahnes mit Klebewachs; Gr. Guttaflow: Guttaflow in Zentralstifttechnik; Gr. Gutta lat.: Guttapercha und AH plus in lateraler Kompaktion; Gr. RealSeal lat.: RealSeal-System in lateraler Kompaktion; Gr. Gutta vert.: Guttapercha und AH plus in vertikaler Kompaktion; Gr. RealSeal vert.: RealSeal-System in vertikaler Kompaktion. Die Messung der Glukose-Konzentration erfolgte am 1., 2., 4., 7., 10., 15., 20. und 30. Messtag mittels einer Glukose-Oxidase-Methode. Statistik: Prüfung auf Normalverteilung und Signifikanz. **Ergebnisse:** An den Messtagen 1, 2 und 4 lagen über 50 % der Ergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze und wurden deshalb nicht berücksichtigt. Bei allen Prüfgruppen zeigten sich im Vergleich der Glukose-Konzentrationen in Abhängigkeit von den Messtagen signifikante Unterschiede jeweils zwischen dem 7. und 15. Messtag, dem 10. und 20. Messtag sowie dem 15. und 30. Messtag. Im Vergleich zu dem Goldstandard (Guttapercha in lateraler Kompaktion) zeigten: a) Wurzelfüllungen aus Guttaflow in Zentralstifttechnik an keinem Messtag einen signifikanten Unterschied, b) Wurzelfüllungen aus RealSeal in lateraler und vertikaler Kompaktion an allen Messtagen signifikant höhere Glukosekonzentrationen, c) Guttapercha in vertikaler Kompaktion an den Messtagen 7, 15, und 20 keine Unterschiede und an den Messtagen 10 und 30 signifikant höhere Glukosekonzentrationen. Wurzelfüllungen aus RealSeal in lateraler Kompaktion zeigten die insgesamt höchsten Glukosepenetrationen. **Schlussfolgerung:** Wurzel-

füllungen aus RealSeal waren dem Goldstandard hinsichtlich der Dichtigkeit höchst signifikant unterlegen. Wurzelfüllungen aus Guttaflow oder aus Gutta-percha in vertikaler Kompaktion wiesen ein gutes Abdichtungsverhalten auf, ebenso wie der Goldstandard. Keine Wurzelfüllung konnte eine langfristige hermetische Dichtigkeit gewährleisten.

7.3 Zusammenfassung in Englisch

Sealing ability of root canal fillings tested with a quantitative glucose penetration model.

Bauer, Heike

Clinical background: Leakage of a root canal filling is an important factor for the success of a root canal treatment.

Aim: Evaluation of leakage of different root canal fillings and – techniques with the glucose penetration model.

Material & Method: 110 human incisors were prepared using rotary technique up to ISO 40 and divided in 5 experimental groups. Each group contained 20 teeth and 2 controlgroups contained 5 teeth. Pos. controlgr.: No root canal filling; Neg. controlgr.: Root canal filling and completely coated teeth with sticky wax; Gr. Guttaflow: Guttaflow using single-cone-technique; Gr. Gutta lat.: Guttapercha and AH plus using lateral compaction; Gr. RealSeal lat.: RealSeal-System using lateral compaction; Gr. Gutta vert.: Guttapercha and AH plus using vertical compaction; Gr. RealSeal vert.: RealSeal-System using vertical compaction. Glucose concentration in the penetration model was measured at the 1st, 2nd, 4th, 7th, 10th, 15th, 20th and 30th day by means of a glucose-oxidase-method.

Statistics: Examination on normal distribution, box plots, test on significance.

Results: Because more than 50% of the results of the measuring days 1, 2 and 4 were located below the proof border, they were not considered. All test groups showed significant differences comparing the glucose-concentrations depending on the measuring days in each case between 7th and 15th measuring day, between the 10th and 20th measuring day as well as between the 15th and 30th measuring day. Compared to the golden standard (guttapercha using lateral compaction) following results were ascertained: a) Root canal fillings with guttaflow using the single-cone-technique showed no significant differences in the glucose concentration on all measuring days. b) Significantly higher glucose concentrations were registered in root canal fillings with RealSeal using lateral as well as vertical compaction on all measuring days whereas the test group

RealSeal applied in lateral compaction reached the highest overall glucose concentrations. c) On the measuring days 7, 15, and 20 no significant differences were detected in root canal fillings with Guttapercha using vertical compaction and on the measuring days 10 and 30 significantly higher glucose concentrations were established.

Conclusion: Root canal fillings with RealSeal were significantly inferior to the golden standard concerning the leakage. Root canal fillings with Guttaflow or with Guttapercha using vertical compaction showed a good sealing behaviour like the golden standard. No root canal filling could guarantee a long-term hermetic sealing.

