

Universität Zürich  
Zentrum für Zahnmedizin  
Vorsteher: Prof. Dr. med. dent. Christoph Hämmerle

Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin

---

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

**In-situ Untersuchung zur Wiedererhärtung von erodiertem Schmelz mittels  
CPP-ACP-haltiger Crème oder fluoridhaltiger Mundspüllösung**

**INAUGURAL-DISSERTATION**  
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität Zürich

vorgelegt von  
Angela Stillhard  
von Zürich ZH und Mosnang SG

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin  
Zürich 2011

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
2	Einleitung.....	2
3	Literaturübersicht.....	3
	3.1 Anatomie und Histologie des Schmelzes	3
	3.2 Schmelzerosionen	4
	3.2.1 Definition, Ätiologie und Pathologie von Erosionen	4
	3.2.1.1 Intrinsische Erosionen	4
	3.2.1.2 Extrinsische Erosionen	5
	3.2.2 Mikromorphologie des demineralisierten Schmelzes	6
	3.2.3 Prävention von Erosionen	7
	3.3 Ziel der Studie	8
4	Versuchsplan.....	9
5	Material und Methode.....	11
	5.1 Probenherstellung	11
	5.2 Stratifizierte Randomisierung der Proben mittels Mikrohärteanalyse	11
	5.3 Probanden	12
	5.4 Versuchsablauf	14
6	Ergebnisse.....	15
7	Diskussion.....	17
8	Literaturverzeichnis.....	20
9	Herstellerverzeichnis.....	27
10	Anhang.....	28
	10.1 Härtemessungen 1 (Tooth Mousse intraoral)	28
	10.1.1 Knoop-Härte [KHN] vor Erosion	28
	10.1.2 Knoop-Härte [KHN] nach Erosion	29

10.1.3	Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende	30
10.2	Härtemessungen 2 (Meridol intraoral)	31
10.2.1	Knoop-Härte [KHN] vor Erosion	31
10.2.2	Knoop-Härte [KHN] nach Erosion	32
10.2.3	Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende	33
10.3	Härtemessungen 3 (Tooth Mousse extraoral)	34
10.3.1	Knoop-Härte [KHN] vor Erosion	34
10.3.2	Knoop-Härte [KHN] nach Erosion	35
10.3.3	Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende	36
10.4	Härtemessungen 4 (Meridol extraoral)	37
10.4.1	Knoop-Härte [KHN] vor Erosion	37
10.4.2	Knoop-Härte [KHN] nach Erosion	38
10.4.3	Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende	39
10.5	Härtemessungen 5 (Kontrolle)	40
10.5.1	Knoop-Härte [KHN] vor Erosion	40
10.5.2	Knoop-Härte [KHN] nach Erosion	41
10.5.3	Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende	42
10.6	Mittlere Knoop-Härte [KHN] (SD) der verschiedenen Behandlungsgruppen 1-5 zu den drei Messzeitpunkten	43
11	Danksagung.....	44
12	Curriculum Vitae.....	45

# 1 Zusammenfassung

Das Ziel dieser In-situ-Studie war es, das Wiedererhärtungspotential von „Casein phosphopeptide – amorphous calcium phosphate“ (CPP-ACP) -haltiger Crème bzw. fluoridhaltiger Mundspüllösung bei intra- und extraoraler Applikation auf erodierte Schmelzproben zu untersuchen.

10 freiwillige Probanden führten je 5 verschiedene Behandlungsreihen durch. Für jede Reihe wurden jeweils 4 Rinderschmelzproben zuvor für 2 min in Sprite Zero erodiert und anschliessend für 5 min in der Trägerschiene intraoral getragen. Danach wurden die Proben für 3 min mit entweder 250 ppm AmF/SnF<sub>2</sub> Mundspüllösung (Meridol) (Gruppen 2 und 4) oder CPP-ACP-haltiger Crème (Tooth Mousse) (Gruppen 1 und 3) behandelt. Bei den Gruppen 1 und 2 erfolgten die Behandlungen intraoral, bei den Gruppen 3 und 4 extraoral. Die Gruppe 5 diente als Kontrollgruppe, diese Proben wurden nicht behandelt (nur im Mund getragen). Nach den entsprechenden Behandlungen wurden die Proben jeweils für weitere 3:55 h in der Trägerschiene intraoral getragen. Die Mikrohärtemessung erfolgte jeweils vor Erosion, nach Erosion und nach Abschluss der gesamten Tragezeit. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit ANOVA und Bonferroni/Dunn post-hoc Test.

Die Anfangshärten zwischen den 5 Gruppen unterschieden sich nicht statistisch signifikant voneinander. Ebenfalls waren die Härten „nach Erosion“ in den 5 Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich. Die Erosion in Sprite Zero reduzierte die Mikrohärtensignifikant in allen Gruppen. Nach der intraoralen Tragezeit waren die Proben in allen Gruppen signifikant wiedererhärtet, allerdings wurden die Anfangshärten nicht wieder erreicht. Die Mikrohärtens in der Gruppe 3 ( $290.2 \pm 31.4$  Knoop Hardness Number (KHN)) waren signifikant höher, als diejenigen in den Gruppen 4 ( $268.3 \pm 25.9$  KHN) und 5 ( $270.7 \pm 29.0$  KHN). Kein signifikanter Unterschied fand sich zwischen den Gruppen 1 ( $277.0 \pm 27.4$  KHN), 2 ( $284.2 \pm 28.6$  KHN) und 5 ( $270.7 \pm 29.0$  KHN).

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass die intraorale Applikation von CPP-ACP-haltiger Crème oder fluoridhaltiger Mundspüllösung keinen Vorteil im Hinblick auf die Wiedererhärtung erodierter Schmelzproben bringt.

## 2 Einleitung

Unter Erosion versteht man einen chemisch bedingten Zahnhartsubstanzverlust, der unter Abwesenheit von Mikroorganismen stattfindet (Zipkin und McClure, 1949). Die Erosion führt als Erstes zu einer Zahnhartsubstanz-erweichung. Diese erweichte Zahnhartsubstanz ist gegenüber mechanischen Einflüssen anfällig und kann durch diese irreversibel verloren gehen (Bartlett, 2005; Wiegand et al., 2007). Es wurden verschiedene Ansätze diskutiert, um diesen Zahnhartsubstanzverlust zu verhindern bzw. zu minimieren. Ein Ansatz besteht in der Wiedererhärtung der erweichten Zahnhartsubstanz (Wiegand und Attin, 2003). Diese Wiedererhärtung kann durch Speichel oder durch die Applikation von fluoridhaltigen Mundspüllösungen erzielt werden. Als weitere Option wird die Applikation einer Paste mit bioverfügbarem Phosphat und Kalzium (CPP-ACP-haltige Crème) empfohlen (Reynolds, 1997). In-vitro-Studien zeigten für CPP-ACP-haltige Crème widersprüchliche Ergebnisse in Bezug auf die Wiedererhärtung von erodierter Zahnhartsubstanz (Lennon et al., 2006; Rahiotis und Vougiouklakis, 2007; Rees et al., 2007; Willershausen et al., 2008).

Zurzeit ist nicht geklärt, ob die Wirkung von CPP-ACP-haltiger Crème neben der Bereitstellung von Kalzium und Phosphat auch auf einer speichelfördernden Wirkung beruht. Um dies zu klären, bietet sich eine getrennte Betrachtung von CPP-ACP-haltiger Crème bei intraoraler (mit Speichel) und bei extraoraler Anwendung an.

