

Aus der
Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung der
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz

Möglichkeiten der Steigerung der Effektivität von
Natriumhypochlorid bei der zahnärztlichen
Wurzelbehandlung, durch Variationen bezüglich der
Temperatur, der Konzentration und moderner
Aktivierungsmethoden, sowie der Quantifizierung der
Effektivitätssteigerung mit Hilfe des pH-Wertes

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
vorgelegt von

Luca Ben Rogler
aus Bonn-Duisdorf

Mainz, 2019

Wissenschaftlicher

Vorstand:

1.Gutachter:

2.Gutachter:

Tag der Promotion: 09.07.2019

Abkürzungsverzeichnis

Natriumhypochlorid	NaOCl
Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde	DGZMK
Ethylendiamintetraessigsäure	EDTA
Kochsalzlösung	NaCl
Beziehungsweise	bzw.
Celsius	C
Vergleichen	vgl.
Self Adjusting File	SAF
Apical Negativ Pressure	ANP

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
 - 1.1. Ziel der Dissertation
 - 1.2. Fragestellung
2. Literaturdiskussion
 - 2.1. Spülung in der Endodontie
 - 2.1.1. Natriumhypochlorid
 - 2.1.2. Ethylendiamintetraessigsäure
 - 2.1.3. Weitere Spüllösungen
 - 2.2. Einflussfaktoren
 - 2.2.1. Temperatur
 - 2.2.2. Konzentration
 - 2.3. pH-Wert
 - 2.4. Aktivierung
 - 2.4.1. Manuelle Aktivierung
 - 2.4.2. Self-Adjusting-File
 - 2.4.3. Aktivierung über Apikalen Unterdruck
 - 2.4.4. Ultraschallaktivierung
 - 2.4.5. Laseraktivierung
 - 2.4.6. Schallaktivierung
 - 2.4.7. EDDY
 - 2.4.8. EndoActivator
3. Material und Methode
 - 3.1. Materialien
 - 3.1.1. Spüllösungen
 - 3.1.2. pH-Wert
 - 3.1.3. Gewebsprobe
 - 3.1.3.1. Gewinnung der Gewebsprobe
 - 3.2. Methode
 - 3.2.1. Weiterverarbeitung der Gewebsprobe
 - 3.2.2. Versuchsdurchführung
 - 3.3. Statistik
4. Ergebnisse
 - 4.1. Beeinflussung der Gewebsauflösung durch NaOCl

- 4.1.1. Effektivität des NaOCl`s ohne Aktivierung und einminütiges wiegen bei 4°C
- 4.1.2. Konstante Lösungstemperatur
 - 4.1.2.1. Konstante Lösungstemperatur von 4°C
 - 4.1.2.2. Konstante Lösungstemperatur von 20°C
 - 4.1.2.3. Konstante Lösungstemperatur von 37°C
- 4.1.3. Konstante Konzentration des NaOCl`s
 - 4.1.3.1. Konstante Konzentration des NaOCl`s von 0,1%
 - 4.1.3.2. Konstante Konzentration des NaOCl`s von 1%
 - 4.1.3.3. Konstante Konzentration des NaOCl`s von 2,5%
 - 4.1.3.4. Konstante Konzentration des NaOCl`s von 5%
- 4.1.4. Konstante Aktivierung der Spüllösung
 - 4.1.2.1. Keine Aktivierung der Spüllösung
 - 4.1.2.2. Aktivierung der Spüllösung mittels EndoActivator und gelbem Aufsatz
 - 4.1.2.3. Aktivierung der Spüllösung mittels EndoActivator und rotem Aufsatz
 - 4.1.2.4. Aktivierung der Spüllösung mittels EndoActivator und blauem Aufsatz
 - 4.1.2.5. Aktivierung der Spüllösung mittels EDDY
- 4.2. Messung der Effektivität des NaOCl`s mit Hilfe des pH-Wertes
 - 4.2.1. Konstante Lösungstemperatur von 4°C
 - 4.2.2. Konstante Lösungstemperatur von 20°C
 - 4.2.3. Konstante Lösungstemperatur von 37°C
- 4.3. Wirkung von EDTA auf die Gewebsprobe
- 4.4. Messung der Effektivität des EDTA`S mit Hilfe des pH-Wertes
5. Diskussion
 - 5.1. Zusammenfassung der Ergebnisse
 - 5.2. Mögliche Fehlerquellen
 - 5.3. Vergleich der Ergebnisse mit vorhandener Literatur
6. Zusammenfassung

7. Literaturverzeichnis

Danksagung

Tabellarischer Lebenslauf

1. Einleitung

Die chemomechanische Desinfektion des Wurzelkanalsystems ist die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche und qualitätsorientierte Wurzelkanalbehandlung. Ziel der Spülung ist neben der Eliminierung von Mikroorganismen die Auflösung von Geweberesten im Kanalsystem (1). Da bei der maschinellen Aufbereitung des Wurzelkanals lediglich 65% der Kanalwände instrumentiert werden können (2), erhält die chemische Desinfektion des Kanalsystems eine essentielle Bedeutung (3).

Natriumhypochlorid (NaOCl) gilt als Goldstandard in der Wurzelkanal-desinfektion und findet bereits seit mehr als 60 Jahren Anwendung (4). Im Vergleich zu anderen Spülflüssigkeiten verfügt NaOCl über sehr gute antimikrobielle und vor allem gewebsauflösende Eigenschaften, die es in der Endodontologie unentbehrlich machen. Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) empfiehlt in ihrer Stellungnahme zu Wurzelkanal-spülung eine Konzentration zwischen 0,5 und 5%. Oftmals wird es in Kombination mit Ethyldiamintetraessigsäure (EDTA) verwendet, da dieses in der Lage ist den bei der Präparation entstandenen Schmierfilm, den Smear Layer, zu entfernen.

Durch Zunahme der Bedeutung der chemischen Desinfektion wurden neue Geräte und Methoden entwickelt, um diese noch effizienter zu machen. Neben der Erwärmung von NaOCl, zur Steigerung der Auflösekapazität (5), kann durch die Aktivierung der Spüllösung mittels Schall oder Ultraschall eine bessere Reinigungswirkung erzielt werden. Zusätzlich kann die gewebslösende Eigenschaft über die Applikationsdauer sowie die Konzentration der Lösung erhöht werden(6).

1.1 Ziel der Dissertation

Ziel der vorliegenden in-vitro Studie ist es, den Einfluss der Konzentration, der Temperatur, der Applikationsdauer sowie der Schallaktivierung auf die gewebsauflösende Eigenschaft von NaOCL und EDTA zu untersuchen. Hierbei soll anhand von porkiner Pulpa die Gewichtsabnahme von Gewebeproben durch den Kontakt zu den jeweiligen Spülmitteln in verschiedenen Situation gemessen und untereinander verglichen werden. Gleichzeitig erfolgt durch die simultane Messung des pH-Wertes der Versuch die Effektivität der Spüllösung zu quantifizieren.

1.2 Fragestellung

Kann in der modernen Endodontie durch Veränderungen der Temperatur und Konzentration der Spüllösung, sowie der zusätzlichen Verwendung moderner Aktivierungsmethoden eine bessere Gewebsauflösung beim Spülen erzielt werden und ist diese über eine Änderung des pH-Wertes quantifizierbar?

2. Literaturübersicht

2.1 Spülung in der Endodontie

Ziel der Wurzelbehandlung ist es, einen bakteriell befallenen Zahn und seine Wurzeln langfristig zu erhalten und die Wahrscheinlichkeit einer Reinfektion zu minimieren. Eine rein mechanische Aufbereitung des Kanals, unabhängig vom Feilensystem (7), ist nicht effektiv genug in der Generierung einer keimfreien Umgebung innerhalb des Zahnes (8). Dementsprechend wird bei einer Wurzelbehandlung die mechano-chemische Aufbereitung zur Entfernung von infiziertem Pulpengewebe und Bakterien verwendet, welche sich im Hohlraum innerhalb des Zahnes und dessen Wurzeln befinden. Dabei ist die Funktion der Spüllösung, als chemische Komponente, das Zersetzen von Mikroorganismen und Gewebsresten, die Entfernung von Debris und des entstandenen Smear Layers, sowie die Desinfektion des Kanals von wesentlicher Bedeutung. Im besten Falle ist die Spüllösung gleichzeitig biokompatibel um eine mögliche Reizung des periapikalen Gewebes zu vermeiden (3). Alle diese gewünschten Effekte können nicht von einer einzelnen Spüllösung erzielt werden, auch nicht durch Veränderungen des pH-Wertes, Änderungen in der Temperatur oder mit zusätzlichen oberflächenaktiven Stoffen (9). Deshalb sind Kombinationen von unterschiedlichen Lösungen nötig (10).

Zusätzlich zu einer suffizienten Wurzelfüllung benötigt der Zahn unmittelbar im Anschluss eine dichte koronale Füllung oder indirekte Restauration (11). Im Zuge jeder Wurzelbehandlung erfolgt ein bakteriendichter Primärverschluss der Kavität mit Kompositen (12), deren Haftverbund zum Zahn jedoch durch endodontische Spüllösungen unterschiedlich beeinflusst wird (13).

Nachfolgend werden gängige Spüllösungen in der modernen Endodontie mit Vor- und Nachteilen in ihrer Anwendung alleine und zusammen dargestellt.

2.1.1 Natriumhypochlorid

Während des ersten Weltkrieges erkannte der damalige Gefäßchirurg Dr. Carrel, die Notwendigkeit einer Lösung zur Desinfektion von Wunden. Diese sollte in der Lage sein, ohne Hautveränderung, eine suffiziente antibakterielle Wirkung zu entfalten (14). Daraufhin untersuchte der Biochemiker Dr. Dakin mehrere unterschiedliche Substanzen auf diese Eigenschaften und entdeckte dabei das NaOCl (15), was später auch als Dakin'sche Lösung bekannt wurde (14). Beim industriellen Bleichen stellte der Stoff ebenfalls jahrelang einen Fortschritt dar, da mit seiner Hilfe Baumwolle besser vorbehandelt werden konnte als bisher mit dem alternativen Chlorkalk (16). Heutzutage findet NaOCl außerdem als günstiges Haushaltsbleichmittel Anwendung (17). Die Verwendung von Natriumhypochlorid in der Zahnmedizin geht zurück auf Alfred Walker im Jahre 1936 (18). Die Fähigkeit, gleichzeitig Gewebe aufzulösen und durch das Vorhandensein von Chlorionen (19) desinfizierend zu wirken, indem diese die Oxidation und Chlorierung der Aminosäuren innerhalb der Zellmembranen nach sich ziehen, ist einzigartig. Diese Tatsache machte es zum Standardmedium der verwendeten Spüllösung in der Endodontie seit über 60 Jahren (4, 20). In der aktuellen Leitlinie der DGZMK aus dem Jahr 2006 gibt es eine Empfehlung zur Verwendung von NaOCl in Konzentrationen von 0,5-6 % (6). Laut einer Veröffentlichung in der ZMK aus dem November 2012 von Briseño et al, soll in Anlehnung an die Literatur sowie auch klinischen Erfahrungen bereits eine 3%ige Lösung ausreichend sein (21).

Die entscheidenden Faktoren für die Gewebsauflösung sind die Bewegung der Lösung, das Verhältnis von organischem Material zur Menge der Spüllösung und die Größe der Kontaktfläche innerhalb des Kanals (22).

Abhängig von der gewählten Konzentration, liegt der basische Effekt in einem pH-Bereich zwischen 10,9 und 12 (23). Die gewebsauflösende Wirkung des NaOCl nimmt mit zunehmendem pH-Wert, also einer Erhöhung der Konzentration der oxidierten Form der Base, zu, während die desinfizierende Wirkung mit Annäherung an den normalen pH-Wert wächst (24). Ab einem pH-Wert von 9 liegt es vorwiegend in seiner oxidierten Form vor und durch Abnahme des pH-Wertes verschiebt sich das chemische Gleichgewicht in Richtung der neutralen Form von Natriumhypochlorid (25).

Theoretisch erfolgt die dafür erforderliche Senkung des pH-Wertes durch den Kontakt des Spülmediums mit den Zahnoberflächen (26), sowie Interaktionen mit

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) (27). Der Einfluss der Dentinoberfläche auf den pH-Wert wird allerdings innerhalb der ersten Stunde nach Applikation nicht sichtbar (28), weshalb vor allem letztere Interaktion klinische Relevanz zu haben scheint.

NaOCl beschreibt die von allen in der Endodontie verwendeten Spüllösungen höchste antibakterielle Eigenschaft (29), löst jedoch alleine weder den kompletten Biofilm, noch tötet es alle Bakterien ab (30). Es ist außerdem nicht in der Lage den Smear Layer komplett aufzulösen, weswegen es in Kombination mit dafür gebräuchlichen Chelatbildnern eingesetzt wird (31). Die gewebssauflösende Wirkung sinkt jedoch, sobald es mit Chelatbildnern in Kontakt kommt. Um dies zum Beispiel (z.B.) in Kombination mit EDTA zu vermeiden, wird der Kanal vor dem Wechsel des Spülmediums getrocknet (32).

Eine Kombination mit Chlorhexidin, als alternatives Desinfektionsmittel, führt dagegen zu einer orangebraunen Ablagerung, die sich über die Dentintubuli legen kann und damit eventuell Einfluss auf den Halt und die Dichtigkeit der Wurzelfüllung nehmen kann (33). Diese, sich im Inneren des Zahnes befindende Verfärbung, kann für den Patienten von extraoral sichtbar werden (34). Es handelt sich dabei um die krebserregende Substanz Parachloranillin (PCA) (35), was wiederum eine weitere Kontraindikation für die genannte Kombination darstellt. Durch die Verwendung von NaOCl kommt es zu einer Schwächung des Dentins bezüglich seiner Stabilität und der Fähigkeit über die Säure-Ätz-Technik mit Kunststoffsystemen verbunden zu werden (8). Diese Schwächung ist zurückzuführen auf die molekulare Größe des Hypochloridanions, das in der Lage ist, die Wassermoleküle des Kollagens innerhalb des Zahnes anzugreifen. Dies hat die Entstehung eines Grenzbereiches mit vergrößerten und verschmolzenen Dentintubuli zur Folge. Die darunterliegenden Bereiche gesunden Dentins werden spröder und in ihrer Flexibilität eingeschränkt. Das Ausmaß dieses Effektes ist abhängig von der Applikationsdauer des NaOCl sowie von dessen Konzentration (36).

Eine weitere Komplikation durch den unvorsichtigen Gebrauch von NaOCl während der Behandlung ist, die mögliche Interaktion des Stoffes mit vitalem periapikalen Gewebe. Diese kann sich von leichten Schmerzen des Patienten, bis hin zu ernsthaften Gewebsverletzungen mit daraus resultierenden Hämatomen und Emphysemen in der Region (37) äußern. All diese Effekte werden allerdings von

den bereits genannten positiven Wirkungen des Stoffes aufgewogen, weshalb NaOCl als Spülmittel empfohlen wird (38).

Allgemein gilt, dass eine Erhöhung der Temperatur von NaOCl einen positiven Effekt auf die Eigenschaften des Stoffes hervorruft. Allerdings ist seine Zerfallsrate bei hohen Temperaturen deutlich gesteigert und sollte somit erst kurz vor der Behandlung auf die gewünschte Temperatur erhitzt werden (39). Des Weiteren kommt es im Laufe der Zeit, durch Lichteinstrahlung, den Kontakt zu Sauerstoff sowie metallischen Stoffen generell zu einer Abnahme der Effektivität der Lösung. Dieses Phänomen ist für hoch konzentrierte Lösung deutlicher als für niedrig konzentriertere Lösungen. Im Umkehrschluss sollte NaOCl dementsprechend bei geringen Temperaturen, in licht- und sauerstoffundurchlässigen Behältern fernab von metallischen Gegenständen gelagert werden (40-42).

2.1.2 Ethylendiamintetraessigsäure

EDTA gehört zu der Gruppe der Chelatbildnern und wurde bezüglich dieses Effektes das erste Mal 1935 von Ferdinand Munz beschrieben. Als Chelat-Bildner reagiert er mit im Dentin befindlichen Calcium-Ionen und es kommt zur Decalcification der Zahnoberfläche in dieser Region und damit zu einer Schwächung des Dentins. Dieses Phänomen ist vor allem innerhalb der ersten 5 Minuten nach Applikation zu beobachten (43, 44). Außerdem kommt es zu einer Öffnung der Dentintubuli (45).

Es wird in bis zu 17%iger Lösung innerhalb der Endodontie als Spülmittel verwendet (46) um den Smear Layer von den Kanalwänden zu entfernen (5). Dadurch können Dentintubuli, sowie verschlossene Seitenkanäle wieder für die Spülung mit NaOCl zugänglich gemacht werden (47). Niedriger konzentrierte Präparate haben einen geringeren Effekt auf den Abtrag des Smear Layers innerhalb des Kanals, wohingegen höher konzentrierte Lösungen zusätzlich zur Entfernung des Smear Layers Erosionen in der Kanalwand zur Folge haben können (48). Einen antibakteriellen Einfluss bzw. eine positive Wirkung auf den Abbau eines vorhandenen Mikrofilmes hat EDTA nicht (49), weshalb es als alleiniges Mittel nicht ausreichend ist (10). Die Folgen, die durch Überpressen von EDTA über das Foramen apicale hinaus entstehen können, werden kontrovers diskutiert und reichen von keiner Irritation im periapikalen Bereich (44) bis hin zu

Decalzifikation des Alveolarknochens, sowie neuroimmunologischen Störungen (50). Letzteres führt zu einem antiinflammatorischen Prozess, indem die Bindung zwischen Antigen und Makrophage ausbleibt, der somit eine periapikale Entzündung verhindert (51). Grundsätzlich wird die Verwendung von EDTA als zusätzliches Spülmittel diskutiert. So führt der zusätzliche Gebrauch von EDTA in Fällen, in denen eine Schall- oder Ultraschallaktivierung stattfand, zu keiner erhöhten Penetration der Spüllösung in den Seitenkanälen der Wurzeln (52). Auf der anderen Seite hat EDTA einen indirekten positiven Effekt auf die Keimreduktion des Kanals, indem es die Bakterien und den Biofilm von der Kanalwand löst und dieser daraufhin von antibakteriellen Lösungen besser zersetzt werden kann (29).

2.1.3 Weitere Spüllösungen

Chlorhexidin (CHX) hatte als Antiseptikum 1954 seine Markteinführung durch die Imperial Chemical Industries Co. Ltd. of Macclesfield (Groß-Britannien). Seine Verwendung in der Zahnheilkunde begann erst in den 70er Jahren durch die Studien von Loe und Schiott (53, 54). Es gilt vor allem wegen seines positiven Effektes bei der Wunddesinfektion (55), seiner Effektivität gegen gram-positive und gramnegative Bakterien (56) sowie der Vorbeugung von Pilzinfektionen der Candida Spezies als Goldstandard der allgemeinen oralen Antiseptika (57).

In der Endodontie wird CHX in 2%iger Form (58), sowohl als Spüllösung (59), als auch als medikamentöse Einlage verwendet (60). Die antimikrobiellen Eigenschaften des Chlorhexidins sind abhängig vom pH-Wert und Erreichen ihr Maximum bei einem pH-Wert zwischen 5.5 und 7. Damit liegt dieser Wert im Bereich von menschlichem Gewebe und Körperoberflächen (61).

Es wurde herausgefunden, dass der Einsatz von CHX vor der Anwendung von Kompositen keinen Einfluss auf den Haftverbund zum koronalen Dentin (62), zum Dentin innerhalb der Pulpenkammer (63), oder zur Schmelzoberfläche ausüben kann (64). Eine gewebsauflösende Wirkung von CHX wurde jedoch nicht beschrieben (21), jedoch kann durch die zusätzliche Aktivierung mittels Schall- oder Ultraschall die desinfizierende Wirkung des Stoffes verbessert werden (65).

Ein Vorteil der Spülung mit CHX im Vergleich zu NaOCl besteht darin, dass es schonender auf das Dentin wirkt und dessen Härte dadurch erhalten bleibt. Somit nimmt durch die Verwendung von CHX als Spüllösung die Schwächung der Wurzel während der Wurzelbehandlung nicht zu (66). Eine weitere Indikation zum

Gebrauch von CHX in der Endodontie liegt in seiner Biokompatibilität, wodurch keine negativen Effekte im periapikalen Gewebe hervorgerufen werden. Demnach ist dessen Anwendung bei stark erweiterten Foramen apicale sinnvoll (55).

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) wurde in Konzentrationen von 3%-5% lange wegen seiner antibakteriellen Eigenschaften als Spüllösung in der Endodontie verwendet. Bei der Anwendung entstehen Bläschen (Sauerstoffbildung), welche das Debris aus dem Kanal befördern. Auf Grund der deutlich niedrigeren gewebesaflösenden Eigenschaft, verglichen mit NaOCl, wird es heutzutage allerdings nahezu nicht mehr verwendet (67).

Eine Kombination mit NaOCl in gleicher Konzentration führt zu einer Abnahme der antibakteriellen Wirkung beider Substanzen, weswegen auch eine solche Kombination vermieden werden sollte (68, 69).

2.2 Einflussfaktoren

In den folgenden Abschnitten wird hervorgehoben, auf welche bekannte Art und Weise die Effektivität der Spüllösung in der Wurzelbehandlung beeinflusst werden kann. Dabei beschränkt sich dieser Teil der Arbeit auf die Temperatur und Konzentration der Lösung als chemische Einflussfaktoren; sowie die mechanische Einflussnahme durch die Aktivierung.

2.2.1 Temperatur

Hohe Temperaturen sind in der Lage effektiv Mikroorganismen zu töten (70) und laut der van't Hoff'schen Regel ist zusätzlich eine direkte Proportionalität zwischen der Temperatur und der ablaufenden Reaktionsgeschwindigkeit in einem chemischen Prozess gegeben (71). Dementsprechend sollte eine Temperaturerhöhung des Spülmediums einen positiven Effekt auf dessen Eigenschaften haben.

Auf den Zahn bezogen gilt allerdings zu beachten, dass Temperaturen von 53°C oder höher irreversible Knochenschäden als Folge haben können (72). Eine Reduktion dieses Risikos kommt jedoch durch die Tatsache zustande, dass der Temperaturunterschied zwischen der Lösung und dem betroffenen Gewebe, sowie das generelle Abkühlen der Lösung bis und während der Applikation, eine Verminderung der Temperatur zur Folge haben. So führt das Einführen einer auf

60°C erwärmten Lösung demnach nicht dazu, dass die Temperatur der Lösung im Kanal noch den selben Wert behält (73). Es ist allerdings bewiesen, dass eine auf 45°C erwärmte 1%ige Lösung von Natriumhypochlorid dieselbe Effektivität bezüglich der Gewebsauflösung beschreibt wie ein 5,25%ige Lösung desselben Stoffes bei Raumtemperatur. Bei gleichkonzentrierten Lösungen mit Temperaturen von 20°C und 45°C ist die wärmere Lösung jedoch um den Faktor 100 effektiver (74).

Allgemein führt eine Temperaturerhöhung der NaOCl-Lösung zu einer Steigerung der Wirkung (39). So ist eine 2,6%ige Lösung bei 37°C einer 5,2%igen Lösung bei gleicher Temperatur ebenbürtig in der Gewebsauflösung (75).

2.2.2 Konzentration

Die Konzentration einer Lösung beschreibt die Anzahl der Teilchen eines Substrates pro Liter Lösungsmittel. Somit ist die Reaktionsgeschwindigkeit einer Reaktion abhängig von der Konzentration der Substanzen. Diese stoßen in hochkonzentrierten Lösungen häufiger aufeinander und gehen demnach schneller und häufiger die gewünschte Bindung ein (76).

Hochkonzentrierte Lösungen von NaOCl sind signifikant effektiver in der Reduktion der Keimzahl als niederkonzentrierte (77).

Wichtig ist es zu bemerken, dass die Konzentration der Lösung durch den chemischen Zerfall der Substanzen über die Zeit abnimmt. Es ist jedoch bewiesen, dass ein 5,5%ige Lösung mehr als 100 Minuten braucht um unter den klinisch relevanten Wert von 0,1% zu fallen. Im Falle einer 1%igen Lösung dauerte es zwischen 10 und 100 Minuten (78).

2.3 pH-Wert

Der pH-Wert dient der logarithmischen Beschreibung der Konzentration der H⁺-Ionen in einer Lösung, bzw. einem Medium. Er ist antiproportional zu ihrer Konzentration und kann Werte zwischen 0 und 14 annehmen. Folglich spricht ein hoher pH-Wert für eine geringe Konzentration an H⁺-Ionen. Verändert sich der pH-Wert um eine Einheit, so ändert sich die Konzentration 10^{-1} (79). Manche Stoffe, wie z.B. NaOCl, variieren ihre Eigenschaften durch den pH-Wert (24), was den Einfluss des pH-Wert auf den Reaktionsverlauf hervorhebt. Auf NaOCl bezogen ist

ein vollständiger Verlust der gewebssauflösenden Eigenschaften ab einem pH-Wert zwischen 6-7,5 bekannt (19).

Auf der anderen Seite hat eine Stabilisierung der Lösung bei einem hohen pH-Wert eine Zunahme der proteolytischen Wirkung der Lösung zur Folge (80).

2.4 Aktivierung

Die effektivste Möglichkeit, den Kanal von unerwünschten Stoffen zu befreien, ist die Spüllösung in Bewegung zu setzen um dadurch die mit Aufbereitungsinstrumenten unzugänglichen Seitenkanäle und Isthmen zu reinigen (81, 82). Die unterschiedlichen Methodiken, die eine solche Aktivierung im Kanal hervorrufen, werden in zwei übergeordnete Gruppen unterteilt: Manuelle und mechanische Aktivierungsmethoden.

Letztere gingen aus den manuellen Techniken hervor mit der Zielsetzung, durch die Verwendung von Handstücken gleichmäßig und kontrolliert rotierende Instrumente zu entwickeln. Die daraus resultierenden werkstoffbedingten Möglichkeiten, wie z.B. die Verwendung von weicheren, elastischeren und dünneren Plastikaufsätzen, ist ein weiterer Vorteil dieser Entwicklung (81, 83, 84). Die Leistungsfähigkeit einer Spüllösung hängt von der Bewegungsrate sowie von den chemischen Eigenschaften der entsprechenden Substanz ab (85). Diese können unabhängig von der Spülmethodik durch die Morphologie des Zahnes beeinträchtigt werden. So wird die Spülflüssigkeit in schmalen Kanälen weniger stark durch die Aktivierung beeinflusst als in großen Kanälen (86). Verglichen zu allen Aktivierungsmethoden ist die Bewegungsrate der Flüssigkeit bei einer manuellen Spülung mittels Spritze relativ gering. Außerdem hat man herausgefunden, dass die Spüllösung bei der Applikation nur 1mm über die Spitze hinauskommt. Dabei wird der Flüssigkeitsfluss (Stream) zusätzlich beeinflusst durch die Wurzelkanalmorphologie und der Eindringtiefe der Spritze in den Kanal (87).