8 *Literaturverzeichnis*

1. Ahlberg KM, Assavanop P, Tay WM:
A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth.
Int Endod J. 28, 30 – 34 (1995).
2. Ahlquist M, Henningsson O, Hultenby K, Ohlin J:
The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study.
Int Endod J. 34, 533-7 (2001).
3. Aptekar A, Ginnan K:
Comparative analysis of microleakage and seal for 2 obturation materials: Resilon/Epiphany and gutta-percha.
J Can Dent Assoc. 72, 245 (2006).
4. Barkhordar RA, Goodis HE, Watanabe L, Koumdijian J:
Evaluation of temperature rise on the outer surface of teeth during root canal obturation techniques.
Quintessence Int. 21, 585–588 (1990).
5. Barnett F, Trope M Resilon:
A novel material to replace gutta percha.
Contemp Endod. 1, 16-19 (2004).
6. Barthel CR, Lösche GM, Zimmer S, Roulet JF:
Dye penetration in root canals filled with AH26 in different consistencies.
J Endod. 20, 436-9 (1994).
7. Baumgartner G, Zehnder M, Paque F:
Enterococcus faecalis type strain leakage through root canals filled with Gutta-Percha/AH plus or Resilon/Epiphany.
J Endod. 33, 45-7 (2007).
8. Baumgartner JC, Braun C, Mader C, Peters D, Shulman J:
A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite and citric acid.
J Endod. 10, 525–531 (1984).
9. Beatty RG, Vertucci FJ, Zakariasen KL:
Apical sealing efficacy of endodontic obturation techniques.
Int Endod J. 19, 237–241 (1986).

10. Benner MD, Peters DD, Grower M, Bernier WE:
Evaluation of a new thermoplastic gutta-percha obturation technique using ^{45}Ca .
J Endod. 7, 500–508 (1981).
11. Biggs SG, Knowles KI, Ibarrola JL, Pashley DH:
An in vitro assessment of the sealing ability of resilon/epiphany using fluid filtration.
J Endod. 32, 759-61 (2006).
12. Bishop ML, Duben-Engelkirk JL, Fody EP:
Clinical chemistry principle, procedures, correlations.
Lippincott Company, 2nd edition, Philadelphia, pp 307-9 (1985).
13. Bodrumlu E, Tunga U:
Apical leakage of resilon obturation material.
J Contemp Dent Pract. 7, 45-52 (2006).
14. Bodrumlu E, Tunga U:
The apical sealing ability of a new root canal filling material.
Am J Dent. 20, 295-8 (2007).
15. Bouillaguet S, Shaw L, Barthelemy J, Krejci I, Wataha JC:
Long-term sealing ability of Pulp Canal Sealer, AH-Plus, GuttaFlow and Epiphany.
Int Endod J. 41, 219-26 (2008).
16. Bouillaguet S, Wataha JC, Tay FR, Brackett MG, Lockwood PE:
Initial in vitro biological response to contemporary endodontic sealers.
J Endod. 32, 989-92 (2006).
17. Brackett MG, Martin R, Sword J, Oxford C, Rueggeberg FA, Tay FR, Pashley DH:
Comparison of seal after obturation techniques using a polydimethylsiloxane-based root canal sealer.
J Endod. 32, 1188-90 (2006).
18. Brosco VH, Bernardineli N, Torres SA, Consolaro A, Bramante CM, de Moraes IG, Garcia RB:
Bacterial leakage in root canals obturated by different techniques. Part 1: microbiologic evaluation.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 105, 48-53 (2008).

19. Buchanan LS:
Filling root canal systems with centered condensation: concepts, instruments and techniques.
Dentistry Today 23, 102-106 (2004).
20. Buchanan LS:
The continuous wave of condensation technique: a convergence of conceptual and procedural advances in obturation.
Dentistry Today 13, 80-85 (1994).
21. Buchanan LS:
The continuous wave of obturation technique: "centered" condensation of warm gutta-percha in 12 seconds.
Dentistry Today 15, 60-67 (1996).
22. Byström A, Sundqvist G:
Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy.
Scand J Dent Res. 89, 321-8 (1981).
23. Camps J, Pashley D:
Reliability of dye penetration studies.
J Endod. 29, 592-4 (2003).
24. Chu CH, Lo EC, Cheung GS:
Outcome of root canal treatment using Thermafil and cold lateral condensation filling techniques.
Int Endod J. 38, 179-85 (2005).
25. Cobankara FK, Adanr N, Belli S:
Evaluation of the influence of smear layer on the apical and coronal sealing ability of two sealers.
J Endod. 30, 406-9 (2004).
26. Combe EC, Cohen BD, Cummings K:
Alpha- and beta-forms of gutta-percha in products for root canal filling.
Int Endod J. 34, 447-51 (2001).
27. De Cleen MJH, Schuurs AHB, Wesselink PR, Wu MK:
Periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Dutch population.
Int Endod J. 26, 112 (1993).