Das Ziel der Studie war es zu überprüfen, ob die Applikation von CPP-ACP-haltiger Crème bzw. fluoridhaltiger Mundspüllösung intra- und extraoral unterschiedliche Veränderungen der Mikrohärtungen von erodierten bovinen Schmelzproben verursacht.

## 3 Literaturübersicht

### 3.1 Anatomie und Histologie des Schmelzes

Zahnschmelz ist die härteste Substanz des menschlichen Körpers. Seine durchschnittliche Härte beträgt zwischen 250 Knoop Hardness Number (KHN) an der Schmelz-Dentin-Grenze und 390 KHN an der Zahnoberfläche. Schmelz besteht zu 93-98 Gew.% aus anorganischem Material, zu 1.5-4 Gew.% aus Wasser und zu den übrigen Prozentanteilen aus organischen Verbindungen. Kalzium und Phosphor sind die häufigsten anorganischen Bestandteile des Schmelzes, sie liegen in einem Verhältnis von 1:1.2 als Hydroxylapatitverbindung ( $\text{Ca}_{10-x}\text{PO}_6\text{-x}\cdot\text{X}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) vor. Ein Hydroxylapatitkristall ist ca. 160 nm lang und besitzt annähernd einen sechseckigen Querschnitt von ca. 40 nm Durchmesser (Arends und Jongebloed, 1978; Frank, 1979; Hellwig et al., 2006; Kerebel et al., 1979). Etwa 100 solcher Apatitkristalle bilden zusammen ein Schmelzprisma. Die Schmelzprismen verlaufen wellenförmig von der Schmelz-Dentin-Grenze bis fast zur Schmelzoberfläche. Im Zentrum eines Prismas verlaufen die Kristalle parallel zur Prismenlängsachse, gegen die Peripherie hin fächern sie immer mehr auf (Hellwig et al., 2006). Zwischen den Prismen befindet sich eine interprismatische Substanz, welche sich jedoch hinsichtlich ihrer anorganischen Substanz nicht von den Schmelzprismen unterscheidet. Beide bestehen aus dicht aneinander gelagerten Apatitkristallen. Die Strukturierung in prismatische und interprismatische Anteile ist eine Folge der Kristallorientierung. Die Apatitkristalle der interprismatischen Substanz weisen keine solche Ordnung wie die Apatitkristalle der Schmelzprismen auf, sondern bilden mit der Längsachse der Schmelzprismen einen Winkel von annähernd 90°. Alle Kristalle sind von einer organischen Matrix umgeben, welche jedoch nur ungefähr 1-2% des Volumens ausmacht. An der koronalen Seite der Prismenstäbe erscheint diese Matrix als eine dünne u-förmige Schicht, der Prismenscheide (Schroeder, 2000; Poole und Brooks, 1961). An der Schmelzoberfläche befindet sich eine 20-80µm dicke prismenfreie Schicht. Dieser prismenfreie Schmelz besteht aus parallel aneinander gelagerten Kristallen, die mit ihrer Längsachse ungefähr senkrecht zur Schmelzoberfläche verlaufen (Gwinnett, 1967; Schroeder, 2000).

Das anorganische Hydroxylapatit besteht vorwiegend aus Kalzium und Phosphor, zusätzlich aus Natrium, Magnesium, Chlor und Kalium. Ausserdem findet man im menschlichen Zahnschmelz auch Fluor, Eisen, Zinn, Zink und weitere Spurenelemente. Die Verteilung dieser Bestandteile im Schmelz ist nicht gleichmässig. Kalzium und Phosphor sind an der Schmelzoberfläche in höheren Konzentrationen vorhanden als in tieferen Schichten. Dasselbe

gilt für Chlor und Fluor. Hingegen nehmen die Konzentrationen der Elemente Natrium, Kalium und Magnesium, sowie Karbonat und Chlorid von der Schmelz-Dentin-Grenze zur Schmelzoberfläche hin ab (Schroeder, 2000; Weatherell et al., 1974; Wöltgens et al., 1981).

Die organische Matrix des Schmelzes (ca. 1-2 Gew.%) besteht aus Proteinen, Lipiden, wenig Kohlenhydratanteilen, Zitrat und Laktat (Hellwig et al., 2006).

## **3.2 Schmelzerosionen**

### **3.2.1 Definition, Ätiologie und Pathologie von Erosionen**

Unter Zahnerosion versteht man einen pathologischen, chronischen, lokalisierten und schmerzlosen Verlust von Zahnhartsubstanz (Schmelz, Dentin, Zement) aufgrund von Säuren und/oder Chelatoren, jedoch ohne Beteiligung von Mikroorganismen (Imfeld et al., 1996; ten Cate und Imfeld, 1996). Der kritische pH-Wert für die Entstehung von Schmelzerosionen an der Zahnoberfläche liegt bei physiologischem Kalziumgehalt in der Umgebung bei ca. 5.5 (Meurman et al., 1996; Scheutzel, 1996). Bei einer aktiven Erosion kommt es zu einer Verschiebung des chemischen Gleichgewichtes zwischen Schmelz und dem umgebenden Speichel. Bei neutralem pH-Wert ist der Speichel eine an Phosphat- und Kalziumionen übersättigte Lösung (Hellwig et al., 2006; Thylstrup und Fejerskov, 1994). Durch direkten Kontakt der Säure mit dem Schmelz erfolgt als Erstes eine Demineralisation der Zahnoberfläche, bei der Apatitkristalle des Schmelzes herausgelöst werden (Meurmann und ten Cate, 1996; ten Cate und Imfeld, 1996). Dabei werden Ionen (hauptsächlich Kalzium- und Phosphationen) herausgelöst, oder, wenn es sich um chelatbildende Substanzen handelt, Kalzium komplexiert. Die nun im Speichel gelösten Ionen führen zu einem Anstieg des pH-Wertes an der Zahnoberfläche und verhindern so eine weitere Demineralisation des Schmelzes, sofern keine frischen Säuren oder chelatbildenden Substanzen nachgeliefert werden (Hellwig et al., 2006). Ferner kommt es bei einem pH-Wert von unter 4.5 zu einer Untersättigung des Speichels mit Hydroxyl- und Fluorapatit (Larsen, 1975; Thylstrup und Fejerskov, 1994).

Bei den für die Erosion verantwortlichen Säuren kann es sich sowohl um Säuren extrinsischer als auch intrinsischer Natur handeln.

#### **3.2.1.1 Intrinsische Erosionen**

Dentale Erosionen aufgrund **intrinsischer Faktoren** werden durch Magensäure verursacht. Die Magensäure gelangt dabei durch Erbrechen, Regurgitation, gastroösophagealer Reflux oder Rumination in die Mundhöhle (Scheutzel, 1996). Diese Art von Erosionen werden bei

psychogenen Ernährungsstörungen (Bulimie, Anorexia nervosa) und bei Patienten mit Erkrankungen des Magen-Darm-Traktes (chronische Gastritis, Ulcera, Obstruktionen oder Infektionen) beobachtet (Hellström, 1977; Järvinen et al., 1988; Lussi et al., 1992). Ebenfalls werden diese bei Schwangeren und Adipösen, aufgrund des erhöhten intraabdominalen Druckes, oder bei Patienten mit chronischem Alkoholabusus beobachtet (Robb und Smith, 1990; Scheutzel, 1996; Simmons und Thompson; 1987). Der pH-Wert von Magensäure liegt bei 1-1.5, somit weit unter dem für Schmelz kritischen pH-Wert von 5.5 (Meurman et al., 1996; Scheutzel, 1996). Für die endogenen Erosionen zeigt sich ein anderes Erosionsmuster der Zähne im Vergleich zu den Erosionen exogener Natur. Das Verteilungsmuster infolge chronischer Regurgitation wird mit dem Begriff Perimolysis zusammengefasst. Dabei sind im Oberkiefer die Palatinal- und Okklusalflächen, im Unterkiefer die Okklusal- und Bukkalflächen besonders betroffen (Bartlett, 2005; Hellström, 1977; Imfeld und Imfeld, 2005; Nunn, 1996; Roberts und Li, 1987; Rytömaa et al., 1998).