Die maschinelle Aktivierung kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Entweder es kommt zur Verwendung von rotierenden Bürsten (z.B. Endobrush®) oder es findet eine zeitgleiche Spülung bei Verwendung von rotierenden Instrumenten statt (z.B. SAF-Feile von ReDent Nova®), oder es werden Geräte eingesetzt, die den Druck innerhalb des Kanals verändern können (z.B. Endovac®). Weitere Möglichkeiten bieten Schall- oder Ultraschallsysteme.

Verglichen mit der konventionellen Spülung per Spritze, weist jede dieser neuen Methoden eine Steigerung bezüglich der Kanalreinigung auf (85), da durch die Aktivierung die Effekte der bei der Spülung verwendeten Lösung verstärkt werden (88). Die neueste Entwicklung in diesem Bereich ist der zusätzliche Einsatz von Lasern zur Aktivierung der Spüllösung (89).

Nutzt man jedoch keine Form der Aktivierung, so entsteht am unteren Ende des Kanals unweigerlich ein mit Luft gefüllter Hohlraum (apical vapor lock), da die Spüllösung über eine Spritze in den Kanal appliziert wird. Dieser Hohlraum verhindert das Eindringen der Spüllösung in diesen Bereich und somit die chemische Bearbeitung des Kanals auf voller Arbeitslänge (90).

2.4.1 Manuelle Aktivierung

Die manuelle Aktivierung der Spüllösung stellt die einfachste Methode der Aktivierung in der Endodontie dar. Auch hier werden verschiedene Methoden mit dem Ziel, die Effektivität der Spüllösung zu erhöhen, unterschieden. So führt z.B. bereits das vertikale Einführen einer Feile in einen mit einer Spüllösung gefüllten Kanal zu einer verbesserten Penetration der Lösung in umliegende Räume (91). Eine Alternative wurde von dem Franzosen Pierre Matchou als Technik der „Manual Dynamik Activation“ entwickelt. Hierbei wird der aufbereitete Kanal mit der gewünschten Spüllösung gefüllt und diese Flüssigkeit anschließend durch das wiederholte inserieren eines Guttaperchastiftes in Bewegung versetzt (92) (88) (vergleiche (vgl.) Abbildung (Abb.) 1). Beide Methoden führen allerdings schlussendlich nicht zu einer besseren Reinigung des Kanals (93).

Besondere Bürsten und mit Borsten versehene Nadeln beschreiben eine andere Methode der manuellen Aktivierung, bei der ebenfalls durch manuelle Bewegungen die Flüssigkeit im Kanal stimuliert wird. Dieses System zeigt klinische Erfolge bezüglich der Entfernung des Smear layers von den Kanalwänden (94, 95) und könnte demnach bei der Verwendung von EDTA als Spüllösung indiziert sein (82).

2.4.2 Self-Adjusting-File

Bei dieser Methode werden Instrumente verwendet, die zusätzlich zur abrasiven Oberfläche in ihrem Inneren selbst einen Kanal haben. Durch diesen kann während der Aufbereitung des Kanals gleichzeitig die entsprechende Spüllösung in diesen gepumpt werden. Bedingt durch die 5000 vertikal schwingenden Bewegungen des

Körpers pro Minute wird die Flüssigkeit innerhalb des Kanals gleichzeitig noch schallaktiviert (82, 96). Die speziellen hierbei verwendeten Feilen werden als „Self-Adjusting-File“ (SAF) bezeichnet.

Das System hat bezogen auf den Erhalt der anatomischen Form und dem Verlauf des Kanals sowie der Reinigungsfähigkeit sehr gute Ergebnisse erzielt. Es ermöglicht einen guten Zugang zu schwierigen Regionen wie Isthmussen, ovalen Kanälen oder C-shaped Canals (97), hat allerdings den Nachteil, dass die Schneidfähigkeit der Oberfläche relativ gering ist.

Dies stellt einen Nachteil für die initiale Kanalaufbereitung dar und ist jedoch auf der anderen Seite nach erfolgter Aufbereitung eine gute zusätzliche Technik bezüglich der Reinigung und finalen Aufbereitung des Kanals (98).

Ein Beispiel für eine solche Feile ist die SAF-Feile von ReDent Nova®.

2.4.3 Aktivierung über apikalen Unterdruck

Die Aktivierung über einen negativen apikalen Druck wurde entwickelt, um einen kontinuierlichen gleichmäßigen Fluss an Spülflüssigkeit innerhalb des ganzen Kanals zu generieren, ohne sie aktiv in den Kanal applizieren zu müssen. Das System verfügt, entsprechend der Anatomie des Wurzelkanals, über eine Makrokanüle für die oberen zwei Drittel des Kanals und eine Mikrokanüle für den apikalen Abschnitt. Diese ist an die Absauganlage der zahnärztlichen Einheit angeschlossen (99). Über einen speziellen Spritzenaufsatz wird während der Aktivierung kontinuierlich eine gleichbleibende Menge an Spülflüssigkeit in das Pulpenkavum appliziert. Diese wird daraufhin von der im Kanal befindlichen Makro/Mikrokanüle in den Kanal gesogen und an der Spitze abgesaugt (100). Das Risiko, dass die Spüllösung während Spülung und Aktivierung in den periapikalen Raum übertritt, soll mittels dieser Technik reduziert sein (101).

Ein Beispiel für die Aktivierung durch negativen apikalen Unterdruck ist das Endovac® Gerät der Firma Kerr. Laut aktueller Studienlage führt dieses Vorgehen dazu, dass ein größeres Volumen an Spülflüssigkeit ins apikale Drittel des Wurzelkanals gelangt (102). Auch die sich dort befindlichen Gewebsreste (103), sowie Gewebe in schwer zu erreichenden Arealen (104), wird mit einer Effizienz, die der Ultraschallaktivierung nahekommt, entfernt (105-107).

2.4.4 Ultraschallaktivierung

Die Ultraschallaktivierung der Spülflüssigkeit bei der Wurzelkanalbehandlung ist ein weiterer Weg zur Unterstützung der Desinfektion des Wurzelkanals. Die Frequenz der Ultraschallgeräte liegt zwischen 25 und 40 kHz. Dieser Unterschied in der Frequenz beruht auf den zwei unterschiedlichen Möglichkeiten, Ultraschall zu generieren: magnetostruktiv oder piezoelektrisch. Geräte des ersten Typs erzeugen ein magnetisches Feld und dadurch Ultraschall mit einer Frequenz von 24 kHz. Bei piezoelektrischen Geräten wird durch Umpolarisierung ein elektrisches Feld geschaffen, das Quarzkristalle kurzzeitig verformt und dadurch Schwingung von 40 kHz generiert. Zusätzlich schwingen piezoelektrische Aufsätze linear und nicht elliptisch, was sie für die Verwendung in der Endodontie qualifiziert. Die Effektivität des Ultraschalls kommt vor allem durch den konstanten Flüssigkeitsfluss (stream) und durch die akustischen Wellen zustande.

Zusätzlich entstehen bei der Anwendung Luftblasen (Kavitation), die beim Zerplatzen Energie freisetzen. Diese Energie ist verantwortlich für den reinigenden Effekt bei der Verwendung von Ultraschallgeräten (108). Generell werden zwei möglich Arten des Ultraschalleinsatzes in der Endodontie beschrieben. Die erste Technik beschreibt eine Kombination von Instrumentation und gleichzeitiger Ultraschallaktivierung einer im Kanal befindlichen Flüssigkeit durch spezielle K-Feilen, während bei der Zweiten einzig eine Spülung stattfindet. Deswegen wird letztere, seit 1980 durch Weller et al (109), auch als passive durch Ultraschall aktivierte Spülung (PUI) bezeichnet (110). Die Aufsätze sind generell sowohl als K-Feile, als auch als weicher Draht erhältlich und zeigen in vitro keinerlei Unterschied bezüglich der debrisentfernenden Eigenschaften (111, 112). Die kombinierte Variante hat heutzutage keine klinische Relevanz, da ihre kontrollierte Handhabung schwer ist und häufig Komplikationen wie Veränderung des Kanalverlaufes oder wurzelnahe Perforationen mit sich zieht (84). Dementsprechend stellt sie keine alternative Behandlungsmethode gegenüber den herkömmlichen Handfeilen dar (110, 111, 113). Laut Literatur ist die passive Aktivierung einer Spüllösung deutlich effektiver (112, 114), da durch ihre nichtinvasive Arbeitsweise das Risiko einer Veränderung der Kanalmorphologie abnimmt (113). Zusätzlich wird in schmalen Wurzelkanälen die Bewegung von Ultraschallfeilen durch die Morphologie der Wurzel eingeschränkt und somit vermutlich der Reinigungseffekt gesenkt (115), da durch den Kontakt des Instruments zur Kanalwand Energie verloren geht, ist auch

die Möglichkeit einer Begradigung bzw. Perforation des Kanals nicht auszuschließen (116) (85). Demnach weist sie in breiten Kanälen eine erhöhte Effektivität auf (117). Bei der Verwendung von Ultraschallaktivierung kann die Spülung sowohl kontinuierlich als auch intermittierend erfolgen (87), wobei beide Varianten gleicheffektiv sind (113, 114). Laut Kanter et al, ist die Ultraschallaktivierung, bezogen auf die Restmenge an Debris bei gleichen Versuchsbedingungen (118), der Schallaktivierung generell überlegen. Ein Beispiel für ein solches Gerät ist EndoUltra® von der Firma VISTA™. Ein Vorteil der Ultraschallaktivierung gegenüber der Schallaktivierung durch den EndoActivator ist, dass mit Calciumhydroxid verstopfte Kanäle besser gereinigt werden können und somit gängiger sind (119).

2.4.5 Laseraktivierung

Ein neuer Durchbruch in der Aktivierung von Spüllösungen gelang durch die Entdeckung der Wechselwirkung zwischen von Lasern ausgestrahlten Lichtwellen und der endodontischen Spülflüssigkeit. Das Phänomen beruht auf zwei unterschiedlichen Interaktionen mit der Spülflüssigkeit: die Laser Activated Irrigation (LAI) und die Photon-Initiated Photoacoustic Streaming (PIPS). Durch den Laser ausgestrahltes Licht wird von NaOCl absorbiert, wodurch es erhitzt und schlussendlich verdampft wird. Dabei entstehen Luftblasen, die durch ihr Zerplatzen einen reinigenden Effekt hervorrufen (89, 108).

Ein Beispiel für ein solches Gerät ist der Erbium:YAG Laser® (ER:YAG Laser). Diese Methodik wurde im Rahmen der „Shock Wave Enhanced Emission Photoacoustic Streaming“ Methode zusätzlich noch um Schockwellen ergänzt, die für eine Beschleunigung der Blasen auf Überschallgeschwindigkeit sorgen (120). Laut Pedulla et al, führt die Laseraktivierung von NaOCL zu keiner Steigerung der Keimfreiheit, verglichen zur alleinigen Verwendung von NaOCL (121). Andere Studien weisen auf Biofilmreste im apikalen Bereich sowie in infizierten Dentintubuli hin (122). Auf der anderen Seite beschreiben Arslan et al. eine hocheffiziente Keimreduktion mittels der Photon-Initiated Photoacoustic Streaming Technik, die anderen Techniken wie Schall- oder Ultraschallaktivierung unter selben Versuchsbedingungen überlegen ist (123).

2.4.6 Schallaktivierung

Die Schallaktivierung ist eine suffiziente Möglichkeit zur Kanaldesinfektion (124). Die modernen Geräte funktionieren über ein separates Handstück, auf welches unterschiedlich große glatte Plastikaufsätze gesteckt werden können (125). Auf diese Art und Weise scheint man in der Lage zu sein, den Smear Layer effektiv zu entfernen, den Hauptkanal suffizient zu reinigen und das Füllen einer großen Anzahl an Seitenkanälen zu begünstigen und zu vereinfachen (118, 126).

Die mögliche Schwingungsfrequenz eines Schallaktivators reicht von 1-6 kHz und arbeitet somit in einem deutlich niedrigerem Frequenzbereich als Geräte, die mit Ultraschall arbeiten (127). Auf Grund dieser Tatsache wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass die Schallaktivierung der Ultraschallaktivierung per se unterlegen ist, bezogen auf die Eigenschaft, Debris zu entfernen (93, 128-130).

Diese Tatsache gilt auch, wenn der Kanal eine Krümmung von mehr als 20° vorweist (131). Auch die gewebssauflösende Wirkung des Natriumhypochlorids wird durch die Schall- und Ultraschallaktivierung, im Vergleich zu Fällen, ohne vorhandene Aktivierung, positiv beeinflusst. Von diesen konnte sich jedoch keine als signifikant besser herausstellen (132).

Durch die Schallaktivierung wird nicht nur die Entfernung von Gewebs- und Dentinresten aus dem Wurzelkanal erhöht, sondern auch die Penetrationstiefe der Lösung in die Dentintubuli positiv beeinflusst. Dadurch entsteht eine höhere Keim- und Gewebsreduktion, sowie gleichzeitig eine höhere Bindungsfläche für den, bei der Wurzelfüllung applizierten, Sealer.

Auch dessen Aktivierung, vor dem Einbringen des Wurzelfüllmaterials, steigert seine Penetrationstiefe und vergrößert somit ebenfalls die Bindungsfläche (133).

Weiterhin zeigte sich, dass die postendodontische Schmerzentstehung reduziert werden kann, sobald eine Schallaktivierung stattfindet. Die Wurzelbehandlung als Therapie wurde somit angenehmer für den Patienten und eine medikamentöse Schmerzbehandlung mittels Ibuprofen fand im Anschluss an die Behandlung weniger häufig statt (134).

2.4.7 EDDY-System® (VDW)

Das EDDY-System® der Firma VDW gehört in die Kategorie der schallbetriebenen Aktivierungsform in der Endodontie und hatte seine Markteinführung 2015. Die Idee geht auf den niedergelassenen Zahnarzt Dr. Winfried Zeppenfeld zurück. Der Name EDDY (englisch Strudel) beschreibt den Effekt durch den Kontakt eines Airscalers mit der im Kanal befindlichen Spüllösung, der durch Experimente von Dr. Zeppenfeld festgestellt wurde. Die EDDY Spülspitzen® bestehen aus einem Kunststoffpolyamid und sind dadurch flexibler und substanzschonender als bei der Ultraschallaktivierung verwendeten metallischen Geräte. Da es bei Schwingung im Ultraschallbereich zu starken Dämpfungen der Kunststoffspitzen kommt und somit eine schlechtere Energieübertragung bis an die Spitze stattfinden würde, wurde das System für den Airscaler entwickelt. Dieser schwingt mit der maximalen Schallfrequenz von 6000Hz (135, 136). Die Effektivität dieser Methode ist vergleichbar mit der ultraschallbasiert Technik PUI, bezogen auf die Entfernung von Debris und Smear Layer (137).

2.4.8 EndoActivator® (Dentsply Sirona)

Der EndoActivator® der Firma Dentsply Sirona gehört ebenfalls zu den schallbetriebenen Aktivierungsmethoden. Er besteht aus einem autonomen, drahtlosen Handstück, auf das drei unterschiedliche dicke, farblich gekennzeichnete, flexible Polymeraufsätze gesteckt werden können. Diese unterscheiden sich in ihrer ISO-Größe, sowie ihrem Taper als Maß für die Konizität der Feile. Der kleinste Aufsatz ist gelb und hat eine ISO-Größe von 15 bei einem Taper von 02, der mittlere Aufsatz (rot) eine ISO-Größe von 25 und einen Taper von 04 und der größte Aufsatz (blau) eine ISO-Größe von 35 und ebenfalls einen Taper von 04. Jede einzelne von ihnen hat eine entsprechende Längenmarkierung bei 18mm, 19mm und 20mm. Am Handstück selbst kann zwischen drei unterschiedlichen Frequenzen unterschieden werden: high (10000cpm, bzw. 166,67Hz), medium (6000cpm bzw. 100Hz) und low (2000cpm bzw. 33,33Hz) (138, 139). Studien belegen, dass die vom EndoActivator® ausgelöste Aktivierung der Flüssigkeit und die dadurch entstehende Bewegung der Spülflüssigkeit das Problem des apical vapor locks zu 90% annulliert (90). Zusätzlich wird durch Verwendung dieses Gerätes der, während der Kanalaufbereitung entstandene Smear Layer durch die Spüllösung vermehrt entfernt (140).

Bryce et al. beschreibt, dass durch Variation der Aufsätze und Aktivierungsgeschwindigkeit unterschiedliche Restmassen bei in vitro, mit Kollagen gefüllten und bis ISO 40 und 0,8 Taper, aufbereiteten Kanälen nach Aktivierung vorhanden waren. Dabei war der Aufsatz mit ISO Größe 35 und hoher Aktivierungsgeschwindigkeit effektiver, als alle übrigen in dem Versuch verwendeten Kombinationen (141).

3. Material und Methode

Im Rahmen der Studie wurden Gewebeproben von Schweinepulpen verwendet, um das Auflösungsvermögen von Natriumhypochlorid zu bestimmen. Hierbei wurden sowohl Temperatur als auch Konzentration variiert und zusätzlich zwei verschiedene Schallaktivierungssysteme untersucht. Des Weiteren wurde der pH-Wert auf mögliche Abweichungen im zeitlichen Verlauf untersucht.

3.1 Materialien

Die folgende Liste an Materialien enthält jedes Hilfsgerät, welches zur Durchführung des experimentellen Teils dieser Arbeit benötigt wird. Dabei wird in den nachfolgenden Klammern der Hersteller und dessen Firmensitz genannt.

- Unterkiefer des Schweines (Metzgerei Wolfgang Köppel, Mainz, Deutschland)
- Eppendorfgefäße (Eppendorf, Hamburg, Deutschland)
- Natriumhypochlorid (Apotheke Universitätsmedizin Mainz, Deutschland)
- pH-Streifen (Mereck KGaA, Darmstadt, Deutschland)
- Skalpell (Feather, Osaka, Japan)
- Objektträger (Diagonal, Münster, Deutschland)
- Zellstoffwatte (ZVG Zellstoff-Vertriebs-GmbH & Co, Troisdorf, Deutschland)
- Thermometer (Habor, China)
- Babyflaschenwärmer (NUK, Zeven, Deutschland)
- Spritzen (BD Discardit™ II, Franklin Lakes, USA)
- Lege artis Kanülen (Ilege artis Pharma GmbH & Co.KG, Dettenhausen, Deutschland)
- Stoppuhr (VWR, Radnor, USA)
- EndoActivator (Dentsply Sirona Inc., York, USA)
- EDDY (VDW, München, Deutschland)
- Aluminiumfolie (ja!, Köln, Deutschland)
- Chirurgische Pinzette (Ustomed, Tuttlingen, Deutschland)

- Zahnärztliche Pinzette (Hu-Friedy, Chicago, USA)
- Eppendorfgefäßständer (Eppendorf, Hamburg, Deutschland)
- Feinwaage (Sartorius Micro, Göttingen, Deutschland)
- Winkelstück (Kavo Dental, Bieberach, Deutschland)
- Zahnärztliche Einheit (Sirona, Bensheim, Deutschland)

3.1.1 Spüllösungen

Die in dieser Studie verwendeten Lösungen von NaOCl wurden in den Konzentrationen 0,1%, 1%, 2,5% und 5% in der Apotheke der Universitätsmedizin Mainz hergestellt. Alle Lösungen wurden bei 4° Celsius im Kühlschrank gelagert. EDTA wurde in 17%iger Lösung verwendet und bei Raumtemperatur gelagert. Die für die Versuche benötigte Menge wurde von der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zur Verfügung gestellt.

3.1.2 pH-Streifen

Zur Kontrolle des pH-Wertes wurden in dieser Studie pH-Streifen der Firma Merck verwendet, die in der Augustusapotheke (Langenbeckstraße 4) in Mainz gekauft wurden. Die Darstellung des pH-Wertes der Lösung erfolgt farblich kodiert in ganzen pH-Wert-Schritten in einem Gesamtspektrum von 1 bis 14. Die Farbkodierung ist auf den nachfolgenden Bildern dargestellt.



Abb.1 Darstellung der Farbkodierung für pH-Werte von 0-7



Abb.2 Darstellung der Farbkodierung für pH-Werte von 7-14

3.1.3 Gewebeprobe

In dieser Studie wurde aus den Unterkieferzähnen des Schweines die Zahnpulpa gewonnen und als Gewebeprobe verwendet. Die verwendeten Unterkiefer wurden tiefgefroren beim ortsnahen Metzger gekauft und am selben Tag zur Probengewinnung herangezogen.

3.1.3.1 Gewinnung der Gewebeprobe

Um an das Pulpengewebe zu gelangen wurde der Zahn trepaniert und das Gewebe anschließend aus dem Pulpenkavum exstirpiert. Bis zu seiner Verwendung als Probe innerhalb des Versuches, wurde das Gewebe in 0,9%iger Kochsalzlösung (NaCl) in 2ml Eppendorfgefäßen im Kühlschrank bei 4° Celsius gelagert und stets innerhalb von 72 Stunden verbraucht.

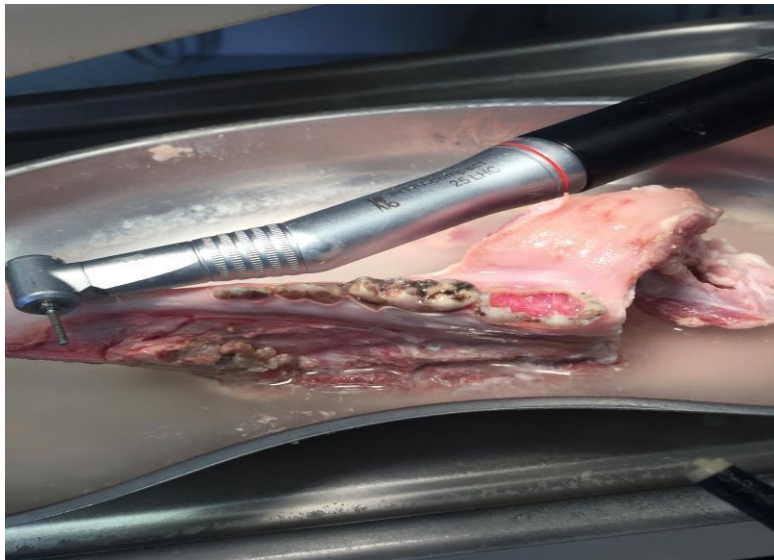


Abb.3 Probengewinnung aus dem Unterkiefer des Schweines

3.2 Methode

Für das Experiment wurden die oben genannten Geräte entsprechend der nachfolgenden Abbildung aufgebaut.



Abb.4 Versuchsaufbau

1. zahnärztliche Pinzette
2. Eppendorfgefäß mit Probe
3. Zellstoffwatte
4. Feinwaage
5. Objektträger
6. Skalpell
7. Spüllösung
8. Lege artis Kanüle
9. Spritze
10. Leeres Eppendorfgefäß im Eppendorfgefäßständer
11. Babyflaschenwärmer
12. Chirurgische Pinzette
13. Thermometer
14. pH-Streifen

3.2.1 Weiterverarbeitung der Gewebsprobe

Während des Versuchsaufbau wurden die gewonnenen Proben mit der zahnärztlichen Pinzette wurde aus dem Eppendorfgesäß eine Probe entnommen und auf die Zellstoffwatte gelegt. Dort ist die Probe so lange durch Drehen und Wenden getrocknet worden, bis nach allseitigem Kontakt mit der Zellstoffwatte keine Flüssigkeitsrückstände mehr sichtbar waren. Anschließend wurde die Gewebsprobe mit Hilfe der Feinwaage gewogen und ggf. auf dem Objektträger mit Hilfe des Skalpell zurechtgeschnitten bis der gewünschte Massenwert erreicht war. Es wurden nie zwei oder mehr Gewebsproben aus einem Zahn innerhalb eines Versuches verwendet.

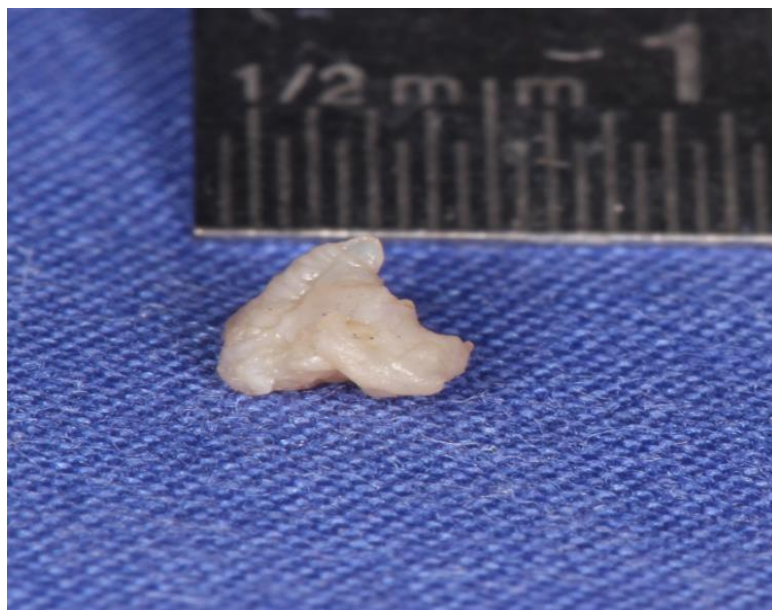


Abb. 5 Gewebsprobe vom Schwein nach dem Trocknen

3.2.2 Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Versuches wurden 1,5 ml der gewünschten Spüllösung, bei entsprechender Temperatur und Konzentration mit Hilfe einer lege artis Kanüle in eine Spritze aufgezogen, in ein neues Eppendorfgesäß überführt und in diesem im Eppendorfgesäßständer platziert worden (vgl. Abb. 5).