28. De Moor RJ, Hommeze GM, Martens LC, De Boever JG:
Accuracy of four apex locators: an in vitro evaluation.
Endod Dent Traumatol. 15, 77-82 (1999).
29. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P,
Braem M, Van Meerbeek B:
A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and
results.
J Dent Res. 84, 118-32 (2005).
30. De-Deus G, Brandão MC, Fidel RA, Fidel SR:
The sealing ability of GuttaFlow in oval-shaped canals: an ex vivo study
using a polymicrobial leakage model.
Int Endod J. 40, 794-9 (2007).
31. De-Deus G, Gurgel-Filho ED, Magalhaes KM, Coutinho-Filho TA: Labora-
tory analysis of gutta-percha-filled area obtained using Thermafil, System
B and lateral condensation.
Int Endod J. 39, 378-83 (2006).
32. De-Deus G, Namen F, Galan J:
Reduced long-term sealing ability of adhesive root fillings after water-
storage stress.
J Endod. 34, 322-5 (2008).
33. Derkson GD, Pashley DH, Derkson ME:
Microleakage Measurement of selected restorative materials: A new in vi-
tro method.
J Prosthet Dent. 56, 435-40 (1986).
34. DGZ Wissenschaftliche Stellungnahme:
Good clinical practice: Die Wurzelkanalbehandlung.
Dtsch Zahnärztl Z. 06/2005.
35. DGZ, DGZMK Wissenschaftliche Stellungnahme:
Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte.
Dtsch Zahnärztl Z. 06/1999.
36. DGZMK, DGZ Wissenschaftliche Stellungnahme:
Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung.
Dtsch Zahnärztl Z. 60 (2005).

37. DGZMK, DGZ Wissenschaftliche Stellungnahme:
Die Wurzelkanalspülung.
Dtsch Zahnärztl Z. 10/2006.
38. Diemer F, Sinan A, Calas P:
Penetration depth of warm vertical Gutta-Percha pluggers: impact of apical preparation.
J Endod. 32, 123-6 (2006).
39. Donnelly A, Sword J, Nishitani Y, Yoshiyama M, Agee K, Tay FR, Pashley DH:
Water sorption and solubility of methacrylate resin-based root canal sealers.
J Endod. 33, 990-4 (2007).
40. Douglas WH, Zakariasen KL:
Volumetric assessment of apical leakage utilizing a spectrophotometric, dye recovery method.
J Dent Res. 60, 438, Abstr.No. 512 (1981).
41. Dow PR, Ingle JI:
Isotope determination of root canal failure.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 8, 1100-1104 (1955).
42. Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM, Walton RE:
Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer.
J Endod 20, 78-82 (1994).
43. DuLac KA, Nielsen CJ, Tomazic TJ, Ferrillo PJ Jr, Hatton JF:
Comparison of the obturation of lateral canals by six techniques.
J Endod. 25, 376-380 (1999).
44. Dummer PM, Lyle L, Rawle J, Kennedy JK:
A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators.
Int Endod J. 27, 32-38 (1994).
45. El Deeb M, Zucker KJ, Messer H:
Apical leakage in relation to radiographic density of gutta-percha using different obturation techniques.
J Endod. 11, 25-29 (1985).

46. Elayouti A, Achleithner C, Lost C, Weiger R:
Homogeneity and adaptation of a new gutta-percha paste to root canal walls.
J Endod. 31, 687-90 (2005).
47. Eldeniz AU, Mustafa K, Orstavik D, Dahl JE:
Cytotoxicity of new resin-, calcium hydroxide- and silicone-based root canal sealers on fibroblasts derived from human gingiva and L929 cell lines.
Int Endod J. 40, 329-37 (2007).
48. Eldeniz AU, Ørstavik D:
Physical properties of newly developed root canal sealers.
Int Endod J. 38, 935 (2005).
49. Epley S, Fleischman J, Hartwell G, Cicalese C:
Completeness of Root Canal Obturations: Epiphany Techniques versus Gutta-Percha-Techniques.
J Endod. 32, 541-4 (2006).
50. Europäische Gesellschaft für Endodontologie:
Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung.
Endodontie 15, 387-401 (2006).
51. Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S:
Treatment outcome in endodontics - the Toronto Study. Phase II: initial treatment.
J Endod. 30, 302-9 (2004).
52. Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S, Breschil L, Malagnino VA, Prati C:
SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments.
Int Endod J. 37, 832-839 (2004).
53. Fransen JN, He J, Glickman GN, Rios A, Shulman JD, Honeyman A:
Comparative assessment of ActiV GP/glass ionomer sealer, Resilon/Epiphany, and gutta-percha/AH plus obturation: a bacterial leakage study.
J Endod. 34, 725-7 (2008).

54. Gencoglu N, Garip Y, Bas M, Samani S:
Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-fill, System B and lateral condensation.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 93, 333-336 (2002).
55. Gencoglu N, Sener G, Omurtag GZ, Tozan A, Uslu B, Arbak S:
Comparison of biocompatibility and cytotoxicity of two new root canal sealers.
Int Endod J. 38, 943 (2005).
56. Gencoglu N, Türkmen C, Ahiskali R:
A new silicon-based root canal sealer (RoekoSeal-Automix).
J Oral Rehabil. 30, 753–5 (2003).
57. Ghodduji J, Rohani A, Rashed T, Ghaziani P, Akbari M:
An evaluation of microbial leakage after using MTAD as a final irrigation.
J Endod. 33, 173-6 (2007).
58. Gilbert SD, Witherspoon DE, Berry CW:
Coronal Leakage following three obturation techniques.
Int Endod J. 34, 293-9 (2001).
59. Gilhooly RM, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM:
Comparison of cold lateral condensation and a warm multiphase guttapercha technique for obturating curved root canals.
Int Endod J. 33, 415–420 (2000).
60. Gluskin AH, Brown DC, Buchanan LS:
A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators.
Int Endod J. 34, 476-84 (2001).
61. Gordon MP, Love RM, Chandler NP:
An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved canals.
Int Endod J. 38, 87-96 (2005).
62. Gyorfi A, Fazekas A:
Problems with working length determination during endodontic therapy.
Fogory SZ. 99, 153-9 (2006).

