

**Antierosiver und antiabrasiver Effekt konventioneller und antierosiver
Zahnpasten auf Dentin in-vitro**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Lehmann, Verena-Vanessa, geb. Fickenscher
aus Frankfurt am Main

Gießen 2017

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen
Leitung: Prof. Dr. Bernd Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. Nadine Schlüter

Gutachter: Prof. Dr. Carolina Ganß

Tag der Disputation: 09.11.2018

Für meine Familie

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	2
2.1. Definition von Erosion und Abrasion.....	2
2.1.1. Klinisches Erscheinungsbild von Erosionen und mechanisch verursachten Zahnhartsubstanzverlusten.....	2
2.1.2. Histologisches Erscheinungsbild von Erosionen.....	3
2.2. Ätiologie von Erosionen.....	5
2.2.1. Extrinsische Ursachen.....	6
2.2.2. Intrinsische Ursachen.....	8
2.3. Epidemiologie.....	9
2.3.1. Prävalenz bei Kindern und Jugendlichen.....	9
2.3.2. Prävalenz bei Erwachsenen.....	11
2.3.3. Prävalenz in Risikogruppen.....	11
2.4. Therapie.....	13
2.4.1. Kausale Therapie.....	13
2.4.2. Symptomatische Therapie.....	14
2.4.3. Rolle der mechanischen Einflüsse, der Zahnpasten und Wirkstoffe auf erosive Zahnhartsubstanzverluste.....	17
2.5. Fragestellung.....	21
3. Material und Methode	23
3.1. Probenherstellung.....	23
3.2. Lösungen/Produkte.....	24
3.3. Gruppeneinteilung.....	26
3.4. Versuchsdurchführung.....	28
3.5. Messmethode.....	30
3.6. Statistik.....	31
3.7. Material- und Chemikalienliste.....	32
4. Ergebnisse	36
4.1. Allgemeines.....	36
4.2. Mineralverluste der einzelnen Versuchsgruppen.....	37
4.3. Vergleich des Mineralverlustes der Versuchsgruppen des Slurryexperiments.....	40
4.4. Vergleich des Mineralverlustes zwischen den Versuchsgruppen des Bürstexperiments.....	41

5. Diskussion	42
5.1. Diskussion der Methode.....	42
5.1.1. Probenmaterial.....	42
5.1.2. Erosions- und Abrasionserzeugung.....	43
5.1.3. Auswahl der Zahnpasten.....	44
5.1.4. Messmethode.....	45
5.1.5. Versuchsaufbau.....	46
5.2. Diskussion der Ergebnisse.....	47
5.2.1. Diskussion der Ergebnisse nach Immersion in Zahnpastensuspensionen. - Wirkstoffeffekte.....	47
5.2.2. Diskussion der Ergebnisse nach Immersion in Zahnpastensuspensionen und zusätzlicher Bürstabrasion – Abrasionsmodifizierte Effekte.....	53
5.3. Ausblick.....	58
6. Zusammenfassung	60
7. Abstract	62
8. Literaturverzeichnis	64
9. Anhang	78
9.1. Ehrenwörtliche Erklärung.....	78
9.2. Danksagung.....	79
9.3. Lebenslauf.....	80

1. Einleitung

1. Einleitung

Erosionen sind pathologische Zahnhartsubstanzverluste, welche durch die direkte Einwirkung von Säuren entstehen und nicht, wie Karies, durch intraorale Bakterien verursacht werden. Diese Säuren können entweder endogenen (Magensäuren) oder exogenen (Lebensmittel, Getränke, Medikamente, Säuredämpfe) Ursprungs sein.

Die Prävalenz von Erosionen variiert zwischen verschiedenen Personengruppen. Besonders von Erosionen betroffen sind Personen mit bestimmten Ernährungsgewohnheiten, wie Rohköstler und Vegetarier, Personen mit bestimmten Erkrankungen, wie Essstörungen oder gastrointestinalen Erkrankungen, oder auch beruflich säureexponierte Personen, wie zum Beispiel Weinverkoster. Diese Personengruppen haben oft ausgeprägte Erosionen, die bis in das Dentin reichen können.

Die pathogenen Noxen lassen sich nicht immer ohne Weiteres eliminieren. Daher muss nach effektiven und einfach zugänglichen Möglichkeiten gesucht werden, um ein weiteres Fortschreiten von Erosionsschäden zu verhindern beziehungsweise zu verringern. Präventive Maßnahmen gegen Erosionen mit dem täglichen Zähneputzen zu verbinden, ist eine einfache und wenig zeitaufwändige Möglichkeit, mit der Erosionspatienten sehr geholfen wäre.

Eine Großzahl der in den letzten Jahren auf den Markt gekommenen Zahnpasten wirbt mit speziellen antierosiven Formulierungen. Zu deren Wirkstoffen zählen Natriumfluorid in Verbindung mit weiteren Wirkstoffen, welche die Verfügbarkeit des Fluorids erhöhen sollen, zinnhaltige Verbindungen, Hydroxylapatitverbindungen, Kaseinderivate oder Biopolymere.

Ziel der Untersuchung war es die antierosive Wirksamkeit der verschiedenen im Handel erhältlichen antierosiven Zahnpasten im Vergleich zu herkömmlichen Natriumfluoridpasten im Dentin unter in-vitro Bedingungen zu untersuchen. Zusätzlich sollte die antierosive/antiabrasive Wirkung der einzelnen Zahnpasten im Dentin bestimmt werden.

2. Literaturübersicht

2. Literaturübersicht

2.1. Definition von Erosion und Abrasion

Substanzverluste an der Zahnoberfläche können verschiedene Ursachen haben, dazu zählen unter anderem die nicht karies-bedingten Zahnhartsubstanzverluste. Zumeist handelt es sich dabei um Abrasionen, Erosionen oder Kombinationen davon.

Abrasion ist definiert als die mechanische Abnutzung von Zahnhartgewebe durch Fremdkörper oder -substanzen, welche wiederholt in den Mund geführt werden und dabei die Zähne berühren (Drei-Medien-Verschleiß (Mair, 2000;Mair *et al.*, 1996;Addy, 2008)). Eine Sonderform der Abrasion ist die Demastikation, welche den mechanischen Abrieb zwischen Nahrung und Zahn definiert.

Erosion ist demgegenüber als ausschließlich chemischer Prozess definiert, bei dem Säuren auf die Zähne einwirken (Carvalho *et al.*, 2015). Im Gegensatz zur Karies jedoch ohne die Beteiligung von Mikroorganismen (Ganss *et al.*, 2013).

Oftmals treten Erosionen und mechanische Substanzverluste jedoch simultan auf, da erodierte Schmelzoberflächen eine geringere Oberflächenhärte und damit eine geringere Resistenz gegenüber mechanischer Abnutzung aufweisen als gesunde Zahnoberflächen (Ganss *et al.*, 2014b).

2.1.1. Klinisches Erscheinungsbild von Erosionen und mechanisch verursachten Zahnhartsubstanzverlusten

Beim klinischen Erscheinungsbild ist es schwierig zu differenzieren, ob Erosionen oder Abrasionen für den vorliegenden Zahnhartsubstanzverlust primär verantwortlich sind, da sie meist simultan auftreten (Carvalho *et al.*, 2015).

Typische klinische Zeichen eines Erosionsdefektes sind ein glatter, seidenartig glänzender, manchmal matter Schmelz mit fehlenden Perikymatien. Fazial gelegene Erosionen im Schmelz weisen eine flache Konkavität mit abgerundeten Rändern auf, welche deutlich breiter ist als tief (Lussi and Jaeggi, 2008). Entlang der Gingivagrenze ist meist ein Streifen intakten Schmelzes vorhanden, wofür einerseits Plaqueüberreste verantwortlich gemacht werden, welche als Diffusionsbarriere für Säuren dienen können, und andererseits der Neutralisationseffekt durch den basischen pH-Wert der Sulkusflüssigkeit (Carvalho *et al.*, 2015).

2. Literaturübersicht

Fortgeschrittene okklusale Erosionsdefekte führen zur Abrundung der Höcker, es können muldenförmige Vertiefungen entstehen, und Restaurationen können über die umgebende Zahnoberfläche herausragen. In schwerwiegenden Fällen kommt es zu einer Veränderung der gesamten okklusalen Morphologie (Carvalho *et al.*, 2015).

Das klinische Erscheinungsbild eines Abrasionsdefektes kann unterschiedlich sein und ist abhängig von der Art und Beschaffenheit des ursächlichen Fremdkörpers. Durch spezielle Habits, wie das Kauen auf Stiften können Abrasionen an den Inzisalkanten der Frontzähne entstehen (Mair *et al.*, 1996). Abrasionen können aber auch durch eine falsche Zahnputztechnik auftreten (Ganss *et al.*, 2008b). Besonders betroffen sind dabei die Labialflächen, wo durch schrubbende Bewegungen mittels Zahnbürste und Zahnpaste die Zahnhartsubstanz abgetragen wird. Das klinische Bild weist hierbei oft auch stärkere Gingivarezessionen auf und der Patient gibt Hypersensibilitäten in diesem Bereich an, welche auf eine vorliegende Dentinbeteiligung schließen lassen (Addy, 2005). Hypersensibilitäten können jedoch auch bei stärker fortgeschrittenen Erosionsschäden mit freiliegenden Dentinoberflächen auftreten (Lussi *et al.*, 2011).

2.1.2. Histologisches Erscheinungsbild von Erosionen

Gesunder Schmelz besteht zu 87 Vol.-% aus anorganischen Bestandteilen, zu 11 Vol.-% aus Wasser und zu 2 Vol.-% aus organischen Bestandteilen (Nikiforuk, 1985;Lussi *et al.*, 2011). Hauptbestandteile des anorganischen Anteils sind Kalzium, Phosphat, Karbonat, Magnesium und Natrium.

Der anorganische Teil des Schmelzes liegt in Form von Apatitkristallen aus Kalzium und Phosphat vor, welche Schmelzprismen bilden (Ganss *et al.*, 2014b), die von der Schmelz-Dentin-Grenze zur Schmelzoberfläche verlaufen.

Gesundes Dentin besteht zu 47 Vol.-% aus anorganischen, zu 33 Vol.-% aus organischen Bestandteilen und zu 21 Vol.-% aus Wasser. Den anorganischen Teil bilden hauptsächlich Phosphat und Kalzium in kristalliner Form als Apatit bzw. amorphem Kalziumphosphat und diverse Spurenelementen. Der organische Anteil besteht zu 90 Gew.-% aus Kollagen Typ I, weitere Bestandteile sind Glykoproteine, Phosphoproteine, Lipide und Proteoglykane (Nikiforuk, 1985;Lussi *et al.*, 2011).

Durch den hohen Kollagenanteil hat Dentin elastische Eigenschaften, jedoch auch eine geringere Härte als Schmelz (Lussi *et al.*, 2011).

2. Literaturübersicht

Histologisch besteht das Dentin aus Dentintubuli, die von der Pulpa zur Schmelz-Dentin-Grenze oder zur Zement-Dentin-Grenze verlaufen. Im Inneren der Dentintubuli verlaufen Odontoblastenfortsätze als Fortsätze pulpaler Zellen. Umgeben sind die Dentintubuli von peritubulärem Dentin, welches am stärksten mineralisiert ist. Zwischen den Dentintubuli liegt das intertubuläre Dentin, welches weniger stark mineralisiert ist und hauptsächlich aus kalzifiziertem Kollagen besteht (Lussi *et al.*, 2011).

Bei der erosiven Demineralisation von Schmelz werden zunächst die Schmelzkristalle im Bereich der Prismenhülle aufgelöst. Bei fortschreitendem Säureeinfluss werden die interprismatischen Regionen und schließlich die Prismenzentren demineralisiert, was zu einem vollständigen, langsam von außen nach innen voranschreitenden Mineralverlust führt (Lussi *et al.*, 2011). Einher geht der Verlust an Mineralien mit einer Reduktion der Oberflächenhärte, was zu einer erhöhten Anfälligkeit für mechanisch bedingte Zahnhartsubstanzverluste führt (Lussi *et al.*, 2011). Ein Fortschreiten der Substanzverluste führt zu einer Exponation des Dentins (Lussi *et al.*, 2011).

Im Dentin führt ein Säureeinfluss ebenfalls zu einem Mineralverlust, jedoch findet hier keine lineare Demineralisation wie im Schmelz statt, da der organische Anteil des Dentins erhalten bleibt (Lussi *et al.*, 2011; Ganss *et al.*, 2014b). Zuerst demineralisieren peri- und intertubuläres Dentin gleichmäßig, nach einer Minute kommt es jedoch zu einer schnelleren Auflösung des peritubulären Dentins im Vergleich zum intertubulären Dentin und zu einer Vergrößerung der Tubuli (Kinney *et al.*, 1995; Lussi *et al.*, 2011). Letztendlich demineralisiert aber auch das intertubuläre Dentin und es kommt zur Exponation der organischen Strukturen. Diese weisen unter erosiven Bedingungen eine hohe Stabilität auf, was dazu führt, dass mit anhaltender Erosionszeit die Schichtdicke dieser Kollagenstrukturen zunimmt. Es entsteht eine vollständig demineralisierte organische Oberflächenschicht. Unterhalb der vollständig demineralisierten Schicht befindet sich eine schmale, teilweise demineralisierte Schicht und darunter gesundes, vollständig mineralisiertes Dentin (Kinney *et al.*, 1995; Lussi *et al.*, 2011). Die demineralisierte organische Oberflächenschicht wirkt als Diffusionsbarriere sowohl für Säuren als auch für alle anderen einwirkenden Ionen oder Wirkstoffe. Diese Barrierefunktion bewirkt, dass Erosionen im Dentin, anders als im Schmelz, nicht linear voranschreiten. Vielmehr wird die Progression des Mineralverlusts mit zunehmender Dicke der organischen Strukturen verlangsamt (Lussi *et al.*, 2011; Ganss *et al.*, 2014b). Ob oder in wie weit die demineralisierte organische Matrix in-vivo erhalten bleibt, ist nicht vollständig geklärt (Ganss *et al.*, 2014b). Es wird vermutet, dass ein Großteil der organischen Matrix in vivo durch proteolytische Enzyme entfernt wird (Ganss *et al.*,

2. Literaturübersicht

2014b). Wird die organische Matrix unter Laborbedingungen teilweise oder vollständig enzymatisch entfernt, beispielsweise durch Verdauungsenzyme oder Kollagenasen, schreiten Erosionen zum einen schneller voran und zum anderen zeigt die Progression wieder ein eher lineares Verhalten (Ganss *et al.*, 2004; Kleter *et al.*, 1994).

Die Matrix ist jedoch nicht nur ausgesprochen stabil gegenüber Säureeinflüssen, sondern auch gegenüber mechanischen Einwirkungen. Dies konnte in einem in-vitro Versuch (Ganss *et al.*, 2009a) gezeigt werden, in dem eine erosiv demineralisierte organische Dentinschicht durch Bürstabrasionen, unter einem Bürstdruck bis 4 N, nicht entfernt werden konnte. Die demineralisierte organische Matrix war nach der Durchführung von Bürstabrasionen zwar komprimiert in Bezug auf ihre histologische Struktur, jedoch immer noch präsent und verhinderte eine Abrasion des darunter liegenden mineralisierten Anteils (Ganss *et al.*, 2009a).

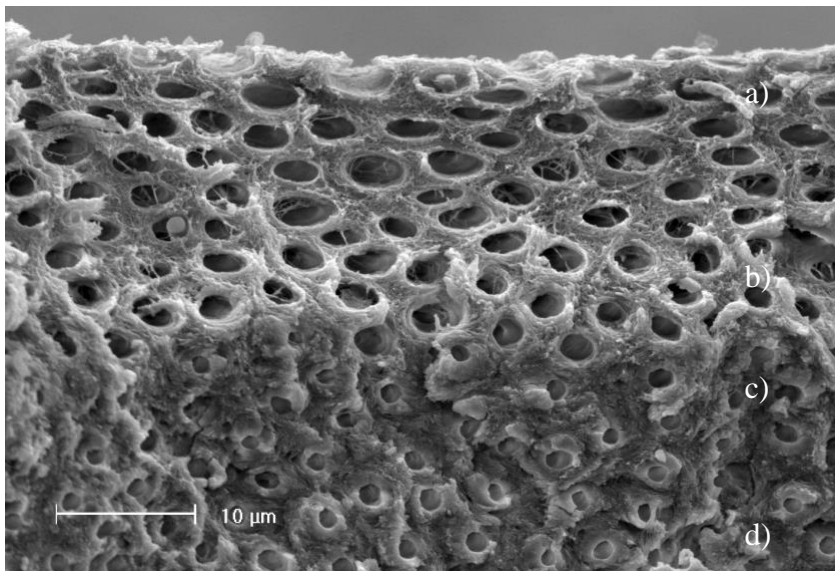


Abb. 2.1: REM-Querschnittsbild einer demineralisierten Dentinprobe. Von oben nach unten sind a) die vollständig demineralisierte Oberflächenschicht; b) das teilweise demineralisierte Band, c) eine Übergangsschicht und d) die vollständig mineralisierte Schicht zu erkennen. (Quelle: mit freundlichem Dank an Prof. Dr. Schlüter)

2.2. Ätiologie von Erosionen

In Abhängigkeit vom Ursprung der Säure wird zwischen extrinsischen Ursachen, von außen einwirkend (wie saure Lebensmittel und Getränke), und intrinsischen Ursachen, vom Körper selbst kommend (Magensäure), unterschieden (Carvalho *et al.*, 2015). Unabhängig von der Art der Säuren wird das erosive Potential einer Säure durch verschiedene Faktoren bestimmt (Lussi *et al.*, 2006). Diese sind chemische Faktoren wie pH-Wert, Pufferkapazität, Chelatoreigenschaften und Kalzium-, Fluorid- und Phosphatgehalt, biologische Faktoren wie Pufferkapazität und Fließrate des Speichels, Zahnanatomie, Zahnstruktur und Pellikel sowie Verhaltensfaktoren wie Ess-, Trink- und Zahnputzgewohnheiten, Erbrechen oder die berufliche Tätigkeit (Lussi *et al.*, 2006).

2. Literaturübersicht

Klinisch sichtbare Läsionen manifestieren sich erst, wenn erosive Einflüsse regelmäßig auftreten (Carvalho *et al.*, 2015).

2.2.1. Extrinsische Ursachen

Diätetische Säuren gelten als die wichtigsten extrinsischen Faktoren bei der Entstehung von Erosionen (Carvalho *et al.*, 2015).

Der Konsum von Softdrinks, Fruchtsäften und Sportgetränken ist in den letzten Jahren erheblich angestiegen (Hooper *et al.*, 2007b). 1997 lag der durchschnittliche weltweite Konsum von Softdrinks bei ca. 36 l pro Person pro Jahr und 2010 wurden durchschnittlich bereits ca. 43 l pro Person jährlich konsumiert (Basu *et al.*, 2013). Den Großteil der Softdrinks konsumierten hierbei Mexiko und die Vereinigten Staaten von Amerika. Hier betrug der Softdrinkkonsum 2010 jeweils ca. 118 l pro Person (Basu *et al.*, 2013).

Auch in Deutschland hat der Konsum von Obst, Fruchtsäften und sauren Getränken pro Kopf signifikant während der letzten Jahrzehnte zugenommen. Der durchschnittliche jährliche Konsum von Softdrinks lag 2008 laut Nationaler Verzehrstudie II bei 92 Liter pro Person (Max Rubner-Institut, 2008). Besonders hoch war der Konsum von Fruchtsäften und Limonaden bei jungen Erwachsenen und Jugendlichen, speziell in der Gruppe der 14-18 jährigen Jungen, wo der Verzehr bei etwa 1 Liter pro Kopf und Tag lag (siehe Abb.2.2; (Max Rubner-Institut, 2008)). Somit gehören männliche Jugendliche durch ihren hohen Verzehr an sauren Getränken eindeutig zu den Risikogruppen für Erosionen.

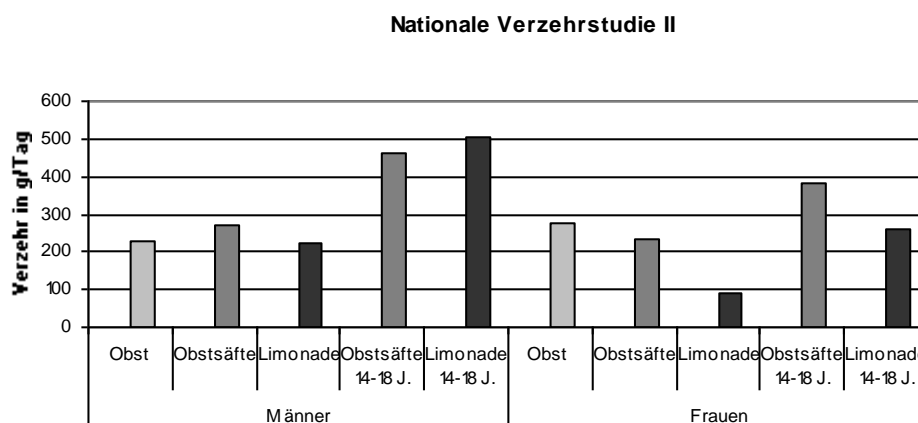


Abb. 2.2: Durchschnittliche Verzehrmenge von Obst, Obstsäften und Limonaden in g/Tag für Frauen und Männern insgesamt und in der Gruppe der 14-18 jährigen laut Nationaler Verzehrstudie II (Max Rubner-Institut, 2008)

In-vitro Experimente mit sauren Getränken wie Cola, Orangensaft oder Sportgetränken haben deutlich das erosive Potential von Nahrungsmittelsäuren belegt (Meurman *et al.*, 1987; Rytömaa *et al.*, 1988; Lussi *et al.*, 1995; Larsen and Nyvad, 1999).

2. Literaturübersicht

Weitere in-vitro und in-situ Studien haben gezeigt, dass das erosive Potential eines sauren Getränks oder Nahrungsmittels nicht nur abhängig ist von dessen pH-Wert, sondern auch stark beeinflusst wird durch dessen Mineraliengehalt, Pufferkapazität und Chelatbildungsfähigkeit (Lussi *et al.*, 2006). Der pH-Wert, der Kalzium-, Phosphat- und Fluoridgehalt eines Getränks oder Nahrungsmittels bestimmen den Grad der Sättigung in Bezug auf die Bestandteile der Zahnhartsubstanz. Daher führen übersättigte Lösungen zu keiner Demineralisation von Zahnhartsubstanz (Larsen and Nyvad, 1999). Ein Beispiel dafür ist Joghurt, der trotz eines pH-Wertes von etwa 4, aufgrund seines hohen Kalzium- und Phosphatgehaltes kein erosives Potential besitzt (Lussi *et al.*, 2006).

Die Zugabe von Kalzium- und Phosphatsalzen zu erosiven Getränken hat bereits vielversprechende Ergebnisse geliefert (Hooper *et al.*, 2007a). Die Zugabe von Kalzium zu einem schwarzen Johannisbeersaft (West *et al.*, 2003), einem Orangensaft (Larsen and Nyvad, 1999) oder einem Sportgetränk (Hooper *et al.*, 2004) mit niedrigem pH führte zu einer deutlichen Reduktion des erosiven Potentials dieser Getränke.

Neben der Ernährung kann auch die Einnahme von Medikamenten oder Nahrungsergänzungsmitteln bei der Entstehung von Erosionen eine Rolle spielen, wenn diese säurehaltig sind und die Einwirkzeit lang genug ist. Dies liegt zum Beispiel bei der Einnahme von Brause- oder Kautabletten vor (Schlueter and Tveit, 2014). Ein Fallbericht zeigt, dass der tägliche Konsum von Vitamin-C-Tabletten über einen Zeitraum von drei Jahren zu schweren Erosionen führte (Giunta, 1983).

Asthmamedikamente zum Inhalieren stehen ebenfalls im Verdacht Zahnerosionen auszulösen, jedoch fehlen hierzu aussagekräftige Studien (Schlueter and Tveit, 2014). Auch Acetylsalicylsäure besitzt ein erosives Potential, was in verschiedenen Fallberichten dokumentiert werden konnte (Sullivan and Kramer, 1983; Rogalla *et al.*, 1992; Christensen, 1984; McCracken and O'Neal, 2000). Jedoch fehlen auch hier Studien, die einen Zusammenhang von Zahnerosionen und der Einnahme von Acetylsalicylsäure eindeutig belegen (Schlueter and Tveit, 2014).

Die Exposition gegenüber Säuren im Beruf kann ebenfalls zu Erosionen führen. Dazu zählen unter anderem Arbeiter in Galvanisierungs- und Batteriefabriken (Schlueter and Tveit, 2014; Wiegand and Attin, 2007) oder auch der Beruf des Weinverkosters (Wiktorsson *et al.*, 1997; Schlueter and Tveit, 2014). Wein hat einen niedrigen pH-Wert zwischen 3 und 4 und einen geringen Gehalt an Phosphat und Kalzium, woraus ein erosives Potential resultiert (Lussi *et al.*, 2012; Wiktorsson *et al.*, 1997).

2. Literaturübersicht

2.2.2. Intrinsische Ursachen

Die einzige bekannte intrinsische Ursache ist die Magensäure. Der Magensaft enthält Salzsäure und hat mit einem pH-Wert von 1,0 bis 1,5 ein hohes erosives Potential (Scheutzel, 1996;Taji and Seow, 2010). Mehrere Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von palatinalen Erosionen und dem Einwirken von Magensäure (Lussi *et al.*, 1991;Järvinen *et al.*, 1991;Meurman *et al.*, 1994;Bartlett, 2006;Öhrn *et al.*, 1999).

Verschiedene Erkrankungen führen zum Kontakt der Magensäure mit den Zähnen. Dazu gehören gastroösophageale Refluxerkrankungen (Schroeder *et al.*, 1995;Meurman *et al.*, 1994), chronische Magen-Darm-Erkrankungen und chronisches Erbrechen in Form von Essstörungen des bulimischen Formenkreises (Rytömaa *et al.*, 1998).

Bei der gastroösophagealen Refluxerkrankung handelt es sich um eine in der Bevölkerung weit verbreitete Erkrankung mit einer Prävalenz von circa 4-7% für den chronischen symptomatischen Reflux (Sonnenberg and El-Serag, 1999) und einer Prävalenz von etwa 25% für den stillen, asymptomatischen Reflux (Fass and Dickman, 2006) in den westlichen Industrieländern. Sie wird verursacht durch den Rückfluss der Magensäure in die Speiseröhre (Moazzez *et al.*, 2004). Symptome sind saures Aufstoßen oder Sodbrennen, aber auch extraösophageale Symptome in Mundhöhle, Nase, Ohr und den oberen Atemwegen (Vakil *et al.*, 2006;Wang *et al.*, 2010) können auftreten.

Die wichtigsten Formen der Essstörungen sind Magersucht (Anorexia nervosa), Bulimie (Bulimia nervosa) und Binge-Eating-Störung. Da die Binge-Eating-Störung keine Erosionsrelevanz besitzt, wird im Folgenden nur auf die beiden anderen Formen eingegangen.

Magersucht ist charakterisiert durch eine selbstinduzierte Mangelernährung mit dem Ziel des Gewichtsverlustes (Herpertz *et al.*, 2011), jedoch gibt es auch einige Magersuchtpatienten, welche zusätzlich phasenweise Erbrechen (bulimische Anorexia Nervosa). Dadurch haben Magersuchtpatienten ein erhöhtes Erosionsrisiko sowohl durch exogene als auch teilweise durch endogene Säuren (Schlueter and Tveit, 2014). Die Prävalenz für Magersucht liegt in Deutschland bei 0,2-0,8% bei jungen Frauen zwischen 14 und 20 Jahren (Herpertz *et al.*, 2011). Frauen sind etwa zehn Mal häufiger betroffen als Männer (Williamson *et al.*, 2004).