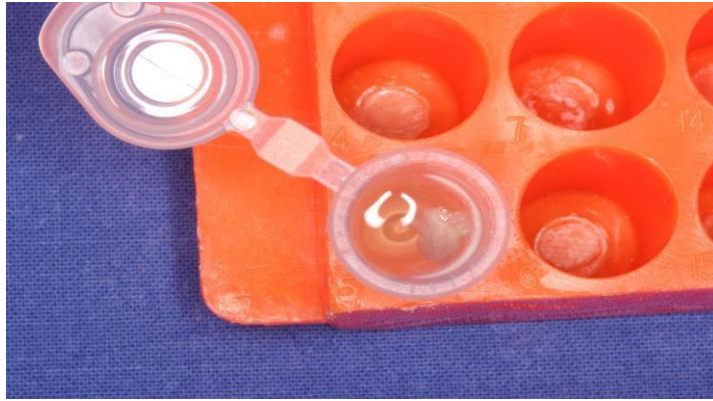


Abb. 6 Gewebprobe in der Lösung zum Versuchsbeginn

Man unterschied hierbei, bezogen auf die Temperatur, zwischen Kühlschranktemperatur (4°C), Raumtemperatur (18°C) und Körpertemperatur (36°C). In Versuchen bei Kühlschranktemperatur wurde die Spüllösung direkt aus dem Kühlschrank in das Eppendorfgefäß überführt. Bei Versuchen unter Raumtemperatur wurde die Spüllösung zuerst für 30 Minuten geschlossen im Raum gelagert und in Versuchen bei Körpertemperatur wurde die Temperatur der Lösung mit Hilfe des Babyflaschenwärmers auf Körpertemperatur erhitzt. Gleichzeitig mit dem Betätigen der Stoppuhr wurde das vorher abgewogene Gewebe mit Hilfe der zahnärztlichen Pinzette in das befüllte Eppendorfgefäß überführt und ggf. aktiviert. Nach einer Minute wurden Aktivierung und Stoppuhr gestoppt und der Rest der sich im Eppendorfgefäß befindlichen Probe (vgl. Abb. 5) mit Hilfe einer der oben genannten Pinzetten entnommen.



Abb. 7 Restgewebe nach einer Minute

Das Restgewebe wurde daraufhin wiederum wie in 3.2.2 beschrieben getrocknet, gewogen, und anschließend kurzzeitig auf dem Objektträger gelegt, woraufhin die zuvor angezeigte Masse notiert wurde. Danach wurde die Gewebeprobe in das bereits verwendete Eppendorfgefäß platziert, die Stoppuhr und entsprechende Aktivierung betätigt und der Versuch fortgesetzt. Der Versuchsdurchlauf endete entweder nach 10 Minuten, oder sobald das gesamte Gewebe im Eppendorfgefäß zersetzt war. Die Messung des pH-Wertes fand zu Beginn des Versuches und nach Ablauf jeder Minute statt und wurde daraufhin ebenfalls notiert (vgl. Abb.6).

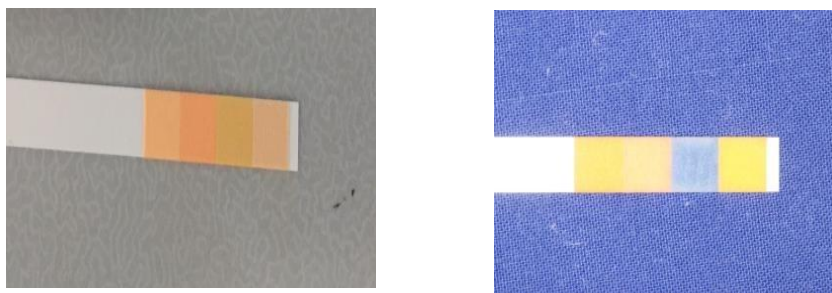


Abb.8 Beispiel der pH-Wert Messung vor der ersten Messung (links) und danach (rechts)

Die Temperatur der Spüllösung wurde vor Beginn jedes Versuches im Eppendorfgefäß gemessen und bei Abweichung von der gewünschten Temperatur entsprechend angepasst. In Versuchen, in denen die Aktivierung durch das EDDY-System® stattfanden, wurde das Eppendorfgefäß mit Alufolie abgedeckt, da es bei Verwendung des EDDYs® zur starken Aufwirbelung der Spüllösungen kam, die in vorher durchgeführten Probeversuchen Teile der Probe und der Flüssigkeit aus dem Behältnis rausgeschleudert wurden sind. In diese Abdeckung wurde ein kleines Loch gestochen, um dadurch den Aktivierungsaufsatz in das Gefäß einzuführen (vgl. Abb. 9).

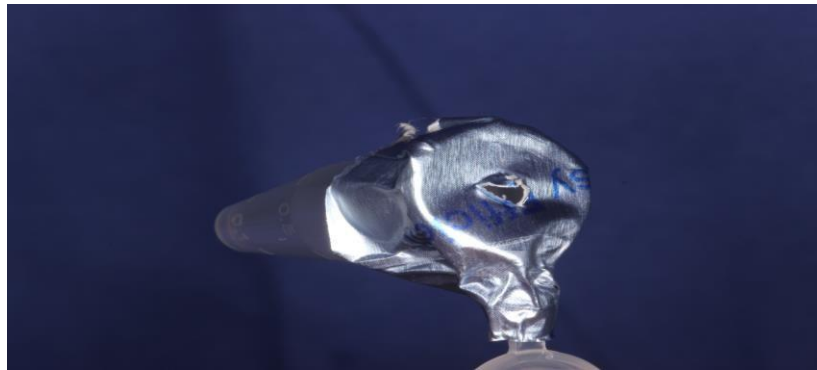


Abb.9 Vorbereitung des Eppendorfgefäßes bei Verwendung des EDDY-Systems® zur Vermeidung von Flüssigkeits- und Gewebsverlusten durch die Aufwirbelung

Es wurde gewährleistet, dass das Loch in der Alufolie gerade groß genug war, sodass es nicht von der EDDY®-Kanüle berührt wurde. Insgesamt wurden vier unterschiedliche Konzentrationen bei drei unterschiedlichen Temperaturen und fünf unterschiedlichen Aktivierungsmethoden verglichen, was zu 60 verschiedenen Versuchsgruppen führte. Jede Versuchsgruppe enthielt fünf Gewebeproben, was zu einer Endsumme von 300 Versuchen mit jeweils ein bis zehn Messungen führte. Zusätzlich wurde einmalig in einem weiteren Versuchsaufbau bei jeder Konzentration überprüft, nach welchem Zeitintervall die sich im Eppendorfgefäß befindliche Probe vollständig aufgelöst hat. Der Versuch wurde zu keinem Zeitpunkt unterbrochen und nach 60 Minuten unabhängig vom Endresultat beendet. Es fand hierbei keine Form der Aktivierung statt. Selbiger Versuch fand mit EDTA als Spüllösung statt, um diesen Stoff auf mögliche gewebsauflösende Eigenschaften zu untersuchen.

Als Referenzlösung für jeden Versuchsdurchgang wurde NaCl verwendet.

3.3. Statistik

Die während des experimentellen Teils erhobenen Daten, der in 4.2 beschriebenen 303 Versuche wurden in Excel Tabellen Version 2016 (Microsoft, Redmond, USA) dokumentiert und für die statistische Auswertung in SPSS übertragen. Anschließend wurde aus den fünf Proben bei bestimmter Konzentration, Aktivierung und Temperatur zu jedem gemessenen Zeitpunkt der Mittelwert erhoben und die Gesamtheit dieser Mittelwerte in Form von Liniendiagrammen für jeden Versuch dargestellt. Diese Liniendiagramme haben alle die Zeit auf der x-Achse und die Masse der Gewebeprobe als y-Achse. Ein Einflussfaktor -

Temperatur, Konzentration, oder Aktivierung- ist für mehrere Grafiken konstant und taucht im Graphen selbst nicht auf. Der Zweite wird bezüglich aller seiner Werte farblich differenziert dargestellt, während die letzte Größe in aufeinanderfolgenden Abbildungen variiert. Die Auswertung der Daten und das Erstellen der Grafiken erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik der Universitätsmedizin Mainz.

4. Ergebnisse

Innerhalb dieses Abschnittes werden die ermittelten Ergebnisse sowohl graphisch als auch deskriptiv beschrieben. Der grafische Teil besteht aus Liniendiagrammen. Auf der x-Achse wird kontinuierlich die Zeit (Minuten) dargestellt, während die y-Achse, je nach untersuchtem Faktor, die Masse (Milligramm), oder den pHWert darstellt.

4.1 Beeinflussung der Gewebsauflösung durch NaOCl

In diesem Teil der Arbeit wird die Abhängigkeit der Effektivität des NaOCl's von den Faktoren Aktivierung, Temperatur und Konzentration dargestellt. Die Stärke des Effektes, sowie dessen Abhängigkeit von den Faktoren Temperatur, Konzentration und Aktivierung werden im weiteren Verlauf anhand von Grafiken aufgezeigt und beschrieben.

4.1.1 Effektivität des NaOCl's ohne Aktivierung und einminütiges wiegen bei 4°C

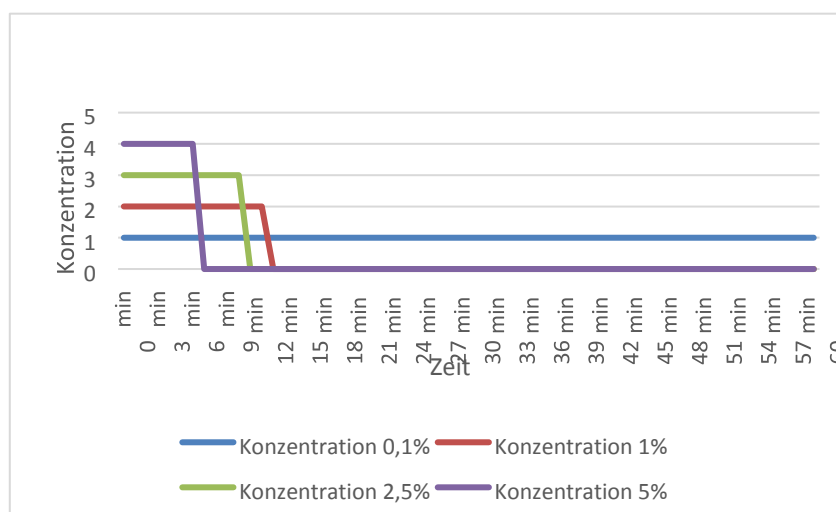


Abb.10 Gewebsauflösung von NaOCl ohne Aktivierung und minütiges wiegen bei 4°C

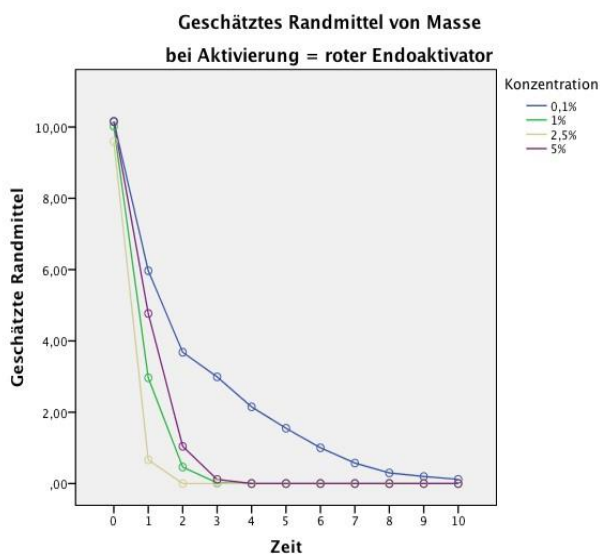
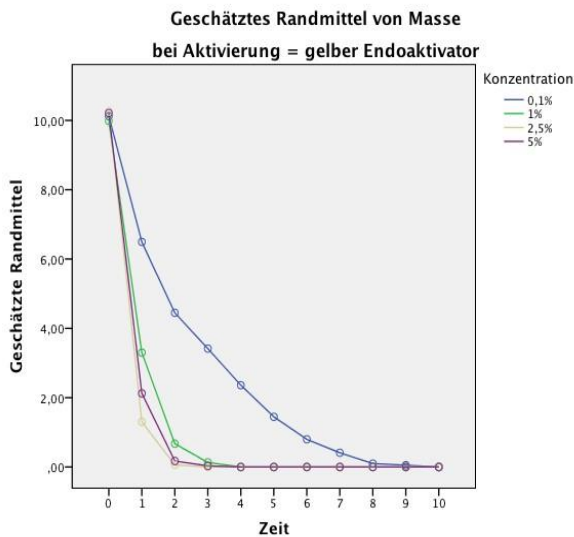
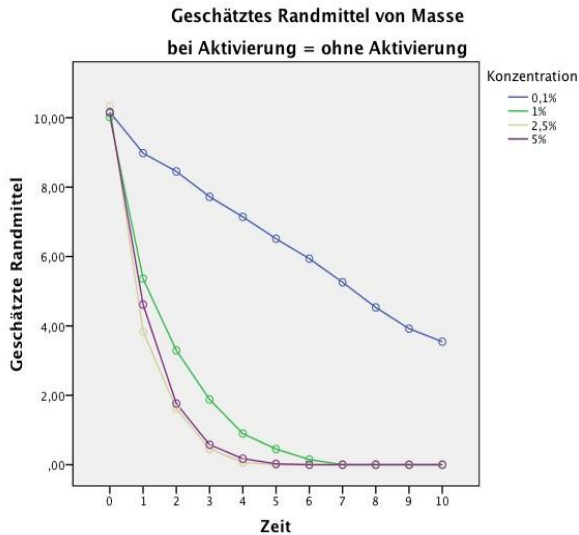
In Abbildung 10 sieht man den zeitlichen Verlauf des Versuches, bei dem die Probe über den gesamten Versuchszeitraum nicht aktiviert oder aus dem Eppendorfgemisch entfernt wurde bei einer Lösungstemperatur von 4°C. Da zu keinem Zeitpunkt in den Versuch eingegriffen wurde erfolgte das Vorhandensein der Restprobe visuell. Jeder Konzentration wurde ein spezifischer Wert von 1-4 zugeteilt um eine grafische Differenzierung zu ermöglichen. War nach Ablauf einer Minute noch Restgewebe vorhanden, so wurde der entsprechende Wert der Konzentration notiert, falls nicht wurde der entsprechende Wert durch die Null ersetzt. Der Versuch endete automatisch nach 60 Minuten mit anschließend Bestimmung der Restmasse, oder sobald die gesamte Probe zersetzt war. Die Anfangsgewichte der Proben betragen 9,76mg bei der 0,1%igen Lösung, 9,54mg bei der 1%igen Lösung, 10,24mg bei der 2,5%igen Lösung und 10,59mg bei der 5%igen Lösung. Aus der Abbildung geht hervor, dass bei allen Konzentrationen, mit Ausnahme der niedrigsten Konzentration, die Gewebeprobe innerhalb der vorgegebenen Zeit vollständig zersetzt wurde. Das Restgewicht der Probe in der 0,1%igen Lösung betrug nach Ablauf der Versuchszeit 5,55mg, was zeigt, dass auch bei der niedrigen Konzentration eine gewebesaflösende Wirkung vorhanden ist. Die Zersetzungsgeschwindigkeit nahm mit Erhöhung der Konzentration zu. So war die Probe bei der 5%igen Lösung bereits nach 7 Minuten, bei der 2,5%igen Lösung nach 11 Minuten und bei der 1%igen Lösung nach 13 Minuten visuell nicht mehr nachweisbar.

4.1.2 Konstante Lösungstemperatur

In diesem Kapitel wird der im experimentellen Teil beobachtete Einfluss der Konzentration bei verschiedenen Aktivierungsmethoden und jeweils konstanter Temperatur auf die gewebesaflösende Wirkung von Natriumhypochlorid beschrieben.

4.1.2.1 Konstante Lösungstemperatur von 4°C

Bei den nachfolgenden fünf Graphen beträgt die Temperatur durchgehend 4°C. Die unterschiedlichen Konzentrationen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während die Aktivierung für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildungen genannt wird.



Man erkennt in den Abbildungen deutlich, dass generell durch eine Variation der Konzentration eine Steigerung der Gewebauflösenden Wirkung des NaOCl's erreicht werden kann. Diese ist ohne Aktivierung für die Konzentrationen von 2,5% und 5% annähernd identisch. Im Falle einer zusätzlichen Aktivierung sieht man einen deutlich schnelleren Abfall aller Funktionen, wobei auch hier der Zusammenhang mit der Konzentration noch gegeben ist. Der Verlauf der Grafen ist bei der Verwendung der unterschiedlichen Aufsätze des EndoActivators® einigermaßen identisch. Auffällig ist jedoch, dass die am höchsten konzentrierte Lösung nie auffällig am besten, und bei Verwendung des roten Aufsatzes sogar in den ersten zwei Minuten schlechter in der Gewebauflösung, als die beiden nächstschwächeren Konzentrationen zu sein scheint. Darüberhinaus schaffen es der rote und der blaue Aufsatz als einzige Formen der Aktivierung nicht, bei allen Konzentrationen die Gewebeproben innerhalb der

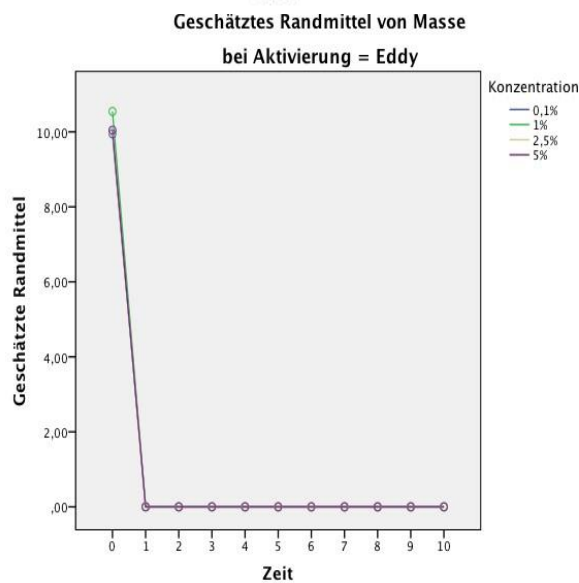
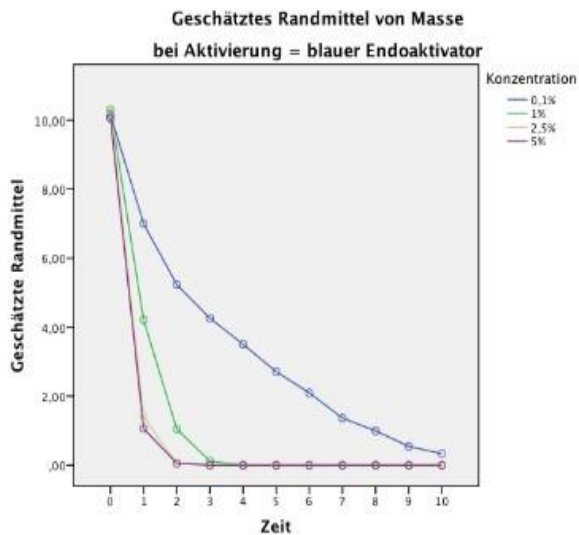


Abb. 11-15
Gewebsauflösung bei 4°C

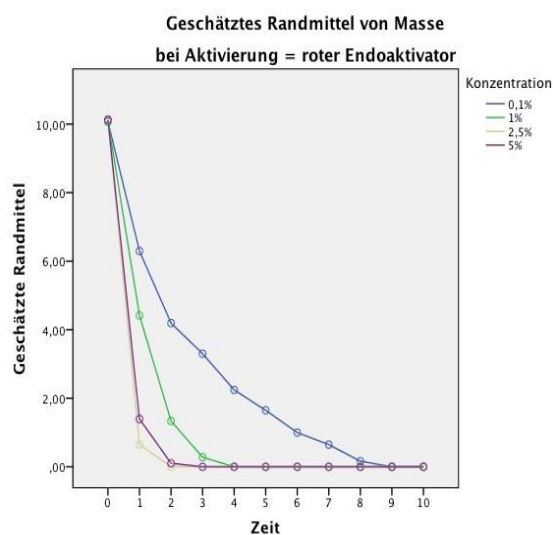
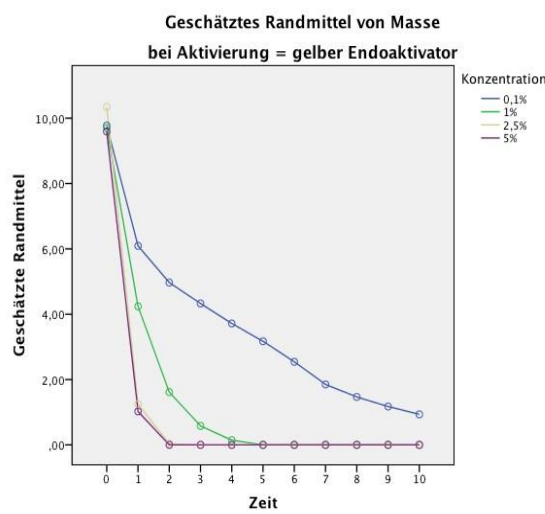
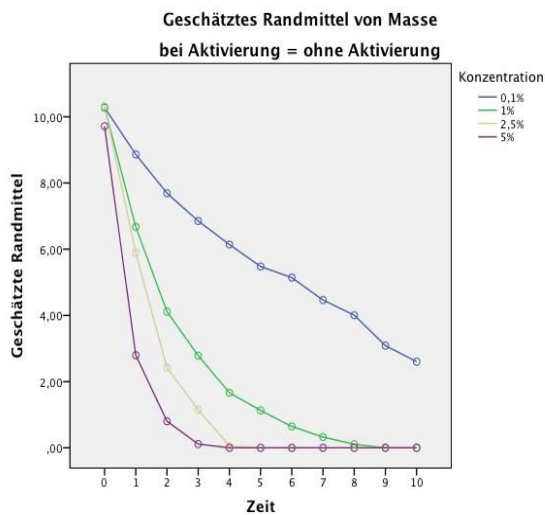
vorgeschriebenen Zeit vollständig aufzulösen.

Betrachtet man den Versuchsdurchlauf des EDDY`s®, so sieht man, dass unabhängig von der Konzentration der Lösung die Probe immer nach der ersten Versuchsminute vollständig zersetzt ist.

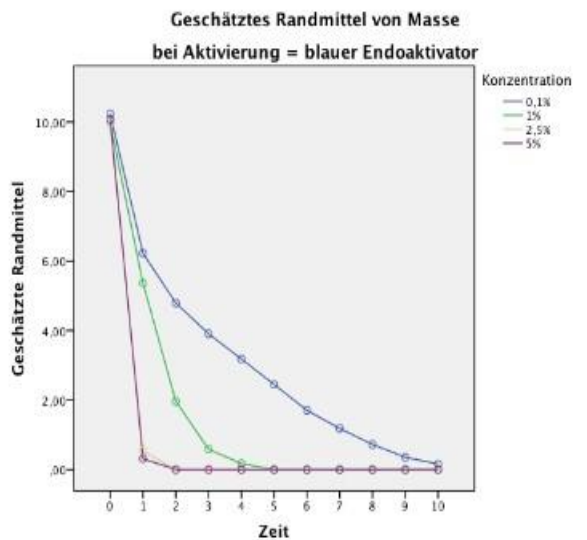
4.1.2.2 Konstante Lösungstemperatur von 20°C

Bei den nachfolgenden fünf Graphen ist die Temperatur durchgehend bei 20° C. Die unterschiedlichen Konzentrationen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während die Aktivierung für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildungen genannt wird.

Man erkennt aus den folgenden Abbildungen erneut, unabhängig von Konzentration und Aktivierung, durchgehend fallende Grafen. Bezogen auf den Einfluss der Konzentration beobachtet man einzig im Versuch des roten Aufsatzes des



EndoActivators® bei der ersten Messung, dass die 5%ige Lösung zu diesem Zeitpunkt weniger Gewebe zersetzt hat als die 2,5%ige Lösung. Zu allen anderen Zeitpunkten in den beschriebenen Versuchen ist die 5%ige Lösung sonst nie die zweiteffektivste. Betrachtet man die Grafiken des Versuches ohne Aktivierung und mit Aktivierung durch den EndoAktivator®, so erkennt man unabhängig vom Aufsatz stets steilere Graphen. Die 0,1%ige Lösung schafft es nicht, sowohl beim roten als auch beim blauen Aufsatz die verwendete Gewebsprobe innerhalb der Versuchszeit vollständig aufzulösen. Innerhalb der einzelnen Gruppen des Endoaktivators® fällt auf, dass der rote Aufsatz leicht besser in der Auflösung ist, da er bereits nach 4 Minuten bei einer Lösungskonzentration von 1% die vollständige Gewebszersetzung erreicht. Für das selbe Resultat benötigen die anderen Aufsätze eine Minute länger. Im Vergleich zum EndoAktivator®



zeigt der EDDY® wieder die absolute Auflösung nach einer Minute, unabhängig von der Konzentration.

