



**University of  
Zurich**<sup>UZH</sup>

**Zurich Open Repository and  
Archive**

University of Zurich  
Main Library  
Strickhofstrasse 39  
CH-8057 Zurich  
[www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch)

---

Year: 2017

---

## **Zahnbürstenabrasion einer neuen Diamantzahnpaste im Vergleich zu Whitening Zahnpasten**

Lamperti, Sofia Teresa

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich  
ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-141739>  
Dissertation

Originally published at:

Lamperti, Sofia Teresa. Zahnbürstenabrasion einer neuen Diamantzahnpaste im Vergleich zu Whitening Zahnpasten. 2017, University of Zurich, Faculty of Medicine.

Zentrum für Zahnmedizin

Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin

---

Arbeit unter Leitung von PD Dr. med. dent. Florian J. Wegehaupt

**Zahnbürstabrasion einer neuen Diamantzahnpaste im  
Vergleich zu Whitening Zahnpasten**

**INAUGURAL-DISSERTATION**

Zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin

der Medizinischen Fakultät

der Universität Zürich

Vorgelegt von:

Sofia Teresa Lamperti

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin

Zürich 2017

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	Einleitung .....	6
3	Literaturübersicht .....	8
3.1	Schmelz .....	8
3.2	Dentin.....	9
3.3	Abrasion .....	11
3.4	Zahnverfärbungen.....	12
3.4.1	Externe Zahnverfärbungen .....	12
3.4.2	Interne Zahnverfärbungen .....	12
3.5	Whitening Agents in Zahnpasten .....	13
3.5.1	Mechanisch.....	13
3.5.2	Chemisch .....	14
3.5.3	Optisch.....	14
3.6	Ziel der Studie .....	15
4	Material und Methoden .....	16
4.1	Versuchsaufbau .....	16
4.2	Probenherstellung.....	18
4.3	Slurries .....	19
4.4	Versuchsdurchführung im Labor .....	20
4.5	Profilometrische Analyse .....	21
4.6	Statistische Analysen und Datenauswertung.....	22

5	Resultate .....	23
5.1	Schmelzabtrag .....	23
5.2	Dentinabtrag .....	25
6	Diskussion .....	27
6.1	Material und Methode .....	27
6.2	Ergebnisse .....	29
6.2.1	Schmelz .....	29
6.2.2	Dentin.....	30
6.3	Schlussfolgerung .....	31
7	Literaturverzeichnis .....	32
8	Anhang.....	35
8.1	Verwendete Materialien .....	35
8.2	Verwendete Zahnpasten.....	36
9	Danksagung .....	37
10	Curriculum Vitae.....	38

# 1 Zusammenfassung

**Ziel:** Bestimmung des abrasiven Zahnhartsubstanzverlustes von Schmelz und Dentin durch die neue Whitening Zahnpaste „Candida White Diamond“ und Vergleich des Verlusts mit Candida White Micro-Crystals, Signal White System sowie Elmex Kariesschutz.

**Material und Methode:** Je 48 bovine Schmelz- bzw. Dentinproben (S bzw. D) wurden in einer automatischen Bürstmaschine über 6 h bzw. 1 h gebürstet, um das Abrasionsverhalten der verschiedenen Zahnpasten aufzuzeigen. Die Proben der Gruppen S1 und D1 wurden mit Candida White Diamond gebürstet, die der Gruppen S2 und D2 mit Elmex Kariesschutz, die der Gruppen S3 und D3 mit Candida White Micro-Crystals und die der Gruppen S4 und D4 mit Signal White System. Mit Hilfe einer Profilometrie wurden zur Baseline sowie zur Hälfte der Bürstzeit (0.5 h für Dentin; 3 h für Schmelz) und am Ende des Bürstversuchs jeweils 5 Profile pro Probe aufgezeichnet und miteinander verglichen, um den durch das Bürsten entstandenen Zahnhartsubstanzverlust zu ermitteln.

**Resultate:** Innerhalb der Schmelzgruppen zeigte die Candida White Diamond Zahnpaste sowohl nach 3 h wie auch nach 6 h einen massiv höheren Abtrag im Vergleich zu den anderen Zahnpasten.

Auch im Dentin konnte zu beiden Zeitpunkten (0.5 h und 1 h) der höchste Abtrag für Candida White Diamond gemessen werden. Dieser war allerdings nur im Vergleich zu den zwei Whitening Zahnpasten signifikant höher. Elmex Kariesschutz führte zu einem geringeren abrasiven Dentinverlust wie Candida White Diamond. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant.

**Schlussfolgerung:** In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass Candida White Diamond, wie vom Hersteller angepriesen, schonend für das Dentin ist, jedoch ein sehr abrasives Verhalten auf Schmelz zeigt. Aus diesem Grund ist diese Zahnpaste nur unter Vorbehalt zu empfehlen.

## 2 Einleitung

Der Wunsch nach weissen Zähnen ist in der heutigen Gesellschaft auch dank der Werbung bei vielen Menschen präsent. Es ist ein Zeichen von Schönheit, Jugendlichkeit und Gesundheit, wenn die Zähne schön weiss sind. Die Zahnfarbe entsteht durch den einfallenden Lichtstrahl und dessen Absorption, Transmission, Reflexion und Remission. Massgebend für die Farbe der Zähne ist vor allem das Dentin. Der Schmelz spielt für die Farbgebung nur eine untergeordnete Rolle [ten Bosch and Coops, 1995]. Die natürliche Zahnfarbe kann jedoch durch endo- oder exogene Einflüsse beeinträchtigt werden. Unterteilt werden die Verfärbungen in interne und externe Verfärbungen. Interne Verfärbungen zu entfernen bedürfen oft invasiverer Methoden, während externe durch Politur entfernt werden können. [Schmidseder et al., 2009].

Dank dem Wunsch der Gesellschaft nach einem strahlend weissen Lächeln werden zunehmend mehr Whitening Produkte verwendet [Pickles et al., 2005; White, 2001]. Die Hersteller entwickeln konstant neue Artikel und ändern Zusammensetzungen um die Erwartungen der Konsumenten zu erfüllen. Entsprechend findet man heute unzählige Produkte und Techniken, mit dem Ziel weissere Zähne zu erhalten. Grundsätzlich kann man diese in zwei Gruppen unterteilen. Entweder werden die Zähne gebleicht oder die externen Verfärbungen bzw. Ablagerungen entfernt. Für das Bleichen werden hauptsächlich wasserstoff- oder karbamidperoxidhaltige Gels verwendet, welche entweder direkt auf den Zahn aufgetragen oder mittels Schienen appliziert werden. Das Peroxid bleicht die Zähne und lässt sie heller wirken [Joiner, 2006]. Für das Verhindern von externen Verfärbungen und Ablagerungen werden den Zahnpasten spezifische Abrasivpartikel und/oder chemische Aufheller beigefügt.

Diese Pasten nennt man Whitening Zahnpasten. Neuerdings sind vermehrt Zahnpasten mit Diamantpartikeln als Abrasivstoffe im Handel erhältlich.

Es ist bekannt, dass die in Zahnpasten enthaltenen Abrasivstoffe für den beim Zähnebürsten entstehenden Zahnhartsubstanzabtrag verantwortlich sind. Bisher liegen keine publizierten Daten zur Abrasion von Zahnschmelz und Dentin bei Verwendung von Zahnpasten mit Diamantpartikeln vor.

Ziel dieser Arbeit war es daher, Abrasionswerte einer solchen Zahnpaste zu ermitteln und mit zwei anderen Whitening Pasten sowie Elmex Kariesschutz zu vergleichen.