### **3.2.1.2 Extrinsische Erosionen**

Zu den **extrinsischen Faktoren** zählen vor allem Säuren in Lebensmitteln, wie z.B. in Zitrusfrüchten, Fruchtsäften und anderen säurehaltigen Getränken. In In-vitro-Modellen waren Produkte mit einem pH-Wert unter 4 besonders stark erosiv (Rytömaa et al., 1988). Das höchste erosive Potential, gemessen anhand der Oberflächenmikrohärteabnahme, wurde bei zitronensäurehaltigen Getränken festgestellt (Lussi et al., 1993). Nahrungsmittel, die Kalziumchelatoren wie Zitrat enthalten, können Zahnerosionen schon bei höheren pH-Werten verursachen (Eccles, 1979; Zero, 1996, Zipkin und McClure, 1949). Für die Entstehung von Erosionen sind neben dem pH-Wert des Getränkes eine Reihe anderer Faktoren von Bedeutung. So sind ungewöhnliche Ess-, Trink-, Schluckgewohnheiten, welche die Kontaktzeit des Zahnes mit säurehaltigen Nahrungsmitteln und Getränken erhöhen, Risikofaktoren für Erosionen (Bartlett, 2005; Zero, 1996). Auch spielt die Frequenz des Konsums solcher erosiver Lebensmittel eine bedeutende Rolle in Bezug auf die Entstehung und Ausprägung der Erosion.

Die Menge an frei titrierbarer Säure, die komplexbildenden Eigenschaften, der Gehalt an Kalzium- und Phosphationen sowie Fluoridkonzentration der Nahrungsmittel sind ebenfalls entscheidende Faktoren für die Entstehung von Erosionen (Lussi, 1996; Rytömaa et al., 1988; Zero, 1996; Zipkin und McClure, 1949). Es konnte gezeigt werden, dass Milchprodukte, wie z.B. Joghurt, trotz niedrigem pH-Wert kein erosives Potential besitzen. Dies wird auf den hohen Kalzium- und Phosphatgehalt zurückgeführt (Caglar et al., 2006; Jenkins und



Ferguson, 1966; Kargul et al., 2007). In einer Studie von Gedalia et al., 1991, wurde durch Kuhmilch und Cheddarkäse sogar eine signifikante Wiedererhärtung des durch säurehaltige Getränke erweichten Zahnschmelzes erzielt.

Neben diesen, durch Lebensmittel verursachten Erosionen, wurden Erosionen auch aufgrund säurehaltiger Medikamente, z.B. Acetylsalicylsäure oder Vitamin C, beobachtet, welche in Form von Kau- oder Lutschtabletten konsumiert wurden (Giunta, 1983; Zero, 1996).

Ein weiterer extrinsischer Faktor für die Entstehung von Erosionen ist die berufliche Säureexposition. Sie kommt bei Arbeitern, die Säuredämpfen oder Säureaerosolen ausgesetzt sind, vor. Dabei sind Schwefel-, Salpeter-, Salz- oder Zitronensäure von Bedeutung. Diese Säuren werden u.a. in Getränke-, Batterie- und Munitionsfabriken und in der Düngemittelproduktion verwendet. Die höchste Prävalenz und Inzidenz wurde bei Arbeitern in Batteriefabriken gemessen. In einer Studie wurden bei 31% der Arbeiter Erosionen diagnostiziert. Besonders betroffen waren jeweils die Vestibularflächen der Oberkieferfrontzähne. Die Ausprägung der Erosionen war abhängig von der Dauer der Berufstätigkeit und von der täglichen Expositionsdauer (Petersen und Gormsen, 1991; ten Bruggen Cate, 1968; Tuominen und Tuominen, 1991; Wiegand und Attin, 2007; Zero, 1996). Speichel besitzt viele Eigenschaften, die die Zähne vor Erosionen schützen. Dies sind Verdünnung und Beseitigung (Clearance) der Säuren in der Mundhöhle, Neutralisierung, Pufferung und Aufrechterhaltung einer Übersättigung des Speichels mit Kalzium und Phosphat an der Zahnoberfläche. Beispielsweise zeigten Personen mit schlechter Pufferkapazität des Speichels schneller und mehr Erosionen, als jene mit guter Pufferkapazität. Ein weiterer Erosionsfaktor ist also der pH-Wert, der an der Zahnoberfläche beibehalten wird (Zero, 1996).

### **3.2.2 Mikromorphologie des demineralisierten Schmelzes**

Prismatischer Schmelz zeigt ein charakteristisches Auflösungsmuster nach der erosiven Demineralisation. Gemäss rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen von Meurman und Frank (1991) beginnt diese bei den Prismenscheiden, dann werden die Prismenzentren und schliesslich die interprismatische Substanz aufgelöst. Aprismatischer Schmelz ist bezüglich Erosionen weniger anfällig als prismatischer Schmelz. Das Ätzmuster ist im Vergleich weniger regelmässig und zeigt nicht die typischen Honigwabenstrukturen, welche beim prismatischen Schmelz zu finden sind. Ferner wurde beobachtet, dass das Ätzmuster von der chemischen Zusammensetzung der äusseren Schmelzschicht, insbesondere der Fluoridkonzentration, abhängig ist (Meurman und ten Cate, 1996).

### 3.2.3 Prävention von Erosionen

Ziel der Prävention von Erosionen ist es, einen weiteren Verlust von Zahnhartsubstanz zu verhindern. Erosionen kommen meist nicht isoliert vor, sondern sind häufig in Kombination mit Abrasionen oder Attritionen zu finden. Aus diesem Grund sind verschiedene Prophylaxe-Massnahmen nötig, um die Zahnhartsubstanz optimal zu schützen. An erster Stelle stehen die Früherkennung, sowie die sorgfältige Ursachenklärung.

Bezüglich Erosionen ist es wichtig, die ursächlichen Noxen (Magensäure bei Bulimie, säurehaltige Nahrung) möglichst zu vermeiden oder zumindest die Frequenz des Konsums säurehaltiger Nahrungsmittel zu reduzieren, um dem Speichel genügend Zeit für die Remineralisierung zu lassen. Zusätzlich kann mittels Kaugummikauen die Speichelsekretion angeregt werden. Die Kontaktzeit der Zähne mit säurehaltigen Getränken kann durch schnelles Trinken und zusätzlich durch Verwendung eines Trinkhalms minimiert werden (Roulet und Zimmer, 2002).

Sowohl das Zähneputzen vor als auch nach Konsum von Säuren wird als kritisch angesehen. Der Speichel bildet einen Film aus adsorbierten Proteinen über den Zahnschmelz, das sogenannte Pellikel, welches einen gewissen Schutz gegen Erosionen bietet (Hellwig et al., 2006; Imfeld, 1996; Kuroiwa et al., 1993, 1994; Mandel, 1987; Zero, 1996). Zähneputzen mobilisiert dieses Pellikel. Ebenfalls werden dabei Plaques entfernt, welche eine höhere Pufferkapazität als Speichel besitzen, und die Zähne vor Säuren nichtbakteriellen Ursprungs schützen könnten (Zero, 1996). In einer Studie von Wiegand et al. (2008) zeigte sich, dass die Anwesenheit des Pellikels einen Schutz gegenüber Säuren bietet, es wurde bei einer erosiven Attacke im Vergleich signifikant weniger Kalzium aus der Zahnhartsubstanz herausgelöst.

