

Aus der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde,

Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Prof. Dr. M. Hannig

**Die erosionsprotektive Wirkung von ätherischen
Ölen und Adstringenzen auf bovinen Zahnschmelz
im *in vivo/in vitro* Versuch**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2021

vorgelegt von:

Kristin Barbara Festl

geb. am: 21.07.1991 in München

Tag der Promotion: 10.01.2022

Dekan: Prof. Dr. M.D. Menger

1. Berichterstatter: Prof. Dr. M. Hannig

2. Berichterstatter: Prof. Dr. T. Tschernig

Für meine Mama.

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG.....	- 1 -
1.1	Zusammenfassung	- 1 -
1.2	Abstract.....	- 2 -
2	EINLEITUNG	- 4 -
2.1	Literaturübersicht.....	- 5 -
2.1.1	Der Zahnschmelz	- 5 -
2.1.2	Der Speichel.....	- 6 -
2.1.3	Ätiologie der Erosion.....	- 8 -
2.1.4	Die Pellikel als wichtiger Schutzfaktor.....	- 8 -
2.1.5	Ursachen erosiver Zahnschmelzveränderungen	- 12 -
2.1.5.1	Extrinsische Ursachen	- 12 -
2.1.5.2	Intrinsische Ursachen	- 14 -
2.1.6	Prävalenz und Inzidenz in der Bevölkerung	- 16 -
2.1.7	Diagnostik der erosiven Läsionen und deren Einteilung	- 18 -
2.1.8	Prävention erosiver Prozesse	- 18 -
2.1.9	Spüllösungen zur Erosionsprävention.....	- 20 -
2.1.9.1	Tanninsäure - als Adstringenz	- 20 -
2.1.9.2	<i>Theranovis</i> - als Kombination ätherischer Öle.....	- 21 -
2.2	Ziel der Studie.....	- 22 -

3	MATERIAL UND METHODE	- 24 -
3.1	Entwicklung der Versuchsmethode - Vorversuche	- 24 -
3.1.1	Auswahl der Prüfkörper - Standardisierung	- 24 -
3.1.2	Intraorale Expositionszeit	- 25 -
3.1.3	Frequenz der Spülungen	- 25 -
3.1.4	Konzentration und Einwirkzeit der Zitronensäure.....	- 26 -
3.2	Versuchsvorbereitung	- 26 -
3.2.1	Probandenauswahl	- 26 -
3.2.2	Prüfkörperherstellung	- 26 -
3.2.3	Vorbereitung der Prüfkörper	- 27 -
3.2.4	Herstellung und Vorbereitung der Schienen	- 30 -
3.2.5	Ansetzen der Spüllösungen und Puffer	- 31 -
3.3	Versuchsdurchführung	- 31 -
3.4	Auswertung der Prüfkörper	- 34 -
3.5	Statistische Auswertung	- 36 -
3.6	Verwendete Materialien	- 37 -
3.6.1	Instrumente, Geräte und Verbrauchsgegenstände	- 37 -
3.6.2	Chemikalien und Lösungen	- 38 -
4	ERGEBNISSE	- 40 -
4.1	Die Pellikel als Erosionsschutz.....	- 40 -
4.2	Spülung mit <i>Theranovis</i>	- 43 -

4.3	Spülung mit Tanninsäure	- 47 -
4.4	Ergebnisse der rasterelektronmikroskopischen Untersuchungen	- 51 -
4.4.1	REM-Abbildungen eines Kontroll-Prüfkörpers.....	- 51 -
4.4.2	REM-Abbildungen eines <i>Theranovis</i> -Prüfkörpers	- 58 -
4.4.3	REM-Abbildungen eines Tanninsäure-Prüfkörpers.....	- 63 -
5	DISKUSSION.....	- 69 -
5.1	Diskussion von Material und Methode.....	- 69 -
5.1.1	Umsetzung als In-situ-Studie.....	- 69 -
5.1.2	Rinderzähne als Prüfkörper.....	- 71 -
5.1.3	Fertigung der Prüfkörper.....	- 71 -
5.1.4	Auswahl und Anzahl der Probanden.....	- 72 -
5.1.5	Testmodalitäten	- 73 -
5.1.6	Auswahl der Spüllösungen	- 75 -
5.1.7	Wahl des Analyseverfahrens	- 76 -
5.2	Diskussion der Ergebnisse	- 77 -
5.3	Schlussfolgerung.....	- 80 -
6	LITERATURVERZEICHNIS	- 82 -
7	TABELLENVERZEICHNIS	- 93 -
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	- 94 -
9	DANKSAGUNG.....	- 100 -

1 Zusammenfassung

1.1 Zusammenfassung

Ziel der Studie: In der vorliegenden Studie sollte die erosionsprotektive Wirkung eines Adstringenz (Tanninsäure) und eines Mundsprays, welches ätherische Öle beinhaltet (*Theranovis*), untersucht und beurteilt werden.

Material und Methode: 54 Prüfkörper wurden aus den Schneidezähnen adulter Rinder gewonnen und für die Experimente vorbereitet. Mithilfe des Mikrohärteprüfverfahrens nach Vickers wurden sie anschließend standardisiert, um reproduzierbare Ausgangsbedingungen für die Experimente zu gewährleisten.

Die Prüfkörper wurden in den In-vivo-Versuchen von vier Probanden über 2,5 h getragen. Während dieser Zeit spülten die Versuchsteilnehmer fünf Mal mit der jeweiligen Spüllösung bzw. sterilem Wasser (Kontrollgruppe). Anschließend erfolgte für 3 min eine Ätzung mit einprozentiger Zitronensäure. Um die Auswirkung der Spüllösungen auf den Schmelz direkt beurteilen zu können, wurde die Pellikel, die sich innerhalb der Tragezeit bilden konnte, entfernt. Zusätzlich wurde eine In-vitro-Versuchsreihe durchgeführt, bei der Versuchsaufbau und Spülmodus analog zu den In-vivo-Versuchen beibehalten wurden. Hierdurch sollte der Effekt der Spüllösungen ohne die Einwirkung der Pellikel ermittelt werden.

Bei den Versuchen mit bzw. ohne Pellikel wurden sowohl die Oberflächenrauigkeit, als auch die Mikrohärte der Prüfkörper im geätzten und im ungeätzten Bereich ermittelt. Anschließend erfolgte die Begutachtung der Prüfkörperoberfläche mittels Rasterelektronenmikroskop.

Ergebnisse: Es konnte kein eindeutiger Beweis für die protektive Potenz der Spüllösungen erbracht werden. Es wurden große inter- und intraindividuelle Unterschiede bei den Probanden festgestellt. Allein die Zunahme der Oberflächenrauheit war nach der Behandlung mit Tanninsäure signifikant verringert im Vergleich zu der Kontrollgruppe. Dies erlaubte die Annahme, dass das Adstringenz gegen Säureangriffe einen gewissen Schutz bietet. Für *Theranovis* konnte kein schützender Effekt nachgewiesen werden.

1.2 Abstract

The aim of the study: The protective potential of two different mouthrinses against an erosive attack on tooth enamel, should be verified. One rinse is an astringent (tannic acid) and the other contains essential oils (*Theranovis*).

Material and method: 54 specimens were cut out of bovine incisors and prepared for the experiments. To ensure each of the samples to be of the same hardness, it was necessary to standardize them before starting the experiments. This procedure made it possible to avoid mistakes according to uneven qualities of the specimens. Four healthy volunteers agreed to participate in the study. They carried four samples, two mounted on two splints on either side of the upper jaw. Within a period of 2,5 h, they rinsed 5 times with the astringent, respectively the oil-containing rinse or sterilised water. After this time, one half of the specimens' surfaces was etched with citric acid (1 %) for 3 min. Afterwards the acquired pellicle was removed from the samples, with the result that the protective effects on the specimens' surface could directly be investigated. It was also interesting to analyse the protective potential of the mouthrinses when they can act straightaway on the samples without pellicle between them. On that account, in-vitro-experiments were performed analogously to the *in vivo* ones.

Both, the experiments with and without pellicle formation, were analysed by using devices for profilometry and microhardness measurements. In addition to that, a scanning electron microscope was utilised to visualize the effect on the surface of the enamel.

Results of the study: It was not possible to verify a protective potential after rinses with tannic acid or *Theranovis*. Tannic acid was able to improve surface roughness in comparison to the control. Microhardness, instead, was not improved significantly. Great differences between volunteers were measured. The results clearly show that the process of pellicle formation and erosion are highly affected by individual influences.

2 Einleitung

Die Schädigung der Zahnhartsubstanz kann unterschiedliche Ursachen haben. Die Karies ist sicherlich der bekannteste Grund und geht immer mit einer bakteriellen Säureproduktion einher. Aber auch andere Mechanismen können zu Läsionen an den Zähnen führen.

Die Attrition tritt physiologischer Weise beim Zahn-zu-Zahn-Kontakt zwischen der Dentition desselben Kiefers, aber auch beim Kauen zwischen den korrespondierenden Zahnflächen beider Kiefer auf (Addy und Shellis, 2006; Hellwig et al., 2013). Sie ist in der Regel nicht stark ausgeprägt und führt zu keiner subjektiven Beeinträchtigung der Person. Leidet der Patient unter Bruxismus, kann die Attrition jedoch pathologische Ausmaße annehmen und führt oftmals zu Beschwerden im stomatognathen System.

Ein weiterer Vorgang, der zum Verlust von Zahnmaterial führt, ist die Abrasion. Von ihr spricht man, wenn Schmelz oder Dentin durch Fremdkörper abgenutzt werden (Addy und Shellis, 2006; Hellwig et al., 2013). Spezielle Zahnpasten mit groben und großen Partikel können als Ursache gelten, aber auch Habits, wie das Nägelkauen oder das Kauen auf Zungenpiercings, können abradierend wirken.

Die Entstehung von keilförmigen Defekten stellt ebenfalls einen Verlust von Zahnhartsubstanz dar. Diese Zahnhartsubstanzschäden beziehen sich jedoch speziell auf den zervikalen Bereich der bukkalen/labialen Zahnfläche und kommen vorwiegend bei Prämolaren, Eck- und Frontzähnen vor (Hellwig et al., 2013).

Von Erosion spricht man, wenn die Zahnhartsubstanz durch Säuren angegriffen wird, die nicht durch die Aktivität von Bakterien entstanden sind. Die erosive Zerstörung der Zahnhartsubstanz ist ein schleicher Prozess, der von den Betroffenen meist nicht oder sehr spät bemerkt wird. Das hängt damit zusammen, dass sich die Patienten des Problems der Erosion nicht bewusst sind und oftmals keine Symptome zeigen (Curtis et al., 2012).

Im klinischen Alltag sind die verschiedenen Prozesse, die zu Defekten an den Zähnen führen, nicht oder nur schwer voneinander abzugrenzen. Auch beeinflussen sich die unterschiedlichen Phänomene gegenseitig: Erosiv vorgeschädigte Zähne sind anfälliger für Attrition und Abrasion als gesunde (Addy und Shellis, 2006; Harpenau et al., 2011). Der Begriff *Tooth Wear* wurde

deswegen eingeführt, um Zahnhartsubstanzläsionen ohne Berücksichtigung der Ätiologie zu beschreiben.

Durch eine immer bessere und universelle Aufklärung der Bevölkerung über die Karies und ihre Folgen wurde ein Rückgang der Kariesmorbidität verzeichnet. Aus der im Jahr 2016 veröffentlichten Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) geht hervor, dass 81 % der acht bis 12-jährigen Kinder keine Karies haben. Bei Erwachsenen zwischen 35 und 44 Jahren ist die Anzahl der Zähne mit Karieserfahrung seit dem Jahr 1997 um 30 % zurückgegangen (Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie DMS V, 2016)

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der möglichen erosionsprotektiven Wirkung von ätherischen Ölen (*Theranovis*) bzw. Adstringenzen (Tanninsäure) auf den Zahnschmelz. Hierzu wurden sowohl *in situ* als auch *in vitro* Versuche durchgeführt. Die Analysen erfolgten mittels Mikrohärteversuchen, Überprüfung der Oberflächenstruktur bzw. rasterelektronmikroskopischer Auswertungen.

2.1 Literaturübersicht

2.1.1 Der Zahnschmelz

Die äußere Zahnhartsubstanzschicht, der Zahnschmelz, ist die härteste Substanz des menschlichen Körpers: Seine Knoop-Härte beträgt 250 HKN bis 390 HKN (Knoop-hardness numbers) (Hellwig et al., 2013). Er bedeckt die Zahnkrone und ist im Bereich der Höckerspitzen und Randleisten circa 2 mm dick (Lehmann et al., 2011).

Die Bildung des Schmelzes erfolgt bereits pränatal durch die Ameloblasten, die ihn von der Schmelz-Dentin-Grenze ausgehend nach außen hin ausbilden. Der Zahnschmelz wird im weiteren Verlauf mineralisiert und dadurch gehärtet. Dabei lässt sich diese Reifung in prä- und posteruptiv unterteilen. Mit dem Durchbruch des Zahnes geht die Schicht aus Ameloblasten, die sich auf der Außenseite des Zahnes befindet, verloren. Eine nachträgliche Schmelzbildung ist deswegen nicht mehr möglich.

Zahnschmelz besteht zu einem Großteil (95 %) aus anorganischem Material. Ein sehr kleiner

Teil besteht aus organischen Verbindungen (1 %), der Rest ist Wasser (4 %).

Die Härte des Zahnschmelzes geht auf den großen Anteil an anorganischer Substanz zurück. Dabei handelt es sich vor allem um Kalzium und Phosphat, aber auch Karbonat, Natrium und Magnesium lassen sich nachweisen. Die genaue Zusammensetzung unterliegt individuellen Schwankungen und hängt unter anderem vom Alter, der Ernährung und der genetischen Veranlagung ab.

Die Struktur des Zahnschmelzes lässt mikroskopisch kleine Kristallite erkennen, die aus Apatit, vor allem Kalziumhydroxylapatit, bestehen. Etwa 100 Schmelzkristallite liegen im Querschnitt beieinander und bilden die Schmelzprismen (Hellwig et al., 2013). Die Bezeichnung der Prismen geht dabei auf deren sechseckigen Querschnitt zurück. Diese Kristallitverbände haben ihren Anfang an der Schmelz-Dentin-Grenze und verlaufen leicht geschwungen bis fast zur Oberfläche des Zahnes (Hellwig et al., 2013). Zwischen den Prismen gelegene Apatitkristalle bezeichnet man als interprismatischen Schmelz. Die äußerste Schmelzschicht ist nicht in Prismen organisiert (aprisomatischer Schmelz) und ist vor allem bei Zähnen der ersten Dentition zu beobachten, die nur daraus bestehen. Der kleine organische Anteil setzt sich fast vollständig aus Proteinen und Lipiden zusammen und umgibt die Schmelzkristallite (Hellwig et al., 2013). Der wässrige Teil des Schmelzes liegt in Form einer Hydrationschale um die Apatitkristalle vor. Ionen aus den Kristalliten können aus dem Apatit herausgelöst werden und diffundieren in das umgebende Wasser. Durch Diffusion ist es weiterhin möglich, dass diese Ionen den Schmelz in Richtung Speichel oder Plaque verlassen (Hellwig et al., 2013).

2.1.2 Der Speichel

Für die Gesundheit des Menschen und die regelrechte Funktion aller oralen Gewebe ist der Speichel unerlässlich. Er besteht vor allem aus Wasser, hat aber auch organische und anorganische Bestandteile (Hellwig et al., 2013).

Die wichtigsten anorganischen Komponenten des Speichels sind Natrium, Kalium, Kalzium, Phosphat, Hydrogenkarbonat und Fluorid. Zu 99 % besteht der Speichel aus Wasser und schützt damit die Schleimhaut und die Dentition vor Austrocknung und ist für die Geschmacksbildung

obligat. Des Weiteren enthält er Muzine, welche für eine ungehinderte Bolusbildung und ein reibungsloses Abschlucken der Nahrung essentiell sind. Ferner dienen sowohl der hohe Wassergehalt als auch die Schleimstoffe der Sprachbildung.

Die antibakterielle, antivirale und antimykotische Potenz des Speichels sorgt schon in der Mundhöhle für die teilweise Inaktivierung bzw. Eliminierung von Krankheitserregern, die durch die Nahrung aufgenommen wurden. Für diese Aufgabe beinhaltet der Speichel Enzyme (z. B. Lysozym und Laktoferrin) und Immunglobuline (Stinson und Levine, 1993).

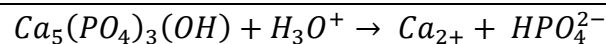
Der Speichel ist maßgeblich am Schutz der Zahnhartsubstanz vor einer überhandnehmenden Demineralisation beteiligt (Hara und Zero, 2014). Er dient als Puffer gegen zu saure Lebensmittel. Die wichtigsten Puffersysteme sind der Bikarbonat- und der Phosphatpuffer. Bikarbonat ist in der Lage durch die Plaque zu diffundieren und auf der Schmelzoberfläche Säuren zu neutralisieren. Im Speichel gelöste Kalzium- und Phosphationen werden in demineralisierte Zahnoberflächen eingelagert und dienen damit der Remineralisation des Zahnes (Dawes, 2008; Hara et al., 2006; Hellwig et al., 2013). Reicht die Pufferkapazität des Speichels nicht aus, kommt es dazu, dass Ionen aus der Zahnhartsubstanz gelöst werden (Barbour und Lussi, 2014). Dieser Schritt bedeutet den Beginn der erosiven Schädigung des Zahns. Es konnte nachgewiesen werden, dass es von Vorteil ist, wenn saure Getränke mit Calcium und Phosphat übersättigt sind (Barbour und Lussi, 2014). Durch die Übersättigung der die Zähne umgebenden Flüssigkeit mit den Ionen findet keine Auslösung derselben aus der Zahnhartsubstanz statt. Das bedeutet, dass es auch bei niedrigem pH-Wert zu keinem Säureangriff auf Schmelz oder Dentin kommt (Barbour und Lussi, 2014).

Patienten, die an einer Xerostomie leiden, sind häufiger von Erosionen betroffen (Järvinen et al., 1991). Daraus resultierend können sogar Produkte, die die Mundhygiene verbessern sollen, bei dieser Personengruppe unter Umständen zu Erosionen führen (Hellwig und Lussi, 2006).

2.1.3 Ätiologie der Erosion

Als Erosion wird definitionsgemäß ein irreversibler Verlust von Zahnhartsubstanz bezeichnet, der durch chemische Prozesse, aber ohne Einwirkung von Bakterien, auftritt (Eccles, 1982; Imfeld, 1996).

Erosion tritt auf, wenn die Demineralisation des Schmelzes oder des Dentins entweder über einen längeren Zeitraum besteht oder wenn die Intervalle, in denen das saure Agens auf die Zähne wirken kann, sehr häufig wiederkehren. Ausreichend lange Phasen der Remineralisation verhindern diesen Prozess.



Damit es zu erosiven Veränderungen des Schmelzes kommen kann, muss ein Ungleichgewicht zwischen De- und Remineralisation vorherrschen. Es konnte festgestellt werden, dass der kritische pH-Wert, unterhalb dessen es zu erosiven Veränderungen kommen kann, bei 5,5 liegt (Lussi et al., 2011; Meurman und ten Cate, 1996). Aber nicht nur die Konzentration der agierenden Säure, sondern auch deren Einwirkzeit und anschließendes Zähneputzen, haben entscheidenden Einfluss auf das Ausmaß der erosiven Schädigung. Es wurde nachgewiesen, dass erodierter Zahnschmelz bei mechanischer Beanspruchung keinen ausreichenden Widerstand besitzt (Eisenburger et al., 2004). Infolge dessen sind freigelegtes Dentin oder stark verkürzte Zahnkronen im Rahmen des Zahnhartsubstanzverlustes häufig zu beobachten. Die Betroffenen werden meist erst in diesem Stadium wegen der zunehmenden Hypersensitivität des freiliegenden Dentins und der unzureichenden Ästhetik auf die Problematik aufmerksam (Lussi et al., 2016).

2.1.4 Die Pellikel als wichtiger Schutzfaktor

Als Pellikel bezeichnet man die erworbene organische Schicht auf der Zahnoberfläche, deren Bildung direkt nach Eruption des Zahnes beginnt (Siqueira et al., 2012). Sie ist das Ergebnis

der Adsorption verschiedener Moleküle, die sowohl dem Speichel als auch dem Sulkusfluids entstammen.

Innerhalb einer Minute adsorbieren Proteine auf der gereinigten Zahnoberfläche und bilden eine 10 – 20 nm dicke Schicht, die im Mikroskop elektronendicht erscheint. Im Verlauf der Pellikelbildung lagern sich weitere Moleküle an und bilden eine äußere, lockere Schicht (Hannig, 1999; Hannig und Joiner, 2006). Hannig (2002) stellte fest, dass die äußere Schicht anfälliger gegenüber Säureangriffen ist als die basale Schicht. In seiner Studie wurde eine Pellikel, die sich über zwei Stunden gebildet hatte, für 60 s einer 0,1%igen Zitronensäurelösung ausgesetzt (Hannig 2002). Die verbliebene Dicke der Pellikel wurde mithilfe der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) bestimmt und es zeigte sich, dass die äußere Schicht zum Großteil entfernt wurde. Wirkt die Säure über 300 s auf die Pellikel ein, ist nur noch die basale Pellikelschicht in der TEM-Analyse zu erkennen, da die äußere, lockere Schicht vollständig abgelöst wurde. Es wird deutlich, dass insbesondere die basale, elektronendichte Schicht bei erosiven Angriffen von Bedeutung ist (Hannig, 2002). Die Existenz von Molekülen, die eine außergewöhnlich hohe Affinität zum Hydroxylapatit des Zahnschmelzes zeigen und deshalb *pellicle precursor proteins* genannt werden, konnte von Lendenmann et al. (2000) verifiziert werden. Sie gehören zu den ersten Proteinen, die während der Pellikelentstehung auf der Zahnoberfläche nachweisbar sind. Zu ihnen gehören beispielsweise Histatin, Statherin und prolinreiche Proteine (Hay, 1973).

Studien belegen, dass es sich bei den Bestandteilen der Pellikel sowohl um Komponenten des Speichels als auch um Moleküle handelt, die beispielsweise aus der Nahrung aufgenommen werden (Siqueira et al., 2012). Es konnte nachgewiesen werden, dass der Prozess der Adsorption selektiv verläuft und nicht alle Proteine aus dem Speichel auch in der Pellikel zu finden sind (Rykke et al., 1990; Skjølrand et al., 1995; Zhang et al., 2015). Des Weiteren imponierte der Prozess der Adsorption in zwei Phasen: Zu Beginn entwickelte sich eine Pellikelschicht innerhalb von 2 bis 3 min, die bis zu einer Zeitdauer von 30 min in ihrer Dicke konstant blieb. Im weiteren Verlauf verbreiterte sich die Schicht um das Dreifache und blieb bis zum Ende des Experiments nach 10 h in ihrer Dicke unverändert (Skjølrand et al., 1995). Als wichtiger Mechanismus zur stabilen Anlagerung der basalen Pellikelschicht an die Zahnschmelzoberfläche konnten die elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen Schmelz und Pellikel aufgezeigt

werden (Zhang et al. 2015). Im Vergleich dazu trugen dieselben Kräfte jedoch nicht zur Verbindung zwischen der basalen und äußeren Schicht der Pellikel bei. Daraus resultierte ein mehr als zweimal stärkerer Verbund zwischen initialer Pellikelschicht und Zahnoberfläche (Zhang et al., 2015). Es stellte sich zudem heraus, dass im Schmelz befindliche Calcium-Ionen die Neigung haben aus der Zahnhartsubstanz in den Speichel überzutreten, wenn sie mit diesem in Berührung kommen. Zurück bleiben Phosphat-Ionen, die der Schmelzoberfläche eine negative Ladung verleihen. Im weiteren Verlauf lagern sich positiv geladene Calcium-Ionen an, sodass sich eine Ionen-Doppelschicht auf dem Zahnschmelz ausbildet (Bennick et al., 1979).

Die zweite Phase der Adsorption läuft weniger schnell ab als Phase eins. In ihr werden weitere Moleküle angelagert, die in Wechselwirkung mit den bereits anhaftenden Proteinen stehen (Hannig und Joiner, 2006). Hannig und Joiner (2006) führten zudem an, dass wahrscheinlich noch andere physikalische Kräfte innerhalb der Pellikel agieren müssen, um die große Komplexität an Proteinen zu erklären, die in der initialen Pellikel nachgewiesen werden kann. Sie verweisen auf Van-der-Waals-Kräfte und hydrophobe Wechselwirkungen als denkbare Möglichkeiten (Hannig und Joiner, 2006). Aber nicht überall auf dem Zahnbogen läuft die Adsorption der Proteine und damit die Ausbildung der Pellikel gleich ab. Die Dicke der Pellikel variiert zum Teil stark in Abhängigkeit von der Zahnfläche (Amaechi et al., 1999; Hannig, 1999). Es konnte dargelegt werden, dass die linguale Pellikelschicht nach 2 h 20-80 nm dick war und nach 24 h eine Dicke von 100-200 nm erreicht hatte. Sie setzte sich dabei vor allem aus granulären Bestandteilen zusammen. Im Gegensatz dazu war die Pellikelschicht auf der bukkalen Seite der Zähne bereits nach 2 h zwischen 200 und 700 nm dick. Nach Ablauf der 24 h konnte eine Dicke von 1000 bis 1300 nm festgestellt werden. Auf der der Wange zugewandten Seite konnten die Forscher den Beleg erbringen, dass nicht nur granuläre, sondern auch globuläre Bestandteile vorhanden waren (Hannig, 1999). Für die Ausprägung der Pellikel ist demnach sowohl das Angebot an verfügbaren Speichelbiopolymeren als auch der Abrieb, verursacht durch Zunge oder Wange, von entscheidender Bedeutung (Hannig, 1999, 1997). Gerade in der Anfangsphase der Pellikelbildung scheinen kleine einzelne Proteine eher von untergeordneter Bedeutung zu sein. Für das rasche Wachstum der Schicht sind vielmehr große Komplexe von Proteinen verantwortlich. Das Aminosäureprofil der sogenannten *micelle-like structures* stellte sich als auffallend

ähnlich dem der initialen Pellikel dar (Young et al. 1999). Das legt den Schluss nahe, dass diese Strukturen ein Hauptbestandteil der Pellikel sind, die zu Beginn des Adsorptionsprozesses entsteht (Young et al., 1999). Auch ein Zusammenhang zwischen Ernährung und der Art der Pellikelzusammensetzung konnte von Vacca Smith und Bowen (2000) bewiesen werden. In deren Experiment spülten Probanden, die Prüfkörper zwischen 30 s und 20 min im Mund trugen, mit Lösungen unterschiedlicher Inhaltsstoffe. In einer späteren Analyse mittels *Western Blot* konnten Bestandteile der jeweiligen Lösungen auf den Plättchen nachgewiesen werden (Vacca Smith und Bowen, 2000).

Es konnte belegt werden, dass die Pellikel als semi-permeable Membran dient, die den Zahn vor der Einwirkung von Säuren schützen kann (Hara und Zero, 2014; Zahradnik et al., 1976). Die Pellikel hat die Fähigkeit die Diffusion von Säuren, aber auch von Ionen, zu beeinflussen und zu verlangsamen (Moreno und Zahradnik, 1979; Slomiany et al., 1986). Trotzdem ist sie nicht in der Lage einen Übertritt von Bestandteilen aus der Matrix des Zahnes in das flüssige Medium vollständig zu inhibieren (Hannig, 2002; Hannig et al., 2003; Hannig und Balz, 2001, 1999). Es konnte gezeigt werden, dass die Zahnhartsubstanz, die von der Pellikel bedeckt war, durch die Säure weniger demineralisiert wurde als Vergleichsproben ohne Pellikelschutz (Amaechi et al., 1999; Hannig et al., 2004; Hannig und Balz, 1999; Kautsky und Featherstone, 1993; Meurman und Frank, 1991; Wiegand et al., 2008). Dabei schien es in unterschiedlichen In-vivo-Studien keine Rolle zu spielen, ob sich die Pellikel über 24 h oder sieben Tage entwickeln konnte (Hannig, 2002; Hannig et al., 2003; Hannig und Balz, 2001, 1999). Demgegenüber belegten frühere In-vitro-Experimente einen verbesserten Schutz der Zahnhartsubstanz gegen Erosionen, wenn die Pellikel eine zeitlichen Maturation durchlaufen konnte (Zahradnik et al., 1976).

Die Pellikel selbst bleibt während erosiven Prozessen nicht unverändert, sondern wird in ihrer Dicke reduziert. In verschiedenen Versuchen wurde belegt, dass die Schichtstärke der Pellikel über die Zeit der Säureexposition abnimmt. Aber auch nach fünfminütiger Behandlung mit einprozentiger Zitronensäure waren noch Reste der Pellikel nachweisbar (Hannig und Balz, 1999). Es konnte gezeigt werden, dass die Art der Säure, die zum Einsatz kam, keinen Unterschied für die Protektivität der Pellikel bedeutete (Wiegand et al., 2008).