2. Literaturübersicht

Bulimie ist eine Essstörung, die charakterisiert ist durch Phasen von exzessiver Nahrungsaufnahme und kompensatorischen Maßnahmen, wie beispielsweise selbstinduziertem Erbrechen, Phasen strikter Diät oder Fasten, sowie übermäßiger sportlicher Betätigung (Klein and Walsh, 2004). Manche der Patienten nehmen auch Abführmittel und Diuretika zu sich. Im Gegensatz zur Magersucht liegt meist ein normales Körpergewicht vor, jedoch können auch ein Unter- oder Übergewicht vorliegen (Klein and Walsh, 2004). Die Prävalenz für Bulimie in Deutschland liegt bei 2-4% (Holling and Schlack, 2007; Herpertz *et al.*, 2011). Frauen sind auch hier circa zehn Mal häufiger betroffen als Männer (Klein and Walsh, 2004).

2.3. Epidemiologie

Es existieren verschiedene Studien zur Prävalenz der Erosionen in der Bevölkerung, die aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Indizes zur Bewertung des Schweregrades von Erosionen und der Beurteilung unterschiedlicher Zahnflächen und Zahngruppen schwer zu vergleichen sind. Im Folgenden soll die Prävalenz von Erosionen in der allgemeinen Bevölkerung in Deutschland, der Schweiz, den Niederlanden und Großbritannien aufgezeigt werden.

2.3.1. Prävalenz bei Kindern und Jugendlichen

Deutsche Studien zeigen eine Prävalenz von 24-71% im Milchgebiss. Bei der Untersuchung von 463 deutschen Kindergartenkindern im Alter von 2-7 Jahren (Wiegand *et al.*, 2006) wurde insgesamt eine relativ hohe Prävalenz festgestellt; zudem zeigte sich eine Prävalenzzunahme mit dem Alter. Bei den 2-3 jährigen waren 24% von Erosionen betroffen, bei den 6-7 jährigen waren es bereits 40%. Jungen (36%) wiesen häufiger Erosionen auf als Mädchen (28%).

Eine Untersuchung prä-orthodontischer Studienmodelle (Ganss *et al.*, 2001) von Jugendlichen zwischen 8 und 14 Jahren fand bei 71% moderate Läsionen und bei 26% bereits fortgeschrittene Erosionen an den Milchzähnen. Die meisten Läsionen befanden sich auf den Okklusalfächen der Molaren und den Inzisalfächen der Eckzähne.

Eine Studie aus der Schweiz (Jaeggi and Lussi, 2004) an 42 Kindern zwischen 5 und 9 Jahren stellte sogar bei allen untersuchten Kindern mindestens eine Schmelzerosion auf den Okklusalfächen fest und 48% zeigten mindestens eine Dentinerosion. Dabei waren die Okklusalfächen der Milchmolaren am häufigsten betroffen. Weiterhin waren im

2. Literaturübersicht

Milchgebiss 10% der fazialen Schmelzflächen, 5% der fazialen Dentinflächen, 7% der oralen Schmelz- und 2% der oralen Dentinflächen betroffen.

In Großbritannien zeigen die Prävalenzdaten eine große Variationsbreite, welche auf die Nutzung unterschiedlicher Indizes und Zahnflächen zurückzuführen ist. Mindestens eine Dentinerosion der Milchzähne wiesen zwischen 8-24% der 1,5- bis 5-jährigen auf (Hinds and Gregory, 1995; O'Brien, 1994). Eine weitere Studie bezog sich auf alle Zahnflächen des Milchgebisses und fand bei 178 Kindern zwischen 4 und 5 Jahren in 48% aller Fälle Dentinerosionen (Millward *et al.*, 1994).

Im bleibenden Gebiss variiert die allgemeine Prävalenz für Erosionen zwischen 10 und 90% (Ganss *et al.*, 2001; Al-Majed *et al.*, 2002; O'Brien, 1994). Deutsche Daten zeigen eine Prävalenz von 12% (Ganss *et al.*, 2001), wobei meist die ersten unteren Molaren betroffen sind.

Die bereits erwähnte schweizer Studie von Jaeggi und Lussi (Jaeggi and Lussi, 2004) fand bei 14% der untersuchten 42 Kinder eine oder mehrere okklusale Erosionen an bleibenden Zähnen.

Bei niederländischen Studien variiert die Prävalenz zwischen 3-32% bei 10-13-jährigen Kindern (van Rijkom *et al.*, 2001; Truin *et al.*, 2005; El Aidi *et al.*, 2010; El Aidi *et al.*, 2011). Bei 15-jährigen steigt die Prävalenz von leichten Erosionen bereits auf 30-44% und schwere Erosionen wiesen 11-24% auf (van Rijkom *et al.*, 2001; El Aidi *et al.*, 2010; El Aidi *et al.*, 2011).

In Großbritannien liegt die Prävalenz für Dentinerosionen zwischen 20% und 53% bei 11-14 jährigen Jugendlichen (Bardolia *et al.*, 2010; Bardsley *et al.*, 2004; Milosevic *et al.*, 2004). Eine Studie (Al-Dlaigan *et al.*, 2001b) fand sogar bei 100% der 418 untersuchten Jugendlichen Erosionen und bei einem Prozent war bereits das Dentin beteiligt.

2.3.2. Prävalenz bei Erwachsenen

Die Prävalenz von Erosionen bei Erwachsenen variiert stark innerhalb der vorliegenden Studien. Die Werte liegen zwischen 4 und 82% (Jaeggi and Lussi, 2006).

Eine deutsche Studie (Schiffner *et al.*, 2002) untersuchte die Prävalenz nicht kariös bedingter Läsionen in zwei Altersgruppen. Eine Gruppe im Alter von 35-44 Jahren (655 Patienten) und eine Gruppe mit 65-74 Jährigen (1027 Patienten). Mindestens eine

2. Literaturübersicht

Läsion wiesen 10,7% der Jüngeren und 7,9% der Älteren auf. Davon hatten bei den Jüngeren 4,3% Dentinerosionen und bei den Älteren 3,8%.

Bei der Untersuchung von 362 deutschen Rekruten zwischen 17 und 28 Jahren (Aßmann, 2010) wiesen 23% mindestens einen Zahn mit erosiv bedingten Schmelzläsionen auf und bei 4% war bereits das Dentin betroffen.

Die Untersuchung von 417 schweizer Rekruten zwischen 19 und 25 Jahren (Jaeggi *et al.*, 1999) stellte sogar bei 31% Läsionen mit Dentinbeteiligung fest. Eine weitere schweizer Studie (Lussi *et al.*, 1991) untersuchte 391 zufällig ausgewählte Probanden in zwei Altersgruppen, 26-30 Jahre (194 Personen) und 46-50 Jahre (197 Personen). Bei 36% der Jüngeren und 40% der Älteren wurden leichte okklusale Erosionen gefunden und schwere okklusale Erosionen bei 30% und 43%. Faziale Defekte mit Dentinbeteiligung waren bei 8% der Jüngeren und 13% der Älteren vorhanden. Schwere palatinale Erosionen waren selten und standen in Verbindung mit intrinsischen Ursachen.

2.3.3. Prävalenz in Risikogruppen

Anhand der ätiologischen Faktoren können Risikogruppen definiert werden. Dazu zählen Personen mit bestimmten Ernährungsformen wie Rohköstler (Ganss *et al.*, 1999), Laktovegetarier und Vegetarier (Linkosalo and Markkanen, 1985), denn ein erhöhter Konsum von Früchten gilt als ein Risikofaktor für die Entstehung von Erosionen (Linkosalo and Markkanen, 1985; Järvinen *et al.*, 1991; Lussi *et al.*, 1991; Ganss *et al.*, 1999). Der mehr als zweimal tägliche Konsum von Zitrusfrüchten kann das Erosionsrisiko um das 37-fache erhöhen (Järvinen *et al.*, 1991).

Eine Studie fand heraus (Ganss *et al.*, 1999), dass Personen, welche sich hauptsächlich von Rohkost ernährten, signifikant schwerere Erosionen aufwiesen als die Kontrollgruppe. Sie untersuchten eine Gruppe von 130 Personen, deren Ernährung zu 95% aus Rohkost bestand. Eine Kontrollgruppe bestand aus 76 zufällig gewählten Patienten. In der Prävalenz zeigten sich keine Unterschiede. Insgesamt waren 98% der Rohköstler und 87% der Kontrollgruppe von Erosionen betroffen. Die Gruppe der Rohköstler wies jedoch fast doppelt so häufig schwere Erosionen (61%) auf wie die Kontrollgruppe (32%). Bei der Untersuchung einer Gruppe finnischer Vegetarier (Linkosalo and Markkanen, 1985). wiesen 77% der Vegetarier Erosionen auf und bei 50% der Läsionen war bereits das Dentin betroffen.

2. Literaturübersicht

Auch ein erhöhter Konsum von Sport- und Erfrischungsgetränken führt zu einem erhöhten Erosionsrisiko. Eine Studie untersuchte den Zusammenhang zwischen Erosionen und dem Konsum von Softdrinks bei schwedischen Jugendlichen (Hasselkvist *et al.*, 2014). In der Gruppe mit hohem Softdrinkkonsum (etwa 72 l pro Jahr) wurden signifikant mehr Erosionsschäden festgestellt im Vergleich zur Gruppe mit niedrigem Softdrinkkonsum (8 l pro Jahr). Auch bei englischen Jugendlichen konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen einem erhöhten Softdrinkkonsum und dem Vorliegen von Zahnerosionen festgestellt werden (Al-Dlaigan *et al.*, 2001a). Bei isländischen jungen Erwachsenen (19-22 Jahre) wurde ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der Prävalenz von Erosionen und dem Softdrinkkonsum gefunden (Jensdottir *et al.*, 2004). Probanden, welche dreimal oder öfter pro Woche Cola konsumierten, hatten ein dreifach höheres Erosionsrisiko als Probanden mit einem geringeren Cola-Konsum.

Ebenfalls zur Personengruppe mit einem erhöhten Erosionsrisiko zählen bestimmte Berufsgruppen, wie Weinverkoster.

Eine Studie (Wiktorsson *et al.*, 1997) untersuchte die Prävalenz erosiver Läsionen bei 19 Weintestern und fand bei 78% Zahnerosionen, hauptsächlich auf den Labialflächen der oberen Schneide- und Eckzähne. Eine weitere Studie (Mulic *et al.*, 2011) untersuchte 18 Weintester und eine Kontrollgruppe von 30 Personen auf Erosionen. 50% der Weintester und 20% der Kontrollgruppe wiesen Erosionen auf. Schwere Erosionsschäden mit Dentinbeteiligung wurden bei 39% der Weintester (7% bei Kontrollgruppe) festgestellt.

Auch Patienten mit Essstörungen in Kombination mit Erbrechen zählen zu den Risikogruppen. Bei ihnen ist die Wahrscheinlichkeit Erosionen zu entwickeln 8,5-fach erhöht (Johansson *et al.*, 2012). Die Prävalenz von Erosionen bei Patienten mit Essstörungen beträgt insgesamt etwa 98% (Öhrn *et al.*, 1999) und schwere Erosionen liegen bei 36-56% vor (Johansson *et al.*, 2012; Öhrn *et al.*, 1999).

Die Prävalenz von Erosionen bei Erwachsenen mit gastroösophagealem Reflux liegt bei 9-75%, wohingegen die Erosionsprävalenz in den Kontrollgruppen bei unter 40% liegt (Schlueter and Tveit, 2014).

2.4. Therapie

2. Literaturübersicht

Die Therapie von Erosionen wird eingeteilt in kausale und symptomatische Therapie. Dabei bedeutet kausale Therapie eine möglichst vollständige Meidung der für Erosionen verantwortlichen Säuren. Das ist nicht immer ohne weiteres möglich, vor allem bei endogen bedingten Erosionen oder fehlender Compliance. In diesen Fällen sollte die Grunderkrankung therapiert werden und die Progression der Erosionen durch eine symptomatische Therapie reduziert werden.

2.4.1. Kausale Therapie

Generell kommen Erosionen, wie alle nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste, zum Stillstand, wenn die Ursache eliminiert wird. Daher ist die Therapie hauptsächlich kausal orientiert.

Der erste Schritt in der Therapie von Erosionen sollte immer die Aufklärung des Patienten beinhalten. Der Patient sollte über die Entstehung von Erosionen, deren Folgen als auch über die Therapiemöglichkeiten aufgeklärt werden. Zuerst sollte jedoch der Auslöser der Erosionen gefunden werden, um diese anschließend kausal therapieren zu können.

Ein Ernährungsprotokoll kann dazu dienen exogene Ursachen zu eruieren. Aber auch eine umfassende Anamnese ist notwendig, um auch intrinsische Ursachen zu erfassen. In dieser müssen Grunderkrankungen, Beruf, Hobbies und die Vergangenheit berücksichtigt werden.

Bei der Erstellung des Ernährungsprotokolls ist darauf zu achten, dass über einen definierten Zeitraum von etwa vier Tagen alle zu sich genommenen Getränke und Lebensmittel, einschließlich aller Zwischenmahlzeiten, aufgelistet werden (Carvalho *et al.*, 2015). Das Ziel ist eine Ernährungsumstellung. Dabei kann eine Ernährungsberatung helfen, um eine Eliminierung oder Minimierung der exogenen Säuren und deren Kontaktzeit zu den Zähnen zu erreichen. Die Häufigkeit der Nahrungszufuhr spielt ebenfalls eine Rolle, beispielsweise sollte die Aufnahme saurer Lebensmittel auf die Hauptmahlzeiten beschränkt werden (Bartlett, 2007; Carvalho *et al.*, 2015). Eine weitere Möglichkeit ist die Ernährungsmodifikation. Hierzu zählen beispielsweise mit Kalzium und Phosphat versetzte Getränke, die eine geringere Erosivität aufweisen (Hooper *et al.*, 2007a; Larsen and Nyvad, 1999; Carvalho *et al.*, 2015) oder die Kombination von sauren Lebensmitteln mit Milchprodukten, z.B. Ananas und Joghurt. Zur Verkürzung der Kontaktzeit ist die Art der Nahrungsmittelaufnahme wichtig, da dadurch die Dauer der Säuren im Mund variieren kann (Carvalho *et al.*, 2015). Hierzu zählen bestimmte Gewohnheiten, wie das Spülen mit sauren Flüssigkeiten

2. Literaturübersicht

oder auch das langsame Lutschen saurer Nahrungsmittel. Auch eine Medikamentenumstellung auf Tabletten zum Schlucken anstatt zum Lutschen kann zu einer Erosionsreduktion führen.

Liegen bestimmte Grunderkrankungen vor, müssen diese zeitgleich behandelt werden. An Essstörung leidende Patienten sollten zu einem Psychotherapeuten überwiesen werden, zur genauen Diagnose und zur anschließenden Therapie entsprechend der S3-Leitlinie zur Diagnostik und Therapie bei Essstörungen (DGPM, 2010). Patienten mit gastroösophagealem Reflux sollten zur ursachenbehebenden Behandlung zu einem Gastroenterologen überwiesen werden.

2.4.2. Symptomatische Therapie

Eine Ursachenbehebung ist nicht immer möglich und in diesen Fällen mit persistierenden Säureangriffen ist eine symptomatische Therapie nötig.

Das primäre Ziel der symptomatischen Therapie von Erosionen ist die Reduktion von Demineralisationen bei gleichzeitigem Erhalt der Oberflächenhärte. Dies kann erzielt werden durch eine Modifikation der Zahnoberfläche zur Steigerung deren Resistenz gegenüber Säuren. Dafür gibt es im Wesentlichen drei Möglichkeiten. Erstens das Auftragen von Dentinadhäsiven zur Oberflächenversiegelung, zweitens die Modifikation des Pellikels, beispielsweise durch Biopolymere, und drittens die Applikation von Präparaten, welche zu mineralischen Präzipitaten auf der Zahnoberfläche führen.

Eine klinische Studie (Sundaram *et al.*, 2007a) untersuchte die Wirksamkeit von Dentinadhäsiven zur Oberflächenversiegelung erodierter Zähne im Hinblick auf das Fortschreiten des Zahnhartsubstanzverlustes. Untersucht wurden 19 Erwachsene mit palatinalen Erosionen bis in das Dentin. Die Palatinalflächen von 51 Zähnen wurden mit einem Dentinadhäsiv versiegelt, 56 Zähne blieben unversiegelt und dienten als Kontrollgruppe. Die Probanden wurden nach 3, 6, 9, 12 und 24 Monaten nachuntersucht. Die Studie zeigte einen Schutz innerhalb der ersten drei Monate. Nach drei Monaten konnte in einer Vielzahl der Fälle ein Verlust des Dentinadhäsives beobachtet werden. Vorteil dieser Methode ist zum einen der sofortige Schutz der versiegelten Zahnhartsubstanz, aber auch die Minimalinvasivität und die Reduktion von Hypersensibilitäten. Als Nachteil ist die geringe Wirkungsdauer von nur drei Monaten zu sehen.

Daher wurde in einer weiteren Studie (Bartlett *et al.*, 2011) die Wirksamkeit von Fissurenversiegeln untersucht und man stellte im Gegensatz zu Dentinadhäsiven einen besseren und längeren Schutz von bis zu neun Monaten fest.

2. Literaturübersicht

Die Möglichkeit der Modifikation der Zahnoberfläche beziehungsweise des Pellikels durch Applikation von Biopolymeren kann beispielsweise durch den Zusatz von Biopolymeren zu Säuren erfolgen. Bisher ist dieses Verfahren jedoch noch wenig untersucht.

Eine Studie (Barbour *et al.*, 2005) untersuchte verschiedene pflanzliche Polysaccharide und einige kondensierte Phosphate. Diese Polymere werden oft in der Nahrungsmittelindustrie als Verdickungsmittel, Geliermittel und Stabilisatoren genutzt. Kondensierte Phosphate dienen als Konservierungsmittel von Fleischprodukten und nichtalkoholischen, aromatisierten Getränken. Natriumpyrophosphat, Natriumtripolyphosphat, Natriumpolyphosphat, Xanthan und Carboxymethylcellulose erzielten als Zusatz zu 0,3%iger Zitronensäure eine statistisch signifikante Reduktion der Löslichkeitsrate von Hydroxylapatit im Vergleich zur Säure allein.

Eine Mischung von Xanthan und Natriumpolyphosphat führte sogar zu einer Löslichkeitsreduktion von 70%. Somit könnten Xanthan und Natriumpolyphosphat als erosionsreduzierende Zusatzstoffe in sauren Getränken dienen.

Ein weiteres Biopolymer mit Wirksamkeit gegenüber Demineralisationsvorgängen ist Chitosan. Eine in-vivo Studie (Uysal *et al.*, 2011) untersuchte die Wirksamkeit einer chitosanhaltigen Zahnpaste gegenüber einer konventionellen nichtfluoridierten Zahnpaste (Kontrollgruppe) bezüglich ihrer Reduzierung der Karies rund um kieferorthopädische Brackets. Sechzehn Kieferorthopädiepatienten wurden in zwei gleich große Gruppen aufgeteilt. Die eine Hälfte nutzte die chitosanhaltige Zahnpaste und die andere Hälfte die konventionelle nichtfluoridierte Testzahnpaste. Nach 60 Tagen wurden die ersten vier Prämolaren aus kieferorthopädischen Gründen extrahiert und auf ihre Mikrohärte getestet. Die mit chitosanhaltiger Zahnpaste geputzten Zähne wiesen signifikant geringere Demineralisationen auf als die Kontrollgruppe.

Eine weitere Studie (Arnaud *et al.*, 2010) untersuchte den in-vitro Effekt von Chitosan auf die De- und Remineralisation von Schmelz. Es wurde eine Hemmung des Mineralverlustes von 55-81% (abhängig von Expositionszeit und Konzentration von Chitosan) erreicht.

Die dritte Möglichkeit zur Reduktion weiterer erosiver Demineralisationen ist die Applikation von Präparaten, welche zur Ablagerung mineralischer Präzipitate auf der Zahnoberfläche führen. Dazu zählen verschiedene Fluoridverbindungen (Magalhaes *et al.*, 2011; Saxegaard and Rolla, 1988; Schlueter *et al.*, 2009a).

Bei konventionellen monovalenten Fluoridverbindungen, wie Amin-, Natriumfluorid oder sauren Phosphofluoriden, kommt es zur Bildung einer CaF_2 -ähnlichen Deckschicht auf

2. Literaturübersicht

der Zahnoberfläche, welche mit verlängerter Kontaktzeit, mit ansteigender Konzentration und geringerem pH-Wert der Fluoridverbindung an Dicke zunimmt (Saxegaard and Rolla, 1988). Der große Nachteil dieser Verbindungen ist jedoch deren leichte Säurelöslichkeit (Lagerlöf *et al.*, 1988). Daraus folgt ein eingeschränktes protektives Potential gegenüber Demineralisationsvorgängen.

Polyvalente Fluoridverbindungen bilden andere Präzipitate, welche resistenter gegenüber Säureeinflüssen sind. Dazu zählen Titantetrafluorid (Schlueter *et al.*, 2007b;Magalhaes *et al.*, 2011) und Zinnfluorid (Schlueter *et al.*, 2009a;Ganss *et al.*, 2008a;Magalhaes *et al.*, 2011), welche metallreiche Oberflächenpräzipitate bilden. Titantetrafluorid ist jedoch in Europa zur intraoralen Anwendung nicht zugelassen, daher wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

Zinnhaltige Lösungen führen im Schmelz zur Ablagerung von Oberflächenpräzipitaten, welche sowohl bei milden als auch unter stark erosiven Bedingungen gute antierosive Wirksamkeit aufweisen (Schlueter *et al.*, 2009a). Bei zusätzlicher Bürstabrasion führen zinnhaltige Produkte jedoch zu keiner besseren Wirksamkeit als konventionelle NaF-Pasten (Ganss *et al.*, 2011;Ganss *et al.*, 2012).

Zur Wirksamkeit zinnhaltiger Verbindungen im Dentin gibt es bisher kaum Untersuchungen (Ganss *et al.*, 2013). Der Reaktionsmechanismus zinnhaltiger Verbindungen im Dentin ist abhängig von der organischen Matrix. Liegt gesundes, nicht erodiertes Dentin vor, kommt es zur Bildung eines Oberflächenpräzipitates. Wird die organische Matrix kontinuierlich entfernt, kommt es ebenfalls zur Bildung von Oberflächenpräzipitaten und zusätzlich zur Einlagerung von Zinn in die äußeren, mineralisierten Oberflächenschichten. Bleibt die Matrix erhalten ist der Reaktionsmechanismus diffusionsabhängig und es kommt nicht zur Bildung von Präzipitaten, sondern zur Einlagerung von Zinn in die organische Matrix und in die mineralisierte Dentinschicht unterhalb der demineralisierten Zone (Ganss *et al.*, 2010a).

2.4.3. Rolle der mechanischen Einflüsse, der Zahnpasten und Wirkstoffe auf erosive Zahnhartsubstanzverluste

Die Abrasionschäden von Zahnhartsubstanz beim Zähneputzen lassen sich fast vollständig auf die Wirkung der Zahnpasten zurückführen (Addy and Hunter, 2003;Voronets and Lussi, 2010;Addy, 2005). Das Putzen der Zähne nur mit der Bürste ohne Zahnpaste führt bei gesundem Schmelz zu keinem signifikanten Zahnhartsubstanzverlust (Addy and Hunter, 2003). Einfluss auf die Zahnputzabrasion haben, neben den Zahnpasteneigenschaften, noch die Bürstmethode, der Bürstdruck, die Zahnputzzeit und -häufigkeit, sowie die Art der Zahnbürste, deren Härtegrad und die

2. Literaturübersicht

Borstenspitzenabrundung (Hunter and West, 2000; Van der Weijden *et al.*, 1998; Addy and Hunter, 2003). Bei gesundem Dentin kommt es durch alleiniges Zähnebürsten ohne Zahnpaste ebenfalls nur zu einem geringfügigen Substanzabtrag und auch mit Zahnpaste ist der Substanzabtrag sehr gering (Hunter *et al.*, 2002; Addy and Hunter, 2003).

Kommt es vor dem Bürsten von Schmelz und Dentin jedoch zu erosiven Einflüssen, können diese zu einem vermehrten Verschleiß von Zahnhartsubstanz führen.

Die synergistischen Effekte von Abrasion und Erosion im Schmelz entstehen durch eine Reduktion der Oberflächenhärte bis zu einer Tiefe von einigen Mikrometern (Vanuspong *et al.*, 2002; Eisenburger *et al.*, 2000; Schweizer-Hirt *et al.*, 1978; Addy and Hunter, 2003; Voronets and Lussi, 2010). Durch die reduzierte Oberflächenhärte ist erodierter Schmelz höchst anfällig gegenüber physikalischen Kräften, welche normalerweise bei gesundem Schmelz keinerlei Effekte hätten (Eisenburger *et al.*, 2000; Schweizer-Hirt *et al.*, 1978; Jaeggi and Lussi, 1999; Wiegand *et al.*, 2007b). Wird erodierter Schmelz mit Zahnpaste gebürstet, so kann es zu einem viermal so hohen Zahnhartsubstanzverlust wie im gesundem Schmelz kommen (Wiegand *et al.*, 2007a). Die Höhe des Abtrags im erodierten Schmelz ist abhängig vom Putzdruck. Je höher dieser ist, desto mehr Abtrag kann erfolgen, bis die erweichte Zahnhartsubstanz vollständig entfernt ist und gesunder Schmelz erreicht wird (Wiegand *et al.*, 2007a).

Im Dentin ist ein abrasiver Zahnhartsubstanzverlust nach erosiver Demineralisation abhängig von der Präsenz der organischen Matrix. Bleibt diese auf der Dentinoberfläche erhalten, führt das Bürsten mit Zahnpaste zu keinerlei signifikantem Substanzverlust im Vergleich zu nur erodierten Proben (Ganss *et al.*, 2009a; Ganss *et al.*, 2007a). Die organische Matrix wird durch das Bürsten zwar komprimiert, jedoch nicht entfernt und schützt somit das darunter liegende mineralisierte Gewebe gegenüber Bürstabrasionen (Ganss *et al.*, 2009a). Wird die organische Matrix während des Versuchs kontinuierlich enzymatisch entfernt, liegen unterschiedliche Studien vor. Es kommt entweder zu einem erhöhten Substanzverlust (Ganss *et al.*, 2009a) oder der Substanzverlust bleibt gleich (Ganss *et al.*, 2014a), je nach verwendetem Modell.

Der abrasive Einfluss von Zahnpasten entsteht durch die enthaltenen Abrasionsstoffe. Das Maß der Abrasivität einer Zahnpaste wird angegeben durch den RDA-Wert, die radioaktive oder relative Dentinabrasion. Abrasionsstoffe in Zahnpasten sind wichtig, um die Entstehung von Zahnbelägen und -verfärbungen zu verhindern und die Reinigungseigenschaften von Zahnpasten zu optimieren. Meist sind dies unlösliche

2. Literaturübersicht

Materialien wie Silicapräzipitate, Kalziumkarbonate, Kalziumphosphate, Aluminiumoxide, Perlite oder Bimsstein (Hunter *et al.*, 2002).

Eine Studie (Hooper *et al.*, 2003) untersuchte die abrasive Wirkung von zwei Zahnpasten mit unterschiedlichen RDA-Werten (RDA 85 und 189) auf erodierte Zahnhartsubstanz. Im Schmelz konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Pasten festgestellt werden, jedoch zeigte sich bei Dentin ein höherer Substanzabtrag bei höherem RDA-Wert. Zwei weitere Studie stellten eine Zunahme der Zahnhartsubstanzverluste sowohl von erodiertem Schmelz (Wiegand *et al.*, 2008), als auch von erodiertem Dentin (Wiegand *et al.*, 2009b) mit Zunahme des RDA-Wertes der Zahnpaste fest.