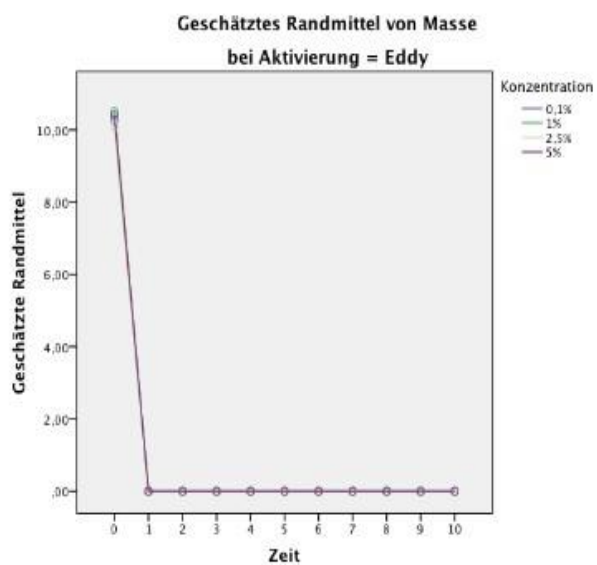
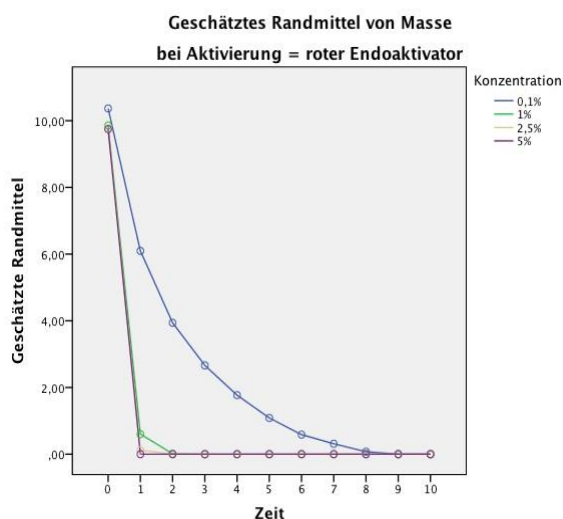
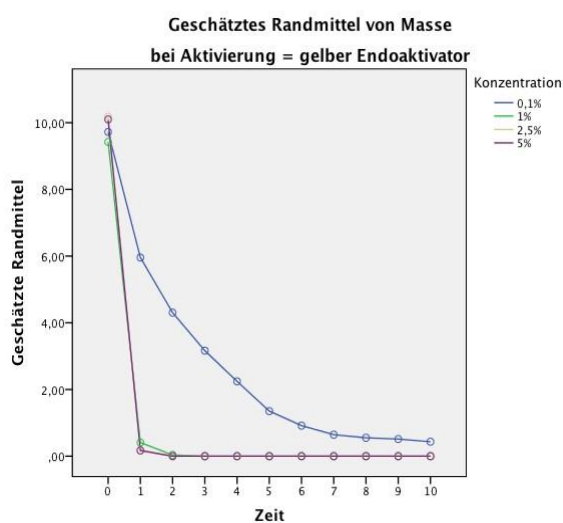
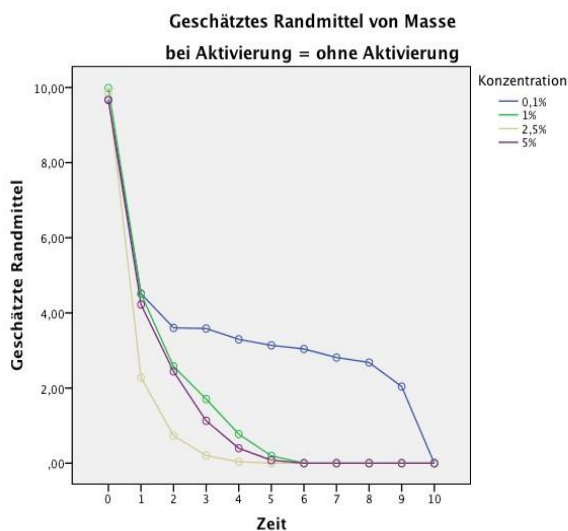


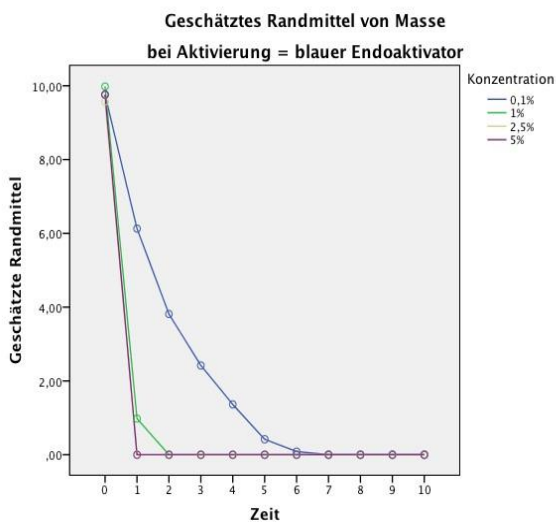
Abb. 16-20 Gewebsauflösung bei 20°C

4.1.2.3 Konstante Lösungstemperatur von 37° C

Bei den nachfolgenden fünf Graphen ist die Temperatur als konstanter bei 37°C gewählt. Die unterschiedlichen Konzentrationen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während die Aktivierung für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildungen genannt wird.



Auch in dieser Versuchsreihe fallen kontinuierlich alle Massewerte unabhängig von den einzelnen Faktoren durchgehend ab. Es fällt auf, dass die Funktionen der Lösung mit einer Konzentration von 2,5% sich kaum von denen der 5%igen Lösung unterscheiden bzw. im Versuch ohne Aktivierung effektiver ist. Auch zeigt sich, dass durch Verwendung einer Aktivierung der Abfall der Funktionen durchgehend stärker ist, als bei dem Versuch ohne Aktivierung. Beim Vergleich der unterschiedlichen Aufsätze des EndoActivators® ist für die Konzentration 1%, 2,5% und 5% kein Unterschied festzustellen. Die 0,1%ige Lösung hingegen zersetzt mit Hilfe des gelben Aufsatzes das Gewebe innerhalb der Versuchszeit nicht vollständig, wohingegen dies bei den anderen Aufsätzen gelingt. Am effektivsten hierbei ist der blaue Aufsatz, da bei seiner Verwendung sich das Gewebe bereits nach sieben Minuten vollständig aufgelöst hat, wofür beim Gebrauch des roten Aufsatzes acht Minuten benötigt wurden. Bei Verwendung des EDDY`s® fallen alle Funktion mit



der ersten Messung auf den Nullwert. Dies gelingt ansonsten nur bei Verwendung des roten Aufsatzes des EndoActivators® und der 5%igen Konzentration, sowie der 2,5%igen und 5%igen Konzentration mit Hilfe des blauen Aufsatzes.

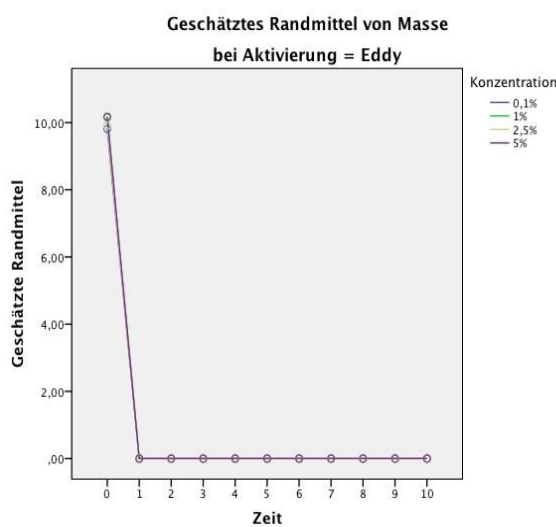


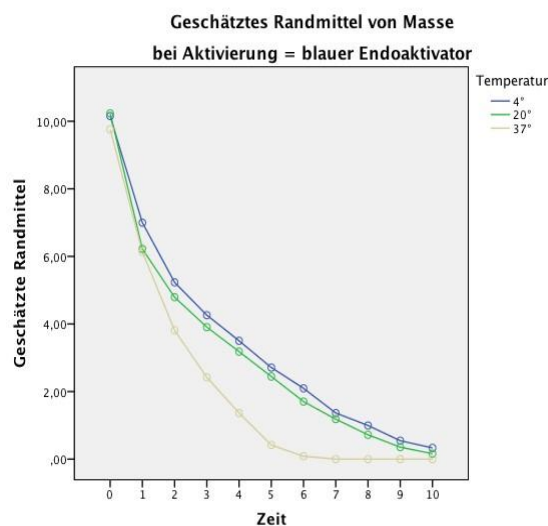
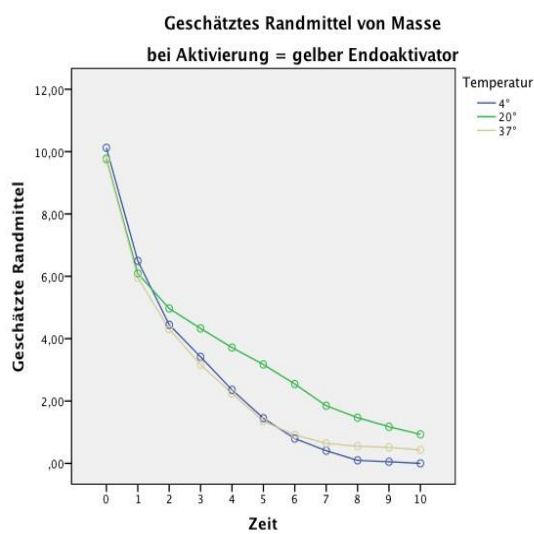
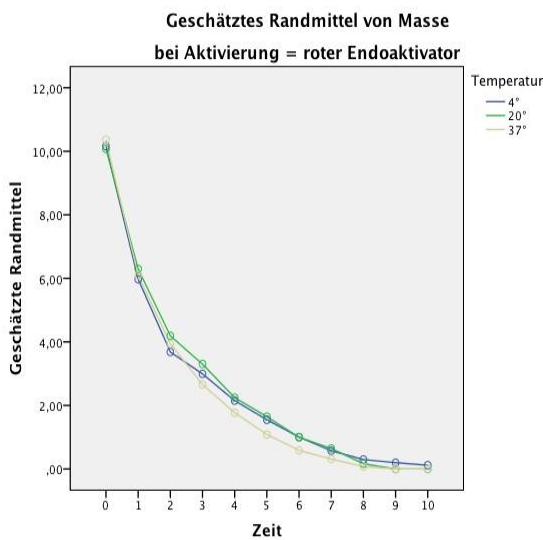
Abb. 21-25 Gewebsauflösung bei 37°C

4.1.3 Konstante Konzentration des NaOCl's

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Temperaturerhöhung bei unterschiedlichen Aktivierungsmethoden auf die gewebsauflösende Wirkung des NaOCl's beschrieben, während die innerhalb einer Versuchsreihe konstant bleibt.

4.1.3.1 Konstante Konzentration des NaOCl's von 0,1%

Bei den nachfolgenden fünf Graphen ist die Konzentration mit 0,1% konstant. Die unterschiedlichen Temperaturen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während die Aktivierung für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.



Demnach zeigen die Abbildung den Einfluss der Temperatur auf die Gewebsauflösung in Abhängigkeit von der entsprechenden Aktivierung. Ohne stattgefundenene Aktivierung fällt der Graph der höchsten Temperatur (37°C) am stärksten ab und erreicht nach Abschluss des Versuches als einziger die vollständige Zersetzung der Probe. Der Graph der Lösung mit 20°C fällt über den gesamten Versuchszeitraum etwas stärker ab als der Graph der niedrigsten Lösungstemperatur (4°C). Verwendet man als Aktivierungsmethode den EndoActivator® so führt die Temperaturerhöhung bei Verwendung des gelben Aufsatzes zu keiner Verbesserung der Zersetzung. Diese wäre in dem Fall bei 4°C am höchsten. Bei Verwendung des roten Aufsatzes verlaufen die drei Funktionen so dicht aneinander, dass ein vergleichbarer Nutzen, wie im Versuch ohne Aktivierung, an dieser Stelle nicht beobachtet werden kann. Die Verwendung des blauen Aufsatzes zeigt,

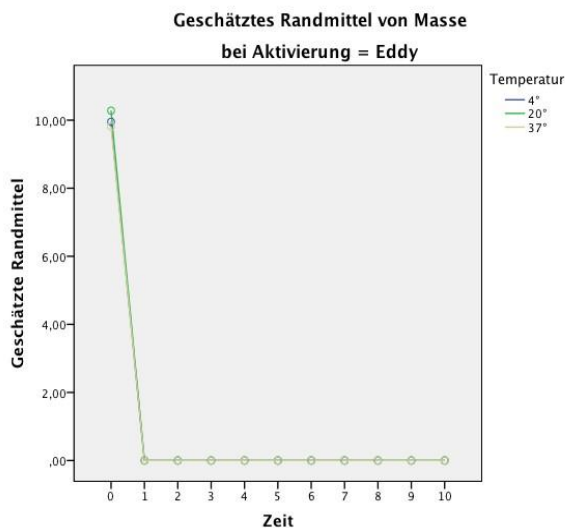


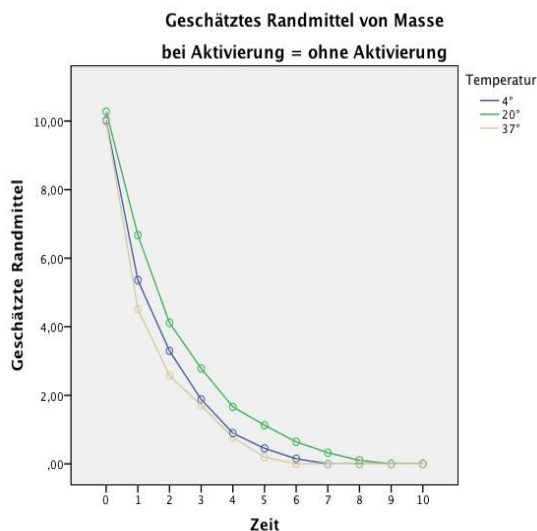
Abb.26-30 Gewebsauflösung bei 0,1%

dass in diesem Fall eine Erhöhung der Lösungstemperatur auf 37°C einen Einfluss auf die Effektivität des NaOCl's zu haben scheint, während dieser Effekt bei einem Anstieg der Temperatur auf 20°C kaum vorhanden ist. Kommt statt des EndoActivators® der EDDY® zum Einsatz, wird keine

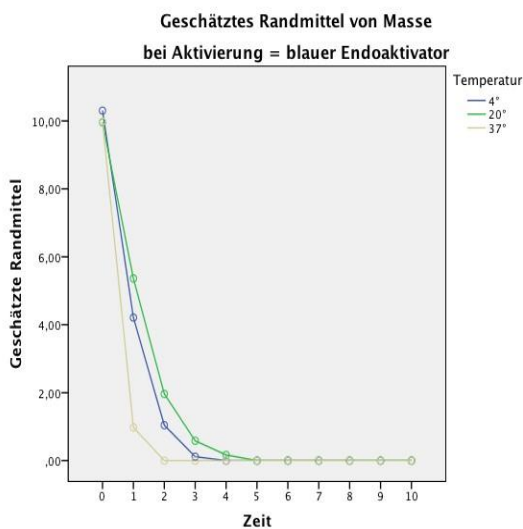
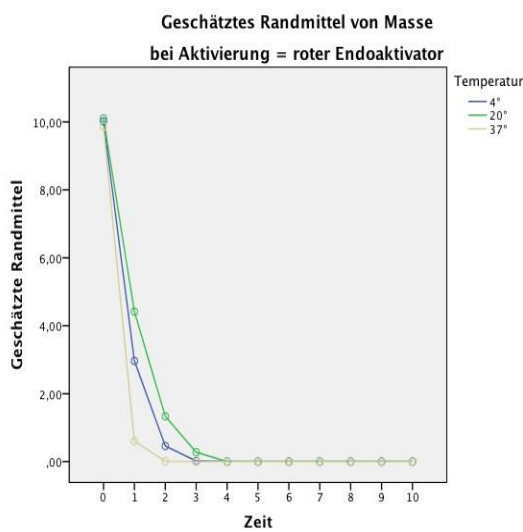
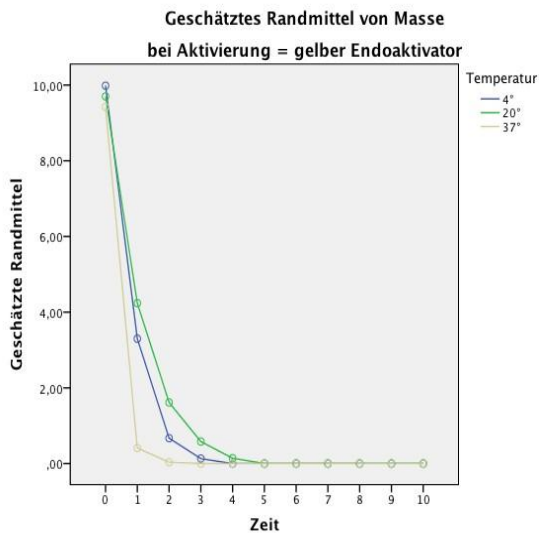
Steigerung der Effektivität durch eine Veränderung der Temperatur beobachtet, da alle Graphen zum Zeitpunkt der ersten Messung bereits den Nullwert erreicht haben.

4.1.3.2 konstante Konzentration des NaOCl's von 1%

Bei den nachfolgenden fünf Graphen ist die Konzentration der Lösung konstant bei 1%. Die unterschiedlichen Temperaturen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während die Aktivierung für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.



Man erkennt in dieser Versuchsreihe, dass wenn keine Aktivierung der Lösung stattgefunden hat, die negative Steigung des Graphens proportional zur Temperatur verläuft.



Auch bei Verwendung des EndoAktivators ist dieser Effekt unabhängig von dem verwendeten Aufsatz zu beobachten. Ein Unterschied durch die Variation des Aufsatzes ist in dieser Versuchsreihe nicht zu beobachten. Bei Verwendung des EDDY's erreichen alle Graphen nach der ersten Messung den Nullwert und zeigen demnach keine Unterschiede bezüglich der Temperatur der verwendeten Lösung.

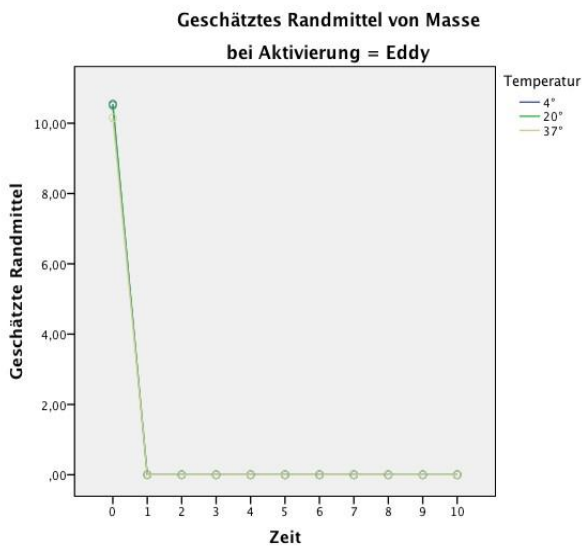
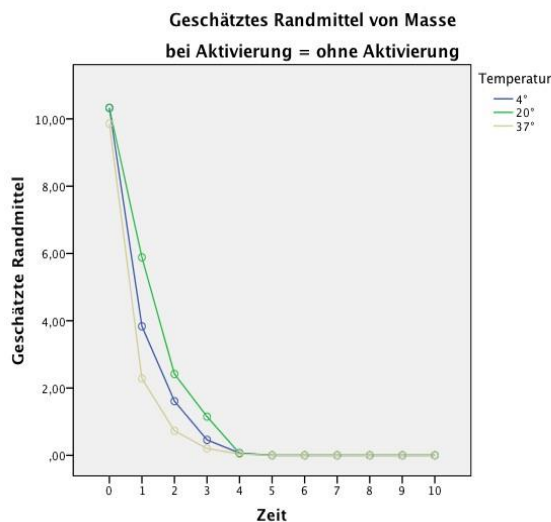


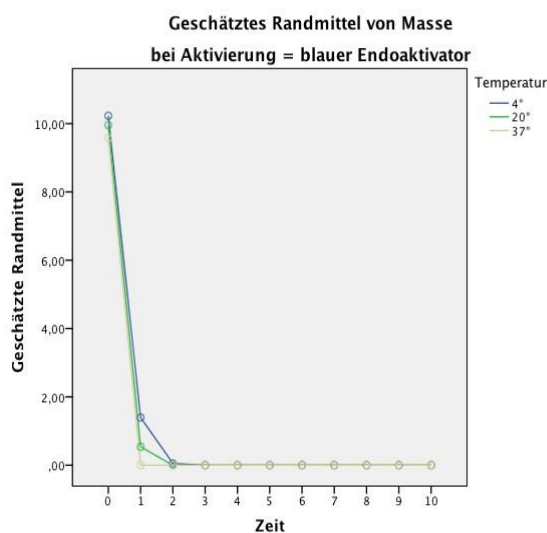
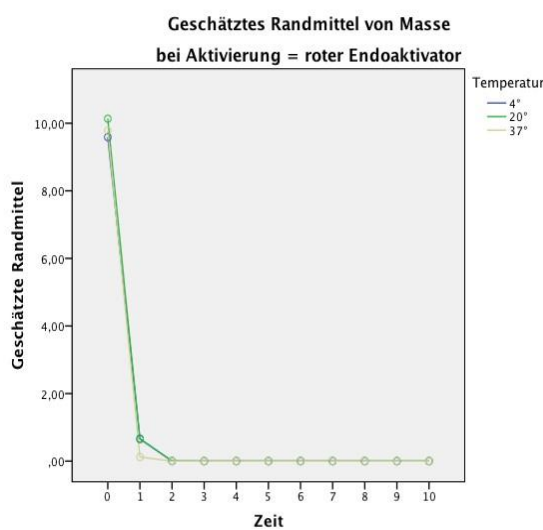
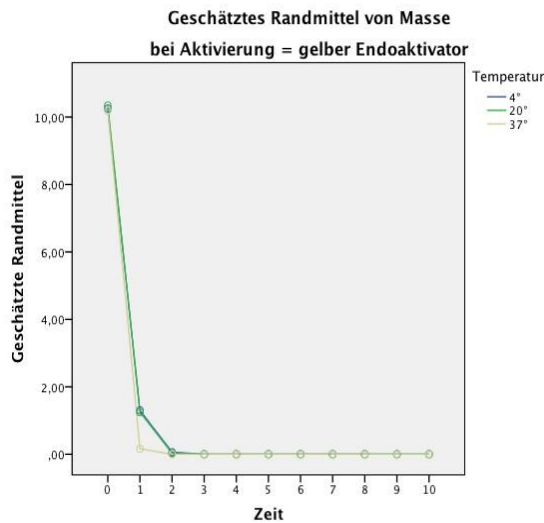
Abb. 31-35 Gewebsauflösung bei 1%

4.1.3.3 Konstante Konzentration des NaOCl's von 2,5%

Bei den nachfolgenden fünf Graphen ist die Konzentration der Lösung konstant bei 2,5%. Die unterschiedlichen Temperaturen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während die Aktivierung für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.



Man beobachtet beim Versuch ohne stattgefundenene Aktivierung einen direkten Einfluss der Temperaturerhöhung auf die gewebsauflösende Wirkung des NaOCl's. Erkennbar wird dies durch die Zunahme der negativen Steigung der Graphen in Abhängigkeit von der Temperatur. Dieser Effekt ist ebenfalls bei Verwendung des EndoActivators® zu beobachten. Auffällig hierbei ist, dass dieser Effekt bei



Verwendung des gelben und roten Aufsatzes ausschließlich für die auf 37°C erwärmte Lösung zutrifft, während die Funktion der 20°C warmen Lösung identisch mit der 4°C warmen Lösung verläuft. Bei Benutzung des blauen Aufsatzes kann dieser Einfluss bei jeder Temperatur beobachtet werden. Bei der Verwendung des EDDYs® konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden, da alle Funktionen beim ersten Messzeitpunkt bereits den Nullwert erreicht hatten. Gleiches gilt auch bei Verwendung des blauen Aufsatzes des Endoaktivators® und der höchsten Lösungstemperatur, wohingegen bei den anderen Temperaturen und Aufsätzen zum selben Zeitpunkt immer Reste der Probe vorhanden waren und die entsprechenden Graphen erst am zweiten Messzeitpunkt den Nullwert erreicht.

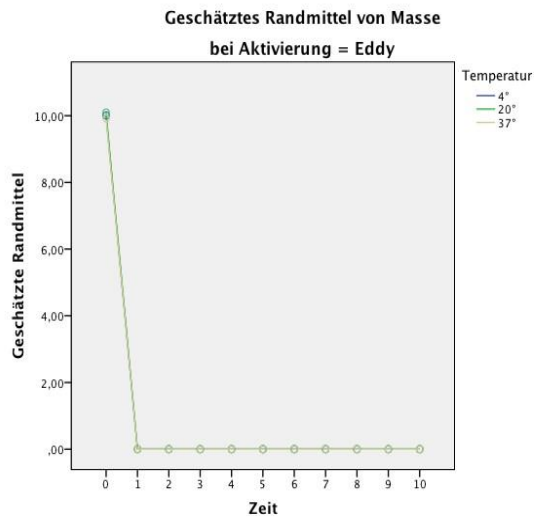
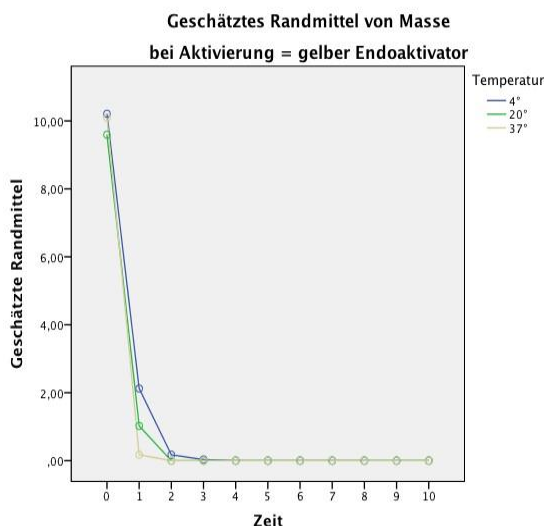
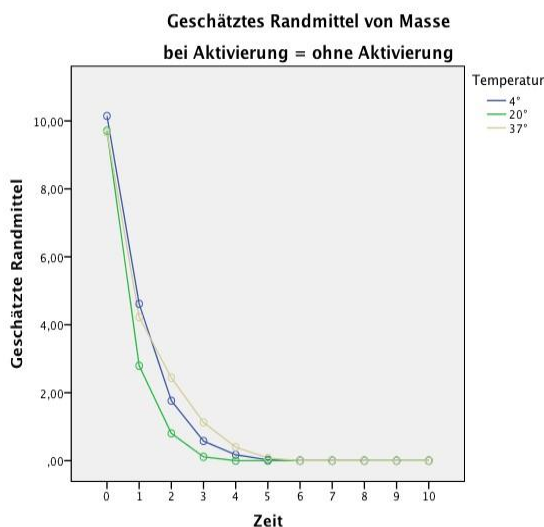


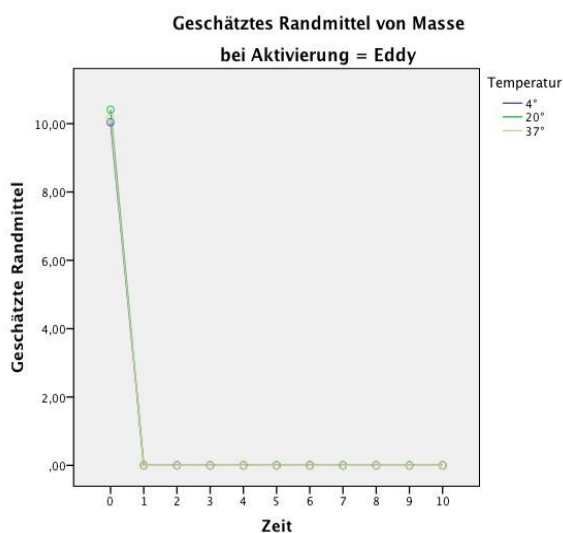
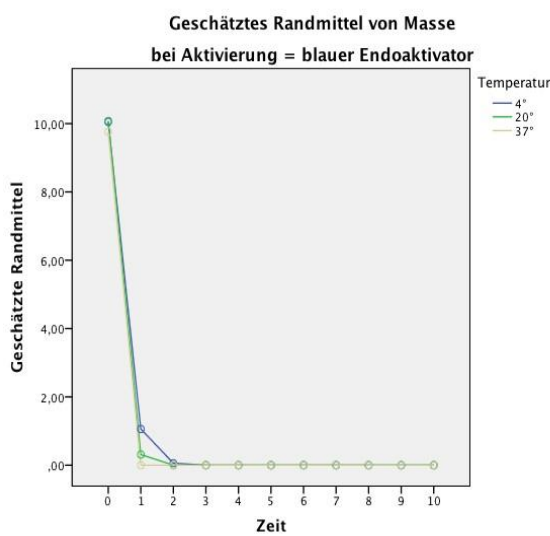
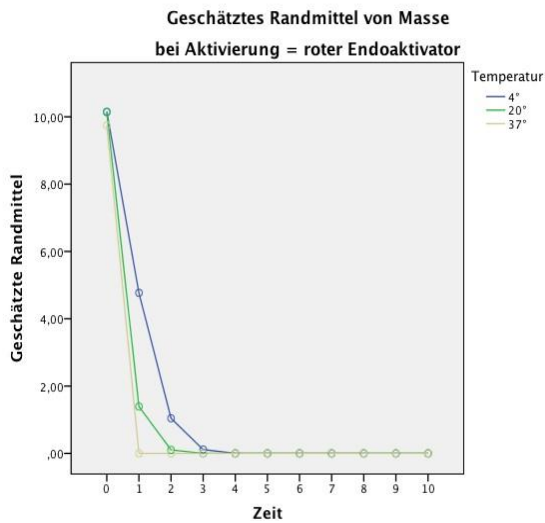
Abb. 36-40 Gewebsauflösung bei 2,5%

4.1.3.4 Konstante Konzentration des NaOCl's von 5%

Bei den nachfolgenden fünf Graphen ist die Konzentration als konstanter Faktor nicht genannt. Diese beträgt durchgehend 5%. Die unterschiedlichen Temperaturen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während die Aktivierung für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.