### 3 Literaturübersicht

#### 3.1 Schmelz

Ausgereifter Zahnschmelz ist die härteste Substanz im menschlichen Körper. Schmelz ist ein aus Hydroxylapatit bestehendes kristallines Gefüge, welches von Ameloblasten produziert wird. Diese bilden eine organische Schmelzmatrix aus, die mineralisiert und ausreift [Hellwig et al., 2009; Radlanski, 2011]. Der ausgereifte Schmelz besteht zu 93-98 Gew.-% aus anorganischen Bestandteilen. Dabei handelt es sich vor allem um Kalzium, Phosphor, Karbonat, Magnesium und Natrium. Wasser ist die zweitgrösste Fraktion. Hier schwanken die Mengenangaben zwischen 1.5-4 Gew.-%. Organische Verbindungen wie Proteine und Lipide bilden die restliche Substanz des Schmelzes.

Kalzium und Phosphor liegen als Apatitverbindung ( $\text{Ca}_{10-x}(\text{PO}_{6-x}) \times \text{X}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ) in einem Verhältnis von 1:1.2 in Form von kleinen Kristallen vor. Durch interne Substitutionsreaktionen in den Kristallen können sich Fluorapatit oder fluoridiertes Hydroxylapatit bilden. Dieses weist eine stabilere Kristallgitterstruktur als Hydroxylapatit auf [Schumacher, 1990]. Aus diesem Grund ist Fluorid ein unverzichtbarer Bestandteil bei der Bildung eines möglichst säureresistenten Zahnschmelzes und damit der Kariesprophylaxe.

Im histologischen Querschnitt sind die Apatitkristalle im ausgereiften Zustand annähernd hexagonale Stäbchen. Diese sind im Durchschnitt 30-90nm breit und 20-60nm dick. Die Länge ist bisher unbestimmt. Kristallite können sich über lange Distanzen erstrecken und dabei sogar von der Schmelzoberfläche bis hin zur Schmelz-Dentin-Grenze reichen [Boyde, 1967; Orams et al., 1976]. Ca. 100 solcher

Kristallite bilden die sog. Schmelzprismen bzw. Schmelzstäbe, welche wellenförmig von der Schmelz-Dentin-Grenze bis nahezu der Schmelzoberfläche verlaufen.

Im Zentrum sind die Kristallite parallel zur Längsachse des jeweiligen Prismas ausgerichtet. Je peripherer, desto mehr fiedern sie aus und bilden einen mehr oder weniger grossen Winkel zur Prismenlängsachse. An der Oberfläche befindet sich häufig eine 20-30 µm dicke prismenfreie Schicht. Die Kristallite liegen in dieser Zone dicht gepackt parallel zur Oberfläche [Radlanski, 2011].

### **3.2 Dentin**

Dentin ist im Gegensatz zu Schmelz ein lebendes, weniger stark mineralisiertes Gewebe und bildet den grössten Anteil des menschlichen Zahnes. Dentin besteht zu 70 Gew.-% aus anorganischem und zu 20 Gew.-% aus organischem Material, hauptsächlich Kollagen. Der Rest ist Wasser. Ebenso wie bei Schmelz sind Phosphat und Kalzium die Hauptbestandteile des anorganischen Anteils. Diese liegen in kristalliner Form als Apatit bzw. amorphes Kalziumphosphat vor. Allerdings sind die Kristalle erheblich kleiner und dünner als im Zahnschmelz. Zudem liegen sie nicht in Prismenform geordnet, sondern sind mehr oder weniger dicht gepackt, je nach Art des Dentins.

Die Bildung des Dentins wird von Odontoblasten übernommen. Die Odontoblastenkörper befinden sich in der Zahnpulpa. Die Odontoblastenfortsätze liegen in den Dentinkanälchen von Flüssigkeit und organischen Strukturelementen umgeben. Im Gegensatz zu Ameloblasten bleiben Odontoblasten lebenslang erhalten und können auch nach Abschluss der Zahnbildung Dentin bilden.

Die Dentinkanälchen haben je nach Lage im Dentin und Alter des Zahnes einen unterschiedlichen Durchmesser sowie unterschiedliches Volumen. Je pulpanaher, desto grösser wird der Durchmesser bzw. das Volumen.

Dentin wird in verschiedene Schichten gegliedert. Um die Pulpa befindet sich das Prädentin. Dieses ist noch nicht vollständig ausgereift und noch nicht vollständig mineralisiert. Danach folgt nach aussen eine Zone der Mineralisation (Zwischendentin), das zirkumpupale Dentin und das weniger stark mineralisierte Manteldentin.

Peritubuläres Dentin umgibt die Dentinkanälchen. Es kleidet die Kanalwände aus und ist homogen, dicht und am stärksten von allen Dentinstrukturen mineralisiert. Im Alter kann es durch Sklerotisierung der Kanälchen zunehmen. Zudem schützt sich die Pulpa vor äusseren Reizungen durch diese Einengung der Kanälchen. Getrennt werden die Kanälchen durch intertubuläres Dentin. Dieses besteht zu über 50% aus kollagenem Flechtwerk und ist weniger stark mineralisiert [Hellwig et al., 2009].

### 3.3 Abrasion

Abrasion ist ein Zahnhartsubstanzverlust durch Fremdkörperabrieb und gehört zu den mechanischen Abnutzungen der Zähne. Der Abrieb erfolgt entweder berufsbedingt (z.B. Staub bei Bergarbeitern) oder durch Nahrungsmittel (Demastikation). Abgegrenzt werden müssen Habits wie z.B. gewohnheitsmässiges Aufbeissen auf Kugelschreiber mit immer den gleichen Zähnen. Diese Art von Abrasion wird Usuren genannt. Nebst bereits genannten Vorgängen gibt es Abrasionen auch durch Mundhygienemassnahmen [Hellwig et al., 2009]. Die Hauptursache dabei sind stark abrasive Zahnpasten in Kombination mit einer falschen Putztechnik (v.a. zu viel Druck) und/oder zu steifen Borsten [Addy et al., 2002; Addy and Hunter, 2003; Bergström and Lavstedt, 1979; Imfeld, 2001; Wiegand et al., 2008].

Obschon dieser Abtrag gering ist, so kumuliert er sich über die Jahre und ist irreversibel. Durch eine optimierte Putztechnik ist das Ausmass der Bürstabrasion reduzierbar. Zu vermeiden ist auf jeden Fall eine horizontale Putztechnik mit einem hohen Anpressdruck [Bergström and Lavstedt, 1979].

Zusätzlich zur Technik und den Bürsten trägt die Zahnpaste ihren Anteil zum kumulativen Abtrag bei. Das abrasive Potential einer Zahnpasta wird üblicherweise durch die Relative Dentin Abrasion (RDA) bzw. die Relative Schmelz Abrasion (REA) beschrieben. Dafür werden die Zähne in vitro radioaktiv markiert und maschinell gebürstet. Der Zahnhartsubstanzverlust wird durch Messung der  $^{32}\text{P}$ -Aktivität des aus dem Zahn herausgelösten markierten Phosphors ermittelt und mit einem Standard verglichen.

## 3.4 Zahnverfärbungen

### 3.4.1 Externe Zahnverfärbungen

Diese Verfärbungen entstehen posteruptiv, liegen der Zahnoberfläche auf und sind durch Politur wieder entfernbar. Der Grund für die Auflagerungen sind hauptsächlich die farbgebenden Bestandteile aus Nahrungs- und Genussmitteln (Tee, Kaffee, Tabak und Rotwein) oder Medikamentenlösungen (Chlorhexidindigluconat, Zinnfluorid). Tabak verfärbt stärker als Tee und Kaffee [Joiner et al., 1995]. Als Grundlage für die Anlagerung der Chromogene dient die bakterielle Besiedlung der Zahnoberfläche. Pigmentbildende Bakterien (vermutlich *Bacteroides melaninogenicus*) können ebenfalls dunkle Anlagerungen bilden. Diese sind hauptsächlich im Milch- und Wechselgebiss am Gingivasaum in Form einer schmalen Linie anzutreffen und verschwindet nach Eintritt in die Pubertät durch Veränderung der oralen Bakterienzusammensetzung [Hellwig et al., 2009].