Zahnpasten dienen neben der Reinigung der Zähne auch der Zufuhr von Wirkstoffen. Die meisten der derzeit auf dem Markt erhältlichen Zahnpasten enthalten verschiedene Fluoride und sollen in erster Linie der Kariesprotektion dienen.

Zum effektiven Schutz vor Erosionen, vor allem bei ausgeprägten Säureeinflüssen, sind die konventionellen fluoridhaltigen Zahnpasten nicht ausreichend (Lussi *et al.*, 2006;Lussi *et al.*, 2008). Wie klinische Beobachtungen zeigen, treten Erosionen auf, obwohl die meisten Zahnpasten Fluoride enthalten (Lussi *et al.*, 2006). Herkömmliche Natriumfluoridpasten führen zu einer Reduktion des Zahnhartsubstanzverlustes im erodierten Schmelz von 18-42% (Magalhaes *et al.*, 2007;Ganss *et al.*, 2011;Comar *et al.*, 2012) und im Dentin von 20-48% (Comar *et al.*, 2012;Ponduri *et al.*, 2005) gegenüber fluoridfreien Zahnpasten. Sie können ein Fortschreiten von Zahnhartsubstanzverlusten durch erosiv-abrasive Einflüsse somit nicht vollständig verhindern.

Aus diesem Grund sind zahlreiche neue Zahnpasten mit der Indikation „antierosive Wirkung“ auf den Markt gekommen. Diese Produkte enthalten verschiedene Verbindungen wie Zinn, Kaliumnitrat, Hydroxylapatit, Kasein Phosphopeptid-Amorphes Kalziumphosphat oder Chitosan.

Zinnhaltige-Verbindungen haben sowohl in in-vitro Studien (Schlueter *et al.*, 2010c;Ganss *et al.*, 2008a), als auch in in-situ Studien (Schlueter *et al.*, 2010b;Schlueter *et al.*, 2009b) eine sehr gute antierosive Wirkung gezeigt. Zinnhaltige Zahnpastenslurries führten zu einer Reduktion des Substanzverlustes im Schmelz um 55-95% im Vergleich zur Kontrollgruppe (Young *et al.*, 2006;Hooper *et al.*, 2007b;Faller *et al.*, 2011;Ganss *et al.*, 2011;Ganss *et al.*, 2013). Bei zusätzlicher Bürstabrasion schnitten die zinnhaltigen Produkte jedoch nicht besser ab als konventionelle NaF-haltige Zahnpasten (Ganss *et al.*, 2011;Ganss *et al.*, 2012). Die Wirksamkeit zinnhaltiger Zahnpasten im Dentin ist bisher wenig untersucht. Ein zinnhaltiges Gel führte in einer in-vitro Studie zu einer Reduktion des Substanzverlustes um 37% im Vergleich zur fluoridfreien Placebopaste,

2. Literaturübersicht

jedoch zeigte sich keine signifikant bessere Wirksamkeit im Vergleich zu einer konventionellen NaF-Paste (Ganss *et al.*, 2014a).

Kaliumnitrat in Zahnpasten soll in erster Linie der Desensibilisierung bei Dentinhypersensibilität dienen, aber auch ein Einfluss auf die Fluoridverfügbarkeit wird vermutet (Kato *et al.*, 2010;Hara *et al.*, 2009b). Zur Wirksamkeit von Kaliumnitrat in Kombination mit Natriumfluorid bei der Remineralisation von vorher erodiertem Schmelz existieren unterschiedliche Ergebnisse. Verschiedene Studien haben eine antierosive Wirksamkeit für Schmelz bestätigt (Zero *et al.*, 2006;Hara *et al.*, 2009b;Maggio *et al.*, 2010;Ganss *et al.*, 2011), jedoch variiert die Wirksamkeit zwischen den Studien stark. Eine Studie (Kato *et al.*, 2010) untersuchte die Wirksamkeit einer kommerziellen kaliumnitratenthaltenden Zahnpaste und die Wirksamkeit von Kaliumnitrat alleine und in Kombination mit Fluorid auf den erosiven Substanzverlust von Schmelz bei zyklischer De- und Remineralisation. Kaliumnitrat allein konnte den erosiven Substanzverlust signifikant reduzieren, wohingegen die Kombination von Kaliumnitrat mit Fluorid und auch die kommerzielle Zahnpaste keinerlei antierosive Wirkung aufwies im Vergleich zur Negativkontrollgruppe Wasser.

Auch im Dentin konnte bisher keine höhere antierosive Wirksamkeit im Vergleich zu konventionellen fluoridhaltigen Pasten festgestellt werden (Wang *et al.*, 2013;Aykut-Yetkiner *et al.*, 2014).

Hydroxylapatitpartikelhaltige Pasten sollen eine remineralisierende Wirkung aufweisen. Ihre Wirksamkeit bei Erosionen ist jedoch noch wenig untersucht. Hydroxylapatitpartikel ähneln den Apatitkristallen des Zahnes in ihrer Morphologie, ihrer Kristallstruktur und ihrer Kristallinität (Vandiver *et al.*, 2005) und sollen in der Lage sein mit natürlichen Geweben eine Bindung einzugehen.

Im Schmelz kommt es in-vitro zur Ablagerung von apatitähnlichen Präzipitaten (Huang *et al.*, 2009). Eine Studie (Ganss *et al.*, 2011) untersuchte verschiedene Zahnpasten auf ihre antierosive und ihre antierosive/-abrasive Wirksamkeit im Schmelz, darunter auch zwei Pasten mit Hydroxylapatitpartikeln, wovon eine zusätzlich Fluorid enthielt. Ohne Bürstabrasionen führte die fluoridhaltige Nano-Hydroxylapatit-Paste zu signifikant weniger Substanzverlust als die meisten anderen getesteten Zahnpasten. Bei zusätzlicher Abrasion führte sie jedoch zu keiner signifikant besseren Wirksamkeit als konventionelle NaF-Pasten. Die fluoridfreie Zink-Carbonat-Hydroxylapatit-Paste schnitt insgesamt schlechter ab als die konventionellen NaF-Pasten.

2. Literaturübersicht

Im Dentin wird vermutet, dass es zur Einlagerung der Nano-Hydroxylapatitpartikel in die demineralisierte organische Matrix und den intra- und intertubulären Raum kommen kann (Besinis *et al.*, 2012).

Eine in-vitro Studie (Aykut-Yetkiner *et al.*, 2014) zur antierosiven/antiabrasiven Wirksamkeit von hydroxylapatithaltigen Pasten im Dentin stellte eine signifikante Reduktion des Substanzverlustes um 23% (ZnCO₃-HAP) und 62% (NaF/nHaP) im Vergleich zur alleinigen Erosion fest. Jedoch schnitten die Zahnpasten nicht besser ab als eine konventionelle Fluoridpaste.

Kasein Phosphopeptid-Amorphes Kalziumphosphat (CPP-ACP) ist ein weiterer Wirkstoff in Mundhygieneprodukten. Die Produkte enthalten einen Nanokomplex des Milchproteins Kaseinphosphopeptid (CPP) mit amorphem Kalziumphosphat (ACP). Kaseinphosphopeptide können amorphes Kalziumphosphat in metastabilen Lösungen stabilisieren (Rees *et al.*, 2007).

Verschiedene in-vitro Schmelzstudien (Lennon *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2011; Turssi *et al.*, 2011) und in-situ Schmelz- (Wegehaupt *et al.*, 2012b) und Dentinstudien (Wiegand and Attin, 2014) konnten jedoch keine antierosive Wirkung von CPP-ACP nachweisen und auch die Kombination von CPP-ACP mit Fluorid führte zu keiner signifikanten Reduktion des erosiven Substanzverlustes (Wiegand and Attin, 2014).

Chitosanhaltige Zahnpasten weisen ebenfalls eine antierosive/-abrasive Wirksamkeit auf. Es wird vermutet, dass es in-situ zur Bildung einer chitosanhaltigen Schutzschicht auf der Schmelzoberfläche kommt (Ganss *et al.*, 2013) und dadurch zu einer Verbesserung der Pellikelstruktur. Chitosan ist ein natürliches Polysaccharid, welches durch alkalische N-Deacetylierung aus Chitin gewonnen wird. Chitin ist das in der Natur am zweithäufigsten vorkommende Biopolymer und kann im Hautpanzer von Gliederfüßern, den Schalen von Krustentieren und der Oberhaut von Insekten gefunden werden (Verkaik *et al.*, 2011). Chitosan ist ein kationisches Polyelektrolyt, welches bei niedrigen pH-Werten stark positiv geladen ist und sich dadurch an negativ geladene Strukturen wie Schmelz oder Pellikel anlagern kann (Guo and Gemeinhart, 2008).

Im Schmelz konnte eine chitosanhaltige Zahnpaste ohne Fluorid ein Fortschreiten von Schmelzerosionen in gleichem Maße reduzieren wie konventionelle Natriumfluoridpasten (Ganss *et al.*, 2011). Die Kombination von Chitosan mit einer Zinnchlorid, Amin- und Natriumfluorid enthaltenden Zahnpaste konnte in einem in-vitro Versuch im Schmelz (Ganss *et al.*, 2012) die anti-erosive/-abrasive Wirkung im Gegensatz zur chitosanfreien Zahnpaste signifikant um 28% verbessern, und um 67% im Vergleich zu einer fluoridfreien Zahnpaste. In-situ (Schlueter *et al.*, 2013) führte die

2. Literaturübersicht

selbe Zahnpaste zu einer Reduktion des Substanzverlustes im Schmelz um etwa 50% im Vergleich zu einer fluoridfreien Zahnpaste und war signifikant besser als eine konventionelle Natriumfluoridpaste.

2.5. Fragestellung

Die Prävalenz erosiver Zahnhartsubstanzverluste ist in den letzten Jahren deutlich angestiegen (Jaeggi and Lussi, 2006) und liegt in Europa bei den 18-35 jährigen bei etwa 30% (Bartlett *et al.*, 2013). Daher wäre es wünschenswert, wenn bereits durch das tägliche Zähneputzen Erosionsschäden entgegengewirkt werden könnte. Viele der auf dem Markt erhältlichen Zahnpasten werben derzeit mit einer speziell antierosiven und/oder antiabrasiven Wirksamkeit. Zur Effektivität der verschiedenen Wirkstoffe existieren bereits einige Untersuchungen im Schmelz, jedoch liegen bisher nur wenige bis keine Studien zu deren Effektivität im Dentin vor.

Eine Studie (Ganss *et al.*, 2011), mit zu dieser Untersuchung identischem Versuchsaufbau, hat die antierosive und antiabrasive Wirksamkeit der hier getesteten Zahnpasten bereits im Schmelz untersucht. Ohne Bürstabrasionen führten fast alle getesteten Zahnpasten zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes im Vergleich zur alleinigen Erosion. Am besten schnitten die zinnhaltigen Produkte ab. Dies konnte auch in anderen Studien gezeigt werden, wo zinnhaltige Pasten ohne Bürstabrasionen ebenfalls zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes führten (Young *et al.*, 2006;Hooper *et al.*, 2007b;Faller *et al.*, 2011;Ganss *et al.*, 2011;Ganss *et al.*, 2013).

Bei zusätzlicher Bürstabrasion der Proben in den Zahnpastenslurries, führte keine der getesteten Pasten zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes im Vergleich zur alleinigen Erosion (Ganss *et al.*, 2011). Im Vergleich zum Bürsten mit einer fluoridfreien Paste, führte nur ein Teil der konventionellen NaF-Pasten zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes.

Die fluoridfreien Spezialpasten und eine zinnhaltige Zahnpaste wiesen keine signifikanten Effekte auf (Ganss *et al.*, 2011). Ein zinnhaltiges Gel hingegen führte zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes.

Ziel dieser Untersuchung war es nun, nachdem die antierosiven und antierosiven/antiabrasiven Wirkstoffeffekte verschiedener auf dem Markt erhältlicher Zahnpasten bereits im Schmelz untersucht wurden, deren Effekte auch auf Dentinerosionen und Dentinerosionen/Abrasionen unter identischen Versuchsbedingungen zu untersuchen.

2. Literaturübersicht

3. Material und Methode

3. Material und Methoden

Für die Durchführung der Versuche wurden im Handel erhältliche Zahnpasten ausgewählt, welche verschiedene Wirkstoffverbindungen in unterschiedlichen Konzentrationen und unterschiedliche RDA-Werte aufwiesen. Es wurde ein zyklisches De- und Remineralisationsmodell an Dentinproben über zweimal fünf Tage angewandt. Der Versuch wurde in zwei direkt aufeinander folgenden Experimenten durchgeführt. Beim ersten Experiment wurden die Proben nur in Suspensionen der Produkte geschwenkt, beim zweiten Experiment wurden die Proben während der Einwirkzeit in den Suspensionen zusätzlich gebürstet. Bei beiden Experimenten wurde gleichzeitig eine Positivkontrolle und eine Negativkontrolle mitgeführt.

3.1. Probenherstellung

Es wurden Dentinproben aus frisch extrahierten, vollständig retinierten dritten Molaren gewonnen. Die Aufbewahrung der Zähne erfolgte zur Desinfektion in einer gesättigten wässrigen Thymollösung (Chem. 1).

Zunächst wurden Weichgewebereste mit einem Skalpell mechanisch entfernt. Danach wurden die Wurzeln und der Schmelz abgetrennt. Von dem verbliebenen koronalen Dentin wurden nun jeweils vier longitudinale Schnitte mit einer Dicke von ca. 1,3 mm präpariert (Mat. 1). Dabei wurde darauf geachtet, dass auf der Innenseite der Dentinschnitte keine Pulpa angeschnitten wurde.

Die innere Fläche der Dentinschnitte wurde unter ausreichender Wasserkühlung (50 ml/min) plangeschliffen und poliert (Mat. 2), wodurch eine Versuchsfläche von mindestens 3 mm x 3 mm entstand. Verwendet wurde dafür Schleifpapier der Körnung P1200 (Mat. 3) und P4000 (Mat. 4). Nach der Herstellung wurden die Dentinschnitte lichtmikroskopisch (Mat. 5) auf Verunreinigungen, Schmelzreste und Risse kontrolliert und bis zur weiteren Verwendung in einer feuchten Kammer aufbewahrt.

Auf diese Weise wurden 540 Dentinschnitte hergestellt und mit lichthärtendem Kunststoff (Mat. 6) auf Probenträgern fixiert. Mit dem gleichen Kunststoff wurde die Hälfte der Probenfläche abgedeckt und so eine Referenzfläche geschaffen. Danach erfolgte wiederum eine lichtmikroskopische Kontrolle der Probenflächen auf Verunreinigungen. Die fertigen Proben wurden bis Versuchsbeginn in einer feuchten Kammer bei 100% Luftfeuchtigkeit gelagert.

3. Material und Methode

3.2. Lösungen/Produkte

Für die Experimente wurden folgende Lösungen verwendet:

Demineralisationslösung

Die erosive Demineralisation erfolgte mit einer 0,05 molaren Zitronensäure mit einem pH-Wert von 2,4. Zur Herstellung wurden 10,51 g Zitronensäure Monohydrat (Chem. 2) in 1000 ml destilliertem Wasser gelöst.

Remineralisationslösung

Für die Remineralisationslösung wurden 0,4 g H_3PO_4 (= 4,08 mM) (Chem. 3) in 40 ml destilliertem Wasser, 1,5 g KCl (= 20,10 mM) (Chem. 4) in 100 ml destilliertem Wasser, 1 g $NaHCO_3$ (= 11,90 mM) (Chem. 5) in 100 ml destilliertem Wasser und 0,22 g $CaCl_2$ (= 1,98 mM) (Chem. 6) in 100 ml destilliertem Wasser gelöst. Danach wurden die Lösungen unter Rühren zusammengefügt und mit destilliertem Wasser auf 1000 ml aufgefüllt (Gerrard and Winter, 1986). Der pH-Wert der Remineralisationslösung lag bei 6,7.

Kollagenaselösung

Für die Kollagenaselösung wurden 15 kU Kollagenase von *Clostridium histolyticum* Type VII (Chem. 7) in 150 ml Remineralisationslösung gelöst (= 100 U/ml) (Ganss *et al.*, 2010a; Ganss *et al.*, 2010b). Pro Experiment wurden insgesamt 450 ml benötigt. Da die Enzymaktivität bei Kollagenase je Charge schwanken kann, wurde die Menge gepoolt angesetzt und auf die Versuchsgruppen verteilt.

Marktprodukte

Getestet wurden 14 Produkte. Die Produkte (Zusammensetzung und Spezifikationen siehe Tab. 3.2 und 3.3) wurden im Gewichtsverhältnis von 1:3 mit der Remineralisationslösung angerührt, so dass eine Suspension entstand. Diese Mischung wird im weiteren Verlauf als Slurry bezeichnet.

Elmex Erosionsschutz Zahnpflege, welche als Positivkontrolle diente, wurde unverdünnt angewandt.

3. Material und Methode

Alle verwendeten Lösungen und Slurries wurden täglich vor Versuchsbeginn frisch angesetzt.

Natriumfluorid-Pasten:

- 1) Colgate Dentagard Original
- 2) Sensodyne MultiCare
- 3) Blend-a-med Classic
- 4) Odol-med 3 Pro-Clean
- 5) Sunstar GUM Original White
- 6) Theramed Naturweiss

Zinnhaltige Produkte:

- 7) Colgate Sensitive GEL-KAM Mint Geschmack
- 8) Blend-a-med Pro Expert

Spezialpasten mit Fluorid:

- 9) Sensodyne Pro Schmelz mit Kaliumnitrat und Natriumfluorid
- 10) Cumdente Apa Care remineralisierende Zahncreme mit Hydroxylapatit Nanopartikeln und Natriumfluorid

Spezialpasten ohne Fluorid:

- 11) Dr. Kurt Wolff Bio Repair mit Zink-Carbonat-Hydroxylapatit
- 12) GC Tooth Mousse mit Kasein Phosphopeptid - Amorphem Kalziumphosphat (CPP-ACP)
- 13) Chitodent mit Chitosan

Kontrollgruppen:

- 14) Fluoridfreie Aronal forte Gum Protection (Negativ-Bürstkontrolle)
- 15) Elmex Erosionsschutz Zahnpflege (Positivkontrolle)

Detaillierte Angaben zu den Inhaltsstoffen der genutzten Marktprodukte sind der Materialien- und Chemikalienliste zu entnehmen.

3. Material und Methode

3.3. Gruppeneinteilung

Die Studie unterteilte sich in zwei Experimente. Im ersten Experiment wurden die Proben einer erosiven Demineralisation ausgesetzt und mit den Zahnpastenslurries behandelt. Diese Gruppen werden im Folgenden mit S gekennzeichnet. Die Proben des zweiten Experiments wurden ebenso demineralisiert und mit der jeweiligen Slurry behandelt. Zusätzlich wurden diese Proben innerhalb der Immersionszeit in den Slurries gebürstet. Diese Gruppen werden im Folgenden mit B gekennzeichnet. Die Positivkontrolle, die mit der Zahnpülung behandelt wurde, wurde mit PK abgekürzt und die Negativkontrolle, die mit einer fluoridfreien Zahnpaste gebürstet wurde, wurde mit NK abgekürzt.

Zum Vergleich der zwei Experimente wurde bei beiden Experimenten eine Negativerosionskontrollgruppe, in der die Proben nur mit Zitronensäure demineralisiert wurden, mitgeführt. Diese wird im Folgenden mit NKE abgekürzt. (Tabelle 3.1)

Experiment 1 umfasste 15 Slurrygruppen und Experiment 2 fünfzehn Bürstgruppen. Jede Gruppe bestand wiederum aus jeweils 18 Dentinproben.

Das Marktprodukt GC Tooth Mousse wurde im zweiten Experiment nicht mehr mitgetestet, da es laut Hersteller nicht zum Bürsten, sondern nur zum Einreiben indiziert ist. Die Negativbürstkontrolle NK wurde nur in Experiment 2 durchgeführt.

3. Material und Methode

Tabelle 3.1: Übersicht der einzelnen Produkte und der dazugehörigen Gruppennamen in Experiment 1 und 2. Tooth Mousse wurde nur in Experiment 1 und die Negativbürstkontrolle NK wurde nur in Experiment 2 untersucht.

Produkte	Gruppenname Experiment 1 Slurry	Gruppenname Experiment 2 Bürsten
Natriumfluorid-Pasten:		
Dentagard Original <i>Colgate Palmolive</i>	Dentagard S	Dentagard B
Sensodyne MultiCare <i>GlaxoSmithKline</i>	MultiCare S	MultiCare B
Blend-a-med Classic <i>Procter & Gamble</i>	Classic S	Classic B
Odol-med 3 Pro-Clean <i>GlaxoSmithKline</i>	Pro-Clean S	Pro-Clean B
GUM Original White <i>Sunstar</i>	GUM S	GUM B
Theramed Naturweiss <i>Schwarzkopf & Henkel</i>	Naturweiss S	Naturweiss B
Zinnhaltige Pasten:		
GEL-KAM <i>Colgate Palmolive</i>	GEL-KAM S	GEL-KAM B
Blend-a-med Pro Expert <i>Procter & Gamble</i>	Pro Expert S	Pro Expert B
Spezialpasten mit Fluorid:		
Sensodyne Pro Schmelz <i>GlaxoSmithKline</i>	Pro Schmelz S	Pro Schmelz B
Apa Care <i>Cumdente</i>	Apa Care S	Apa Care B
Spezialpasten ohne Fluorid:		
BioRepair <i>Dr. Kurt Wolff</i>	BioRepair S	BioRepair B
GC Tooth Mousse <i>GC Europe N.V.</i>	Tooth Mousse S	-
Chitodent® - Chitosan Zahnpasta <i>B & F</i>	Chitodent S	Chitodent B
Kontrollgruppen:		
Elmex Erosionsschutz Zahnpflege GABA - Positivkontrolle	PKS	PKB
fluoridfreie Aronal forte Gum Protection (Japan) GABA – Negativbürstkontrolle	-	NKB
Nur Erosion – Negativerosionskontrolle	NKES	NKEB

3. Material und Methode

3.4. Versuchsdurchführung

Die Versuchsdauer betrug insgesamt zwanzig Tage. Jedes Experiment dauerte 2 x 5 Wochentage. Für die Slurryexperimente wurden die Dentinproben auf Objektträger (Mat. 7) aufgeklebt und für die Bürstexperimente wurden spezielle Träger für die Bürstmaschine verwendet, welche zu einem Zahnbürst-Simulator gehören (Mat. 10). Die Objektträger des Slurryexperiments wurden in Halterungen eingesetzt, um ein gleichzeitiges Umsetzen der Proben in die verschiedenen Lösungen und Slurries zu ermöglichen. Die Probenträger der Slurryexperimente waren aufgrund dieser Halterungen während des Slurryexperiments senkrecht gelagert. Die Probenträger des Bürstexperiments hingegen waren innerhalb des Bürstsimulators horizontal gelagert. Die De- und Remineralisationslösungen und die Zahnpastensuspensionen des Slurryexperiments wurden in Färbekästen gefüllt (200 ml je Färbekasten, Mat. 8). Die Slurries des Bürstexperiments wurden in spezielle, zu einem Zahnbürst-Simulator (Mat. 10) gehörende Behälter gefüllt. Die Menge wurde jeweils so abgemessen, dass die Oberfläche der Proben, wenn diese im Zahnbürst-Simulator waren, mit Slurry bedeckt war (\cong 10 ml pro Behälter).

Die Behandlung mit den unterschiedlichen Lösungen, mit Ausnahme der Slurries im Bürstexperiment, wurde in einem Schwenkwasserbad (Mat. 9) durchgeführt. Die Schüttelgeschwindigkeit betrug 35/min und die Wassertemperatur 22,5°C (Zimmertemperatur), soweit nicht anders erwähnt. Alle Zeiten wurden mittels digitaler Stoppuhr genau eingehalten.

Sowohl in Experiment 1 als auch in Experiment 2 wurden alle Proben täglich 6 x 2 Minuten im Abstand von einer Stunde in 200 ml 0,05 molarer Zitronensäure geschwenkt und anschließend für 30 Sekunden unter fließendem Leitungswasser abgespült.

In Experiment 1 (Slurries) wurden die Proben aller Gruppen, mit Ausnahme der Kontrollgruppen NKES und PKS, nach dem ersten und dem sechsten Demineralisationsvorgang für 2 Minuten in den Slurries der jeweiligen Testprodukte geschwenkt und danach für 1 Minute unter fließendem Leitungswasser abgespült, sodass makroskopisch keine Zahnpastenreste mehr zu erkennen waren.

Nach dem Abspülen wurden die Proben aller Gruppen wieder für 1 Stunde in die Remineralisationslösung gegeben.

Die Positivkontrolle-Slurry (PKS) wurde für 2 Minuten in Elmex Erosionsschutz Zahnpflege geschwenkt, danach für 1 Minute unter fließendem Leitungswasser abgespült und in die Remineralisationslösung gegeben.

3. Material und Methode

Die Proben der Negativerosionskontrolle- Slurry (NKES) wurden nach dem Demineralisationsvorgang direkt für 30 Sekunden unter fließendem Leitungswasser abgespült und in die Remineralisationslösung gegeben.

Die Proben des zweiten Experiments, mit Ausnahme der Kontrollgruppen PKB, NKB und NKEB, wurden nach dem ersten und sechsten Demineralisationsvorgang für 2 Minuten in die Slurries der Testprodukte gegeben und innerhalb dieser Zeit für 15 Sekunden gebürstet.

Der Bürstvorgang erfolgte mit einem Zahnbürst-Simulator (Mat. 10). Gebürstet wurde im Zick-Zack-Modus mit einem Auflagegewicht von 200 g, bei einem Verfahrensweg von 6,0 mm und einer Verfahrensgeschwindigkeit von 60,0 mm/s. Die genutzten ADA-Referenzzahnbürsten (Mat. 11) hatten eine Borstenlänge von 10,5 mm, einen Borstendurchmesser von 0,2 mm und ein Bürstfeld von 27,5 mm x 9,5 mm.

Nach dem Bürsten wurden alle Proben für 1 Minute unter fließendem Leitungswasser abgespült bis makroskopisch keine Zahnpastenreste mehr zu erkennen waren und für 1 Stunde in die Remineralisationslösung gegeben.

Die Positivkontrolle-Bürst (PKB) wurde für 15 Sekunden mit fluoridfreier Aronal gebürstet, 1 Minute abgespült, danach für 2 Minuten mit Elmex Erosionsschutz Zahnpulver behandelt und wieder 1 Minute abgespült. Danach kam sie für 1 Stunde in die Remineralisationslösung.

Die Negativkontrolle-Bürst (NKB) wurde nach dem Demineralisationsvorgang und dem Abspülen ebenfalls für 2 Minuten mit fluoridfreier Aronal behandelt, wovon sie 15 Sekunden gebürstet wurde. Danach wurde sie 1 Minute abgespült und für 1 Stunde in die Remineralisationslösung gegeben.

Die Proben der Negativerosionskontrolle- Bürst (NKEB) wurden nach dem Demineralisationsvorgang und dem Abspülen direkt wieder für 1 Stunde in die Remineralisationslösung gegeben; es erfolgte keine mechanische Belastung durch Bürsten.

Über Nacht wurden die Proben in der Remineralisationslösung gelagert und über das Wochenende bei 100% Luftfeuchtigkeit.

Nach Ablauf der 10 Versuchstage wurden die Proben für 96 Stunden in 150 ml Kollagenaselösung im Wasserbad bei 37°C geschwenkt, um die organische Matrix auf der Probenoberfläche zu entfernen (Ganss *et al.*, 2007a). Danach wurden die Proben unter fließendem Wasser für eine Minute abgespült. Bis zur weiteren Verwendung wurden die Proben in einer feuchten Kammer bei 100 % Luftfeuchtigkeit gelagert.