Beim Zähneputzen nach Säurekonsum besteht das Problem, dass erweichte Zahnhartsubstanz schneller durch Abrasion verloren geht. Es wird empfohlen, die Zähne ein bis zwei Stunden nach dem Konsum von Säuren nicht zu putzen. Anstatt Zähneputzen bieten sich fluoridhaltige Mundspüllösungen, hydrogenkarbonathaltige Mineralwasser oder auch kalziumreiche Milch zum Spülen an (Hellwege, 2003). In einer Studie von Attin et al. (2000) zeigte sich eine erhöhte Abrasions-Resistenz mit erhöhter Remineralisierungszeit. Jedoch sogar nach einer Stunde Remineralisierungszeit wurde noch eine erhöhte Abrasion erodierter Schmelzproben gemessen. Ebenso zeigte sich in der Studie von Ganss et al. (2007) kein protektiver Effekt in Bezug auf Zahnbürstabrasion nach einer Remineralisierungszeit von 2 Stunden. Hingegen war der Schmelzverlust signifikant geringer, wenn eine Zahnpaste mit Fluoriden bzw. fluoridhaltige Mundspüllösungen verwendet wurden. Fluoride schützen die Zähne durch Härtung des Schmelzes via Bildung von Fluorapatiten (Bartlett et al., 2005).

„Casein phosphopeptide–amorphous calcium phosphate“ (CPP-ACP) ist eine Verbindung, welche ebenfalls protektive Wirkung im Hinblick auf Zahnhartsubstanzverlust durch Erosion/Abrasion besitzt (Ranjiktar et al., 2009, 2009). In der Studie von Tantbirojn et al. (2008) wurde nach Applikation von CPP-ACP-haltiger Crème auf erodierten Schmelz eine signifikante Wiedererhärtung gemessen. ACP gibt Kalzium und Phosphat ab. Durch die Aufrechterhaltung einer übersättigten Lösung mit diesen Ionen wird die Remineralisierung gefördert. CPP kann Kalzium und Phosphat in der Lösung stabilisieren und so eine hohe Konzentration dieser Ionen in der Lösung aufrechterhalten, ohne dass sie ausfallen (Reynolds, 1997; Tantbirojn et al., 2008). Neben der direkten Remineralisierung durch die hohen Konzentrationen von Kalzium und Phosphat wird auch eine Interaktion mit dem Speichel, wie beispielsweise eine Erhöhung der Speichelfliessrate oder Interaktionen mit gewissen Speichelproteinen durch die intraorale Applikation von CPP-ACP-haltiger Crème diskutiert. Dies könnte auch der Grund für die widersprüchlichen Ergebnisse zwischen In-situ- und In-vitro-Studien sein (Lennon et al., 2006; Rahiotis und Vougiouklakis, 2007; Reynolds, 1997; Walker et al., 2009; Willershausen et al., 2008, 2009).

### **3.3 Ziel der Studie**

Das Ziel dieser In-situ-Studie war es zu untersuchen, ob CPP-ACP-haltige Crème (Tooth Mousse) erodierte Schmelzproben wiedererhärten kann und ob die intra- oder extraorale Applikation von Tooth Mousse einen unterschiedlichen Einfluss auf die Wiedererhärtung der erodierten Schmelzproben hat.

In einer In-situ-Studie von Wiegand et al. (2008) wurde eine Wiedererhärtung erodierter Schmelzproben nach Spülen mit fluoridhaltiger Mundspüllösung, Milch und Wasser festgestellt. Tooth Mousse weist eine höhere Konzentration an Kalzium und Phosphat auf und könnte so eventuell bessere Resultate bezüglich Wiedererhärtung erzielen. Durch Interaktionen von Tooth Mousse mit dem Speichel bei der intraoralen Applikation könnten die Ergebnisse zusätzlich positiv beeinflusst werden.

## 4 Versuchsplan

Für die Untersuchung wurden 200 Schmelzproben aus bovinen Unterkieferschneidezähnen hergestellt. Diese Schmelzproben wurden mittels einer stratifizierten Randomisierung anhand der Mikrohärtigkeit auf 5 Gruppen (je n=40) aufgeteilt. Die Proben der Gruppen 1-5 wurden nun einer erosiven Demineralisation in Sprite Zero (120 s, pH 3.03) unterzogen. Anschliessend wurde bei allen Proben die Knoop-Härte in Vierfach-Messung bestimmt. Die Proben der Gruppe 1 wurden mit Tooth Mousse (0.01 g) intraoral, der Gruppe 2 mit fluoridhaltigen Mundspüllösung (10 ml Meridol) intraoral, der Gruppe 3 mit Tooth Mousse (0.01 g) extraoral, der Gruppe 4 mit fluoridhaltigen Mundspüllösung (10 ml Meridol) extraoral für je 3 min behandelt. Die Proben der Gruppe 5 dienten als Kontrolle und blieben unbehandelt. Nach der Behandlung wurden die Proben jeweils für 3:55 h im Mund der Probanden getragen und anschliessend die Härtemessung erneut durchgeführt.

Durch die Veränderung der Knoop-Härte kann das Ausmass der Erweichung bzw. Erhärtung ermittelt werden.

In Abb. 4.1 ist der Versuchsablauf der Untersuchung schematisch dargestellt.