63. Hammad M, Qualthrough A, Silikas N:
Extendet setting shrinkage behaviour of endodontic sealers.
J Endod. 34, 90-3 (2008).
64. Hardie EM:
Heat transmission to the outer surface of the tooth during the thermomechanical compaction technique of root canal obturation.
Int Endod J. 19, 73–77 (1986).
65. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H:
Resin-tooth adhesive interfaces after long-term function.
Am J Dent. 14, 211-5 (2001).
66. Hatton JF, Ferrillo PJ, Wagner G, Stewart GP:
The effect of condensation pressure on the apical seal.
J Endod. 14, 305 (1988).
67. Heidemann D:
Die Wurzelfüllung - manuell- maschinell.
Dtsch Zahnärztl Z. 44, 414 (1989).
68. Heidemann D:
Endodontie - Praxis der Zahnheilkunde
Urban & Fischer Verlag, 4. Auflage, München-Jena (2001)
69. Hellwig E, Klimek J, Attin T:
Einführung in die Zahnerhaltung.
Urban & Fischer Verlag, 3. Auflage, München-Jena (2003)
70. Hiraishi N, Papcchini F, Loushine RJ, Weller RN, Ferrari M, Pashley DH,
Tay FR:
Shear bond strength of Resilon to a methacrylate-based root canal sealer.
Int Endod J. 38, 753-763 (2005).
71. Jack RM, Goodell GG:
In vitro comparison of coronal microleakage between Resilon alone and gutta-percha with a glass-ionomer intraorifice barrier using a fluid filtration model.
J Endod. 34, 718-20 (2008).
72. Jakobson J, Xia T, Baumgartner C, Marshall JG, Beeler WJ:
Microbial Leakage of the Continuous Wave of Condensation.
J Endod. 28, 269-71 (2002).

73. Jakobson SM, von Fraunhofer JA:
The investigation of mikroleakage in root canal therapy. An electrochemical technique.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 42, 817-23 (1976).
74. Johnson BT, Bond MS:
Leakage associated with single or multiple increment backfill with the Obtura II gutta-percha system.
J Endod. 25, 613-614 (1999).
75. Johnson WB:
A new gutta-percha technique.
J Endod. 4, 184–188 (1978).
76. Joyce AP, Loushine RJ, West LA, Runyan DA, Cameron SM:
Photoelastic comparison of stress induced by using stainless-steel versus nickel-titanium spreaders in vitro.
J Endod. 24, 714-5 (1998).
77. Karagenc B, Gencoglu N, Ersoy M, Cansever G, Külekci G:
A comparison of four microleakage tests for assessment of leakage of root canal fillings.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 102, 110-3 (2006).
78. Kaya BU, Kececi AD, Belli S:
Evaluation of the sealing ability of gutta-percha and thermoplastic synthetic polymer-based systems along the root canals through the glucose penetration model.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 104, 66-73 (2007).
79. Kececi AD, Unal GC, Sen BH:
Comparison of cold lateral compaction and continuous wave of obturation techniques following manual or rotary instrumentation.
Int Endod J. 38, 381-388 (2005).
80. Kokkas AB, Boutsoukias ACh, Vassiliadis LP, Stavrianos CK:
The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study.
J Endod. 30, 100-2 (2004).

81. Kontakiotis EG, Tzanetakakis GN, Loizides AL:
A 12-month longitudinal in vitro leakage study on a new silicon-based root canal filling material (Gutta-flow).
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 103, 854-9 (2007), a.
82. Kontakiotis EG, Tzanetakakis GN, Loizides AL:
A comparative study of contact angles of four different root canal sealers.
J Endod. 33, 299-302 (2007), b.
83. Kytridou V, Gutmann JL, Nunn MH:
Adaptation and sealability of two contemporary obturation techniques in the absence of the dentinal smear layer.
Int Endod J. 32, 464-74 (1999).
84. Lee K, Williams M, Camps J, Pashley D:
Adhesion of Endodontic Sealers to Dentin and Gutta-Percha.
J Endod. 28, 684-8 (2002).
85. Lertchirakarn V, Palmara JE, Messer HH:
Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture.
J Endod. 25, 99-104 (1999).
86. Lussi A, Imwinkelried S, Stich H:
Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology.
Int Endod J. 32, 17-23 (1999).
87. Madison S, Krell KV:
Comparison of ethylenediamine tetraacetic acid and sodium hypochlorite on the apical seal of endodontically treated teeth.
J Endod. 10, 499–503 (1984).
88. Marlin J, Schilder H:
Physical properties of gutta-percha when subjected to heat and vertical condensation.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 36, 872–879 (1973).
89. Mayer B, Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R:
Influence of sealer placement on apical extrusion of two root canal sealers.
Int Endod J. 38, 928 (2005).