2.1.5 Ursachen erosiver Zahnschmelzveränderungen

Es existieren verschiedene Ursachen für erosive Defekte an der Zahnhartsubstanz. Diese können zum einen auf Lebensgewohnheiten, die Einnahme bestimmter Medikamente und äußere Umstände zurückzuführen sein, zum anderen auf Krankheiten des Verdauungstrakts oder des Nervensystems.

Im Folgenden werden diese extrinsischen (nicht direkt auf den Patienten zurückzuführen) und intrinsischen (Ursache geht vom Patienten selbst aus) Faktoren weiter ausgeführt (Tab. 1)

Tabelle 1: Übersicht über Ursachen erosiver Veränderungen am Zahnschmelz

extrinsisch	intrinsisch
Verzehr saurer Speisen (z.B. Orangen)	Refluxerkrankungen
Verzehr säurehaltiger Getränke	Bulimie
Konsum saurer Süßigkeiten	Anorexia nervosa
Berufsbedingte Säureexposition	Neurologische Erkrankungen (M. Menière, Migräne)
Medikamenteneinnahme (z. B. ASS)	

2.1.5.1 Extrinsische Ursachen

Mit extrinsischen Faktoren, die zu erosiven Läsionen führen, assoziiert man zumeist vor allem säurehaltige Getränke. Insbesondere *Coca-Cola* und *Sprite*, aber auch Orangensaft spielen dabei eine wichtige Rolle (Richards, 2016). In den letzten Jahren nahm der Konsum von Früchten und Rohkost stark zu. Das ist darauf zurückzuführen, dass sich zunehmend mehr Menschen ihrer Gesundheit und Fitness bewusst sind. *Clean Eating* und eine kohlenhydratarme Kost spielen bei einer immer größer werdenden Gruppe von Menschen eine immer wichtigere Rolle. Dieses neue Essverhalten könnte zum Rückgang der Kariesinzidenz, aber auch zu einer Zunahme erosiver Zahnschädigung führen.

Es konnte gezeigt werden, dass die Zahnhartsubstanz der Personen, die Zitrusfrüchte mehr als

einmal täglich und Softdrinks täglich zu sich nehmen, erosive Veränderungen aufwies (Järvinen et al., 1991). Der wöchentliche Verzehr von Apfelessig stellte ebenfalls eine Gefahr für Schmelz und Dentin dar (Järvinen et al., 1991). Eine japanische Studie konnte die Verbindung zwischen bestimmten Essgewohnheiten (Konsum von Fruchtsäften oder Früchten) und dem Auftreten erosiver Läsionen in einer Untersuchung mit 1108 Teilnehmenden verifizieren (Kitasako et al., 2015). Von Dugmore und Rock (2004) konnte dargelegt werden, dass die Gefahr von Erosionen bei Zwölfjährigen durch den hohen Konsum von kohlenensäurehaltigen Getränken um 252 % zunimmt (Dugmore und Rock, 2004). Lussi et al. (1993) belegten, dass das erosive Potenzial von Getränken und Lebensmitteln maßgeblich mit deren Säuregehalt, pH-Wert und Calciumbeziehungweise Fluoridgehalt zusammenhängt (Lussi et al., 1993). Durch den Zusatz von Calcium, Phosphat und/oder Fluorid kann das erosive Potenzial von Softdrinks, aber auch von Fruchtsäften jedoch reduziert werden (Attin et al., 2005; Larsen und Nyvad, 1999a; Ostrowska et al., 2016; Rai et al., 2018). Bemerkenswert erscheint das Ergebnis einer Studie von Phelan und Rees (2003), die bei verschiedenen Kräutertees ein zum Teil größeres erosives Potenzial feststellten als bei Orangensaft (Phelan und Rees, 2003). Ein stetig steigender Konsum von Sportgetränken ist zu beobachten, was damit in Zusammenhang steht, dass für viele Menschen die sportliche Betätigung und Fitness eine zunehmend zentrale Rolle im Leben spielt. Allerdings ist bekannt, dass ebendiese Getränke ein erosives Potenzial besitzen (Milosevic, 1997). Schon der wöchentliche Konsum kann zu Zahnhartsubstanzschäden führen (Järvinen et al., 1991). Eine Studie fand heraus, dass der gewohnheitsmäßige Verzehr von Snacks mit künstlichem Zitronenaroma auch das Potenzial birgt Erosionen hervorzurufen (Mafla et al., 2017). Auch der regelmäßige Konsum von Alkohol spielt wahrscheinlich eine wichtigere Rolle beim Auftreten erosiv bedingten Schmelz- oder Dentinverlustes als bisher angenommen. So birgt schon der geringe, aber regelmäßige Konsum von Alkohol über einen längeren Zeitraum ein Erosionsrisiko für die Zähne (Alaraudanjoki et al., 2016).

Ebenso begünstigt die Einnahme bestimmter Medikamente die Entstehung von Erosionen. Dazu zählen zum einen Vitamin-C-Kautabletten, die über einen längeren Zeitraum im Mund verweilen (Meurman und Murtooma, 1986), aber auch ASS und Präparate gegen Magenbeschwerden können zu Erosionen führen, wenn sie als Pulver oder Kautablette verabreicht werden (Hellwig und Lussi, 2006). Von Kielbassa und Meyer-Lueckel (2001) konnte gezeigt

werden, dass bestimmte Produkte für Xerostomie Patienten zu einem zunehmenden Dentinverlust führen können (Kielbassa und Meyer-Lueckel, 2001). Der Konsum von Drogen kann auch zu erosiven Veränderungen der Zahnhartsubstanz führen. Die Einnahme von *Ecstasy* (MDMA) führt oftmals nicht nur zu Übelkeit und Erbrechen, sondern auch zu Mundtrockenheit und daraus resultierend einem erhöhten Genuss von Getränken wie Softdrinks, die ein erosives Potenzial bergen (Brand et al., 2008).

Nicht zuletzt kommt es bei Arbeitern, die täglich mit Säuredämpfen in Kontakt geraten, zu Erosionen der Zähne. Es konnte gezeigt werden, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Säure und den erosiven Schäden der Zähne der Arbeiter bestand (Amin et al., 2001; Arowojolu, 2001).

2.1.5.2 Intrinsische Ursachen

Von intrinsischen Faktoren spricht man, wenn das Absinken des pH-Werts in der Mundhöhle nicht durch die Zufuhr saurer Substanzen von außen bedingt ist, sondern die Säure von aboral durch gastroösophagealen Reflux (GERD) oder Erbrechen in den Mund gelangt.

Das Auftreten von Essstörungen bei jungen Frauen und Männern ist in den vergangenen Jahren stetig gestiegen. Laut einer Studie des *Robert-Koch-Instituts* sind 28,9 % der Mädchen zwischen 11 und 17 Jahren von einer Essstörung betroffen und damit beinahe doppelt so häufig wie gleichaltrige Jungen (15,2 %) (Schlack und Hölling, 2007). Die Unzufriedenheit mit dem eigenen Körper spielt hierbei eine wichtige Rolle und wird oftmals durch Fernsehen und Internet noch bestärkt. Es gibt grundsätzlich mehrere unterschiedliche Arten der Essstörung. Die bekanntesten Formen sind zum einen die *Bulimia nervosa*, zum anderen die *Anorexia nervosa*. Beide gehen jedoch mit einem erheblichen Gewichtsverlust, hormonellen Störungen, einer fehlerhaften Selbstwahrnehmung und oftmals einer Dehydrierung einher.

Die *Anorexia nervosa* ist durch eine verminderte Nahrungsaufnahme, Erbrechen und/oder die Einnahme abführender Medikamente gekennzeichnet. Oftmals wird zur Gewichtsreduktion zusätzlich exzessiv Sport betrieben (Zeller et al., 2011). Bei der *Bulimia nervosa* ist das Auftreten

von Heißhungerattacken pathognomonisch. Die Patienten reagieren auf den übermäßigen Konsum von Nahrungsmitteln im Nachhinein mit selbst induziertem Erbrechen, extremer körperlicher Aktivität oder Phasen der Nahrungskarenz (Zeller et al., 2011).

Es ist bei beiden Krankheitsbildern auffällig, dass vor allem die palatinalen/lingualen Flächen der Zähne betroffen sind (Uhlen et al., 2014), da die Magensäure bei der Emesis mit diesen Flächen zuerst bzw. vermehrt in Kontakt tritt. Andere Studien konnten den Nachweis erbringen, dass zusätzlich zu den lingualen/palatinalen Erosionen, auch bukkale Zahnhartsubstanzveränderungen beobachtet werden konnten, wenn aufgrund der auftretenden Dehydrierung oder der abführenden Eigenschaften vermehrt Früchte und saure Getränke konsumiert wurden (Hellström, 1977; Hurst et al., 1977). Es zeigte sich zudem, dass Patienten mit Essstörungen, wegen des gestörten Wasserhaushalts, oftmals weniger Speichel produzieren. Der vorhandene Speichel besitzt zusätzlich meist eine noch schlechtere Pufferkapazität und Remineralisationsfähigkeit, was vermehrt Erosionen begünstigt (Hellström, 1977; Hurst et al., 1977). Ein weiterer Grund für das Auftreten von Magensäure in der Mundhöhle stellt der gastroösophageale Reflux dar. Definitionsgemäß bezeichnet dieser Begriff eine pathologische gegen die Strömungsrichtung gerichtete Bewegung von saurem Mageninhalt in die Speiseröhre und den Mundraum (Layer und Rosien, 2017). Ein zu geringer Muskeltonus des unteren Ösophagussphinkters begünstigt die Entstehung des Refluxes. Dazu kommen noch Lebensgewohnheiten wie übermäßiges Essen, Alkohol- und Nikotinabusus. 65 % der westlichen Bevölkerung leiden einmal in ihrem Leben an GERD. Erst das wiederkehrende Vorkommen von Magensäure im Bereich der Zähne führt zu einem sichtbaren Verlust von Schmelz oder Dentin. Es konnte dokumentiert werden, dass vor allem die Palatinalflächen der Zähne betroffen sind und dass es im Zuge des Refluxes zu moderaten bis schweren Läsionen kommen kann (Moazzez und Bartlett, 2014). *Järvinen et al.* (1988) konnten ebenfalls einen Zusammenhang zwischen GERD und der Manifestation erosiver Schädigungen an Zähnen nachweisen (Järvinen et al., 1988). Auch neurologische Erkrankungen, die mit einer Neigung zum Erbrechen verbunden sind, können ein Grund für das Auftreten säurebedingter Verluste der Zahnhartsubstanz sein. *Morbus Menière* ist ein Beispiel für eine derartige Erkrankung, bei der es zu Schwindelanfällen und häufig zur wiederholten Emesis kommen kann. Bei der Migräne leiden die Patienten an starken Kopf

schmerzen und oftmals ebenfalls an Erbrechen. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass die Magensäure in jedem Fall über einen Zeitraum von mehreren Jahren regelmäßig auf Schmelz und Dentin einwirken muss, um klinisch sichtbare Schäden hervorzurufen (Scheutzel, 1996). Eine Studie aus dem Jahr 2016 beschrieb einen Zusammenhang zwischen der Anfälligkeit für Erosionen und dem Geschlecht, da oftmals mehr Männer betroffen sind. Die Wissenschaftler konnten signifikante Verbindungen zwischen dem erosiven Schmelzverlust und Amelogenin der Frau (AMELX), Tuftelin-1 (TUFT1) und dem *tuftelin-interacting protein 11* (TFIP11) feststellen. Bei den weiblichen Probanden wurde eine Assoziation zwischen dem Gen für die Schmelzbildung und der geringeren Anfälligkeit für erosive Prozesse nachgewiesen (Uhlen et al., 2016).

2.1.6 Prävalenz und Inzidenz in der Bevölkerung

Die Anzahl der veröffentlichten Studien, die sich mit dem Vorkommen erosiv bedingter Zahnhartsubstanzveränderungen und deren Neuerscheinungen in den letzten Jahren beschäftigen, nimmt stetig zu. Allerdings lassen sich die vorhandenen Berichte und Ergebnisse aufgrund ihrer Heterogenität schlecht miteinander vergleichen und verallgemeinern. Das hat zum einen damit zu tun, dass oftmals spezielle Personengruppen als Probanden für die Studien herangezogen werden, die besonders anfällig für Erosionen sind. Zum anderen damit, dass es verschiedene Klassifikationen zur Beurteilung erosiver Läsionen gibt, die nur unzureichend miteinander verglichen werden können. Die Bewertung der Zahnhartsubstanzdefekte ist zudem stets vom Behandler abhängig, was die Studien oft nur schwer komparabel macht.

In einer Studie von Lussi et al. aus dem Jahr 1991 konnte eine Zunahme des Auftretens von Erosionen nachgewiesen werden. Zwei Personengruppen wurden dabei unterschieden: In der jüngeren Gruppe (26-30 Jahre) imponierte bei 7,7 % mindestens ein Zahn, der okklusal erosiv angegriffen war, bei der älteren Gruppe (46-50 Jahre) waren es sogar 13,2 %. Die säurebedingte Läsion betraf dabei auch das Dentin. Durchschnittlich waren 3,5 Zähne bei den jüngeren Probanden und 2,8 Zähne bei den älteren betroffen (Lussi et al., 1991). *Lussi et al.* zeigten ebenfalls, dass nach einem Zeitraum von sechs Jahren, die Zunahme der Zähne mit labialen und

okklusalen Erosionen bei älteren Personen (46-50 Jahre) höher war als bei den jüngeren (26-30 Jahre) (Lussi und Schaffner, 2000). Eine Zunahme der Prävalenz bei drei bis vierjährigen britischen Kindern zwischen 1993 und 1996/97 konnte dargelegt werden, was mit einem vermehrten Konsum von kohlenensäurehaltigen Getränken in Verbindung gebracht wurde (Nunn et al., 2003). Eine weitere Studie dokumentierte das Vorhandensein erosiver Zahnschäden in 62 Schulen einer britischen Stadt. 56,3 % der Zwölfjährigen und 64,1 % der Vierzehnjährigen wiesen Veränderungen auf, die säurebedingten Ursprungs waren. Zwei Jahre später konnten bei 12,3 % der Kinder, die vormals mit zwölf Jahren keinen Hinweis auf eine Läsion erkennen ließen, Erosionen festgestellt werden (Dugmore und Rock, 2003). Eine neue klinische Untersuchung, an der kolumbianische Kinder und Jugendliche im Alter zwischen zehn und fünfzehn Jahren partizipierten, ergab eine Prävalenz von Erosionen von 57,3 % (Mafla et al., 2017). Polnische Wissenschaftler konnten bei der Untersuchung 18-jähriger Patienten eine Prävalenz leichter Erosionsdefekte bei 28,9 % ermitteln, mittelschwere Läsionen waren bei 12 % der Untersuchten erkennbar und 1-4 % der jungen Erwachsenen ließen schwere Hartsubstanzschäden erkennen. Insgesamt war eine Prävalenz von 42,3 % feststellbar. Die Studie kam auch zu dem Ergebnis, dass bei Männern eine erhöhte Prävalenz auftrat (Strużycka et al., 2016). *Mulic et al.* (2016) ermittelten die Prävalenz von Erosionen bei 16-jährigen Jugendlichen in Norwegen. Bei 38 % der Probanden waren Zeichen der Schädigung an mindestens einer Zahnfläche zu erkennen. Davon beschränkten sich 18 % der erosiven Läsionen nur auf den Schmelz, 20 % reichten aber schon bis in das Dentin hinein. Das Auftreten von *Cupplings*, Grübchenbildung aufgrund erosiver Einflüsse, konnte bei 93 % festgestellt werden. Männer waren auch bei dieser Studie häufiger betroffen als Frauen (Mulic et al., 2016). Die Erosionsprävalenz bei deutschen Kindergartenkindern im Alter von 3-6 Jahren ergab 2014/15 einen Wert von 45,4 %, im Vergleich dazu war der Wert 2004/05 deutlich geringer (31,3 %). Je älter die Kinder waren, desto höher war die Prävalenz erosiver Zahnhartsubstanzdefekte. Bei Jungen waren säurebedingte Schäden häufiger zu diagnostizieren als bei gleichaltrigen Mädchen (Tschammler et al., 2016). Eine Studie an Schweizer Soldaten, die die Prävalenz erosiver Zahnhartsubstanzverluste der Jahre 1996 und 2006 miteinander verglich, kam zu einem anderen Ergebnis. 60,1 % der Probanden des Jahres 2006 zeigten Zeichen erosiver Schädigungen der okklusalen Zahnflächen ohne Dentinbeteiligung, im Jahre 1996 waren es noch 82,0 %. Auch die vestibulären Flächen (nur

Schmelzläsionen) waren 2006 weniger häufig betroffen (7,7 %) als 1996 (14,4 %). Interessanterweise gaben 83,9 % der Soldaten 2006 an mehr als fünfmal pro Tag säurehaltige Lebensmittel zu sich zu nehmen, zehn Jahre zuvor waren es noch 53 %. In dieser Studie konnte demnach keine Verbindung zwischen den Ernährungsgewohnheiten der Probanden und dem Auftreten erosiver Zahnschäden belegt werden (Lussi et al., 2015).

2.1.7 Diagnostik der erosiven Läsionen und deren Einteilung

Eine frühzeitige Diagnostik der erosiven Zahnhartsubstanzdefekte ist meist schwer umsetzbar. Im Anfangsstadium zeigen die Zähne nur diskrete Veränderungen, wie eine glänzende Oberfläche. Bei Jugendlichen fehlen die *Perikymatien* (Hellwig et al., 2013). Der Schmelzmantel ist meist flächenhaft geschädigt, weist aber keine Zeichen einer Erweichung auf. Im weiteren Verlauf entstehen erste okklusale Dellen und vorhandene Füllungsrän­der imponieren erhöht (Lussi et al., 2016). Wirkt die saure Noxe weiterhin auf den Zahn ein, werden die Dellen immer tiefer und es kann zum *Cupping* kommen, dabei weisen vor allem die Höckerspitzen Grübchen auf. Die Zahnmorphologie geht immer weiter verloren, im Extremfall kommt es zur Zerstörung der Zahnkrone (Bartlett, 2009). Ästhetische Probleme und ein Absinken der Bisslage sind die Folge. In dieser Phase, bei der das Dentin ebenfalls von der Schädigung betroffen ist, spricht man von einer fortgeschrittenen oder Spätläsion (Hellwig et al., 2013; Lussi et al., 2016).

2.1.8 Prävention erosiver Prozesse

Grundsätzlich sind zwei Ansätze bei der Prävention der Erosion etabliert. Zum einen kann der Versuch unternommen werden, den Kontakt der Säure zu den Zähnen zu verhindern. Das würde einen zumindest teilweisen Verzicht auf saure Lebensmittel erfordern. Zum anderen könnten die sauren Agenzien dahingehend modifiziert werden, dass ihr erosives Potenzial reduziert wird.

Bei vielen Menschen stellt die Art der Ernährung einen Hauptgrund für Schäden an den Zähnen dar. Durch gezielte Aufklärung und Schulung der Patienten in Bezug auf die Gründe und die

Vorbeugung der Erosion könnte diesem Umstand Sorge getragen werden (Zero und Lussi, 2005). Die Reduktion der täglichen Zufuhr von Softdrinks, Sportgetränken oder anderen sauren Lebensmitteln wäre ein geeignetes Mittel. Es konnte gezeigt werden, dass Personen, die Softdrinks oder ähnliches für eine längere Zeit im Mund behalten (71 s statt 40 s), gravierendere Erosionsschäden erkennen lassen als Menschen, die das Getränk direkt herunterschlucken (Johansson et al., 2002). Bei Reflux-Patienten ist die Reduktion der Magensäureproduktion die meistgenutzte Therapie. Auch die Umstellung der Ernährung und eine Reduktion des Körpergewichts bei Übergewicht können zu einer Verbesserung der Krankheit führen. Viele GERD-Patienten berichten vor allem auch über nächtliche Beschwerden. Die erhöhte Lage des Oberkörpers während des Schlafens kann eine Möglichkeit sein Abhilfe zu schaffen. Liegt den erosiven Zahnhartsubstanzdefekten eine Essstörung zugrunde, ist eine psychologische Betreuung in jedem Falle sinnvoll. Oftmals ist der Zahnarzt die erste Person, der das mögliche Vorliegen einer Essstörung im Rahmen der intraoralen Befunderhebung auffällt. Eine enge Zusammenarbeit mit allgemeinmedizinischen Ärzten ist bei der Behandlung dieser Patienten unabdingbar. Ist ein verminderter Konsum erosiver Lebensmittel nicht möglich, sollten Getränke bevorzugt werden, denen erosionsprotektive Zusätze beigefügt wurden, um so etwaige Läsionen der Zähne zu vermeiden. *Attin et al.* (2005) konnten verifizieren, dass Softdrinks, die mit Kalzium versetzt wurden, eine geringere Erosion der Prüfkörper zur Folge hatten als entsprechende Getränke ohne Kalzium (*Attin et al.*, 2005). Auch das Beifügen von 30 mmol/l Phosphat und 40 mmol/l Kalzium zu Orangensaft ergab im Rahmen einer Studie eine geringere Schädigung der Zahnhartsubstanz als ein Orangensaft ohne Zusätze (*Larsen und Nyvad*, 1999b). Durch das Übersättigen des Saftes mit Kalzium und Phosphat bleibt die Zahnhartsubstanz besser geschützt, da die Ionen nicht aus dem Zahnschmelz in Lösung gehen. Der Effekt konnte auch bei Sportgetränken beobachtet werden (*Ramalingam et al.*, 2005). Auch in Mundhygieneprodukten werden erosionsprotektive Zusätze wie Kalium und Fluorid beigefügt. Deren schützende Wirkung konnte in einer Studie an Zähnen der ersten und vor allem auch der zweiten Dentition bewiesen werden (*Zawaideh et al.*, 2017). Die Verwendung fluoridhaltiger Präparate in Form von Mundspüllösungen oder Gels zusätzlich zu einer Zahnpasta mit Fluorid hat einen protektiven Effekt und schützt Schmelz und Dentin vor erosiver Schädigung (*Bartlett*, 2009; *Lussi et*

al., 2006; Lussi und Hellwig, 2014). Desweiteren konnten *Vieira et al.* (2005) einen säureprotektiven Effekt von Fluoridlacken feststellen (Vieira et al., 2005).

2.1.9 Spüllösungen zur Erosionsprävention

2.1.9.1 Tanninsäure - als Adstringenz

Die Tanninsäure ist ein Polymer von Gallussäure und Glukose. Sie kommt in der Rinde verschiedener Bäume wie Eichen und Kastanien und in Sträuchern vor und dient der Abschreckung von Herbivoren.

Die Tanninsäure gehört zu den Adstringenzien. Das Wort *adstringere* kommt aus dem Lateinischen und bedeutet zusammenziehen, was die Wirkung der Tanninsäure gut beschreibt. Kommt es zum Kontakt zwischen der Säure und einem Eiweiß, so wird das Eiweiß gebunden und fällt aus (Sarni-Manchado et al., 2008). Dieser Effekt lässt sich v.a. beim Genuss von Rotwein beobachten. Die Eiweiße im Speichel (Mukoproteine) dienen als Lubrikanten und werden durch die Tanninsäure in ihrer Wirkung gehemmt, indem sie mit ihr Komplexe bilden. So entsteht das trockene, pelzige Gefühl, das nach einem Schluck Wein oft zurückbleibt und als adstringierender Effekt bezeichnet wird (Ma et al., 2016). In der Dermatologie wird die Tanninsäure beispielsweise zur Behandlung von Verbrennungen ersten Grades, Windeldermatitis und Ekzemen herangezogen. Dafür wird das Tannin zu einer Salbe verarbeitet (Altmeyer, 2013). Durch die oberflächliche Gerbung der Haut wird eine Art Schutzschicht geschaffen, und nässende Wunden trocknen aus, was Bakterien und Pilzen den Nährboden entzieht.

Es konnte gezeigt werden, dass die Tanninsäure Wunden an inneren Organen sicher verschließen kann und so zur Wundheilung beiträgt. Eine Gruppe chinesischer Wissenschaftler um *Kim* entwickelten das Produkt *TAPE*, bestehend aus Tanninsäure und Polyethylenglykol. Im Gegensatz zu anderen Wundklebern wie Fibrin, ist die Herstellung von *TAPE* unkompliziert. Ein weiterer großer Vorteil liegt in der biologischen Abbaubarkeit der Verbindung bei gleichzeitiger hervorragender Klebewirkung im feuchten Milieu. *TAPE* haftet laut *Kim et al.* (2016) zweieinhalbmal stärker als ein Fibrinkleber (Kim et al., 2016).

In der Vergangenheit wurde der Tanninsäure oft eine hepatotoxische Eigenschaft zugeschrieben, aufgrund derer der Konsum von Wein oder Tee als gefährlich eingestuft wurde. Jedoch konnte eine Toxizität in Tierversuchen nicht belegt werden (Handler und Baker, 1944; Singleton, 1981).

Adstringenzen kamen in einer Studie zur Modifikation der oralen Pellikel zur Anwendung. Mithilfe von Cistus-Tee sollte die bakterielle Adhärenz reduziert und damit das Risiko für Karies vermindert werden. Nach zehnminütiger Spülung mit dem polyphenolhaltigen Tee und einer intraoralen Expositionszeit der Prüfkörper von 120 Minuten konnte eine signifikante Reduktion der Bakterienzahl gegenüber der Vergleichsgruppe bewiesen werden (Hannig et al., 2008). Eine weitere Studie, bei der die Prüfkörper für 48 h dem oralen Milieu ausgesetzt waren und währenddessen mehrfach mit Tanninsäure gespült wurde, zeigten eine verminderte bakterielle Besiedlung der Pellikel (Schestakow et al., 2021). Auch weitere Studien kamen zu dem Ergebnis, dass die Spülung mit einer adstringenten Lösung (in diesen Fällen Tanninsäure) einen positiven Effekt auf die Pellikel und ihre Zusammensetzung haben können (Hertel et al., 2017; Rehage et al., 2017).

2.1.9.2 *Theranovis* - als Kombination ätherischer Öle

Theranovis ist ein Produkt der *theranovis GmbH & Co. KG* und soll bei regelmäßiger Anwendung Zahnstein im Mund erweichen, sodass dieser abgebürstet werden kann. Unangenehmem Mundgeruch soll so vorgebeugt werden.

Es enthält pflanzliche Öle aus den Kernen von Traube und Grapefruit, die laut Hersteller eine antibakterielle Wirkung haben und Zahnstein entfernen können. Diese Öle enthalten Polyphenole (Proanthocyanidin), die Ähnlichkeit zu den Tanninen besitzen. Zudem enthält es Extrakte aus Thymian, Rosmarin und Pfefferminze, die für einen guten Geschmack zuständig sind und gegen Bakterien wirken. Weitere Inhaltsstoffe sind Wasser und Alkohol als Konservierungsmittel. Durch die Beseitigung von Zahnstein, dem Nährboden von Mikroorganismen und die Abtötung derselben, verhindert *Theranovis* die Entstehung der Halitosis. Nebenwirkungen sind nicht bekannt und auch das Verschlucken der Lösung hat keine Auswirkung auf die Gesundheit. Da *Theranovis* keine Säure enthält, greift es die Zahnhartsubstanz nicht an und eine

Verfärbung der Zähne durch das Mittel konnte nicht festgestellt werden. Allerdings stellt der enthaltene Alkohol eine Kontraindikation für ehemalige Alkoholabhängige dar und sollte von ihnen nicht angewendet werden.

Die Spülung mit einer Kombination aus dem Extrakt der schwarzen Johannisbeere und des Oregano führte in einer Studie zu einer dickeren Pellikelschicht und damit zu einem verbesserten Erosionsschutz (Weber et al., 2015). Beide Extrakte gehören wie die Inhaltsstoffe von *Theranolis* zu den ätherischen Ölen.

Eine Studie von Cardoso et al. (2020) konnte die erosionsprotektive Wirkung einer Proanthocyanidin-haltigen Lösung auf das Dentin belegen (Cardoso et al., 2020).

2.2 Ziel der Studie

Das erosionsprotektive Potenzial unterschiedlicher Stoffe konnte in diversen Studien bereits belegt werden (Rehage et al., 2017; Schestakow et al., 2021). Die Pellikel, als erworbene Schicht auf der Zahnoberfläche, wurde ebenfalls untersucht und ihre Eigenschaft als Schutzfaktor für die Zahnoberfläche konnte nachgewiesen werden (Hannig et al., 2004; Hannig und Balz, 1999). Auch unterschiedliche Öle wurden auf ihr Pellikel modifizierendes Potenzial hin getestet (Hannig et al., 2012; Fine et al., 2007). Trotz der diversen Studien zu diesen Themen, ist eine weitere Überprüfung von Adstringenzen und Ölen in Bezug auf ihr erosionsprotektives Potenzial notwendig.

Wäre ein schützender Effekt durch Tanninsäure nachweisbar, wäre die Integration des Stoffes in den Alltag der Patienten leicht zu bewerkstelligen, da sie Bestandteil vieler Tees ist. Sie wäre eine preiswerte Lösung bei der Behandlung von erosiven Zahnhartsubstanzschäden. *Theranolis* ist als Mundspray oder Gel schon jetzt frei verkäuflich und könnte problemlos in die tägliche Mundhygieneroutine miteinbezogen werden. Auch *Theranolis* verursacht keine Allergien und kann von den meisten Personen bedenkenlos verwendet werden.