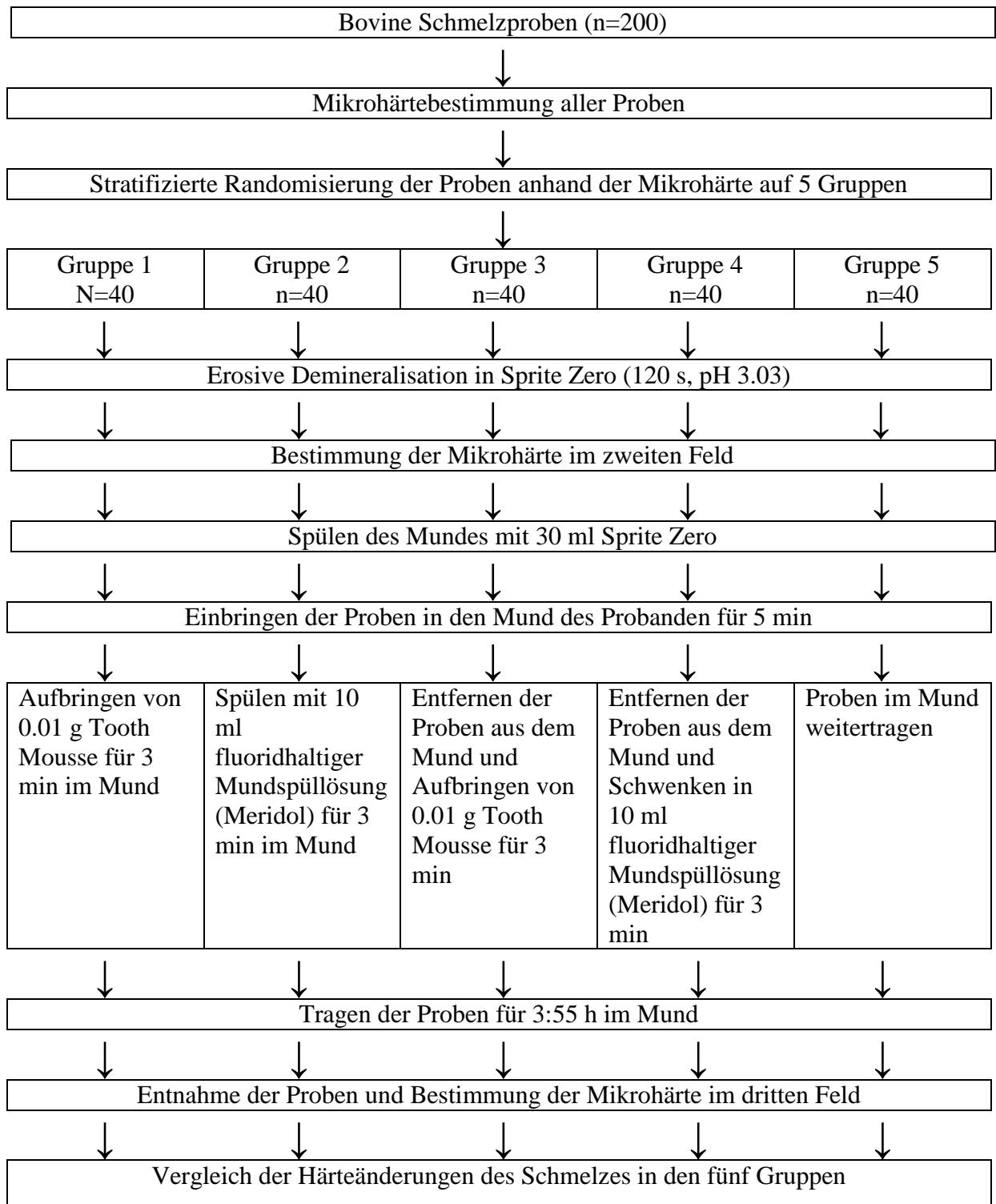


Abb. 4.1 Schematische Darstellung des Versuchsablaufs

## **5 Material und Methode**

Die Studie orientiert sich an einer früheren Untersuchung von Wiegand et al. (2008). Vor Beginn der Studie wurde durch die Ethik-Kommission des Kantons Zürich ein entsprechender Ethikantrag (StV 08/09) genehmigt.

### **5.1 Probenherstellung**

In der vorliegenden Studie wurden 200 Schmelzproben aus frisch extrahierten bovinen Unterkieferfrontzähnen der zweiten Dentition hergestellt. Die Rinderzähne stammen von gesundem Schlachtvieh eines veterinärmedizinisch kontrollierten Betriebes. Bis zur Probenherstellung wurden die Zähne in Wasser gelagert.

Die Zähne wurden an der Schmelz-Zement-Grenze mit einer Diamant-Trennscheibe getrennt. Mit einem wassergekühlten Trepanbohrer wurden zunächst Schmelzzylinder mit einem Durchmesser von 3 mm aus den labialen Zahnoberflächen herausgebohrt. Anschliessend wurden die entnommenen Schmelzzylinder stirnseitig in eine Form eingelegt und in Autopolymerisat eingebettet. Nach Entfernen der Proben aus den Einbettformen wurden diese anschliessend von Hand poliert, bis die Oberfläche plan und glänzend war. Die Politur erfolgte mit wassergekühltem Schleifpapier der Körnung 1200, 2400 und 4000. Mit Hilfe eines Skalpell wurden auf jeder Probe vier Felder markiert. Mit einem wasserfesten Stift wurde jede Probe seitlich auf dem Paladur mit einer Nummer versehen (Nr. 1- 200). Anschliessend erfolgte die Lagerung in Wasser bis zum Beginn der Versuchsdurchführung.

### **5.2 Stratifizierte Randomisierung der Proben mittels Mikrohärteanalyse**

Für die stratifizierte Randomisierung der Proben auf 5 Gruppen mit je  $n=40$  Proben, wurde zunächst die Knoop-Mikrohärte der Schmelzoberfläche mit einem KBHardWin Mikrohärtmessgerät bestimmt (Abb. 5.2.1). Dazu wurden die Proben auf dem integrierten Schraubstock als Objektträger fixiert und mit Hilfe eines Diamanten und einem Auflagegewicht von 50 g mit Indentationen versehen. Die Eindruckzeit betrug 20 s.

Jede Probe wurde im ersten Feld mit vier Indentationen versehen. Der Abstand zwischen zwei Indentationen betrug mind. 50  $\mu\text{m}$ . Nun wurde mit der eingebauten Kamera ein Bild der Eindrücke aufgenommen, die eine software-gesteuerte Bestimmung der Mikrohärte ermöglicht.

Der Mittelwert der vier Messpunkte wurde abschliessend als Durchschnittshärte der Probe genommen.

Anhand der Mikrohärtetechnik wurden die Proben stratifiziert randomisiert auf fünf Gruppen aufgeteilt, wobei die mittlere Knoop-Härte je Gruppe 339,0-339,6 KHN betrug.

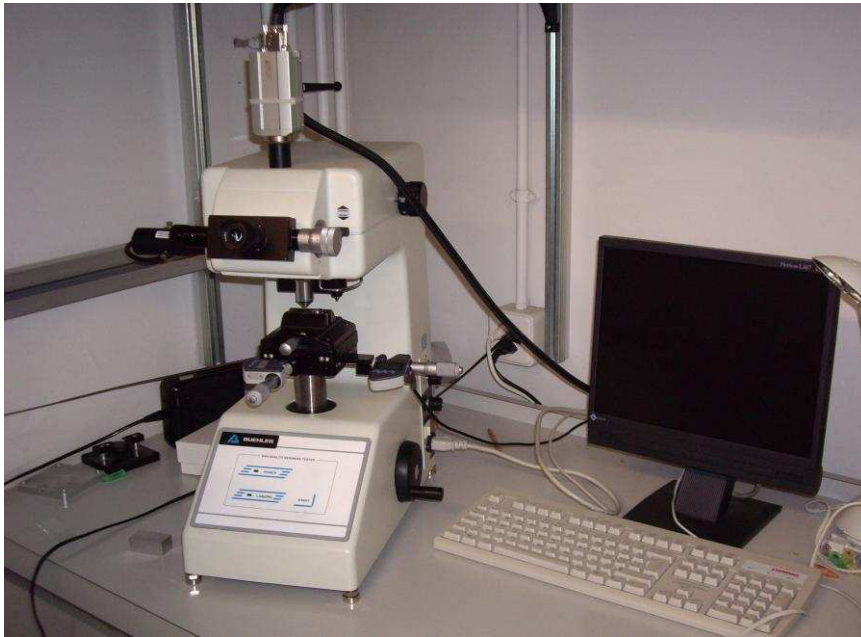


Abb. 5.2.1 KBHardWin Mikrohärtetemessgerät

### **5.3 Probanden**

An der Untersuchung nahmen zehn gesunde, freiwillige Probanden teil, die an je fünf Tagen für 4 h bovine Schmelz-Prüfkörper in einer für sie individuell angefertigten intraoralen Schiene trugen.

#### **Einschlusskriterien der Probanden**

- systemisch gesunde, mind. 18-jährige Probanden
- informiertes Einverständnis mit der Teilnahme an der Studie

#### **Ausschlusskriterien der Probanden**

- Raucher
- Schwangere oder Stillende
- bekannte Allergien gegen die in der Studie verwendeten Produkte
- Kieferorthopädische Therapie oder Funktionsstörungen, die das Tragen einer Zahnschiene nicht erlauben
- Hyposalivation

**Die Probanden wurden aufgeklärt über:**

- Ätiologie von Erosionen und deren Prävention
- verwendete Präparate
- Studienteilnehmerzahl, Studiendauer, Studiendesign, freiwillige Teilnahme
- Lesen der Probandeninformation

Von den Oberkiefern der Probanden wurde mit Alginat ein Abdruck genommen und mit weissem Hartgips ausgegossen. Anhand dieser Gipsmodelle konnte für jeden Probanden eine individuelle, durchsichtige Trägerschiene hergestellt werden. Eine Trägerschiene umfasste alle Oberkieferzähne und hatte auf Höhe der Zähne 16, 14, 24, 26 jeweils Halterungen, in welche die Proben eingelegt werden konnten (Abb. 5.3.1).