90. Meister F Jr, Lommel TJ, Gerstein H:
Diagnosis and possible causes of vertical root fractures.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 49, 243-53 (1980).
91. Monticelli F, Sadek FT, Schuster GS, Volkmann KR, Looney SW, Ferrari M, Toledano M, Pashley DH, Tay FR:
Efficacy of two contemporary single-cone filling techniques in preventing bacterial leakage.
J Endod. 33, 310-3 (2007), a.
92. Monticelli F, Sword J, Martin RL, Schuster GS, Weller RN, Ferrari M, Pashley DH, Tay FR:
Sealing properties of two contemporary single-cone obturation systems.
Int Endod J. 40, 374-85 (2007), b.
93. Morris MD, Lee KW, Agee KA, Bouillaguet S, Pashley DH:
Effects of sodium hypochlorite and RC-prep on bond strengths of resin cement to endodontic surfaces.
J Endod. 27, 753-7 (2001).
94. Mutal L, Gani O:
Presence of pores and vacuoles in set endodontic sealers.
Int Endod J. 38, 690-6 (2005).
95. Naenni N, Thoma K, Zehnder M:
Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants.
J Endod. 30, 785-7 (2004).
96. Nair PNR, Henry S, Cano V, Vera J:
Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after `one visit` endodontic treatment.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 99, 231-52 (2005).
97. Onay EO, Ungor M, Orucoglu H:
A in vitro evaluation of the apical sealing ability of a new resin-based root canal obturation system.
J Endod. 32, 976-8 (2006).

98. Orucoglu H, Sengun A, Yilmaz N:
Apical Leakage of Resin Based Root Canal Sealers with a New Computerized Fluid Filtration Meter.
J Endod. 31, 886-9 (2005).
99. Peng L, Ye L, Tan H, Zhou X:
Outcome of root canal obturation by warm gutta-percha versus cold lateral condensation: a meta-analysis.
J Endod. 33, 106-9 (2007).
100. Peters LB, Wesselink PR, Moorer WR:
Penetration of bacteria in bovine root dentine in vitro.
Int. Endod. J. 33, 28-36 (2000).
101. Peters OA:
Current Challenges and Concepts in the Root Canal Systems: A Review.
J Endod. 30, 559-67 (2004).
102. Petschelt A, Oberschachtsiek H:
Wandständigkeit verschiedener Wurzelfüllmaterialien bei Zentralstifttechnik (REM-Untersuchung).
Dtsch Zahnärztl Z. 40, 308 (1985).
103. Pitout E, Oberholzer TG, Blignaut E, Molepo J:
Coronal leakage of teeth root-filled with gutta-percha or Resilon root canal filling.
J Endod. 32, 879-81 (2006).
104. Pitt Ford TR:
Relation between seal of root fillings and tissue response.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 55, 291-4 (1983).
105. Pommel L, Camps J:
In vitro apical leakage of system B compared with other filling techniques.
J Endod. 27, 449-51 (2001).
106. Pratten DH, McDonald NJ:
Comparison of radiographic and electronic working length.
J Endod 22, 173–176 (1996).

107. Ricucci D:
Apical limit of root canal instrumentation and obturation , part 1. Literature review.
Int Endod J. 31, 384-93 (1998).
108. Robertson D, Leeb IJ, McKee M, Brewer E:
A clearing technique for the study of root canal systems.
J Endod. 6, 421-4 (1980).
109. Roggendorf M, Ebert J, Petschelt A:
Microleakage of a new gutta-percha root canal filling material.
The 10th Biennial Congress ESE 4-6 October, Munich
Inter Endod J. P. 17 (2001)
110. Romieu OJ, Jacquot B, Callas-Etienne S, Dutilleul PY, Levallois B, Cuisinier FJ:
Gas permeability: a new quantitative method to assess endodontic leakage.
Biomed Tech (Berl). 25 (2008).
111. Rosenthal S, Spangberg L, Safavi K:
Chlorhexidine substantivity in root canal dentin.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 98, 488-92 (2004).
112. Sagsen B, Er O, Kahraman Y, Orucoglu H:
Evaluation of microleakage of roots filled with a computerized fluid filtration technique.
J Endod. 32, 1168-70 (2006).
113. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Orstavik D:
Bacterial penetration along different root canal filling materials in the presence or absence of smear layer.
Int Endod J. 41, 32-40 (2008).
114. Schäfer E:
Wurzelkanalfüllmaterialien.
Dtsch Zahnärztl Z. 55, 15–25 (2000).
115. Schäfer E, Erler M, Dammaschke T:
Comparative Study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.
Int Endod J. 39, 196-202 (2006), a.

116. Schäfer E, Erler M, Dammaschke T:
Comparative Study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary
Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in
severely curved canals of extracted teeth.
Int Endod J. 39, 203-212 (2006), b.
117. Schäfer E, Lohmann D:
Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with
stainless steel hand K-Flexofile - Part 2. Cleaning effectiveness and in-
strumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. Int
Endod J. 35, 514-21 (2002).
118. Schäfer E, Zandbigari T:
Solubility of root canal sealers in water and artificial saliva.
Int Endod J. 36, 660-9 (2003).
119. Schäfer E, Zandbiglari T, Schafer J:
Influence of resin-based adhesive root canal fillings on the resistance to
fracture of endodontically treated roots: an in vitro preliminary study.
Oral Surg Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 103, 274-9 (2007).
120. Schäfer, E:
Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz: Schneidleistung und
Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte.
Quintessenz Verlag, Berlin (1998).
121. Schilder H:
Filling Root Canals in Three Dimension.
Dent Clin N Am. 11, 723-744 (1967).
122. Schwartz RS:
Adhesive Dentistry and Endodontics. Part 2: Bonding in the Root Canal
System- The Promise and the Problems: A Review.
J Endod. 32, 1125-34 (2006).
123. Segura-Egea JJ, Jiménez-Pinzón A, Poyato-Ferrera M, Velasco-Ortega E,
Ríos-Santos JV:
Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in an
adult Spanish population.
Int Endod J. 37, 525-30 (2004).