Das Ziel der vorliegenden In-vivo/In-vitro-Studie ist es das protektive Potenzial von *Theranolis* und Tanninsäure in Bezug auf erosive Säureangriffe zu quantifizieren und zu vergleichen.

Um einen geeigneten Versuchsaufbau zu konstruieren, wurden Vorversuche durchgeführt. Innerhalb derer wurden die intraorale Tragedauer der Prüfkörper, der Spülmodus und die Säureexpositionszeit erprobt und angepasst. Um valide Resultate zu erhalten, wurde zudem vor der eigentlichen Versuchsdurchführung eine Standardisierung der Prüfkörper durchgeführt. Die Auswertung erfolgte nach der Tragephase und Säureexposition mittels Oberflächenprofilometrie und Mikrohärtmessung. Zur besseren Veranschaulichung der erosiven Angriffe auf den Zahnschmelz wurde im Anschluss daran noch die Beurteilung der Oberflächenstruktur mithilfe des Rasterelektronenmikroskops vorgenommen.

3 Material und Methode

3.1 Entwicklung der Versuchsmethode - Vorversuche

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Studien, die sich mit einer möglichen Erosionsprotektivität unterschiedlicher Stoffe beschäftigen. In der hier vorliegenden Studie sollte jedoch ein neuer Modus zur Überprüfung des säureprotektiven Potenzials von ätherischen Ölen und Adstringenzen zur Anwendung kommen. Aus diesem Grund wurde auf kein Verfahren, welches in der Literatur bereits beschrieben worden war, zurückgegriffen.

Die ersten Versuchsreihen befassten sich mit der Entwicklung einer geeigneten Versuchsmethode, die es ermöglichen sollte, Tanninsäure respektive *Theranos* auf ihre Säureprotektivität zu prüfen.

3.1.1 Auswahl der Prüfkörper - Standardisierung

Die Gewinnung der Prüfkörper erfolgte im Zuge aller Vorversuche und der endgültigen Versuchsreihen gleichermaßen. Die Oberflächenstruktur der Prüfkörper konnte mittels eines Mikroskops überprüft werden, sodass einzelne Prüfkörper bei einem Vorhandensein von Mikrorissen oder anderer Unebenheiten für die weiteren Versuche nicht genutzt wurden. Trotzdem ließen sich strukturelle Differenzen der Prüfkörper, vor allem bei der späteren Mikrohärtmessung, feststellen, die zum Ausschluss des Prüfkörper führten. Es erschien sinnvoll die Prüfkörper schon vor der intraoralen Expositionszeit zu standardisieren. Dafür wurde die Mikrohärtmessung herangezogen. An fünf verschiedenen Stellen des Prüfkörper wurde die Mikrohärt überprüft. Nur Prüfkörper, bei denen ein Härtewert von 300 bis 400 festgestellt wurde, konnten dem weiteren Prozess zugeführt werden.

Die Standardisierung erfolgt bei allen Prüfkörper, die im weiteren Verlauf für Messungen der Oberflächenrauheit und der Mikrohärt nach intraoraler Tragezeit und Säureätzung genutzt werden sollten. Prüfkörper, deren Oberfläche im Rasterelektronenmikroskop überprüft werden sollten, wurden ohne Standardisierung verwendet.

3.1.2 Intraorale Expositionszeit

In den ersten Versuchsreihen wurden die Prüfkörper dem oralen Milieu für 30 min bzw. 2 h ausgesetzt. Nach 3 min erfolgte bei allen Prüfkörper die Spülung mit dem jeweiligen Reagenz. Die eine Hälfte der Prüfkörper wurde nach weiteren 27 min aus den Schienen entfernt, die andere verblieb dort für weitere 2,5 h. Da die Prüfkörper, die nach nur 30 min aus der Mundhöhle entfernt wurden, keine validen Ergebnisse bei den anschließenden Auswertungen lieferten, wurde auf eine Tragezeit von 30 min verzichtet. Im weiteren Verlauf wurden die Prüfkörper nur noch für 2 h getragen bevor sie *ex vivo* weiterverarbeitet wurden.

Im Zuge einer Veränderung der Spülmodalitäten wurde die Exposition später auf 2,5 h verlängert. Diese Tragedauer wurde für alle folgenden Versuchsreihen, einschließlich der endgültigen Versuche, beibehalten.

3.1.3 Frequenz der Spülungen

Initial erfolgte bei den Versuchen eine Spülung mit der jeweiligen Substanz nach 3 min Tragezeit für 30 s. Im Anschluss wurden die Schienen mit den Prüfkörper für weitere 27 min im Mund belassen, bevor zwei der vier Prüfkörper aus den Schienen entnommen wurden, die verbliebenen zwei Prüfkörper wurden für weitere 1,5 h in der Mundhöhle belassen. Bei den Auswertungen konnte keine eindeutige Aussage über die Wirksamkeit der Spüllösungen im Vergleich zur Kontrollspülung mit Wasser getroffen werden. Deshalb wurde die Häufigkeit der Spülung erhöht. Es wurde bei den folgenden Versuchen nicht nur einmal gespült, sondern insgesamt fünf Mal. Nach einer initialen Pellikelbildungsphase von 3 min wurde das erste Mal für 30 s gespült, im Anschluss erfolgten vier zusätzliche Spülungen nach 27 min, 1 h, 1,5 h, 2 h und 2,5 h.

Dieser Modus wurde für alle folgenden Versuchsreihen herangezogen.

3.1.4 Konzentration und Einwirkzeit der Zitronensäure

Ausgangs wurde 1 ml einer 5%igen Zitronensäure verwendet, um einen erosiven Eingriff auf den Prüfkörper zu simulieren. Die Säure verblieb dabei für eine Minute auf einer Hälfte des Prüfkörper bevor sie mit sterilem Wasser entfernt wurde. Bei der Auswertung der Oberflächenrauheit der Prüfkörper wurde festgestellt, dass die 5%ige Zitronensäurelösung zu stark war, weshalb die Lösung bei den folgenden Experimenten auf 1 % reduziert wurde. Bei der Auswertung der Ergebnisse der folgenden Versuchsreihen erschien die Konzentration der Säure als geeignet, die Einwirkzeit wurde allerdings von einer Minute auf drei erhöht, um eine deutlichere Wirkung der Säure auf den Prüfkörper zu erhalten.

3.2 Versuchsvorbereitung

3.2.1 Probandenauswahl

Für die In-vivo-Versuche wurden vier Probanden ausgewählt, von denen drei weiblich und einer männlich waren. Im Vorfeld wurde verifiziert, dass jeder Proband ein kariesfreies Gebiss und eine gute Mundhygiene aufwies. Der Speichelfluss und der Parodontalstatus wurden überprüft und als unauffällig bewertet. Des Weiteren wurde ein guter Allgemeinzustand ohne Medikamenteneinnahme und ohne Nikotinabusus sichergestellt.

Den Probanden wurde das Thema der Studie, der Versuchsaufbau und die Durchführung der In-vivo-Versuche veranschaulicht und sie gaben ihr Einverständnis zur Mitarbeit.

Das positive Votum der Ethik-Kommission der Ärztekammer des Saarlandes zur Durchführung der Studie lag vor (AZ 238/03, 2012)

3.2.2 Prüfkörperherstellung

Als Prüfkörper wurden bovine Schmelzpräparate verwendet, diese wurden aus den Inzisiven adulter Rinder gewonnen. Bis zur weiteren Verarbeitung wurden diese in 0,1 % Thymol (Thymol 0,1%, Apotheke der Universität des Saarlandes) gelagert.

Da nur die Zahnkronen für die Versuche verwendet wurden, erfolgte eine Abtrennung der Zahnwurzeln mit einer Trennscheibe (Schleifmaschine WOCO 50p, Conrad GmbH). Aus den verbleibenden Kronen wurden mit selbiger Trennscheibe zwei bis vier Präparate gewonnen, die möglichst dieselbe Größe haben sollten (circa 3x4 mm).

Die Prüfkörper sollten im Weiteren eine rechteckige Form erhalten und wurden dafür mithilfe eines Poliergeräts (Poliermaschine, Phoenix 3000, Buehler) bearbeitet und standardisiert. Dabei wurde noch verbliebenes Weichgewebe entfernt, sodass keine Verunreinigungen auf der Oberfläche verblieben. Es wurde darauf geachtet, dass die Schmelzschicht zweidrittel der Dicke des Prüfkörpers einnahm, um eine Verfälschung des Ergebnisses durch eine zu starke Dentinschicht auszuschließen. Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche der Zahnhartsubstanz wurden ebenfalls mithilfe des Schmirgelpapiers (Schleifpapier, Körnung 240, 600, 800, 1200, 2500, 4000, Struers GmbH) beseitigt. War dies aufgrund morphologischer Gegebenheiten nicht möglich, wurde der Prüfkörper verworfen. Auch zu kleine oder zu dünne Proben wurden aussortiert, um einheitliche Ausgangsbedingungen zu gewährleisten. Da die rechte Seite des Prüfkörpers geätzt werden sollte, wurde diese Seite mittels einer Abschrägung kenntlich gemacht.

Alle Prüfkörper wurden bis zur Körnung 4000 aufpoliert und unter dem Lichtmikroskop (Lichtmikroskop SMZ-168, Motic GmbH) auf Unebenheiten kontrolliert. Die Lagerung erfolgte auch hiernach in einer 0,1%igen Thymol-Lösung im Kühlschrank bei 4 °C. Es wurden 54 Prüfkörper gefertigt.

3.2.3 Vorbereitung der Prüfkörper

Die Prüfkörper wurden vor der weiteren Verwendung mithilfe des Verfahrens zur Bestimmung der Mikrohärtigkeit nach *Vickers* standardisiert, um möglichst einheitliche Proben für die Versuche verwenden zu können. Hierfür wurde das Härtemessgerät Duramin 5 verwendet (Duramin 5 Microhardnesstester, Struers).

Bei dieser Technik stellt eine Diamantpyramide den Eindrückkörper dar. Sie hat eine quadratische Basis und einen Öffnungswinkel von 136 °. Der definierte Winkel gegenüberliegender Pyramidenflächen zueinander beträgt 44 °. Im Rahmen des Messverfahrens wird die Pyramide

senkrecht mit einer bestimmten Kraft für eine festgelegte Zeitspanne auf die Probe gedrückt. Die Pyramide hinterlässt einen Eindruck auf dem Prüfkörper, dessen Diagonalen zur Berechnung der Fläche des Abdrucks herangezogen werden (Mittelwert der Diagonalen). Das Verhältnis der Kraft F , mit der die Pyramide eingedrückt wurde, zur Fläche A des entstandenen Eindrucks multipliziert mit dem Faktor 0,1891 (K) ergibt die Vickershärte H . Ursprünglich wurde die Kraft in Kilopond gemessen, weswegen eine Umrechnung von Newton in Kilopond erfolgen muss. Im Idealfall handelt es sich bei dem Abdruck um ein exakt gleichseitiges Quadrat.

$$H = K \times F/A$$

Im Vorfeld der Messung wurden die Prüfkörper aus ihrem Lagergefäß entnommen und mithilfe eines fusselreien Tuchs getrocknet, um mögliche Auswirkungen einer nassen Oberfläche zu vermeiden.

Für die Standardisierung wurden die Prüfkörper auf dem Proben Tisch platziert und eine geeignete Stelle für die Messung ausgewählt. Die Messung sollte in einem Bereich erfolgen, der frei von etwaigen Schmelzrissen oder mikroskopischen Unebenheiten war.

Dieser Vorgang wurde an allen vier Ecken und im Zentrum des Prüfkörpers durchgeführt.

Es wurde bei der Messung ein Wert der Vickershärte zwischen 300 und 400 angestrebt. Proben, die Werte unter- oder oberhalb dieses Bereichs aufwiesen, wurden verworfen oder nachbearbeitet, sodass bei einer Wiederholung der Messung die angestrebten Werte erreicht werden konnten.

Die standardisierten Prüfkörper wurden anschließend einzeln in 2 ml *Eppendorf*-Gefäße in 30%igem Ethanol gelagert und mit Nummern versehen. Vor der Versuchsdurchführung wurden alle Prüfkörper einem Reinigungsprozess zugeführt, hierfür wurde eine Well-Platte mit 24 Vertiefungen mit 3%igem Natriumhypochlorit-Lösung befüllt. Die einzeln aufbewahrten Prüfkörper wurden jeweils in eine Vertiefung der Well-Platte gelegt und für 3 min auf dem Wipptisch (Wipptisch Rocky 1000, Fröbel GmbH) inkubiert. Anschließend wurden die Proben separat unter

fließendem deionisiertem Wasser (vollentsalztem VE-Wasser) abgespült, bis sie geruchlos waren. Im nächsten Schritt wurden 2 ml *Eppendorf*-Gefäße mit deionisiertem Wasser gefüllt und die Proben auf diese verteilt. Mithilfe eines Schaumstoffschwimmers wurden die Prüfkörper in einem Glasgefäß (Becherglas 150 ml, VWR) im Ultraschallbad (Ultraschallgerät Sonorex, Bandelin) für 5 min gereinigt. Im nächsten Schritt wurde eine neue Well-Platte mit 70%igem Isopropylalkohol gefüllt und die Proben für 15 min darin eingelegt. Abschließend wurden die Prüfkörper zweimal mit *Braun*-Wasser einzeln auf dem Wipptisch gespült.

Nach der Reinigung mussten die Proben mindestens 6 h bis maximal 3 d im Kühlschrank in sterilem Wasser bei 4 °C lagern, bevor sie weiterverarbeitet werden konnten.

Die Fertigung und Vorbereitung der Probenkörper sind in Abbildung 1 schematisch aufgeführt.

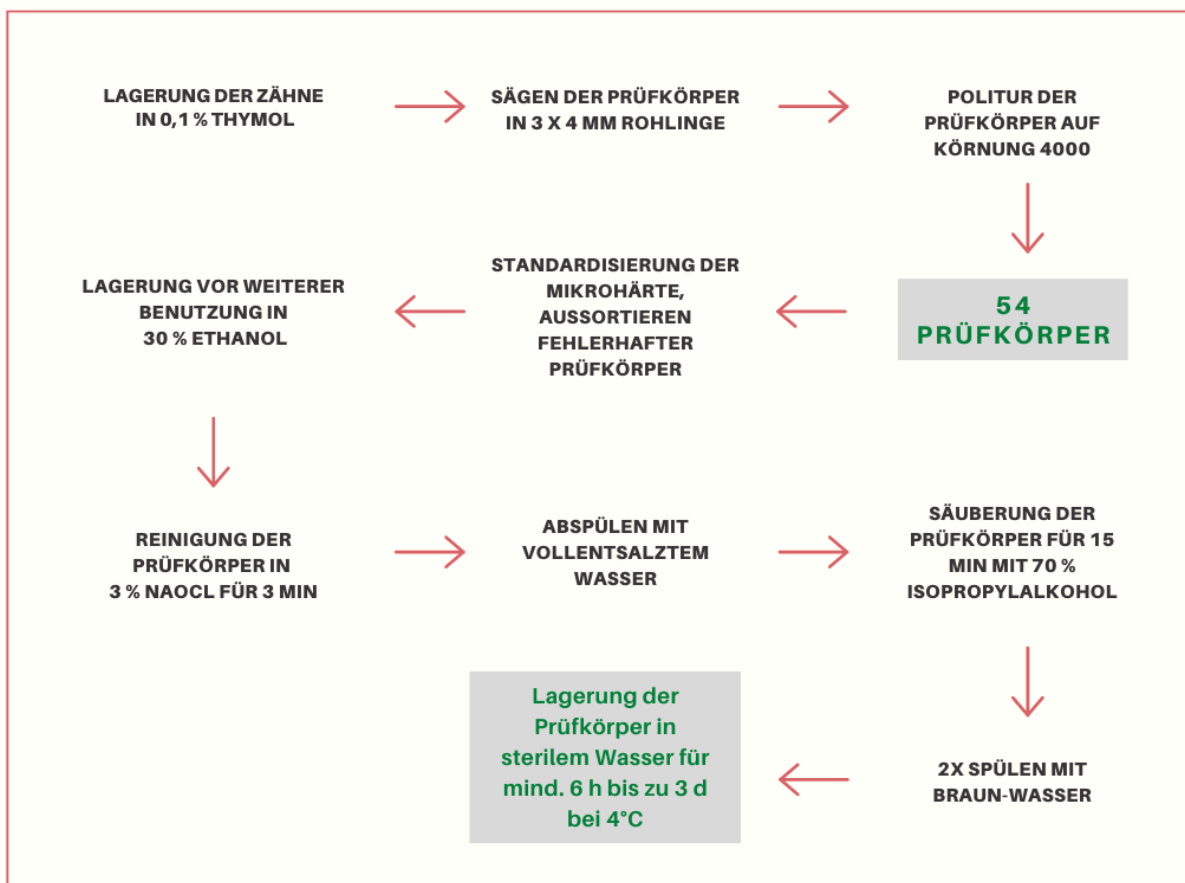


Abbildung 1: Prüfkörper-Herstellung und -Vorbereitung

3.2.4 Herstellung und Vorbereitung der Schienen

Für die Herstellung der Schienen, auf denen die Proben befestigt werden sollten, wurde von jedem der vier Probanden jeweils eine Abformung des Ober- und Unterkiefers genommen.

Hierfür wurden *Algilock*-Löffel verwendet. Die Abformungen wurden mit Superhartgips ausgegossen und die gefertigten Modelle bearbeitet. Die Schienenherstellung erfolgte durch die Zahntechnikerin der Klinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität des Saarlandes. Das Material für die Schienen waren 1,5 mm dicke Copolyester-Folien, die auf den Modellen tiefgezogen wurden.

Um einen möglichst hohen Tragekomfort zu gewährleisten, beschränkte sich die Ausdehnung der Schienen jedes Probanden auf die Vestibulär-, Okklusal- und Palatinalflächen der Eckzähne, Prämolaren und ersten bzw. zweiten Molaren der rechten und linken Seite im Oberkiefer. So hatte jeder Proband zwei separate Schienen, die Gaumenfreiheit ermöglichten. Auf der vestibulären Seite der Schienen wurden kreisförmige Aussparungen in den Kunststoff gefräst, um eine Verankerung des Befestigungssilikons sicher zu stellen.

Um die Schienen für die Durchführung der Versuche vorzubereiten, wurden sie in einem Gefäß in 70%igem Isopropylalkohol für 10 min im Ultraschallbad gesäubert.

Die Prüfkörper wurden zuerst aus ihren Gefäßen mithilfe einer Pinzette entnommen und zum Trocknen auf fusselfreie Tücher gelegt. Für die Befestigung der Proben auf den gereinigten Schienen wurde eine Silikonmasse verwendet, die mithilfe einer Applikationsspitze auf benötigter Länge und Breite auf die Schienen aufgebracht wurde. Dabei sollte beachtet werden, dass sich die Schienen auf dem Modell befanden und dass das Silikon nicht über die Ausdehnung der Schiene hinausging, um mögliche Irritationen der Gingiva zu vermeiden.

Die Prüfkörper wurden anschließend vorsichtig mit einer Pinzette auf das Silikon gelegt und mit einem sauberen Zahnstocher hineingedrückt. Alle vier Kanten wurden vollständig von Silikon bedeckt, sodass sich der Pellikel nur auf der Schmelzoberfläche anlagern konnte.

Auf diese Weise wurden pro Schiene zwei Prüfkörper befestigt, sodass bei einer Tragerunde vier Prüfkörper zum Einsatz kamen.

3.2.5 Ansetzen der Spüllösungen und Puffer

Es wurden drei verschiedene Spüllösungen verwendet.

Eine davon enthielt zur Kontrolle 10 ml *Braun*-Wasser, diese wird im Folgenden als Spüllösung Nummer 1 bezeichnet.

Spüllösung Nummer 2 bestand aus 10 ml *Theranovis* Mundspray.

Spüllösung 3 war eine 1%ige Tanninsäurelösung. Hierfür wurde 0,1 g Tanninsäurepulver mit einer Präzisionswaage (Präzisionswaage CP423S, Sartorius AG) abgewogen und in ein 50 ml Röhrchen gefüllt. Es wurden 9,9 ml *Braun*-Wasser dazugegeben, sodass insgesamt 10 ml Spüllösung vorhanden waren.

Um bei der späteren Auswertung der Prüfkörper die unmittelbaren Effekte der Spüllösungen auf die Oberfläche der Zahnhartsubstanz bewerten zu können, wurde diese nach der Tragezeit von der entstandenen Pellikel befreit. Hierfür wurden zwei Puffer angesetzt.

Triton x-100 Puffer (pro Prüfkörper): Dieser bestand aus 50 µl 10x Tris-HCl-NaCl-Puffer, 5 µl *Triton x-100* und 445 µl destilliertem Wasser.

RIPA-Puffer (pro Prüfkörper): Dieser bestand aus 50 µl 10x *RIPA*-Puffer und 450 µl destilliertem Wasser.

3.3 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden am Vormittag durchgeführt. Die Probanden sollten nach dem Frühstück wie gewöhnlich ihre Zähne mit ihrer Zahnbürste und Zahnpasta reinigen. Danach sollte nach 1 h noch einmal ohne Zahnpasta, das heißt nur mit Wasser geputzt werden. Nach einer weiteren halben Stunde wurde die Versuchsrunde begonnen.

Um eine Interaktion zwischen verschiedenen Spüllösungen zu vermeiden, wurde darauf geachtet, dass die Versuche mit einem Abstand von mindestens 24 h durchgeführt wurden.

Basierend auf den Resultaten der Vorversuche wurde eine Tragezeit von 2,5 h festgelegt.

Nachdem die Probanden die Schienen mit den befestigten Prüfkörpern eingesetzt hatten, konnte sich 3 min lang ein initialer Biofilm bilden. Nach dieser Zeit erfolgte die erste Spülung für 30 s mit 10 ml der Spüllösung, respektive bei dem Kontrollversuch mit 10 ml *Braun*-Wasser. Nach weiteren 27 min erfolgte die nächste Spülung, anschließend alle halbe Stunde, sodass insgesamt fünf Mal gespült wurde. Nach 2,5 h wurden die Schienen mitsamt Prüfkörpern entnommen.

Vor der Behandlung mit der Zitronensäure wurden die Proben aus der Silikonummantelung gelöst. Bevor die Prüfkörper der erosiven Wirkung der Säure ausgesetzt werden konnten, mussten sie von Speichelüberresten befreit werden. Hierfür wurden sie 30 s mit *Braun*-Wasser aus einer Überdruckflasche behutsam abgespült und anschließend auf ein fusselfreies Tuch gelegt.

In den Vorversuchen hatte sich für das Ätzen der Schmelzprüfkörper eine Ätzzeit von 3 min mit einer einprozentigen Zitronensäurelösung als geeignet erwiesen.

Die Proben wurden mit einer Pinzette festgehalten und die Säurelösung mithilfe einer Pipette halbseitig auf die Probe aufgebracht. (Abbildung 1). Es wurde dabei darauf geachtet, dass sich die Lösung nicht weiter über den Prüfkörper ausbreitete und ihn so unbrauchbar machte.



Abbildung 2: Schema eines halbseitig geätzten Prüfkörpers mit Abschrägung oben rechts

Nach Ablauf der 3 min wurde die Zitronensäurelösung mit dem *Braun*-Wasser aus der Überdruckflasche für 30 s abgespült. Zum Auffangen des Wassers wurde eine Plastikschaale bereitgestellt. Die so gesäuberten Prüfkörper wurden wiederum in 2 ml *Eppendorf*-Gefäße gelegt.

Dafür wurden die Proben nochmals behandelt. Den Prüfkörpern in den 2 ml *Eppendorf*-Gefäßen wurden jeweils 500 µl des *Triton-x100*-Puffers zugesetzt. Anschließend wurden die Proben 5 s auf das Vortexgerät (*Vortex Genie 2*, Scientific Industries Inc.) gehalten. Weitere 5 min

wurden die Prüfkörper im Puffer auf Eis gelegt.

Im nächsten Schritt wurden die Proben vorsichtig mit einer Pinzette aus den Gefäßen genommen und in bereitgestellte 2 ml *Eppendorf*-Gefäße mit dem vorbereiteten *RIPA*-Puffer gegeben. Anschließend wurde wieder mittels Vortexgerät sichergestellt, dass alle Seiten des Prüfkörper vom Puffer umspült wurden.

Um ein besseres Ablösen der Pellikel zu gewährleisten, kamen die Prüfkörper mithilfe des Schaumstoffschwimmers für 5 min in das Ultraschallbad.

Zuletzt wurden die Proben in neuen 2 ml *Eppendorf*-Gefäßen, die mit vollentsalztem Wasser gefüllt waren, sorgfältig und unter Verwendung des Vortexgerätes (5 s), von den Pufferlösungen befreit und in einer 24er Well-Platte für 24 h lufttrocknen gelassen.

Als Vergleichsgruppe und um die schützende Wirkung der Pellikel zu überprüfen, wurden zusätzlich zu den In-vivo-Versuchen auch noch Experimente durchgeführt, bei denen die Prüfkörper sich nicht im oralen Milieu befanden. Dafür wurden die Prüfkörper in sterilem Wasser in Well-Platten gelagert. Alle 30 min wurden sie für 30 s in eine andere Well-Platte eingebracht, in der sich 1 ml der jeweiligen Spüllösung (Tanninsäure oder *Theranovis*) befand. Insgesamt erfolgte der Kontakt zur Spüllösung analog zu den In-vivo-Versuchsreihen fünf Mal. Auch die Behandlung mit der 1%igen Zitronensäure wurde wie bei den Prüfkörpern mit Pellikel durchgeführt.

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3 schematisch aufgeführt.

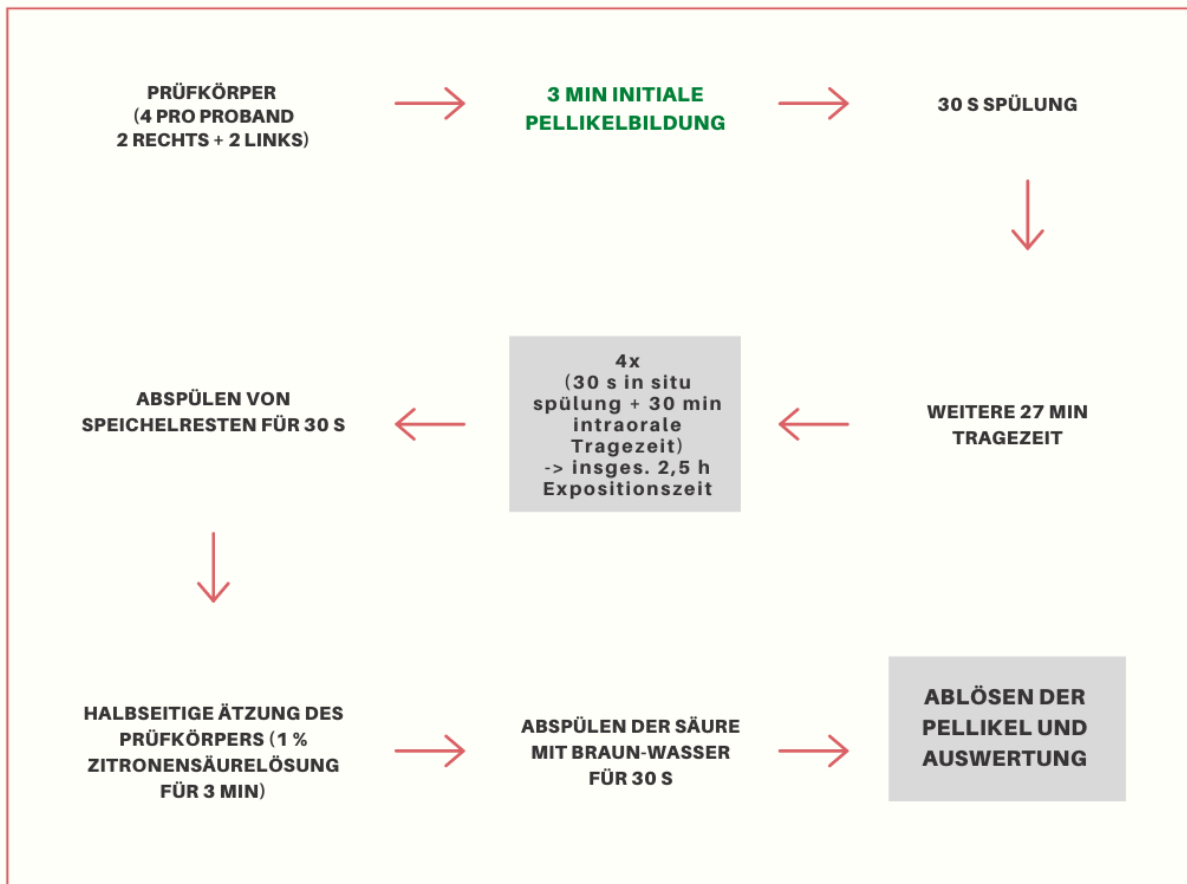


Abbildung 3: Versuchsdurchführung (in situ)

3.4 Auswertung der Prüfkörper

Zur Auswertung der Oberflächenrauheit wurde der FRT Scanner (FRT MicroProf Messsystem Gerätnummer MPR 1320, FRT Fries Reseach & Technology GmbH) verwendet. Dabei handelt sich um ein optisches 3D-Messgerät mit chromatischem Weißlichtsensor. Die Apparatur bestand aus einem Sensor, einer Kamera und einem Probenstisch. Das Computerprogramm *Acquire* zur Bedienung des Geräts und die Software *FRT Mark III* (Analysesoftware Version 3.9; FRT Fries Research & Technology GmbH) zur Analyse des abgescannt Proben wurden eingesetzt.