Abb. 5.3.1 Individuell angefertigte Trägerschiene



## 5.4 Versuchsablauf

Die Prüfkörper wurden vor Beginn der Studie im Paul Scherrer Institut (PSI) mit 12 kGy  $\gamma$ -sterilisiert. Kurz bevor der Proband kam, wurden jeweils 4 Proben für 2 min in einem handelsüblichen Softdrink (3 ml Sprite Zero, mit Bewegung) erodiert (pH-Wert: 3.03). Nach der Erosion wurden die Proben mit Leitungswasser abgespült und im zweiten Feld die zweite Mikrohärtemessung durchgeführt. Anschliessend wurden die Proben in die Trägerschiene eingesetzt. Der Proband wurde gebeten, 30 ml Sprite Zero zu trinken, bevor die Schiene in den Mund des Probanden gebracht wurde. Nach 5 min Tragezeit wurden jeweils die folgenden Behandlungen durchgeführt:

### Behandlungen

1. **Tag** (4 Proben aus Gruppe 1): Aufbringen von CPP-ACP-haltiger Crème (pro Probe 0.01 g Tooth Mousse) für 3 min auf die Proben im Mund, danach ausspucken.
2. **Tag** (4 Proben aus Gruppe 2): Aufbringen der fluoridhaltigen Mundspüllösung (10 ml Meridol) für 3 min auf die Proben im Mund, danach ausspucken
3. **Tag** (4 Proben aus Gruppe 3): Entnahme der Schiene aus dem Mund, Aufbringen von CPP-ACP-haltiger Crème (pro Probe 0.01 g Tooth Mousse) für 3 min auf die Proben ausserhalb des Mundes, danach Abspülen mit Wasser
4. **Tag** (4 Proben aus Gruppe 4): Entnahme der Schiene aus dem Mund, Aufbringen der fluoridhaltigen Mundspüllösung (10 ml Meridol) für 3 min auf die Proben ausserhalb des Mundes, danach Abspülen mit Wasser
5. **Tag** (4 Proben aus Gruppe 5): Kontrolle

Nach den Behandlungen wurden die Proben für weitere 3:55 h im Mund getragen. Nach Ablauf der 3:55 h wurde erneut die Härte des Schmelzes, im dritten Feld gemessen.

Der Abstand zwischen den Behandlungen musste mindestens 24 h betragen. Die Probanden wurden angewiesen, 2 h vor dem Tragen, sowie während des Tragens der Proben nichts zu essen und nicht die Zähne zu putzen.

Zusätzlich wurden die Speichelfliessrate, der pH-Wert, die Pufferkapazität, die Kalzium- und Phosphatkonzentration des Speichels der Probanden bestimmt.

## 6 Ergebnisse

In Diagramm 1 findet sich eine grafische Darstellung der Mittelwerte der Härte der verschiedenen Gruppen über den gesamten Beobachtungszeitraum.

Die Anfangshärten zwischen den 5 Gruppen unterscheiden sich nicht statistisch signifikant voneinander ( $p > 0.05$ ). Ebenfalls sind die Härten „nach Erosion“ in den 5 Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich ( $p > 0.05$ ).

Am Versuchsende zeigen sich statistisch signifikante Unterschiede der Härte zwischen den Gruppen 3 (Tooth Mousse extraoral, KHN  $290.2 \pm 31.4$ ) und 4 (Meridol extraoral, KHN  $268.3 \pm 25.9$ ) ( $p = 0.0007$ ), sowie zwischen den Gruppen 3 (Tooth Mousse extraoral, KHN  $290.2 \pm 31.4$ ) und 5 (Kontrolle, KHN  $270.7 \pm 29.0$ ) ( $p = 0.0026$ ).

In allen Gruppen 1 – 5 zeigt sich eine statistisch signifikante Wiedererhärtung der Proben vom Zeitpunkt „nach Erosion“ zum Zeitpunkt „am Versuchsende“ (je  $p < 0.05$ ). Allerdings erreichten die Proben der Gruppen 1 -5 durch keine der unterschiedlichen Behandlungen ihre ursprüngliche Ausgangshärte. Für alle Gruppen ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied in der Härte „vor Erosion“ und „am Versuchsende“ ( $p < 0.05$  für alle Gruppen).