124. Seltzer S:
Endodontology, Biologic Considerations in Endodontic Procedures.
Lea & Febiger Verlag, 2nd edition, Philadelphia (1988).
125. Sharavan A, Haghdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F:
Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis.
J Endod. 33, 96-105 (2007).
126. Shemesh H, van den Bos M, Wu MK, Wesselink PR:
Glucose penetration and fluid transport through coronal root structure and filled root canals.
Int Endod J. 40, 866-872 (2007).
127. Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR:
Leakage along apical root fillings with and without smear layer using two different leakage models: a two-month longitudinal ex vivo study.
Int Endod J. 39, 968-76 (2006).
128. Shipper G, Ørstavik D, Teixeira FB, Trope M:
An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon).
J Endod. 30, 342-347 (2004).
129. Shipper G, Teixeira FB, Arnold RR, Trope M:
Periapical inflammation after coronal microbial inoculation of dog roots filled with gutta-percha or Resilon.
J Endod. 31, 91-96 (2005).
130. Silver GK, Love RM, Purton DG:
Comparison of two vertical condensation techniques: Touch 'n' Heat modified and System B.
Int Endod J. 32, 287-295 (1999).
131. Siqueira JF Jr, Rôças IN, Paiva SS, Guimarães-Pinto T, Magalhães KM, Lima KC:
Bacteriologic investigation of the effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine during the endodontic treatment of teeth with apical periodontitis.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 104, 122-30 (2007).

132. Skinner R, Van Himmel T:
The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha with and without the use of sealers.
J Endod. 13, 315-7 (1987).
133. Slaus G, Vandewijngaert S, Bottenberg P:
Qualitätskontrolle von Wurzelkanalfüllungen. Eine in vitro-Studie.
Dtsch Zahnärztl Z. 56, 177 (2001).
134. Smith RS, Weller RN, Loushine RJ, Kimbrough WF:
Effect of varying the depth of heat application on the adaptability of gutta-percha during warm vertical compaction.
J Endod. 26, 668–672 (2000).
135. Sonntag D, Delschen S, Stachniss V:
Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students.
Int Endod J. 36, 715-23 (2003).
136. Sonntag D, Guntermann A, Kim SK, Stachniss V:
Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary Ni-Ti files performed by students.
Int Endod J. 36, 246-55 (2003).
137. Sonntag D, Ott M, Kook K, Stachniss V:
Root canal preparation with the NiTi systems K3, Mtwo and ProTaper.
Aust Endod J. 33, 73-81 (2007).
138. Starkey DL, Anderson RW, Pashley DH:
An evaluation of the effect of methylene blue dye pH on apical leakage.
J Endod. 19, 435-471 (1993).
139. Stratton RK, Apicella MJ, Mines P:
A fluid filtration comparison of guttapercha versus Resilon, a new soft resin endodontic obturation system.
J Endod. 32, 642-5 (2006).
140. Susini G, Pommel L, About I, Camps J:
Lack of correlation between ex vivo apical dye penetration and presence of apical radiolucencies.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 102, 19-23 (2006).

141. Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH:
Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: A theoretical modeling approach.
J Endod. 31, 584-589 (2005), a.
142. Tay FR, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH, Mak YF, Lay CN, Raina R, Williams MC:
Ultrastructural evaluation of the apical seal in roots filled with a polylactone-based root canal filling material.
J Endod. 31, 514-19 (2005), b.
143. Tay FR, Pashley DH, Loushine RJ, Kuttler S, Garcia-Godoy F, King NM, Ferrari M:
Susceptibility of a polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. Evidence of biodegradation from a simulated field test.
Am J Dent. 20, 365-9 (2007).
144. Tay FR, Pashley DH, Williams MC, Raina R, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, King NM:
Susceptibility of a polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. I. Alkaline hydrolysis.
J Endod. 31, 593-8 (2005), c.
145. Tay FR, Pashley DH, Yiu CKY, Yau JYY, Yiu-fai M, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, King NM:
Susceptibility of a polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. II. Gravimetric evaluation of enzymatic hydrolysis.
J Endod. 31, 737-741 (2005), d.
146. Tepel, J:
Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung.
Habilitationsschriften der Zahn-Mund- und Kieferheilkunde.
Quintessenz Verlag, Berlin (2000)
147. Timpawat S, Vongsavan N, Messer HH:
Effect of removal of the smear layer on apical microleakage.
J Endod. 27, 351-3 (2001).

148. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK:
Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 94, 658-66 (2002).
149. Torabinejad M, Ung B, Kettering JD:
In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth.
J Endod. 16, 566-9 (1990).
150. Tronstad L, Barnett F, Flax M:
Solubility and biocompatibility of calcium-hydroxid-containing root canal sealers.
Endod Dent Traumatol. 4, 152-9 (1988).
151. Tunga U, Bodrumlu E:
Assessment of sealing ability of a new root canal obturation material.
J Endod. 32, 876-8 (2006).
152. Van der Sluis LW, Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR:
An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings.
Int Endod J. 40, 356-61 (2007).
153. Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S:
A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals.
Int Endod J. 38, 610-6 (2005).
154. Venturi M, Pasquantonio G, Falconi M, Breschi L:
Temperature change within gutta-percha induced by the System B heat source.
Int Endod J. 35, 740-746 (2002).
155. Verissimo DM, Sampaio do Vale M, Monteiro AJ:
Comparison of Apical Leakage between Canals filled with Guttapercha/AH-Plus and the Resilon/Epiphany System, When submitted to Two filling Techniques.
J Endod. 33, 291-4 (2007).

156. Versiani MA, Carvalho-Junior JR, Padilha MI, Lacey S, Pascon EA, Sousa-Neto MD:
A comparative study of physicochemical properties of AhPlus and Epiphany root canal sealants.
Int Endod J. 39, 464-71 (2006).
157. Vianna ME, Horz HP, Gomes BP, Conrads G:
In vivo evaluation of microbial reduction after chemo-mechanical preparation of human root canals containing necrotic pulp tissue.
Int Endod J. 39, 484–492 (2006).
158. von Fraunhofer JA, Fagundes DK, McDonald NJ, Dumsha TC:
The effect of root canal preparation on microleakage within endodontically treated teeth: an in vitro study.
Int Endod J. 33, 355-60 (2000).
159. von Fraunhofer JA, Kurtzman GM, Norby CE:
Resin-based sealing of root canals in endodontic therapy.
Gen Dent. 54, 243-6 (2006).
160. Weiger R, Heuchert T, Hahn R, Löst C:
Adhesion of a glass ionomer cement to human radicular dentin.
Endod Dent Traumatol. 11, 214-9 (1995).
161. Weine FS:
Endodontic therapy. Canal filling with semisolid materials.
Mosby, 5th edition, St. Louis, pp 423-77 (1996).
162. White RR, Janer LR, Hays GL:
Residual antimicrobial activity associated with a chlorhexidine endodontic irrigant used with sodium hypochlorite.
Am J Dent. 12, 148-50 (1999).
163. Wu M.K, Wesselink PR:
Endodontic leakage studies reconsidered. Part 1. Methodology, application and relevance.
Int Endod J. 26, 37-43 (1993).
164. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR, Moorer WR:
Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings.
Int Endod J. 26, 203-8 (1993).

165. Wu MK, Kastakova A, Wesselink PR:
Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars.
Int Endod J. 34, 485–491 (2001).
166. Wu MK, van der Sluis LW, Ardila CN Wesselink PR:
Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques.
Int Endod J. 36, 533-40 (2003).
167. Xu Q, Fan MW, Fan B, Cheung GSP, Hu HL:
A new quantitative method using glucose for analysis of endodontic leakage.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 99, 107-11 (2005).
168. Xu Q, Ling J, Cheung GSP, Hu Y:
A quantitative evaluation of sealing ability of 4 obturation techniques by using a glucose leakage test.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 104, 109-113 (2007).
169. Young GR, Parashos P, Messer HH:
The principles of techniques for cleaning root canals.
Austr Dent J Suppl. 52, 52-63 (2007).
170. Youngson CC, Nattress BR, Manogue M, Speirs AF:
In vitro radiographic representation of the extent of voids within obturated root canals.
Int Endod J. 28, 77 (1995).
171. Zidan O, Alkhatib Z, Gomez-Marin O:
Obturation of root canals using the single cone guttapercha technique and dentinal bonding agents.
Int Endod J. 20, 128 (1987).
172. Zou L, Liu J, Yin SH, Tan J, Wang FH, Li W, Xue J:
Effect of placement of calcium sulphate when used for the repair of furcation perforations on the seal produced by a resin-based material.
Int Endod J. 40, 100-5 (2007).
173. Zou L, Yin SH, Liu J, Tan J, Li HL:
Use of calcium sulfate as internal matrix to repair furcal perforations.
Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi 24, 309-11 (2006).