Zu Beginn wurde eine Dunkelkorrektur und eine Referenzfahrt des Probenstisches in der x- und y-Achse vorgenommen.

Für die Messung der Oberflächenrauigkeit wurde ein Messbereich von 500 µm x 500 µm ausgewählt. Diese Messung wurde im erodierten und im unbehandelten Bereich jeweils zwei Mal durchgeführt und gespeichert.

Im Anschluss an die Oberflächenanalyse erfolgte die Messung der Mikrohärtigkeit. Diese wurde entsprechend der vorher geschilderten Standardisierung der Prüfkörper durchgeführt. Es wurden jeweils im geätzten und ungeätzten Bereich fünf Messpunkte bestimmt und ausgewertet.

Nach der Mikrohärtigkeitsmessung wurden die Proben in 2 ml *Eppendorf*-Gefäße mit 30%igem Ethanol gelegt, bevor sie weiterverarbeitet wurden.

Um die Prüfkörper für die optische Analyse am Rasterelektronenmikroskop (REM) vorzubereiten, wurden sie in einer aufsteigenden Alkoholreihe behandelt.

Dafür wurden Well-Platten bereitgestellt und die Prüfkörper einzeln in die Vertiefungen gelegt. Die Alkoholreihe wurde entsprechend nachfolgendem Schema durchgeführt (je Prüfkörper 0,5 ml).

Tabelle 2: Aufsteigende Alkoholreihe zur Reinigung der Prüfkörper

1.	Ethanol 50%	Zweimal für 10 min
2.	Ethanol 70%	Einmal für 10 min
3.	Ethanol 80%	Einmal für 10 min
4.	Ethanol 90%	Einmal für 10 min
5.	Ethanol 100%	Zweimal für 10 min

Nach der jeweiligen Zeit wurde der Alkohol abpipettiert und durch den nächsten ersetzt.

Im Anschluss wurden die Proben mit der gemessenen Oberfläche nach oben in eine neue Well-Platte gelegt. Es wurde mit einer Pipette 0,5 ml 98,5%iges Hexamethyldisilazane (HMDS) zu den Proben gegeben und diese für 30 min unter dem Abzug gelagert.

Die Prüfkörper wurden unter dem Abzug für 24 h luftgetrocknet und am darauffolgenden Tag auf vorbereitete und beschriftete REM-Objektträger (REM-Probenteller aus Aluminium, Aar Scientific) mit Hilfe von Polycarbonat-Klebeband aufgeklebt (Spectro-Tabs, Plano GmbH, Wetzlar).

Zur mikromorphologischen Auswertung mittels Rasterelektronenmikroskop (XL 30 ESEM FEG, FEI, Oregon, USA) wurden randomisiert zwei Proben je Spüllösung ausgewählt. Die Prüfkörper wurden vor der Auswertung im Sputtercoater mit Kohle (Kohlegarn ca. 0,7 g/m, Plano GmbH) bedampft. In das REM selbst wurden sieben Proben gleichzeitig eingebracht und nacheinander ausgewertet. Es wurden jeweils eine Übersichtsaufnahme des Prüfkörpers in der 25-fachen Vergrößerung angefertigt. Anschließend wurden im ungeätzten Bereich Aufnahmen mit 500-, 1000-, 5000-, 10.000- und 20.000-facher Vergrößerung angefertigt. Analog dazu wurde die Oberfläche des Abschnitts auf dem Prüfkörper dokumentiert, der nicht erodiert wurde.

Pro Prüfkörper kamen so elf Bilder zustande.

Exemplarisch wurden ebenfalls Prüfkörper ausgewertet deren Oberfläche nicht von der Pellikel gereinigt wurde um die schützende Wirkung der Pellikel zu verifizieren.

3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse erfolgt mit dem Programm *SPSS Statistics* Version 23.0 von *IBM*.

Die Werte der Mikrohärte- und Oberflächenrauheitsuntersuchungen wurden mittels T-Test auf ihre Signifikanz überprüft ($p < 0,05$).

3.6 Verwendete Materialien

3.6.1 Instrumente, Geräte und Verbrauchsgegenstände

- Algilock-Löffel, Hager+Werken GmbH & Co. KG, Duisburg, Deutschland
- Alginat Blueprint Xcreme, Dentsply Sirona GmbH, Bensheim, Deutschland
- Becherglas 150 ml, VWR, Radnor, USA
- Digital Timer, VWR, Radnor, USA
- Drucksprühflasche, Bürkle GmbH, Bad Bellingen, Deutschland
- Duramin-5, Struers GmbH, Erkrath, Deutschland
- Einmalzahnbürste, Centramed, Koblenz, Deutschland
- FRT MicroProf, Fries Research & Technology GmbH, Bergisch Gladbach, Deutschland
- Fusselfreie Tücher, Light-Duty Tissue Wipers, VWR, Radnor, USA
- GC Fujirock EP, GC Europe N.V., Leuven, Belgien
- Handschuhe, Purple Nitrile-Xtra, Halyard, Alpharette, USA
- Kohlegarn, Plano GmbH, Wetzlar, Deutschland
- Leitfähige Haftaufkleber, Plano GmbH, Wetzlar, Deutschland
- Lichtmikroskop SMZ-168, Motic, Hong Kong, China
- Parafilm M, Brand GmbH, Wertheim, Deutschland
- Pinzette BD216R, Aesculap AG, Tuttlingen, Deutschland
- Pipette, Transferpipette S 0,1 – 1000 µl, Brand GmbH, Wertheim, Deutschland
- Pipette, VWR, Radnor, USA
- Pipettenspitze, Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland
- Pipettenspitze, Sarstedt Ag & Co., Nümbrecht, Deutschland

- Pipettenaufsatz steril 10 ml, Cellstar, Greiner Bio-One GmbH, Kremsmünster, Österreich
- Plastikschale, Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland
- Präzisionswaage CP423S, Sartorius AG, Göttingen, Deutschland
- Poliermaschine, Phoenix 3000, Buehler, Lake Bluff, USA
- President microsystem, Coltene, Altstätten, Schweiz
- REM-Probenteller aus Aluminium, Agar Scientific Ltd., Essex, Vereinigtes Königreich
- Röhrchen 50 ml, Cellstar, Greiner Bio-One GmbH, Kremsmünster, Österreich
- Safe-Lock Tubes 2 ml, Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland
- Schleifpapier, Körnung 240, 600, 800, 1200, 2500, 4000, Struers GmbH, Erkrath, Deutschland
- Silikonapplikationsspritze, Coltene/Whaledent AG, Altstätten, Schweiz
- Sputtercoater, Model SCD 030, Leica Mikrosysteme Vertrieb GmbH, Wetzlar, Deutschland
- Tiefziehfolie Erkodur, Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland
- Universal Spritzenaufsatz, Coltene/Whaledent, Altstätten, Schweiz
- Ultraschallgerät Sonorex, Bandelin, Berlin, Deutschland
- Vortex Genie 2, Scientific Industries Inc., New York, USA
- Well-Platte steril mit 6, 12, 24 Vertiefungen, Cellstar, Greiner Bio-One, Kremsmünster, Österreich
- Wipptisch Rocky 1000, Fröbel GmbH, Lindau, Deutschland

3.6.2 Chemikalien und Lösungen

- Aqua dest. Spüllösung Ecotainer, B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland

Material und Methode

- Ethanol 30 – 100%, Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland
- Hexamethyldisilazane 98,5%, abcr GmbH&Co.KG, Karlsruhe, Deutschland
- Natriumhypochlorid-Lösung 3 %, Hedinger, Stuttgart, Deutschland
- 2-Propanol 70%, Otto Fischer GmbH, Saarbrücken, Deutschland
- Tanninsäure, Sigma Chemical Co., St. Louis, USA
- Tris Puffer, Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland
- Triton X 100, Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland
- Thymol 0,1 %, Apotheke der Universität des Saarlandes, Homburg, Deutschland

4 Ergebnisse

In der vorliegenden Dissertationsschrift wurde das mögliche protektive Potenzial zweier Spüllösungen gegenüber Säureangriffen auf den Zahnschmelz untersucht. Hierfür sollte die auf den Schmelz-Prüfkörpern *in situ* gebildete Pellikel mithilfe der Lösungen modifiziert werden, um einen verbesserten Erosionsschutz zu erreichen.

Die Versuche wurden mit vier Probanden durchgeführt.

4.1 Die Pellikel als Erosionsschutz

Im Rahmen dieser Dissertation wurden nicht nur In-situ-Versuche durchgeführt, sondern auch In-vitro-Experimente, bei denen Schmelz-Prüfkörper nicht in der Mundhöhle exponiert wurden und sich deswegen keine Pellikel bilden konnte. Wie bei den Experimenten mit Pellikelbildung wurden diese Prüfkörper dem Einfluss der Spüllösungen ebenfalls ausgesetzt. Im Anschluss erfolgte die halbseitige Ätzung mit Zitronensäure für 3 min.

Eine Gegenüberstellung der Prüfkörper mit und ohne Pellikel sollte zeigen, inwiefern das Schmelzoberhäutchen im Rahmen dieses Versuchsaufbaus einen schützenden Effekt für den Schmelz hat.

Abnahme der Mikrohärtة der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent, Kontrollgruppe

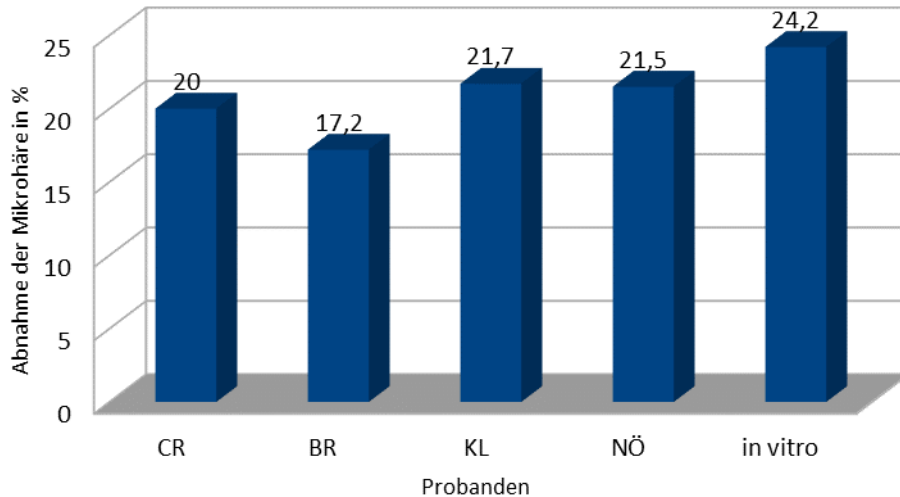


Abbildung 4: Darstellung der Abnahme der Mikrohärtة der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Wasser im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe.

Eine schützende Wirkung der Pellikel im Vergleich zu den Prüfkörpern im In-vitro-Versuch konnte sich im Rahmen dieses Versuchsaufbaus nicht verifizieren lassen. Bei allen Prüfkörpern fand eine Abnahme der Mikrohärtة statt (Abb. 4). Eine geringfügig höhere Mikrohärtة der Prüfkörper, die von den Probanden getragen wurden, ist zwar festzustellen, diese ist allerdings nicht statistisch signifikant.

Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent, Kontrollgruppe

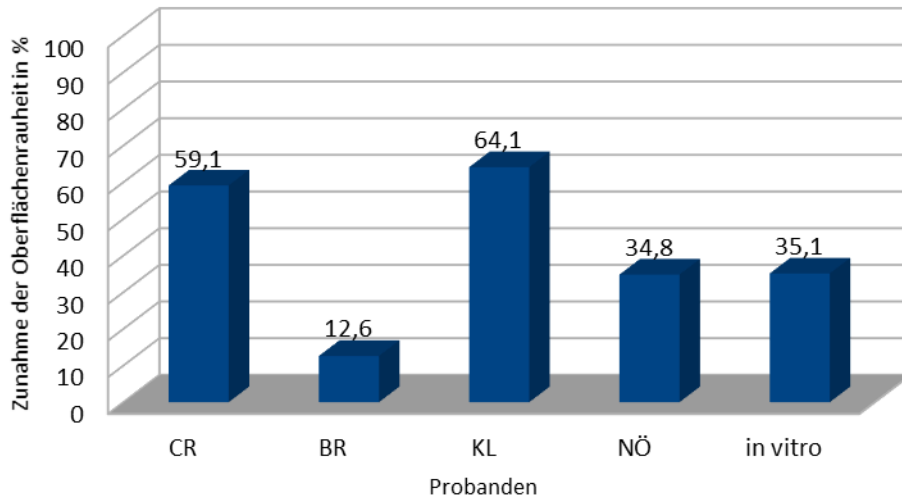


Abbildung 5: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Wasser im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe.

Beim Vergleich des Prüfkörpers ohne Pellikel (*in vitro*) zu denen, die in der Mundhöhle getragen wurden und auf denen sich somit eine Pellikel bilden konnte, zeigt sich in Bezug auf die Oberflächenrauheit ein anderes Bild (Abb. 5). Hier scheint eine große Varianz zwischen den Probanden vorzuherrschen. Bei zwei der Probanden findet sich im Vergleich zum In-vitro-Prüfkörper eine geringere Oberflächenrauheit, bei den anderen beiden Versuchspersonen ist das Oberflächenprofil jedoch rauer. Auffällig sind der sehr hohe Wert von 64,1 % und dem gegenüber der sehr niedrige Wert von 12,6 %.

4.2 Spülung mit *Theranovis*

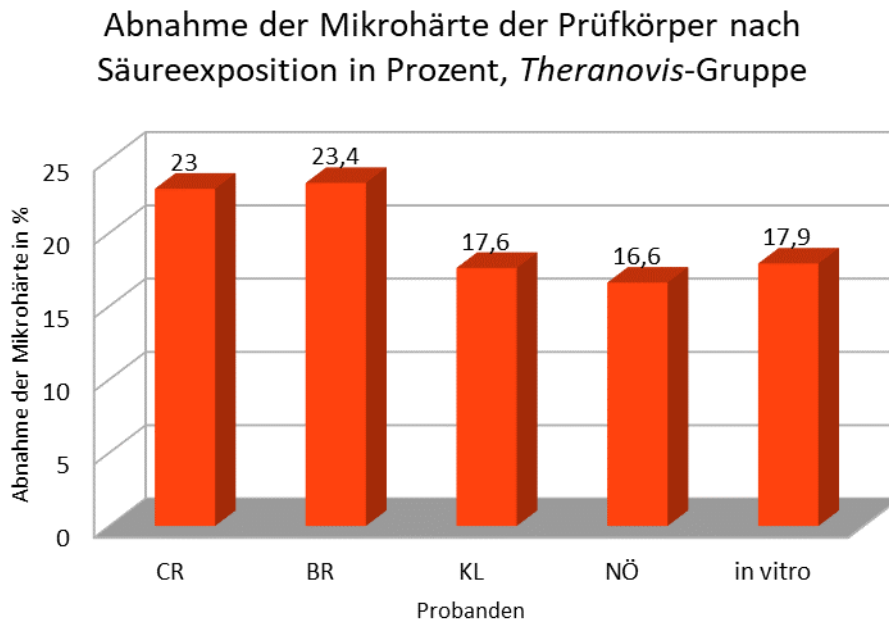


Abbildung 6: Darstellung der Abnahme der Mikrohärte der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit *Theranovis* im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe.

Die Auswertung der Ergebnisse der Mikrohärteuntersuchung bei den mit *Theranovis* behandelten Prüfkörpern zeigte eine prozentuale Abnahme der Härte zwischen 16,6 % und 23,4 %. Der Durchschnittswert für die Abnahme aller Mikrohärtewerte der vier Probanden beträgt demnach 20,15 %. Für die In-vitro-Gruppe konnte ein Wert von 17,9 % ermittelt werden (Abb. 6)

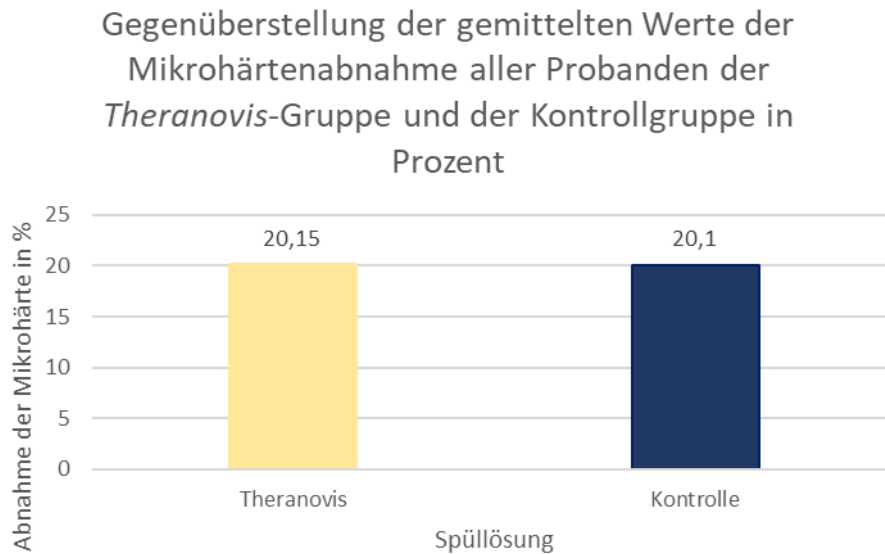


Abbildung 7: Darstellung der Abnahme der Mikrohärte der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent (gemittelte Werte aller Probanden); Der gelbe Balken stellt die gemittelten Ergebnisse aller Prüfkörper aller Probanden nach Spülung mit *Theranovis* dar, der blaue zeigt die Kontrollgruppe. Alle Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit *Theranovis* (gelb) bzw. Wasser (blau) im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min.

Im Gegensatz dazu erbrachte die Untersuchung der Abnahme der Mikrohärte bei der Kontrollgruppe (Pellikel bedeckte Proben ohne *Theranovis*-Spülung) einen Wert von 20,1 % (Abb. 7).

Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen konnte nicht nachgewiesen werden. *Theranovis* hat demzufolge im Rahmen dieser Untersuchung keinen Effekt auf die Mikrohärte der Prüfkörper.

Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent, *Theranovis*-Gruppe

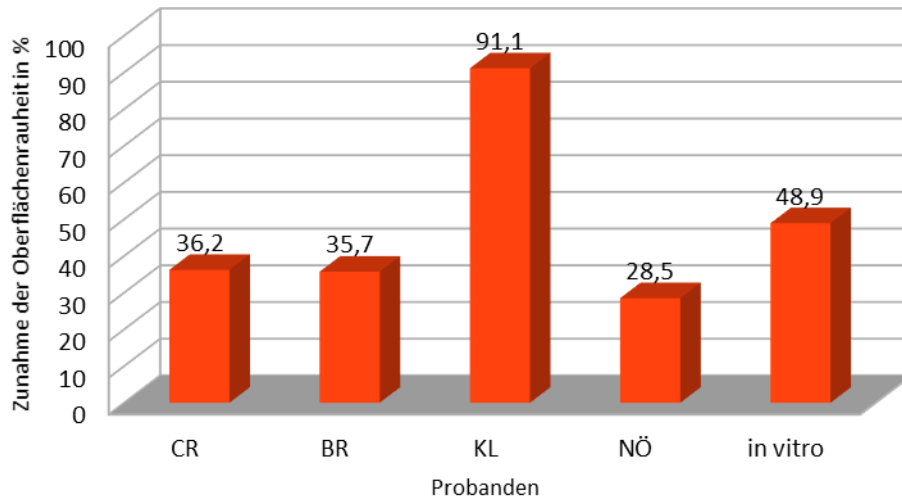


Abbildung 8: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit *Theranovis* im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe.

Die Ergebnisse der Oberflächenprofilometrie lassen einen größeren Unterschied zwischen den mit der Spüllösungen behandelten Prüfkörpern und der Kontrollgruppe erkennen.

Die einzelnen Werte der Oberflächenanalyse variieren zwischen den Probanden. Bei drei der vier Probanden liegen sie im Bereich zwischen 28,5 % und 36,2 %. Bei dem vierten Probanden wurde eine Steigerung der Rauheit um 91,1 % ermittelt (Abb. 8).

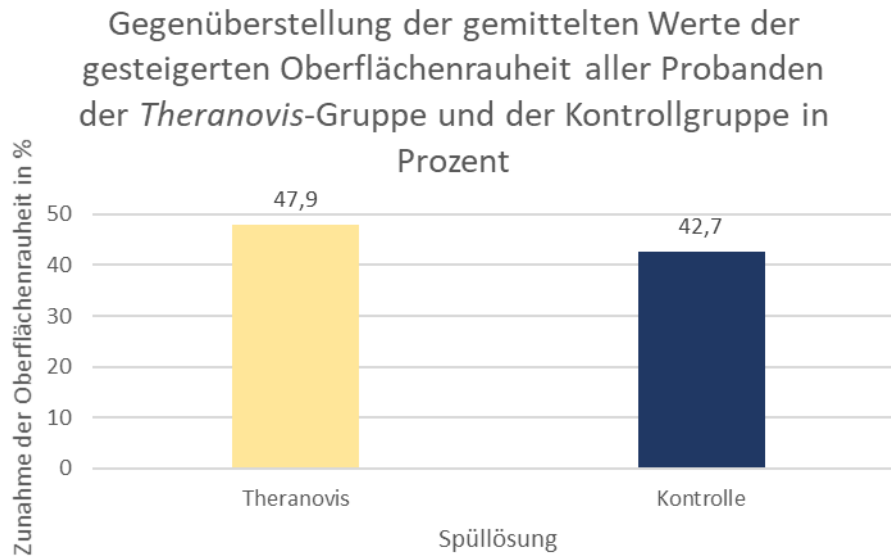


Abbildung 9: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent (gemittelte Werte aller Probanden); Der gelbe Balken stellt die gemittelten Ergebnisse aller Prüfkörper aller Probanden nach Spülung mit *Theranovis* dar, der blaue zeigt die Kontrollgruppe. Alle Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit *Theranovis* (gelb) bzw. Wasser (blau) im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min.

Die Rauheit stieg in Folge der Erosion bei den mit *Theranovis* in Kontakt getretenen Prüfkörpern im Mittel um 47,9 % bei den unbehandelten, Pellikel bedeckten Kontrollprüfkörpern jedoch nur um 42,7 % (Abb. 9).

4.3 Spülung mit Tanninsäure

Die Auswertung der Prüfkörper nach der Behandlung mit Tanninsäure erfolgte analog zur der mit *Theranovis*.

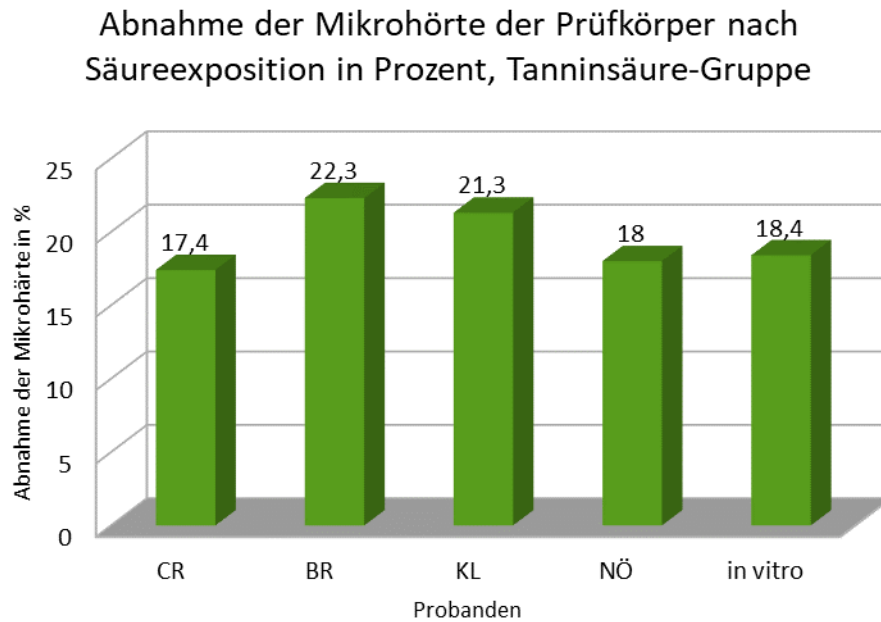


Abbildung 10: Darstellung der Abnahme der Mikrohärte der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intra-oral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Tanninsäure im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe.

Die Abnahme der Mikrohärte in Prozent ergab Messwerte zwischen 17,4 und 22,3. Der Mittelwert betrug 19,8 % (Abb. 10).

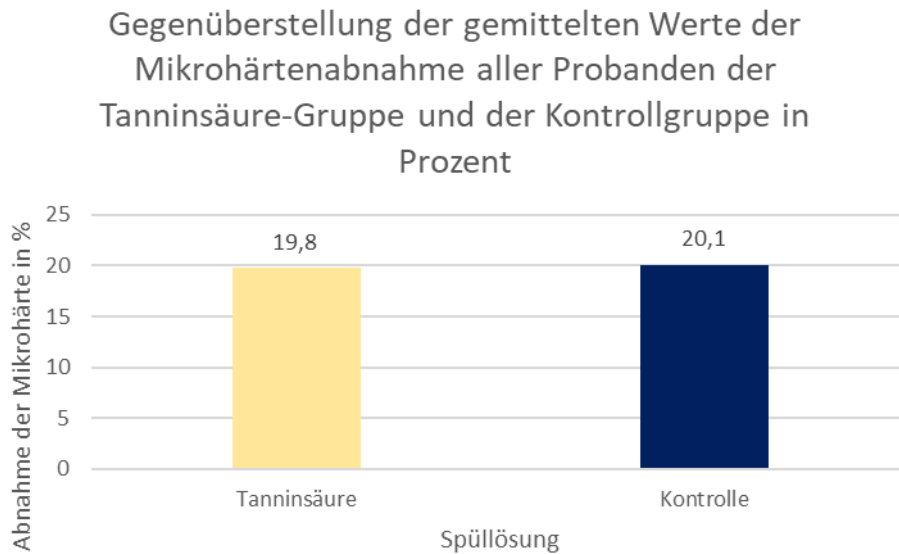


Abbildung 11: Darstellung der Abnahme der Mikrohärte der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent (gemittelte Werte aller Probanden); Der gelbe Balken stellt die gemittelten Ergebnisse aller Prüfkörper aller Probanden nach Spülung mit Tanninsäure dar, der blaue zeigt die Kontrollgruppe. Alle Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Tanninsäure (gelb) bzw. Wasser (blau) im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1 % Zitronensäure für 3 min.

Im Vergleich zur Kontrollgruppe mit dem Mittelwert von 20,1 % lässt sich eine geringfügig härtere Oberfläche des mit Tanninsäure behandelten Schmelzprüfkörpers nach dem Einfluss der Zitronensäure feststellen (Abb. 11).

Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper
nach Säureexposition in Prozent, Tanninsäure-
Gruppe

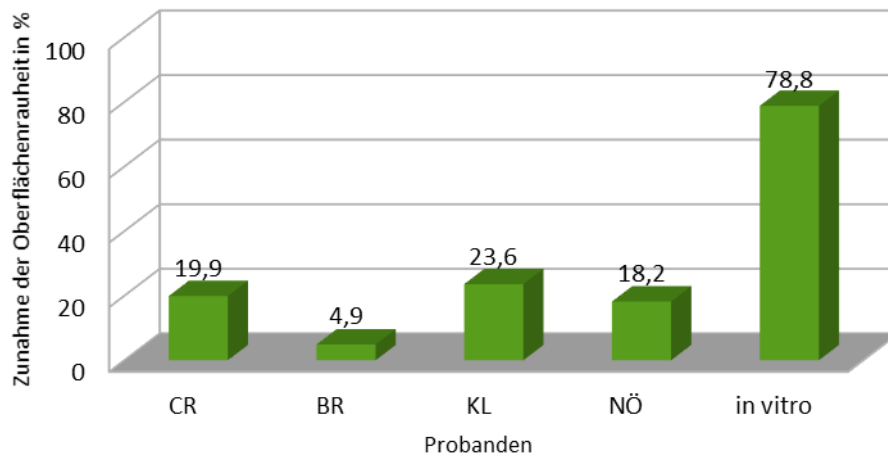


Abbildung 12: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Tanninsäure im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe.

Deutlicher lässt sich ein protektiver Effekt der Tanninsäure auf die Oberfläche des Schmelzes bei der Analyse der Rauheit beobachten (Abb. 12).

Die Ergebnisse für die Zunahme der Oberflächenrauheit bewegen sich im Bereich zwischen 18,2 % bis 23,6 %. Die Werte eines Probanden zeigen eine markante Abweichung, sie belaufen sich im Mittel auf nur 4,9 % (Abb. 12).