In dem Versuch ohne stattgefundenene Aktivierung kann man keinen Einfluss der Temperaturerhöhung auf die gewebsauflösende Wirkung des NaOCl's feststellen, da die Lösungstemperatur von 20°C die besten Ergebnisse erzielt, gefolgt von der niedrigsten Temperatur. Bei Verwendung des EndoActivators® als Aktivierungsmethode lässt sich ein positiver Effekt auf die Wirksamkeit des NaOCl's unabhängig vom Aufsatz nachweisen. So ist der Graph mit der höchsten negativen Steigung immer derjenige, der die



höchste Lösungstemperatur beschreibt, gefolgt von der nächstniedrigeren Temperatur. Die Verwendung des EDDY`s® ermöglicht keine Auskunft über einen potentiellen Effekt der Temperatur, da sämtliche Proben bereits am ersten Messzeitpunkt aufgelöst waren. Eine gleichhohe Wirksamkeit des NaOCl`s kann auch bei Verwendung des roten und blauen Aufsatzes des EndoActivators® und der höchsten Lösungstemperatur beobachtet werden.

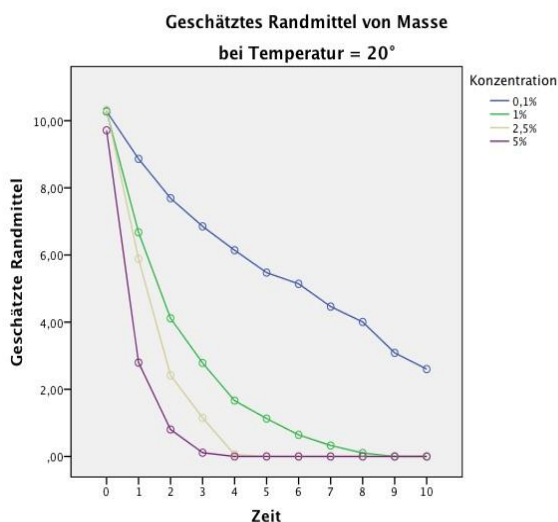
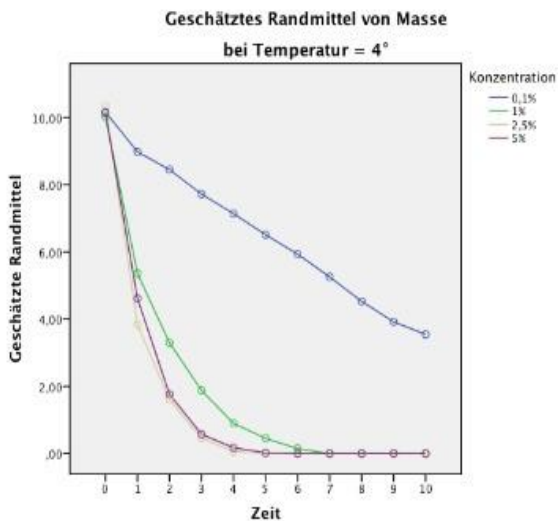
Abb. 41-45 Gewebsauflösung bei 5%

4.1.4 Konstante Aktivierung der Spüllösung

Im nachfolgenden Kapitel wird der Einfluss der Konzentration in Abhängigkeit von unterschiedlichen Temperaturen und konstanter Aktivierungsmethodik, auf die gewebssauflösende Wirkung des NaOCl's beschrieben.

4.1.4.1 Keine Aktivierung der Spüllösung

Die nachfolgenden drei Graphen zeigen Versuche, in denen zu keinem Zeitpunkt irgendeine Form der Aktivierung stattgefunden hat, was den konstanten Faktor dieser Versuchsreihe beschreibt. Die unterschiedlichen Konzentrationen der Lösungen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während ihre jeweilige Temperatur für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.



An Hand der Graphen kann man einen direkten Einfluss der Konzentration der Lösung und ihrer Wirksamkeit beobachten. Auffällig ist, dass die Funktion der 0,1%igen Lösung bei den niedrigeren Temperaturen als einzige einen linearen Verlauf beschreibt, während die übrigen Funktionen exponentiell verlaufen. Bei einer Temperatur der Lösung von 37°C hingegen fällt der Graph beim ersten und letzten Messzeitpunkt stark ab, wohingegen er sonst linear verläuft. Auch ist dies die einzige Temperatur, in der alle Proben zum Abschluss des Versuches vollständig zersetzt

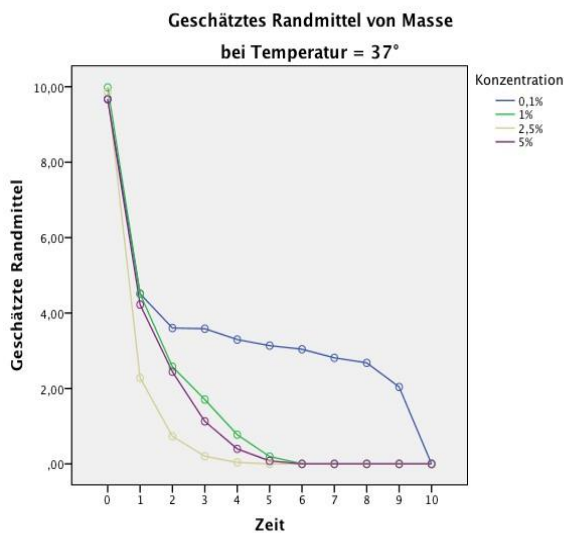
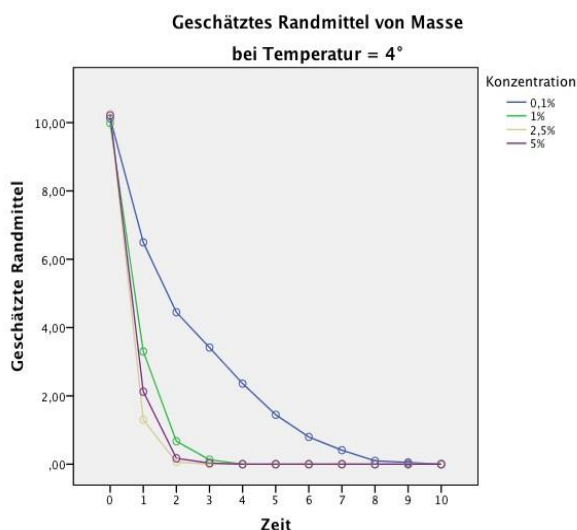


Abb. 46-48 Gewebsauflösung ohne Aktivierung

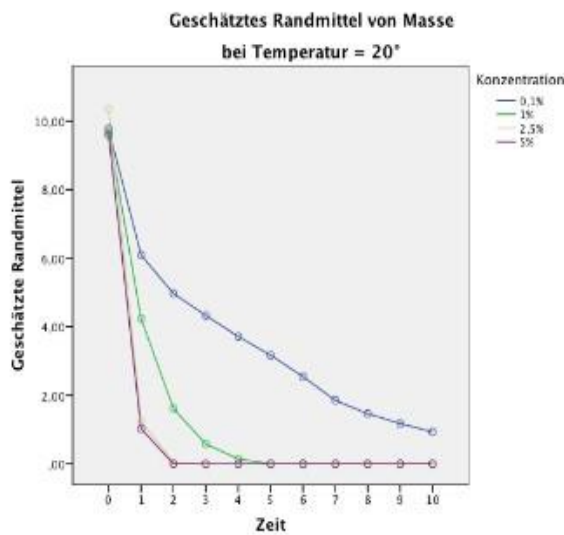
wurden. Am deutlichsten wird die Wirkung der Konzentration bei einer Versuchstemperatur von 20°, da in diesem Fall die negative Steigung der Kurven proportional zur Konzentration der Lösungen sind. Bei 4°C hingegen ist kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden höchsten Konzentrationen zu erkennen, während bei 37°C die 2,5%ige Lösung effektiver ist als die 5%ige.

4.1.4.2 Aktivierung der Spüllösung mittels EndoActivator® und gelbem Aufsatz

Bei den nachfolgenden drei Graphen fand die Aktivierung stets mit Hilfe des Endoaktivators® und seines gelben Aufsatzes statt, welche als konstanter Faktor gilt. Die unterschiedlichen Konzentrationen der Lösungen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während ihre jeweilige Temperatur für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.



In allen hier dargestellten Versuchen ist ein Zusammenhang zwischen der Konzentration und der Effektivität der NaOCL`S nachvollziehbar. Unabhängig von der Temperatur der Lösung fällt der Graph der 0,1%igen Lösung stets am langsamsten und erreicht einzig bei der 4°C warmen Lösung im Verlauf des Versuches die vollständige Gewebsauflösung. Die



Funktionen der übrigen Konzentrationen verlaufen ähnlich, wobei bei 20°C und 37°C kein Unterschied zwischen der 2,5%igen und 5%igen Lösung festgestellt werden kann. Auffällig ist, dass bei 4°C die zweihöchste Konzentration anfangs effektiver ist, als die höchste.

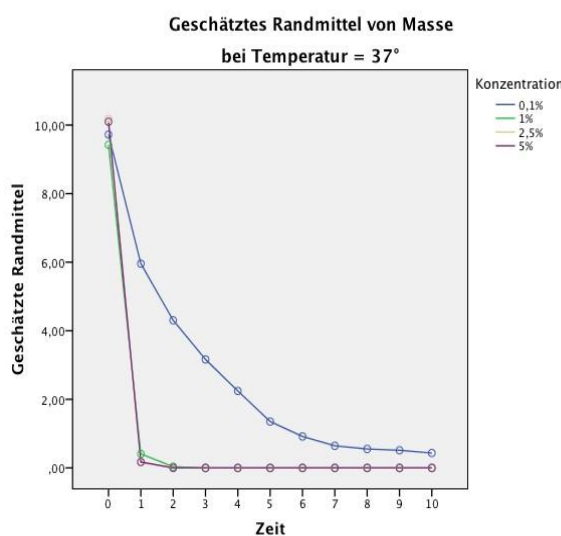
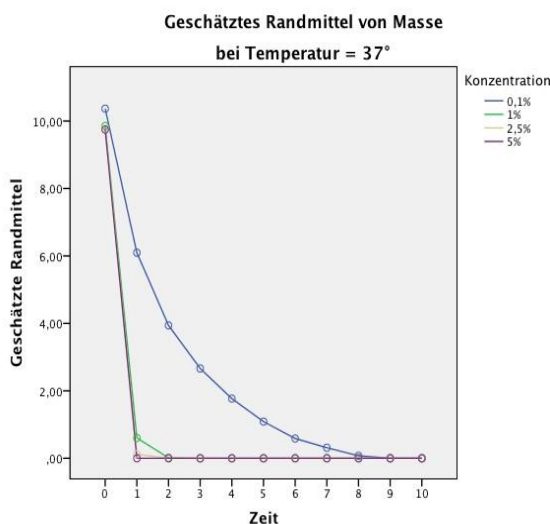
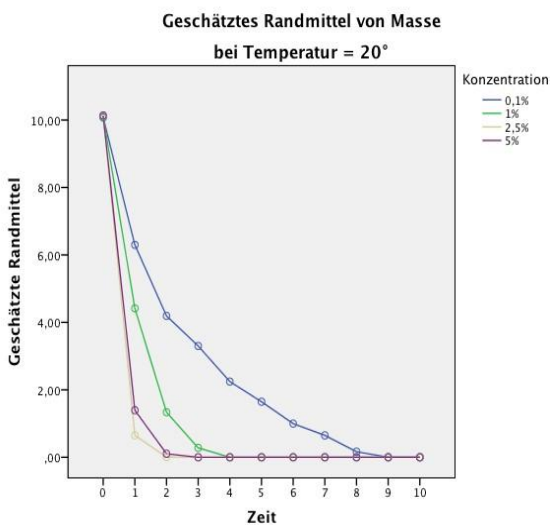
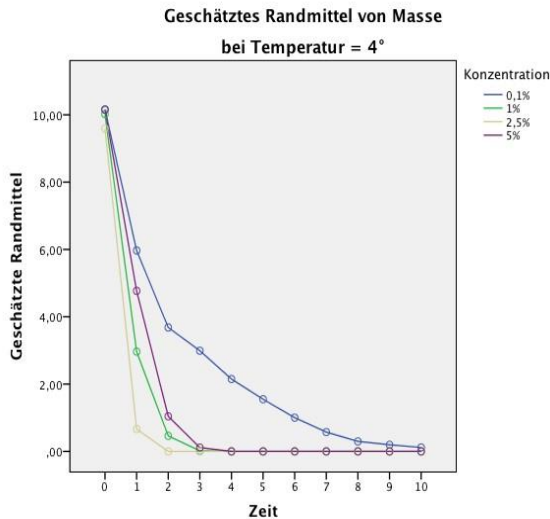


Abb. 49-51 Gewebsauflösung bei Aktivierung mit dem gelben Aufsatz

4.1.4.3 Aktivierung der Spüllösung mittels EndoActivator® und rotem Aufsatz

Bei den nachfolgenden drei Graphen fand die Aktivierung mit Hilfe des EndoActivators® und seines roten Aufsatzes statt, welche als Konstante gilt. Die unterschiedlichen Konzentrationen der Lösungen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während ihre jeweilige Temperatur für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.

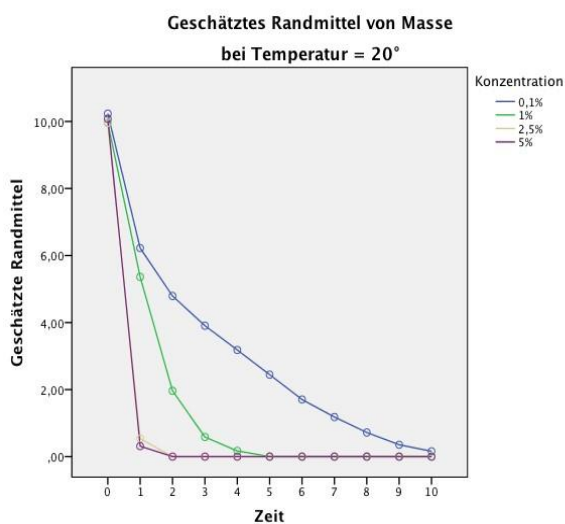
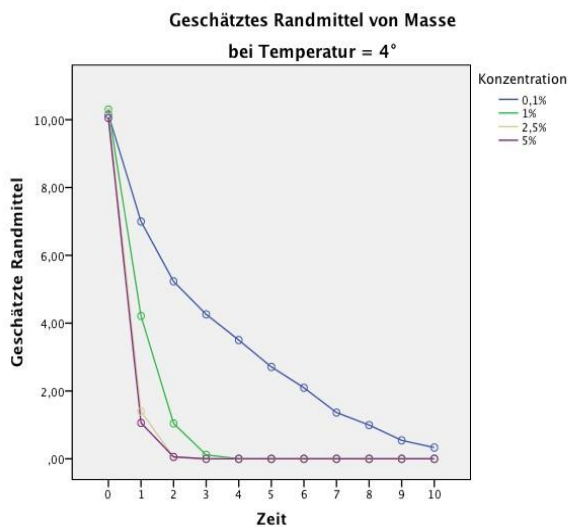


In dieser Versuchsreihe konnte einzig bei einer Lösungstemperatur von 37°C ein Zusammenhang zwischen der Konzentration der Lösung und der Effektivität des NaOCl's dargestellt werden. Jedoch muss beachtet werden, dass der Unterschied zwischen den beiden höchsten Konzentrationen minimal ist und auch die 1%ige Lösung nur wenig ineffektiver war als die 5%ige Lösung. Bei einer Lösungstemperatur von 4°C und 20°C ist die 2,5%ige Lösung die effektivste aller Konzentrationen gefolgt von der 5%igen. Im Fall der kältesten Temperatur wird sie jedoch gefolgt von der 1%igen Lösung was bedeutet, dass die höchste Konzentration nur die dritteffektivste Lösung in dieser Versuchsreihe darstellt. Ansonsten zeigen alle Funktionen einen exponentiellen Verlauf und erreichen mit Ausnahme der 0,1% Lösung bei 4°C alle die vollständige Gewebsauflösung innerhalb der Versuchsdauer.

Abb. 52-54 Gewebsauflösung bei Aktivierung mit dem roten Aufsatz

4.1.4.4 Aktivierung der Spüllösung mittels EndoActivator® und blauem Aufsatz

Bei den nachfolgenden drei Graphen wurde die Aktivierung mit Hilfe des Endoaktivators® und seines blauen Aufsatzes durchgeführt, welche als konstanter Faktor gilt. Die unterschiedlichen Konzentrationen der Lösungen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während ihre jeweilige Temperatur für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.



In dieser Versuchsreihe sieht man deutlich den allgemein positiven Effekt, der durch die Erhöhung der Konzentration auf die gewebssauflösende Eigenschaft des NaOCl's. Bis auf bei den beiden niedrigsten Temperaturen und der geringsten Konzentration wurde die Gewebprobe immer innerhalb der Versuchsdauer vollständig zersetzt. Es fällt auf, dass eine Erhöhung der Konzentration von 2,5% auf 5% keine nennenswerte Steigerung der Eigenschaft des Lösungsmittels. Bei einer Temperatur von 37°C ist dieses Ergebnis in leicht abgeschwächter Art und Weise ebenfalls für die 1% Lösung zu beobachten.

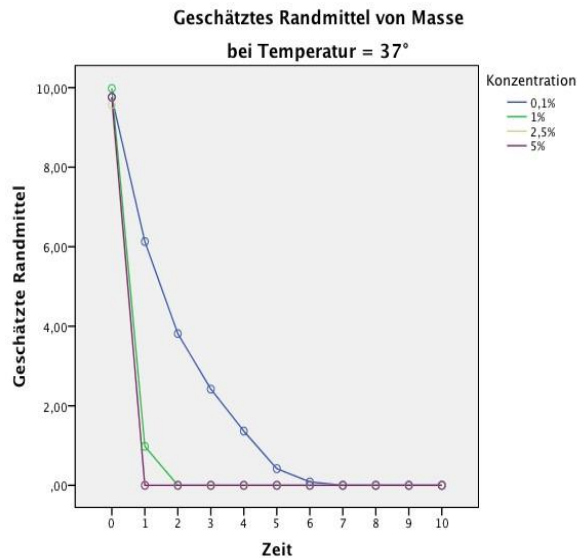
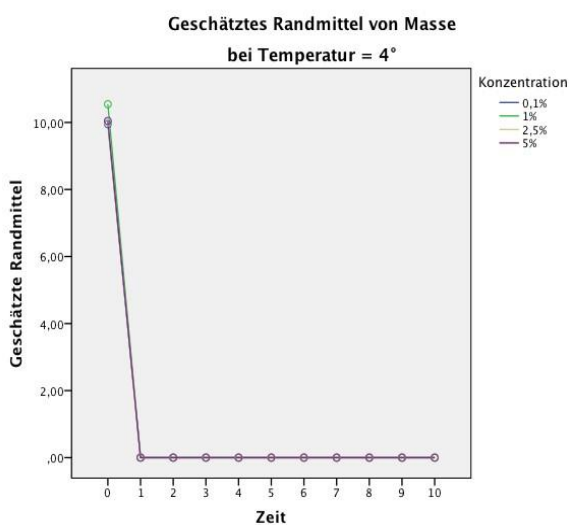


Abb. 55-67 Gewebsauflösung bei Aktivierung mit dem blauen Aufsatz

4.1.4.5 Aktivierung der Spüllösung mittels EDDY®

Bei den nachfolgenden drei Graphen wurde die Aktivierung mit Hilfe EDDY-Systems durchgeführt, welches als konstanter Faktor gilt. Die unterschiedlichen Konzentrationen der Lösungen werden farblich differenziert voneinander grafisch dargestellt, während ihre jeweilige Temperatur für jeden einzelnen Graphen konstant ist und oberhalb der Abbildung genannt wird.



In der gesamten Versuchsreihe konnte kein Einfluss der Konzentration auf die Wirksamkeit des NaOCl's beobachtet werden. Grund dafür ist, dass unabhängig von Konzentration und Temperatur der Spüllösung alle Funktionen zum ersten Messzeitpunkt bereits den Nullwert erreichen.

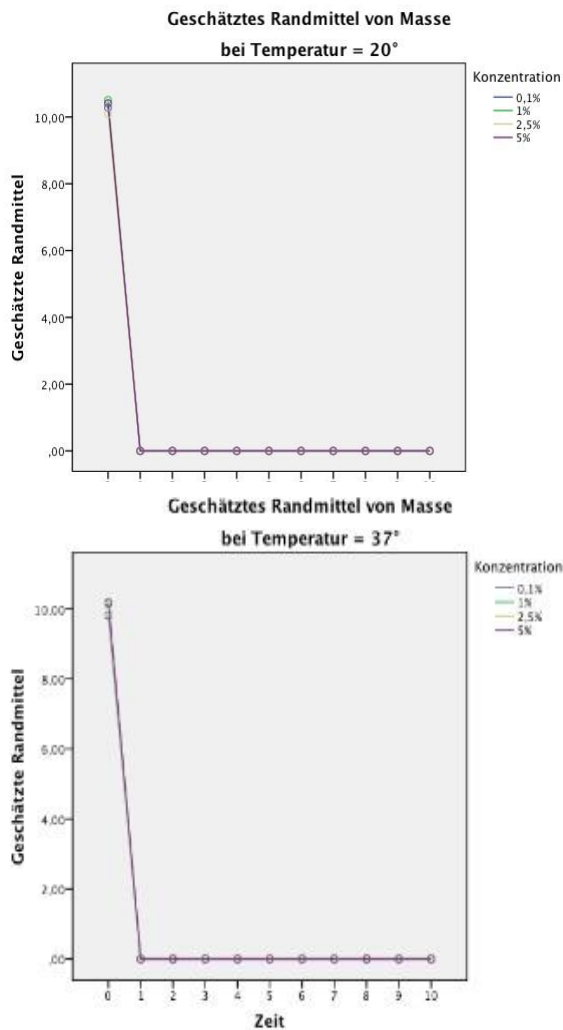


Abb. 58-60 Gewebsauflösung bei Aktivierung mit EDDY®

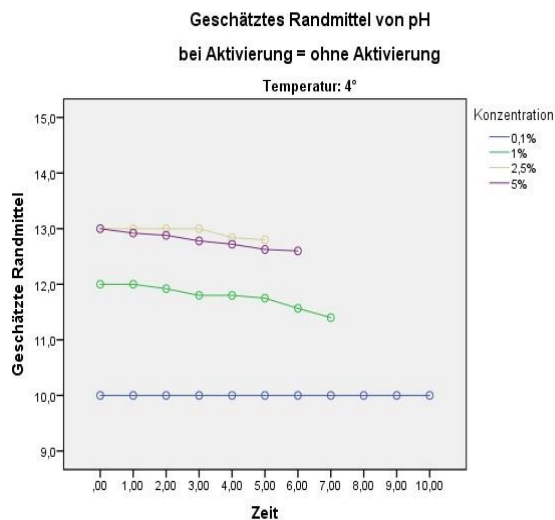
4.2 Messung der Effektivität des Natriumhypochlorids mit Hilfe des pH-Wertes

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der pH-Wert Messungen des experimentellen Teils dargestellt und beschrieben. Dabei wird mittels Liniendiagrammen veranschaulicht ob und in welchem Umfang sich der pHWert der Spüllösung im Laufe der Versuche, in Abhängigkeit der einzelnen Faktor Konzentration, Aktivierung und Temperatur, verändert. Da der pH-Wert nur bis zur vollständigen Gewebsauflösung bestimmt wurde, enden manche Graphen bereits vor dem letzten theoretischen Messzeitpunkt. Die Konzentrationen werden als farblich verschiedene Funktionen graphisch dargestellt, während die Aktivierung

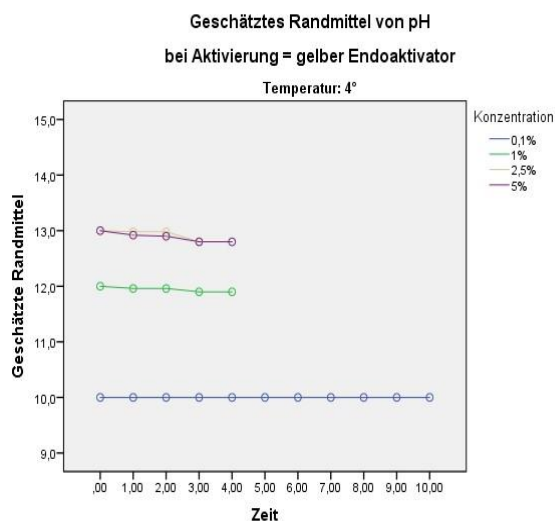
innerhalb einer Abbildung als Faktor konstant ist und oberhalb der Graphik genannt wird.