### 3.4.2 Interne Zahnverfärbungen

Die Entstehung von internen Verfärbungen erfolgt präeruptiv aufgrund einer Einlagerung von Pigmenten im Schmelz und Dentin [Hellwig et al., 2009]. Ursachen dafür sind z.B. Mineralisationsstörungen. Diese führen zu Hypoplasien des Schmelzes. Gründe hierfür können genetische Defekte wie Amelogenesis und Dentinogenesis imperfecta sein (weitere seltenere Defekte: Taurodontismus, Hutchinson-Zähne, Turner-Zähne). Nebst endogenen spielen auch exogene Einflüsse wie Erkrankungen während der Entwicklung eine Rolle bei Farbveränderungen: Embryopathia rubelosa (durch intrauterine Virusinfektion z.B. Röteln), Skorbut und Rachitis.

Auch eine Fluoridüberdosierung (bis zum 9. Lebensjahr) kann zu dauerhaften Verfärbungen führen, genannt Fluorose. Klinisch sind sie als kreidige Flecken, Strukturdefekte und Porositäten erkennbar. Diese treten meist bilateral auf und betreffen mehrere Zähne. White Spot Läsionen zeigen sich ebenfalls als kreidige Flecken, sind allerdings im Vergleich zur Fluorose mehrheitlich nicht symmetrisch im Gebiss zu finden. Während der Schmelzbildung können verschiedene Ursachen solche Verfärbungen hervorrufen: Traumen, genetische Dispositionen, Erkrankungen. Posteruptiv können weisse, kreidige Flecken durch insuffiziente Mundhygiene erworben werden und werden dann als Initialkaries bezeichnet [Schmidseder et al., 2009].

### **3.5 Whitening Agents in Zahnpasten**

Substanzen für die Entfernung externer Verfärbungen in Zahnpasten können in drei verschiedene Gruppen unterteilt werden:

#### **3.5.1 Mechanisch**

Durch die Zugabe von Partikeln verschiedener Morphologie, Grösse und Härte werden die Verfärbungen physikalisch entfernt. Dafür werden hauptsächlich Kieselerde, Kalziumkarbonat, Dikalziumphosphat-Dihydrat, Kalziumpyrophosphat, Aluminium, Perlit und Natriumbikarbonat verwendet [Joiner, 2010]. Wobei man versucht, Reinigungspartikel zu verwenden, welche weicher wie Schmelz und gleichzeitig härter wie Zahnbeläge sind. Somit erreicht man die bestmögliche Reinigung bei kleinstmöglicher Schädigung am Schmelz.

Neuerdings werden einzelnen Zahnpasten Diamantpartikel in feinsten Pulverform als Abrasivstoffe zugefügt. Dank des niedrigen RDA von 30 wird laut Hersteller eine gleichmässige und schonende Politur bei gleichzeitiger gründlicher Entfernung von Verfärbungen durch Tabak, Kaffee, Tee oder Rotwein postuliert.

### 3.5.2 Chemisch

Die meisten der chemischen Bleichmittel sind kondensierte Phosphate, welche auch aufgrund ihrer anti-zahnsteinbildenden Effekte bzw. ihrer Fähigkeit, Ablagerungen auf der Zahnoberfläche zu entfernen, in Zahnpasten verwendet werden [Ayad et al., 1999; Walsh et al., 2005]. Untersuchungen zeigten, dass diese Salze fähig sind, die Pellikelproteine zu verdrängen und eine Neuanheftung ebendieser zu verhindern [Rycke et al., 1988; White, 2002]. Andere verwendete Substanzen sind Papain und Peroxide. Allerdings ist deren Wirksamkeit in Zahnpasten bisher nicht ausreichend wissenschaftlich bestätigt worden [Lippert, 2013].

### 3.5.3 Optisch

Seit einiger Zeit sind Zahnpasten mit der Substanz Blue Covarine auf dem Markt. Laut Joiner et al. [2008] lagert sich Blue Covarine an die Zahnoberfläche an und ändert so die optischen Eigenschaften des Zahnes. Die Aufhellung ist nicht nur wahrnehmbar, sondern auch nachweislich messbar.

### **3.6 Ziel der Studie**

Das Ziel dieser Studie war es, die Abrasionswerte auf Schmelz und Dentin der neuen Whitening Zahnpaste „Candida White Diamond“ zu ermitteln und mit zwei anderen Whitening Zahnpasten sowie Elmex Kariesschutz zu vergleichen.



## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Versuchsaufbau**

Für die Untersuchung wurden jeweils 48 Schmelz- und Dentinproben aus bovinen Unterkieferzähnen hergestellt. Diese wurden auf jeweils 4 Gruppen aufgeteilt (S1-4, D1-4; je n = 12)

Nach der Reinigung im Ultraschallbad wurden für alle Proben ein Basisprofil mittels Kontaktprofilometer (Mat. 1) erstellt. Anschliessend wurden die Proben unter Zugabe eines Slurries mittels automatischer Bürstmaschine während 1 (Dentin) bzw. 6 Stunden (Schmelz) gebürstet. Es wurden vier verschiedene Slurries verwendet. Drei Whitening Zahnpasten, eine davon eine neue Diamant-Zahnpaste, sowie Elmex Kariesschutz als Kontrolle. Nach 0.5 bzw. 3 Stunden sowie zum Abschluss wurde erneut ein Profil erstellt. Die Differenz entspricht der Abrasion des Schmelzes bzw. des Dentins.

In nachfolgender Abbildung (Abb. 1) ist der schematische Versuchsablauf abgebildet.