Hier imponiert auch als einziges der Unterschied zwischen Prüfkörpern mit und ohne Pellicel sehr deutlich. So lässt sich im In-vitro-Versuch eine Zunahme der Oberflächenrauheit um 78,7 % nachweisen, demgegenüber beträgt der Mittelwert der Ergebnisse der einzelnen Probanden nur 16,7 %. Hier scheint demzufolge ein protektiver Effekt durch die Bildung der Pellicel zu existieren (Abb. 12).

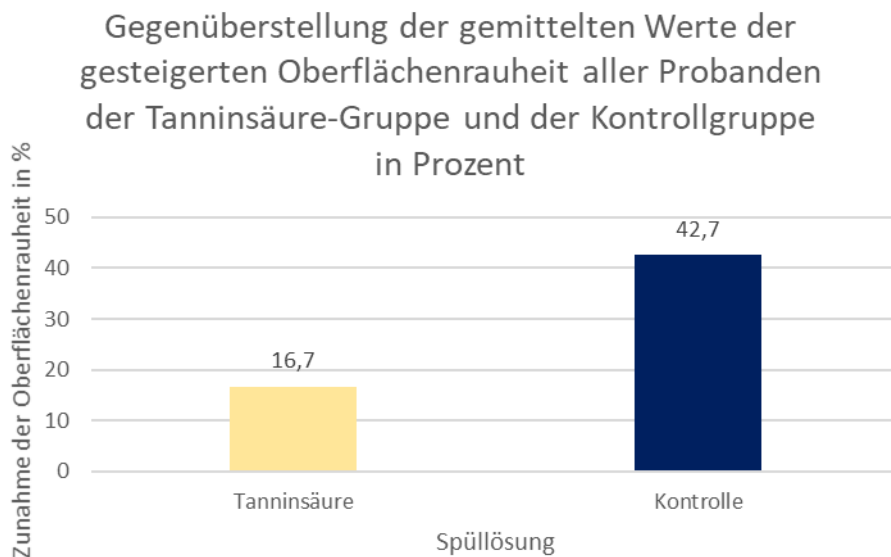


Abbildung 13: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent (gemittelte Werte aller Probanden); Der gelbe Balken stellt die gemittelten Ergebnisse aller Prüfkörper aller Probanden nach Spülung mit Tanninsäure dar, der blaue zeigt die Kontrollgruppe. Alle Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Tanninsäure (gelb) bzw. Wasser (blau) im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min.

Auch die Differenz des Mittelwerts der Probanden (16,7 %) zu dem Analysemittelwert der Kontrollgruppe (42,7 %), die keine Modifikation durch die Tanninsäure erfahren hatte, ist auffallend groß (Abb. 13).

Die statistische Analyse ergab hier ein Signifikanzniveau von 0,001.

Im Vergleich zu den Kontrollprüfkörpern konnte im Rahmen der vorliegenden Studie nur bei Tanninsäure eine Tendenz zur Verminderung der Oberflächenrauheit nachgewiesen werden. *Theranovis* erbrachte keine positive Wirkung in Bezug auf die Säureprotektivität.

4.4 Ergebnisse der rasterelektronmikroskopischen Untersuchungen

Zur besseren Veranschaulichung der Auswirkungen der Spüllösungen im Vergleich zur Kontrollgruppe wurden drei Prüfkörper ausgewählt. Dabei handelte es sich um jeweils einen Prüfkörper der Kontroll-, einen der Tanninsäure- und einen der *Theranovis*-Gruppe. Um eine noch bessere Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden drei Prüfkörper des gleichen Probanden gewählt.

4.4.1 REM-Abbildungen eines Kontroll-Prüfkörpers

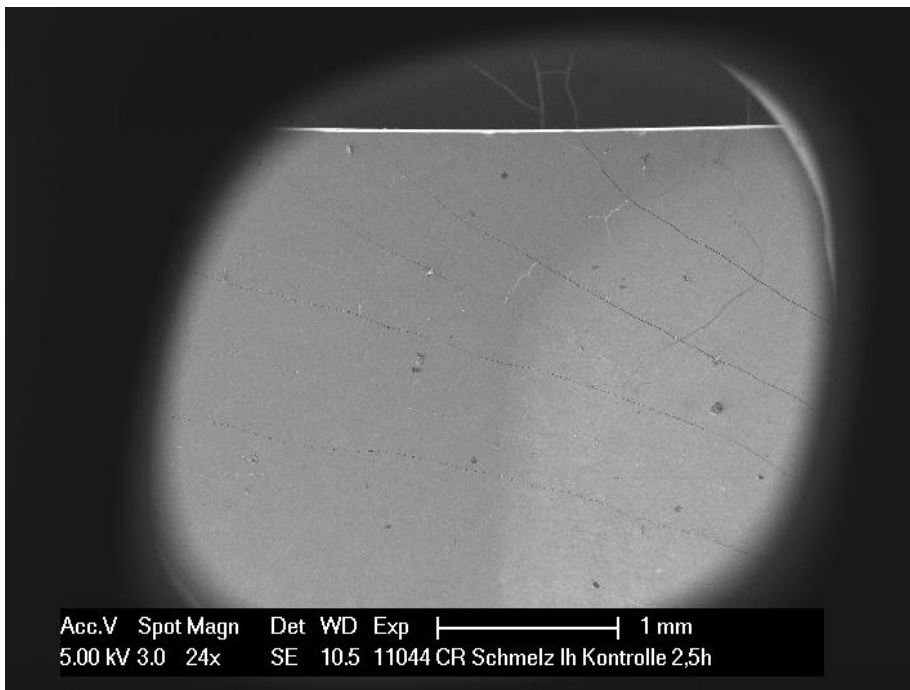


Abbildung 14: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 24-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pelikel: Rechtsseitig ist der geätzte Bereich heller zu erkennen; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe).

Die erste Abbildung zeigt die Übersichtsaufnahme in der 24-fachen Vergrößerung eines Prüfkörpers der Kontrollgruppe, das bedeutet die Spülung erfolgte mit sterilem Wasser (Abb. 14). Der rechte Bereich auf dem Schmelzprüfkörper wurde mit der Zitronensäure behandelt. Er erscheint heller als der ungeätzte Teil und ist durch die blaue Linie von dem unerodierten Bereich

getrennt. Es sind Risse in der Schmelzoberfläche zu sehen. Außerdem lassen sich dunklere Partikel auf der Oberfläche ausmachen. Oben im Bild ist ein Teil des REM-Probentellers zu sehen, ein wenig darunter ist der Rand des Prüfkörpers deutlich erkennbar.

Auf die Übersichtsaufnahme folgen zwei Bilder in der 500-fachen Vergrößerung, zuerst die ungeätzte Seite (Abb. 15), darauf folgt die erodierte (Abb. 16). Es zeigt sich hier schon deutlich, dass die Oberflächenstruktur nach der Erosion mit 1 % Zitronensäurelösung weniger homogen erscheint. Während auf der Fläche, die der Säure nicht ausgesetzt war nur die Streifung verursacht durch die Politur erkennbar ist, imponiert die erodierte Hälfte des Prüfkörpers rissiger und rauer. Die Politurstreifung und Schmelzrisse sind hier ebenfalls zu beobachten.

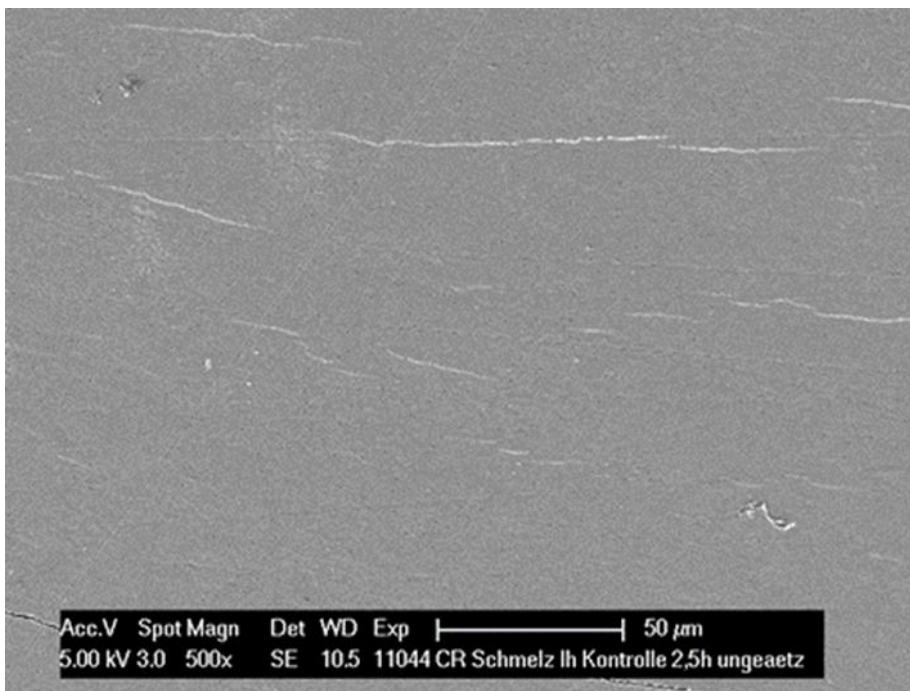


Abbildung 15: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pelikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint größtenteils homogen, die sichtbare Streifung geht auf die Politur zurück, es sind Schmelzrisse erkennbar.

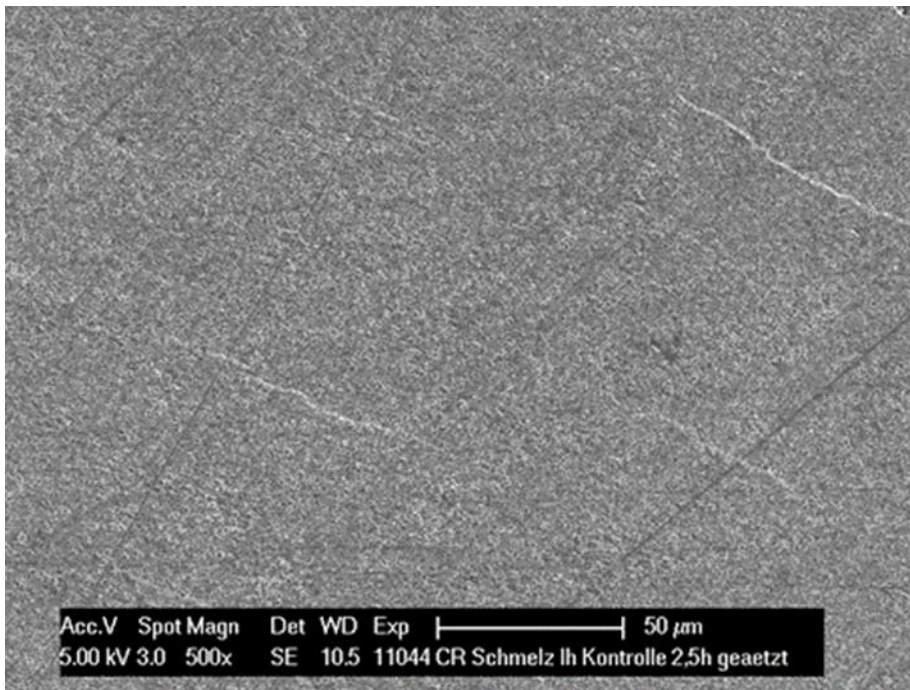


Abbildung 16: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pelikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint inhomogen und rau, Schmelzrisse sind sichtbar.

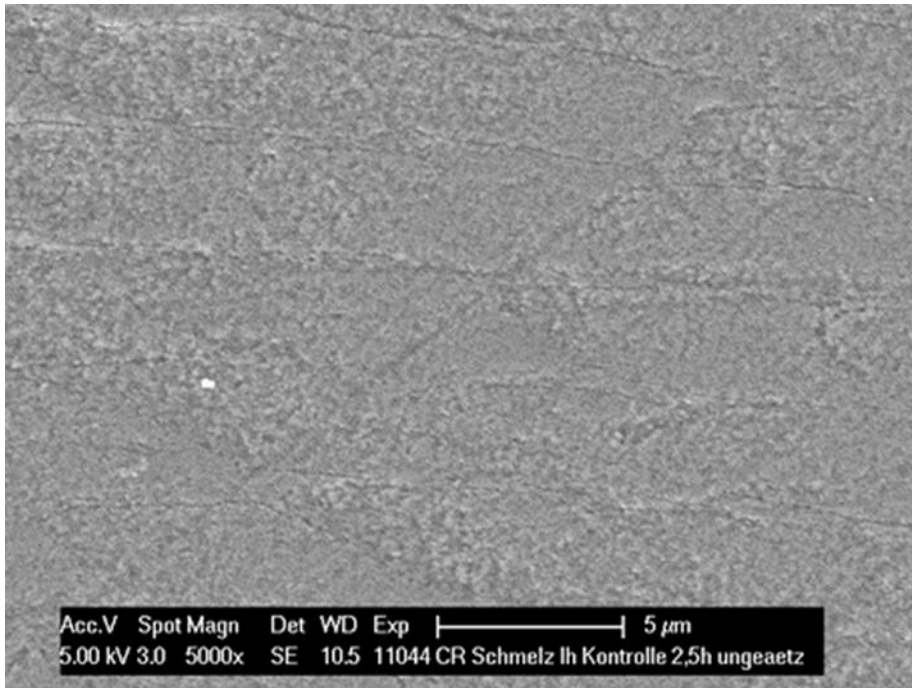


Abbildung 17: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 5000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint größtenteils homogen, die sichtbare Streifung geht auf die Politur zurück.

In der 5000-fachen Vergrößerung ist der Effekt der Zitronensäure noch einmal deutlicher zu sehen. Auf der unerodierten Fläche lassen sich größere Partikel feststellen. Außerdem sind Streifen, die durch die Politur entstanden sind, zu erkennen. Die Oberfläche scheint gleichmäßig zu sein. Es sind keine zerklüfteten Abschnitte sichtbar (Abb. 17).

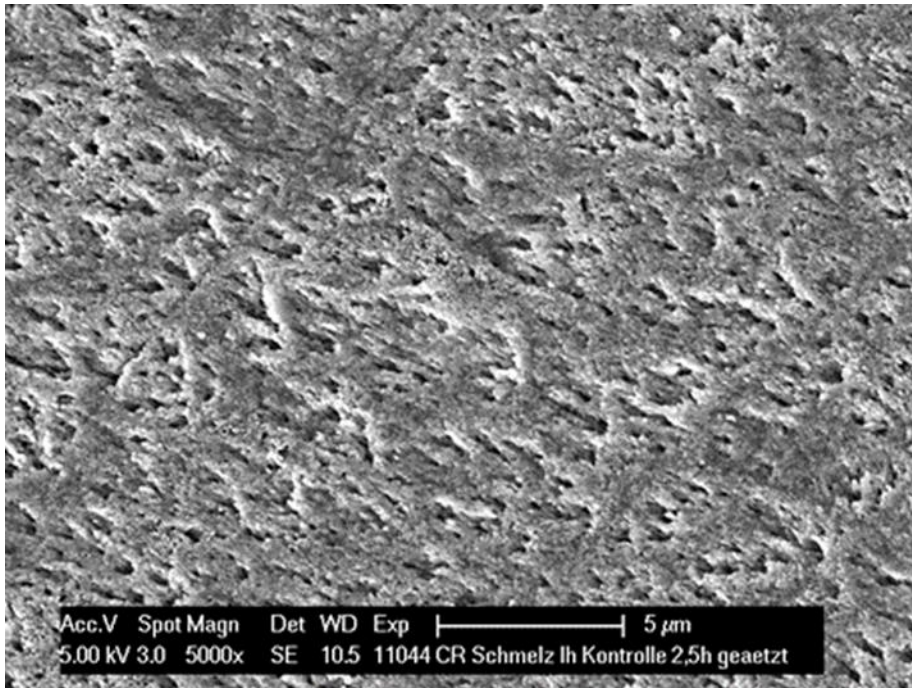


Abbildung 18: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 5000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint sehr inhomogen und aufgeraut.

Der erodierte Bereich stellt sich im Gegensatz dazu deutlich verändert dar (Abb. 18). Die 5000-fache Vergrößerung macht die gesteigerte Rauheit der Oberfläche deutlich. Die Schmelzstruktur ist inhomogen und aufgeraut. Es scheinen „Lücken“ zwischen den Schmelzprismen zu existieren. Riefen aufgrund der Politur sind auch hier feststellbar, fallen aber wegen der zerklüfteten Oberfläche weniger deutlich auf.

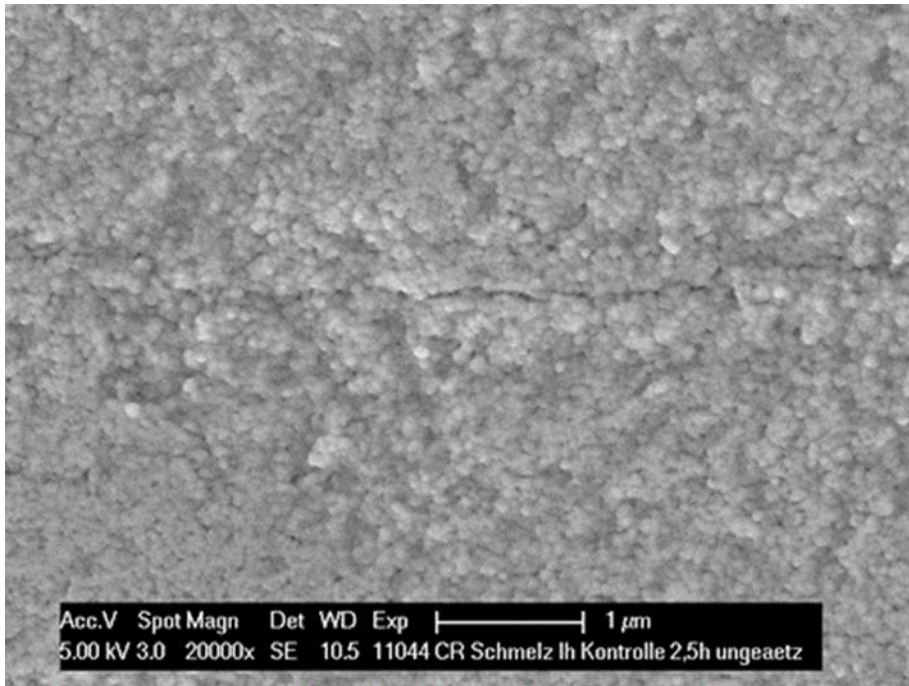


Abbildung 19: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Es ist ein Ausschnitt im Bereich eines Schmelzrisses abgebildet. Auf der Oberfläche stellen sich kugelförmige Partikel (Schmelz-Kristallite) dar, trotzdem erscheint die Struktur größtenteils homogen.

Die Oberflächenstruktur des Prüfkörpers im ungeätzten Bereich bei 20.000-facher Vergrößerung zeigt sich rauer als es bei kleinerer Vergrößerung sichtbar war (Abb. 19). Kugelförmige Partikelverbände, die Schmelz-Kristallite, imponieren auf der abgebildeten Fläche. Mittig ist ein Abschnitt eines Schmelzrisses sichtbar. Insgesamt erscheint die Oberfläche dennoch relativ homogen.

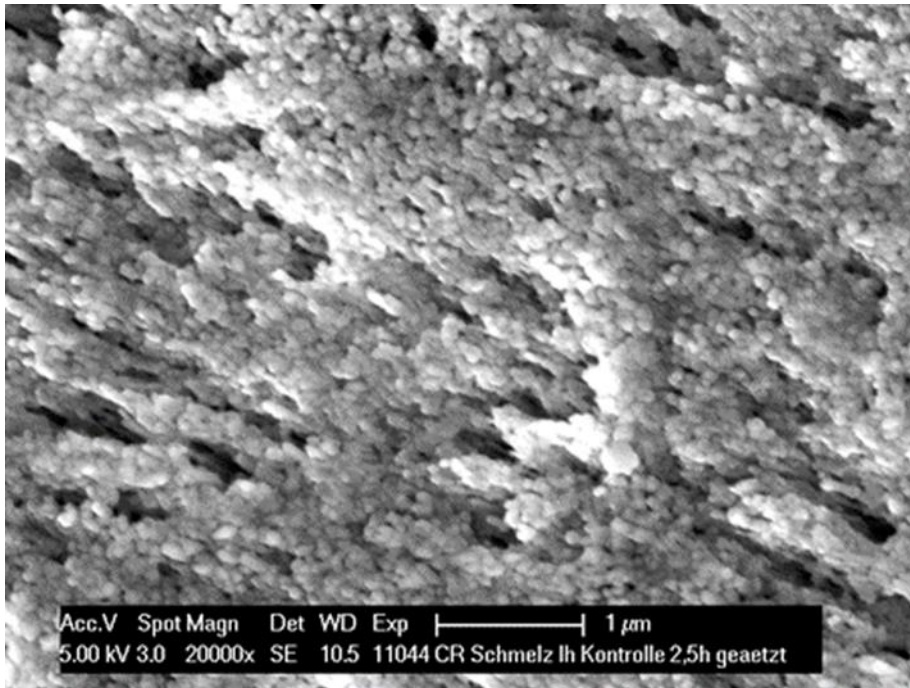
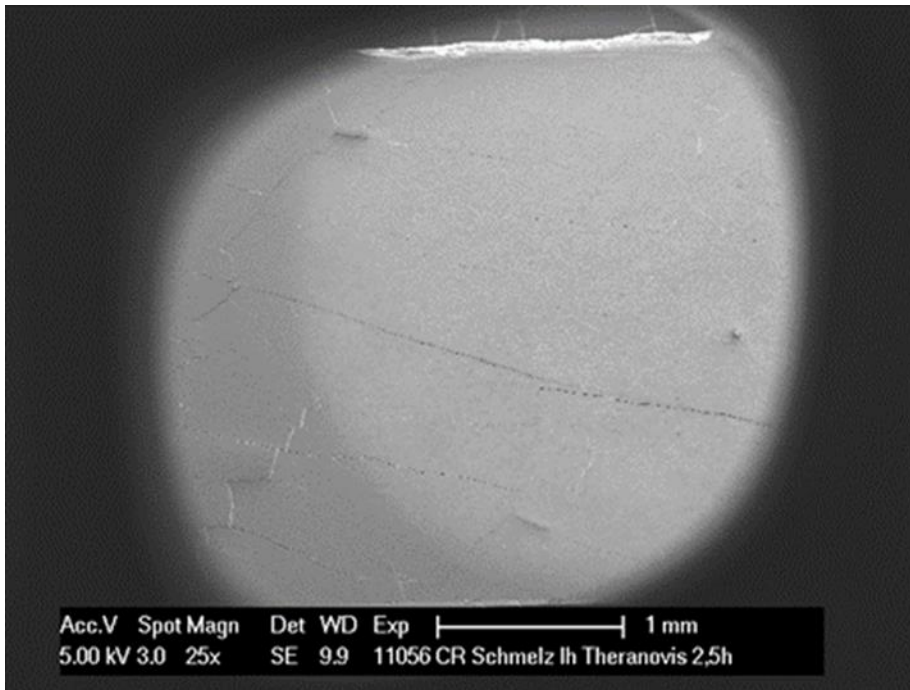


Abbildung 20: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint stark zerklüftet. Die Schmelzprismen stellen sich weniger dicht dar.

Bei 20.000-facher Vergrößerung des erodierten Bereichs ist eine deutliche Inhomogenität feststellbar (Abb. 20). Einzelne Schmelzprismen scheinen aufgelöst zu sein, sodass sich die Oberfläche porös ausnimmt. Die Verbandstruktur der Schmelzprismen zeigt sich weniger kompakt. Die Schmelz-Kristallite lassen sich auch im geätzten Bereich darstellen. Schmelzrisse oder Politurstreifen sind aufgrund der deutlichen Zerklüftung nicht mehr erkennbar.

4.4.2 REM-Abbildungen eines *Theranovis*-Prüfkörpers



**Abbildung 21: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 25-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pel-
likel: Rechtsseitig ist der geätzte Bereich heller zu erkennen; intraorale Exposition, Spülung und Erosion
erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung.**

Der beispielhaft gewählte Prüfkörper, bei dem *Theranovis* zur Anwendung kam, unterscheidet sich in der kleinsten Vergrößerung nicht merklich von dem Prüfkörper der Kontrollgruppe (Abb. 21). Hier zeigt der gewählte Bereich auf der Prüfkörper allerdings Großteils die erodierte Fläche, die mit Zitronensäure behandelt wurde. Mittig im Bildausschnitt ist ein Schmelzriss erkennbar. Im oberen Teil lässt sich außerdem der Rand des Prüfkörpers erkennen und darüber ein kleiner Ausschnitt des REM-Probentellers.

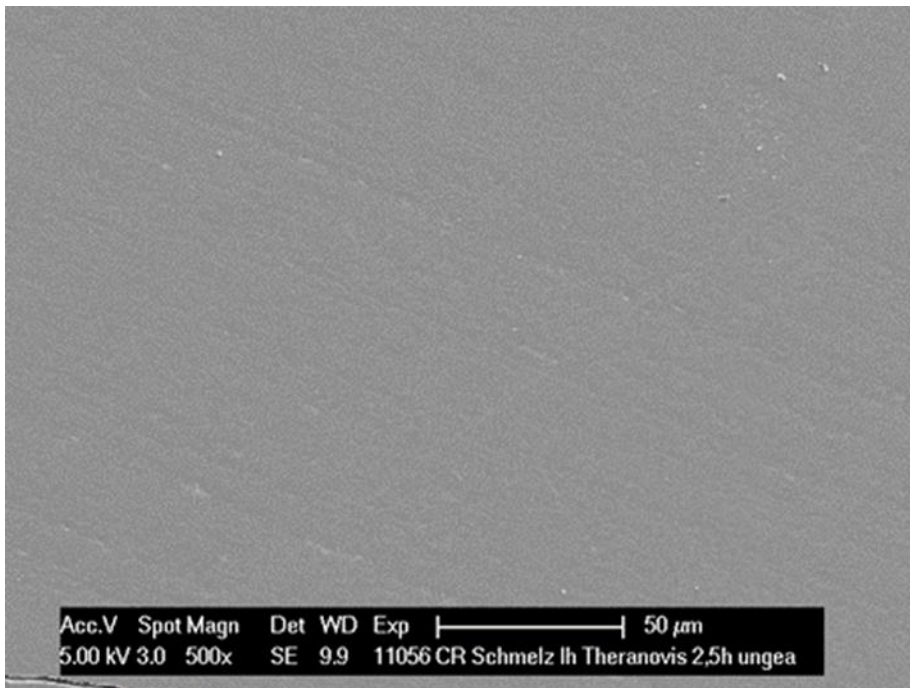


Abbildung 22: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pelikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint größtenteils homogen, die sichtbare Streifung geht auf die Politur zurück.

In der 500-fachen Vergrößerung wirken sowohl die Seite, die mit der Zitronensäure in Berührung kam (Abb. 22), als auch die, die nicht von ihr erodiert wurde (Abb. 23), gleichmäßiger, als die jeweilige Seite des Kontroll-Prüfkörpers. Im ungeätzten Bereich ist die Politurstreifung zu sehen. Die Schmelzoberfläche zeigt sich darüber hinaus jedoch gleichmäßig und ohne auffällige Varianz.

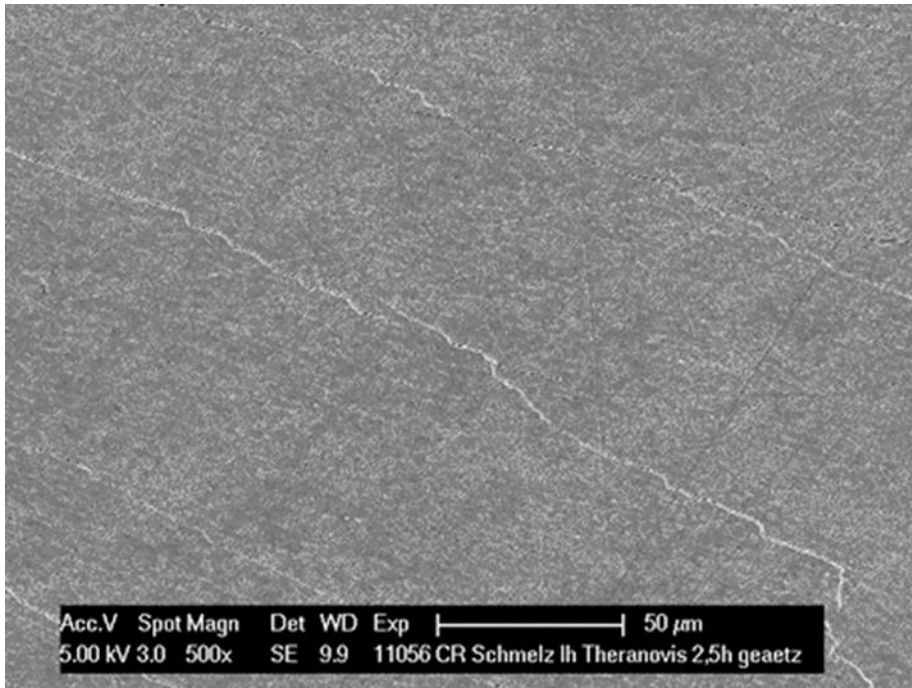


Abbildung 23: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellicel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint ungleichmäßig, Schmelzrisse und Politurstreifen sind sichtbar.