3. Material und Methode

3.5. Messmethode

Die Messung des Substanzverlustes der Proben erfolgte profilometrisch mit dem Perthometer S8P (Mat. 12) und einem mechanischen Taster unter Kontakt zur Probenoberfläche (Mat. 13).

Das Prinzip der Profilometrie ist das Tastschnittverfahren. Mit einem Taster wird das Oberflächenprofil der Probe mit geradliniger Abtastung erfasst. Jede Ablenkung der Tasterspitze wird in elektrische Signale umgewandelt und durch einen Messverstärker verstärkt. Gleichzeitig werden die analogen Messsignale per Analog-/Digital-Wandler in digitale Messsignale übersetzt und in einem angeschlossenen Computer als sogenanntes D-Profil im Messprogramm Concept gespeichert.

Das Perthometer besteht aus einem Messtisch, auf dem die Proben fixiert werden, einem Vorschubgerät, an dem der mechanische Taster befestigt wird, einem Computer, auf dem die Messsignale aufgezeichnet werden und einem weiteren Computer zum Speichern und Auswerten der Messdaten. Um Erschütterungen aus der Umgebung zu minimieren, ist das Perthometer S8P auf einem pneumatisch gelagerten Spezialtisch aufgestellt. Die Auswertung erfolgte mit einer speziellen Software (Mat. 14).

Vor jeder Nutzung wurde das Perthometer nach Herstellerangaben mit einem Kalibriernormal kalibriert.

Zur Messung wurden die Abdeckungen der Referenzflächen von den Proben entfernt. Anschließend wurden die Proben mit einem Auflichtmikroskop (10-fache Vergrößerung, Mat. 5) im Hinblick auf Kratzer und Beschädigungen kontrolliert. Die Probenträger wurden mit etwas Knetmasse auf dem Messtisch fixiert. Die Probenoberfläche wurde parallel zur Messtischoberfläche ausgerichtet. Die aufgezeichneten Spuren verliefen senkrecht zur Grenzlinie zwischen Kontrollfläche und Versuchsfläche. Diese Grenzlinie lag in der Mitte der Abtaststrecke. Die Abtastung der Proben erfolgte von der Referenzfläche zur Versuchsfläche.

Je Probe wurden drei Profilschriebe im Abstand von 250 µm aufgezeichnet und als D-Profil gespeichert, welches das direkt ertastete Oberflächenprofil darstellt. Der Vertikalbereich betrug 750 µm. Die Messstrecke betrug pro Profilschrieb 2 mm.

Die Probenoberflächen wurden während des gesamten Messvorgangs feucht gehalten. Vor jeder Messung wurde die jeweilige Probenoberfläche nochmals optisch auf Verunreinigungen kontrolliert. Danach wurde sie mit einem Tropfen Wasser befeuchtet, nach 30 Sekunden wurde die Feuchtigkeit mit einem trockenen Papiertuch kontaktfrei aufgesogen und die Messung direkt gestartet.

3. Material und Methode

Zur Auswertung wurde bei jedem Profilschrieb der Übergang zwischen Versuchs- und Referenzfläche mit einem Punkt markiert.

Danach wurden sowohl auf der Referenzfläche, als auch auf der Versuchsfläche je zwei Spurpunkte gesetzt mit einem Abstand von 300 μm und 600 μm vom Übergangspunkt. Zwischen den beiden Spurpunkten auf der Referenz- bzw. Versuchsfläche wurde eine Ausgleichsgerade von je 300 μm Länge konstruiert.

Die Ausgleichsgerade auf der Referenzfläche wurde nun im xy-Koordinatensystem parallel zur x-Achse ausgerichtet. Danach wurden die Mittelpunkte der beiden Strecken automatisch vom System errechnet. Der Substanzverlust wurde als vertikaler Abstand der zwei Mittelpunkte definiert.

Pro Probe ergaben sich somit drei Werte, die in einer Exceltabelle notiert wurden. Die Werte wurden auf Plausibilität kontrolliert und pro Probe wurde ein Mittelwert gebildet, der für die spätere Auswertung als Wert der Probe verwendet wurde.

3.6. Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 15.0 für Windows (SPSS, Chicago, IL, USA).

Die Daten wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest hinsichtlich einer Normalverteilung geprüft; es konnte keine Abweichung festgestellt werden.

Der Vergleich der Gruppen jeweils für Slurry- und Bürstexperiment wurde mit der einfachen Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Da der Test auf Homogenität der Varianzen eine signifikante Abweichung ergab, wurde der Anschlussstest nach Tamhane durchgeführt.

Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgelegt.

3. Material und Methode

3.7. Material- und Chemikalienliste

- Mat. 1: Exact Trennschleifsystem (Exact Apparatebau, Norderstedt, Deutschland)
- Mat. 2: Exact Microschleifsystem (Exact Apparatebau, Norderstedt, Deutschland)
- Mat. 3: Schleifpapier Körnung P1200 (nominale Korngröße 12 µm; Leco, St. Joseph, USA)
- Mat. 4: Schleifpapier Körnung P4000 (nominale Korngröße 5 µm; Leco, St. Joseph, USA)
- Mat. 5: Mikroskop (10-fache Vergrößerung, SMZ-1, Zoom Stereomikroskop, Nikon GmbH, Düsseldorf, Deutschland)
- Mat. 6: Fixationskleber Technovit 7230 VLC (Kulzer-Exact, Wehrheim, Deutschland)
- Mat. 7: Glasobjektträger (R. Langenbrinck, Emmendingen, Deutschland)
- Mat. 8: Färbekästen (Schott, Mainz, Deutschland)
- Mat. 9: Schwenkwasserbad Model 1083 (GFL, Burgwedel, Deutschland)
- Mat. 10: Zahnbürst-Simulator ZM-3 (SD Mechatronik, Feldkirchen-Westerham, Deutschland)
- Mat. 11: ADA Referenzzahnbürsten soft, Version 2005
- Mat. 12: Perthometer S8P (Perthen Mahr, Göttingen, Deutschland)
- Mat. 13: mechanischer Taster (FRW 750 Contour, Perthen Mahr, Göttingen, Deutschland)
- Mat. 14: Perthometer Concept 4.0 (Perthen Mahr, Göttingen, Deutschland)
-
- Chem. 1: Thymol Pulver (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Deutschland)
- Chem. 2: Zitronensäure Monohydrat (Carl Roth GmbH + Co.KG, Karlsruhe, Deutschland)
- Chem. 3: Phosphorsäure (Merck, Darmstadt, Deutschland)
- Chem. 4: Kaliumchlorid (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Deutschland)
- Chem. 5: Natriumhydrogenkarbonat (Merck, Darmstadt, Deutschland)
- Chem. 6: Kalziumchlorid (Merck, Darmstadt, Deutschland)
- Chem. 7: Kollagenase vom Clostridium histolyticum Type VII mit einer Kollagen-Verdauungsaktivität von 1680 U/µg bei 25° C und pH 7,5 in Anwesenheit von Kalzium-Ionen (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Deutschland)

3. Material und Methode

Tabelle 3.2: Übersicht der im Versuch genutzten Produkte (Hersteller kursiv gedruckt) mit Angabe der gemessenen Slurry-pH-Werte und der gemessenen freien Fluoridwerte in den Slurries direkt nach Ansetzen der Slurries (Ganss *et al.*, 2011). Dargestellt sind die gemessenen RDA-Werte der verschiedenen Produkte (Missouri Analytical Laboratories Inc., St. Louis, Mo., USA; (Ganss *et al.*, 2011)) und die RDA-Werte aus Das Dentalvadecum (Bundeszahnärztekammer and Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, 2009). Der jeweilige aktive Wirkstoff der Produkte (mit Mengenangabe in ppm, laut Herstellerangaben) und die Art der Putzkörper (laut Herstellerangaben). n.v. = nicht verfügbar

Produkte	Slurry pH-Wert	Freies Fluorid (ppm)	Gemessener RDA-Wert	RDA-Wert aus Vadecum	Aktiver Wirkstoff	Art der Putzkörper
Natriumfluorid-Pasten:						
Dentagard Original <i>Colgate Palmolive</i>	7,0	331,0 \pm 3,5	80 \pm 15	41	1450 ppm F ⁻ aus NaF	Hydrated Silica
Sensodyne MultiCare <i>GlaxoSmithKline</i>	6,0	319,7 \pm 5,1	115 \pm 30	30-40	1400 ppm F ⁻ aus NaF	Hydrated Silica
Blend-a-med Classic <i>Procter & Gamble</i>	6,3	173,7 \pm 4,7	69 \pm 10	n.v.	1450 ppm F ⁻ aus NaF	Hydrated Silica
Odol-med 3 Pro-Clean <i>GlaxoSmithKline</i>	7,1	330,3 \pm 2,9	109 \pm 10	150	1400 ppm F ⁻ aus NaF	Hydrated Silica
GUM Original White <i>Sunstar</i>	7,2	324,0 \pm 2,7	101 \pm 8	135	1490 ppm F ⁻ aus NaF	Hydrated Silica
Theramed Naturweiss <i>Schwarzkopf & Henkel</i>	7,1	317,0 \pm 7,8	75 \pm 16	95-105	1450 ppm F ⁻ aus NaF	Hydrated Silica
Zinnhaltige Pasten:						
GEL-KAM <i>Colgate Palmolive</i>	4,3	288,3 \pm 2,2	60 \pm 22	n.v.	970 ppm F ⁻ aus SnF ₂ , 3030 ppm Sn ²⁺ aus SnF ₂	keine
Blend-a-med Pro Expert <i>Procter & Gamble</i>	6,0	280,0 \pm 2,7	119 \pm 16	n.v.	1450 ppm F ⁻ : 1100 ppm F ⁻ aus SnF ₂ , 350 ppm F ⁻ aus NaF; 3436 ppm Sn ²⁺ aus SnF ₂	Hydrated Silica
Spezialpasten mit Fluorid:						
Sensodyne Pro Schmelz <i>GlaxoSmithKline</i>	7,0	295,0 \pm 3,5	115 \pm 32	30-40	1450 ppm F ⁻ aus NaF, KNO ₃	Hydrated Silica
Apa Care <i>Cumdente</i>	6,7	49,8 \pm 0,5	77 \pm 17	50	1% Hydroxylapatit Nanopartikel, 1450 ppm F ⁻ aus NaF	Dicalcium-Phosphate-Dihydrate, Silica

3. Material und Methode

Spezialpasten ohne Fluorid:						
BioRepair <i>Dr. Kurt Wolff</i>	7,8	-	110±13	n.v.	Zink-Karbonat-Hydroxylapatit, kein Fluorid	Hydrated Silica, Silica
GC Tooth Mousse <i>GC Europe N.V.</i>	7,3	-	-	-	10 % CPP-ACP, kein Fluorid	keine
Chitodent® - Chitosan Zahnpasta <i>B & F</i>	6,3	-	83±11	n.v.	Chitosan, kein Fluorid	Hydrated Silica
Kontrollgruppen:						
Elmex Erosionsschutz Zahnpflege <i>GABA</i>	4,5	-	-	-	500 ppm F ⁻ : 125 ppm F ⁻ aus Aminfluorid, 350 ppm F ⁻ aus NaF; 800 ppm Sn ²⁺ aus SnCl ₂	keine
fluoridfreie Aronal forte Gum Protection (Japan) <i>GABA</i>	7,5	-	77±21	n.v.	-	Dicalcium-Phosphate-Dihydrate, Dicalcium-Phosphate, Silica

Tabelle 3.3: Übersicht der Inhaltsstoffe der einzelnen Marktprodukte (laut Herstellerangaben) und Angabe der im Versuch genutzten Produktchargennummern.

Marktprodukte	Inhaltsstoffe der Marktprodukte	Chargennummer
Colgate Dentagard Original	Wasser, Sorbitol, Hydrated Silica, Glycerin, PEG-12, Sodium Lauryl Sulfate, Cellulose Gum, Aroma, Sodium Fluoride, Sodium Saccharin, Salvia Officinalis Oil, Mentha Piperita Oil, Chamomilla Recutita Extract, Commiphora Myrrha Extract	(9159PL11C1, 9159PL11C2)
Sensodyne MultiCare	Aqua, Sorbitol, Hydrated Silica, Glycerin, cocamidopropyl Betaine, Potassium Chloride, zinc Citrate, Cellulose Gum, Silica, Aroma, Sodium Saccharin, Sodium Fluoride, Trisodium Phosphate, CI 77891	(9132B)
Blend-a-med Classic	Aqua, Glycerin, Hydrated Silica, Xanthan Gum, Sodium Lauryl Sulfate, Aroma, Limonene, Sodium Fluoride, Sodium Saccharin, Zinc Lactate, CI 77891.	(C9107028851L, 9112028851L)
Odol-med 3 Pro-Clean	Sorbitol, Aqua, Silica, Hydrated Silica, PEG-6, Sodium Lauryl Sulfate, Sodium Fluoride, Aroma, Xanthan Gum, Disodium Phosphate, Titanium Dioxide, Sodium Saccharin, Sodium Sulfate, Mica, Limonene, CI 74260, CI 174260, CI 73360	(8311N1, 8311N2)
Sunstar GUM Original White	Aqua, Hydrated Silica, Sorbitol, Glycerin, PEG-8, Cellulose Gum, Sodium Lauryl Sulfate, Aroma, Disodium C12-14 Pareth-2 Sulfosuccinate, PEG-60 Hydrogenated Castor Oil, Titanium Dioxide, Sodium Fluoride, Sodium Saccharin, Potassium Acesulfame, o-Cymen-5-ol, Limonene, Linalool.	(LOT 011, LOT 010)
Theramed Naturweiss	Aqua, Hydrated Silica, Glycerin, Sorbitol, PEG-32, Sodium Laurylsulfate, Alumina, Aroma, Cellulose Gum, Disodium Azacycloheptane Diphosphate, Sodium Fluoride, Trisodium Phosphate, Sodium Saccharin, Sodium Sulfate, Limonette, CI 77891	(0225782789, 0203985143)

3. Material und Methode

Colgate Sensitive GEL-KAM Mint	Glycerin, Stannous Fluoride, Hydroxymethylzellulose, Aroma	(903230)
Blend-a-med Pro Expert	Fluorid (1450ppm Fluorid): Zinnfluorid (1100ppm Fluorid) und Natriumfluorid (350ppm Fluorid) Inhaltsstoffe: Glycerin, Hydrated Silica, Sodium Hexametaphosphate, Propylene Glycol, PEG-6, Aqua, Zinc Lactate, CI 77891, Sodium Lauryl Sulfate, Sodium Gluconate, Aroma, Chondrus Crispus, Trisodium Phosphate, Stannous Fluoride, Sodium Saccharin, Xanthan Gum, Silica, Sodium Fluoride	(9035028861)
Sensodyne Pro Schmelz	Aqua, Sorbitol, Hydrated Silica, Glycerin, Potassium Nitrate, PEG-6, Cocamidopropyl Betaine, Aroma, Xanthan Gum, Sodium Saccharin, Sodium Fluoride, Titanium Dioxide, Sodium Dioxide, Sodium Hydroxine, Limonene, Anise Alcohol	(9090R2, 9090R3)
Cumdente Apa Care	Aqua, Calcium Phosphate (Hydroxylapatit), Glycerin, Xylitol, Silica, Sodium Lauryl Sulfate, Sodium Saccharin, Xanthan Gum, Potassium Sorbate, Benzyl Alcohol, Aroma	
Dr. Kurt Wolff Bio Repair	Aqua, Zinc Carbonate Hydroxyapatite, Hydrated Silica, Glycerin, Sorbitol, Silica, Aroma, Cellulose Gum, Sodium Myristoyl Sarcosinate, Sodium Methyl Cocoyl Taurate, Tetrapotassium Pyrophosphate, Zinc PCA, Sodium Saccharin, Citric Acid, Phenoxyethanol, Benzyl Alcohol, Methylparaben, Propylparaben.	(921351007, 835251024)
GC Tooth Mousse	Pure water, Glycerol, CPP-ACP, D-sorbitol, CMC-Na, Propylene glycol, Silicon dioxide, Titanium dioxide, Xylitol, Phosphoric acid, Flavoring, Zinc oxide, Sodium saccharin, Ethyl p-hydroxybenzoate, Magnesium oxide, Guar gum, Propyl p-hydroxybenzoate, Butyl p-hydroxybenzoate	(081027S, 090108T, 081222M, 090107S, 081211S)
Chitodent	Aqua Sorbitol, Hydrated Silica, Glycerin, Chitosan, Lactic acid, Foeniculum Vulgare Fruit Oil, Xanthan Gum, Potassium Glycyrrhizate, CI 77891	(00084432)
Elmex Erosionsschutz Zahnpflegung	Aqua, Glycerin, Sodium Gluconate, PEG-40, Hydrogenated Castor Oil, Olaflur, Aroma, Stannous Chloride, Sodium Fluoride, Cocamidopropyl Betaine, Sodium Saccharin, Hydrochloric Acid	(9201CHG11A, 9201CHG11B)
fluoridfreie Aronal forte Gum Protection	Aqua, Dicalcium Phosphate Dihydrate, Dicalcium Phosphate, Propylene Glycol, Glycerin, Hydroxyethylcellulose, Sodium Lauryl Sulfate, Titanium Dioxide, Aroma, Silica, Methylparaben, Sodium Saccharin, Retinyl Palmitate, Propylparaben	(7323C2)

4. Ergebnisse

4. Ergebnisse

4.1. Allgemeines

Nach Abschluss der Untersuchungen war auf den Probenoberflächen bereits makroskopisch eine Veränderung der erodierten bzw. erodierten/abradierten Dentinoberfläche im Vergleich zur unbehandelten Referenzfläche zu erkennen. Die vor Versuchsbeginn polierte und hochglänzende Oberfläche war nun stumpf und rau. Bei genauer Betrachtung war nach Entfernung der Matrix eine Stufenbildung erkennbar, deren Ausprägungsgrad abhängig von der Versuchsgruppe war.

Durch einen Verlust der Abdeckung der Referenzfläche konnten im Slurryversuch sechs Proben der Gruppe Classic S und im Bürstversuch eine Probe der Gruppe NKEB nicht ausgewertet werden.

4. Ergebnisse

4.2. Mineralverluste der einzelnen Versuchsgruppen

Tabelle 4.1: Übersicht über den Substanzverlust (in μm) in den einzelnen Gruppen (S =Experiment 1, B=Experiment 2) nach 10 Tagen Versuchsdurchführung mit täglich 6 x 2 min Demineralisation in 0,05 molarer Zitronensäure (pH 2,4) und täglich 2 x 2 min. Immersion in der jeweiligen Produktslurry. Die Proben wurden während der Immersion entweder nur in der Slurry geschwenkt (Experiment 1) oder für 15 sec. darin gebürstet (Experiment 2).

	S	B
Natriumfluorid-Pasten:		
Dentagard	25,1 \pm 3,84	12,6 \pm 2,82
MultiCare	28,3 \pm 3,76	22,6 \pm 2,97
Classic	28,0 \pm 4,69	13,5 \pm 2,55
Pro-Clean	24,8 \pm 3,09	11,4 \pm 1,71
GUM	23,5 \pm 3,04	12,9 \pm 1,79
Naturweiss	31,9 \pm 2,48	17,7 \pm 4,48
Zinnhaltige Pasten:		
GEL-KAM	18,7 \pm 1,65	11,1 \pm 2,11
Pro Expert	32,8 \pm 3,38	24,3 \pm 2,97
Spezialpasten mit Fluorid:		
Pro Schmelz	26,3 \pm 3,07	11,3 \pm 2,11
Apa Care	25,1 \pm 3,77	22,4 \pm 4,49
Spezialpasten ohne Fluorid:		
Bio Repair	39,9 \pm 4,68	28,1 \pm 5,23
Chitodent	41,1 \pm 3,92	31,0 \pm 3,51
Tooth Mousse	34,7 \pm 4,72	-
Kontrollgruppen:		
PKS/PKB	18,8 \pm 3,85	11,9 \pm 1,59
NKES/NKEB	46,2 \pm 4,74	25,4 \pm 1,97
NKB	-	28,2 \pm 2,94

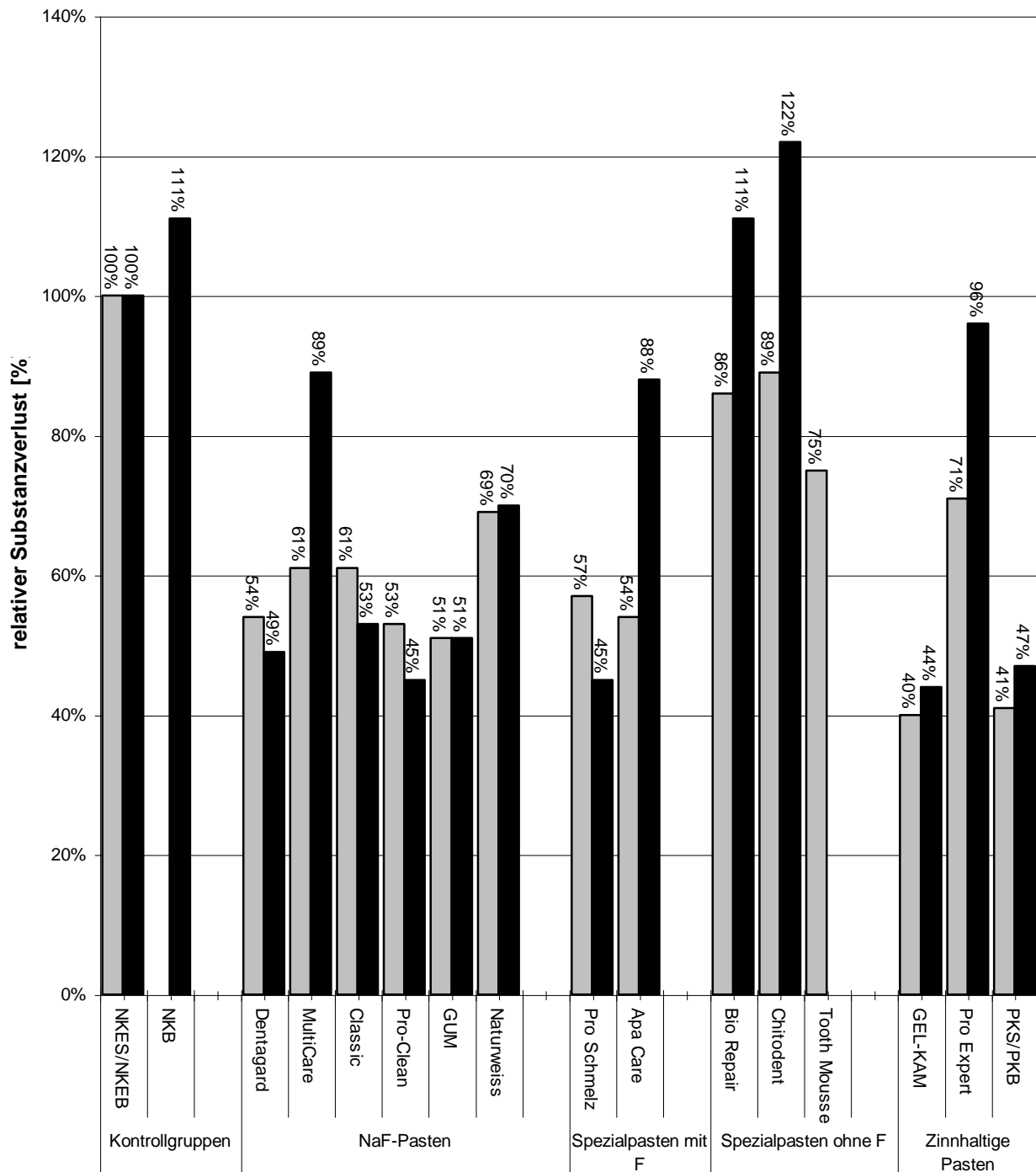
4. Ergebnisse

Tabelle 4.2: Übersicht der Signifikanzen der Gruppen zueinander in Experiment 1 und 2. Die Differenz der Substanzverluste ist auf dem Niveau $p \leq 0,05$ signifikant.

EXPERIMENT 1	Dentagard	Multi-Care	Classic	Pro-Clean	GUM	Naturweiss	GEL-KAM	Pro Expert	Pro Schmelz	ApaCare	Bio Repair	Tooth Mousse	Chitodent	PKS	NKES
Dentagard	-	0,954	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
Multi-Care	-	-	1,000	0,492	0,031	0,367	0,000	0,118	1,000	0,934	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000
Classic	-	-	-	1,000	0,811	0,979	0,003	0,733	1,000	1,000	0,000	0,163	0,000	0,003	0,000
Pro-Clean	-	-	-	-	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
GUM	-	-	-	-	-	0,000	0,001	0,000	0,833	1,000	0,000	0,000	0,000	0,052	0,000
Naturweiss	-	-	-	-	-	-	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000	0,000
GEL-KAM	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000
Pro Expert	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,002	1,000	0,000	0,000	0,000
Pro Schmelz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ApaCare	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
Bio Repair	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,322	1,000	0,000	0,057
Tooth Mousse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,019	0,000	0,000
Chitodent	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,202
PKS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000
NKES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EXPERIMENT 2	Dentagard	Multi-Care	Classic	Pro-Clean	GUM	Naturweiss	GEL-KAM	Pro Expert	Pro Schmelz	ApaCare	Bio Repair	Chitodent	PKB	NKB	NKEB
Dentagard	-	0,000	1,000	1,000	1,000	0,049	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
Multi-Care	-	-	0,000	0,000	0,000	0,077	0,000	1,000	0,000	1,000	0,093	0,000	0,000	0,000	0,343
Classic	-	-	-	0,687	1,000	0,250	0,524	0,000	0,767	0,000	0,000	0,000	0,998	0,000	0,000
Pro-Clean	-	-	-	-	0,848	0,002	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
GUM	-	-	-	-	-	0,061	0,727	0,000	0,941	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
Naturweiss	-	-	-	-	-	-	0,001	0,002	0,002	0,371	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000
GEL-KAM	-	-	-	-	-	-	-	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
Pro Expert	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	1,000	0,860	0,000	0,000	0,049	1,000
Pro Schmelz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
ApaCare	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,203	0,000	0,000	0,012	0,948
Bio Repair	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	0,000	1,000	1,000
Chitodent	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,904	0,000
PKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000
NKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,257
NKEB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4. Ergebnisse

Abb. 4.1: Prozentualer Substanzverlust der einzelnen Gruppen im Vergleich zur Negativ-Erosionskontrolle (NKES/NKEB) des jeweiligen Experiments. Hellgrau = Experiment 1 (Slurry-Versuch); Dunkelgrau = Experiment 2 (Bürst-Versuch). PKS/PKB = Positivkontrolle von Experiment 1 bzw. 2; NKB = Negativbürstkontrolle. NKB und Tooth Mousse weisen jeweils nur eine Säule auf, da die Negativkontrolle-Bürst nur in Experiment 2 und Tooth Mousse, da es nicht zum Bürsten indiziert ist, nur in Experiment 1 mitgeführt wurde.



4. Ergebnisse

4. Ergebnisse

4.3. Vergleich des Mineralverlustes der Versuchsgruppen des Slurryexperiments

Im Slurryexperiment konnte in der Negativerosionskontrollgruppe (NKES) der höchste Substanzverlust gemessen werden (46,2 μm).

Mit Ausnahme von zwei Pasten (Bio Repair und Chitodent) führte die Immersion in der Slurry bei allen Produkten zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes gegenüber NKES.

Die konventionellen NaF-haltigen Pasten reduzierten den Substanzverlust zwischen 49% (GUM ($p \leq 0,001$)) und 31% (Naturweiss ($p \leq 0,001$)).