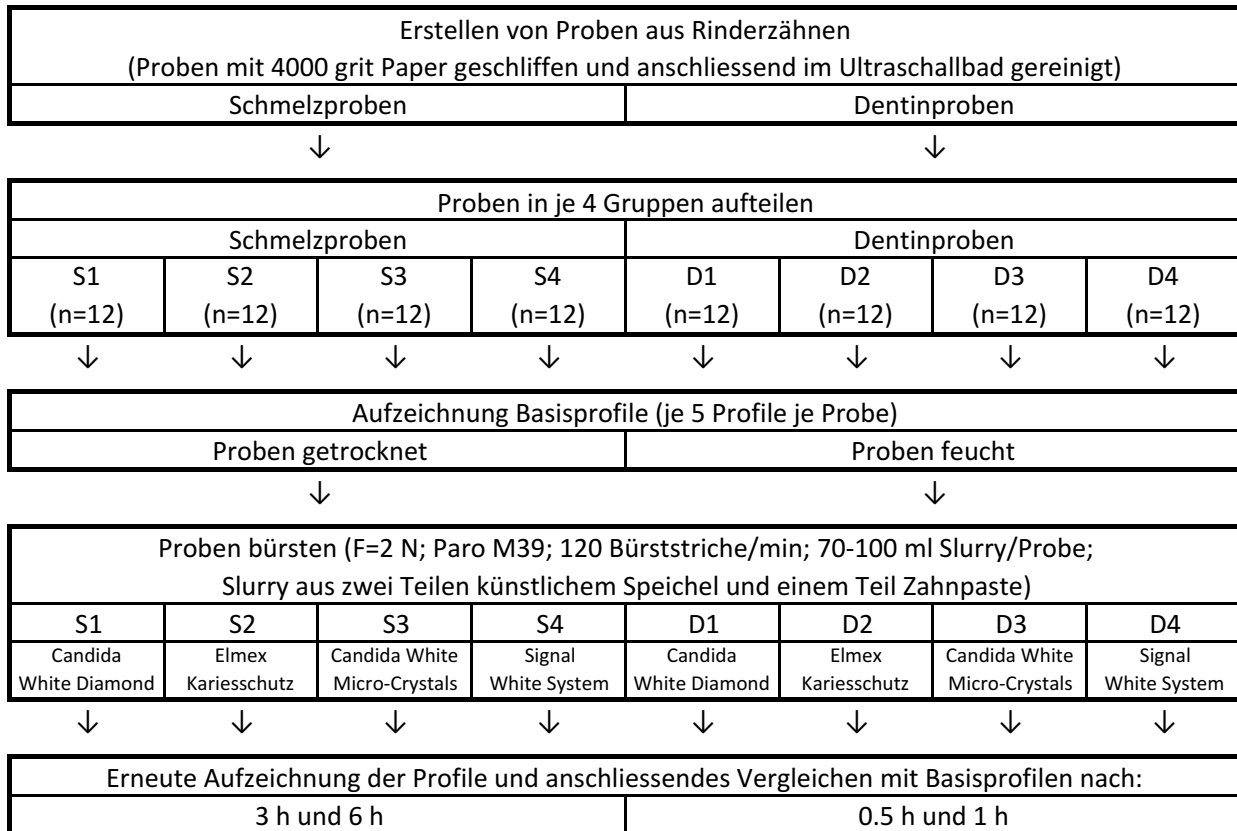


Abb 1: Schematischer Plan des Versuchsablaufes

## 4.2 Probenherstellung

Für die Untersuchung wurden frisch extrahierte Unterkieferfrontzähne von Rindern im Alter von maximal 36 Monaten verwendet. Nach einer Grobreinigung wurden die Zähne mittels einer Fräse (Mat. 2) an der Schmelz-Dentin-Grenze durchtrennt und das Pulpagewebe mit endodontischen Nadeln entfernt. Nach Entfernung des Wurzelzements mit Discs (Mat. 3) wurden je 48 Dentin- und Schmelzproben von 5 mm Durchmesser mit einem Trepanbohrer (Mat. 4) aus der Wurzel bzw. der Krone herausgebohrt und anschliessend mit einem kleinen Hebel von Hand herausgebrochen. Für die Dentinproben wurde nur Wurzelentin verwendet.

Diese Schmelz- und Dentinproben wurden in REM-Trägern mit einer Aussparung von 5 mm Durchmesser eingebettet. Hierfür wurde zuerst ein Metallprimer (Mat. 5) auf die REM-Träger aufgetragen, während die Probenunterseite mit OptiBond™ All-In-One (Mat. 6) eingestrichen und 20 Sekunden ausgehärtet (Mat. 7) wurde. Mittels eines flowable Komposits (Mat. 8) wurden die Proben in den Vertiefungen des REM-Trägers befestigt und 60s lichtpolymerisiert. Die Oberfläche wurde anschliessend unter Wasserkühlung mit drei Schleifscheiben (Mat. 9) unterschiedlicher Körnungen plangeschliffen. Der maschinelle Schleifvorgang erfolgte bei 100 Umdrehungen pro Minute, mit 5 N Anpresskraft und jeweils ca. 20 s mit Schleifpapier der Körnungen 1200, 2400 und 4000 grit.

Zur Sicherstellung einer Referenzfläche wurde mit einer Fräse (Mat. 10) die Oberfläche, ausser einem 3 mm breiten Streifen in der Mitte der Probe, um 300 µm an Höhe reduziert. Nur dieser zentrale Streifen wurde während des Versuchs bearbeitet. Die Referenzfläche blieb während des Bürstvorgangs abgedeckt.

Anschliessend wurden die Schmelz- und Dentinproben auf je 4 Gruppen aufgeteilt (S1-S4; D1-D4; je n=12).

### 4.3 Slurries

Für die Bürstabrasion der verschiedenen Gruppen wurden 4 unterschiedliche Zahnpasten verwendet: Candida White Diamond, Candida White Micro-Crystals, Signal White System und Elmex Kariesschutz (Zuordnung der Slurries zu den Gruppen Tab. 1). Die Slurries wurden jeweils für jede Probe aus einem Teil Zahnpaste und zwei Teilen künstlichem Speichel (Tab. 2) frisch hergestellt. Pro Probe wurden 80 ml Slurry verwendet.

<b>Gruppen</b>	<b>Slurry</b>
S1 + D1	Candida White Diamond
S2 + D2	Elmex Kariesschutz
S3 + D3	Candida White Micro-Crystals
S4 + D4	Signal White System

Tab 1: Aufteilung und Zuordnung der Slurries auf die verschiedenen Gruppen

<b>Substanz</b>	<b>Einwaage</b>
Glycerin 85%	50.0 g
Speichelersatz (nach Klimek et al. 1982 ohne Muzin)	198.0 ml
Bidestilliertes Wasser	198.0 ml
Natrosol HR	2.5 g
Natriumkarbonat (1.62%)	51.5 ml

Tab 2: Übersicht Zusammensetzung Natrosol/Glycerin-Speichelersatzgemisch

#### 4.4 Versuchsdurchführung im Labor

Zur Vorkonditionierung wurde ein RDA 100 Slurry (Tab. 2 und 3) hergestellt und jeweils 6 Proben für 2 min in die Bürstmaschine (Mat. 11) eingespannt. Für die Versuche wurden Paro M 39 (Mat. 12) Bürstenköpfe verwendet, welche in einem Winkel von 12° angebracht wurden, damit keine Rillen im Dentin entstehen. Die Bürstfrequenz betrug 120 Bürststriche pro Minute. Die Anpresskraft betrug 2 N, welche jeweils vor dem Start des Bürstvorgangs mit einer Federwaage überprüft wurde. Ein Stift in der Haltevorrichtung sowie die Einziehung der REM-Träger sorgten für eine exakte Repositionierung der Proben. Eine spezielle Anfertigung an der Maschine stellte sicher, dass die Slurries während des Versuchs immer homogen durchmischt wurden.

Pro Versuchsdurchgang gab es 6 Plätze. Es wurden pro Zahnpaste jeweils zwei Durchgänge durchgeführt. Schmelzproben wurden insgesamt während sechs Stunden, Dentinproben während einer Stunde gebürstet, wobei nach der Hälfte der Zeit sowie zum Ende erneut eine profilometrische Analyse durchgeführt wurde. Die Proben und Plätze der Maschinen, waren nummeriert, damit eine Verwechslung nach der Zwischenmessung ausgeschlossen war.

<b>RDA</b>	<b>Sident 9 (Mat. 13)</b>	<b>Natrosol/Glycerin-Speichelersatzgemisch</b>
100	10.0 g	50.0 g

Tab 3: Zusammensetzung des RDA 100 Slurry

## 4.5 Profilometrische Analyse

Für die Messung des Oberflächenprofils der Proben wurde ein Profilometer verwendet. Hierfür wurden die Proben einzeln in einen Halter eingespannt und somit reproduzierbar im Gerät positioniert. Gestartet wurde die Messung über ein Computerprogramm (Mat. 14). Eine feine Nadel bewegte sich über die Probe und zeichnete das Profil auf. Es wurden jeweils fünf Profile parallel im Abstand von 100  $\mu\text{m}$  zueinander registriert. Der Messweg betrug 2 mm.