Im Gegensatz dazu nimmt sich die Oberflächenstruktur des erodierten Bereichs des Prüfkörpers rauer und weniger homogen aus. Es lassen sich Schmelzrisse und die Streifung aufgrund der Politur nachweisen. Die Schmelzoberfläche erscheint weniger einheitlich als im unerodierten Teil des Prüfkörpers (Abb. 23).

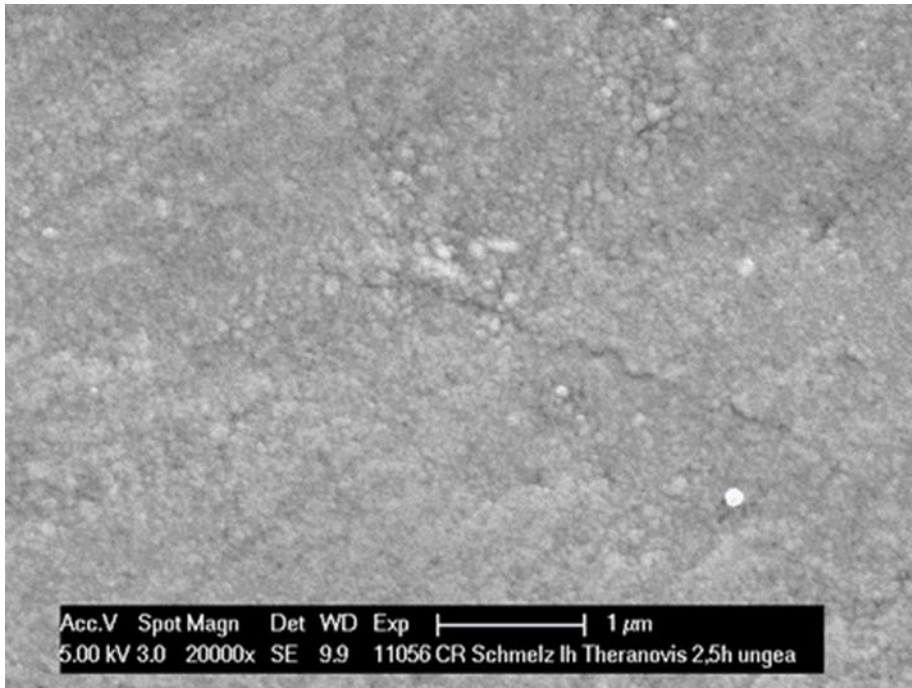


Abbildung 24: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. Auf der Oberfläche stellen sich Schmelz-Kristallite dar, trotzdem erscheint die Struktur größtenteils homogen. Vereinzelt sind hellere Partikel erkennbar.

Bei 20.000-facher Vergrößerung scheinen die Schmelzprismen bei dem *Theranovis*-Prüfkörper weniger stark geschädigt als bei der Kontrolle. Die ungeätzte Fläche des Probenkörpers scheint gleichmäßiger zu sein, die kugelige Verbandstrukturen sind weniger deutlich abzugrenzen und wirken kleiner als bei der Kontrollgruppe (Abb. 24). Vereinzelt (linker oberer Bildrand) sind Streifen erkennbar, die auf die Politur zurückzuführen sind.

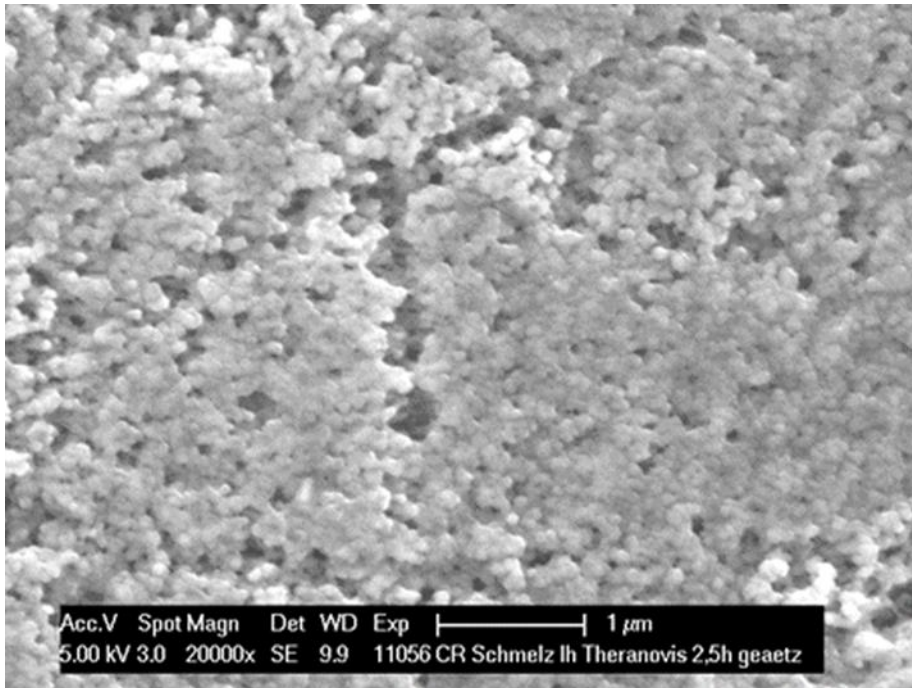


Abbildung 25: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint stark zerklüftet. Die Schmelzprismen stellen sich weniger dicht dar.

Die Oberflächenstruktur des erodierten Bereichs der *Theranovis*-Prüfkörpers ist deutlich inhomogener als die unerodierte Seite (Abb. 25). Zwischen den kugeligen Strukturen lassen sich Lücken erkennen, ähnlich denen, die bei der Kontrollgruppe in dieser Vergrößerung zu sehen waren. Die Schmelzprismen stellen sich jedoch weniger „ausgefranst“ dar als es bei der Kontrollgruppe der Fall war. Die Politurstreifung lässt sich im geätzten Bereich durch die deutlich rauere Oberfläche nicht mehr nachweisen.

4.4.3 REM-Abbildungen eines Tanninsäure-Prüfkörpers

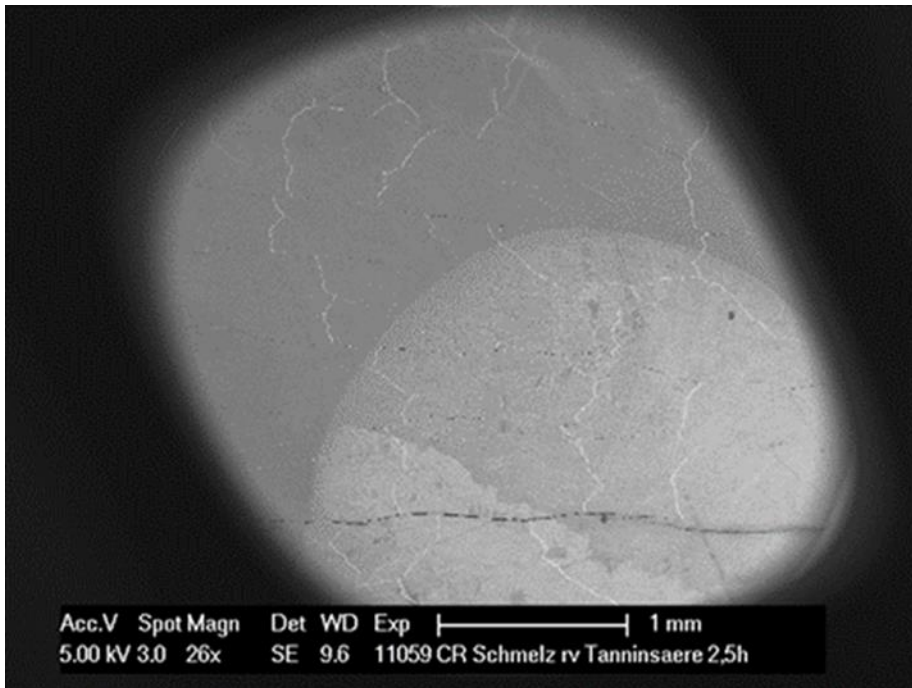
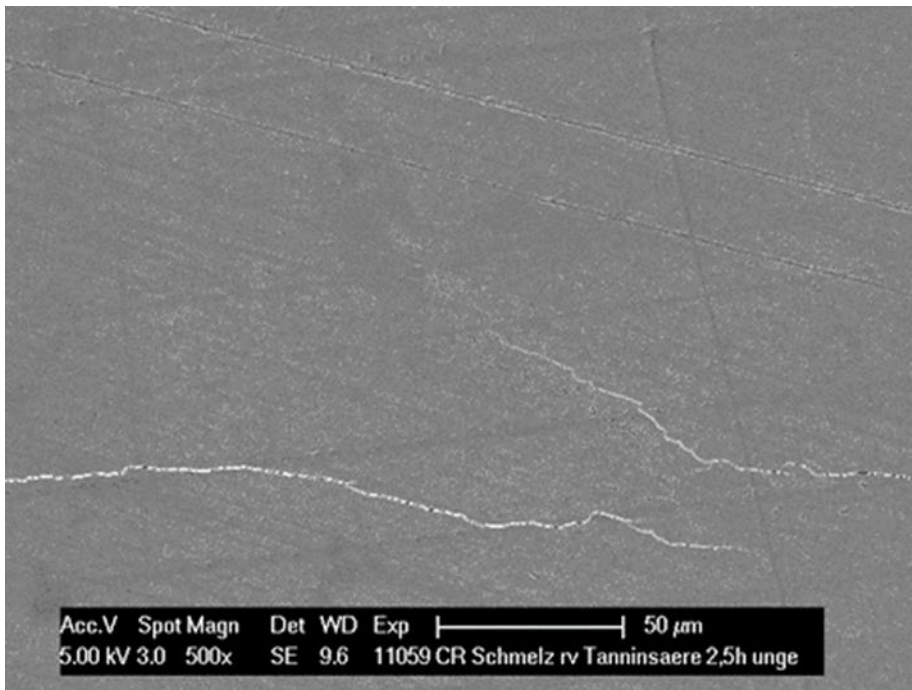


Abbildung 26: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 26-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pelikel: Rechts unten ist der geätzte Bereich heller zu erkennen; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung.

Im Folgenden ist ein Prüfkörper aufgeführt, bei dem die intraorale Spülung mit Tanninsäure durchgeführt wurde (Abb. 26). Am rechten unteren Bildrand in der kleinsten Vergrößerung (26-fach) ist die erodierte Fläche deutlich erkennbar, sie ist heller als der Rest des abgebildeten Teils des Prüfkörpers. Durch diesen Bereich verläuft ein Schmelzriss, der sich vor der hellen Prüfkörperoberfläche dunkel ausnimmt.



**Abbildung 27: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pel-
likel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß
geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint größtenteils
homogen, die sichtbare Streifung geht auf die Politur zurück, Schmelzrisse sind als helle Streifen er-
kennbar.**

In der 500-fachen Vergrößerung sind Schmelzrisse und Streifen im ungeätzten Bereich aufgrund der Politur, wie bei den vorherigen Prüfkörpern auch, zu erkennen (Abb. 27). Abgesehen davon erscheint die Oberfläche des Prüfkörpers allerdings sehr homogen. Einzelne Partikel wie bei den anderen Prüfkörpern sind hier nicht zu erkennen.

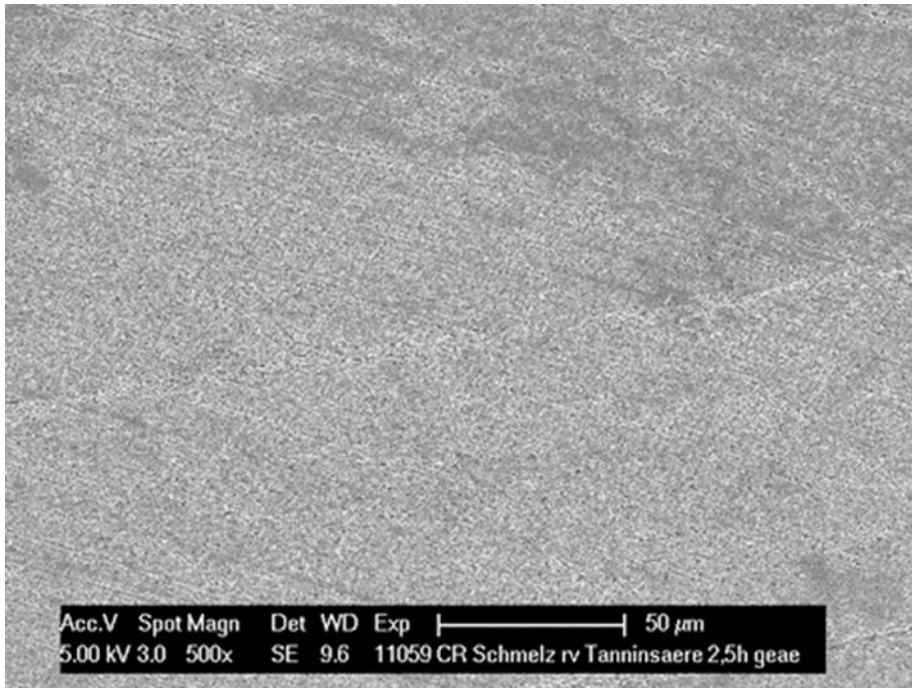


Abbildung 28: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pelikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint ungleichmäßig, Schmelzrisse und Politurstreifen sind sichtbar.

Im geätzten Bereich des Prüfkörpers ist die Aufrauung durch die Zitronensäure deutlich zu erkennen (Abb. 28). Die Oberfläche ist inhomogener als im ungeätzten Bereich. Die Politurstreifung ist erkennbar. Schmelzrisse lassen sich in diesem Ausschnitt, genauso wie größere dem Schmelz aufgelagerte Partikel, nicht auffinden. Es scheint Abschnitte des Prüfkörpers zu geben, die durch die Säure weniger stark angegriffen wurden (rechter oberer Bildausschnitt) und deren Oberfläche der Farbe nach eher der unerodierten Seite ähnelt, da sie sich weniger hell ausnimmt.

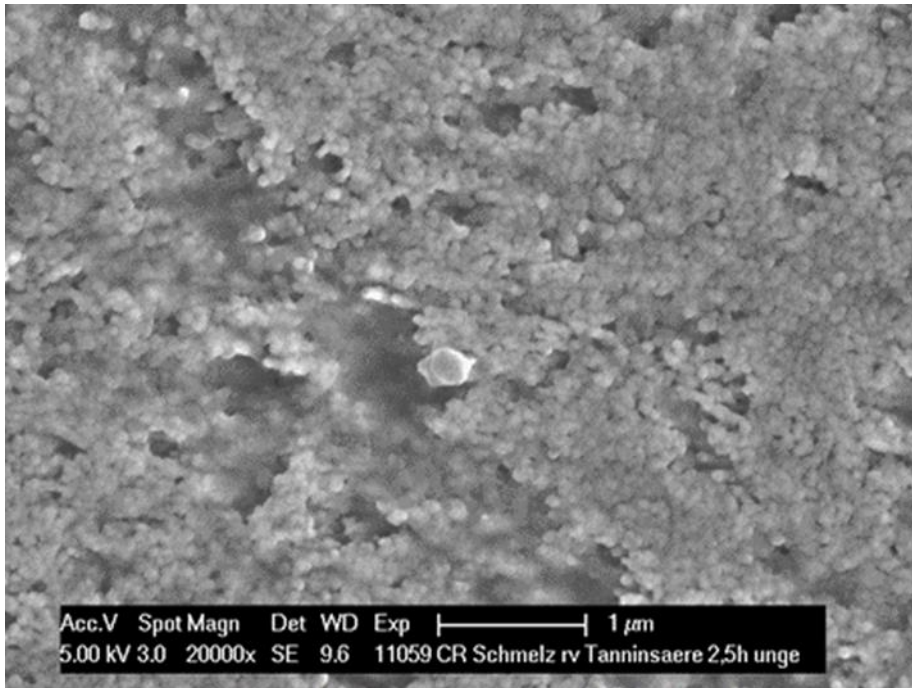


Abbildung 29: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. Auf der Oberfläche stellen sich kugelförmige Strukturverbände dar, trotzdem erscheint die Struktur größtenteils homogen. Mittig ist ein hellerer Partikel erkennbar.

In 20.000-facher Vergrößerung des unerodierten Teils des Prüfkörpers sind die kugeligen Strukturen wie bei den anderen beiden Prüfkörpern auch zu sehen. Mittig ist hier ein runder, heller Partikel aufgelagert (einzelner Schmelz-Kristallit). Direkt links daneben ist ein Bereich des Prüfkörpers abgebildet, der aufgelockert erscheint. Der restliche Bildausschnitt zeigt ansonsten eine eher kompakte Oberflächenstruktur (Abb. 29).

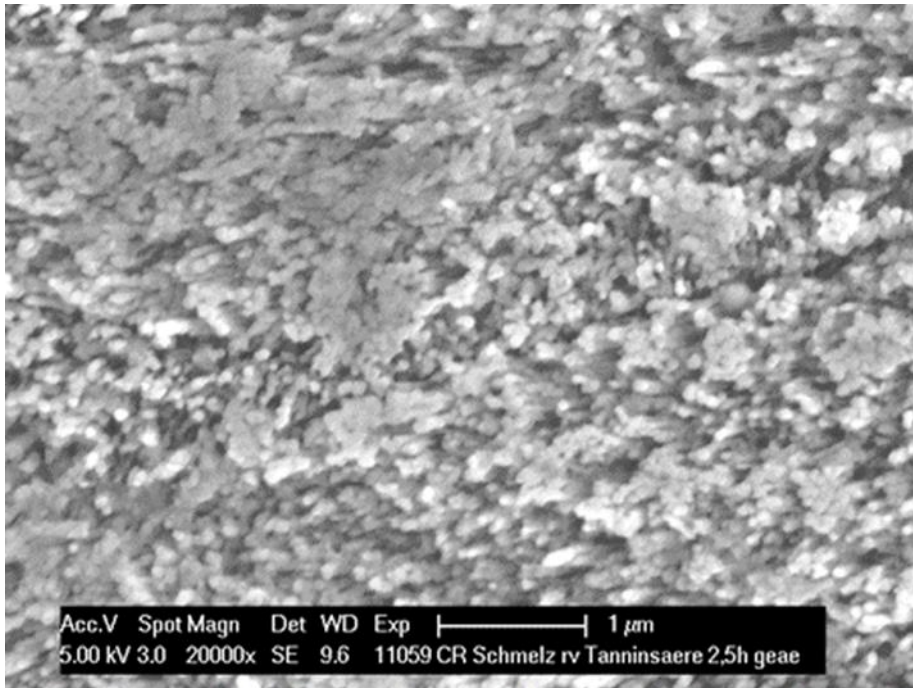


Abbildung 30: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint stark zerklüftet. Die Schmelzprismen stellen sich weniger dicht dar.

Im Gegensatz dazu ist die Schmelzoberfläche im erodierten Bereich deutlich weniger gleichmäßig (Abb. 30). Die Schmelzprismen zeigen sich aufgeraut und in ihrem Verbund deutlich geschwächt. Es sind keine Schmelzrisse oder Politurstreifen erkennbar.

Ergebnisse

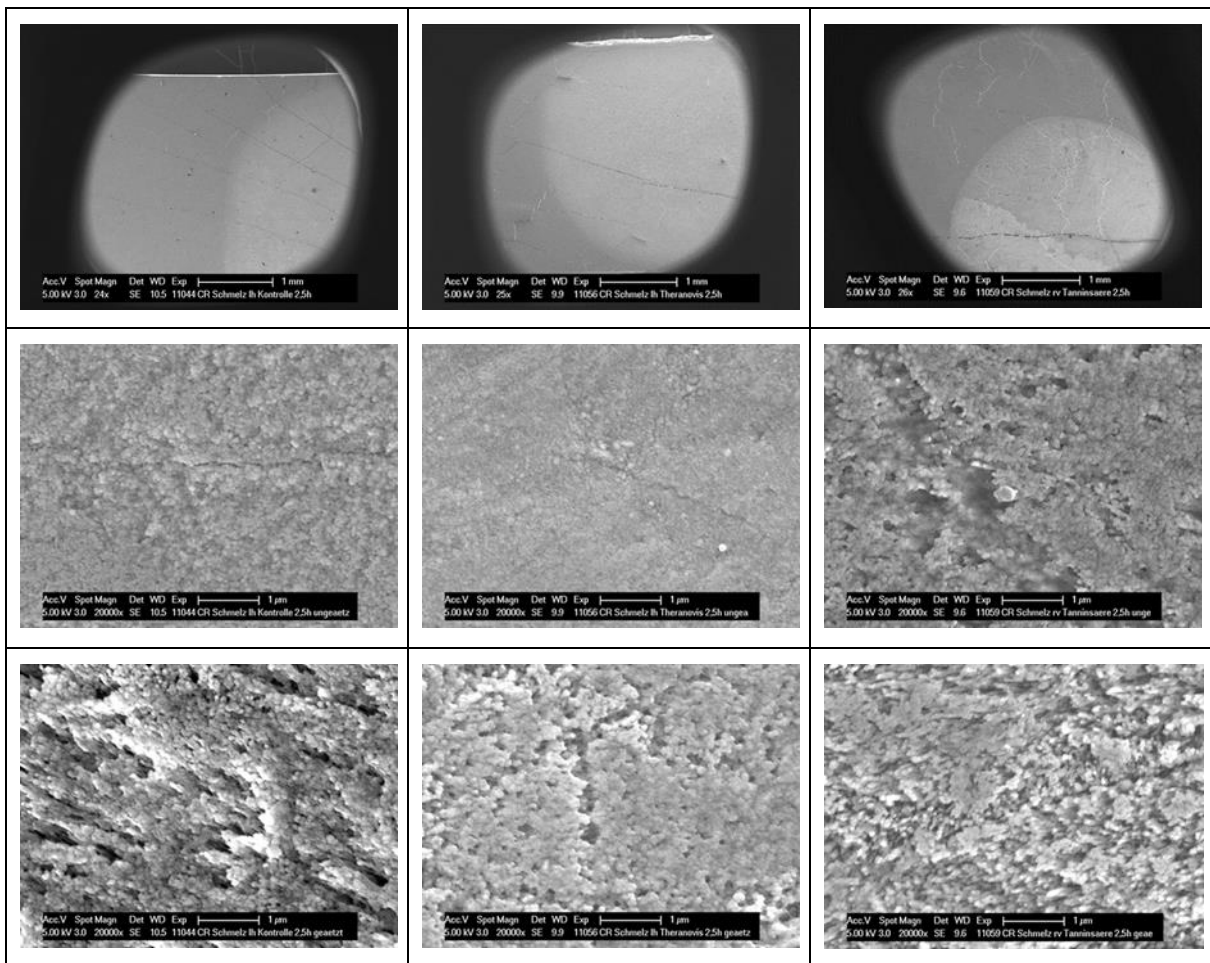


Abbildung 31: Vergleichende Darstellung aller drei Prüfkörper in der Übersichtsaufnahme (25-fach Vergrößerung) und darunter in der 20.000-fachen Vergrößerung (mittlere Vergrößerung in dieser Abbildung aus Übersichtsgründen nicht dargestellt); links: Kontrollgruppe, mittig: *Theranovis*-Gruppe, rechts: Tanninsäure-Gruppe. Die zweite Zeile zeigt die ungeätzten Bereiche der Prüfkörper, in der dritten Zeile sind die erodierten Abschnitte dargestellt. In der kleinsten Vergrößerung ist kein wesentlicher Unterschied bei den Prüfkörpern erkennbar. Die geätzten Bereiche der Prüfkörper stellen sich in allen drei Gruppen deutlich aufgerauter dar. Im Vergleich zum Prüfkörper der Kontrollgruppe erscheint die Oberfläche der beiden anderen Prüfkörper in der 20.000-fachen Vergrößerung etwas weniger stark zerklüftet.

In der Übersichtsdarstellung der ausgewählten Prüfkörper der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung lassen sich die Unterschiede der Prüfkörper noch einmal beurteilen. Die rauerer Oberflächen der geätzten Bereiche der Schmelzprüfkörper (dritte Zeile) werden deutlich. Außerdem imponiert die Oberfläche des Kontrollprüfkörpers (linke Spalte) in der 20.000-fachen Vergrößerung ausgefranter als die Oberflächen der Prüfkörper, die mit *Theranovis* bzw. Tanninsäure behandelt wurden (mittlere bzw. rechte Spalte).

5 Diskussion

Der Prozess der dentalen Erosion ist von multifaktorieller Genese, die einerseits von der auf den Zahn einwirkenden Säure, andererseits aber auch sehr stark vom Individuum abhängt.

Dadurch, dass in der vorliegenden Studie nicht nur In-vitro-Experimente durchgeführt wurden, sondern die Prüfkörper auch mittels Kunststoffschiene intraoral getragen wurden, konnten möglichst realistische Ergebnisse ermittelt werden.

Die Analyseverfahren der Profilometrie und der Mikrohärtemessung wurden schon vielfach in der Literatur beschrieben und zur Anwendung gebracht und können als geeignete Methoden zur Beurteilung der Säureprotektivität der Spüllösungen betrachtet werden (Attin et al., 2006; Cardoso et al., 2020).

5.1 Diskussion von Material und Methode

5.1.1 Umsetzung als In-situ-Studie

Grundsätzlich lässt sich zwischen der Durchführung eines Versuchs *in vivo* und *in vitro* unterscheiden.

In vitro bedeutet, dass der Versuchsaufbau nicht unter realen Bedingungen im Organismus stattfindet, sondern zum Beispiel in einem Reagenzglas oder in einer Well-Platte. Im Gegensatz dazu wird eine In-vivo-Studie am lebenden Organismus durchgeführt.

Beide Modelle haben sowohl Vor- als auch Nachteile. So lassen sich die Bedingungen einer In-vitro-Studie auch bei mehrfacher Wiederholung präzise nachstellen. Etwaige individuelle Unterschiede der Testpersonen können ausgeschlossen werden. Meist ist die Durchführung einer solchen Studie einfacher zu realisieren, da keine Probanden gebraucht werden. Auf der anderen Seite bietet die In-vivo-Studie den Vorteil, dass deren Ergebnisse einen direkten Rückschluss auf die tatsächliche Wirksamkeit einer getesteten Substanz oder einer zu überprüfenden Therapie zulassen.

In verschiedenen Studien konnten zudem Unterschiede bei *in vivo* bzw. *in vitro* gebildeter

Pellikel nachgewiesen werden (Yao et al., 2001; Yin et al., 2006). Demzufolge ist es möglich die Pellikelbildung näherungsweise zu simulieren, ihre vielschichtige und komplexe Struktur lässt sich allerdings nur in In-vivo-Studien beobachten.

Im vorliegenden Experiment wurde zur Überprüfung der Wirksamkeit zweier Spüllösungen gegen erosive Angriffe auf den Zahnschmelz das In-vivo-Versuchsmodell gewählt.

Dies erschien sinnvoll, um die Protektivität der Pellikel unter realen Bedingungen beurteilen zu können. In der Erforschung erosiver Prozesse, aber auch in der Pellikelforschung sind In-vivo-Experimente etabliert und meist das Mittel der Wahl (Hannig und Balz, 1999; Pontefract et al., 2001; Skjørland et al., 1995).

Aus den Ergebnissen dieser Studie wurden zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden ersichtlich. Es lässt sich nur für Tanninsäure eine Tendenz zur säureprotektiven Wirkung erkennen.

Um Schwierigkeiten, die im Rahmen einer In-vivo-Studie auftreten, zu verhindern, wäre eine größere Probandenzahl denkbar. Auch die multiple Durchführung des Versuchs wäre möglich, um den Effekt von Ausreißern bei den Messwerten zu verringern.

Zusätzlich zu den In-vivo-Versuchen wurde das Testverfahren auf Prüfkörper angewandt, die pellikelfrei und *in vitro* gelagert wurden. Damit sollte die direkte Schutzwirkung der Lösungen auf den Zahnschmelz untersucht werden, ohne dass die Pellikel als Barriere fungieren konnte.

Die Schutzfunktion des erworbenen Schmelzoberhäutchens wurde schon vielfach in der Literatur beschrieben (Hannig, 2002; Hannig und Balz, 1999; Hannig und Joiner, 2006). Die Pellikel stellt sich als zweilagige Schicht aus adsorbierten Speichelproteinen und Bestandteilen der Ernährung dar, die auch bei einem Säureangriff nicht vollständig abgelöst wird. Dadurch fungiert sie als Barriere gegen die Säure. Die in die Pellikel eingelagerten Calcium- und Phosphatmoleküle dienen zudem der Remineralisation der Zahnhartsubstanz nach erosiven Prozessen.

In der vorliegenden Studie konnte die Schutzwirkung der Pellikel nicht hinreichend nachgewiesen werden.

5.1.2 Rinderzähne als Prüfkörper

Die physikalische und chemische Struktur der Zähne adulter Rinder ähnelt weitestgehend derer menschlicher Zähne der zweiten Dentition und ihre Verwendbarkeit zu Studienzwecken als Ersatz humaner Zähne wurde bewiesen (Esser et al., 1998; Nakamichi et al., 1983; Wegehaupt et al., 2008).