Innerhalb der NaF-Pasten gab es nur signifikante Unterschiede von Naturweiss zu Dentagard, Pro-Clean und GUM ($p \leq 0,001$) und von GUM zu Multicare ($p \leq 0,05$). Die restlichen NaF-Pasten wiesen keine nennenswerten Unterschiede untereinander auf.

Die speziellen Pasten mit Fluorid (Apa Care, Pro Schmelz) zeigten eine zu den konventionellen NaF-Pasten vergleichbare Effektivität. Sie reduzierten den Substanzverlust um 46% (Apa Care $p \leq 0,001$) und 43% (Pro Schmelz $p \leq 0,001$).

Die fluoridfreien speziellen Pasten (Bio Repair, Tooth Mousse, Chitodent) zeigten ebenfalls keine bessere Effektivität als die konventionellen NaF-Pasten (Reduktion des Substanzverlustes um 14% (n.s.), 25% ($p \leq 0,001$), 11% (n.s.)). Vielmehr zeigte sich, dass zwei Produkte (Bio Repair, Chitodent) sogar einen geringeren Effekt als die konventionellen NaF-Pasten aufwiesen und die Substanzverluste gegenüber der Negativerosionskontrolle nicht signifikant zu reduzieren vermochten.

Hinsichtlich der zinnhaltigen Produkte war die zinnhaltige Zahnpaste (Pro Expert) ebenfalls weniger effektiv als die NaF-Pasten (Reduktion des Substanzverlustes um 29% ($p \leq 0,001$) gegenüber NKES). Die beiden anderen zinnhaltigen Produkte (GEL-KAM ($p \leq 0,001$), Positivkontrolle ($p \leq 0,001$)) hingegen konnten den Substanzverlust gegenüber der Negativerosionskontrollgruppe mit jeweils 60% bzw. 59% deutlich reduzieren. Beide Produkte waren damit gleichermaßen effektiv und führten zu einer deutlichen Reduktion des Substanzverlustes im Vergleich zur effektivsten konventionellen NaF-Pasten GUM (GUM zu GEL-KAM ($p \leq 0,001$), GUM zu PKS ($p \leq 0,05$)).

4. Ergebnisse

4.4. Vergleich des Mineralverlustes zwischen den Versuchsgruppen des Bürstexperiments

Im Bürstexperiment konnte der höchste Substanzverlust nach der Anwendung der beiden Spezialpasten ohne Fluorid gemessen werden (Bio Repair (28,0 μm) und Chitodent (31,0 μm)). Danach folgten die Negativkontrollgruppen NKB (28,2 μm) und NKEB (25,4 μm).

Im Vergleich zur Negativerosionskontrolle (NKEB) wurde der Substanzverlust durch Chitodent und Bio Repair um 22% ($p \leq 0,001$) und 12% (n.s.) erhöht und auch im Vergleich zum Bürsten mit fluoridfreier Slurry (NKB) führten beide zu keinem signifikanten Unterschied.

Mit Ausnahme dieser beiden Spezialpasten ohne Fluorid führten alle anderen Produkte zu einer Reduktion des Substanzverlustes gegenüber NKB und NKEB.

Die konventionellen NaF-haltigen Pasten reduzierten den Substanzverlust im Vergleich zu NKEB zwischen 30% (Naturweiss, $p \leq 0,001$) und 55% (Pro-Clean, $p \leq 0,001$), mit Ausnahme einer Paste (Multicare), die den Substanzverlust nur um 11% (n.s.) reduzierte.

Die Spezialpasten mit Fluorid (Apa Care, Pro Schmelz) zeigten eine sehr unterschiedliche Effektivität. Pro Schmelz hatte eine zur Positivkontrolle (PKB) und zur NaF-Paste Pro-Clean vergleichbare Effektivität und führte gegenüber NKEB zu einer Reduktion um 55% ($p \leq 0,001$), während Apa Care zu keiner signifikanten Reduktion gegenüber NKEB führte (12%, n.s.) und in ihrer Wirksamkeit der NaF-Paste Multicare entsprach.

Ähnlich verhielt es sich bei den zinnhaltigen Produkten. Die zinnhaltige Zahnpaste Pro Expert reduzierte den Substanzverlust gegenüber NKEB nur um 4% (n.s.). Die beiden anderen zinnhaltigen Produkte (GEL-KAM, Positivkontrolle) hingegen konnten den Substanzverlust im Vergleich zu NKEB mit 56% ($p \leq 0,001$) und 53% ($p \leq 0,001$) deutlich reduzieren. Beide Produkte waren damit, wie bei Experiment 1, vergleichbar effektiv. Jedoch waren sie in diesem Fall nicht effektiver als ein Teil der konventionellen NaF-Pasten.

5. Diskussion

5. Diskussion

5.1. Diskussion der Methode

5.1.1. Probenmaterial

Die Dentinproben wurden aus vollständig retinierten dritten Molaren gewonnen. Dadurch waren alle Proben vom gleichen Zahntyp und eine intraorale Exposition und somit eine vorherige Einwirkung von Karies, erosiven Säuren oder Zahnpflegeprodukten (Ganss *et al.*, 2000) konnte ausgeschlossen werden.

Es wurde nur koronales Dentin verwendet, da Erosionen in-vivo zumeist das koronale Dentin betreffen. Zudem ist das Wurzelentin weniger anfällig für Erosionen (Ganss *et al.*, 2000). Die geringere Säurelöslichkeit von Wurzelentin im Vergleich zu koronalem Dentin wird auf den geringeren Phosphatgehalt und auf den geringeren Gehalt an peritubulärem Dentin zurückgeführt, welches säurelöslicher ist als intertubuläres Dentin (Ganss *et al.*, 2000).

Durch das Schleifen und Polieren der Probenoberfläche entstand eine plane Versuchsfläche, was zu einer höheren Reproduzierbarkeit der Messungen beiträgt (Schlueter *et al.*, 2011). Ein Nachteil der Oberflächenbearbeitung ist jedoch die Entstehung von amorphen Gewebeablagerungen auf der Oberfläche (Smear Layer), welche bei der Probenherstellung durch Schleifen entstehen. Diese können beim Dentin zu einem Verschluss der Dentintubuli führen (Pashley *et al.*, 1988;Lussi *et al.*, 2011) und dessen Permeabilität beeinflussen. Durch eine Behandlung der Proben vor Versuchsbeginn mit 6%iger Zitronensäure für 30 Sekunden kann jedoch ein Großteil des Smear Layers entfernt und dessen Einfluss auf die Versuchsergebnisse reduziert werden (Lussi *et al.*, 2011;Pashley *et al.*, 1981). Nach 60 Sekunden konnte der Smear Layer fast vollständig entfernt werden und die Tubuliöffnungen waren wieder freigelegt (Pashley *et al.*, 1981). In diesem Versuch wurde der Smear Layer auf den Proben zwar nicht vor Versuchsbeginn mit Zitronensäure entfernt, jedoch startete jedes Experiment mit einer zweiminütigen Demineralisation, wodurch bereits zu Versuchsbeginn der Smear Layer weitestgehend entfernt wurde, sodass eine weitere Beeinflussung des Versuchsablaufes ausgeschlossen werden kann.

5. Diskussion

5.1.2. Erosions- und Abrasionserzeugung

Die erosive Demineralisation wurde mit einer 1%igen Zitronensäure mit einem pH-Wert von 2,4 durchgeführt. Zitronensäure hat ein hohes erosives Potential, kommt in vielen Lebensmitteln als diätetische Säure vor und wird in zahlreichen Getränken als Säuerungsmittel genutzt (West *et al.*, 2001). Der Vorteil reiner Zitronensäure gegenüber Lebensmitteln wie beispielsweise Orangensaft ist, dass sie keine weiteren Zusatzstoffe enthält, was zu unvorhersehbaren Nebeneffekten führen kann. Weiterhin unterliegen kommerzielle Lebensmittel Schwankungen, wohingegen reine Zitronensäure genau reproduziert werden kann, wodurch sich eine bessere Standardisierung ergibt (Shellis *et al.*, 2011).

Das Studiendesign mit täglich sechs mal zwei Minuten Demineralisation im Abstand von jeweils einer Stunde scheint sehr stark zu sein. Jedoch können sich bei drei Hauptmahlzeiten und drei Zwischenmahlzeiten bereits sechs Erosionseinwirkungen pro Tag ergeben. Patienten, welche Erosionen entwickeln, sind häufig multiplen Säureeinwirkungen pro Tag ausgesetzt. Zu diesen Patienten mit einem hohen Erosionsrisiko zählen beispielsweise Vegetarier (Ganss *et al.*, 1999) und Personen die häufig große Mengen saurer Getränke wie beispielsweise Erfrischungsgetränke zu sich nehmen (Hasselkvist *et al.*, 2014; Al-Dlaigan *et al.*, 2001a; Jensdottir *et al.*, 2004).

Die Erosionszeit von zwei Minuten entspricht in etwa der Zeit, die nach dem Konsum von sauren Getränken zur Neutralisation des Speichels benötigt wird (Millward *et al.*, 1997). Weiterhin entspricht diese Zeit dem für Erosionsstudien empfohlenen Standard (Wiegand and Attin, 2011).

Die Proben wurden zweimal täglich nach dem ersten und dem letzten Demineralisationsvorgang gebürstet. Dies entspricht den üblichen Mundhygieneempfehlungen sowie klinischen Beobachtungen, wonach 80% der untersuchten Personen zweimal täglich die Zähne putzen (Ganss *et al.*, 2009c).

Die Lagerung der Proben für zwei Minuten in den Slurries entspricht der empfohlenen Zahnputzzeit, in der die Zahnpaste im Mund insgesamt auf die Zähne einwirkt, auch wenn dieses Areal gerade gebürstet wird. Eine Studie (Ganss *et al.*, 2009c) konnte zeigen, dass die mittlere Putzdauer von Erwachsenen bei 96,6 Sekunden liegt. Dies entspricht einer Putzdauer von 16 Sekunden pro Sextant, was wenigen Sekunden pro Zahnfläche entspricht. Da zumeist die Flächen von mehreren Zähnen in einem Areal gleichzeitig gebürstet werden, liegt die gewählte Bürstdauer im klinisch relevanten Bereich, auch wenn die Putzdauer pro Probe mit 15 Sekunden lange erscheinen mag.

5. Diskussion

Die Proben wurden mit einem Auflagegewicht von 200 g gebürstet. In der bereits oben genannten Beobachtungsstudie (Ganss *et al.*, 2009c) wurde die Kraft, mit der gebürstet wurde, gemessen. Es zeigt sich eine mittlere Bürstkraft von 2,3 N, was in etwa einem Auflagegewicht von etwa 200 g entspricht.

Durch die Nutzung einer Putzmaschine wurden standardisierte Bewegungen durchgeführt und ein konstanter Putzdruck genutzt, was zu einer besseren Standardisierung des Versuchs beitrug (Wiegand and Attin, 2011).

5.1.3. Auswahl der Zahnpasten

Zähneputzen mit Zahnpaste ist die am weitesten verbreitete Form der Mundhygiene, welche von einem Großteil der industrialisierten Bevölkerung zweimal täglich durchgeführt wird (Ganss *et al.*, 2009c; Wiegand and Attin, 2011). Ziel ist dabei an erster Stelle die Plaqueentfernung. Untersuchungen lassen jedoch darauf schließen, dass durch das Putzen mit einer Paste, im Vergleich zum Bürsten allein, nur eine minimal zusätzliche Plaqueentfernung erreicht wird (Addy *et al.*, 1983). Damit sind Zahnpasten primär für die Zufuhr präventiver und therapeutischer Agenzien verantwortlich (Forward, 1991).

Bei der Auswahl der Zahnpasten für den vorliegenden Versuch wurde darauf geachtet, dass sowohl konventionelle natriumfluoridhaltige Produkte als auch Produkte mit der Indikation Erosionen eingeschlossen wurden. Durch einen Vergleich mit konventionellen Natriumfluoridpasten sollte der zusätzliche antierosive und antierosiv-/abrasive Nutzen der anderen Wirkstoffe oder Formulierungen untersucht werden.

Die in den Pasten enthaltenen Fluoridverbindungen waren größtenteils NaF, bis auf zwei Produkte mit SnF₂ und die Positivkontrolle mit SnCl₂/NaF/AmF. Die konventionellen Natriumfluoridpasten enthielten Fluoridmengen zwischen 1400-1490 ppm. Natriumfluorid ist die Standard-Fluoridverbindung in Zahnpasten, daher wurden zum Vergleich mehrere Zahnpasten aus verschiedenen Preisklassen mit unterschiedlicher Abrasivität und Zusammensetzung ausgewählt, um ein möglichst breites Spektrum abzudecken und Schwankungen, die bereits bei verschiedenen Pasten mit identischem Wirkstoff auftreten können, mit einzubeziehen.

Zinnhaltige Produkte gelten als Goldstandard in der Erosionstherapie (Carvalho *et al.*, 2015). Daher wurden inklusive Positivkontrolle drei zinnhaltige Produkte untersucht. Als Positivkontrolle wurde eine bereits in früheren Studien untersuchte zinnhaltige

5. Diskussion

Mundspüllösung mit guter antierosiver Wirksamkeit genutzt (Ganss *et al.*, 2010c; Schlueter *et al.*, 2010c).

Wirkstoffe mit antierosiver Indikation in den Zahnpasten mit der Indikation „antierosive Wirkung“ sind Kaliumnitrat, Nano-Hydroxylapatit, CPP-ACP oder Chitosan. Einige der Spezialpasten enthalten zusätzlich ebenfalls Fluorid. Die Wirkstoffe sollen entweder die Fluoridverfügbarkeit erhöhen oder selbst eine hohe Wirksamkeit gegenüber Säureangriffen aufweisen. Die antierosive/-abrasive Effektivität dieser Spezialpasten wurde im Schmelz bereits mehrfach untersucht (Ganss *et al.*, 2011; Faller *et al.*, 2011; Ganss *et al.*, 2012; Kato *et al.*, 2010), zu ihrer Wirksamkeit im Dentin existieren jedoch kaum Studien (Aykut-Yetkiner *et al.*, 2014). Daher wurden zwei fluoridhaltige Spezialpasten mit KNO_3/NaF und Nano-Hydroxylapatit/ NaF und drei fluoridfreie Spezialpasten mit Zink-Karbonat-Hydroxylapatit, CPP-ACP sowie Chitosan ausgewählt und ihre Effektivität im Vergleich zu den konventionellen NaF -Pasten untersucht. Die CPP-ACP-haltige Paste wurde nur im Slurryexperiment untersucht, jedoch nicht im Bürstexperiment, da sie laut Packungsbeilage nur zum Einreiben, nicht aber zum Bürsten verwendet werden soll.

Abgesehen von der Wahl verschiedener Zahnpastwirkstoffe, wurde bei der Auswahl der Zahnpasten auch auf unterschiedliche RDA-Werte geachtet (RDA 30-150), da ein höherer RDA-Wert im erodierten Dentin zu höheren Substanzverlusten führen kann (Wiegand *et al.*, 2009b; Hooper *et al.*, 2003).

Die Auswahl der RDA-Werte erfolgte über Angaben im Dental Vademekum (Bundeszahnärztekammer and Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, 2009), einem Nachschlagewerk für Informationen zu Dentalprodukten in Deutschland. Darin waren jedoch nicht die RDA-Werte aller Produkte verfügbar. Für eine parallel durchgeführte Studie im Schmelz, in der identische Pasten untersucht wurden (Ganss *et al.*, 2011), wurde eine Analyse der RDA-Werte von allen genutzten Zahnpasten in Auftrag gegeben (Missouri Analytical Laboratories Inc., St. Louis, Mo., USA). Bei dieser Analyse zeigten sich teilweise erhebliche Abweichungen von den Angaben im Dental Vademekum und nur geringe Unterschiede zwischen den RDA-Werten der einzelnen Pasten (RDA 60-119).

5.1.4. Messmethode

Zur Messung des Substanzverlustes nach der Versuchsdurchführung wurde die mechanische Profilometrie gewählt. Die Profilometrie gilt als zuverlässige und reproduzierbare Methode zur Messung von Substanzverlusten (Attin *et al.*, 1997) und ist die am Meisten genutzte

5. Diskussion

quantitative Methode zur Messung erosiver, abrasiver und erosiv-abrasiver Substanzverluste, sowohl im Schmelz als auch im Dentin (Schlueter *et al.*, 2011). Der Zahnhartsubstanzverlust zwischen einer Versuchsfläche und einer unbehandelten Referenzfläche kann bei dieser Methode direkt gemessen werden

Ziel der Untersuchung war es den mineralischen Zahnhartsubstanzverlust der Proben zu bestimmen. Daher wurde nach Ablauf der 10 Tage Versuchsdurchführung die durch die Demineralisation freigelegte organische Matrix mit einer Kollagenaselösung entfernt (Ganss *et al.*, 2010a;Ganss *et al.*, 2010b;Ganss *et al.*, 2009a). Die organische Matrix kann die Ergebnisse der mechanischen Profilometrie beeinflussen, da der mechanische Taster zu einem gewissen Grad in die Matrix einsinken kann (Ganss *et al.*, 2009b), dabei jedoch nicht die Demineralisationsfront erreicht (Abb. 2.1., Seite 5), was zu Fehlmessungen führen kann. Die genutzte Kollagenase vom Typ *Clostridium histolyticum* entfernt die vollständig demineralisierte Matrix (Klont and ten Cate, 1991b;Ganss *et al.*, 2007a;Ganss *et al.*, 2009b), während das teilweise demineralisierte Dentin zurückbleibt (Ahmed *et al.*, 2008). Dies ist ein Vorteil im Gegensatz zu anderen proteolytischen Substanzen. Natriumhypochlorid zum Beispiel entfernt auch das teilweise demineralisierte Dentin (Ahmed *et al.*, 2008) und nicht spezifische proteolytische Enzyme wie Pepsin oder Trypsin entfernen die organischen Strukturen nicht vollständig (Schlueter *et al.*, 2007a;Schlueter *et al.*, 2010a), was dadurch entweder zu einer Über- oder Unterschätzung des Substanzverlustes führen kann.

Bei der Durchführung der mechanischen Profilometrie bei demineralisierten Dentinproben ist zusätzlich darauf zu achten, dass es aufgrund des hohen Wasseranteils im Dentin zu Schrumpfungartefakten kommen kann, wenn die Proben austrocknen (Schlueter *et al.*, 2011). Daher wurden die Proben vor und während der Messungen durchgängig feucht gehalten.

5.1.5. Versuchsaufbau

Bei Experiment 1 und 2 wurde zum Vergleich beider Experiment eine nur erodierte Negativerosionskontrollgruppe (NKE) mitgeführt.

Beide Negativerosionskontrollgruppen erfuhren die gleiche Behandlung, jedoch weichen die Ergebnisse beider Kontrollgruppen signifikant voneinander ab. Im Slurryexperiment führte die alleinige Erosion zu einem Substanzverlust von 46 μm , im Bürstexperiment hingegen kam es nur zu einem Substanzverlust von 25 μm . Die Dimensionsunterschiede zwischen Experiment 1 und 2 sind offensichtlich durch die unterschiedliche Lagerung der Proben entstanden, da alle anderen Parameter identisch waren. Die unterschiedliche Lagerung ergab sich aufgrund der Probenträger. In Experiment 1 waren die Proben auf Glasträgern befestigt, welche

5. Diskussion

während des Versuchs in Halterungen standen, wodurch es zu einer vertikalen Lagerung der Proben kam. In Experiment 2 waren die Proben auf Trägern fixiert, welche zur Bürstmaschine gehörten, was dazu führte, dass die Proben während des Versuchs horizontal gelagert wurden. Durch die unterschiedliche Lagerung kann es aufgrund der Schwerkraft zur Veränderung der Lösung von Mineral von der Oberfläche und damit zu unterschiedlichen Substanzverlusten kommen. Bei horizontaler Lagerung wird wahrscheinlich gelöstes Mineral auf der Probenoberfläche repräzipitiert. Bei vertikaler Lagerung hingegen kann das gelöste Mineral nach unten sinken und weggespült werden (Shellis *et al.*, 2005). Dies erklärt eventuell den höheren Substanzverlust der vertikal gelagerten Proben beim Slurryexperiment.

Die unterschiedlichen Werte der Negativkontrollen machen somit einen direkten Vergleich der Ergebnisse von Experiment 1 und 2 nicht möglich.

Daher erfolgt der Vergleich zwischen den Experimenten deskriptiv anhand prozentualer Reduktionen des Substanzverlustes durch die jeweiligen Präparate.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Diskussion der Ergebnisse nach Immersion in Zahnpastensuspensionen – Wirkstoffeffekte

Im Slurryexperiment führte die Negativerosionskontrollgruppe (NKES) zum höchsten Substanzverlust mit $46,2 \pm 4,7 \mu\text{m}$. Eine Studie mit ähnlichem Versuchsaufbau (0,05 molare Zitronensäure, pH 2,3, 6 x 2 Minuten/Tag über 10 Tage) wies Substanzverluste um $52,0 \pm 9,1 \mu\text{m}$ auf (Ganss *et al.*, 2010b). Die Abweichung der Messwerte kann auf natürliche Schwankungen zurückgeführt werden. Weitere Studien mit ebenfalls ähnlichem Versuchsaufbau, jedoch einer mehr als doppelt so langen Demineralisationszeit, führten zu einem Substanzverlust von $92,6 \pm 8,8 \mu\text{m}$ (Schlueter *et al.*, 2010c) und $83,2 \pm 19,1 \mu\text{m}$ (Ganss *et al.*, 2010a). Der erhöhte Substanzverlust ist hier auf die verlängerte Erosionszeit zurückzuführen, wodurch ein direkter Vergleich mit dieser Untersuchung nur bedingt möglich ist. Es zeigt sich bei diesem Vergleich jedoch der typischerweise auftretende nicht lineare Verlauf von Dentinerosionen aufgrund der Präsenz der organischen Matrix.

Bei einer weiteren Studie mit vergleichbarem Versuchsaufbau (Ganss *et al.*, 2014a) wurde die Negativkontrollgruppe nicht nur erodiert, sondern zusätzlich zweimal täglich nach der Erosion zwei Minuten einer Placebolösung ausgesetzt. Dies führte eventuell im Gegensatz zur alleinigen Erosion zu einer Verminderung des Substanzverlustes ($11,6 \pm 3,1 \mu\text{m}$).

5. Diskussion

Die konventionellen NaF-haltigen Pasten führten im Slurryexperiment zu einer Reduktion des Substanzverlustes zwischen 31% und 49% im Vergleich zur alleinigen Erosion. Zwei andere in-vitro Studien im Dentin führten hingegen zu keiner signifikanten Reduktion des Substanzverlustes durch NaF-haltige Zahnpastenslurries (Ponduri *et al.*, 2005; Ganss *et al.*, 2014a). Eine der Studien (Ponduri *et al.*, 2005) ohne signifikante Reduktion des Substanzverlustes durch NaF, ist aufgrund stark unterschiedlicher Versuchsparameter nicht mit diesen Versuch vergleichbar. Eine deutlich höhere Erosionszeit und eine sehr kurze Einwirkzeit des Natriumfluorids könnten hier zu einer Aufhebung der Wirkungseffekte des Natriumfluorids geführt haben.

Eine in-situ Studie mit Zahnpastenslurries im Dentin (Magalhaes *et al.*, 2008) fand ähnlich wie im vorliegenden Versuch eine signifikante Reduktion des Substanzverlustes um 32% und 28% durch zwei NaF-Pasten mit unterschiedlicher Fluoridkonzentration (1100 und 5000 ppm Fluorid) im Vergleich zu einer fluoridfreien Zahnpaste. Die unterschiedlichen Fluoridkonzentrationen der beiden Zahnpasten führten jedoch zu keinen signifikant unterschiedlichen Ergebnissen und die absoluten Substanzverluste waren insgesamt sehr niedrig. Dies könnte daran liegen, dass in den genannten Studien nach jeder Erosion auch eine Immersion in der Slurry stattfand, wohingegen im vorliegenden Versuch sechsmal täglich erodiert wurde und nur zweimal täglich eine Immersion in den Slurries durchgeführt wurde. Zudem wurde die organische Matrix vor der Messung nicht von der Probenoberfläche entfernt, was zu Artefakten geführt haben könnte.

In-vitro Studien mit NaF-haltigen Lösungen im Dentin (Ganss *et al.*, 2010b; Schlueter *et al.*, 2010c) fanden eine Reduktion des erosiven Substanzverlustes durch Natriumfluorid um 40-60% gegenüber der alleinigen Erosion. Die Werte sind vergleichbar mit den hier erzielten Ergebnissen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Fluoridlösungen im Vergleich zu Zahnpastenslurries eine viel weniger komplexe Zusammensetzung haben. Die Bioverfügbarkeit der Wirkstoffe bei Lösungen ist oftmals besser, da die zusätzlichen Inhaltsstoffe in den Zahnpasten, wie beispielsweise Bindemittel oder Abrasivstoffe, die Fluoridverfügbarkeit reduzieren können (Lippert, 2013).

Der Wirkmechanismus von NaF-haltigen Zahnpasten kann auf die Bildung von CaF_2 -ähnlichen Deckschichten auf der Dentinoberfläche zurückgeführt werden (Ganss *et al.*, 2007b). Konventionelle Natriumfluoridpasten bieten jedoch nur einen eingeschränkten Schutz gegenüber Erosionseinwirkungen (Saxegaard *et al.*, 1988), da die CaF_2 -ähnliche Deckschicht leicht säurelöslich ist (Lagerlöf *et al.*, 1988) und somit keinen dauerhaften Schutz bei regelmäßigen Säureeinflüssen bietet (Lussi *et al.*, 2008; Poggio *et al.*, 2010; Lussi *et al.*, 2006). Das erklärt die eingeschränkte Wirksamkeit der NaF-haltigen Präparate im vorliegenden Versuch.

5. Diskussion

Die fluoridhaltigen Pasten mit der speziellen antierosiven Indikation (Pro Schmelz, Apa Care) führten im Slurryversuch zu einer mit den NaF-Pasten vergleichbaren Effektivität.

Die kaliumnitrathaltige Paste Pro Schmelz reduzierte den Substanzverlust um 43%. Die Wirksamkeit dieser Paste im Dentin ist bisher wenig untersucht. Laut Hersteller soll die Zahnpaste eine durch Kaliumnitrat optimierte Fluoridformulierung enthalten und dadurch einen antierosiven Schutz bieten. Eine Studie untersuchte die Wirksamkeit einer kaliumnitrathaltigen NaF-Paste auf Dentin (Wang *et al.*, 2013), stellte jedoch keinen zusätzlichen positiven Einfluss durch das Kaliumnitrat fest. Allerdings wurde nicht die antierosive Wirkung, sondern die Fluoridfreisetzung und der Verschluss der Dentintubuli ausgewertet. Weiterhin wurden die Proben nur zweimal täglich erodiert, dafür jedoch 10 Minuten am Stück. Die Paste zeigte zwar bessere Effekte als die Negativkontrolle Wasser, jedoch schnitten andere mitgetestete Zahnpasten mit Natriumfluorid und PVM/MA Copolymeren besser ab.