Von jeder Probe wurde eine Basismessung vor Versuchsbeginn, eine Messung nach drei Stunden bei Schmelzproben bzw. nach einer halben Stunde bei Dentinproben sowie eine Messung nach Abschluss des Versuchs aufgezeichnet. Diese Profile wurden im Computer übereinandergelegt und daraus wurde der Substanzabtrag durch die Zahnbürstabrasion berechnet.

## 4.6 Statistische Analysen und Datenauswertung

Die Messwerte wurden in Excel codiert und in SPSS Version 22 (Mat. 15) analysiert. Die Annahme der Normalverteilung wurde mit Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests überprüft. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Abträge innerhalb jeder Pastengruppe für beide Substrate (Schmelz und Dentin) und beide Messzeitpunkte (Schmelz: 3 h und 6 h; Dentin: 0.5 h und 1 h) wurden berechnet. Die Unterschiede in den Abtragmittelwerten zwischen den Pastengruppen für beide Substrate und beide Messzeitpunkte wurden separat mittels der einfachen Varianzanalyse (ANOVA) untersucht. Da für Schmelz die Annahme der Homogenität der Streuung der Normalverteilung in allen Pastengruppen verletzt war, wurde der Dunnet-Post-Hoc-Test angewandt. Für Dentin konnte der Tukey-Post-Hoc-Test angewandt werden. Ergebnisse der statistischen Analysen mit einem p-Wert  $< 0.05$  wurden als statistisch signifikant interpretiert.

## 5 Resultate

### 5.1 Schmelzabtrag

Der Schmelzabtrag (Mittelwert + SD) in den verschiedenen Gruppen nach 3 h und 6 h ist in Abbildung 2 dargestellt.

Nach 3 h war der Schmelzabtrag zwischen den Gruppen S3 (Candida White Micro-Cristal) ( $0.61 \pm 0.29 \mu\text{m}$ ) und S4 (Signal White System) ( $0.49 \pm 0.34 \mu\text{m}$ ) nicht signifikant unterschiedlich. Für die Gruppe S2 (Elmex Kariesschutz) ( $2.05 \pm 0.85 \mu\text{m}$ ) wurde ein signifikant höherer Schmelzabtrag als in den Gruppen S3 und S4 festgestellt.

Der höchste Schmelzabtrag wurde in der Gruppe S1 (Candida White Diamond) ( $27.25 \pm 6.43 \mu\text{m}$ ) gemessen, welcher signifikant höher als in den Gruppen S2, S3 und S4 war.

Auch nach 6 h konnte zwischen den Abträgen der Gruppen S3 und S4 kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der höchste Schmelzabtrag wurde erneut in der Gruppe S1 ( $51.91 \pm 12.17 \mu\text{m}$ ) beobachtet, welcher erneut signifikant höher als in den Gruppen S2, S3 und S4 war.

Innerhalb der Gruppen S1, S2, S3 und S4 wurde ein signifikant höherer Schmelzabtrag nach 6 h im Vergleich zu 3 h gemessen.



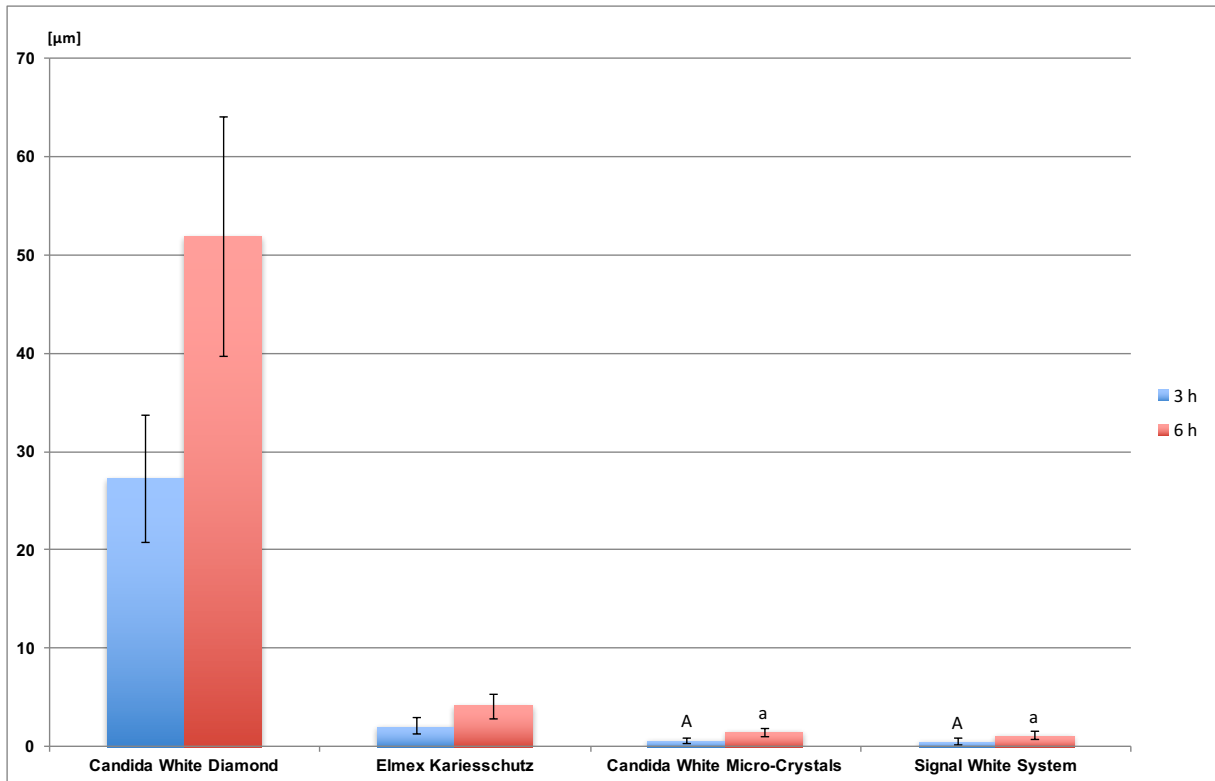


Abb 2: Schmelzabtrag (Mittelwert  $\pm$  SD) für die vier unterschiedlichen Zahnpasten nach 3 h und 6 h Bürstabrasion.

Abträge innerhalb der gleichen Bürstdauer für die verschiedenen Gruppen, welche sich nicht signifikant unterscheiden, sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet (Grossbuchstaben für 3 h Bürstdauer, Kleinbuchstaben für 6 h Bürstdauer)

## 5.2 Dentinabtrag

Der Dentinabtrag (Mittelwert + SD) in den verschiedenen Gruppen nach 0.5 h und 3 h ist in Abbildung 3 dargestellt.

Nach 0.5 h war der Dentinabtrag in den Gruppen D1 ( $18.91 \pm 2.45 \mu\text{m}$ ) und D2 ( $17.56 \pm 1.85 \mu\text{m}$ ) nicht signifikant unterschiedlich. Auch zwischen den Gruppen D3 ( $13.10 \pm 1.54 \mu\text{m}$ ) und 4 ( $14.99 \pm 3.00 \mu\text{m}$ ) konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Ein signifikanter Unterschied war zwischen der Gruppe D1 und D3 bzw. D4 sowie zwischen den Gruppen D2 im Vergleich zu D3 und D4 zu beobachten. Der höchste Dentinabtrag wurde in Gruppe D1 gemessen.

Auch nach 1 h war zwischen den Gruppen D1 und D2, sowie zwischen D3 und D4 kein signifikanter Unterschied zu beobachten. Signifikante Unterschiede waren zwischen der Gruppe D1 im Vergleich zu D3 und D4 sowie zwischen der Gruppe D2 im Vergleich zu D3 und D4 zu beobachten. Der höchste Dentinabtrag wurde erneut in Gruppe D1 ( $36.43 \pm 5.53 \mu\text{m}$ ) gemessen.