4.2.1 Konstante Lösungstemperatur 4°C

Im folgenden Abschnitt wird das Verhalten des pH-Wertes bei einer konstanten Lösungstemperatur von 4°C beschrieben.



Nicht-schätzbare Mittelwerte werden nicht dargestellt



Nicht-schätzbare Mittelwerte werden nicht dargestellt

Unabhängig von der gewählten Aktivierungsform fällt auf, dass sich der pH-Wert der 0,1%igen Lösung über die gesamte Versuchsdauer nicht verändert, sondern beim Startwert von 10 stagniert. Die pH-Werte der beiden höchsten Konzentrationen haben beide einen Startwert von 13 und überlagern sich demnach häufig. In dem Versuch ohne stattgefundene Aktivierung fallen die Funktionen der übrigen Konzentrationen linear über den gesamten Zeitraum. Dieser Abfall ist für den Graphen der 1%igen Lösung am deutlichsten. Bei zusätzlicher Aktivierung mit Hilfe des EndoActivators, nimmt die Veränderung des pH-Wertes im Laufe der Zeit ab. So bleibt der pH-Wert der übrigen Lösung, mit Ausnahme der Funktion der 1%igen Lösung bei Aktivierung durch den

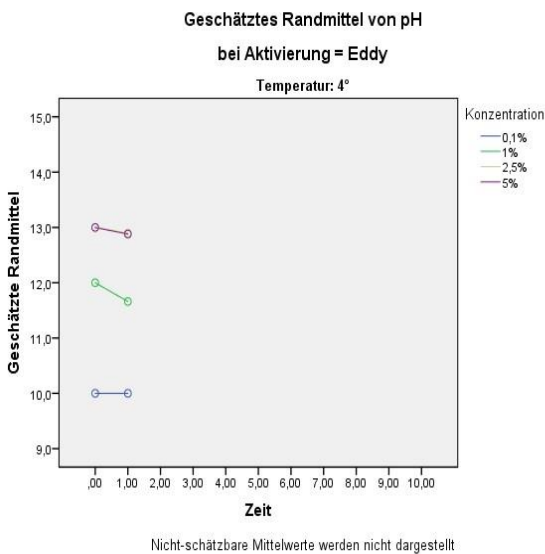
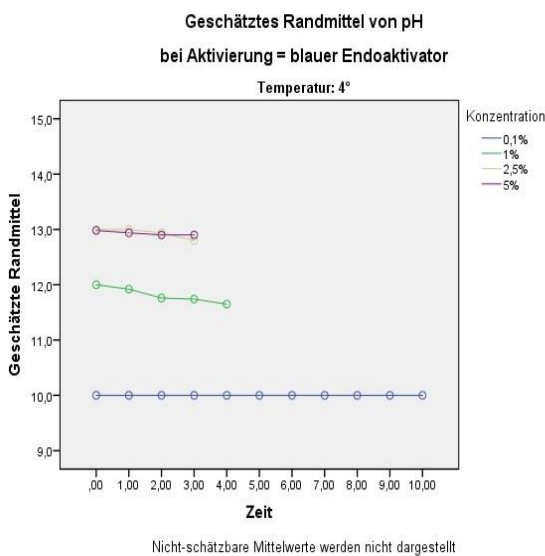
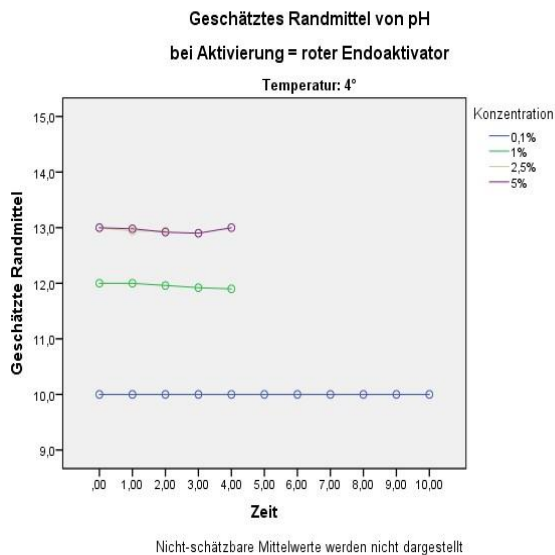
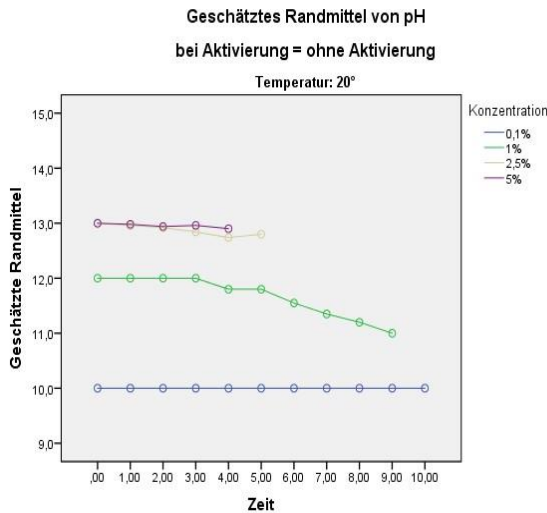


Abb. 61-65 pH-Wert bei 4°C

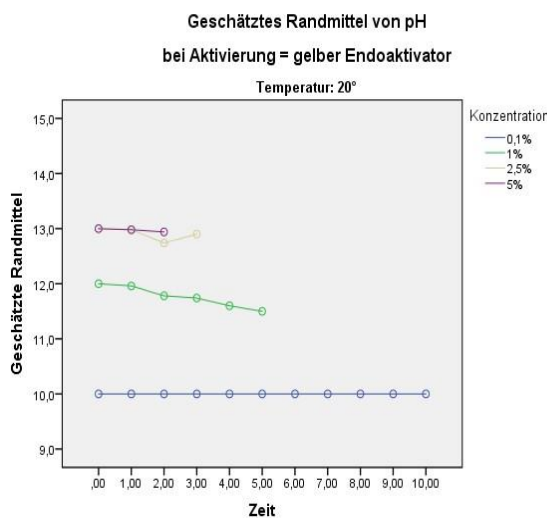
blauen Aufsatz des EndoActivators, fast auf dem Niveau des Ausgangswertes. Als Besonderheit ist der Anstieg des pH-Wertes vom Messzeitpunkt drei zu vier bei Verwendung des roten Aufsatzes des EndoActivators zu sehen. Bei Verwendung des EDDY's beobachtet man, obwohl nur eine Messung des pH-Wertes stattgefunden hat, eine Veränderung des pH-Wertes. Diese ist für die Lösungen der 2,5%igen und 5%igen Lösung identisch und gleichzeitig deutlich geringer als für die 1%ige Lösung.

4.2.2 Konstante Lösungstemperatur 20°C

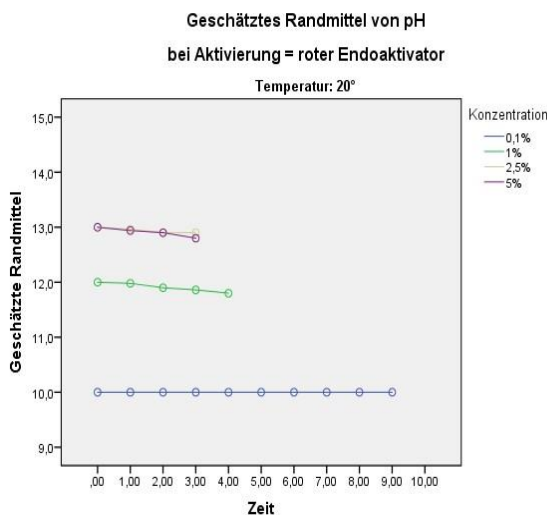
In diesem Kapitel wird das Verhalten des pH- Wertes bei einer konstanten Lösungstemperatur von 20°C beschrieben.



Nicht-schätzbare Mittelwerte werden nicht dargestellt

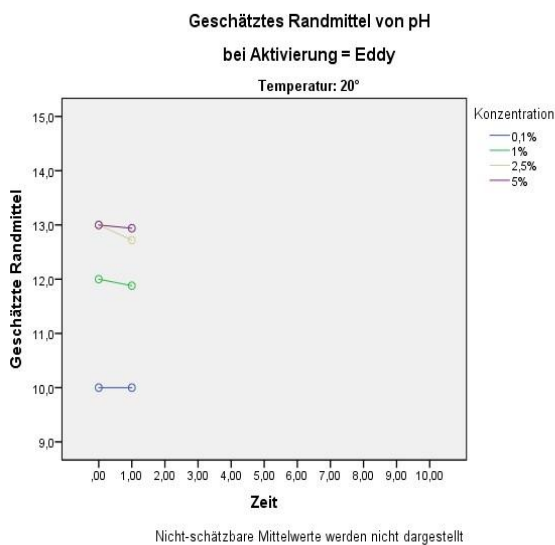
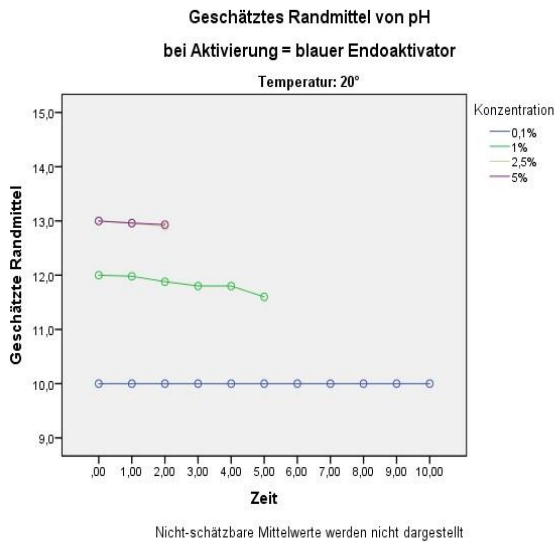


Nicht-schätzbare Mittelwerte werden nicht dargestellt



Nicht-schätzbare Mittelwerte werden nicht dargestellt

Innerhalb dieser Versuchsreihe konnte keine Veränderung des pH-Wertes bei der 0,1%igen Lösung festgestellt werden, weshalb diese hier nicht weiter beschrieben werden. Am deutlichsten wird die Abnahme des pH-Wertes in dem Versuch ohne Aktivierung und einer Konzentration der Lösung von 1%. Auffällig ist hierbei, dass der deutliche Abfall der Funktion erst nach dem fünften Messzeitpunkt beginnt. Zu diesem Zeitpunkt hatten die beiden höher konzentrierten Lösungen ihre Probe bereits vollständig zersetzt, wodurch für sie in dem entsprechenden Zeitraum keine Messergebnisse vorliegen. Bei Verwendung des EndoActivators® als Aktivierungsform verringert sich die Anzahl der Messergebnisse für jede Konzentration wobei bei allen eine Veränderung des pH-Wertes bei jeder Konzentration beobachtet werden konnte. Der stärkste

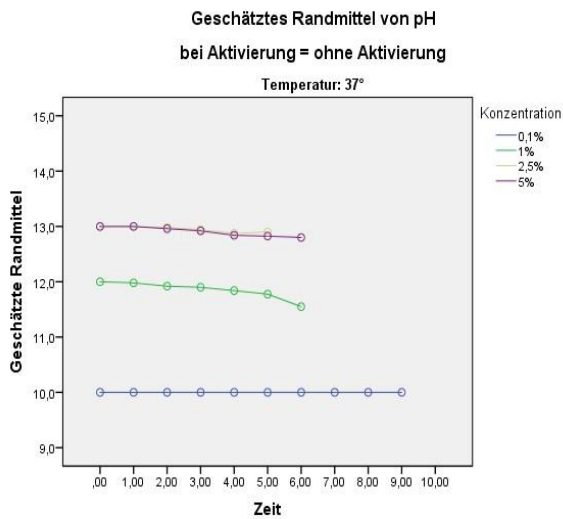


Abfall wurde bei Aktivierung der 1%igen Lösungen durch den gelben Aufsatz festgestellt, jedoch ist dieser deutlich geringer als ohne Aktivierung. Anhand der Graphen, bei den die Aktivierung mit Hilfe des roten und des blauen Aufsatzes durchgeführt wurde, erkennt man eine starke Übereinstimmung im Verlauf der Funktionen der beiden höchsten Konzentrationen. Der Wechsel zum EDDY® reduzierte die Anzahl der Messergebnisse bei jeder Konzentration auf eins. Dennoch war eine Veränderung des pH-Wertes zu beobachten. Am deutlichsten war dieser bei der 2,5%igen Lösung gefolgt

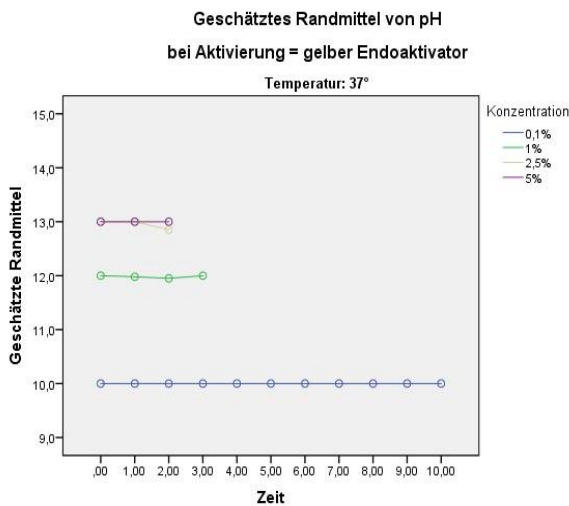
Abb. 66-70 pH-Wert bei 20°C von der 1%igen. Als besondere Beobachtung gilt es den Anstieg der pH-Werte der 5%igen Lösung im Versuch ohne Aktivierung und der 2,5%igen Lösung in den Versuchen ohne Aktivierung und mit Aktivierung durch den gelben Aufsatz des EndoActivators® zu vermerken.

4.2.3 Konstante Lösungstemperatur 37°C

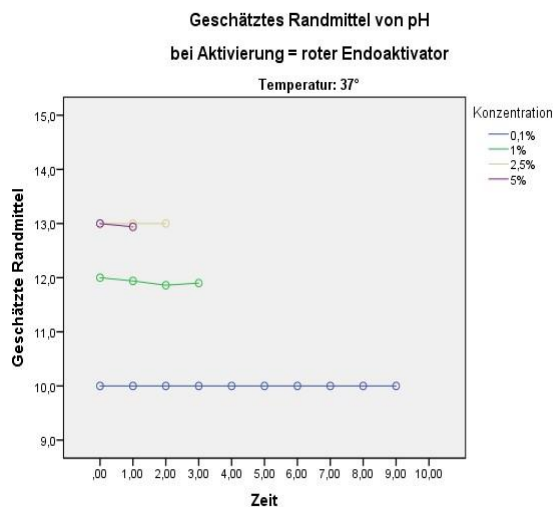
In diesem Kapitel wird das Verhalten des pH- Wertes bei einer konstanten Lösungstemperatur von 37°C beschrieben.



Nicht-schätzbare Mittelwerte werden nicht dargestellt



Nicht-schätzbare Mittelwerte werden nicht dargestellt



Nicht-schätzbare Mittelwerte werden nicht dargestellt

Die Funktionen der 0,1%igen Lösungen zeigen in der gesamten Versuchsreihe keinerlei Veränderung des pH-Wertes und werden nicht näher besprochen. Bis auf zwei Ausnahmen kann für alle übrigen Konzentrationen in allen Versuchen eine Abnahme des pH-Wertes im Laufe des Versuches beobachtet werden. Die erste stellt die 5%ige Lösung bei Aktivierung mit Hilfe des gelben Aufsatzes des EndoActivators® dar und die zweite kann bei Verwendung des roten Aufsatzes bei der 2,5%igen Lösung

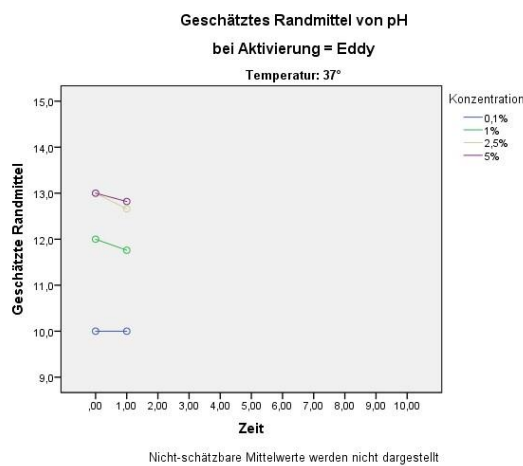
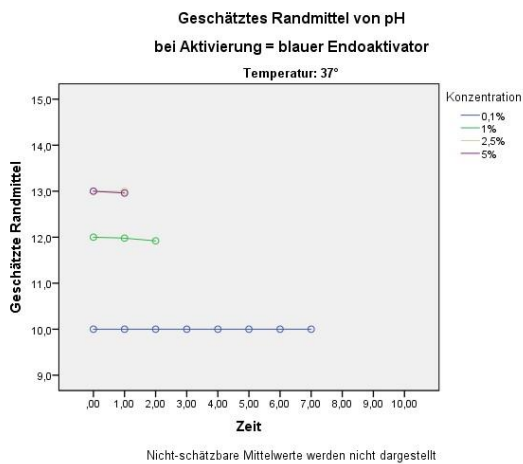


Abb. 71-75 pH-Wert bei 37°C

beobachtet werden. Generell lässt sich für alle Konzentrationen ein geringerer Abfall des pH- Wertes feststellen, wobei der Höchste in dem Versuch ohne Aktivierung bei der 1%igen Konzentration beobachtet wird. Die Funktionen der beiden höchsten Konzentrationen verlaufen innerhalb der gesamten Versuchsreihe nahezu identisch. Die durch jegliche Form der Aktivierung hervorgerufenen Veränderungen bezogen auf den pH-Wert sind deutlich geringer als bei den übrigen Konzentrationen. Als Besonderheit wird der leichte Anstieg des pH-Wertes in der letzten Messung bei einer Lösungskonzentration von 1% und der Aktivierung durch den gelben und roten Aufsatz des EndoActivators® zur Kenntnis genommen.

4.3 Wirkung von EDTA auf die Gewebsprobe

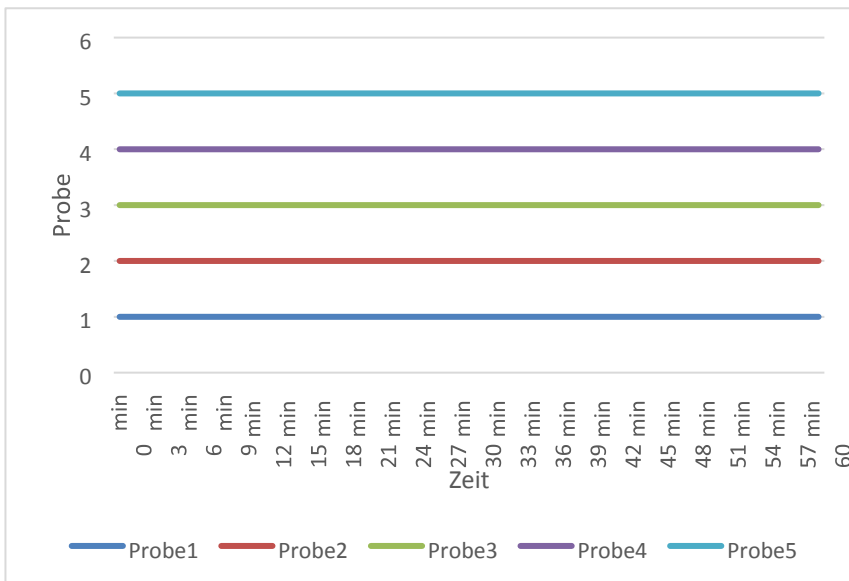


Abb.76 Darstellung der gewebsauflösenden Wirkung von EDTA über die Zeit

Innerhalb dieses Versuches wurde überprüft, ob und in welchem Ausmaß EDTA die Masse der Gewebsprobe reduzieren kann. Die Dauer des Versuches betrug 60 Minuten. Dabei wurden die Proben zu keinem Zeitpunkt aktiviert oder aus dem Eppendorfgefäß entfernt. Demnach konnte das Vorhandensein einer potentiellen Restprobe nur visuell erfolgen. Die Temperatur der Lösung betrug 20°C. Das Anfangsgewicht der Proben betrug 9,31mg für Probe 1, 9,92mg für Probe 2, 9,77mg für Probe 3, 9,65mg für Probe 4 und 9,35mg für Probe 5. Nach Ablauf des Versuches waren alle 5 Proben noch vorhanden. Nach dem Trocknen und wiegen ergab sich für Probe 1 ein

Restgewicht von 9,3mg, für Probe 2 9,89mg, für Probe 3 9,76mg, für Probe 4 9,64mg und für Probe 5 9,31mg. Demnach konnte, sowohl visuell, als auch mittels wiegen, keine eindeutige gewebsauflösende Wirkung des NaOCL's festgestellt werden.

4.4 Messung der Effektivität des EDTA's mit Hilfe des pH-Wertes

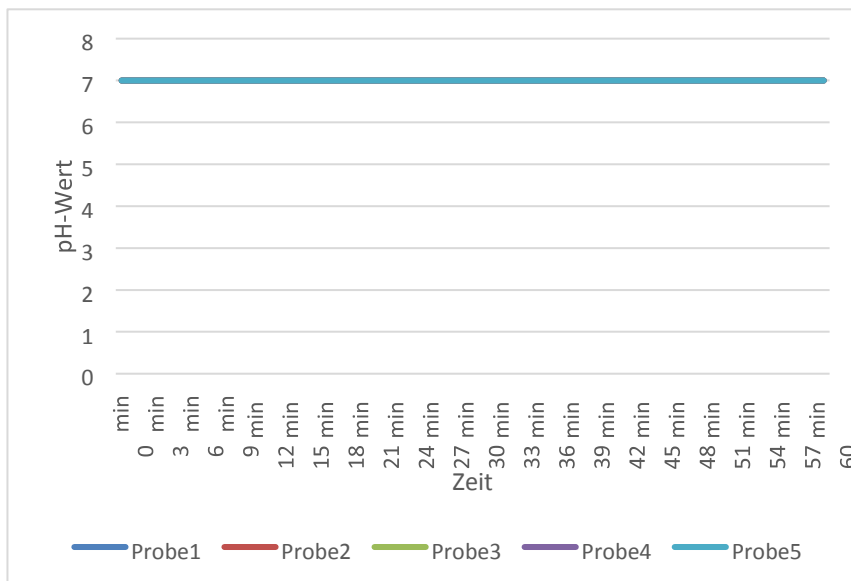


Abb.77 Messung der pH-Wert Änderungen bei Verwendung von EDTA als Lösungsmittel über die Zeit

Dieser Teil der Arbeit befasst sich mit den Ergebnissen der pH-Wert Messungen des EDTA's aus dem Versuch aus 4.3. Dabei wurde der pH-Wert zu Beginn des Experimentes und nach Ablauf jeder Minute gemessen, ohne den Versuch an sich zu unterbrechen. In keiner der Messungen über den gesamten Zeitraum von 60 Minuten konnte eine Veränderung des pH-Wertes von dem Ausgangswert von 7 festgestellt werden.

5. Diskussion

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Grundsätzlich geht aus den erhobenen Daten hervor, dass NaOCl einen gewebssauflösenden Effekt besitzt. In diesem

Abschnitt wird dargestellt, welche der Einflussfaktoren Temperatur, Konzentration oder Form der Aktivierung - jeweils und in Kombination diesen Effekt beeinflussen.

Unabhängig von Temperatur und Konzentration kann man anhand der erhobenen Daten erkennen, dass jegliche Form der Aktivierung, also sowohl der Endoaktivator® als auch der EDDY®, immer einen positiven Effekt auf den

Massenverlust der Probe haben und es somit zu einem steileren Abfall der Kurven kommt.

Innerhalb der Versuche bezüglich des Endoaktivators® wurden drei unterschiedliche Aufsätze verwendet. Es ist anhand der erhobenen Daten nicht eindeutig festzulegen, dass einer dieser Aufsätze den anderen grundsätzlich überlegen ist. Was allerdings bezogen auf alle Temperaturen und Konzentrationen auffällt, ist, dass der gelbe Aufsatz im Vergleich zu den beiden anderen Aufsätzen am seltensten den alleinigen besten Effekt bezüglich der Gewebsauflösung zeigt, jedoch am häufigsten den alleinigen schlechtesten Effekt erzielt. Betrachtet man nach demselben Prozedere die Graphen des roten Aufsatzes, so sieht man, dass dieser nie alleine das schlechteste Ergebnis nach Versuchsende aufweist. Am häufigsten gelang die schnellste Gewebsauflösung alleine oder gleichzeitig mit anderen Aufsätzen dem blauen Aufsatz des EndoActivators®.

Die Verwendung des EDDYs® führt bei jeder der Kombination von Konzentration und Temperatur zur vollständigen Gewebsauflösung nach einer Minute. Da dies bezogen auf den EndoActivator®, unabhängig vom verwendeten Aufsatz, nicht grundsätzlich der Fall ist, kann von einer eindeutigen Überlegenheit des EDDYs® gesprochen werden. Als Ausnahme ist der Verlauf der Funktion der 5%igen Lösung in Abb. 54, sowie die der 2,5%igen und 5%igen in der Abb. 57 zu sehen. Demnach gelingt es mit Hilfe des EndoActivator® nur bei hohen Konzentrationen und hohen Lösungstemperaturen bei Verwendung vor allem des blauen, aber auch des roten, Aufsatzes denselben Effekt zu erzielen, wie bei Verwendung des EDDYs® generell.