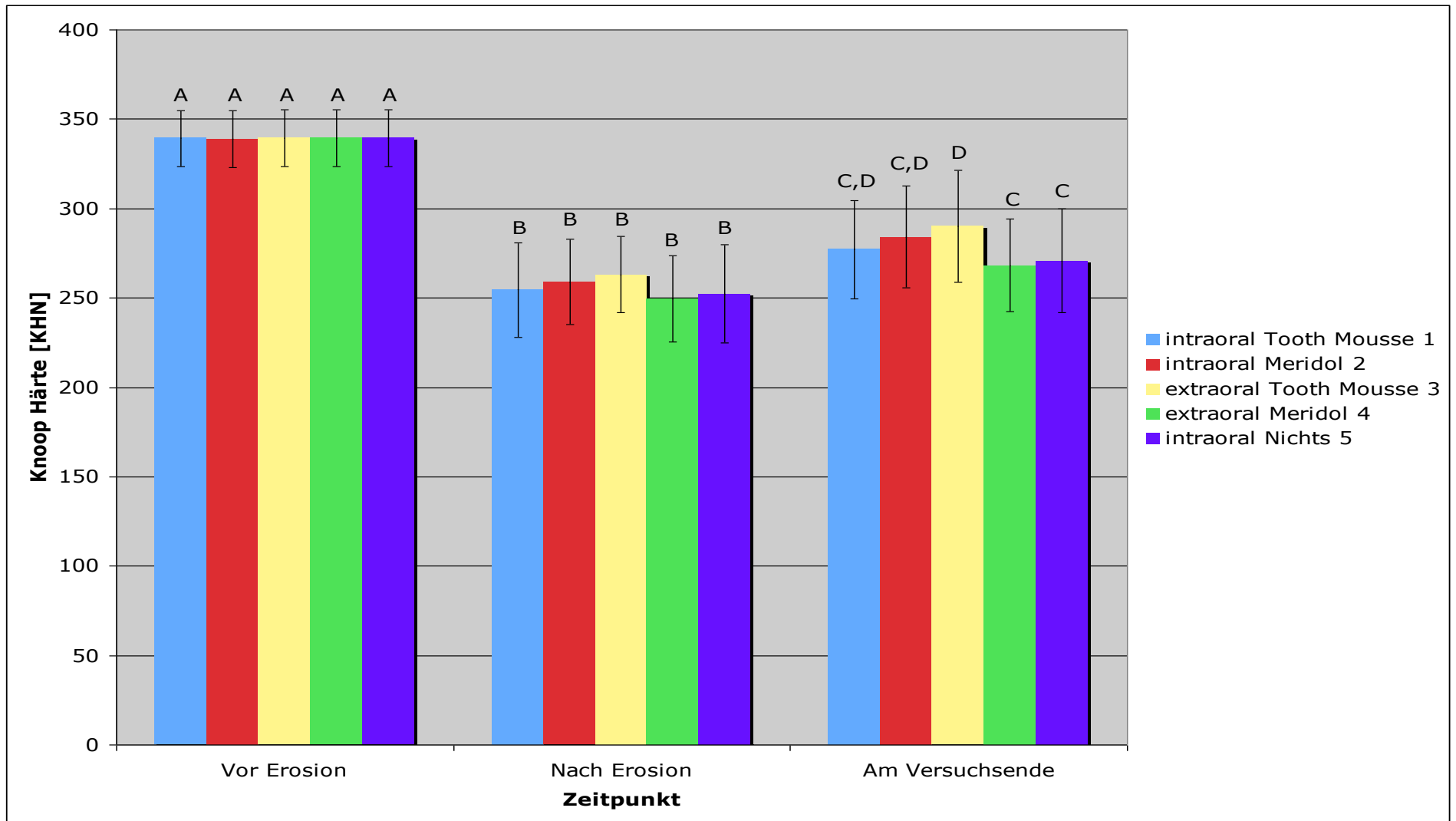


Diagramm 1: Mittelwerte der Härte (KNH  $\pm$  SD) der verschiedenen Behandlungsgruppen 1 - 5 zu den drei Messzeitpunkten. Messwerte, die sich nicht signifikant ( $p < 0.05$ ) unterscheiden, sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet.

## 7 Diskussion

Für die Studie wurden bovine Zähne verwendet. Diese sind in ihrer Struktur und chemischen Zusammensetzung den humanen Zähnen sehr ähnlich. Rinderzähne sind in grösseren Mengen verfügbar als humane Zähne, zudem haben sie mehr Substanz pro Zahn und eignen sich deshalb auch besser für die Herstellung von Proben (Esser et al., 1998; Gente et al., 1985; Oesterle et al., 1998). Ein weiterer Vorteil ist, dass pro Zahn mehrere Proben gewonnen werden können, somit sind kleinere Schwankungen der Mikrohärten der Rinderzähne im Vergleich zu humanen Zähnen zu erwarten. Auch ist die Ernährung unter den Rindern ähnlich, und es werden keine Fluoridierungsmassnahmen betrieben, was ebenfalls zu kleineren Schwankungen der Mikrohärten beitragen könnte. Aus diesen Gründen werden bovine Zähne häufig in Studien verwendet, in denen man eine Wiedererhärtung oder Remineralisierung zuvor erodierter Schmelzproben untersucht (Amaechi und Higham, 2001; Attin et al., 2003; Kim et al., 2001; Wiegand et al., 2008).

Die Oberflächenhärtemessung wurde mit dem KBHardWin Mikrohärtmessgerät durchgeführt. Mit der Mikrohärtmessung kann man den Verlauf der Härten über die Zeit beobachten, da die Proben bei der Messung nicht zerstört werden und somit mehrmals einer Härtemessung unterzogen werden können. Die Härtemessung ist eine häufig angewendete Methode für die Messung des Ausmasses an Erosion und Wiedererhärtung von Schmelzproben (Gedalia et al., 1991; Kim et al., 2001; Rios et al., 2006; Wiegand et al., 2008).

Die Erosionen der Schmelzproben wurde durch Eintauchen der Proben in einen handelsüblichen Softdrink erzielt, wie es bisher auch in anderen Studien durchgeführt wurde (Hooper et al., 2007; Wiegand et al., 2008). Die Proben wurden jeweils für 2 min im Softdrink erodiert, dies entspricht in etwa der Zeit, in der Zähne dem Getränk beim üblichen Trinken auch ausgesetzt sind (Meurman et al., 1987). Dies ist somit realitätsnäher als in Studien, bei denen die Proben für Stunden (Jain et al., 2007; Willershausen und Schulz-Dobrick, 2004) oder gar für einige Tage (Larsen und Nyvad, 1999; Owens und Kitchens, 2007) Getränken ausgesetzt wurden.

Die Annahme, dass durch Interaktionen von Tooth Mousse und Speichel ein positiver Effekt im Hinblick auf die Wiedererhärtung erzielt werden könnte, hat sich in dieser Studie nicht bestätigt. Im Gegenteil, es wurden höhere Mikrohärten bei extraoraler Applikation als bei intraoraler Applikation von Tooth Mousse gemessen, jedoch sind die Unterschiede nicht signifikant. Wahrscheinlich liegt der Grund darin, dass es bei der intraoralen Applikation zu

einer sofortigen Verdünnung von Tooth Mousse, bedingt durch die möglicherweise speichelfördernde Wirkung, gekommen ist und Tooth Mousse dadurch ungenügend mit der Schmelzoberfläche reagieren konnte. Bei der extraoralen Applikation von Tooth Mousse kam es nicht zu einer solchen Verdünnung und das Wiedererhärtungspotential ist wahrscheinlich aus diesem Grund tendenziell höher ausgefallen. Die Mikrohärtigkeit nach intraoraler Applikation von Tooth Mousse unterschieden sich auch nicht signifikant von denjenigen der Kontrollgruppe (Speichel). Allerdings waren die Messwerte bei der extraoralen Applikation von Tooth Mousse signifikant höher als diejenigen der Kontrollgruppe (nur Speichel). Ein ähnliches Ergebnis wurde in einer In-vitro-Studie von Tantiorj et al. (2008) beobachtet. In der genannten Studie zeigten die Schmelzproben signifikant höhere Werte nach der Applikation von CPP-ACP-haltiger Crème im Vergleich zu den Proben, die nur dem Speichel ausgesetzt waren.

Bei der intraoralen Applikation von fluoridhaltiger Mundspüllösung (Meridol) zeigte sich eine signifikante Wiedererhärtung, die Proben erreichten allerdings nicht ihre Ursprungshärten. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Ergebnis der Studie von Wiegand et al. (2008). Gründe für das Nichterreichen der Anfangshärten könnten eine zu kurze Applikationszeit und folglich verminderte Interaktion der Fluoride mit dem erodierten Schmelz (Lussi et al., 2004; Wiegand et al., 2008) oder eine zu geringe Fluoridkonzentration der applizierten Mundspüllösung sein. In einer Studie von Attin et al. (1998) zeigte sich ein proportionaler Zusammenhang von Fluoridkonzentration und Wiedererhärtungspotential von erodierter Zahnhartsubstanz.

Bei der extraoralen Applikation von fluoridhaltiger Mundspüllösung (Meridol) zeigten sich tiefere Werte der Mikrohärtigkeit im Vergleich zur intraoralen Applikation, die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Bei der Applikation von Fluoriden auf den Schmelz bildet sich ein  $\text{CaF}_2$ -ähnliches Präzipitat (ten Cate, 1997). Die Menge dieses Präzipitates ist abhängig von der applizierten Fluoridkonzentration, vom pH-Wert des applizierten Präparates, von der Applikationszeit und von den zur Verfügung stehenden Kalziumionen (Petzold M, 2001; Saxegaard und Rölla, 1988; Wegehaupt et al., 2009). Weder die Konzentration, der pH-Wert noch die Applikationszeit waren unterschiedlich, folglich muss der Unterschied der Mikrohärtigkeit auf die Menge der zur Verfügung stehenden Kalziumionen zurückzuführen sein. Bei der extraoralen Applikation fehlt der Speichel in der Umgebung der Probe, somit müssen die Kalziumionen aus dem Schmelz herausgelöst werden. Bei der intraoralen Applikation hingegen stehen neben den Kalziumionen aus dem Schmelz auch noch diejenigen aus dem Speichel zur Verfügung. Daraus lässt sich schließen, dass die zwar nicht signifikant, aber

doch höheren Werte der Mikrohärtigkeit nach der intraoralen Applikation von fluoridhaltiger Mundspüllösung wahrscheinlich auf die Anwesenheit des Speichels zurückzuführen sind.