Um einen möglichst großen Prüfkörper herstellen zu können, wurden nur Schneidezähne der Rinder verwendet, da diese im Vergleich zu den Mahlzähnen eine ebenere Oberfläche aufweisen. Mithilfe einer Säge wurden die Zähne in rechteckige Stücke geschnitten und dann mit einer Poliermaschine bis zur Körnung 4000 aufpoliert. Makro- und mikroskopische Risse wurden so weit wie möglich eliminiert, um einheitliche Ausgangsbedingungen zu erzielen. Die Politur wurde bis zum gewünschten Ergebnis unter dem Mikroskop kontrolliert.

Analog zu humanen Zähnen ist auch die Struktur bovinen Schmelzes sehr individuell und muss bei Studien, die damit arbeiten, stets berücksichtigt werden. Obwohl in diversen Studien Schmelzprüfkörper aus Rinderzähnen zum Einsatz kamen (Attin et al., 2003; Attin et al., 2005; Hannig et al., 2004), ist deren mikroskopischer Aufbau nicht mit dem menschlicher Zähne identisch. Im Vergleich zu Schmelz und Dentin von Schafen oder Schweinen, eignen sich Rinderzähne wegen der größten Vergleichbarkeit trotzdem am besten (de Dios Teruel et al., 2015). Aufgrund ihrer Dimension ist es zudem möglich größere Prüfkörper zu gewinnen als bei Zähnen, die Menschen extrahiert wurden.

5.1.3 Fertigung der Prüfkörper

Auch die Prüfkörperherstellung hat einen Einfluss auf die Ergebnisse.

Mikroskopisch kleine Unebenheiten aufgrund der Politur oder Risse/Kerben in der Schmelzoberfläche verfälschen unter Umständen die Resultate der Auswertungen. Es ist allerdings anzunehmen, dass die Oberflächenprofilometrie von diesen Faktoren stärker betroffen ist als die Mikrohärtemessung, bei der ein viel kleinerer Bereich zur Analyse herangezogen wird und kritische Bereiche nicht in die Auswertung miteinbezogen werden können. Manuell hergestellte

Prüfkörper unterliegen immer einer gewissen Varianz; und trotz sorgfältiger Herstellung und Aufbereitung der Prüfkörper sind kleine Ungenauigkeiten nie auszuschließen.

5.1.4 Auswahl und Anzahl der Probanden

Im Rahmen dieser Studie wurden vier Probanden mit kariesfreiem Gebiss, gesunder Gingiva und unauffälligem Allgemeinzustand ausgewählt.

Für jeden Probanden wurden jeweils zwei separate Schienenteilstücke *regio* 13-16 bzw. 23-26 angefertigt. Die Schneidezähne wurde ausgespart, um einen größeren Tragekomfort durch eine grazilere Gestaltung sicherzustellen.

Dadurch, dass die Versuchsteilnehmer eine Stunde vor Beginn der Testreihe das letzte Mal wie gewohnt ihre Zähne mit Zahnpasta reinigen sollten und 30 min davor noch einmal nur mit Wasser geputzt wurde, sollten alle Speise- und Zahnpastareste im Mund eliminiert werden. Während der Tragezeit war die Nahrungsaufnahme untersagt, und es durfte nur stilles Wasser getrunken werden. Damit sollte eine Wechselwirkung der Nahrungsbestandteile mit der Pellikel umgangen werden. Es konnte dargelegt werden, dass eine laktovegetarische Ernährung erosive Veränderungen an den Zähnen begünstigt (Linkosalo und Markkanen, 1985). Ein erhöhter Verzehr von Essig, Zitrusfrüchten und Beeren wurde in dieser Studie als Grund dafür angegeben.

Nach einer initialen Tragezeit von 3 min, in derer sich die Pellikel ausbilden konnte, wurde das erste Mal mit der jeweiligen Spüllösung gespült.

Wie schon vielfach in der Literatur beschrieben, ist die Pellikel ein stark vom Individuum abhängiger Faktor. Hannig et al. (2005) konnten große inter- und intraindividuelle Divergenzen nachweisen (Hannig et al., 2005). Nicht nur die Dichte weist große Unterschiede auf, sondern auch die Zusammensetzung des Biofilms. In dieser Studie ließen sich individuelle ebenfalls Abweichungen in der Protektivität der Pellikel in Bezug auf die Abnahme der Mikrohärtة respektive der Zunahme der Oberflächenrauheit feststellen.

Bei allen Probanden war im Gegensatz zum entsprechenden In-vitro-Versuch ohne Pellikel eine geringere Mikrohärtةabnahme erkennbar. Dieser positive Effekt ließ sich aber bei der Analyse

der Oberfläche nicht beobachten. Hier war bei zwei Probanden sogar eine deutliche rauere Oberfläche festzustellen. Als Erklärung ist hier die stark variierende Zusammensetzung der Pelikel anzuführen. Denkbar wäre eine höhere Anzahl an Versuchsteilnehmern, damit die interindividuellen Unterschiede der einzelnen Personen weniger stark ins Gewicht fallen.

5.1.5 Testmodalitäten

Das Studiendesign für die vorliegende In-vivo-Studie sah jeweils zwei Schienenteile für die vier Probanden vor. Zur Vermeidung auftretender Irritationen während der Versuche wurde die Extension der Schienen möglichst klein gehalten. Sie umfasste die bukkalen, okklusalen und palatinalen Bereiche der Zähne 13-16, respektive 23-26. Auf eine Ausdehnung der Schienen bis über die Gingiva wurde weitestgehend verzichtet. Der Gebrauch von Tiefziehschienen als probates Mittel in der In-vivo-Forschung wurde früher schon beschrieben (Tinanoff et al., 1976). Die Herstellung ist kostengünstig und das Tragen für die Probanden in der Regel mit keinen Unannehmlichkeiten verbunden. Des Weiteren erlaubt das Material der Schienen eine mehrfache Verwendung, die Befestigung intraoral ist reversibel und non-invasiv. Bei längeren Tragerunden ist es zudem möglich die Schienen während Mahlzeiten zu entfernen und sie später, ohne eine Beeinflussung der Prüfkörper, wieder einzusetzen. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich auf den Prüfkörpern ein ähnlich ausgeprägter Biofilm entwickelt, wie auf der natürlichen Dentition (Macpherson et al., 1991).

Das für diese Studie entwickelte Testverfahren sah die dreiminütige initiale Biofilmbildung vor, anschließend wurde 30 s lang mit der jeweiligen Spüllösung gespült (respektive mit Wasser). Nach weiteren 27 min wurde die Spülung wiederholt. Dies geschah noch drei Mal im Abstand von 30 min. Insgesamt wurde dementsprechend eine Tragezeit von zweieinhalb Stunden eingehalten. Diese Art des Spülprotokolls ist neu. In der Literatur wird oftmals die einmalige Spülung mit einer Spüllösung beschrieben. Die Spüldauer beträgt in den meisten Fällen dann allerdings mehr als die normalerweise üblichen 30-60 s (Hertel et al., 2017). Es bleibt dabei fraglich, ob längere Spülzeiten als klinisch relevant zu betrachten sind, da eine Spüldauer von 10 min im Alltag eher nicht eingehalten werden kann.

Eine mehrmalige Spülung erscheint sinnvoll, da so die wiederholte Verwendung der Spüllösung nach jeder Mahlzeit simuliert wird. In einer Studie von Jain et al. (2016) wurden die Probanden dazu aufgefordert, zweimal am Tag mit der zu untersuchenden Lösung aus verschiedenen Kräutern auf der Basis essenzieller Öle zu spülen. Dieser Lösung zugesetzt waren Fluoride und Chlorhexidin (0,2 %) (Jain und Jain, 2016). Eine zweifache Mundspülung pro Tag (morgens und abends) kann als realistischer betrachtet werden als die einmalige Verwendung der Lösung über einen vergleichweisen langen Zeitraum. Die Methode wiederholter Spülungen und anschließender Säureexpositionen der Prüfkörper stellt einen weiteren möglichen Versuchsaufbau dar. Hierbei wird nicht nur die mehrfache Benutzung der Mundspülung nach dem Essen, sondern auch die Wirkung multipel auftretender Säureangriffe nachgestellt (O'Toole et al., 2016). In Anbetracht dessen, dass die Mehrheit der Menschen zweimal pro Tag ihre Zähne reinigt, stellt die zweimalige Spülung mit einer Mundspüllösung im Rahmen einer experimentellen Studie das wirklichkeitsgetreuste Studiendesign dar. Die fünfmalige Verwendung der Spülung innerhalb von 2,5 h, ist unter diesem Gesichtspunkt zu überdenken. Gegenüber der einmaligen Spülung über 10 min, ist ihr aber der Vorzug zu geben, da eine derart lange Einwirkdauer der Inhaltsstoffe der Spüllösung wenig praktikabel erscheint.

Um nicht in die Pellikel inkorporierte Speichelbestandteile von den Prüfkörpern zu entfernen, wurden die Prüfkörper in der vorliegenden experimentellen Studie nach der intraoralen Expositionszeit für 30 s abgespült.

Die Zitronensäureätzung erfolgte statisch und halbseitig für 180 s. Noch vorhandene Säure wurde direkt im Anschluss mit In-vitro-Wasser entfernt.

Es wurde im Rahmen dieses Versuchsaufbaus auf eine Ätzung unter dynamischen Bedingungen, wie sie beim Trinken auftreten, verzichtet. Der Grund dafür war, dass ein und derselbe Prüfkörper zur Überprüfung der Oberflächenrauheit und Mikrohärtigkeit im geätzten und ungeätzten Zustand herangezogen werden sollte. Eine definierte Abgrenzung von erodiertem und unbehandeltem Schmelz konnte nur durch eine vorsichtige und punktuelle Ätzung gewährleistet werden. In der Literatur wurde schon beschrieben, dass eine statische Erosion zu einer erhöhten Säurewirkung führt (Maupomé et al., 1999). Allerdings bleibt zu erwähnen, dass die Prüfkörper in der Studie von Maupomé in Gänze der erosiven Flüssigkeit ausgesetzt wurden, das sollte in

der vorliegenden Studie vermieden werden.

Trotz des aufwendigen Verfahrens zur Entfernung der Pellikel, lassen die deutlich variierenden Ergebnisse der Rauheitsmessung darauf schließen, dass das Verfahren zur Entfernung der Pellikel nicht optimal geeignet war. Es scheint wahrscheinlich, dass einzelne Bestandteile oder sogar ein teilweise noch vorhandener Biofilm die Ergebnisse verfälscht haben, indem sich die Oberfläche bei der Analyse als rauer darstellte, als sie es nach vollständiger Entfernung der Pellikel wäre.

In einer Studie von Meurman et al. (1991) wurde die über sieben Tage gebildete, künstliche Pellikel ebenfalls von den auszuwertenden Prüfkörpern entfernt. Die Forscher verwendeten dafür 10%iges Natriumhypochlorit über 20 h bei einer Temperatur von 20 °C. Anschließend wurden die Prüfkörper für weitere 60 s im Ultraschallbad gereinigt (Meurman und Frank, 1991).

5.1.6 Auswahl der Spüllösungen

Bis jetzt wurden weder *Theranovis* noch Tanninsäure häufig als Spüllösungen in Versuchen zur Säureprotektivität verwendet.

Das Mundspray *Theranovis* besteht zu einem großen Teil aus ätherischen Ölen, denen in der Literatur eine antibakterielle Wirkung zugeschrieben wird (Cavalca Cortelli et al., 2009; Cortelli et al., 2009; Fine et al., 2007). Insbesondere wirkt *Theranovis* laut Hersteller gegen Plaque und die aus ihr resultierenden Erkrankungen wie Karies und Parodontitis. Es erscheint möglich, dass die ätherischen Öle auch darüber hinaus auf die Pellikel einwirken und erosive Vorgänge mildern können. Diese Hypothese wurde in der vorliegenden Studie überprüft. Die Oberflächenstruktur des Schmelzprüfkörpers, der mit *Theranovis* behandelt wurde, zeigte sich in den REM-Analysen im unerodierten Bereich am homogensten (in Bezug auf die Kontrolle bzw. Tanninsäure), das könnte für eine homogene Auflagerung der ätherischen Öle des Mundsprays sprechen.

Während *Theranovis* bis jetzt nicht im Zusammenhang mit säurebedingter Zahnhartsubstanzen-degeneration experimentell erforscht wurde, gibt es Studien, die der Tanninsäure eine

Schutzfunktion für Schmelz und Dentin zuschreiben. Nichtsdestotrotz ist auch hier die Studienlage eher dünn und bedarf weiterer Untersuchungen. Rehage et al. (2017) konnten in ihrer Studie zu Adstringenzien, zu denen die Tanninsäure zählt, zeigen, dass diese Substanzen einen positiven Effekt auf den initialen Biofilm haben können. Nach der Spülung mit Polyphenolen und Lysozymen resultierte eine elektronendichtere und verbreiterte Pellikelschicht (Rehage et al., 2017). Eine Studie von Hertel et al. (2017) belegte die Wirksamkeit einer Spülung mit Tanninsäure. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Tanninsäure die Adhärenz von Bakterien zur Pellikelschicht signifikant verringern kann. Wie in der zuvor aufgeführten Studie konnte auch hier eine höhere Elektronendichte in der Pellikel festgestellt werden (Hertel et al., 2017). Auch in der vorliegenden Studie zeigte sich die Oberflächenstruktur der Tanninsäure-Prüfkörper in der REM-Analyse vor und nach der Erosion kompakter als diejenige der Prüfkörper in der Kontrollgruppe.

5.1.7 Wahl des Analyseverfahrens

Die Überprüfung der Oberflächenstruktur der Prüfkörper und deren Mikrohärtigkeit vor und nach der Anwendung der Zitronensäure.

Die Messung der Mikrohärtigkeit nach Knoop und die Analyse der Oberflächenrauheit mithilfe eines Scanners sind vielfach angewandte Methoden zur Auswertung der Effektivität von Spüllösungen (Attin, 2006; Attin et al., 2003).

Denkbar wäre die Auswertung der Menge der in Lösung gegangenen Calcium- und Phosphationen mithilfe der Photometrie. Bei diesem Verfahren reagiert ein Indikator (Arsenazo III) mit Calcium und Malachitgrün mit Phosphat. Die resultierende Farbintensität korreliert mit der Menge der Ionen und lässt sich photometrisch quantifizieren. Diese Methode wird vielfach in der Literatur verwendet (T. Attin et al., 2005a, 2005b; Hannig et al., 2012; Kensche et al., 2016).

In einer In-vitro-Studie konnten Amaechi et al. (1998) darlegen, dass die transversale Mikroradiographie zur Analyse von erodierten Schmelzproben ebenfalls geeignet ist. Ferner wurde der Gebrauch dieser Methode auch für In-vivo-Versuche als sinnvoll beschrieben (Amaechi et al., 1998a).

Der Gebrauch eines Rasterelektronenmikroskops zur optischen Auswertung und Darstellung der Ergebnisse ist gut geeignet und erlaubt den Vergleich mit anderen Studien, die dieses Verfahren ebenfalls verwenden. Die Erhöhung der Oberflächenrauheit, wie sie durch die Profilometrie beschrieben wurde, kann damit visualisiert werden. Die deutlich rauere Oberfläche nach der Erosion ist auf den REM-Bildern gut zu sehen und die aufgelockerten Schmelzprismen können visualisiert werden.

Diese instabil gewordenen Schmelzprismen sind auch der Grund für die verminderte Mikrohärtigkeit des geätzten Schmelzes, da sie dem Druck nicht mehr standhalten können und unter ihm kollabieren.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Es liegen keine weiteren Studien vor, in denen das gleiche Spülverfahren zur Anwendung kam. Ein direkter Vergleich zu anderen Experimenten und deren Ergebnissen ist deswegen nicht möglich.

Adstringenzen und ätherische Öle gehören nicht zu den bevorzugten Substanzen bei der Erforschung des Erosionsschutzes. Eine viel größere Bedeutung wird remineralisierenden Stoffen wie Fluorid, Aminfluorid und Calcium-Phosphat-Verbindungen beigemessen.

Der protektive Effekt von Fluorid gegenüber Säureangriffen wurde vielfach verifiziert und in der Literatur beschrieben (Vieira et al., 2005). Attin et al. (2003) konnten einen signifikant geringeren Verlust der Mikrohärtigkeit nach Säureeinwirkung feststellen, wenn die Prüfkörper vor einer Remineralisationsperiode der Kombination aus Fluorid, Calcium und Phosphat ausgesetzt waren (Attin et al., 2003). Die Resultate einer weiteren Studie zeigten, dass die Verbindung von Fluorid und Xylitol ebenfalls eine gute erosionsprotektive Wirkung besitzt (Amaechi et al., 1998b). Auch die zusätzliche Spülung mit Calciumlactat vor dem Einsatz von Natriumfluorid erbrachte eine geringere Schädigung der Schmelzproben *in vitro*. Dieser Effekt wurde vor allem bei geringem artifiziellem Speichelfluss festgestellt (Borges et al., 2014). Die Modifikation des Fluorids mittels Zinn birgt womöglich ein noch größeres Säure-protektives Potenzial, verglichen mit unverändertem Fluorid. Dieser Effekt beschränkt sich jedoch vor allem auf

Zahnschmelz, das Dentin erfährt keinen verbesserten Schutz durch den Zusatz von Zinn (Ganss et al., 2010, 2008; Magalhães et al., 2011; Schlueter et al., 2010, 2009).

Speiseöle, wie Sonnenblumenöl, Distelöl und Olivenöl sind beliebte Substanzen in Experimenten zur Erosionsforschung. Der Grund ist die gute Verträglichkeit, der geringe Kostenaufwand und die weltweite Verfügbarkeit der Öle. Hannig et al. (2012) untersuchten den möglichen positiv modifizierenden Effekt von Distelöl auf das erworbene Schmelzoberhäutchen. Nachdem sich die Pellikel 60 s lang auf intraoral befestigten Prüfkörpern aus Zahnschmelz ausbilden konnte, wurde für 10 min mit dem Distelöl gespült. Die Prüfkörper verblieben weitere 19 min in der Mundhöhle. Im weiteren Verlauf wurden die entnommenen Schmelzstückchen Salzsäure mit pH-Werten zwischen 2 und 3 ausgesetzt. Prüfkörper ohne Pellikel und mit Pellikel aber ohne Ölspülung dienten als Kontrollen. Photometrisch konnte kein Vorteil der Spülung mit Distelöl festgestellt werden. Ganz im Gegenteil resultierte nach der Spülung ein erhöhter Calcium- und Phosphatverlust, was auf eine Demineralisation der Zahnhartsubstanz hindeutet (Hannig et al., 2012). Im Rahmen eines Versuchsaufbaus von Ionta et al. (2017) wurden Distel-, Kokosnuss-, Palm- und Sonnenblumenöl hinsichtlich ihres möglichen Wertes gegen Säureangriffe überprüft. Nach der Ausbildung einer 2 h-Pellikel, wurden die Prüfkörper *in vitro* den jeweiligen Ölen ausgesetzt. Nach der Lagerung der Schmelzprüfkörper in künstlichem Speichel für weitere 2 min, wurden sie für 30 s mit Zitronensäure (0,5 %) behandelt. Das vielversprechendste Ergebnis lieferte das Palmöl, das zu einem geringeren Härteverlust führte, als es bei den anderen Ölen der Fall war (Ionta et al., 2017). In einem Review zum Thema der Lipide in der Zahnprophylaxe wurde als Grund für den positiven Effekt der Öle deren Einlagerung in die Pellikelmatrix angeführt. Dies führe dazu, dass eine bakterielle Besiedlung der Pellikel erschwert würde. Karies und eine Entstehung von entzündlichen Prozessen könne so verhindert werden. Die erosionsprotektive Wirkung der Öle wurde in diesem Review ebenfalls als möglich dargestellt (Kensche et al., 2013).

Eine Studie, bei der zehn Minuten mit Tanninsäure gespült wurde, erbrachte eine deutlich verbesserte Schutzwirkung der Pellikel bei Säureangriffen durch die Modifikation derselben. Bovine Schmelzprüfkörper wurden 1 min intraoral getragen, anschließend erfolgte eine Spülung mit dem Adstringenz. Die Prüfkörper wurden für weitere 19 min (respektive 109 min bzw. 8 h)

im Mund belassen, dann entnommen und *ex vivo* mit Salzsäure (120 s) behandelt (Hertel et al., 2017). Allerdings war sowohl die verwendete Säure eine andere (HCl), als auch die Tragedauer der Prüfkörper von 8 h unterschiedlich zu der in der hier vorliegenden Studie.

In einer weiteren experimentellen Studie zeigte sich nach der Spülung mit gelöstem *Ribes nigrum* (Stoff aus der Knospe der schwarzen Johannisbeere) bzw. *Origanum* (Stoff, der aus *Oregano* gewonnen wird) über zehn Minuten ebenfalls ein positiver Effekt auf die Pellikel. Auch hier konnte sich die Pellikel zu Beginn über eine Minute formieren, dann kam die Spüllösung zum Einsatz. Anschließend verblieben die Testobjekte für 19 bzw. 28 min im Mund des Probanden. Die gewählte Säure war wie im vorher genannten Experiment die Salzsäure (pH-Werte 2, 2,3 und 3), die für 2 min auf die Prüfkörper wirken konnte. Die Auswertung erfolgte photometrisch und mittels Transmissionselektronenmikroskopie (Weber et al., 2015).

Eine Studie aus diesem Jahr verfolgte ein vergleichbares Spülprotokoll wie die hier vorliegende Studie: Die Probanden spülten vier bzw. fünf Mal mit einer Tanninsäure-Lösung innerhalb der Versuchsdurchführung. Allerdings verblieben die Prüfkörper über 48 h intraoral und nicht nur 2,5 h. Anschließend wurden mittels Fluoreszenz- und Transmissionselektronenmikroskopie die Beschaffenheit und Zusammensetzung des Biofilms analysiert. Es konnte eine signifikant verringerte Adhärenz und Lebensfähigkeit der Bakterien verifiziert werden (Schestakow et al., 2021).

Dies beweist, dass eine multiple Spülung einen positiven Effekt auf die Pellikel hat, auch wenn die einzelnen Spülvorgänge nur 30 s andauern. Diesem Spülmodus ist im Vergleich zu einer Mundspülung, die über mehrere Minuten durchgeführt werden muss, der Vorzug zu geben, da er unter alltäglichen Bedingungen realistischer ist.

Eine experimentelle Studie überprüfte die Wirkung des Extraktes von Traubenkernen und Cranberrys (beides Tannine) in Bezug auf Erosionen (Nandakumar und Nasim, 2018). Nach einer initialen Behandlung mit Salzsäure für zehn Sekunden wurden die Schmelzprüfkörper den jeweiligen Extrakten für 30 s ausgesetzt. Anschließend erfolgte die Lagerung in künstlichem Speichel über 60 min. Als Kontrollgruppe dienten Prüfkörper, die mit Fluorid behandelt wurden, anstatt der natürlichen Extrakte. Sowohl die Extrakte der Traubenkerne als auch die der

Cranberrys hatten eine schlechtere Schutzwirkung verglichen mit Fluorid. Der Traubenkernextrakt schnitt besser aber als die Beeren, der Unterschied war aber nicht signifikant (Nandakumar und Nasim, 2018).

5.3 Schlussfolgerung

In der vorliegenden Studie sollte der mögliche protektive Effekt zweier Spüllösungen bei erosiven Angriffen auf den Zahnschmelz untersucht werden. Hierfür wurden Experimente sowohl *in vivo* mithilfe von vier Probanden als auch *in vitro* durchgeführt. Die Prüfkörper, die außerhalb der Mundhöhle mit den Lösungen behandelt wurden, sollten als Vergleichsgruppe zu den Prüfkörpern herangezogen werden, auf denen sich im oralen Milieu eine Pellikel ausbilden konnte.

Im Rahmen dieses Versuchsaufbaus konnte keine säureprotektive Wirkung der Pellikel nachgewiesen werden. Die in der Literatur schon mehrfach beschriebene großer individuelle Varianz der Pellikel wurde auch in dieser Studie beobachtet.

Der *In-Vivo*-Versuchsaufbau umfasste drei Spüllösungen pro Probanden. Die Spülung mit destilliertem Wasser diente als Kontrollgruppe. Eine der zu testenden Spüllösungen bestand zu einem Teil aus ätherischen Ölen (*Theranovis*), die andere aus Tanninsäure.

Die Art und Weise der Spülverfahrens der vorliegenden experimentellen Studie ist neu. Der Spülmodus, wie er hier zum Einsatz kam, lässt keinen direkten Vergleich zu anderen Studien zu. Inwiefern eine fünfmalige Spülung über 2,5 h als realistisch zu betrachten ist, muss allerdings hinterfragt werden. Auch die Durchführung des Reinigungsprotokolls zur Entfernung der Pellikel von der Schmelzoberfläche ist kritisch zu sehen. Die Ergebnisse der Oberflächenanalyse legen nahe, dass eine vollständige Ablösung der Pellikel nicht erreicht werden konnte. Zehnprozentiges Natriumhypochlorit scheint in seiner Wirkung bessere Resultate zu liefern.

Es konnte kein eindeutiger Nachweis für eine schützende Wirkung der Lösungen erbracht werden. Die Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe, die mit *Theranovis* behandelt wurde, war sehr gering und nicht signifikant.

In Bezug auf die Mikrohärtigkeit konnte auch nach der Applikation von Tanninsäure keine

signifikante Verbesserung erreicht werden. Allein die Erhöhung der Oberflächenrauheit war nach der Verwendung von Tanninsäure im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant geringer.

Aufgrund dieses Ergebnisses scheint eine erosionsprotektive Wirkung der Tanninsäure, wie sie schon in anderen Studien nachgewiesen wurde, möglich. Nichtsdestotrotz sind auch hier weitere Experimente angezeigt.

Abschließend ist anzumerken, dass eine Vereinheitlichung der Untersuchungsverfahren von erosionsprotektiven Spüllösungen anzustreben ist. Die Ergebnisse der Studien könnten so einfacher miteinander verglichen werden und das protektive Potenzial der getesteten Substanzen wäre leichter zu verifizieren.