Die alleinige Erhöhung der Temperatur hat ebenfalls einen positiven Effekt bezüglich der Gewebsauflösung zur Folge. So ist die 37°C warme Lösung in über 75% der Versuchsdurchgänge die Effektivste. Der Unterschied zwischen den beiden niedrigeren Temperaturen untereinander ist im Vergleich kaum sichtbar. Allgemein erkennt man den beschriebenen Einfluss beim Vergleich der Abb. 46 und 45 bezüglich des Verlaufes der Funktionen der 0,1%igen Lösungen. Es wird deutlich, dass durch die Erhöhung der Temperatur von 4°C auf 20°C der Abfall der Kurve der 0,1%igen Lösung deutlich steiler wird. Eine Besonderheit bezüglich der Beeinflussung des NaOCl's wird in Abb. 48 dargestellt. So nimmt nach erneuter Erhöhung der Lösungstemperatur auf 37°C die Kurve der geringsten Konzentration

einen untypischen Verlauf, da sie statt linear abzufallen einen S-förmigen Verlauf beschreibt. Der in der ersten und letzten Messung stattgefundenene starke Massenabfall ist ebenfalls einzigartig unter diesen Versuchsbedingungen. Für die anderen Konzentrationen lässt sich ein durchgehend positiver Einfluss der Temperatur auf die Ergebnisse unter selben Bedingungen nicht feststellen. So ist der Verlauf der 1%igen Lösung in Abbildung 57 weniger stark als in Abb. 46, obwohl die Temperatur erhöht wurde. Für die 5%ige Konzentration gilt ähnliches im Vergleich der Abb. 57 und Abb. 48. Einzig für die 2,5%ige Lösung gilt, dass die Gewebsauflösung insgesamt durch die Temperaturerhöhung schneller voranschreitet. Bei zusätzlicher Aktivierung mit Hilfe des Endoaktivators sieht man mit Ausnahme der Funktionen der 0,1%igen und 1%igen Lösung in den Abb. 49 und 50, eine zusätzliche positive Beeinflussung des NaOCl's. Bei Verwendung des EDDYs® spielt die Temperatur der verwendeten Lösung allerdings keine Rolle, was aus den Abbildungen 58-60 hervorgeht.

Die Bedeutung der Variation der Konzentration für die gewebssauflösende Wirkung des NaOCl wird in Kapitel 4.1.2 deutlich. Betrachtet man hierbei die Abb. 11,26 und 21, in denen keine Aktivierung stattfand, so sieht man, dass eine Erhöhung der Konzentration generell einen starken positiven Einfluss auf den gewünschten Effekt hat. Generell fällt auf, dass die 0,1% Lösung in allen Versuchen, außer in denen wo eine Aktivierung mit Hilfe des EDDYs® stattgefunden hat, kontinuierlich durch die am langsamsten fallenden Kurven beschrieben wird. Die 1%ige Lösung zeigt in den entsprechenden Versuchen die zweitgeringste negative Steigung, ist dabei jedoch einmal der 2,5%igen und zweimal der 5%igen Lösung ebenbürtig bezüglich der Anzahl der verstrichenen Minuten bis zur vollständigen Gewebssauflösung. Auffällig ist, dass die 5%ige Lösung leicht schlechtere Ergebnisse liefert, als die 2,5%ige. Betrachtet man die Ergebnisse des pH-Wertes so erkennt man, dass sich der pH-Wert der NaOCl-Lösung auch durch den alleinigen Kontakt mit Gewebe verändern kann. Auffällig ist, dass es bei Verwendung der 0,1%igen Lösung in keinem der Versuche eine Veränderung festgestellt werden konnte und auch allgemein kein pH-Wert zu irgendeinem Zeitpunkt unter den Wert von 10 fiel. Dies lässt die Vermutung zu, dass alleine durch den Kontakt zu Gewebe eine Reduktion des pH-Wertes eine NaOCl-Lösung unter einen Wert von 10 nicht möglich ist. Ansonsten konnte, ausgenommen den Ergebnissen der Messung bei einer

2,5%igen Lösung in Abb. 73 und Abb. 74, sowie bei der 5%igen Lösung (vgl. Abb. 72), bei jeder verwendeten Konzentration in Kombination mit jeder Aktivierungsform und Temperatur eine Veränderung des pH-Wertes nachgewiesen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass ein Ausbleiben eines Abfalls des pH-Wertes kein Indiz für eine verminderte Gewebsreduktion darstellt. So wurde in den gerade genannten Versuchen das Gewebe innerhalb von spätestens zwei Minuten aufgelöst, obwohl keine Veränderungen des pH-Wertes sichtbar geworden sind.

Die allgemein stärkste Veränderung des pH-Wertes fand in Versuchen statt, in denen keine Aktivierung verwendet wurde. Dies könnte auf die hohe Anzahl an Messungen in diesen Versuchen zurückzuführen sein, welche als Konsequenz einer geringeren Effektivität des NaOCl_s ohne Aktivierung entstanden ist. Der größte in einem Versuch gemessene Unterschied bezüglich Anfangs- und Schlusswert wird in Abb. 66 im Verlauf der Funktion der 1%igen Lösung dargestellt und beschreibt den Faktor 1. Die generell größten und konstantesten Abweichungen des pH-Wertes von seinem Ausgangswert bei den ersten Messzeitpunkten fanden bei Verwendung des EDDYs® statt (vgl. Abb. 65, 70, 75). Dies könnte einen weiteren Beweis für die deutlich höhere Effektivität dieses Systems, gegenüber dem EndoActivator® liefern.

Vor allem an Hand von Abb. 65 könnte die Möglichkeit eines Nachweises über die Wirksamkeit des NaOCl_s mit Hilfe des pH-Wertes beschrieben werden. So fällt in dieser Abbildung der pH-Wert bei einer Konzentration von 1% deutlich stärker als bei den Konzentrationen 2,5% und 5%. Dies entspricht der Theorie des erhöhten Substratverbrauches zum Erreichen der gleichen Wirkung. Die 0,1%ige Lösung bleibt wie bisher außenvor. Auch könnte der identische Abfall der Funktionen der höheren Konzentrationen als Beweis dafür gesehen werden, dass deren Wirksamkeit als ähnlich bzw. gleich betrachtet werden kann.

Die Tatsache, dass sich die Masse des Gewebes bei Verwendung von EDTA als Spüllösung innerhalb einer Stunde nicht verändert hat (vgl. Abb. 76), während innerhalb desselben Zeitraums unabhängig von der Konzentration stets eine Zersetzung der Probe mittels NaOCl stattfand (vgl. Abb. 10), lässt stark vermuten, dass ein solcher Effekt nicht mit Hilfe von EDTA erzielt werden kann. Der darüber hinaus konstant gebliebene pH-Wert (vgl. Abb. 77) könnte ein Indiz für einen unterschiedlichen

Reaktionsmechanismus sein. Auch dies würde eine mögliche Erklärung für das Ausbleiben der Probenzersetzung durch EDTA liefern.

5.2 Mögliche Fehlerquellen

In diesem Teil der Diskussion werden vorerst mögliche Fehlerquellen der durchgeführten Experimente beschrieben. Dabei werden maschinelle Fehler wie die Standardabweichung der Waage außenvorgelassen. Anschließend werden die Versuchsergebnisse mit der vorhandenen Literatur verglichen.

Bei der Probengewinnung wurde genaustens darauf geachtet, dass vom selben Kiefer oder Zahn gewonnene Proben nicht im selben Versuch verwendet werden, damit die Proben sich stärker voneinander unterscheiden und eine allgemeinere Aussage getroffen werden kann. Die gewonnenen Proben an sich stellen allerdings genau deswegen die erste Fehlerquelle da. So kann es sein, dass das Mengenverhältnis bezüglich Bindegewebe, Gefäßen, Nerv und Flüssigkeit von Probe zu Probe verschieden ist und somit die Wechselwirkung mit der Spüllösung unterschiedlich gewesen sein kann. Bezogen auf die Menge an Flüssigkeit wurde das Problem versucht zu lösen, in dem die Proben bis zum selben visuellen Maße getrocknet wurden. Trotzdem ist ein Ausschluss von geringen Fehlern in diesem Fall nicht möglich. Bezogen auf die restlichen Bestandteile der Probe ist eine genaue Quantifizierung der Massenanteile ebenfalls nicht sinnvoll, da, falls es eine ungleichmäßige Verteilung in den Proben gäbe, diese auch in vivo anzutreffen wäre. In der Praxis war dies bei der Applikation der Proben durch spürbare Unterschiede in der Konsistenz zu beobachten. Diese Unterschiede könnten mitverantwortlich für die Entstehung von Extremwerten sein. Eine weitere potenzielle Fehlerquelle, die bei der Probengewinnung entstand, bezieht sich auf die unterschiedliche Form der Proben. Dieser Fehler lässt sich anhand des verschiedenen anatomischen Aufbaus des Hohlraums innerhalb eines jeden Zahnes erklären. So gilt allgemein, dass Proben, die aus Kronenpulpa bestehen, häufig oval bis kastenförmig sind, während Proben aus den eigentlichen Kanälen eher eine längliche Form vorweisen. Diese Unterschiede führen zu zwei möglichen Problemen bei der

Versuchsdurchführung, lassen sich aber wiederum auf die in vivo Situation übertragen und galten demnach als akzeptabel. Das erste Problem der

unterschiedlichen Formen wird deutlich, wenn man sich die verschiedenen möglichen Größen der Oberflächen der Proben vorstellt, was wiederum auch Auswirkungen auf die Dicke der Probe hat. So können gleichschwere Proben aufgrund ihres Entnahmeortes völlig unterschiedliche Voraussetzungen mit sich mitbringen. Eine geringe Dicke bei großer

Oberfläche führt dazu, dass ein höherer Anteil der Spüllösung mit dem Gewebe in Kontakt kommt, mit ihm reagiert und es schließlich eventuell schneller auflöst. Das zweite Problem besteht darin, dass Proben, die an einer Stelle besonders dünn sind, häufig durch das schnellere Auflösen an diesen Punkten in mehrere kleinere Probenteile zersetzt wurden. Auf diese mögliche Fehlerquelle wird jedoch später genauer eingegangen. Um dieses Problem nicht noch zu erhöhen galt stets, dass eine Probe nur aus einem Gewebstück und nicht etwa aus mehreren kleinen bestand.

Auch durch die Aktivierung können sich Fehler in die Messergebnisse eingeschlichen haben. So ist es zwar möglich gewesen die einzelnen Aufsätze immer gleich tief in die Spüllösung zu tauchen, allerdings können Unterschiede bezüglich der Häufigkeit eines direkten Kontaktes zwischen schwingendem Aufsatz und Gewebe und somit der direkten Kraftübertragung vorhanden sein. Dies ist abermals ein Problem, was sich 1:1 von in vitro auf in vivo übertragen lässt. Ein weiterer Fehler resultiert aus dem manuellen entnehmen der Probe. Das manuelle Ergreifen erfordert dabei notwendigerweise, dass die Gewebeproben sichtbar sind. So kann es sein, dass minimale Restgewichte noch vorhanden waren, aber durch Kontakt zum Aktivierungsgerät und/oder zur Spüllösung so zerkleinert worden sind, dass sie visuell nicht immer erkennbar waren. Dementsprechend sind alle Werte unter einem Wert von 0,7mg mit Vorsicht zu betrachten. Ein Unterschied zur in vivo Situation ist der Tatsache geschuldet, dass der Wurzelkanal über Seitenkanäle verfügt und es demnach Gewebstücke gibt, die nicht unmittelbar mit der Spüllösung in Kontakt treten können. Anders war dies in den oben beschriebenen Versuchen. Hinzukommt bei möglichen Fehlerquellen im experimentellen Fall, dass die Gewebsreste per Pinzette aufgenommen werden mussten. Da kleinere Stücke schwieriger zu sehen und zu greifen sind, können entsprechende Proben ggf. länger mit der Spüllösung in Kontakt gestanden haben. Dabei handelt es sich um 3-30 Sekunden zusätzlicher möglicher Kontaktzeit.

Bei der Erfassung des pH-Wertes gibt es ebenfalls bei den durchgeführten Versuchen eine mögliche Fehlerquelle, welche die Ergebnisse beeinflusst haben kann. Dabei geht es um die Wahl der pH-Indikatorstreifen. Diese haben die Eigenschaft, pH-Werte zwischen 0 und 14 farblich differenziert voneinander darzustellen. Problematisch wird es allerdings, wenn es sich bei dem gemessenen pH-Wert nicht um eine ganze Zahl handelt. In so einem Fall entspricht die Farbe des Indikators dem Bereich, zwischen den beiden nächsten ganzen Zahlen und variiert einzig im Abstand zu den entsprechenden ganzen Zahlen (vgl. Abb. 6). Der genaue pH-Wert konnte nicht angegeben werden und wurde anhand der Fläche der jeweiligen Farben geschätzt.

Demnach gilt es zu beachten, dass kleine Schwankungen des pH-Wertes, ebenso wie das vollständige Ausbleiben von Veränderungen auch auf Messungenauigkeiten bzw.

Messfehler zurückzuführen sein könnten.

5.3 Vergleich der Ergebnisse mit vorhandener Literatur

Die negativen, aber dennoch akzeptierten Effekte des NaOCl bezüglich der Schwächung des Dentins (36) sind, wie in 2.1.1 beschrieben, sowohl von Konzentration als auch Applikationsdauer abhängig. Durch die Verwendung eines der beiden verwendeten Aktivierungsgeräte können, laut den Ergebnissen dieser Versuchsreihe, beide Faktoren gesenkt werden und somit diesem negativen Aspekt entgegenwirken. Ebenso wird durch diese beiden

Senkungen die Wahrscheinlichkeit einer beschriebenen Interaktion mit dem periapikalen Gewebe (37) reduziert, sowie bei Kontakt das Risiko größerer Komplikationen verringert. Die konstanteste und deutlichste Senkung wurde dabei mit dem EDDY-System® erreicht. Die Tatsache, dass eine hochkonzentrierte Lösung NaOCl allgemein effektiver sei als eine mit geringerer Konzentration (36), konnte in diesem Versuch bezogen auf seine gewebssauflösenden Eigenschaften bei Verwendung des EDDYs nicht bestätigt werden.

Es wurde in dieser Versuchsreihe bestätigt, dass ein gewebssauflösender Effekt von EDTA nicht hervorgerufen wird. Da in der Literatur bereits beschrieben steht, dass im Falle einer Schall- oder Ultraschallaktivierung die zusätzliche Verwendung von EDTA keinen Einfluss auf die Penetrationstiefe des NaOCl hat (52), sondern nur

indirekt durch das Ablösen des Biofilms wirkt, bleibt die Frage offen, ob EDTA nicht ausschließlich für die finale Reinigung vor der Wurzelkanalfüllung zur Entfernung des entstandenen Smear Layers verwendet werden sollte. Grund dafür ist, dass selbst, wenn es die NaOCl-Lösung indirekt unterstützt, sie gleichzeitig auch zu einer Abnahme des pH-Wertes der Flüssigkeit führt und damit die gewebssauflösenden Eigenschaften, die zu Beginn der Kanalaufbereitung erwünscht sind, einschränkt. Eine Kombination der beiden Flüssigkeiten zur finalen Reinigung würde dementsprechend ebenfalls Sinn ergeben. Dazu müsste das Mischungsverhältnis beider Flüssigkeiten berechnet werden, bei dem nach Interaktion untereinander ein pH-Wert von 9 erreicht würde.

Bezogen auf die Aktivierung wurde bestätigt, dass einzig eine durch das Aktivierungsgerät verursachte hohe Rotation des Aufsatzes bereits ein Indiz für eine Steigerung der Effektivität der Lösung ist (85). Erkennbar wird dies an der Tatsache, dass der vom EndoActivator® erzielte Effekt mit einer Umdrehung von 10000cpm, was 166,67Hz entspricht, deutlich geringer ist, als beim EDDY-System® der eine Frequenz von 6000Hz erreicht. Dieser große Frequenzunterschied könnte die Erklärung liefern, warum es bei Verwendung des EDDY® zu heftigen, das Eppendorfgesäß verlassenden Spritzern kam und beim EndoActivator® nicht.

Inwieweit sich diese Studie auf ein in vitro Modell übertragen lassen kann ist ungewiss, da vor allem die anatomischen Strukturen des Wurzelkanalsystems des Zahnes nicht berücksichtigt werden und dadurch vollständiger Gewebkontakt in allen Versuchen gegeben war. Auch, ob die Effektivität der verwendeten Geräte in schmalen Kanälen vergleichbar mit den hier erzielten Resultaten ist, bleibt offen (115).

Die von Ragnarson et al. beschriebene Tatsache, dass bis zu einer 0,1%igen Konzentration von einer klinischen Relevanz von NaOCl gesprochen werden kann (78), war Grund für die Wahl der 0,1%igen Lösung. Diesbezüglich sollte herausgefunden werden, ob durch Verwendung einer solchen Lösung überhaupt noch gewebssauflösende Effekte beobachtet werden können. Unabhängig davon, ob eine Aktivierung stattgefunden hat oder nicht, geht aus den Abbildungen aus dem Abschnitt 6. ein kontinuierlicher Massenverlust bei einer Konzentration von 0,1% hervor. Obwohl eine Steigerung dieser Eigenschaften, vor allem durch den

EDDY® , aber auch durch den EndoActivator® in vitro hervorgerufen wurde, bleibt zu klären, ob solch eine Konzentration klinisch interessant ist. Fest steht jedoch, dass eine medikamentöse Einlage mit 5,5%igem NaOCl auch nach 100 Stunden noch gewebsauflösende

Eigenschaften aufzeigt. Die aus einer solchen Medikation resultierende Temperaturerhöhung der Lösung auf Körpertemperatur begünstigt den gewünschten Effekt zusätzlich (74, 75).

Laut Cunningham et al. zeigt die 2,5%ige Lösung allein durch die Temperaturerhöhung eine

Effektivitätssteigerung, die sie der 5%igen Lösung ebenbürtig macht (75). Auch in dieser Studie ist ein ähnlicher Effekt bei den Versuchen ohne Aktivierung sichtbar (vgl. Abb. 46-48), jedoch ist die niedriger konzentrierte Lösung bei 37°C effektiver (vgl. Abb. 48), bei 20°C leicht schwächer und bei 4°C in Ihrem Verlauf identisch mit der 5%igen Lösung. Wird zusätzlich eine Aktivierung mittels EndoActivator® durchgeführt, so sind beide Lösungen einander ebenbürtig.

Zusätzlich fällt auf, dass die 1%ige Lösung in dieser Versuchskonstellation einen nur gering schwächeren Effekt erzielt. Demnach ist eine Temperaturerhöhung bei Verwendung des

EndoActivators® sinnvoll. Ob, wie von Sirtes et al. (74) beschrieben, eine weitere Erhöhung der Temperatur auf 45°C wiederum eine solche Auswirkung bei gleichzeitiger Aktivierung zur Folge hat, bleibt fraglich. Ebenso die Frage ob, die Ergebnisse eine klinische Relevanz hätten, denn der von Macedo et al. (73) erkannte Temperaturabfall, von Einführung der Lösung in die Spritze, bis zur Applikation, ist vermutlich schwer vorherzusagen. Die Gefahr besteht, dass die Lösung eine vom Patienten als unangenehm wahrgenommene Temperatur hat oder mögliche intraorale Schäden verursacht. Eine mögliche Erklärung für die ähnlich guten Resultate der 2,5%igen Lösungen gegenüber der 5%igen wird anhand des zu Beginn des Versuches gemessenen pH-Wertes deutlich. Da dieser für beide Konzentrationen den Wert 13 beschreibt, ist zumindest zu Beginn der Versuche ein ähnlicher Effekt auf die Gewebsreduktion zu erwarten.

CHX ist aufgrund der beschriebenen Wechselwirkung mit

NaOCl (35) in seiner Bedeutung bei der Wurzelkanalbehandlung zurückgegangen.

Es bietet allerdings eine Hand voll von Vorteilen, die bei entsprechenden Gegebenheiten dennoch eine Indikation für seine Verwendung sein können. Stark

erweiterte Foramen apicale (55) sowie deutlich geschwächte Zähne wären dafür Beispiele. Bei Letzteren wird durch Verwendung von CHX, anders als bei NaOCl, eine weitere Schwächung des Zahnes verhindert (66). Bis zu dem Zeitpunkt an dem genau bestimmt werden kann ab welchem Verhältnis von NaOCl zu CHX es zu den genannten Wechselwirkungen und den für den Patienten unangenehmen Wechselwirkungen kommt, sollte CHX nicht in der ästhetischen Zone und nur im Notfall verwendet werden. Eine parallele Spülung während der Aktivierung erscheint sinnvoll, bezogen auf die gewebsauflösende Eigenschaft der NaOCl-Lösung. Dadurch wird der pH-Wert der Lösung kontinuierlich beibehalten und diese Eigenschaft besonders begünstigt. Da jedoch vermutlich keine, bzw. nur geringe Schwankung des pH-Wertes bei diesen Techniken erfolgen, entfaltet die Lösung nie das volle Ausmaß ihrer desinfizierenden Fähigkeit, weil der dafür notwendige pH-Wert nicht erreicht wird (24).

Der eigentlich für die Aktivierung mit Ultraschall typische Effekt der Blasenbildung, welche maßgeblich für die hohe Effizienz dieser Geräte verantwortlich ist (108), kann auch bei der zur Schallaktivierung gehörenden Aktivierung durch den EDDY® beobachtet werden (136). Dies stellt eine mögliche Ursache für die aus den Versuchen hervorgehende Dominanz des Systems gegenüber dem EndoActivator®, als einem anderen Vertreter dieser Kategorie, dar. Ob demnach eine weitere Erhöhung der Frequenz auf Ultraschall notwendig ist, bleibt fraglich. Grund dafür ist vor allem, die daraus resultierenden Konsequenzen des Materialwechsels von Kunststoff zu Metall (136). So kommen bei EndoUltra® Titanfeilen zum Einsatz (142). Wahrscheinlich hat die höhere Härte des Materials zusammen mit der hohen Frequenz stärkere Auswirkung auf die Kanal Anatomie, als sich langsamer bewegende Kunststoffaufsätze mit demselben Effekt. Da sich laut Urban et al. (137) beide Systeme in ihrer Effektivität nicht unterscheiden, scheinen die zusätzlichen 34 kHz keinen entscheidenden Vorteil mit sich zu bringen.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser in vitro Studie wurde in 303 Versuchen der Einfluss von Temperatur, Konzentration und Aktivierung auf die gewebesauf lösenden Eigenschaften, der, in der Endodontie verwendeten, Spüllösungen NaOCl und EDTA an Hand von Schweinepulpa untersucht. Gleichzeitig wurde mit Hilfe des pH-Wertes versucht diese

Beeinflussung der Eigenschaft zu quantifizieren.

Es konnte festgestellt werden, dass sowohl die Schallaktivierung durch den EndoActivator®, als auch durch den EDDY® einen positiven Effekt auf die Gewebesauf lösung bei der Verwendung von NaOCl als Spüllösung in der Endodontie haben. Dabei sind die Resultate des EDDY® Systems als deutlich positiver einzustufen. So führt der Gebrauch dieses Systems, unabhängig von Konzentration und Temperatur der Lösung kontinuierlich zu einer Gewebesauf lösung innerhalb der ersten Minute, während bei Benutzung des EndoActivators®, durch Variation der genannten Faktoren, Unterschiede festzustellen waren. Bei Veränderungen der Konzentrationen fällt auf, dass eine Zunahme der Konzentration, ausgehend von der kleinsten, ebenfalls eine positive Auswirkung auf die gewebesauf lösende Eigenschaft des NaOCl hat. Jedoch gilt es hervorzuheben, dass die 2,5%ige Konzentration der 5%igen ebenbürtig ist und nicht, wie angenommen, schlechter sei. Dementsprechend könnte die Reduktion der Konzentration, bei beiden Aktivierungsmethoden, eine Verminderung der beschriebenen möglichen Risiken bei gleichbleibenden Resultaten gewährleisten. Generell ist jedoch, auch bei Verwendung des EDDY® Systems, von einer Senkung der

Konzentration unter 2,5%, auf Grund der genannten potenziellen Fehlerquellen und den Unterschieden zur in vivo Situation, vor weiteren Untersuchungen, abzuraten. Es zeigt sich wie erwartet, eine Steigerung der Effektivität durch Erhöhung der Lösungstemperatur. Allgemein scheint die Erhöhung der Temperatur bei Verwendung des

EndoActivators® indiziert. Auch die Variation der Aufsätze führt mit zunehmender Größe zur Verbesserung der Resultate. Da in vivo jedoch auf Grund der unterschiedlichen Kanalmorphologie nicht in allen Fällen die Verwendung des blauen Aufsatzes indiziert ist, wäre es entsprechend ratsam, immer den zur Aufbereitungsgröße analogen Aufsatz zu benutzen, um nicht durch vermehrte

direkte Interaktionen mit der Kanalwand mögliche Einbußen zu generieren. Der Nachweis, dass auch die 0,1%ige Lösung noch geringe gewebsauflösende Eigenschaften vorweist, lässt über eine mögliche Verwendung als medikamentöse Einlage nachdenken. Die Tatsache, dass durch die Aktivierung die Gewebsauflösung begünstigt wird und zusätzlich auch der Smear Layer innerhalb von Kanälen besser entfernt wird (137), weist auf neue Möglichkeiten bezüglich der Verwendung von NaOCl hin, während die Rolle von EDTA entsprechend abnehmen würde. Dieses könnte in Zukunft als Hauptaufgabe die gezielte Senkung des pH-Wertes der NaOCl-Lösung haben, um somit die antibakteriellen Eigenschaften der Lösung zu unterstützen. Da sogar die am niedrigsten konzentrierte Lösung mit einem pH-Wert von 10 immer noch vorwiegend gewebsauflösend ist. Allgemein kann man anhand der erhobenen Daten bezüglich des pH-Wertes sagen, dass ein Monitoring der Effektivität des NaOCl bei der Gewebsauflösung möglich ist, jedoch eine absolute Quantifizierung in diesem Fall nicht möglich war. Aufgrund der ungenauen Messmethode diesbezüglich sind genauere Methoden notwendig um diese Phänomene weiter zu beleuchten. Folglich sind weitere in vitro Studien erforderlich, um weitere Einblicke über den optimalen gewebsauflösenden Effekt des Natriumhypochlorids zu erhalten.