9 Anhang/Materialliste

1. AH plus (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutschland)
2. D(+)-Glucose-Monohydrat (Merck, Darmstadt, Deutschland)
3. Diamant-Bohrer, rund, Typ 806.314.010 (Komet, Lemgo, Deutschland)
4. Diamanttrennscheibe, Typ Hyperflex, 6911 H, Größe 220 (Komet, Lemgo, Deutschland)
5. Endo-IT-professional (VDW, München, Deutschland)
6. Enzymatischer Farbttest (Diasys, Shanghai, China)
7. Epoxid-Harz-Kleber (UHU GmbH & Co. KG, Bühl, Deutschland)
8. Eppendorf Reaktionsgefäß 1,5 ml und 0,5 ml (Kobe, Marburg, Deutschland)
9. Fräse, Konusfräse, H 356 E, Größe 040 (Komet, Lemgo, Deutschland)
10. Gates-Glidden-Bohrer, Typ G, Größen 2 (gelb), 4 (blau) & 6 (schwarz) (Komet, Lemgo, Deutschland)
11. Glasgefäß (Kobe, Marburg, Deutschland)
12. Gutta-Flow (Colténe, Whaledent, Langenau, Deutschland)
13. Guttapercha- Spitzen, standardisiert ISO 20-40 Taper 02 (Roeko, Langenau, Deutschland)
14. Guttapercha-Spitzen, ISO 40, Taper 04 (Colténe, Whaledent, Langenau, Deutschland)
15. Guttapercha-Sticks (Obtura Spartan, Fenton/Missouri, USA)
16. Kanüle, 0,7 mm Durchmesser (Becton Dickinson, Fraga, Spanien)
17. K-Feilen, Länge 25 mm, ISO 10 (VDW, München, Deutschland)
18. Klebewachs (Kerr Corporation, Orange CA, USA)
19. Knetsilikon (Henkel Pattex, KG Aa, Düsseldorf, Deutschland)
20. Messlehre (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz)
21. Mikropipetten Größe 1-10 µl, Größe 100-1000 µl (Eppendorf, Hamburg, Deutschland)
22. Mikrotiterplatten (Nunc GmbH und Co. KG, Wiesbaden, Deutschland)
23. Mtwo-Feilensystem (VDW, München, Deutschland)
24. Natriumazid (E. Merck, Darmstadt, Germany)
25. Natriumhypochlorid 3% (Hedinger, Stuttgart, Deutschland)
26. NiTi-Fingerspreader ISO 20 & 25 (VDW GmbH, München, Deutschland)

27. NiTi-Plugger nach Buchanan in den Größen 1 & 2 (SybronEndo, USA, Orange/CA)
28. NiTi-Winkelstück (W&H GmbH & Co. KG, Laufen/Obb, Deutschland)
29. Obtura II Gerät (Obtura Spartan, Fenton/Missouri, USA)
30. Papierspitzen ISO 40 (Roeko, Langenau, Deutschland)
31. Plastikröhrchen, Durchmesser 8 mm (Fackelmann, Hersbruck, Deutschland)
32. Präzisionswaage (Sartorius AG, Göttingen, Deutschland)
33. Real Seal System (SybronEndo, USA, Orange/CA)
34. Rollrandgläser mit PE-Schnappdeckel (Kobe, Marburg, Deutschland)
35. Rosenbohrer, H1, Größe 008 (Komet, Lemgo, Deutschland)
36. Rüttler für Mikrotiterplatten, Typ MTS 4 (Ika-Labortechnik, Staufen, Deutschland)
37. Scaler H6/7 (Hu-Friedy, Leimen, Deutschland)
38. Spektrophotometer, MRX Microplate Reader, (Dynatech Laboratories, Guernsey, England)
39. System-B-Gerät und –Plugger (SybronEndo, Orange/CA, USA)
40. Thymollösung (Caesar und Loretz GmbH, Hilden, Deutschland)
41. Triturator, Typ Silamat S 5 (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
42. Wärmeschrank (Memmert GmbH & Co KG, Schwabach, Deutschland)
43. Wattlepellets (Roeko, Langenau, Deutschland)
44. Zedernholzöl (Riedel-de-Haen, Seelze-Hannover, Deutschland)
45. Zitronensäure- Monohydrat (NeoLab Migge, Heidelberg, Deutschland)

Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren Damen/Herren in Freiburg:

Arweiler, Att, Ausschill, Butz, Denner, Düker, Encke, Fakler, Frucht, Gutwald, Hahn, Hein, Hellwig, Heydecke, Hürzeler, Jonas, Kappert, Kohal, Krekeler, Kuschnierz, Lapatki, Liebehenschel, Otten, Ratka-Krüger, Rose, Schirrmeister, Schmelzeisen, Schneider, Schön, Strub, Türp, Vogeler, Wrbas, Zirkel

Danksagung

Ich möchte mich besonders herzlich bei Herrn PD Dr. David Sonntag, Oberarzt der Abteilung Zahnersatzkunde am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg, bedanken; zunächst für die Bereitstellung dieser Arbeit, aber auch für die immer sehr engagierte und freundliche Betreuung während der Arbeit, außerdem für die anregenden Diskussionen, ohne die die Durchführung der Arbeit wesentlich schwieriger und langwieriger gewesen wäre. Zuletzt danke ich Ihm für die Tatsache, dass er mich motiviert hat, viel Geduld gezeigt hat und immer für mich Zeit hatte.

Herrn Dr. Harald Schmidt möchte ich für die Hilfe bei der Messung der Glukosekonzentrationen und die Bereitstellung der entsprechenden Materialien und Gerätschaften danken.

Bei meinen Eltern Irmtraud und Heinz Bauer und meinen Geschwistern Jochen und Stefan Bauer möchte ich mich nicht nur für den Zuspruch während dieser Arbeit bedanken, sondern vor allem für die großzügige und liebevolle Unterstützung, die sie mir immer gewährt haben.

Herrn Dr. Roland Bärwald danke ich für die Unterstützung während der experimentellen Untersuchung, in der er mir mit gutem Rat zur Seite stand.

Herrn Dr. Sebastian Tschechne danke ich sehr für sein Verständnis und die aufmunternden Worte, die in vielen Momenten motivierend und hilfreich waren.