6 Literaturverzeichnis

1. Addy M, Shellis RP (2006) Interaction between attrition, abrasion and erosion in tooth wear. *Monogr Oral Sci* 20:17–31
2. Alaraudanjoki V, Laitala M-L, Tjäderhane L, Pesonen P, Lussi A, Ronkainen J, Anttonen V (2016) Influence of Intrinsic Factors on Erosive Tooth Wear in a Large-Scale Epidemiological Study. *Caries Res* 50:508–516
3. Altmeyer P (2013) *Therapielexikon Dermatologie und Allergologie*. Springer-Verlag
4. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM (1998a) Use of transverse microradiography to quantify mineral loss by erosion in bovine enamel. *Caries Res* 32:351–356
5. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM (1998b) The influence of xylitol and fluoride on dental erosion in vitro. *Arch Oral Biol* 43:157–161
6. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM, Milosevic A (1999) Thickness of Acquired Salivary Pellicle as a Determinant of the Sites of Dental Erosion. *J Dent Res* 78:1821–1828
7. Amin WM, Al-Omoush SA, Hattab FN (2001) Oral health status of workers exposed to acid fumes in phosphate and battery industries in Jordan. *Int Dent J* 51:169–174
8. Arowojolu MO (2001) Erosion of tooth enamel surfaces among battery chargers and automobile mechanics in Ibadan: a comparative study. *Afr J Med Med Sci* 30:5–8
9. Attin T, Meyer K, Hellwig E, Buchalla W, Lennon AM (2003) Effect of mineral supplements to citric acid on enamel erosion. *Arch Oral Biol* 48:753–759
10. Attin T, Weiss K, Becker K, Buchalla W, Wiegand A (2005) Impact of modified acidic soft drinks on enamel erosion. *Oral Dis* 11:7–12
11. Attin T., Becker K, Hannig C, Buchalla W, Hilgers R (2005a) Method to detect minimal amounts of calcium dissolved in acidic solutions. *Caries Res* 39:432–436
12. Attin T., Becker K, Hannig C, Buchalla W, Wiegand A (2005b) Suitability of a malachite green procedure to detect minimal amounts of phosphate dissolved in acidic solutions. *Clin Oral Investig* 9:203–207
13. Attin T (2006) Methods for assessment of dental erosion. *Monogr Oral Sci* 20:152–172

14. Bardsley PF (2008) The evolution of tooth wear indices. *Clin Oral Investig* 12:15–19
15. Bartlett D, Ganss C, Lussi A (2008) Basic Erosive Wear Examination (BEWE): a new scoring system for scientific and clinical needs. *Clin Oral Investig* 12:65–68
16. Bartlett D (2009) Etiology and prevention of acid erosion. *Compend Contin Educ Dent Jamesburg NJ* 1995 30:616–620
17. Bennick A, Cannon M, Madapallimattam G (1979) The nature of the hydroxyapatite-binding site in salivary acidic proline-rich proteins. *Biochem J* 183:115–126
18. Borges AB, Scaramucci T, Lippert F, Zero DT, Hara AT (2014) Erosion protection by calcium lactate/sodium fluoride rinses under different salivary flows in vitro. *Caries Res* 48:193–199
19. Brand HS, Dun SN, Nieuw Amerongen AV (2008) Ecstasy (MDMA) and oral health. *Br Dent J* 204:77–81
20. Cardoso F, Boteon AP, Silva T, Prakki A, Wang, L, Honório HM (2020) In situ effect of a proanthocyanidin mouthrinse on dentin subjected to erosion. *Journal of Applied Oral Science* e20200051
21. Cavalca Cortelli S, Cavallini F, Rgueira Alves MF, Alves Bezerra A, Queiroz CS, Cortelli JR (2009) Clinical and microbiological effects of an essential-oil-containing mouth rinse applied in the „one-stage full-mouth disinfection“ protocol--a randomized double-blinded preliminary study. *Clin Oral Investig* 13:189–194
22. Cavalca Cortelli S, Cortelli JR, Holzhausen M, Franco GCN, Rebelo RZ, Sonagere AS, Queiroz C da S, Costa FO (2009) Essential oils in one-stage full-mouth disinfection: double-blind, randomized clinical trial of long-term clinical, microbial and salivary effects. *J Clin Periodontol* 36:333–342
23. Curtis DA, Jayanetti J, Chu R, Staninec M (2012) Managing dental erosion. *Today's FDA Off Mon J Fla Dent Assoc* 24:44–45, 47–49, 51-53 passim
24. De Dios Teruel J, Alcolea A, Hernández A, Ortiz Ruiz AJ (2015) Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol.* 60(5): 768-775
25. Dugmore CR, Rock WP (2003) The progression of tooth erosion in a cohort of adolescents of mixed ethnicity. *Int J Paediatr Dent* 13:295–303

26. Dugmore CR, Rock WP (2004) A multifactorial analysis of factors associated with dental erosion. *Br Dent J* 196:283–286; discussion 273
27. Eccles JD (1982) Tooth surface loss from abrasion, attrition and erosion. *Dent Update* 9:373–374, 376–378, 380–381
28. Eisenburger M, Shellis RP, Addy M (2004) Scanning electron microscopy of softened enamel. *Caries Res* 38:67–74
29. Esser M, Tinschert J, Marx R (1998) Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz. *Dtsch Zahnärztliche Z DZZ* 10/1998
30. Fine DH, Markowitz K, Furgang D, Goldsmith D, Ricci-Nittel D, Charles CH, Peng P, Lynch MC (2007) Effect of rinsing with an essential oil-containing mouthrinse on subgingival periodontopathogens. *J Periodontol* 78:1935–1942
31. Ganss C, Lussi A (2008) Current erosion indices—flawed or valid? *Clin Oral Investig* 12:1–3
32. Ganss C, Schlueter N, Hardt M, Schattenberg P, Klimek J (2008) Effect of fluoride compounds on enamel erosion in vitro: a comparison of amine, sodium and stannous fluoride. *Caries Res* 42:2–7
33. Ganss C, Neutard L, von Hinckeldey J, Klimek J, Schlueter N (2010) Efficacy of a tin/fluoride rinse: a randomized in situ trial on erosion. *J Dent Res* 89:1214–1218
34. Handler P, Baker RD (1944) The Toxicity of Orally Administered Tannic Acid. *Science* 99:393–393
35. Hannig C, Hoch J, Becker K, Hannig M, Attin T (2005) Lysozyme activity in the initially formed in situ pellicle. *Arch Oral Biol* 50:821–828
36. Hannig C, Spitzmuller B, Al-Ahmad A, Hannig M (2008) Effects of Cistus-tea on bacterial colonization and enzyme activities of the in situ pellicle. *Journal of dentistry* 36(7):540-545
37. Hannig C, Wagenschwanz C, Pötschke S, Kümmerer K, Kensche A, Hoth-Hannig W, Hannig M (2012) Effect of safflower oil on the protective properties of the in situ formed salivary pellicle. *Caries Res* 46:496–506
38. Hannig M (1997) Transmission electron microscopic study of in vivo pellicle formation on dental restorative materials. *Eur J Oral Sci* 105:422–433

39. Hannig M (1999) Ultrastructural investigation of pellicle morphogenesis at two different intraoral sites during a 24-h period. *Clin Oral Investig* 3:88–95
40. Hannig M, Balz M (1999) Influence of in vivo formed salivary pellicle on enamel erosion. *Caries Res* 33:372–379
41. Hannig M, Balz M (2001) Protective properties of salivary pellicles from two different intraoral sites on enamel erosion. *Caries Res* 35:142–148
42. Hannig M (2002) The protective nature of the salivary pellicle. *Int Dent J* 52:417–423
43. Hannig M, Hess NJ, Hoth-Hannig W, De Vrese M (2003) Influence of salivary pellicle formation time on enamel demineralization--an in situ pilot study. *Clin Oral Investig* 7:158–161
44. Hannig M, Fiebiger M, Güntzer M, Döbert A, Zimehl R, Nekrashevych Y (2004) Protective effect of the in situ formed short-term salivary pellicle. *Arch Oral Biol* 49:903–910
45. Hannig M, Joiner A (2006) The structure, function and properties of the acquired pellicle. *Monogr Oral Sci* 19:29–64
46. Hara AT, Zero DT (2014) The potential of saliva in protecting against dental erosion. *Monogr Oral Sci* 25:197–205
47. Harpenau LA, Noble WH, Kao RT (2011) Diagnosis and management of dental wear. *J Calif Dent Assoc* 39:225–231
48. Hay DI (1973) The interaction of human parotid salivary proteins with hydroxyapatite. *Arch Oral Biol* 18:1517–1529
49. Hellström I (1977) Oral complications in anorexia nervosa. *Scand J Dent Res* 85:71–86
50. Hellwig E, Lussi A (2006) Oral hygiene products and acidic medicines. *Monogr Oral Sci* 20:112–118
51. Hellwig E, Klimek J, Attin T (2013) Einführung in die Zahnerhaltung, 6. Aufl., Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln pp 3-8

52. Hertel S, Pötschke S, Basche S, Delius J, Hoth-Hannig W, Hannig M, Hannig C (2017) Effect of Tannic Acid on the Protective Properties of the in situ Formed Pellicle. *Caries Res* 51:34–45
53. Hurst PS, Lacey LH, Crisp AH (1977) Teeth, vomiting and diet: a study of the dental characteristics of seventeen anorexia nervosa patients. *Postgrad Med J* 53:298–305
54. Imfeld T (1996) Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 104:151–155
55. Ionta FQ, Alencar CRB de, Val PP, Boteon AP, Jordão MC, Honório HM, Buzalaf MAR, Rios D (2017) Effect of vegetable oils applied over acquired enamel pellicle on initial erosion. *J Appl Oral Sci Rev FOB* 25:420–426
56. Jain I, Jain P (2016) Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of three different formulations of mouth rinses with multi-herbal mouth rinse. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 34:315–323
57. Järvinen V, Meurman JH, Hyvärinen H, Rytömaa I, Murtomaa H (1988) Dental erosion and upper gastrointestinal disorders. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 65:298–303
58. Järvinen VK, Rytömaa II, Heinonen OP (1991) Risk factors in dental erosion. *J Dent Res* 70:942–947
59. Johansson A-K, Lingström P, Birkhed D (2002) Comparison of factors potentially related to the occurrence of dental erosion in high- and low-erosion groups. *Eur J Oral Sci* 110:204–211
60. Kautsky MB, Featherstone JD (1993) Effect of salivary components on dissolution rates of carbonated apatites. *Caries Res* 27:373–377
61. Kensche A, Reich M, Kümmerer K, Hannig M, Hannig C (2013) Lipids in preventive dentistry. *Clin Oral Investig* 17:669–685
62. Kensche A, Pötschke S, Hannig C, Richter G, Hoth-Hannig W, Hannig M (2016) Influence of Calcium Phosphate and Apatite Containing Products on Enamel Erosion. *ScientificWorldJournal* 2016:7959273
63. Kielbassa AM, Meyer-Lueckel H (2001) [Effects of saliva substitutes and mouthwash solutions on dentin]. *Schweiz Monatsschrift Zahnmed Rev Mens Suisse Odonto-Stomatol Riv Mens Svizzera Odontol E Stomatol* 111:1060–1066

64. Kim K, Lee H, Hong S (2016) TAPE: A Biodegradable Hemostatic Glue Inspired by a Ubiquitous Compound in Plants for Surgical Application. *J Vis Exp JoVE*
65. Kitasako Y, Sasaki Y, Takagaki T, Sadr A, Tagami J (2015) Age-specific prevalence of erosive tooth wear by acidic diet and gastroesophageal reflux in Japan. *J Dent* 43:418–423
66. Larsen MJ, Nyvad B (1999a) Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 33:81–87
67. Larsen MJ, Nyvad B (1999b) Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 33:81–87
68. Layer P, Rosien U (2017) *Facharztwissen Gastroenterologie*. Elsevier Health Sciences
69. Lehmann KM, Hellwig E, Wenz H-J (2011) *Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde*. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln pp 39-42
70. Lendenmann U, Grogan J, Oppenheim FG (2000) Saliva and Dental Pellicle-A Review. *Adv Dent Res* 14:22–28
71. Linkosalo E, Markkanen H (1985) Dental erosions in relation to lactovegetarian diet. *Scand J Dent Res* 93:436–441
72. Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P (1991) Dental erosion in a population of Swiss adults. *Community Dent Oral Epidemiol* 19:286–290
73. Lussi A, Jäggi T, Schärer S (1993) The influence of different factors on in vitro enamel erosion. *Caries Res* 27:387–393
74. Lussi A, Schaffner M (2000) Progression of and risk factors for dental erosion and wedge-shaped defects over a 6-year period. *Caries Res* 34:182–187
75. Lussi A, Hellwig E, Zero D, Jaeggi T (2006) Erosive tooth wear: diagnosis, risk factors and prevention. *Am J Dent* 19:319–325
76. Lussi A, Schlueter N, Rakhmatullina E, Ganss C (2011) Dental erosion--an overview with emphasis on chemical and histopathological aspects. *Caries Res* 45 Suppl 1:2–12

77. Lussi A, Hellwig E (2014) Risk assessment and causal preventive measures. *Monogr Oral Sci* 25:220–229
78. Lussi A, Strub M, Schürch E, Schaffner M, Bürgin W, Jaeggi T (2015) Erosive tooth wear and wedge-shaped defects in 1996 and 2006: cross-sectional surveys of Swiss army recruits. *Swiss Dent J* 125:13–27
79. Lussi A, Schaffner M, Jaeggi T (2016) [Diagnosis of dental erosions]. *Swiss Dent J* 126:466–467
80. Ma S, Lee H, Liang Y, Zhou F (2016) Astringent Mouthfeel as a Consequence of Lubrication Failure. *Angew Chem Int Ed* 55:5793–5797
81. Macpherson LM, MacFarlane TW, Weetman DA, Stephen KW (1991) Comparison of the plaque microflora from natural and appliance-borne enamel surfaces. *Caries Res* 25:58–64
82. Mafla AC, Cerón-Bastidas XA, Muñoz-Ceballos ME, Vallejo-Bravo DC, Fajardo-Santacruz MC (2017) Prevalence and Extrinsic Risk Factors for Dental Erosion in Adolescents. *J Clin Pediatr Dent* 41:102–111
83. Magalhães AC, Wiegand A, Rios D, Buzalaf MAR, Lussi A (2011) Fluoride in dental erosion. *Monogr Oral Sci* 22:158–170
84. Maupomé G, Aguilar-Avila M, Medrano-Ugalde H, Borges-Yáñez A (1999) In vitro quantitative microhardness assessment of enamel with early salivary pellicles after exposure to an eroding cola drink. *Caries Res* 33:140–147
85. Meurman JH, Murtomaa H (1986) Effect of effervescent vitamin C preparations on bovine teeth and on some clinical and salivary parameters in man. *Scand J Dent Res* 94:491–499
86. Meurman JH, Frank RM (1991) Scanning electron microscopic study of the effect of salivary pellicle on enamel erosion. *Caries Res* 25:1–6
87. Meurman JH, ten Cate JM (1996) Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. *Eur J Oral Sci* 104:199–206
88. Milosevic A (1997) Sports drinks hazard to teeth. *Br J Sports Med* 31:28–30
89. Moazzez R, Bartlett D (2014) Intrinsic causes of erosion. *Monogr Oral Sci* 25:180–196

90. Moreno EC, Zahradnik RT (1979) Demineralization and remineralization of dental enamel. *J Dent Res* 58:896–903
91. Mulic A, Fredriksen Ø, Jacobsen ID, Tveit AB, Espelid I, Crossner CG (2016) Dental erosion: Prevalence and severity among 16-year-old adolescents in Troms, Norway. *Eur J Paediatr Dent Off J Eur Acad Paediatr Dent* 17:197–201
92. Nakamichi I, Iwaku M, Fusayama T (1983) Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. *Journal of dental Research* 62:1076-1081
93. Nandakumar M, Nasim I (2018) Comparative evaluation of grape seed and cranberry extracts in preventing enamel erosion: An optical emission spectrometric analysis. *J Conserv Dent JCD* 21:516–520
94. Nunn JH, Gordon PH, Morris AJ, Pine CM, Walker A (2003) Dental erosion -- changing prevalence? A review of British National childrens' surveys. *Int J Paediatr Dent* 13:98–105
95. Ostrowska A, Szymański W, Kołodziejczyk Ł, Bołtacz-Rzepkowska E (2016) Evaluation of the Erosive Potential of Selected Isotonic Drinks: In Vitro Studies. *Adv Clin Exp Med Off Organ Wroclaw Med Univ* 25:1313–1319
96. O'Toole S, Bartlett DW, Moazzez R (2016) Efficacy of sodium and stannous fluoride mouthrinses when used before single and multiple erosive challenges. *Aust Dent J* 61:497–501
97. Phelan J, Rees J (2003) The erosive potential of some herbal teas. *J Dent* 31:241–246
98. Pontefract H, Hughes J, Kemp K, Yates R, Newcombe RG, Addy M (2001) The erosive effects of some mouthrinses on enamel. A study in situ. *J Clin Periodontol* 28:319–324
99. Rai N, Sandhu M, Sachdev V, Sharma R (2018) Evaluation of Remineralization Potential of Beverages modified with Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate on Primary and Permanent Enamel: A Laser Profiler Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 11:7–12
100. Ramalingam L, Messer LB, Reynolds EC (2005) Adding casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate to sports drinks to eliminate in vitro erosion. *Pediatr Dent* 27:61–67
101. Rehage M, Delius J, Hofmann T, Hannig M (2017) Oral astringent stimuli alter the enamel pellicle's ultrastructure as revealed by electron microscopy. *J Dent* 63:21–29

102. Richards D (2016) Impact of diet on tooth erosion. *Evid Based Dent* 17:40
103. Rykke M, Sønju T, Rölla G (1990) Interindividual and longitudinal studies of amino acid composition of pellicle collected in vivo. *Scand J Dent Res* 98:129–134
104. Sarni-Manchado P, Canals-Bosch J-M, Mazerolles G, Cheynier V (2008) Influence of the glycosylation of human salivary proline-rich proteins on their interactions with condensed tannins. *J Agric Food Chem* 56:9563–9569
105. Schestakow A, Guth MS, Eisenmenger TA, Hannig M (2021) Evaluation of Anti-Biofilm Activity of Mouthrinses Containing Tannic Acid or Chitosan on Dentin In Situ. *Molecules* 2021, 26: 1351
106. Scheutzel P (1996) Etiology of dental erosion--intrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 104:178–190
107. Schlack R, Hölling H (2007) Essstörungen im Kindes- und Jugendalter : Erste Ergebnisse aus dem Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS).
108. Schlueter N, Klimek J, Ganss C (2009) Efficacy of an experimental tin-F-containing solution in erosive tissue loss in enamel and dentine in situ. *Caries Res* 43:415–421
109. Schlueter N, Neutard L, von Hinckeldey J, Klimek J, Ganss C (2010) Tin and fluoride as anti-erosive agents in enamel and dentine in vitro. *Acta Odontol Scand* 68:180–184
110. Singleton VL (1981) Naturally Occurring Food Toxicants: Phenolic Substances of Plant Origin Common in Foods. *Adv Food Res* 27:149–242
111. Siqueira WL, Custodio W, McDonald EE (2012) New insights into the composition and functions of the acquired enamel pellicle. *J Dent Res* 91:1110–1118
112. Skjørland KK, Rykke M, Sønju T (1995) Rate of pellicle formation in vivo. *Acta Odontol Scand* 53:358–362
113. Slomiany BL, Murty VL, Zdebska E, Slomiany A, Gwozdziński K, Mandel ID (1986) Tooth surface-pellicle lipids and their role in the protection of dental enamel against lactic-acid diffusion in man. *Arch Oral Biol* 31:187–191
114. Strużycka I, Lussi A, Bogusławska-Kapała A, Rusyan E (2016) Prevalence of erosive lesions with respect to risk factors in a young adult population in Poland-a cross-sectional study. *Clin Oral Investig* 07/2017 S. 2197–2203

115. Tinanoff N, Gross A, Brady JM (1976) Development of plaque on enamel. *J Periodontal Res* 11:197–209
116. Tschammler C, Müller-Pflanz C, Attin T, Müller J, Wiegand A (2016) Prevalence and risk factors of erosive tooth wear in 3-6 year old German kindergarten children-A comparison between 2004/05 and 2014/15. *J Dent* 52:45–49
117. Uhlen M-M, Tveit AB, Stenhagen KR, Mulic A (2014) Self-induced vomiting and dental erosion--a clinical study. *BMC Oral Health* 14:92
118. Uhlen M-M, Stenhagen KR, Dizak PM, Holme B, Mulic A, Tveit AB, Vieira AR (2016) Genetic variation may explain why females are less susceptible to dental erosion. *Eur J Oral Sci* 124:426–432
119. Vacca Smith AM, Bowen WH (2000) In situ studies of pellicle formation on hydroxyapatite discs. *Arch Oral Biol* 45:277–291
120. Vieira A, Ruben JL, Huysmans MCDNJM (2005) Effect of titanium tetrafluoride, amine fluoride and fluoride varnish on enamel erosion in vitro. *Caries Res* 39:371–379
121. Weber M-T, Hannig M, Pötschke S, Höhne F, Hannig C (2015) Application of Plant Extracts for the Prevention of Dental Erosion: An in situ/in vitro Study. *Caries Res* 49:477–487
122. Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A, Attin T (2008) Is bovine dentine an appropriate substitute for human dentine in erosion/abrasion tests? *Journal of oral rehabilitation* 35:390-394
123. Wiegand A, Bliggenstorfer S, Magalhães AC, Sener B, Attin T (2008) Impact of the in situ formed salivary pellicle on enamel and dentine erosion induced by different acids. *Acta Odontol Scand* 66:225–230
124. Yao Y, Grogan J, Zehnder M, Lendenmann U, Nam B, Wu Z, Costello CE, Oppenheim FG (2001) Compositional analysis of human acquired enamel pellicle by mass spectrometry. *Arch Oral Biol* 46:293–303
125. Yin A, Margolis HC, Yao Y, Grogan J, Oppenheim FG (2006) Multi-component adsorption model for pellicle formation: the influence of salivary proteins and non-salivary phospho proteins on the binding of histatin 5 onto hydroxyapatite. *Arch Oral Biol* 51:102–110

126. Young A, Rykke M, Rölla G (1999) Quantitative and qualitative analyses of human salivary micelle-like globules. *Acta Odontol Scand* 57:105–110
127. Zahradnik RT, Moreno EC, Burke EJ (1976) Effect of salivary pellicle on enamel sub-surface demineralization in vitro. *J Dent Res* 55:664–670
128. Zawaideh FI, Owais AI, Mushtaha S (2017) Effect of CPP-ACP or a Potassium Nitrate Sodium Fluoride Dentifrice on Enamel Erosion Prevention. *J Clin Pediatr Dent* 41:135–140
129. Zeller T, Cissarek T, Kroeger K, Gray W, Kröger K (2011) *Lehrbuch der Klinischen Psychologie u. Psychotherapie bei Kindern + Jugendlichen*. Georg Thieme Verlag
130. Zero DT, Lussi A (2005) Erosion--chemical and biological factors of importance to the dental practitioner. *Int Dent J* 55:285–290
131. Zhang YF, Zheng J, Zheng L, Zhou ZR (2015) Effect of adsorption time on the adhesion strength between salivary pellicle and human tooth enamel. *J Mech Behav Biomed Mater* 42:257–266

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über Ursachen erosiver Veränderungen am Zahnschmelz - 12 -

Tabelle 2: Aufsteigende Alkoholreihe zur Reinigung der Prüfkörper - 35 -

8 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Prüfkörper-Herstellung und -Vorbereitung - 29 -
- Abbildung 2: Schema eines halbseitig geätzten Prüfkörpers mit Abschrägung oben rechts- 32 -
- Abbildung 3: Versuchsdurchführung (in situ) - 34 -
- Abbildung 4: Darstellung der Abnahme der Mikrohärte der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Wasser im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe..... - 41 -
- Abbildung 5: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Wasser im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe..... - 42 -
- Abbildung 6: Darstellung der Abnahme der Mikrohärte der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit *Theranovis* im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe..... - 43 -
- Abbildung 7: Darstellung der Abnahme der Mikrohärte der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent (gemittelte Werte aller Probanden); Der gelbe Balken stellt die gemittelten Ergebnisse

aller Prüfkörper aller Probanden nach Spülung mit *Theranovis* dar, der blaue zeigt die Kontrollgruppe. Alle Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit *Theranovis* (gelb) bzw. Wasser (blau) im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min..... - 44 -

Abbildung 8: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit *Theranovis* im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe. - 45 -

Abbildung 9: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent (gemittelte Werte aller Probanden); Der gelbe Balken stellt die gemittelten Ergebnisse aller Prüfkörper aller Probanden nach Spülung mit *Theranovis* dar, der blaue zeigt die Kontrollgruppe. Alle Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit *Theranovis* (gelb) bzw. Wasser (blau) im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min..... - 46 -

Abbildung 10: Darstellung der Abnahme der Mikrohärtigkeit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Tanninsäure im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe..... - 47 -

Abbildung 11: Darstellung der Abnahme der Mikrohärtigkeit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent (gemittelte Werte aller Probanden); Der gelbe Balken stellt die gemittelten Ergebnisse aller Prüfkörper aller Probanden nach Spülung mit Tanninsäure dar, der blaue zeigt die Kontrollgruppe. Alle Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten

fünf Spülungen von je 30 s mit Tanninsäure (gelb) bzw. Wasser (blau) im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1 % Zitronensäure für 3 min. - 48 -

Abbildung 12: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent; Die ersten vier Balken stellen die Ergebnisse der In-situ-Versuche dar: Die Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Tanninsäure im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. Der fünfte Balken zeigt das Ergebnis des In-vitro-Versuchs: Die Prüfkörper wurden außerhalb des Mundes in Well-Platten mit sterilem Wasser gelagert, das Spülprotokoll und die Säureätzung erfolgten analog zur In-situ-Reihe. - 49 -

Abbildung 13: Darstellung der Zunahme der Oberflächenrauheit der Prüfkörper nach Säureexposition in Prozent (gemittelte Werte aller Probanden); Der gelbe Balken stellt die gemittelten Ergebnisse aller Prüfkörper aller Probanden nach Spülung mit Tanninsäure dar, der blaue zeigt die Kontrollgruppe. Alle Prüfkörper wurden 2,5 h intraoral getragen, währenddessen erfolgten fünf Spülungen von je 30 s mit Tanninsäure (gelb) bzw. Wasser (blau) im Abstand von 30 min. Die Ätzung erfolgte mit 1%iger Zitronensäure für 3 min. - 50 -

Abbildung 14: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 24-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Rechtsseitig ist der geätzte Bereich heller zu erkennen; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). - 51 -

Abbildung 15: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint größtenteils homogen, die sichtbare Streifung geht auf die Politur zurück, es sind Schmelzrisse erkennbar. - 52 -

Abbildung 16: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß - 53 -

Abbildung 17: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 5000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung

und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint größtenteils homogen, die sichtbare Streifung geht auf die Politur zurück. - 54 -

Abbildung 18: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 5000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint sehr inhomogen und aufgeraut. - 55 -

Abbildung 19: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Es ist ein Ausschnitt im Bereich eines Schmelzrisses abgebildet. Auf der Oberfläche stellen sich kugelförmige Partikel (Schmelz-Kristallite) dar, trotzdem erscheint die Struktur größtenteils homogen. - 56 -

Abbildung 20: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam steriles Wasser zur Anwendung (Kontrollgruppe). Die Oberfläche erscheint stark zerklüftet. Die Schmelzprismen stellen sich weniger dicht dar. - 57 -

Abbildung 21: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 25-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Rechtsseitig ist der geätzte Bereich heller zu erkennen; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. - 58 -

Abbildung 22: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint größtenteils homogen, die sichtbare Streifung geht auf die Politur zurück. - 59 -

Abbildung 23: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung

und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint ungleichmäßig, Schmelzrisse und Politurstreifen sind sichtbar. - 60 -

Abbildung 24: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. Auf der Oberfläche stellen sich Schmelz-Kristallite dar, trotzdem erscheint die Struktur größtenteils homogen. Vereinzelt sind hellere Partikel erkennbar. - 61 -

Abbildung 25: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam *Theranovis* zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint stark zerklüftet. Die Schmelzprismen stellen sich weniger dicht dar. - 62 -

Abbildung 26: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 26-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Rechtsunten ist der geätzte Bereich heller zu erkennen; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. - 63 -

Abbildung 27: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint größtenteils homogen, die sichtbare Streifung geht auf die Politur zurück, Schmelzrisse sind als helle Streifen erkennbar. - 64 -

Abbildung 28: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 500-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint ungleichmäßig, Schmelzrisse und Politurstreifen sind sichtbar. - 65 -

Abbildung 29: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der ungeätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung

und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. Auf der Oberfläche stellen sich kugelförmige Strukturverbände dar, trotzdem erscheint die Struktur größtenteils homogen. Mittig ist ein hellerer Partikel erkennbar..... - 66 -

Abbildung 30: REM-Bild eines Schmelz-Prüfkörpers in 20.000-facher Vergrößerung nach Entfernung der Pellikel: Es ist der geätzte Bereich dargestellt; intraorale Exposition, Spülung und Erosion erfolgten gemäß geschildertem Protokoll, als Spülung kam Tanninsäure zur Anwendung. Die Oberfläche erscheint stark zerklüftet. Die Schmelzprismen stellen sich weniger dicht dar. - 67 -

Abbildung 31: Vergleichende Darstellung aller drei Prüfkörper in der Übersichtsaufnahme (25-fach Vergrößerung) und darunter in der 20.000-fachen Vergrößerung (mittlere Vergrößerung in dieser Abbildung aus Übersichtsgründen nicht dargestellt); links: Kontrollgruppe, mittig: *Theranovis*-Gruppe, rechts: Tanninsäure-Gruppe. Die zweite Zeile zeigt die ungeätzten Bereiche der Prüfkörper, in der dritten Zeile sind die erodierten Abschnitte dargestellt. In der kleinsten Vergrößerung ist kein wesentlicher Unterschied bei den Prüfkörpern erkennbar. Die geätzten Bereiche der Prüfkörper stellen sich in allen drei Gruppen deutlich aufgerauter dar. Im Vergleich zum Prüfkörper der Kontrollgruppe erscheint die Oberfläche der beiden anderen Prüfkörper in der 20.000-fachen Vergrößerung etwas weniger stark zerklüftet. - 68 -

9 Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Matthias Hannig, Leiter der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und präventiver Zahnheilkunde der Universität des Saarlandes, für die Bereitstellung des Themas. Außerdem vielen Dank für die wertvolle Unterstützung und die produktiven Gespräche während der experimentellen Phase und der Fertigstellung meiner Dissertation.

Des Weiteren bedanke ich mich bei den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Forschungslabors der Zahnerhaltung, im Besonderen bei Frau Dr. Natalia Umanskaya und Frau Dr. Simone Trautmann, für ihre Hilfe bei schwierigen Fragen im Zuge der Experimente. Zudem danke ich Herrn Norbert Pütz für seine Geduld und die Anleitung bei der Benutzung des Rasterelektronenmikroskops.

Mein Dank geht ebenfalls an den Zweibrücker Schlachtbetrieb für die Bereitstellung der Rinderzähne ohne die die Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Zudem bedanke ich mich bei Frau Silvia Klein, Sekretärin von Prof. Hannig, für die Unterstützung bei der Literaturrecherche.

Ich bin meinen Probanden zu Dank verpflichtet, die die Schienen zuverlässig getragen haben und auch noch bei der x-ten Tragerunde motiviert bereitstanden.

Ich bedanke mich in besonderem Maße bei meinen Freunden und meiner Familie, allen voran meiner Mutter und meiner besten Freundin Carina. Ihr habt mich bei der oftmals anstrengenden Arbeit und im weiteren Verlauf auch bei der Verschriftlichung der Dissertation immer mit Rat und Tat unterstützt. Ohne euren Zuspruch wäre es nicht möglich gewesen die Arbeit zu vollenden.

10 Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.