In einem in-vitro Versuch führte eine KNO_3 -haltige Zahnpaste trotz einer höheren Fluoridkonzentration (1450 ppm) zu einer geringeren Fluoridfreisetzung als eine NaF-Zahnpaste mit einer geringeren Fluoridkonzentration (1100 ppm) (Wang *et al.*, 2013). Der Wirkmechanismus von Kaliumnitrat in Kombination mit Fluorid ist bisher nicht geklärt und es existieren verschiedene Vermutungen, inwieweit und ob das Kaliumnitrat Einfluss auf die Fluoridfreisetzung in Zahnpasten hat (Kato *et al.*, 2010; Hara *et al.*, 2009b). Es gibt Vermutungen, dass eine Interaktion zwischen NaF und KNO_3 zu einer reduzierten Fluoridfreisetzung führen könnte (Kato *et al.*, 2010). Eine andere Studie (Hara *et al.*, 2009b) untersuchte zwei Zahnpasten mit ähnlicher Zusammensetzung auf ihre Fluoridfreisetzung, wobei eine der beiden Pasten KNO_3 enthielt. Es konnte kein Unterschied zwischen den beiden Pastengefunden werden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass das KNO_3 in fluoridhaltigen Zahnpasten nicht zu einer erhöhten Fluoridfreisetzung führt. Vielmehr zeigen die eigenen Ergebnisse, dass die Fluoridverfügbarkeit der KNO_3 -haltigen Paste mit 295 ppm Fluorid in der Slurry geringer war als bei den meisten anderen Pasten (F^- in der Slurry zwischen 317 und 331 ppm). Diese Ergebnisse würden zu den oben bereits aufgeführten Vermutungen passen, dass Kaliumnitrat zumindest teilweise zu einer Reduktion des freien Fluorids führt (Kato *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013).

Die fluoridhaltige Nano-Hydroxylapatit-Paste Apa Care reduzierte den Substanzverlust um 46%. Andere Studien zur alleinigen antierosiven Wirksamkeit fluoridhaltiger Nano-Hydroxylapatit-Pasten im Dentin ohne Bürsten existieren bisher nicht.

Im Dentin führen Nano-Hydroxylapatitpartikel, abhängig von ihrer Partikelgröße, scheinbar entweder zur Ablagerung auf der Oberfläche oder sogar zur Infiltration in die organische Matrix und zur Einlagerung in intra- und intertubuläre Räume (Besinis *et al.*, 2012).

5. Diskussion

Im vorliegenden Versuch wies die fluoridhaltige Nano-Hydroxylapatit-Paste nur eine sehr geringe freie Fluoridverfügbarkeit auf (50 ppm freies Fluorid in der Slurry). Trotzdem führte sie zu einer mit den konventionellen NaF-Pasten vergleichbare Effektivität. Sowohl die Ablagerung einer dünnen kalziumfluoridähnlichen Schicht auf der Dentinoberfläche, als auch eine Einlagerung von Nano-Hydroxylapatitpartikeln könnten ein Grund dafür sein.

Die Studie mit gleichem Aufbau im Schmelz (Ganss *et al.*, 2011) fand eine sehr gute antierosive Effektivität der fluoridhaltigen Nano-Hydroxylapatit-Zahnpaste bei alleiniger Erosion, trotz eines geringen freien Fluoridgehalts. Dieser wurde auf eine sehr stabile chemische Verbindung zwischen dem Nano-Hydroxylapatit und dem in der Paste enthaltenen Fluorid zurückgeführt. Auf der Schmelzoberfläche kam es scheinbar trotzdem zur Ablagerung von kalziumfluoridähnlichen Präzipitaten (Huang *et al.*, 2009;Ganss *et al.*, 2011), welche jedoch nicht sehr säureresistent waren (Ganss *et al.*, 2011).

Die fluoridfreien Produkte Bio Repair, Chitodent und Tooth Mousse führten nicht zu einer signifikanten Reduktion gegenüber der Negativkontrolle.

Die fluoridfreie hydroxylapatithaltige Paste Bio Repair mit Zink-Karbonat-Hydroxylapatit reduzierte den Substanzverlust lediglich um nicht signifikante 14% gegenüber der Negativkontrolle.

Andere Studien zur rein antierosiven Wirksamkeit von fluoridfreien hydroxylapatithaltigen Pasten im Dentin scheinen nicht zu existieren. Fluoridfreie Zink-Karbonat-Hydroxylapatit-Pasten können zur Ablagerung einer Zink-Karbonat-Hydroxylapatitschicht (Poggio *et al.*, 2010) auf der Zahnoberfläche führen. Jedoch ist diese Oberflächenschicht aufgrund der geringen Säureresistenz des Zink-Karbonat-Hydroxylapatit relativ leicht säurelöslich und kann somit keinen antierosiven Schutz bieten. Auch im vorliegenden Versuch kam es eventuell zur Bildung einer Zink-Karbonat-Hydroxylapatitschicht auf der Dentinoberfläche, welche durch erneute erosive Einflüsse relativ schnell wieder gelöst wurde und dadurch nicht zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes gegenüber der Negativkontrolle führte. Und aufgrund einer zu hohen Partikelgröße der Zink-Karbonat-Hydroxylapatitpartikel fand eventuell keine Einlagerung in die freigelegte organische Matrix statt.

Auch die fluoridfreie Spezialpaste Chitodent führte im Slurryversuch zu keiner signifikanten Reduktion (11%) des Substanzverlustes gegenüber der Negativkontrolle.

Die Paste Chitodent enthält als Wirkstoff Chitosan. Da Chitosan ein kationisches Polyelektrolyt ist, welches stark positiv geladen ist bei niedrigen pH-Werten, kann es sich an Strukturen mit negativem Zeta-Potential, wie Schmelz, anlagern (Young *et al.*, 1997;Xu *et al.*, 2012). Dabei kommt es vermutlich zur Ausbildung mehrerer Schichten auf der Schmelzoberfläche, welche bei niedrigem pH-Wert sehr stabil sind (Guo and Gemeinhart,

5. Diskussion

2008) und das darunter liegende Gewebe vor erosiver Demineralisation schützen (Lee *et al.*, 2012). Das schlechte Abschneiden von Chitosan im vorliegenden Versuch kann wahrscheinlich auf die exponierte organische Matrix auf der Dentinoberfläche zurückgeführt werden. Diese besteht hauptsächlich aus Kollagen. Kollagen weist nur eine schwache Polarisierung und eine geringe negative Ladung auf (Xu *et al.*, 2012), weshalb es wahrscheinlich nicht zur Ablagerung von Oberflächenschichten kam.

Im Gegensatz dazu konnte in der mit Experiment 1 vergleichbaren Schmelzstudie (Ganss *et al.*, 2011) Chitodent den Substanzverlust um circa 30% reduzieren und wies eine mit den konventionellen NaF-Pasten vergleichbare Wirksamkeit auf. Da Schmelz ein negatives Zeta-Potential hat, ist eine Bindung von Chitosan an die Schmelzoberfläche leicht möglich, was die unterschiedlichen Effekte in Schmelz und Dentin erklärt.

Das dritte fluoridfreie spezielle Produkt Tooth Mousse mit dem Wirkstoff CPP-ACP führte zwar zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes um 25%, jedoch schnitt sie nicht besser ab als die konventionellen NaF-Pasten.

Der Zusatz von CPP-ACP zu sauren Erfrischungsgetränken (Manton *et al.*, 2010; Ramalingam *et al.*, 2005) kann deren erosives Potential stark reduzieren. Die Wirksamkeit von CPP-ACP zur Therapie von Erosionen ist jedoch umstritten. Eine in-vitro Studie (Poggio *et al.*, 2013) fand einen antierosiven Effekt von CPP-ACP auf Dentin, eine in-situ Studie (Wiegand and Attin, 2014) wiederum konnte keinen antierosiven Schutz durch die Applikation von CPP-ACP feststellen.

Der genaue Wirkmechanismus von CPP-ACP ist noch unbekannt. Das Kaseinphosphopeptid führt zur Stabilisation von amorphem Kalziumphosphat durch die Bildung von Mizellen (Barbour *et al.*, 2008). Diese Mizellen stellen freie Kalzium- und Phosphationen zur Verfügung (Reynolds *et al.*, 2003) und die Demineralisation von Schmelz wird dadurch unterdrückt (Rahiotis and Vougiouklakis, 2007; Reynolds *et al.*, 2003). Die Oberflächenbehandlung von Schmelz mit CPP-ACP führt somit wahrscheinlich zur Kalziumanreicherung auf der Zahnoberfläche und/oder der Ablagerung mizellenreicher Präzipitate (Poggio *et al.*, 2009; Poggio *et al.*, 2013; Wiegand and Attin, 2014). Da jedoch nur eine nicht-homogene Präzipitatschicht entsteht (Poggio *et al.*, 2013; Lennon *et al.*, 2006), werden diese wahrscheinlich durch erosive Einflüsse wieder aufgelöst.

Zur Wirkung von CPP-ACP auf erodiertes Dentin existiert nur wenig Literatur. Es wird vermutet, dass sich auf der organischen Dentinmatrix ebenfalls eine nicht-homogene mizellenreiche Präzipitatschicht ablagert (Wiegand and Attin, 2014), welche jedoch durch erneute erosive Einflüsse leicht aufgelöst werden kann. Der geringe antierosive Effekt im vorliegenden Versuch kann somit wahrscheinlich auf die Bildung einer inhomogenen Oberflächendeckschicht zurückgeführt werden (Wiegand and Attin, 2014), welche leicht

5. Diskussion

säurelöslich war und keinen vollständigen Schutz vor einer erneuten Demineralisation bieten konnte.

Im Slurryexperiment führten die zinnhaltigen Produkte zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die zinnhaltige Zahnpaste Pro Expert war so effektiv wie die konventionellen NaF-Pasten mit einer Reduktion um 29%. Die beiden anderen zinnhaltigen Produkte GEL-KAM und die Positivkontrolle Elmex Erosionsschutz Zahnpülung hingegen schnitten am besten von allen getesteten Produkten ab, mit einer Reduktion von jeweils ca. 60%. Die Ergebnisse der Positivkontrolle und des Gels sind vergleichbar mit anderen Studien. Eine in-vitro Studie im Dentin (Ganss *et al.*, 2010b) mit ähnlichem Versuchsaufbau untersuchte eine Lösung mit SnCl_2 (815 ppm Sn^{2+}) und eine mit SnF_2 (250 ppm F/800 ppm Sn^{2+}) und fand eine Reduktion des Substanzverlustes um 52 und 89% im Vergleich zur alleinigen Erosion. Eine weitere in-vitro Studie im Dentin (Ganss *et al.*, 2010a), welche Lösungen mit 400 ppm bis 2100 ppm Zinn untersuchte, erzielte eine Reduktion zwischen 49% und 56% gegenüber einer nur erodierten Kontrollgruppe. Die Lösungen enthielten jedoch mehr Fluorid (1500 ppm) im Vergleich zu den effektiven Konzentrationen die in der vorliegenden Studie verwendet wurden (ca. 280-500 ppm), gleichzeitig war allerdings auch die Erosionszeit länger (5 Min.).

Zwei in-situ Studien untersuchten ebenfalls die Wirksamkeit zinnhaltiger Lösungen auf Dentin. Die eine Studie (Ganss *et al.*, 2010c) untersuchte eine AmF/NaF/ SnCl_2 -Spüllösung (500 ppm F/800 ppm Sn^{2+}) auf ihre antierosive Effektivität und stellte eine Reduktion des Substanzverlustes um 47% gegenüber einer Placebospüllösung fest. Die andere Studie (Schlueter *et al.*, 2010b) untersuchte eine kommerzielle SnF_2 -Lösung (250 ppm F/409 ppm Sn^{2+}) und eine AmF/NaF/ SnCl_2 -Lösung (1000 ppm F/1900 ppm Sn^{2+}) und fand eine Reduktion von 33 und 47% im Vergleich zu einer Placebolösung.

Im Schmelz kommt es unter zyklischen De- und Remineralisationsvorgängen in der Anwesenheit von zinnfluoridhaltigen Lösungen zu Rekristallisationsprozessen in der äußeren Schmelzschicht. Dabei entstehen komplexe Präzipitate durch die Interaktion beider Ionen mit Hydroxylapatit (Babcock *et al.*, 1978), wobei die Zinnionen die Kalziumionen in den Hydroxylapatitkristallen ersetzen können (Ganss *et al.*, 2015). Es entsteht eine strukturell veränderte, zinnreiche und säureresistentere Oberflächenschicht (Schlueter *et al.*, 2009a). Der Wirkmechanismus im Dentin ist noch nicht vollständig geklärt. Durch die organische Matrix ist der Reaktionsmechanismus diffusionsabhängig, da alle Wirkstoffe zuerst durch die organische Matrix diffundieren müssen. Bei Erhalt der organischen Matrix kommt es scheinbar nicht zur Bildung einer Oberflächenpräzipitatschicht, sondern zu einer Ablagerung geringer Zinnmengen auf der Oberfläche sowie einer gleichmäßigen Einlagerung von Zinn in die gesamte organische Matrix und in die darunter liegende vollständig mineralisierte Schicht (Ganss *et al.*, 2010a). Der hauptsächliche Effekt bei Erhalt der organischen Matrix ist somit

5. Diskussion

die Einlagerung von Zinn in die darunter liegende mineralisierte Schicht (Ganss *et al.*, 2010a), welche dadurch wahrscheinlich weniger säurelöslich wird. Weiterhin ist die Aufnahme von Zinn in die mineralisierte Schicht scheinbar nicht Dosisabhängig, sondern es kommt unabhängig von der Zinnkonzentration der genutzten Produkte immer zu einer ähnlich hohen Zinnaufnahme (Ganss *et al.*, 2010a). Dies könnte ein Grund dafür sein, dass GEL-KAM (3030 ppm Sn^{2+}) und Elmex Erosionsschutz Zahnpülung (800 ppm Sn^{2+}) trotz ihrer unterschiedlichen Zinnkonzentrationen gleich gut abschnitten. Pro Expert schnitt obwohl es ebenfalls einen sehr hohen Zinngehalt hat (3436 ppm Sn^{2+}), schlechter ab. Pro Expert enthält im Gegensatz zu den beiden anderen Produkten jedoch zusätzlich Abrasiva, im wesentlichen Silica. Silica können aufgrund ihrer negativen Ladung das Zinnion an sich binden und dadurch zu einer geringeren Verfügbarkeit von Zinn führen (Ganss *et al.*, 2012). Weiterhin enthält Pro Expert Hexametaphosphat, welches für eine Stabilisation der Zinnionen in der Zahnpaste notwendig ist (Schlueter *et al.*, 2016). Es ist jedoch denkbar, dass das Hexametaphosphat Komplexe mit den Zinnionen bildet, sodass dadurch die Anzahl der freien Zinnionen in der Slurry reduziert werden könnte, eventuell mit einer Auswirkung auf die antierosive Wirksamkeit. Ebenfalls wird eine direkte Interaktion zwischen Hexametaphosphat und Kalziumionen diskutiert. Es könnte sein, dass Hexametaphosphat Kalziumionen komplexiert und damit eine stärkere Progression von Erosionen bewirkt.

5.2.2. Diskussion der Ergebnisse nach Immersion in Zahnpastensuspensionen und zusätzlicher Bürstabrasion

Im Bürstexperiment wies die Negativgruppe NKB, Erosion und Abrasion kombiniert, einen Substanzverlust von $28,2 \pm 2,94 \mu\text{m}$ auf.

Eine Studie mit identischem Versuchsaufbau (Ganss *et al.*, 2014a) wie im vorliegenden Versuch untersuchte eine NaF-Paste, eine AmF/NaF/SnCl₂/Chitosan-haltige Paste und ein SnF₂-haltiges Gel auf ihre antierosive und antiabrasive Wirksamkeit. Als Negativkontrolle diente eine fluoridfreie Placebo-Paste. Die Negativkontrolle wies einen Substanzverlust von $11,9 \pm 2,1 \mu\text{m}$ auf. Der deutlich geringere Substanzverlust im Vergleich zum vorliegenden Versuch lässt sich nur schwer erklären. Zwar wies die Placebo-Paste im Vergleich zur fluoridfreien Aronal eine unterschiedliche Zusammensetzung auf, beide enthielten jedoch keine aktiven Inhaltsstoffe und auch der pH-Wert war nur minimal unterschiedlich, der Placebo pH-Wert betrug 6,4, der Aronal pH-Wert 7,5. Eventuell führten die unterschiedlichen Abrasiva in beiden Pasten zum unterschiedlichen Substanzverlust. Die Placebo-Paste enthielt Hydrated Silica und die fluoridfreie Aronal enthielt Dicalcium-Phosphate-Dihydrate, Dicalcium-Phosphate und Silica. Auch der RDA-Wert könnte einen Einfluss auf den erhöhten

5. Diskussion

Substanzverlust im vorliegenden Versuch gehabt haben, da höhere RDA-Werte zu einem erhöhten Substanzverlust führen können (Wiegand *et al.*, 2009b; Hooper *et al.*, 2003). Für die Placebo-Paste wurde jedoch kein RDA-Wert angegeben, weshalb im vorliegenden Versuch keine Aussagen zum Einfluss des RDA-Wertes auf den Substanzverlust durch die verschiedenen Pasten im Vergleich zur Abrasion mit der fluoridfreien Placebopaste gemacht werden können.

Ein direkter Vergleich mit weiteren Werten aus der Literatur ist nicht möglich, da entweder ein anderer Versuchsaufbau vorliegt, eine andere Lagerung der Proben (vertikal statt horizontal) oder andere Säuren zur Demineralisation genutzt wurden. Eine Erosions-Abrasions Studie (Ganss *et al.*, 2007a) mit ähnlichem Versuchsaufbau, bei der jedoch Salzsäure anstatt Zitronensäure für die Demineralisation genutzt wurde, wies einen Substanzverlust von 63 µm auf. Jedoch ist Salzsäure deutlich erosiver als Zitronensäure und kann zu einem 20-30% höheren Substanzverlust im Vergleich zur Zitronensäure führen (White *et al.*, 2001).

Die Negativkontrolle NKEB, alleinige Erosion, zeigte gegenüber der zusätzlichen Abrasion keinen signifikanten Unterschied (Differenz 3 µm (11%)). Dies zeigt sich auch bereits in anderen Studien, wo eine zusätzlich Abrasion zu keiner signifikanten Erhöhung des Substanzverlustes im Dentin führte (Ganss *et al.*, 2007a; Ganss *et al.*, 2009a; Ponduri *et al.*, 2005; Hara *et al.*, 2003; Ganss *et al.*, 2014a). Das steht in klarem Kontrast zum Schmelz, wo eine zusätzliche Bürstabrasion, den Substanzverlust deutlich erhöht (Ganss *et al.*, 2012). Erosive Einflüsse auf Schmelz führen zu einer partiellen Demineralisation der Schmelzoberfläche und einer Reduktion der Mikrohardte um 10-31% (Attin *et al.*, 1997; Lussi *et al.*, 2008), abhängig von der Art des Erosionsmediums und der Erosionszeit. Es kommt es zu einem voranschreitenden Mineralverlust und einer Reduktion der Oberflächenhärte, wodurch die erweichte Prismenstruktur durch mechanische Kräfte leichter entfernt werden kann (Lussi *et al.*, 2011).

Im Dentin hingegen wird durch die Demineralisation die organische Matrix freigelegt, welche eine hohe Resistenz gegenüber mechanischen Einflüssen aufweist. Selbst bei einem Bürstdruck von bis zu 4 N bleibt die demineralisierte organische Matrix auf den Dentinproben erhalten und es kommt zu keinem erhöhten Mineralverlust im Vergleich zur alleinigen Erosion (Ganss *et al.*, 2009a). Da die organische Matrix durch das Bürsten zwar komprimiert, jedoch nicht entfernt werden kann, schützt sie die darunter liegende mineralisierte Dentinschicht (Ganss *et al.*, 2009a; Ganss *et al.*, 2007a).

Die konventionellen NaF-Pasten führten, bis auf eine Ausnahme (Multicare 11%), zu einer Reduktion des Substanzverlustes zwischen 30% und 55% im Vergleich zur alleinigen Erosion

5. Diskussion

und einer Reduktion um 41-66% (Multicare 22%) im Vergleich zur Negativbürstkontrolle (Erosion und Abrasion).

Eine in-situ/ex-vivo Studie (Magalhaes *et al.*, 2008) im Dentin führte zu einer Reduktion des Substanzverlustes um 25% durch eine NaF-Paste mit 1100 ppm Fluorid. Die etwas geringere Wirksamkeit der NaF-Paste im Vergleich zu Experiment 2 kann eventuell auf die geringere Einwirkzeit der Slurries von nur 30 Sekunden im Vergleich zu zwei Minuten im vorliegenden Versuch zurückgeführt werden, wodurch es eventuell nur zur Bildung dünnerer Oberflächenpräzipitate gekommen ist. Zudem könnte die höhere Putzfrequenz und Putzdauer in der genannten Studie zu einem schnelleren Verlust der schützenden Oberflächenpräzipitate geführt haben. Weiterhin wurde vermutet (Magalhaes *et al.*, 2008), dass es in-situ zur partiellen Degradierung der organischen Matrix durch Enzyme im Speichel gekommen sein könnte (Klont and ten Cate, 1991a). Da ohne diese kein diffusionskontrollierter Prozess vorliegt, sondern ein oberflächenkontrollierter Prozess und es direkt zur Reaktion zwischen Säure, beziehungsweise Wirkstoff und der mineralisierten Oberflächenschicht kommt, kann es zu einem erhöhten Substanzverlust kommen (Ganss *et al.*, 2010b).

Für das schlechte Abschneiden der Paste MultiCare im Vergleich zu den anderen NaF-Pasten gibt es derzeit keine plausible Erklärung. Im Gegensatz zu den anderen NaF-Pasten (RDA 75-109) weist MultiCare zwar einen leicht erhöhten RDA-Wert von 115 auf, was zu einer Überdeckung der Wirkungseffekte von Natriumfluorid führen kann (Hara *et al.*, 2009a), der geringe Unterschied kann jedoch höchstwahrscheinlich keine Begründung für den signifikant höheren Substanzabtrag sein. Der freie Fluoridgehalt ist mit den anderen NaF-Pasten vergleichbar und der pH-Wert ist sogar geringfügig niedriger, was eher zu einer Steigerung der Effektivität führen müsste.

Die speziellen Pasten mit Fluorid führten im Bürstversuch zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen.

Die kaliumnitrathaltige Paste Pro Schmelz führte zu einer Reduktion des Substanzverlustes um 55% und war somit nicht signifikant besser als die konventionellen NaF-Pasten. Eine andere antiabrasive/-erosive Studie im Dentin (Aykut-Yetkiner *et al.*, 2014) fand vergleichbare Ergebnisse, mit einer Reduktion des Substanzverlustes um 61% im Vergleich zur alleinigen Erosion. Die Wirksamkeit war jedoch auch nicht signifikant besser als bei einer mitgetesteten konventionellen Fluoridzahnpaste.

Wie bereits oben erwähnt ist die Wirksamkeit im Dentin wahrscheinlich rein vom freien Fluoridgehalt anhängig und es kommt genau wie bei den konventionellen NaF-Pasten zur Bildung einer CaF_2 -ähnlichen Deckschicht auf der Oberfläche (Wang *et al.*, 2013). Doch obwohl der freie Fluoridgehalt niedriger war als bei den konventionellen NaF-Pasten, führte

5. Diskussion

Pro Schmelz zu genauso guten Ergebnissen wie die NaF-Pasten. Verantwortlich dafür ist eventuell das enthaltene Kaliumnitrat. Dieses soll vorrangig zu einem Verschluss der Dentintubuli führen und dadurch Dentinhypersensibilitäten vorbeugen. Eventuell reagierte das Kaliumnitrat aber auch mit der organischen Matrix und hatte dadurch einen positiven Einfluss auf den Substanzverlust beim Bürsten. Bisher liegen keine Studien dazu vor, jedoch kann ein Einfluss nicht ausgeschlossen werden. Weitere Studien zu dieser Fragestellung sind für eine abschließende Klärung nötig.

Die fluoridhaltige Nano-Hydroxylapatitpaste Apa Care führte nur zu einer nicht signifikanten Reduktion des Substanzverlustes um 12% im Vergleich zur alleinigen Erosion. Es gibt Vermutungen, dass das in der Paste enthaltene Hydroxylapatit zu einer Reduktion des freien Fluorids führt (Ganss *et al.*, 2011). Dies wäre eine Erklärung für den im vorliegenden Versuch geringen freien Fluoridgehalt (50 ppm) von Apa Care mit der Folge der geringen Effektivität. Vermutlich bewirkt der niedrige Gehalt an verfügbarem Fluorid die Bildung einer sehr dünnen kalziumfluoridähnlichen Oberflächenschicht, welche durch erneute Erosion und Abrasion wahrscheinlich leicht entfernt werden konnte.

Interessanterweise zeigt eine andere Studie zur antierosiven/-abrasiven Wirksamkeit von Apa Care im Dentin (Aykut-Yetkiner *et al.*, 2014), jedoch eine Reduktion des Substanzverlustes um 62% gegenüber der alleinigen Erosion. Die unterschiedlichen Effekte von Apa Care bei beiden Versuchen lassen sich auf eine zwischenzeitlich durch den Hersteller durchgeführte Umformulierung des Produktes zurückführen. Die Fluoridverfügbarkeit bei der neuen Formulierung ist deutlich höher als bei der im vorliegenden Experiment genutzten Formulierung, was die Unterschiede zwischen beiden Studien erklären kann.

Die fluoridfreie Nano-Hydroxylapatitpaste Bio Repair wies einen zwar nicht signifikanten, jedoch um 12% höheren Substanzverlust als die alleinige Erosion (NKEB) auf. In einer vergleichbaren Studie zur antiabrasiven/antierosiven Wirksamkeit verschiedener Zahnpasten im Dentin (Aykut-Yetkiner *et al.*, 2014) wies Bio Repair zwar die geringste Effektivität unter den getesteten Produkten auf, führte jedoch immerhin zu Reduktion des Substanzverlustes um 23% gegenüber der alleinigen Erosion. Der Unterschied kann eventuell auf die geringere Erosionszeit von nur 30 Sekunden in der genannten Studie zurückgeführt werden. Es ist durchaus denkbar, dass nach der Applikation Deckschichten auf der Zahnhartsubstanzoberfläche entstehen, die einer kurzen Säureeinwirkung bis zu einem gewissen Grad standhalten können, nicht aber einer längeren Säureapplikation.

Die zweite fluoridfreie Spezialpaste Chitodent führte zum höchsten Substanzverlust beim Bürstexperiment. Sie wies einen um 22% höheren Substanzverlust auf als die alleinige

5. Diskussion

Erosion NKEB und führte zu einem mit der Negativbürstkontrolle NKB vergleichbaren, nicht signifikant höheren Substanzverlust (+ 11%).

Eine andere in-vitro Studie im Dentin (Aykut-Yetkiner *et al.*, 2014) fand hingegen eine signifikante Reduktion des Substanzverlustes durch Chitodent um 60% im Vergleich zur alleinigen Erosion, vergleichbar mit einer konventionellen Aminfluorid-Paste. Insgesamt wurde in dieser Studie ein weniger aggressives Studienmodell angewandt. Auch wenn die Abrasionszeit 2 x 15 Sekunden täglich betrug, wie auch in Experiment 2, war jedoch die Erosionszeit mit 6 x 30 Sekunden täglich deutlich geringer. Bei einem weniger erosiven Studiendesign zeigen oftmals auch weniger effektive Wirkstoffe einen Effekt, wohingegen starke Erosionseinwirkungen die Wirkungseffekte überlagern können.

Neben den für die Slurry-Experimente diskutierten Effekten sind unter abrasiven Bedingungen wahrscheinlich weitere Eigenschaften von Chitosan relevant. Chitosan soll lubrifizierende Effekte besitzen (Guo and Gemeinhart, 2008). Dadurch könnte Chitosan zu einer Reduktion der Abrasivität von Zahnpasten und somit zu einer Reduktion des erosiv-abrasiven Substanzverlustes beitragen (Schlueter *et al.*, 2013). Für Schmelz ist dieser Effekt zumindest für den Fall, dass Chitosan in Kombination mit Fluorid und Zinnionen verwendet wird, bereits gezeigt worden, nicht aber für Chitosan alleine (Ganss *et al.*, 2011). Ähnlich wie für Schmelz scheint das auch im Dentin für Chitosan ohne einen weiteren Wirkstoff nicht der Fall zu sein.