Innerhalb der Gruppen D1, D2, D3 und D4 wurde ein signifikant höherer Dentinabtrag nach 1 h im Vergleich zum Abtrag nach 0.5 h gemessen.

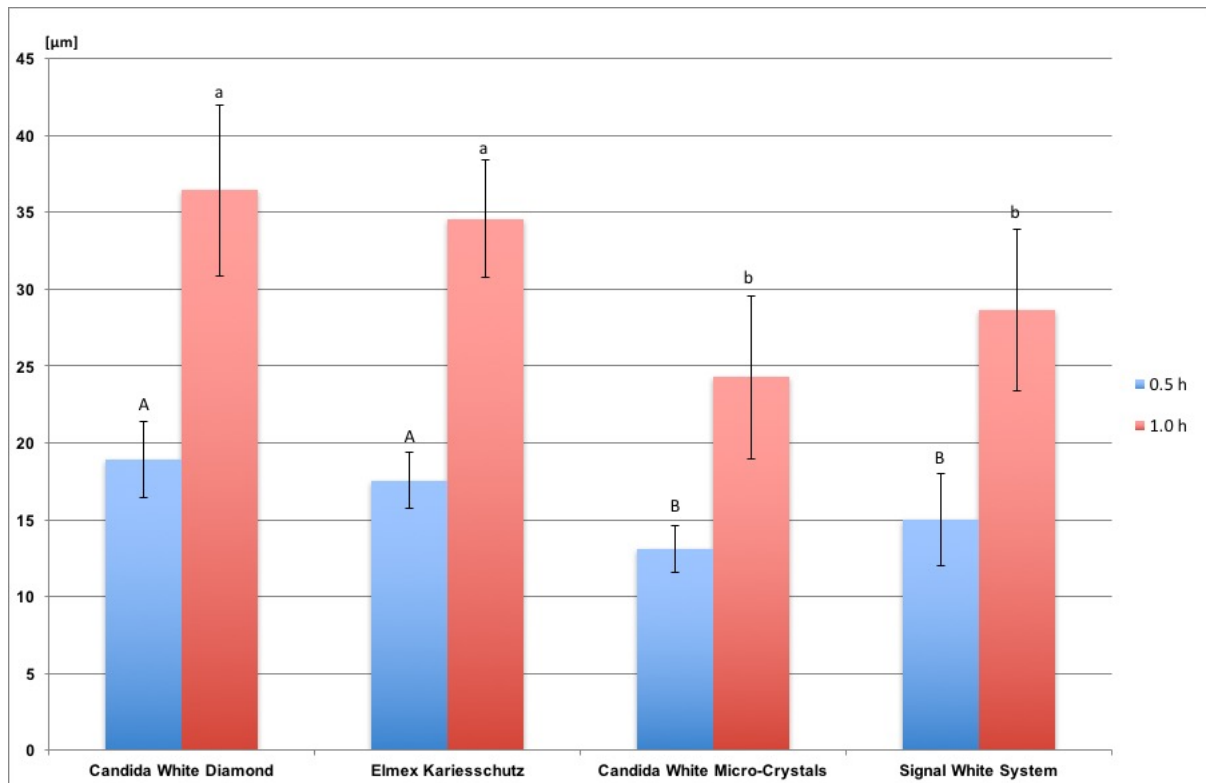


Abb. 3: Dentinabtrag (Mittelwert  $\pm$  SD) für die vier unterschiedlichen Zahnpasten nach 0.5 h und 1 h Bürstabrasion.

Abträge innerhalb der gleichen Bürstdauer für die verschiedenen Gruppen, welche sich nicht signifikant unterscheiden, sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet (Grossbuchstaben für 0.5 h Bürstdauer, Kleinbuchstaben für 1 h Bürstdauer)

## **6 Diskussion**

### **6.1 Material und Methode**

Die Schmelz- und Dentinproben für diese Studie wurden aus frisch extrahierten Unterkieferfrontzähnen von maximal 36 Monate alten Rindern gewonnen. Nicht nur ist es leichter bovine Zähne in genügender Zahl zu beschaffen, sie sind aufgrund der ähnlichen Zusammensetzung wie humaner Schmelz und Dentin geeignet um In-vitro-Studien durchzuführen. Diverse Studien zeigten ein ähnliches Abrasionsverhalten von bovinem und humanem Dentin [Esser et al., 1998; Imfeld, 2001; Wegehaupt et al., 2008]. Boviner Schmelz verhält sich bei reiner Abrasion ähnlich wie humaner Schmelz [Attin et al., 2007].

In der vorliegenden Studie wurden die Zahnhartsubstanzproben mittels horizontaler Bürsttechnik gebürstet. Frühere Studien konnten zeigen, dass eine horizontale Bürsttechnik zu höheren Abrasionswerten führt im Vergleich zu kreisenden Bewegungen [Bergström and Lavstedt, 1979; Dyer et al., 2001]. Durch die horizontale Bürstrichtung kann davon ausgegangen werden, dass der in Studien gemessene Abtrag höher ist als bei Anwendung kreisender Bewegungen. Für die Rangliste in Bezug auf die Abrasion der untersuchten Pasten spielt die Bürsttechnik aber vermutlich nur eine untergeordnete Rolle.

Die Schmelzproben wurden insgesamt während 6 h mit 120 Strichen pro Minute gebürstet. Dies entspricht 43'200 Bürststrichen. Während des normalen Zähneputzens wird jeder Zahn im Schnitt mit 10-15 Strichen bearbeitet [Wiegand and Attin, 2011]. Bei einer Annahme dieser Anzahl von Streichbewegungen und zweimaligem Zähneputzen pro Tag wurde in dieser Studie der Zeitraum von ca. 4-6 Jahren für Schmelz simuliert. Die Dentinproben wurden während insgesamt einer Stunde bearbeitet. Dies simuliert das Zähneputzen in vivo über einen Zeitraum von ca. 240-360 Tagen.

Die Zahnpasten wurden gemischt mit Speichellersatzlösung als Slurries verwendet, da auch in vivo die Paste während des Zähneputzens mit dem Speichel vermischt wird.

Um Abrasionswerte zu ermitteln, werden verschiedene Methoden verwendet [González-Cabezas et al., 2013]. Beispiele hierfür wären die RDA- (Relative Dentin Abrasion) [Ganss et al., 2001] oder Profilometriemethode [Attin et al., 1998; Wegehaupt et al., 2008; Wiegand et al., 2008]. In der vorliegenden Studie wurde die Profilometrie verwendet, um die Abrasionswerte der getesteten Pasten zu ermitteln. Der Vorteil dieser Messmethode ist es, dass der absolute Verlust von Zahnhartsubstanz gemessen werden kann. Zudem gibt es im Gegensatz zur RDA-Methode keine potentiell gesundheitsschädigende Wirkung, welche von den radioaktiven Substanzen ausgehen können, die man benötigt um die relative Dentinabrasion zu ermitteln. Allerdings besteht bei korrekter Durchführung der Messung des RDA-Wertes keine Gefahr für den Benutzer [Grabenstetter et al., 1958]. Ein Nachteil der Profilometrie gegenüber der RDA-Methode ist die geringere Messgenauigkeit [Hefferren et al., 1984]. Dennoch ist sie eine bewährte Messmethode für die Ermittlung von Dentin- [Dyer et al., 2001] und Schmelzabrasion [Attin and Wegehaupt, 2014].