7. Literaturverzeichnis

1. Hülsmann M ea. Good clinical practice: Die Wurzelkanalbehandlung. DZZ 60 (2005) 8. 01.07.2004.
2. Shen Y, Gao Y, Lin J, Ma J, Wang Z, Haapasalo M. Methods and models to study irrigation. Endodontic Topics. 2012;27(1):3-34.
3. Bajrami D, Hoxha V, Gorduysus O, Muftuoglu S, Zeybek ND, Küçükkaya S. Cytotoxic effect of endodontic irrigants in vitro. Medical Science Monitor Basic Research. 2014;20:22-6.
4. Dammaschke T. Natriumhypochlorit - eine Übersicht. . Endodontie 8, Quintessenz Verlag 9-16.
5. Barthel CG, M. Schäfer, E. Petschelt, A. Flachsenberg, S. Neuber, T. Kockapan, C. Weiger, R. Hülsmann, M. Die Wurzelkanalspülung. DGZMK.1-5.
6. Barthel C. Wurzelkanalspülung. DZZ 10/2006. 2006.
7. Cavalli D, Toia CC, Flores Orozco EI, Khoury RD, Cardoso F, Alves MC, et al. Effectiveness in the Removal of Endotoxins and Microbiological Profile in Primary Endodontic Infections Using 3 Different Instrumentation Systems: A Randomized Clinical Study. Journal of endodontics. 2017;43(8):1237-45.
8. Abuhaimed TS, Abou Neel EA. Sodium Hypochlorite Irrigation and Its Effect on Bond Strength to Dentin. BioMed research international. 2017;2017:1930360.
9. Briseno BM, Wirth R, Hamm G, Standhartinger W. Efficacy of different irrigation methods and concentrations of root canal irrigation solutions on bacteria in the root canal. Endodontics & dental traumatology. 1992;8(1):6-11.
10. Mohammadi Z, Giardino L, Palazzi F, Asgary S. Agonistic and Antagonistic Interactions between Chlorhexidine and Other Endodontic Agents: A Critical Review. Iranian endodontic journal. 2015;10(1):1-5.
11. Ray H, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. International endodontic journal. 1995;28(1):12-8.
12. Belli S, Orucoglu H, Yildirim C, Eskitascioglu G. The effect of fiber placement or flowable resin lining on microleakage in Class II adhesive restorations. Journal of Adhesive Dentistry. 2007;9(2).
13. Spangberg L, Engström B, Langeland K. Biologic effects of dental materials: 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology. 1973;36(6):856-71.
14. Levine JM. Dakin's solution: past, present, and future. Advances in skin & wound care. 2013;26(9):410-4.
15. Dakin HD. ON THE USE OF CERTAIN ANTISEPTIC SUBSTANCES IN THE TREATMENT OF INFECTED WOUNDS. British Medical Journal. 1915;2(2852):318-20.
16. Herzfeld J. Die Bleichmittel, Beizen und Farbstoffe: Eigenschaften, Prüfung und praktische Anwendung auf Baumwolle, Wolle, Seide, Halbwolle, Halbseide, Jute, Leinen, etc: UNIKUM; 2014.
17. Rich SK, Slots J. Sodium hypochlorite (dilute chlorine bleach) oral rinse in patient self-care. The Journal of the Western Society of Periodontology/Periodontal abstracts. 2015;63(4):99-104.
18. Wright PP, Kahler B, Walsh LJ. Alkaline Sodium Hypochlorite Irrigant and Its Chemical Interactions. Materials (Basel, Switzerland). 2017;10(10).

19. Rossi-Fedele G, Guastalli AR, Dogramaci EJ, Steier L, De Figueiredo JA. Influence of pH changes on chlorine-containing endodontic irrigating solutions. *Int Endod J.* 2011;44(9):792-9.
20. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *International Endodontic Journal.* 2003;36(6):411-5.
21. Briseño Marroquín B GARW-Z, B Bedeutung der Spülung in der Endodontie. *ZMK-aktuell.* 2012.
22. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *International dental journal.* 2008;58(6):329-41.
23. Clarkson RM, Moule AJ, Podlich H, Kellaway R, Macfarlane R, Lewis D, et al. Dissolution of porcine incisor pulps in sodium hypochlorite solutions of varying compositions and concentrations. *Australian dental journal.* 2006;51(3):245-51.
24. del Carpio-Perochena A, Bramante CM, de Andrade FB, Maliza AG, Cavenago BC, Marciano MA, et al. Antibacterial and dissolution ability of sodium hypochlorite in different pHs on multi-species biofilms. *Clinical oral investigations.* 2015;19(8):2067-73.
25. Fukuzaki S. Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes. *Biocontrol science.* 2006;11(4):147-57.
26. Arias-Moliz MT, Morago A, Ordinola-Zapata R, Ferrer-Luque CM, Ruiz-Linares M, Baca P. Effects of Dentin Debris on the Antimicrobial Properties of Sodium Hypochlorite and Etidronic Acid. *Journal of endodontics.* 2016;42(5):771-5.
27. Tartari T, Oda DF, Zancan RF, da Silva TL, de Moraes IG, Duarte MA, et al. Mixture of alkaline tetrasodium EDTA with sodium hypochlorite promotes in vitro smear layer removal and organic matter dissolution during biomechanical preparation. *International endodontic journal.* 2017;50(1):106-14.
28. Macedo RG, Herrero NP, Wesselink P, Versluis M, van der Sluis L. Influence of the dentinal wall on the pH of sodium hypochlorite during root canal irrigation. *Journal of endodontics.* 2014;40(7):1005-8.
29. Dagna A, Arciola CR, Florindi F, Scribante A, Saino E, Visai L, et al. In vitro evaluation of antimicrobial efficacy of endodontic irrigants. *The International journal of artificial organs.* 2011;34(9):914-9.
30. Ruiz-Linares M, Aguado-Perez B, Baca P, Arias-Moliz MT, Ferrer-Luque CM. Efficacy of antimicrobial solutions against polymicrobial root canal biofilm. *International endodontic journal.* 2017;50(1):77-83.
31. Wayman BE, Kopp WM, Piner GJ, Lazzari EP. Citric and lactic acids as root canal irrigants in vitro. *Journal of endodontics.* 1979;5(9):258-65.
32. Rossi-Fedele G, Dogramaci EJ, Guastalli AR, Steier L, de Figueiredo JA. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid. *Journal of endodontics.* 2012;38(4):426-31.
33. Do Prado M, Simão RA, Gomes BP. Evaluation of different irrigation protocols concerning the formation of chemical smear layer. *Microscopy research and technique.* 2013;76(2):196-200.
34. Akisue E, Tomita VS, Gavini G, de Figueiredo JAP. Effect of the combination of sodium hypochlorite and chlorhexidine on dentinal permeability and scanning electron microscopy precipitate observation. *Journal of endodontics.* 2010;36(5):847-50.
35. dzw. Spüllösungen in der Endodontie – ein Überblick
36. Gu LS, Huang XQ, Griffin B, Bergeron BR, Pashley DH, Niu LN, et al. Primum non nocere - The effects of sodium hypochlorite on dentin as used in endodontics. *Acta biomaterialia.* 2017;61:14456.

37. Ben Rejeb H, Douki N. [Accidental injection sodium hypochlorite during endodontic therapy. Better understand to better manage]. *Odonto-stomatologie tropicale = Tropical dental journal*. 2015;38(151):50-6.
38. Saha SG, Sharma V, Bharadwaj A, Shrivastava P, Saha MK, Dubey S, et al. Effectiveness of Various Endodontic Irrigants on the Micro-Hardness of the Root Canal Dentin: An in vitro Study. *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR*. 2017;11(4):Zc01zc4.
39. Cunningham WT, Joseph SW. Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1980;50(6):56971.
40. Nicoletti MA, Siqueira EL, Bombana AC, Oliveira GG. Shelf-life of a 2.5% sodium hypochlorite solution as determined by Arrhenius equation. *Brazilian dental journal*. 2009;20(1):27-31.
41. Johnson BR, Remeikis NA. Effective shelf-life of prepared sodium hypochlorite solution. *Journal of endodontics*. 1993;19(1):40-3.
42. Clarkson RM, Moule AJ. Sodium hypochlorite and its use as an endodontic irrigant. *Australian dental journal*. 1998;43(4):250-6.
43. Pawlicka H. [The use of chelating agents for widening of the root canals. Determination of microhardness]. *Stomatologie der DDR*. 1982;32(5):355-61.
44. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *European journal of dentistry*. 2013;7(Suppl 1):S135-42.
45. Gu XH, Mao CY, Kern M. Effect of different irrigation on smear layer removal after post space preparation. *Journal of endodontics*. 2009;35(4):583-6.
46. Nikiforuk G, Sreebny L. Demineralization of hard tissues by organic chelating agents at neutral pH. *Journal of dental research*. 1953;32(6):859-67.
47. Gambarini G. Shaping and cleaning the root canal system: a scanning electron microscopic evaluation of a new instrumentation and irrigation technique. *Journal of endodontics*. 1999;25(12):800-3.
48. Zhang CL, Gao SS, Li Y. [Effects of different concentrations of ethylenediamine tetraacetic acid paste on removing root canal smear]. *Hua xi kou qiang yi xue za zhi = Huaxi kouqiang yixue zazhi = West China journal of stomatology*. 2010;28(2):149-52, 57.
49. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Cavenago B, Graeff MS, Gomes de Moraes I, Marciano M, et al. Antimicrobial effect of endodontic solutions used as final irrigants on a dentine biofilm model. *Int Endod J*. 2012;45(2):162-8.
50. Segura JJ, Calvo JR, Guerrero JM, Sampedro C, Jimenez A, Llamas R. The disodium salt of EDTA inhibits the binding of vasoactive intestinal peptide to macrophage membranes: endodontic implications. *Journal of endodontics*. 1996;22(7):33740.
51. Segura JJ, Calvo JR, Guerrero JM, Jimenez-Planas A, Sampedro C, Llamas R. EDTA inhibits in vitro substrate adherence capacity of macrophages: endodontic implications. *Journal of endodontics*. 1997;23(4):205-8.
52. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *Journal of endodontics*. 2009;35(6):891-5.
53. Løe H, Schiött CR, Karring G, Karring T. Two years oral use of chlorhexidine in man. I. General design and clinical effects. *Journal of periodontal research*. 1976;11(3):135-44.
54. Løe H, Rindom Schiött C. The effect of mouthrinses and topical application of chlorhexidine on the development of dental plaque and gingivitis in man. *Journal of periodontal research*. 1970;5(2):79-83.

55. Gomes BP, Vianna ME, Zaia AA, Almeida JF, Souza-Filho FJ, Ferraz CC. Chlorhexidine in endodontics. *Brazilian dental journal*. 2013;24(2):89-102.
56. Kolosowski KP, Sodhi RN, Kishen A, Basrani BR. Qualitative analysis of precipitate formation on the surface and in the tubules of dentin irrigated with sodium hypochlorite and a final rinse of chlorhexidine or QMiX. *Journal of endodontics*. 2014;40(12):2036-40.
57. Fardai O, Turnbull RS. A review of the literature on use of chlorhexidine in dentistry. *The Journal of the American Dental Association*. 1986;112(6):863-9.
58. Ferraz CCR, de Almeida Gomes BPF, Zaia AA, Teixeira FB, de Souza-Filho FJ. In vitro assessment of the antimicrobial action and the mechanical ability of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant. *Journal of endodontics*. 2001;27(7):452-5.
59. Gomes B, Ferraz C, ME V, Berber V, Teixeira F, Souza-Filho F. In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *International endodontic journal*. 2001;34(6):424-8.
60. Barbosa CA, Goncalves RB, Siqueira JF, De Uzeda M. Evaluation of the antibacterial activities of calcium hydroxide, chlorhexidine, and camphorated paramonochlorophenol as intracanal medicament. A clinical and laboratory study. *Journal of endodontics*. 1997;23(5):297-300.
61. Block SS. *Disinfection, sterilization, and preservation*: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. 274-98 p.
62. Perdigao J, Denehy G, Swift Jr E. Effects of chlorhexidine on dentin surfaces and shear bond strengths. *American journal of dentistry*. 1994;7(2):81-4.
63. Santos JN, de Oliveira Carrilho MR, De Goes MF, Zaia AA, de Almeida Gomes BPF, de Souza-Filho FJ, et al. Effect of chemical irrigants on the bond strength of a self-etching adhesive to pulp chamber dentin. *Journal of endodontics*. 2006;32(11):1088-90.
64. Filler S, Lazarchik D, Givan D, Retief D, Heaven T. Shear bond strengths of composite to chlorhexidine-treated enamel. *American journal of dentistry*. 1994;7(2):85-8.
65. Shen Y, Stojicic S, Qian W, Olsen I, Haapasalo M. The synergistic antimicrobial effect by mechanical agitation and two chlorhexidine preparations on biofilm bacteria. *Journal of endodontics*. 2010;36(1):100-4.
66. Patil CR, Uppin V. Effect of endodontic irrigating solutions on the microhardness and roughness of root canal dentin: an in vitro study. *Indian journal of dental research : official publication of Indian Society for Dental Research*. 2011;22(1):22-7.
67. Dagna A, Arciola CR, Florindi F, Scribante A, Saino E, Visai L, et al. In vitro evaluation of antimicrobial efficacy of endodontic irrigants. *The International journal of artificial organs*. 2011;34(9):915.
68. Ingle JI, Bakland LK. *Endodontics*: BC Decker; 2002. 501 p.
69. Harrison JW, Svec TA, Baumgartner JC. Analysis of clinical toxicity of endodontic irrigants. *Journal of endodontics*. 4(1):6-11.
70. Bartolo A, Koyess E, Camilleri J, Micallef C. Model assessing thermal changes during high temperature root canal irrigation. *Healthcare technology letters*. 2016;3(3):247-51.
71. Bach G. Kritisches zur mathematischen Darstellung der Beziehung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*. 1958;266(4):447-58.
72. Eriksson A, Albrektsson T, Grane B, McQueen D. Thermal injury to bone. A vital-microscopic description of heat effects. *International journal of oral surgery*. 1982;11(2):115-21.
73. Macedo RG, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis L. Temperature evolution of preheated irrigant injected into a root canal ex vivo. *Clinical oral investigations*. 2017;21(9):2841-50.
74. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *Journal of endodontics*. 2005;31(9):669-71.

75. Cunningham WT, Balekjian AY. Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1980;49(2):175-7.
76. Kurzweil P, Scheipers P. *Chemie: Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente*: Vieweg; 2005.
77. Retamozo B, Shabahang S, Johnson N, Aprecio RM, Torabinejad M. Minimum contact time and concentration of sodium hypochlorite required to eliminate *Enterococcus faecalis*. *Journal of endodontics*. 2010;36(3):520-3.
78. Ragnarsson KT, Rechenberg DK, Attin T, Zehnder M. Available chlorine consumption from NaOCl solutions passively placed in instrumented human root canals. *International Endodontic Journal*. 2015;48(5):435-40.
79. Silverthorn DU, Weber WM. *Physiologie*: Pearson Deutschland; 2009.
80. Jungbluth H, Marending M, De-Deus G, Sener B, Zehnder M. Stabilizing sodium hypochlorite at high pH: effects on soft tissue and dentin. *Journal of endodontics*. 2011;37(5):693-6.
81. Townsend C, Maki J. An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *Journal of endodontics*. 2009;35(7):1040-3.
82. Plotino G, Cortese T, Grande NM, Leonardi DP, Di Giorgio G, Testarelli L, et al. New Technologies to Improve Root Canal Disinfection. *Brazilian dental journal*. 2016;27(1):3-8.
83. Tunga U, Parlak E, Bodrumlu E, Aydemir H, Yeşilsoy C. Effect of F-File on removal of the smear layer: A scanning electron microscope study. *Australian Endodontic Journal*. 2011;37(2):65-9.
84. Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator system, the F file, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of endodontics*. 2010;36(8):1367-71.
85. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of endodontics*. 2009;35(6):791-804.
86. Huque J, Kota K, Yamaga M, Iwaku M, Hoshino E. Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *Int Endod J*. 1998;31(4):242-50.
87. Al-Jadaa A, Paque F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. *Int Endod J*. 2009;42(1):59-65.
88. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *Journal of endodontics*. 2010;36(8):1361-6.
89. De Moor RJG, Blanken J, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 2: evaluation of the efficacy. *Lasers in surgery and medicine*. 2009;41(7):520-3.
90. Agarwal A, Deore RB, Rudagi K, Nanda Z, Baig MO, Fareez MA. Evaluation of Apical Vapor Lock Formation and comparative Evaluation of its Elimination using Three different Techniques: An in vitro Study. *The journal of contemporary dental practice*. 2017;18(9):790-4.
91. Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P. Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *International endodontic journal*. 2010;43(8):663-72.
92. Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P. Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *Int Endod J*. 2010;43(8):663-72.
93. Paragliola R, Franco V, Fabiani C, Mazzoni A, Nato F, Tay FR, et al. Final rinse optimization: influence of different agitation protocols. *Journal of endodontics*. 2010;36(2):282-5.

94. Zmener O, Pameijer CH, Serrano SA, Palo RM, Iglesias EF. Efficacy of the NaviTip FX irrigation needle in removing post instrumentation canal smear layer and debris in curved root canals. *Journal of endodontics*. 2009;35(9):1270-3.
95. Goel S, Tewari S. Smear layer removal with passive ultrasonic irrigation and the NaviTip FX: a scanning electron microscopic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009;108(3):465-70.
96. Nova R. Arbeitsweise SAF.
97. Paqué F, Al-Jadaa A, Kfir A. Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. *International endodontic journal*. 2012;45(5):413-8.
98. Dietrich MA, Kirkpatrick TC, Yaccino JM. In vitro canal and isthmus debris removal of the self-adjusting file, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars. *Journal of endodontics*. 2012;38(8):1140-4.
99. Schoeffel GJ. The EndoVac method of endodontic irrigation: safety first. *Dentistry today*. 2007;26(10):92, 4, 6 passim-, 4, 6 passim.
100. ©2017 KC.
101. Desai P, Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *Journal of endodontics*. 2009;35(4):545-9.
102. De Gregorio C, Paranjpe A, Garcia A, Navarrete N, Estevez R, Esplugues E, et al. Efficacy of irrigation systems on penetration of sodium hypochlorite to working length and to simulated uninstrumented areas in oval shaped root canals. *International endodontic journal*. 2012;45(5):475-81.
103. Nielsen BA, Baumgartner JC. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics*. 2007;33(5):611-5.
104. Susin L, Liu Y, Yoon J, Parente J, Loushine R, Ricucci D, et al. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *International endodontic journal*. 2010;43(12):1077-90.
105. Saber SE-D, Hashem AAR. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *Journal of endodontics*. 2011;37(9):1272-5.
106. Townsend C, Maki J. An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *Journal of endodontics*. 2009;35(7):1040-3.
107. Goode N, Khan S, Eid AA, Niu L-n, Gosier J, Susin LF, et al. Wall shear stress effects of different endodontic irrigation techniques and systems. *Journal of dentistry*. 2013;41(7):636-41.
108. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *Journal of endodontics*. 2007;33(2):81-95.
109. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of endodontics*. 1980;6(9):740-3.
110. Abbott PV, Heijkoop PS, Cardaci SC, Hume WR, Heithersay GS. An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics. *Int Endod J*. 1991;24(6):308-16.
111. van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR. A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation. *Int Endod J*. 2005;38(9):593-6.
112. Munley PJ, Goodell GG. Comparison of passive ultrasonic debridement between fluted and nonfluted instruments in root canals. *Journal of endodontics*. 2007;33(5):578-80.

113. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J.* 2007;40(6):415-26.
114. Lottanti S, Gautschi H, Sener B, Zehnder M. Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer. *Int Endod J.* 2009;42(4):335-43.
115. Mozo S, Llena C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal.* 2012;17(3):e512-e6.
116. Mozo S, Llena C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2012;17(3):e512-6.
117. . Martin H, Cunningham W. Endosonic endodontics: the ultrasonic synergistic system. *Int Dent J.* 1984;34(3):198-203.
118. Kanter V, Weldon E, Nair U, Varella C, Kanter K, Anusavice K, et al. A quantitative and qualitative analysis of ultrasonic versus sonic endodontic systems on canal cleanliness and obturation. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2011;112(6):809-13.
119. Li D, Jiang S, Yin X, Chang JW, Ke J, Zhang C. Efficacy of Needle, Ultrasonic, and Endoactivator Irrigation and Photon-Induced Photoacoustic Streaming in Removing Calcium Hydroxide from the Main Canal and Isthmus: An In Vitro Micro-Computed Tomography and Scanning Electron Microscopy Study. *Photomedicine and laser surgery.* 2015;33(6):330-7.
120. Lukac N. Photoacoustic Endodontics Using the Novel SWEEPS Er:YAG Laser Modality. *Journal of the Laser and Health Academy.* 2017.
121. Pedulla E, Genovese C, Campagna E, Tempera G, Rapisarda E. Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: an ex vivo study. *International endodontic journal.* 2012;45(9):865-70.
122. Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, DiVito E. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *Journal of endodontics.* 2011;37(7):1008-12.
123. Arslan H, Capar I, Saygili G, Gok T, Akcay M. Effect of photoninitiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *International endodontic journal.* 2014;47(11):1072-7.
124. Pitt WG. Removal of oral biofilm by sonic phenomena. *American journal of dentistry.* 2005;18(5):345-52.
125. Ruddle CJ. Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endodontic Journal.* 2015;5(1):1.
126. Garcez AS, Nunez SC, Lage-Marques JL, Hamblin MR, Ribeiro MS. Photonic real-time monitoring of bacterial reduction in root canals by genetically engineered bacteria after chemomechanical endodontic therapy. *Brazilian dental journal.* 2007;18(3):202-7.
127. Ahmad M, Ford TRP, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *Journal of endodontics.* 1987;13(3):93-101.
128. Uroz-Torres D, Gonzalez-Rodriguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Journal of endodontics.* 2010;36(2):308-11.
129. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive

- irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of endodontics*. 2003;29(10):674-8.
130. Johnson M, Sidow SJ, Looney SW, Lindsey K, Niu L-n, Tay FR. Canal and isthmus debridement efficacy using a sonic irrigation technique in a closed-canal system. *Journal of endodontics*. 2012;38(9):1265-8.
131. Elnaghy AM, Mandorah A, Elsaka SE. Effectiveness of XP-endo Finisher, EndoActivator, and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology*. 2017;105(2):178-83.
132. Conde AJ, Estevez R, Lorono G, Valencia de Pablo O, RossiFedele G, Cisneros R. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *International endodontic journal*. 2017;50(10):976-82.
133. Gu Y, Perinpanayagam H, Kum DJ, Yoo YJ, Jeong JS, Lim SM, et al. Effect of Different Agitation Techniques on the Penetration of Irrigant and Sealer into Dentinal Tubules. *Photomedicine and laser surgery*. 2017;35(2):71-7.
134. Ramamoorthi S, Nivedhitha MS, Divyanand MJ. Comparative evaluation of postoperative pain after using endodontic needle and EndoActivator during root canal irrigation: A randomised controlled trial. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*. 2015;41(2):78-87.
135. Storch DR. Spülsystem EDDY: Von der Idee bis zur Zulassung.1-5.
136. ZEPPEFELD DW. WURZELKANALSPULUNG NEU GEDACHT. *Deutscher Ärzte-Verlag I DENTAL MAGAZIN I* 2015;33(7).48-52.
137. Urban K, Donnermeyer D, Schafer E, Burklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clinical oral investigations*. 2017;21(9):2681-7.
138. Sirona D.
139. Sirona D. EndoActivator
140. Mancini M, Cerroni L, Iorio L, Dall'Asta L, Cianconi L. FESEM evaluation of smear layer removal using different irrigant activation methods (EndoActivator, EndoVac, PUI and LAI). An in vitro study. *Clinical oral investigations*. 2017.
141. Bryce G, MacBeth N, Gulabivala K, Ng YL. The efficacy of supplementary sonic irrigation using the EndoActivator((R)) system determined by removal of a collagen film from an ex vivo model. *International endodontic journal*. 2017.
142. MICROMEGA. EndoUltra.

Danksagung

Lebenslauf



Name: Luca Rogler

Geburtsdatum: 24.09.1992

Geburtsort: Bonn

Staatsangehörigkeit: Deutsch

Konfession: evangelisch

Sprachkenntnisse: Deutsch, Englisch

Schulausbildung:

1999-2002 Grundschule Andreasschule, Bonn, Bad-Godesberg

2002-2012 Gymnasium Otto-Kühne-Schule, Bonn, Bad-Godesberg

Abschluss: Abitur

Hochschulausbildung:

SS 2013- SS 2015 Vorklinisches Studium der Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz

WS 2013/204 1. Staatsexamen Zahnmedizin (Vorphysikum)

SS 2015 2. Staatsexamen Zahnmedizin (Physikum)

Seit WS 2015/2016 Klinisches Studium der Zahnmedizin an
der Johannes Gutenberg-Universität,
Mainz
29.06.2018 Approbation zum Zahnarzt

Weiterbildung:

10.2013-04.2014 Praktikum bei BioEnergetik
(Zahnlabor), Bonn
15.08.2016-15.09.2016 Praktikum in der Praxis Dr.
Thomas Petersen, Bonn
03.05.2017-05.05.2017 Cerec 3D Curriculum
05.05.2017 Studentenworkshop „3D-Planung
in der Implantologie“ von Nobel
Biocare
17/18.09.2017 Hospitation bei Prof. Dr. med.
dent. Hannes Wachtel und Dr.
med. dent. Paul Schuh, München
WS 2017/2018 Ringvorlesung Implantologie in
der Zahnklinik Mainz
13.01.2018-14.01.2018 Blockseminar „Mein Erstes
Implantat“ bei Pd. Dr. med. dent.
Robert Nölken

Auslandserfahrung:

07.2009-12.2009 Schüleraustausch nach Australien
06.2012-09.2012 Work&Travel in Australien

Beruflicher Werdegang:

04.2017-10.2017 Notdiensthelfer in der Klinik für Zahn-,
Mund- und Kieferkrankheiten, Mainz
08.2018- Vorbereitungsassistent

München, 10.05.2019