Im Bürstexperiment führten die zinnhaltigen Produkte wie bereits im Slurryversuch zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Die zinnhaltige Zahnpaste Pro Expert führte zu keiner signifikanten Reduktion des Substanzverlustes gegenüber der Negativkontrolle NKEB (alleinige Erosion). Die beiden anderen zinnhaltigen Produkte GEL-KAM und die Positivkontrolle Elmex Erosionsschutz Zahnpulver hingegen führten zu einer deutlichen Reduktion des Substanzverlustes um 56% und 53% gegenüber NKEB.

Eine andere Studie im Dentin (Comar *et al.*, 2012) untersuchte drei SnF₂-Zahnpasten auf ihre antierosive/-abrasive Wirksamkeit und ermittelte vergleichbare Werte. Alle drei Pasten führten zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes gegenüber der alleinigen Erosion um 53-76%.

In einer weiteren mit Experiment 2 vergleichbaren in-vitro Studie im Dentin (Ganss *et al.*, 2014a) führte ein SnF₂-Gel bei Erhalt der organischen Matrix zu keiner signifikanten Reduktion des erosiv/abrasiven Substanzverlustes gegenüber einer Placebogruppe und zu einem mit einer konventionellen NaF-Paste vergleichbaren Ergebnis. Für das schlechte Abschneiden des SnF₂-Gels, konnte keine Erklärung gefunden werden.

In einem in-situ Versuch im Dentin (West *et al.*, 2012) führte eine kommerzielle SnF₂-Zahnpaste zu einem fast doppelt so hohen Substanzverlust wie eine NaF-Zahnpaste. Das

5. Diskussion

schlechtere Abschneiden der SnF₂-Zahnpaste im Vergleich zur NaF-Paste wurde auf den deutlich höheren RDA-Wert dieser zurückgeführt (NaF: RDA 70/ SnF₂: RDA120).

Das gute Abschneiden von zinnhaltigen Gelen und Spüllösungen in Experiment 2 lässt sich, wie auch in Experiment 1, offensichtlich auf deren ähnlich einfache Zusammensetzung sowie auf die vergleichbaren Konzentrationen an Zinn und Fluorid (PKS: 800 ppm Sn/500 ppm F; GEL-KAM S: 750 ppm Sn/250 ppm F) zurückführen. Weiterhin enthalten Gele und Spüllösungen im Vergleich zu Zahnpasten keine Abrasiva. Diese können, wie bereits diskutiert, das Zinnion binden und dadurch zu einer verringerten Verfügbarkeit von freiem Zinn führen (Ganss *et al.*, 2012). Zudem können durch die mechanische Wirkung der Abrasiva eventuell eine Präzipitation von Zinnsalzen auf der Oberfläche verhindert oder auch bereits entstandene zinnhaltige Strukturen entfernt werden (Ganss *et al.*, 2013) und somit eine Einlagerung von Zinn in die organische Matrix oder eine Retention von Zinn in den mineralischen Strukturen unterhalb der organischen Matrix verhindert oder zumindest reduziert werden. Dies könnte zusätzlich das deutlich schlechtere Abschneiden von ProExpert erklären. Ein weiterer Erklärungspunkt könnte der höhere, fast neutrale pH-Wert von ProExpert (6,0) im Vergleich zu GEL-KAM (4,3) und der Positivkontrolle (4,5) sein. Bei niedrigeren pH-Werten sind Fluoridlösungen effektiver (Wiegand *et al.*, 2009a;Wiegand *et al.*, 2009c;Schlueter *et al.*, 2010c), da es durch das saure Milieu zu einer erhöhten Kalziumfreisetzung aus der Zahnhartsubstanz kommt und dadurch eine höhere Kalziumverfügbarkeit vorliegt, die die Bildung von Oberflächenpräzipitaten begünstigt.

5.3. Ausblick

Die Wirkung der getesteten Zahnpasten war insgesamt unbefriedigend und keines der Produkte mit der Indikation Erosionstherapie führte im Dentin zu einer deutlich besseren Wirksamkeit als die herkömmlichen NaF-haltigen Pasten.

5. Diskussion

Eine Alternative zur Therapie mit Zahnpasten und deren aktiven Inhaltsstoffen ist die Anwendung von Mundspüllösungen, jedoch mit einer vergleichbaren eingeschränkten Effektivität. Eine weitere Möglichkeit stellt die Beschichtung der Dentinoberfläche mit Dentinadhäsiven oder kompositbasierten Desensibilisierungsmitteln (Sundaram *et al.*, 2004;Schlueter *et al.*, 2014). Die Beschichtungen stellen eine physische Barriere gegen Säuren dar. Dadurch kann ein Fortschreiten eines erosiven Substanzverlusts für die Dauer der Haltbarkeit der Beschichtungen fast vollständig verhindert werden (Azzopardi *et al.*, 2001;Azzopardi *et al.*, 2004;Sundaram *et al.*, 2007b;Wegehaupt *et al.*, 2012a;Wegehaupt *et al.*, 2013;Schlueter *et al.*, 2014). In klinischen Studien zeigte sich jedoch, dass bereits nach 6-9 Monaten die Beschichtungen mit Desensibilisierungsmitteln oder Fissurenversiegeln nicht mehr in der Lage waren einen ausreichenden antierosiven/abrasiven Schutz zu bieten (Bartlett *et al.*, 2011;Sundaram *et al.*, 2007a). Neuere Studien zeigen, dass allerdings eine Modifikation der Zahnhartsubstanz vor der Applikation von speziellen kompositbasierten Adhäsivsystemen zu einer besseren Haltbarkeit der Beschichtungen führt. Bei der Modifikation handelt es sich um eine Vorbehandlung mit zinnhaltigen Präparaten, wie beispielsweise der in der vorliegenden Studie verwendeten zinn- und fluoridhaltigen Mundspüllösung. Es konnte gezeigt werden, dass durch diese Modifikation zumindest unter in-vitro Bedingungen eine Haltbarkeit von bis zu 1,5 bis 2 simulierten Jahren erzielt werden konnte (Ganss *et al.*, 2015). Somit könnte eine Kombination von Zinn in Kombination mit Fluoriden für Schmelzerosionen und die Applikation von Dentinadhäsiven, nach der Vorbehandlung mit zinnhaltigen Lösungen im Dentin durchaus eine verbesserte symptomatische Therapiemöglichkeit bei Erosionspatienten bieten, jedoch besteht in diesem Bereich noch erheblicher Forschungsbedarf.

6. Zusammenfassung

6. Zusammenfassung

Innerhalb der letzten Jahre sind zahlreiche neue Zahnpasten auf den Markt gekommen, welche laut Herstellerangaben antierosive Eigenschaften besitzen und einen Schutz gegenüber erosivem Zahnhartsubstanzverlust bieten.

Ziel der Untersuchung war es daher von verschiedenen konventionellen und speziellen Produkten mit der Indikation „Erosionen“ den antierosiven Effekt (Experiment 1) und zusätzlich deren antierosive/antiabrasive Wirkung (Experiment 2) im Dentin zu untersuchen.

Getestet wurden sechs verschiedene konventionelle Natriumfluorid-Zahnpasten, zwei zinnhaltige Produkte, zwei Spezialpasten mit Fluorid mit der Indikation „Erosionen“ und drei Spezialpasten ohne Fluorid. Eine zinnhaltige Mundspüllösung diente als Positivkontrolle.

Die in den Produkten enthaltenen Wirkstoffe waren Natriumfluorid (Konzentration zwischen 1400 und 1490 ppm F⁻), Natriumfluorid (1400 ppm F⁻) in Kombination mit Kaliumnitrat, Hydroxylapatit oder Hydroxylapatit-ähnliche Stoffe in nanokristalliner Form, Chitosan, Kaseinphosphopeptide, Zinnfluorid oder Zinnchlorid (Konzentrationen zwischen 800 und 3436 ppm Sn²⁺) in Kombination mit Fluorid.

Bei der Versuchsdurchführung wurde ein zyklisches De- und Remineralisationsmodell über zweimal fünf Tage angewandt. Die Demineralisation erfolgte sechs Mal täglich für zwei Minuten mit einer 0,05 molaren Zitronensäure mit einem pH-Wert von 2,4. Zwischen den Demineralisationsphasen wurden die Proben für jeweils eine Stunde in einer Remineralisationslösung aufbewahrt.

Nach der ersten und sechsten Demineralisation wurden die Proben in Experiment 1 für zwei Minuten in Suspensionen der getesteten Produkte geschwenkt. In Experiment 2 wurden die Proben ebenfalls zwei Minuten den Produktsuspensionen ausgesetzt und zusätzlich innerhalb dieser Zeit fünfzehn Sekunden mit einem Bürstgewicht von 200 g gebürstet. Bei beiden Experimenten wurde eine Negativerosionskontrolle mitgeführt, welche nur erodiert wurde. Bei Experiment 2 wurde zusätzlich eine Negativbürstkontrolle mitgeführt, welche erodiert und mit einer fluoridfreien Zahnpaste gebürstet wurde.

Eine Positivkontrolle wurde bei Experiment 1 direkt nach dem Erodieren mit einer Mundspüllösung, welche 800 ppm Sn²⁺ und 500 ppm F⁻ enthielt (Elmex Erosionsschutz Zahnpaste), behandelt. Bei Experiment 2 wurde die Positivkontrolle nach dem Erodieren zuerst für 15 Sekunden mit einer fluoridfreien Zahnpaste gebürstet und danach mit der Mundspüllösung behandelt. Der Substanzverlust wurde am Ende jeden Experiments profilometrisch bestimmt.

6. Zusammenfassung

In Experiment 1 führten bis auf zwei fluoridfreie Spezialpasten alle Produkte zu einer signifikanten Reduktion des Substanzverlustes gegenüber der alleinigen Erosion (Negativerosionskontrolle). Die konventionellen NaF-Pasten und die Spezialpasten mit Fluorid wiesen eine vergleichbare Effektivität auf (Reduktion um 31-49%). Von den drei fluoridfreien Spezialpasten führten zwei zu keiner signifikanten Reduktion gegenüber der Negativerosionskontrolle (11%, 13% und 25%). Eins der zwei zinnhaltigen Produkte war in seiner Effektivität mit den konventionellen NaF-Pasten und den Spezialpasten mit Fluorid vergleichbar (Reduktion um 29%), während das zweite zinnhaltige Produkt zur Positivkontrolle vergleichbare Ergebnisse lieferte (Reduktion um jeweils 59%).

In Experiment 2 führte das Bürsten (Negativbürstkontrolle) zu keiner signifikanten Erhöhung des Substanzverlustes gegenüber der alleinigen Erosion (Negativerosionskontrolle). Die Spezialpasten mit Fluorid waren in ihrer Wirksamkeit den konventionellen Fluoridzahnpasten nicht überlegen (jeweils Reduktionen zwischen 11% und 55%) und die fluoridfreien Spezialpasten wiesen sogar höhere Substanzverluste auf als die Negativkontrollen. Eins der zwei zinnhaltigen Produkte führte zu keiner signifikanten Reduktion (4%), wohingegen das zweite zinnhaltige Produkt (Reduktion um 56%), wie bereits in Experiment 1, in seiner Effektivität der Positivkontrolle (53%) entsprach.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass bestimmte zinnhaltige Produkte Erosionen sowie Zahnhartsubstanzverluste durch kombinierte Erosions-Abrasions-Einflüsse im Dentin reduzieren können. Allerdings zeigt sich auch bei den effektivsten Produkten nur eine Reduktion von knapp 60%, sodass eine Entwicklung von effektiveren Strategien sinnvoll und wünschenswert wäre.

7. Abstract

7. Abstract

Over the past years several new toothpastes were marketed, which, according to the manufacturers data, claimed to have anti-erosive qualities and protect against erosive tooth wear. Hence, the aim of the present study was to examine the anti-erosive effects of different conventional and new products with the indication "Erosion" (experiment 1) and, in addition, their antierosive/antiabrasive effect (experiment 2) on dentine.

Six different conventional sodium fluoride toothpastes, two tin-containing products, two special toothpastes with fluoride with the indication "Erosion" and three special toothpastes without fluoride were tested. A tin-containing mouthrinse served as a positive control.

The active agents of the products were sodium fluoride (concentration between 1400 and 1490 ppm F⁻), sodium fluoride (1400 ppm F⁻) in combination with potassium nitrate, hydroxyapatite or materials similar to hydroxyapatite in nano-crystalline form, chitosan, caseinphosphopeptide, stannous fluoride or stannous chloride (concentrations between 800 and 3436 ppm Sn²⁺) in combination with fluoride.

For the study a cyclic de- and remineralisation model was used over a 2 x five day period. The demineralisation was performed six times daily for two minutes with 0.05 M citric acid with a pH of 2.4. Between the demineralisation phases the specimens were stored in a remineralisation solution for one hour.

After the first and sixth demineralisation in experiment 1, samples were immersed in suspensions of the tested products for two minutes. In experiment 2 the samples were also immersed in the suspensions of the products for two minutes and were additionally brushed for fifteen seconds within this time with a brushing load of 200 g. For both experiments a negative erosion control was included, which was only eroded. For experiment 2 a negative brush control was included, which was eroded and additionally brushed with a fluoride free toothpaste.

In experiment 1 a positive control was treated with a mouthrinse directly after erosion, which contained 800 ppm Sn²⁺ and 500 ppm F⁻ (Elmex Erosionsschutz Zahnspülung). In experiment 2, after erosion the positive control first was brushed for 15 seconds with a fluoride free toothpaste and was treated afterwards with the mouthrinse. The tissue loss was determined profilometrically at the end of every experiment.

In experiment 1, except for two fluoride free special toothpastes, all products led to a significant reduction of the tissue loss compared to erosion only (negative erosion control). The conventional NaF toothpastes and the special toothpastes with fluoride showed a comparable efficacy (reduction about 31-49%). Two of the three fluoride free

7. Abstract

special toothpastes led to no significant reduction compared with the negative erosion control (11%, 13% and 25%). One of the two tin-containing products was comparable in its efficacy to the conventional NaF toothpastes and the special toothpastes with fluoride (reduction about 29%), while the second tin-containing product was as effective as the positive control (reduction about 59% each).

In experiment 2 brushing (negative brush control) did not increase substance loss compared with erosion only (negative erosion control). The special toothpastes with fluoride were not more effective than the conventional fluoride toothpastes (reduction between 11% and 55% each). The fluoride free special toothpastes produced even higher substance losses than the negative controls. One of the two tin-containing products did not lead to a significant reduction (4%), while the second tin-containing product (reduction about 56%) was as effective as positive control (53%), likewise it was already found for experiment 1.

The results clearly show that some tin-containing products are able to reduce dentine erosion. Nevertheless, even the most effective products showed only a reduction by approximately 60%, consequently, the development of more effective strategies would be useful and desirable.

8. Literaturverzeichnis

8. Literaturverzeichnis

Reference List

- Addy,M (2005). Tooth brushing, tooth wear and dentine hypersensitivity--are they associated? *Int Dent J* 55(4 Suppl 1):261-267.
- Addy,M (2008). Oral hygiene products: potential for harm to oral and systemic health? *Periodontol* 2000 48:54-65.
- Addy,M and Hunter,ML (2003). Can tooth brushing damage your health? Effects on oral and dental tissues. *Int Dent J* 53 Suppl 3:177-186.
- Addy,M, Willis,L, and Moran,J (1983). Effect of toothpaste rinses compared with chlorhexidine on plaque formation during a 4-day period. *J Clin Periodontol* 10(1):89-99.
- Ahmed,AAR, Garcia-Godoy,F, and Kunzelmann,KH (2008). Self-limiting caries therapy with proteolytic agents. *Am J Dent* 21:303-312.
- Al-Dlaigan,YH, Shaw,L, and Smith,A (2001a). Dental erosion in a group of British 14-year-old school children. Part II: Influence of dietary intake. *Br Dent J* 190:258-261.
- Al-Dlaigan,YH, Shaw,L, and Smith,A (2001b). Dental erosion in a group of British 14-year-old, school children. Part I: Prevalence and influences differing socioeconomic backgrounds. *Br Dent J* 190:145-149.
- Al-Majed,I, Maguire,A, and Murray,JJ (2002). Risk factors for dental erosion in 5-6 year old and 12-14 year old boys in Saudi Arabia. *Community Dent Oral Epidemiol* 30:38-46.
- Arnaud,TM, de Barros,NB, and Diniz,FB (2010). Chitosan effect on dental enamel remineralization: an in vitro evaluation. *J Dent* 38(11):848-852.
- Aßmann, T. Häufigkeit und Schweregrad von Zahnerosionen bei Rekruten. 19-10-2010. Ref Type: Unpublished Work
- Attin,T, Koidl,U, Buchalla,W, Schaller,HG, Kielbassa,AM, and Hellwig,E (1997). Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel. *Arch Oral Biol* 42(3):243-250.
- Aykut-Yetkiner,A, Attin,T, and Wiegand,A (2014). Prevention of dentine erosion by brushing with anti-erosive toothpastes. *J Dent* 42(7):856-861.
- Azzopardi,A, Bartlett,D, Watson,TF, and Sherriff,M (2004). The surface effects of erosion and abrasion on dentine with and without a protective layer. *Br Dent J* 196(6):351-354.
- Azzopardi,A, Bartlett,DW, Watson,TF, and Sherriff,M (2001). The measurement and prevention of erosion and abrasion. *J Dent* 29:395-400.

8. Literaturverzeichnis

- Babcock,FD, King,JC, and Jordan,TH (1978). The reaction of stannous fluoride and hydroxyapatite. *J Dent Res* 57(9-10):933-938.
- Barbour,ME, Shellis,RP, Parker,DM, Allen,GC, and Addy,M (2005). An investigation of some food-approved polymers as agents to inhibit hydroxyapatite dissolution. *Eur J Oral Sci* 113:457-461.
- Barbour,ME, Shellis,RP, Parker,DM, Allen,GC, and Addy,M (2008). Inhibition of hydroxyapatite dissolution by whole casein: the effects of pH, protein concentration, calcium, and ionic strength. *Eur J Oral Sci* 116:473-478.
- Bardolia,P, Burnside,G, Ashcroft,A, Milosevic,A, Goodfellow,SA, Rolfe,EA *et al.* (2010). Prevalence and Risk Indicators of Erosion in Thirteen- to Fourteen-Year-Olds on the Isle of Man. *Caries Res* 44(2):165-168.
- Bardsley,PF, Taylor,S, and Milosevic,A (2004). Epidemiological studies of tooth wear and dental erosion in 14-year-old children in North West England. Part 1: The relationship with water fluoridation and social deprivation. *Br Dent J* 197(7):413-416.
- Bartlett,D (2006). Intrinsic causes of erosion. *Monogr Oral Sci* 20:119-139.
- Bartlett,D (2007). A new look at erosive tooth wear in elderly people. *J Am Dent Assoc* 138 Suppl:21S-25S.
- Bartlett,D, Sundaram,G, and Moazzez,R (2011). Trial of protective effect of fissure sealants, in vivo, on the palatal surfaces of anterior teeth, in patients suffering from erosion. *J Dent* 39(1):26-29.
- Bartlett,DW, Lussi,A, West,NX, Bouchard,P, Sanz,M, and Bourgeois,D (2013). Prevalence of tooth wear on buccal and lingual surfaces and possible risk factors in young European adults. *J Dent* 41(11):1007-1013.
- Basu,S, McKee,M, Galea,G, and Stuckler,D (2013). Relationship of soft drink consumption to global overweight, obesity, and diabetes: a cross-national analysis of 75 countries. *Am J Public Health* 103(11):2071-2077.
- Besinis,A, van Noort,R, and Martin,N (2012). Infiltration of demineralized dentin with silica and hydroxyapatite nanoparticles. *Dent Mater* 28(9):1012-1023.
- Bundeszahnärztekammer, Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (2009). Das Dentalvademeceum. Köln: Deutscher Zahnärzterverlag.
- Carvalho,TS, Colon,P, Ganss,C, Huysmans,MC, Lussi,A, Schlueter,N *et al.* (2015). Consensus report of the European Federation of Conservative Dentistry: erosive tooth wear-diagnosis and management. *Clin Oral Invest.*
- Christensen,JR (1984). A soft tissue lesion related to salicylate treatment of juvenile rheumatoid arthritis: clinical report. *Pediatr Dent* 6(3):159-161.
- Comar,LP, Gomes,MF, Ito,N, Salomao,PA, Grizzo,LT, and Magalhaes,AC (2012). Effect of NaF, SnF(2), and TiF(4) Toothpastes on Bovine Enamel and Dentin Erosion-Abrasion In Vitro. *Int J Dent* 2012:134350.

8. Literaturverzeichnis

DGPM. S3-Leitlinie zur Diagnostik und Therapie bei Essstörungen. 12-12-2010.
AWMF.

Ref Type: Data File

Eisenburger,M, Hughes,J, West,NX, Jandt,KD, and Addy,M (2000). Ultrasonication as a method to study enamel demineralisation during acid erosion. *Caries Res* 34:289-294.

El Aidi,H, Bronkhorst,EM, Huysmans,MC, and Truin,GJ (2010). Dynamics of tooth erosion in adolescents: a 3-year longitudinal study. *J Dent* 38(2):131-137.

El Aidi,H, Bronkhorst,EM, Huysmans,MC, and Truin,GJ (2011). Multifactorial analysis of factors associated with the incidence and progression of erosive tooth wear. *Caries Res* 45(3):303-312.

Faller,RV, Eversole,SL, and Tzeghai,GE (2011). Enamel protection: a comparison of marketed dentifrice performance against dental erosion. *Am J Dent* 24(4):205-210.

Fass,R and Dickman,R (2006). Clinical consequences of silent gastroesophageal reflux disease. *Curr Gastroenterol Rep* 8:195-201.

Forward,GC (1991). Role of toothpastes in the cleaning of teeth. *Int Dent J* 41(3):164-170.

Ganss,C, Hardt,M, Blazek,D, Klimek,J, and Schlueter,N (2009a). Effects of toothbrushing force on the mineral content and demineralized organic matrix of eroded dentine. *Eur J Oral Sci* 117:255-260.

Ganss,C, Hardt,M, Lussi,A, Cocks,AK, Klimek,J, and Schlueter,N (2010a). Mechanism of action of tin-containing fluoride solutions as anti-erosive agents in dentine - an in vitro tin-uptake, tissue loss, and scanning electron microscopy study. *Eur J Oral Sci* 118(4):376-384.

Ganss,C, Klimek,J, and Giese,K (2001). Dental erosion in children and adolescents - a cross-sectional and longitudinal investigation using study models. *Community Dent Oral Epidemiol* 29:264-271.

Ganss,C, Klimek,J, and Schlueter,N (2014a). Erosion/abrasion-preventing potential of NaF and F/Sn/chitosan toothpastes in dentine and impact of the organic matrix. *Caries Res* 48(2):163-169.

Ganss,C, Klimek,J, and Schwarz,N (2000). A comparative profilometric in vitro study of the susceptibility of polished and natural human enamel and dentine surfaces to erosive demineralisation. *Arch Oral Biol* 45:897-902.

Ganss,C, Klimek,J, and Starck,C (2004). Quantitative analysis of the impact of the organic matrix on the fluoride effect on erosion progression in human dentine using longitudinal microradiography. *Arch Oral Biol* 49:931-935.

Ganss,C, Lussi,A, Grunau,O, Klimek,J, and Schlueter,N (2011). Conventional and anti-erosion fluoride toothpastes: effect on enamel erosion and erosion-abrasion. *Caries Res* 45(6):581-589.

8. Literaturverzeichnis

- Ganss,C, Lussi,A, Peutzfeldt,A, Naguib,AN, and Schlueter,N (2015). Impact of Sn/F Pre-Treatments on the Durability of Protective Coatings against Dentine Erosion/Abrasion. *PLoS One* 10(6):e0123889.
- Ganss,C, Lussi,A, Scharmann,I, Weigelt,T, Hardt,M, Klimek,J *et al.* (2009b). Comparison of Calcium Analysis, Longitudinal Microradiography and Profilometry for the Quantitative Assessment of Erosion in Dentine. *Caries Res* in press.
- Ganss,C, Lussi,A, and Schlueter,N (2014b). The histological features and physical properties of eroded dental hard tissues. *Monogr Oral Sci* 25:99-107.
- Ganss,C, Lussi,A, Sommer,N, Klimek,J, and Schlueter,N (2010b). Efficacy of fluoride compounds and stannous chloride as erosion inhibitors in dentine. *Caries Res* 44(3):248-252.
- Ganss,C, Neutard,L, von Hinckeldey,J, Klimek,J, and Schlueter,N (2010c). Efficacy of a tin/fluoride rinse: a randomized in situ trial on erosion. *J Dent Res* 89(11):1214-1218.
- Ganss,C, Schlechtriemen,M, and Klimek,J (1999). Dental erosions in subjects living on a raw food diet. *Caries Res* 33(1):74-80.
- Ganss,C, Schlueter,N, Hardt,M, Schattenberg,P, and Klimek,J (2008a). Effect of fluoride compounds on enamel erosion in vitro- a comparison of amine, sodium and stannous fluoride. *Caries Res* 42(1):2-7.
- Ganss,C, Schlueter,N, Hardt,M, von Hinckeldey,J, and Klimek,J (2007a). Effects of toothbrushing on eroded dentine. *Eur J Oral Sci* 115(5):390-396.
- Ganss,C, Schlueter,N, and Klimek,J (2007b). Retention of KOH-soluble fluoride on enamel and dentine under erosive conditions--A comparison of in vitro and in situ results. *Arch Oral Biol* 52:9-14.
- Ganss,C, Schlueter,N, Preiss,S, and Klimek,J (2008b). Tooth brushing habits in uninstructed adults-frequency, technique, duration and force. *Clin Oral Invest Epub* ahead of print.
- Ganss,C, Schlueter,N, Preiss,S, and Klimek,J (2009c). Tooth brushing habits in uninstructed adults--frequency, technique, duration and force. *Clin Oral Investig* 13(2):203-208.
- Ganss,C, Schulze,K, and Schlueter,N (2013). Toothpaste and erosion. *Monogr Oral Sci* 23:88-99.
- Ganss,C, von Hinckeldey,J, Tolle,A, Schulze,K, Klimek,J, and Schlueter,N (2012). Efficacy of the stannous ion and a biopolymer in toothpastes on enamel erosion/abrasion. *J Dent* 40(12):1036-1043.
- Gerrard,WA and Winter,PJ (1986). Evaluation of toothpastes by their ability to assist rehardening of enamel in vitro. *Caries Res* 20(3):209-216.
- Giunta,JL (1983). Dental erosion resulting from chewable vitamin C tablets. *J Am Dent Assoc* 107(2):253-256.