## 6.2 Ergebnisse

### 6.2.1 Schmelz

Statistisch konnten verschiedene signifikante Unterschiede festgestellt werden. Am auffälligsten ist das Abrasionsverhalten der Candida White Diamond Zahnpasten. Diese trägt signifikant mehr Schmelz im Vergleich zu den anderen drei Pasten ab. Man muss davon ausgehen, dass der massiv höhere Abtrag dem beigemischtem Diamantpulver zugrunde liegt. Überraschend ist der hohe Abtrag vor allem aufgrund dessen, dass vom Hersteller bei Candida White Diamond mit RDA 30 der niedrigste Wert von den vier getesteten Pasten angegeben wird. Entsprechend kann der hier gelieferte RDA-Wert keine Voraussage betreffend eines potentiellen Schmelzverlustes liefern. Zu beachten ist zudem, dass in vivo zuerst der Schmelz gebürstet wird und nur bei Verlust der Schmelzschicht das Dentin in Mitleidenschaft gezogen werden kann. Folglich ist die Aussagekraft des RDA im Bezug auf die Abrasion von Schmelz fraglich. Es sind weitere Untersuchungen zur Ersetzung oder Ergänzung des RDA nötig, um eine genauere und einheitlichere Deklaration zu erreichen.

Es ist unklar, ob und inwiefern sich die Abrasivstoffe mit zunehmender Bürstzeit verändern. Dentin ist zu wenig hart, als dass sich die Putzpartikel an dieser Zahnhartsubstanz relevant abrunden könnten [Imfeld et al., Acta Med Dent Helv, 1998]. Bei Schmelz ist dies nicht auszuschliessen. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass dieser Effekt gering ist, da der Abtrag nach 6 h relativ genau dem doppelten Abtrag nach 3 h entsprach. Für eine klarere Aussage bedarf es weiterer Versuche mit mehr Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten.

Elmex Kariesschutz zeigte einen signifikant leicht höheren Substanzverlust als Candida White Micro-Crystals und Signal White System. Die Schmelzabrasion dieser drei Zahnpasten dürfte bei normalem Zähnebürsten und ohne starke Einflüsse von erosiven Prozessen klinisch nicht relevant sein.

In dieser Studie wurde nur die Abrasivität der Zahnpasten untersucht. Weitere Einflüsse, welchen die Zähne in vivo ausgesetzt sind, konnten und sollten vorerst nicht berücksichtigt werden. Bisherige Studien untersuchten die Widerstandsfähigkeit von erodiertem versus gesundem Schmelz [Hooper et al., 2003; Wiegand et al., 2007] und kamen zum Schluss, dass erodierter Schmelz weniger resistent ist gegenüber Abrasion. Das Verhalten der Candida White Diamond Zahnpaste bzw. Diamant Pulver enthaltende Pasten auf erodiertem Schmelz muss dann in weiteren Studien untersucht werden.

### 6.2.2 Dentin

Dentin ist signifikant weicher und weniger abrasionsstabil als Schmelz [Radlanski, 2011]. Aus diesem Grund wurden die Dentinproben nur während einer Stunde gebürstet. Für Schmelz sind längere Versuchszeiten notwendig, um einen messbaren Effekt zu beobachten.

Wissend, wie abrasiv Candida White Diamond auf Schmelz ist, zeigt sich die Candida White Diamond Zahnpaste überraschenderweise als vergleichsweise wenig abrasiv auf Dentin. Es gibt zwar einen signifikant erhöhten Abtrag im Vergleich zu Candida White Micro-Crystals und Signal White System. Allerdings ist dieser nur gering. Im Vergleich zu Elmex Kariesschutz konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Die unterschiedliche Abrasion auf Schmelz und Dentin der Candida White Diamond könnte dadurch erklärt werden, dass harte Diamantkörner durch mehr Widerstand entsprechend mehr abtragen, während das weiche Dentin weniger Angriffsfläche bietet und die Körner in die weiche Schicht gedrückt werden und dort ggf. verbleiben. Weitere Untersuchungen sind hierzu notwendig.

Vergleicht man die RDA-Werte der Hersteller, ist zu erkennen, dass die Rangliste des absoluten Abtrages nicht mit diesen Werten korreliert. Dies bestätigt die Aussage von González-Cabezas et al. [2013] wonach RDA-Werte nicht dazu gedacht sind, Prognosen über die Dentinabrasion in vivo zu machen, da die RDA-Methode die komplexe Natur des Abrasionsprozesses in vivo nicht reproduziert. Entsprechend ist es nicht verwunderlich, dass einige Studien eine Korrelation zwischen RDA-Werten und Zahnhartsubstanzverlust durch Zahnbürstenabtrag finden konnten, während andere keine Abhängigkeit zeigten.

### **6.3 Schlussfolgerung**

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass Candida White Diamond im Vergleich zu den anderen getesteten Pasten ähnlich schonend auf dem Dentin ist, jedoch ein sehr abrasives Verhalten auf Schmelz zeigt. Aus diesem Grund ist diese Zahnpaste nur unter Vorbehalt zu empfehlen.



## 7 Literaturverzeichnis

- Addy M, Hughes J, Pickles MJ, Joiner A, Huntington E: Development of a method in situ to study toothpaste abrasion of dentine. Comparison of 2 products. *J Clin Periodontol* 2002;29:896-900.
- Addy M, Hunter ML: Can tooth brushing damage your health? Effects on oral and dental tissues. *Int Dent J* 2003;53 Suppl 3:177-186.
- Attin T, Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A: The potential of deciduous and permanent bovine enamel as substitute for deciduous and permanent human enamel: Erosion-abrasion experiments. *J Dent* 2007;35:773-777.
- Attin T, Wegehaupt FJ: Methods for assessment of dental erosion. *Monogr Oral Sci* 2014;25:123-142.
- Attin T, Zirkel C, Hellwig E: Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions. *Caries Res* 1998;32:344-350.
- Ayad F, Demarchi B, Khalaf A, Petrone ME, Chaknis P, DeVizio W, Volpe AR, Proskin HM: A six-week clinical efficacy study of a new dentifrice for the removal of extrinsic tooth stain. *J Clin Dent* 1999;10:103-106.
- Bergström J, Lavstedt S: An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. *Community Dent Oral Epidemiol* 1979;7:57-64.
- Boyde A: The development of enamel structure. *Proc R Soc Med* 1967;60:923-928.
- Dyer D, MacDonald E, Newcombe RG, Scratcher C, Ley F, Addy M: Abrasion and stain removal by different manual toothbrushes and brush actions: studies in vitro. *J Clin Periodontol* 2001;28:121-127.
- Esser M, Tinschert J, Marx R: Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz. *Dtsch Zahnärztl Zeitschr* 1998;53:713-717.
- Ganss C, Klimek J, Schäffer U, Spall T: Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in vitro. *Caries Res* 2001;35:325-330.
- González-Cabezas C, Hara AT, Hefferren J, Lippert F: Abrasivity testing of dentifrices - challenges and current state of the art. *Monogr Oral Sci* 2013;23:100-107.
- Grabenstetter RJ, Broge RW, Jackson FL, Radike AW: The measurement of the abrasion of human teeth by dentifrice abrasives: a test utilizing radioactive teeth. *J Dent Res* 1958;37:1060-1068.
- Hefferren JJ, Kingman A, Stookey GK, Lehnhoff R, Muller T: An international collaborative study of laboratory methods for assessing abrasivity to dentin. *J Dent Res* 1984;63:1176-1179.
- Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung, ed 5., überarb. und erw. Aufl. Köln, Deutscher Zahnärzte Verlag, 2009.