8. Literaturverzeichnis

- Guo,C and Gemeinhart,RA (2008). Understanding the adsorption mechanism of chitosan onto poly(lactide-co-glycolide) particles. *Eur J Pharm Biopharm* 70(2):597-604.
- Hara,AT, Gonzalez-Cabezas,C, Creeth,J, Parmar,M, Eckert,GJ, and Zero,DT (2009a). Interplay between fluoride and abrasivity of dentifrices on dental erosion-abrasion. *J Dent* 37(10):781-785.
- Hara,AT, Kelly,SA, Gonzalez-Cabezas,C, Eckert,GJ, Barlow,AP, Mason,SC *et al.* (2009b). Influence of fluoride availability of dentifrices on eroded enamel remineralization in situ. *Caries Res* 43(1):57-63.
- Hara,AT, Turssi,CP, Teixeira,EC, Serra,MC, and Cury,JA (2003). Abrasive wear on eroded root dentine after different periods of exposure to saliva in situ. *Eur J Oral Sci* 111:423-427.
- Hasselkvist,A, Johansson,A, and Johansson,AK (2014). Association between soft drink consumption, oral health and some lifestyle factors in Swedish adolescents. *Acta Odontol Scand* 72(8):1039-1046.
- Herpertz,S, Hagenah,U, Vocks,S, von Wietersheim,J, Cuntz,U, and Zeeck,A (2011). The diagnosis and treatment of eating disorders. *Dtsch Arztebl Int* 108(40):678-685.
- Hinds, K. and Gregory, J. R. National diet and nutrition survey: children aged 11/2 to 41/2 years. Volume 2: Report of the dental survey. Her Majesty's Stationary Office, London. 1995.
Ref Type: Generic
- Holling,H and Schlack,R (2007). [Eating disorders in children and adolescents. First results of the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS)]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50(5-6):794-799.
- Hooper,S, Hughes,J, Parker,D, Finke,M, Newcombe,RG, Addy,M *et al.* (2007a). A clinical study in situ to assess the effect of a food approved polymer on the erosion potential of drinks. *J Dent* 35:541-546.
- Hooper,S, West,NX, Pickles,MJ, Joiner,A, Newcombe,RG, and Addy,M (2003). Investigation of erosion and abrasion on enamel and dentine: a model in situ using toothpastes of different abrasivity. *J Clin Periodontol* 30:802-808.
- Hooper,S, West,NX, Sharif,N, Smith,S, North,M, De'Ath,J *et al.* (2004). A comparison of enamel erosion next term by a new sports drink compared to two proprietary products: a controlled, crossover study in situ. *J Dent* 32:541-545.
- Hooper,SM, Newcombe,RG, Faller,R, Eversole,S, Addy,M, and West,NX (2007b). The protective effects of toothpaste against erosion by orange juice: studies in situ and in vitro. *J Dent* 35:476-481.
- Huang,SB, Gao,SS, and Yu,HY (2009). Effect of nano-hydroxyapatite concentration on remineralization of initial enamel lesion in vitro. *Biomed Mater* 4(3):034104.

8. Literaturverzeichnis

- Hunter,ML, Addy,M, Pickles,MJ, and Joiner,A (2002). The role of toothpastes and toothbrushes in the aetiology of tooth wear. *Int Dent J* 52:399-405.
- Hunter,ML and West,NX (2000). Mechanical tooth wear: the role of individual toothbrushing variables and toothpaste abrasivity. In: Tooth wear and sensitivity. Addy M, Embery G, Edgar WM, Orchardson R, editors London: Dunitz,M., pp. 161-169.
- Jaeggi,T, Schaffner,M, Bürgin,W, and Lussi,A (1999). Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 109:1171-1178.
- Jaeggi,T and Lussi,A (1999). Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: An in situ study. *Caries Res* 33(6):455-461.
- Jaeggi,T and Lussi,A (2004). [Erosion in early school-age children]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114(9):876-881.
- Jaeggi,T and Lussi,A (2006). Prevalence, incidence and distribution of erosion. In: Dental Erosion: from diagnosis to therapy. Lussi A, editor Basel: Karger, pp. 44-65.
- Järvinen,VK, Rytömaa,I, and Heinonen,OP (1991). Risk factors in dental erosion. *J Dent Res* 70(6):942-947.
- Jensdottir,T, Arnadottir,IB, Thorsdottir,I, Bardow,A, Gudmundsson,K, Theodors,A *et al.* (2004). Relationship between dental erosion, soft drink consumption, and gastroesophageal reflux among Icelanders. *Clin Oral Invest* 8:91-96.
- Johansson,AK, Norring,C, Unell,L, and Johansson,A (2012). Eating disorders and oral health: a matched case-control study. *Eur J Oral Sci* 120(1):61-68.
- Kato,MT, Lancia,M, Sales-Peres,SH, and Buzalaf,MA (2010). Preventive Effect of Commercial Desensitizing Toothpastes on Bovine Enamel Erosion in vitro. *Caries Res* 44(2):85-89.
- Kinney,JH, Balooch,M, Haupt,DLJr, Marshall,SJ, and Marshall,GW (1995). Mineral distribution and dimensional changes in human dentin during demineralisation. *J Dent Res* 74:1179-1184.
- Klein,DA and Walsh,BT (2004). Eating disorders: clinical features and pathophysiology. *Physiol Behav* 81(2):359-374.
- Kleter,GA, Damen,JJ, Everts,V, Niehof,J, and ten Cate,JM (1994). The influence of the organic matrix on demineralization of bovine root dentin in vitro. *J Dent Res* 73:1523-1529.
- Klont,B and ten Cate,JM (1991a). Remineralisation of bovine incisor root lesions in vitro: the role of the collagenous matrix. *Caries Res* 25:39-45.
- Klont,B and ten Cate,JM (1991b). Susceptibility of the collagenous matrix from bovine incisor roots to proteolysis after in vitro lesion formation. *Caries Res* 25(1):46-50.

8. Literaturverzeichnis

- Lagerlöf,F, Saxegaard,E, Barkvoll,P, and Rolla,G (1988). Effects of inorganic orthophosphate and pyrophosphate on dissolution of calcium fluoride in water. *J Dent Res*(67):447-449.
- Larsen,MJ and Nyvad,B (1999). Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 33(1):81-87.
- Lee,HS, Tsai,S, Kuo,CC, Bassani,AW, Pepe-Mooney,B, Miksa,D *et al.* (2012). Chitosan adsorption on hydroxyapatite and its role in preventing acid erosion. *J Colloid Interface Sci* 385(1):235-243.
- Lennon,AM, Pfeffer,M, Buchalla,W, Becker,K, Lennon,S, and Attin,T (2006). Effect of a casein/calcium phosphate-containing tooth cream and fluoride on enamel erosion in vitro. *Caries Res* 40:154-157.
- Linkosalo,E and Markkanen,H (1985). Dental erosions in relation to lactovegetarian diet. *Scand J Dent Res* 93(5):436-441.
- Lippert,F (2013). An introduction to toothpaste - its purpose, history and ingredients. *Monogr Oral Sci* 23:1-14.
- Lussi,A, Hellwig,E, Zero,D, and Jaeggi,T (2006). Erosive tooth wear: diagnosis, risk factors and prevention. *Am J Dent* 19(6):319-325.
- Lussi,A and Jaeggi,T (2008). Erosion--diagnosis and risk factors. *Clin Oral Investig* 12 Suppl 1:S5-13.
- Lussi,A, Jaeggi,T, and Jaeggi-Schärer,S (1995). Prediction of the erosive potential of some beverages. *Caries Res* 29(5):349-354.
- Lussi,A, Megert,B, Eggenberger,D, and Jaeggi,T (2008). Impact of Different Toothpastes on the Prevention of Erosion. *Caries Res* 42(1):62-67.
- Lussi,A, Megert,B, Shellis,RP, and Wang,X (2012). Analysis of the erosive effect of different dietary substances and medications. *Br J Nutr* 107(2):252-262.
- Lussi,A, Schaffner,M, Hotz,P, and Suter,P (1991). Dental erosion in a population of Swiss adults. *Community Dent Oral Epidemiol* 19(5):286-290.
- Lussi,A, Schlueter,N, Rakhmatullina,E, and Ganss,C (2011). Dental erosion--an overview with emphasis on chemical and histopathological aspects. *Caries Res* 45 Suppl 1:2-12.
- Magalhaes,AC, Rios,D, Delbem,AC, Buzalaf,MA, and Machado,MA (2007). Influence of fluoride dentifrice on brushing abrasion of eroded human enamel: an in situ/ex vivo study. *Caries Res* 41(1):77-79.
- Magalhaes,AC, Rios,D, Moino,AL, Wiegand,A, Attin,T, and Buzalaf,MA (2008). Effect of different concentrations of fluoride in dentifrices on dentin erosion subjected or not to abrasion in situ/ex vivo. *Caries Res* 42:112-116.

8. Literaturverzeichnis

- Magalhaes,AC, Wiegand,A, Rios,D, Buzalaf,MA, and Lussi,A (2011). Fluoride in dental erosion. *Monogr Oral Sci* 22:158-170.
- Maggio,B, Guibert,RG, Mason,SC, Karwal,R, Rees,GD, Kelly,S *et al.* (2010). Evaluation of mouthrinse and dentifrice regimens in an in situ erosion remineralisation model. *J Dent* 38 Suppl 3:S37-S44.
- Mair,LH (2000). Wear in the mouth: the tribological dimension. In: Tooth wear and sensitivity. Clinical advances in restorative dentistry. Addy M, Embery G, Edgar WM, Orchardson R, editors London: Martin Dunitz Ltd, pp. 181-188.
- Mair,LH, Stolarski,TA, Vowles,RW, and Lloyd,CH (1996). Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. *J Dent* 24(1-2):141-148.
- Manton,DJ, Cai,F, Yuan,Y, Walker,GD, Cochrane,NJ, Reynolds,C *et al.* (2010). Effect of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate added to acidic beverages on enamel erosion in vitro. *Aust Dent J* 55(3):275-279.
- Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel. Nationale Verzehrstudie II. Ergebnisbericht, Teil 2. Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen. 2008b. 2008.
Ref Type: Internet Communication
- McCracken,M and O'Neal,SJ (2000). Dental erosion and aspirin headache powders: a clinical report. *J Prosthodont* 9(2):95-98.
- Meurman,JH, Rytomaa,I, Kari,K, Laakso,T, and Murtomaa,H (1987). Salivary pH and glucose after consuming various beverages, including sugar-containing drinks. *Caries Res* 21(4):353-359.
- Meurman,JH, Toskala,J, Nuutinen,P, and Klemetti,E (1994). Oral and dental manifestations in gastroesophageal reflux disease. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 78(5):583-589.
- Millward,A, Shaw,L, Harrington,E, and Smith,AJ (1997). Continuous monitoring of salivary flow rate and pH at the surface of the dentition following consumption of acidic beverages. *Caries Res* 31(1):44-49.
- Millward,A, Shaw,L, and Smith,A (1994). Dental erosion in four-year-old children from differing socioeconomic backgrounds. *ASDC J Dent Child* 61(4):263-266.
- Milosevic,A, Bardsley,PF, and Taylor,S (2004). Epidemiological studies of tooth wear and dental erosion in 14-year old children in North West England. Part 2: The association of diet and habits. *Br Dent J* 197(8):479-483.
- Moazzez,R, Bartlett,D, and Anggiansah,A (2004). Dental erosion, gastro-oesophageal reflux disease and saliva: how are they related? *J Dent* 32:489-494.
- Mulic,A, Tveit,AB, Hove,LH, and Skaare,AB (2011). Dental erosive wear among Norwegian wine tasters. *Acta Odontol Scand* 69(1):21-26.
- Nikiforuk,G (1985). Understanding dental caries. Basel, New York: Karger.

8. Literaturverzeichnis

- Öhrn,R, Enzell,K, and Angmar-Månsson,B (1999). Oral status of 81 subjects with eating disorders. *Eur J Oral Sci* 107(3):157-163.
- O'Brien, M. Children`s Dental Health in the United Kingdom 1993. Office of Population Censuses and Surveys 1994. Her Majesty`s Stationary Office, London. 1994.
- Ref Type: Generic
- Pashley,DH, Michelich,V, and Kehl,T (1981). Dentin permeability: effects of smear layer removal. *J Prosthet Dent* 46(5):531-537.
- Pashley,DH, Tao,L, Boyd,L, King,GE, and Horner,JA (1988). Scanning electron microscopy of the substructure of smear layers in human dentine. *Arch Oral Biol* 33(4):265-279.
- Poggio,C, Lombardini,M, Colombo,M, and Bianchi,S (2010). Impact of two toothpastes on repairing enamel erosion produced by a soft drink: an AFM in vitro study. *J Dent* 38(11):868-874.
- Poggio,C, Lombardini,M, Dagna,A, Chiesa,M, and Bianchi,S (2009). Protective effect on enamel demineralization of a CPP-ACP paste: an AFM in vitro study. *J Dent* 37(12):949-954.
- Poggio,C, Lombardini,M, Vigorelli,P, and Ceci,M (2013). Analysis of Dentin/Enamel Remineralization by a CPP-ACP Paste: AFM and SEM Study. *Scanning*.
- Ponduri,S, Macdonald,E, and Addy,M (2005). A study in vitro of the combined effects of soft drinks and tooth brushing with fluoride toothpaste on the wear of dentine. *Int J Dent Hyg* 3:7-12.
- Rahiotis,C and Vougiouklakis,G (2007). Effect of a CPP-ACP agent on the demineralization and remineralization of dentine in vitro. *J Dent* 35:685-698.
- Ramalingam,L, Messer,LB, and Reynolds,EC (2005). Adding casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate to sports drinks to eliminate in vitro erosion. *Pediatr Dent* 27(1):61-67.
- Rees,J, Loyn,T, and Chadwick,B (2007). Pronamel and tooth mousse: an initial assessment of erosion prevention in vitro. *J Dent* 35(4):355-357.
- Reynolds,EC, Cai,F, Shen,P, and Walker,GD (2003). Retention in plaque and remineralization of enamel lesions by various forms of calcium in a mouthrinse or sugar-free chewing gum. *J Dent Res* 82(3):206-211.
- Rogalla,K, Finger,W, and Hannig,M (1992). Influence of buffered and unbuffered acetylsalicylic acid on dental enamel and dentine in human teeth: an in vitro pilot study. *Methods Find Exp Clin Pharmacol* 14(5):339-346.
- Rytömaa,I, Järvinen,V, Kanerva,R, and Heinonen,OP (1998). Bulimia and tooth erosion. *Acta Odontol Scand* 56(1):36-40.

8. Literaturverzeichnis

- Rytömaa,I, Meurman,JH, Koskinen,J, Laakso,T, Gharazi,L, and Turunen,R (1988). In vitro erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other foodstuffs. *Scand J Dent Res* 96(4):324-333.
- Saxegaard,E, Lagerlöf,F, and Rolla,G (1988). Dissolution of calcium fluoride in human saliva. *Acta Odontol Scand* 46:355-359.
- Saxegaard,E and Rolla,G (1988). Fluoride acquisition on and in human enamel during topical application in vitro. *Scand J Dent Res* 96:523-535.
- Scheutzel,P (1996). Etiology of dental erosion--intrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 104(2 (Pt 2)):178-190.
- Schiffner,U, Micheelis,W, and Reich,E (2002). Erosionen und keilförmige Zahnhalsdefekte bei deutschen Erwachsenen und Senioren. *Dtsch Zahnärztl Z* 57:102-106.
- Schlueter,N, Ganss,C, Hardt,M, Schegietz,D, and Klimek,J (2007a). Effect of pepsin on erosive tissue loss and the efficacy of fluoridation measures in dentine in vitro. *Acta Odontol Scand* 65(5):298-305.
- Schlueter,N, Ganss,C, Mueller,U, and Klimek,J (2007b). Effect of titanium tetrafluoride and sodium fluoride on erosion progression in enamel and dentine in vitro. *Caries Res* 41:141-145.
- Schlueter,N, Gressbach,C, Ziemann,C, Winterfeld,T, and Ganss,C (2014). Kompositbasierte Beschichtungen zur Prävention von Dentinerosionen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 69(10):564-572.
- Schlueter,N, Hara,A, Shellis,RP, and Ganss,C (2011). Methods for the measurement and characterization of erosion in enamel and dentine. *Caries Res* 45 Suppl 1:13-23.
- Schlueter,N, Hardt,M, Klimek,J, and Ganss,C (2010a). Influence of the digestive enzymes trypsin and pepsin in vitro on the progression of erosion in dentine. *Arch Oral Biol* 55(4):294-299.
- Schlueter,N, Hardt,M, Lussi,A, Engelmann,F, Klimek,J, and Ganss,C (2009a). Tin-containing fluoride solutions as anti-erosive agents in enamel: an in vitro tin-uptake, tissue-loss, and scanning electron micrograph study. *Eur J Oral Sci* 117:427-434.
- Schlueter,N, Klimek,J, and Ganss,C (2009b). Efficacy of an experimental tin-containing mouth rinse on erosive mineral loss in enamel and dentine *in situ*. *Caries Res* in press.
- Schlueter,N, Klimek,J, and Ganss,C (2010b). Efficacy of tin-containing solutions on erosive mineral loss in enamel and dentine in situ. *Clin Oral Investig*.
- Schlueter,N, Klimek,J, and Ganss,C (2013). Randomised in situ study on the efficacy of a tin/chitosan toothpaste on erosive-abrasive enamel loss. *Caries Res* 47(6):574-581.

8. Literaturverzeichnis

Schlueter,N, Lussi,A, Tolle,A, and Ganss,C (2016). Effects of Erosion Protocol Design on Erosion/Abrasion Study Outcome and on Active Agent (NaF and SnF₂) Efficacy. *Caries Res* 50(2):170-179.

Schlueter,N, Neutard,L, von Hinckeldey,J, Klimek,J, and Ganss,C (2010c). Tin and fluoride as anti-erosive agents in enamel and dentine in vitro. *Acta Odontol Scand*.

Schlueter,N and Tveit,AB (2014). Prevalence of erosive tooth wear in risk groups. *Monogr Oral Sci* 25:74-98.

Schroeder,PL, Filler,SJ, Ramirez,B, Lazarchik,DA, Vaezi,MF, and Richter,JE (1995). Dental Erosion and Acid Reflux Disease. *Ann Intern Med* 122(11):809-815.

Schweizer-Hirt,CM, Schait,A, Schmid,R, Imfeld,T, Lutz,F, and Muhlemann,HR (1978). Erosion und Abrasion des Schmelzes. Eine experimentelle Studie. *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 88(5):497-529.

Shellis,RP, Finke,M, Eisenburger,M, Parker,DM, and Addy,M (2005). Relationship between enamel erosion and liquid flow rate. *Eur J Oral Sci* 113:232-238.

Shellis,RP, Ganss,C, Ren,Y, Zero,DT, and Lussi,A (2011). Methodology and models in erosion research: discussion and conclusions. *Caries Res* 45 Suppl 1:69-77.

Sonnenberg,A and El-Serag,HB (1999). Clinical epidemiology and natural history of gastroesophageal reflux disease. *Yale J Biol Med* 72:81-92.

Sullivan,RE and Kramer,WS (1983). Iatrogenic erosion of teeth. *ASDC J Dent Child* 50(3):192-196.

Sundaram,G, Bartlett,D, and Watson,T (2004). Bonding to and protecting worn palatal surfaces of teeth with dentine bonding agents. *J Oral Rehabil* 31(5):505-509.

Sundaram,G, Wilson,R, Watson,TF, and Bartlett,D (2007a). Clinical measurement of palatal tooth wear following coating by a resin sealing system. *Oper Dent* 32(6):539-543.

Sundaram,G, Wilson,R, Watson,TF, and Bartlett,DW (2007b). Effect of resin coating on dentine compared to repeated topical applications of fluoride mouthwash after an abrasion and erosion wear regime. *J Dent* 35:814-818.

Taji,S and Seow,WK (2010). A literature review of dental erosion in children. *Aust Dent J* 55(4):358-367.

Truin,GJ, van Rijkom,HM, Mulder,J, and van't Hof,MA (2005). Caries trends 1996-2002 among 6- and 12-year-old children and erosive wear prevalence among 12-year-old children in The Hague. *Caries Res* 39(1):2-8.

Turssi,CP, Maeda,FA, Messias,DC, Neto,FC, Serra,MC, and Galafassi,D (2011). Effect of potential remineralizing agents on acid softened enamel. *Am J Dent* 24(3):165-168.

8. Literaturverzeichnis

- Uysal,T, Akkurt,MD, Amasyali,M, Ozcan,S, Yagci,A, Basak,F *et al.* (2011). Does a chitosan-containing dentifrice prevent demineralization around orthodontic brackets? *Angle Orthod* 81(2):319-325.
- Vakil,N, van Zanten,SV, Kahrilas,P, Dent,J, and Jones,R (2006). The Montreal definition and classification of gastroesophageal reflux disease: a global evidence-based consensus. *Am J Gastroenterol* 101(8):1900-1920.
- Van der Weijden,GA, Timmerman,MF, Danser,MM, and Van der Velden,U (1998). The role of electric toothbrushes: advantage and limitations. In: Proceedings of the European workshop on mechanical plaque control. Lang NP, Attström R, Loe H, editors Chicago, Berlin, London: Quintessence Publishing Co, Inc., pp. 138-155.
- van Rijkom,HM, Truin,GJ, Frencken,JEFM, König,KG, van't Hof,MA, Bronkhorst,EM *et al.* (2001). Prevalence, distribution and background variables of smooth-bordered tooth wear in teenagers in the Hague, the Netherlands. *Caries Res* 36(2):147-154.
- Vandiver,J, Dean,D, Patel,N, Bonfield,W, and Ortiz,C (2005). Nanoscale variation in surface charge of synthetic hydroxyapatite detected by chemically and spatially specific high-resolution force spectroscopy. *Biomaterials* 26(3):271-283.
- Vanuspong,W, Eisenburger,M, and Addy,M (2002). Cervical tooth wear and sensitivity: erosion, softening and rehardening of dentine; effects of pH, time and ultrasonication. *J Clin Periodontol* 29:351-357.
- Verkaik,MJ, Busscher,HJ, Jager,D, Slomp,AM, Abbas,F, and van der Mei,HC (2011). Efficacy of natural antimicrobials in toothpaste formulations against oral biofilms in vitro. *J Dent* 39(3):218-224.
- Voronets,J and Lussi,A (2010). Thickness of softened human enamel removed by toothbrush abrasion: an in vitro study. *Clin Oral Investig* 14(3):251-256.
- Wang,GR, Zhang,H, Wang,ZG, Jiang,GS, and Guo,CH (2010). Relationship between dental erosion and respiratory symptoms in patients with gastro-oesophageal reflux disease. *J Dent* 38(11):892-898.
- Wang,W, Xie,Q, Xu,T, Wang,Q, Malmstrom,HS, and Ren,YF (2013). Fluoride release and anti-erosive effects of dentifrices containing PVM/MA copolymers. *J Dent* 41(2):148-154.
- Wang,X, Megert,B, Hellwig,E, Neuhaus,KW, and Lussi,A (2011). Preventing erosion with novel agents. *J Dent* 39(2):163-170.
- Wegehaupt,FJ, Taubock,TT, and Attin,T (2013). Durability of the anti-erosive effect of surfaces sealants under erosive abrasive conditions. *Acta Odontol Scand* 71(5):1188-1194.
- Wegehaupt,FJ, Taubock,TT, Sener,B, and Attin,T (2012a). Influence of light-curing mode on the erosion preventive effect of three different resin-based surface sealants. *Int J Dent* 2012:874359.

8. Literaturverzeichnis

Wegehaupt,FJ, Taubock,TT, Stillhard,A, Schmidlin,PR, and Attin,T (2012b). Influence of extra- and intra-oral application of CPP-ACP and fluoride on re-hardening of eroded enamel. *Acta Odontol Scand* 70(3):177-183.

West,NX, Hooper,SM, O'Sullivan,D, Hughes,N, North,M, Macdonald,EL *et al.* (2012). In situ randomised trial investigating abrasive effects of two desensitising toothpastes on dentine with acidic challenge prior to brushing. *J Dent* 40(1):77-85.

West,NX, Hughes,JA, and Addy,M (2001). The effect of pH on the erosion of dentine and enamel by dietary acids in vitro. *J Oral Rehab* 28(9):860-864.

West,NX, Hughes,JA, Parker,DM, Moohan,M, and Addy,M (2003). Development of low erosive carbonated fruit drinks 2. Evaluation of an experimental carbonated blackcurrant drink compared to a conventional carbonated drink. *J Dent* 31(5):361-365.

White,I, McIntyre,J, and Logan,R (2001). Studies on dental erosion: an in vitro model of root surface erosion. *Aust Dent J* 46(3):203-207.

Wiegand,A and Attin,T (2007). Occupational dental erosion from exposure to acids: a review. *Occup Med (Lond)* 57:169-176.

Wiegand,A and Attin,T (2011). Design of erosion/abrasion studies--insights and rational concepts. *Caries Res* 45 Suppl 1:53-59.

Wiegand,A and Attin,T (2014). Randomised in situ trial on the effect of milk and CPP-ACP on dental erosion. *J Dent* 42(9):1210-1215.

Wiegand,A, Bichsel,D, Magalhaes,AC, Becker,K, and Attin,T (2009a). Effect of sodium, amine and stannous fluoride at the same concentration and different pH on in vitro erosion. *J Dent* 37(8):591-595.

Wiegand,A, Köwing,L, and Attin,T (2007a). Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel. *Arch Oral Biol* 19.

Wiegand,A, Kuhn,M, Sener,B, Roos,M, and Attin,T (2009b). Abrasion of eroded dentin caused by toothpaste slurries of different abrasivity and toothbrushes of different filament diameter. *J Dent* 37(6):480-484.

Wiegand,A, Magalhaes,AC, Sener,B, Waldheim,E, and Attin,T (2009c). TiF(4) and NaF at pH 1.2 but not at pH 3.5 are able to reduce dentin erosion. *Arch Oral Biol* 54(8):790-795.

Wiegand,A, Müller,J, Werner,C, and Attin,T (2006). Prevalence of erosive tooth wear and associated risk factors in 2-7-year-old German kindergarten children. *Oral Diseases* 12:117-124.

Wiegand,A, Schwerzmann,M, Sener,B, Magalhaes,AC, Roos,M, Ziebolz,D *et al.* (2008). Impact of toothpaste slurry abrasivity and toothbrush filament stiffness on abrasion of eroded enamel - an in vitro study. *Acta Odontol Scand* 66(4):231-235.

8. Literaturverzeichnis

Wiegand,A, Wegehaupt,F, Werner,C, and Attin,T (2007b). Susceptibility of acid-softened enamel to mechanical wear--ultrasonication versus toothbrushing abrasion. *Caries Res* 41(1):56-60.

Wiktorsson,AM, Zimmerman,M, and Angmar-Månsson,B (1997). Erosive tooth wear: prevalence and severity in Swedish winetasters. *Eur J Oral Sci* 105(6):544-550.

Williamson,DA, Martin,CK, and Stewart,T (2004). Psychological aspects of eating disorders. *Best Pract Res Clin Gastroenterol* 18(6):1073-1088.

Xu,Z, Neoh,KG, Lin,CC, and Kishen,A (2012). Biomimetic deposition of calcium phosphate minerals on the surface of partially demineralized dentine modified with phosphorylated chitosan. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*(98):150-159.

Young,A, Smistad,G, Karlsen,J, Rolla,G, and Rykke,M (1997). Zeta potentials of human enamel and hydroxyapatite as measured by the Coulter DELSA 440. *Adv Dent Res* 11(4):560-565.

Young,A, Thrane,PS, Saxegaard,E, Jonski,G, and Rølla,G (2006). Effect of stannous fluoride toothpaste on erosion-like lesions: an in vivo study. *Eur J Oral Sci* 114:180-183.

Zero,DT, Hara,AT, Kelly,SA, Gonzalez-Cabezas,C, Eckert,GJ, Barlow,AP *et al.* (2006). Evaluation of a desensitizing test dentifrice using an in situ erosion remineralization model. *J Clin Dent* 17(4):112-116.

9. Anhang

9.1. Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift

9. Anhang

9.2. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Nadine Schlüter für die Überlassung des Themas und ihre große Unterstützung und sehr gute Betreuung während der gesamten Bearbeitungszeit meiner Dissertation.

Desweiteren bedanke ich mich herzlich bei Frau Birgit Meier für ihre große Hilfe bei der Durchführung der Experimente.

Und nicht zuletzt ein großes Dankeschön an meine ganze Familie, die immer hinter mir steht und mich bei all meinen Vorhaben stets unterstützt.