- Hooper S, West NX, Pickles MJ, Joiner A, Newcombe RG, Addy M: Investigation of erosion and abrasion on enamel and dentine: a model in situ using toothpastes of different abrasivity. *J Clin Periodontol* 2003;30:802-808.
- Imfeld T: Comparison of the mechanical effects of a toothbrush and standard abrasive on human and bovine dentine in vitro. *J Clin Dent* 2001;12:92-96.
- Imfeld T, Sener B, Lutz F: Mechanische Wirkung von in der Schweiz marktführenden Zahnpasten auf Dentin. *Acta Med Dent Helv*, 1998;3:54-59.
- Joiner A: The bleaching of teeth: a review of the literature. *J Dent* 2006;34:412-419.
- Joiner A: Whitening toothpastes: a review of the literature. *J Dent* 2010;38 Suppl 2:e17-24.
- Joiner A, Jones NM, Raven JS: Investigation of factors influencing stain formation utilizing an in situ model. *Adv Dent Res* 1995;9:471-476.
- Joiner A, Philpotts CJ, Alonso C, Ashcroft AT, Sygrove NJ: A novel optical approach to achieving tooth whitening. *J Dent* 2008;36 Suppl 1:S8-14.
- Lippert F: An introduction to toothpaste - its purpose, history and ingredients. *Monogr Oral Sci* 2013;23:1-14.
- Orams HJ, Zybert JJ, Phakey PP, Rachinger WA: Ultrastructural study of human dental enamel using selected-area argon-ion-beam thinning. *Arch Oral Biol* 1976;21:663-675.
- Pickles MJ, Evans M, Philpotts CJ, Joiner A, Lynch RJ, Noel N, Laucello M: In vitro efficacy of a whitening toothpaste containing calcium carbonate and perlite. *Int Dent J* 2005;55:197-202.
- Radlanski RJ: *Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie*. Berlin, Quintessenz-Verlags-GmbH, 2011.
- Rykke M, Rölla G, Sönju T: Effect of pyrophosphate on protein adsorption to hydroxyapatite in vitro and on pellicle formation in vivo. *Scand J Dent Res* 1988;96:517-522.
- Schmidseder J, Munz T, Allen EP: *Ästhetische Zahnmedizin*, ed 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart, Thieme, 2009.
- Schumacher G-H: *Anatomie und Biochemie der Zähne*, ed 4., überarb. Aufl. Stuttgart, Fischer, 1990.
- ten Bosch JJ, Coops JC: Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res* 1995;74:374-380.
- Walsh TF, Rawlinson A, Wildgoose D, Marlow I, Haywood J, Ward JM: Clinical evaluation of the stain removing ability of a whitening dentifrice and stain controlling system. *J Dent* 2005;33:413-418.
- Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A, Attin T: Is bovine dentine an appropriate substitute for human dentine in erosion/abrasion tests? *J Oral Rehabil* 2008;35:390-394.
- White DJ: Development of an improved whitening dentifrice based upon "stain-specific soft silica" technology. *J Clin Dent* 2001;12:25-29.
- White DJ: A new and improved "dual action" whitening dentifrice technology -- sodium hexametaphosphate. *J Clin Dent* 2002;13:1-5.

- Wiegand A, Attin T: Design of erosion/abrasion studies -- insights and rational concepts. *Caries Res* 2011;45 Suppl 1:53-59.
- Wiegand A, Köwing L, Attin T: Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel. *Arch Oral Biol* 2007;52:1043-1047.
- Wiegand A, Schwerzmann M, Sener B, Magalhaes AC, Roos M, Ziebolz D, Imfeld T, Attin T: Impact of toothpaste slurry abrasivity and toothbrush filament stiffness on abrasion of eroded enamel - an in vitro study. *Acta Odontol Scand* 2008;66:231-235.

## 8 Anhang

### 8.1 Verwendete Materialien

- Mat. 1: Perthometer Concept, Mahr, Göttingen, Deutschland
- Mat. 2: IsoMet™ Präzisions Niedertourentrenner, Buehler GmbH, Düsseldorf, Deutschland
- Mat. 3: Sof-Lex™, 3M ESPE, Minnesota, USA
- Mat. 4: Dreh- & Fräsmaschinensystem, PROXXON GmbH, Föhren, Deutschland
- Mat. 5: ML Primer, SHOFU, Tokyo, Japan
- Mat. 6: OptiBond™ All-In-One, Kerr, Orange, California, USA
- Mat. 7: Spectramat, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein FL
- Mat. 8: Filtek™ Supreme Ultra Flowable Restorative, 3M ESPE, St. Paul, USA
- Mat. 9: SiC Papier, Struers GmbH, Birmensdorf, Schweiz
- Mat. 10: emco FB-2, Maier & Co, Hallein, Austria
- Mat. 11: 6-plätziges Bürstmaschine, Eigenbau Klinik PPK, Zentrum für Zahnmedizin, Universität Zürich, Zürich, Schweiz
- Mat. 12: Paro M39, Esro AG, Thalwil, Schweiz
- Mat. 13: Sident 9, Evonik Resource Efficiency GmbH, Hanau-Wolfgang, Deutschland
- Mat. 14: 4D Client, custom designed software, Universität Zürich, Zürich, Schweiz
- Mat. 15: IBM® SPSS® Statistics, Version 22, International Business Machines Corp., New York, USA

## 8.2 Verwendete Zahnpasten

Produktenname	RDA	Inhaltsstoffe
Candida White Diamond	30	Aqua, Hydrogenated Starch Hydrolysate, Potassium Citrate, Hydrated Silica, Sodium Lauryl Sulfate, Xanthan Gum, Aroma, Sodium Acrylates, Sodium Fluoride, Sodium Saccharin, Zinc Chloride, Diamond Powder, Methylparaben, Allantoin, Limonene, Linalool, Benzyl Alcohol
Candida White Micro-Crystals	75	Aqua, Hydrogenated Starch Hydrolysate, Hydrated Silica, Tetrasodium Pyrophosphate, Sodium Lauryl Sulfate, Disodium Pyrophosphate, Titanium Dioxide, Aroma, Cellulose Gum, Paraffinum Liquidum, Sodium Fluoride, Sodium Saccharin, Zinc Chloride, Domiphen Bromide, Cetylpyridinium Chloride, Limonene, Linalool, Copper Phthalocyanine, Natriumfluorid
Signal White System	110	Calcium Carbonate, -Aqua, Sorbitol, Hydrated Silica, Aroma, Sodium Monofluorophosphate, Trisodium Phosphate, Cellulose Gum, Perlite, Sodium Saccharin, Methylparaben, Propylene Glycol, Propylparaben, Glycerin, Titanium Dioxide, Copper Phthalocyanine
Elmex Kariesschutz	77	Aqua, Hydrated Silica, Sorbitol, Hydroxyethylcellulose, Olafur, Aroma, Limonene, Saccharin, Aminfluorid, Titanium Dioxide

Tab 4: Zusammensetzung und RDA der verwendeten Zahnpasten gemäss Herstellerangaben

## 9 Danksagung

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinen Geschwistern. Für die Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit möchte ich mich von ganzem Herzen bedanken.

Für die freundliche und stets zuverlässige Betreuung danke ich Herrn PD Dr. med. dent. Florian J. Wegehaupt. Seine kompetenten Ratschläge sowie konstruktive Kritik waren mir während der gesamten Labor- und Schreibphase eine sehr grosse Hilfe.

Bei Herrn Prof. Dr. med. dent. Attin möchte ich mich für die Überlassung des Themas bedanken.

Für die Hilfe im Labor bedanke ich mich beim ganzen Laborteam (Klaus Becker, Beatrice Sener, Claudia Cucuzza und Willi Bucher).

Frau Malgorzata Roos danke ich für die statistische Auswertung.