In der Kontrollgruppe wurden die Schmelzproben nur dem Speichel ausgesetzt. Dennoch kam es zu einer signifikanten Wiedererhärtung der erodierten Schmelzproben. Dies wurde auch in anderen Studien beobachtet, in denen mit verlängerter Einlegezeit der Proben im Speichel, die Anfälligkeit auf Zahnabtrag beim Zähneputzen sank (Attin et al., 2000; Jaeggi und Lussi, 1999).

Wie auch in anderen Studien, wurde die Anfangsmikrohärtigkeit nach vier Stunden Tragezeit nicht erreicht. In einer In-situ-Studie von Kim et al. (2001) wurden die Anfangsmikrohärten selbst nach 48 Stunden Expositionszeit der Schmelzproben in der Mundhöhle nicht erreicht.

Somit steht diese Beobachtung in Übereinstimmung mit früheren Studien.

### **Schlussfolgerung**

Die intraorale Applikation von Tooth Mousse auf zuvor erodierten Zahnschmelz führt zwar zu einer Wiedererhärtung, diese unterscheidet sich allerdings nicht von derjenigen, die beobachtet wurde, wenn die Proben nur im Speichel gelagert wurden.

Weder die intraorale Applikation von Tooth Mousse, noch diejenige von Meridol-Mundspüllösung bringen hinsichtlich Wiedererhärtung einen Vorteil im Vergleich zur intraoralen Exposition mit Speichel allein. Die intraorale Applikation ergibt keine bessere Wiedererhärtung, weder für Tooth Mousse noch für Meridol-Mundspüllösung, verglichen mit den Werten der extraoralen Applikationen. Unabhängig von der Applikationsart und Art der applizierten Substanz wurden die Anfangshärten nicht wieder erreicht.

## 8 Literaturverzeichnis

- Amaechi BT, Higham SM: In vitro remineralisation of eroded enamel lesions by saliva. *J Dent* 29:371-6 (2001)
- Arends J, Jongebloed WL: Crystallites dimensions of enamel. *J Biol Buccale* 6:161-71 (1978)
- Attin T, Buchalla W, Gollner M, Hellwig E: Use of variable remineralization periods to improve the abrasion resistance of previously eroded enamel. *Caries Res* 34:48-52 (2000)
- Attin T, Meyer K, Hellwig E, Buchalla W, Lennon AM: Effect of mineral supplements to citric acid on enamel erosion. *Arch Oral Biol* 48:753-9 (2003)
- Attin T, Zirkel C, Hellwig E: Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions. *Caries Res* 32:344-50 (1998)
- Bartlett DW: The role of erosion in tooth wear: aetiology, prevention and management. *Int Dent J* 55:277-84 (2005)
- Caglar E, Lussi A, Kargul B, Ugur K: Fruit yogurt: any erosive potential regarding teeth? *Quintessence Int* 37:647-51 (2006)
- Eccles JD: Dental erosion of nonindustrial origin. A clinical survey and classification. *J Prosthet Dent* 42:649-53 (1979)
- Esser M, Tinschert J, Marx R: Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz. *Dtsch Zahnärztl Z* 53: 713-717 (1998)
- Frank RM: Tooth enamel: current state of the art. *J Dent Res* 58:684-94 (1979)
- Ganss C, Schlueter N, Friedrich D, Klimek J: Efficacy of waiting periods and topical fluoride treatment on toothbrush abrasion of eroded enamel in situ. *Caries Res* 41:146-51 (2007)
- Gedalia I, Dakuar A, Shapira L, Lewinstein I, Goultschin J, Rahamim E: Enamel softening with Coca-Cola and rehardening with milk or saliva. *Am J Dent* 4:120-2 (1991)
- Gedalia I, Ionat-Bendat D, Ben-Mosheh S, Shapira L: Tooth enamel softening with a cola

- type drink and rehardening with hard cheese or stimulated saliva in situ. *J Oral Rehabil* 18:501-6 (1991)
- Gente M, Sondermann U, Lehmann KM: [Linear coefficient of thermal expansion for bovine enamel and dentin]. *Dtsch Zahnärztl Z* 40:488-90 (1985)
- Giunta JL: Dental erosion resulting from chewable vitamin C tablets. *J Am Dent Assoc* 107:253-6 (1983)
- Gwinnett AJ: The ultrastructure of the "prismless" enamel of permanent human teeth. *Arch Oral Biol* 12:381-8 (1967)
- Hellstrom I: Oral complications in anorexia nervosa. *Scand J Dent Res* 85:71-86 (1977)
- Hellwege KD: Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe. Ein Leitfaden für die Individualprophylaxe, Guppenprophylaxe und initiale Parodontaltherapie. Thieme, 6. Auflage: 216-9 (2003)
- Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban und Fischer, 4. Auflage: 3-63 (2006)
- Hooper S, Hughes J, Parker D, Finke M, Newcombe RG, Addy M, West N: A clinical study in situ to assess the effect of a food approved polymer on the erosion potential of drinks. *J Dent* 35:541-6 (2007)
- Imfeld C, Imfeld T: [Eating disorders (II)--dental aspects]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115:1163-71 (2005)
- Imfeld T: Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 104:151-5 (1996)
- Imfeld T: Prevention of progression of dental erosion by professional and individual prophylactic measures. *Eur J Oral Sci* 104:215-20 (1996)
- Jaeggi T, Lussi A: Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study. *Caries Res* 33:455-61 (1999)
- Jain P, Nihill P, Sobkowski J, Agustin MZ: Commercial soft drinks: pH and in vitro dissolution of enamel. *Gen Dent* 55:150-4; quiz 155, 167-8 (2007)
- Jarvinen V, Meurman JH, Hyvarinen H, Rytomaa I, Murtomaa H: Dental erosion and upper



- gastrointestinal disorders. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 65:298-303 (1988)
- Jenkins GN, Ferguson DB: Milk and dental caries. *Br Dent J* 120:472-7 (1966)
- Kargul B, Caglar E, Lussi A: Erosive and buffering capacities of yogurt. *Quintessence Int* 38:381-5 (2007)
- Kerebel B, Daculsi G, Kerebel LM: Ultrastructural studies of enamel crystallites. *J Dent Res* 58:844-51 (1979)
- Kim JW, Jang KT, Lee SH, Kim CC, Hahn SH, Garcia-Godoy F: In vivo rehardening of enamel eroded by a cola drink. *ASDC J Dent Child* 68:122-4, 142 (2001)
- Kuroiwa M, Kodaka T, Kuroiwa M: Microstructural changes of human enamel surfaces by brushing with and without dentifrice containing abrasive. *Caries Res* 27:1-8 (1993)
- Kuroiwa M, Kodaka T, Kuroiwa M, Abe M: Brushing-induced effects with and without a non-fluoride abrasive dentifrice on remineralization of enamel surfaces etched with phosphoric acid. *Caries Res* 28:309-14 (1994)
- Larsen MJ: Degrees of saturation with respect to apatites in fruit juices and acidic drinks. *Scand J Dent Res* 83:13-7 (1975)
- Larsen MJ, Nyvad B: Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 33:81-7 (1999)
- Lennon AM, Pfeffer M, Buchalla W, Becker K, Lennon S, Attin T: Effect of a casein/calcium phosphate-containing tooth cream and fluoride on enamel erosion in vitro. *Caries Res* 40:154-7 (2006)
- Lussi A: Dental erosion clinical diagnosis and case history taking. *Eur J Oral Sci* 104:191-8 (1996)
- Lussi A, Jaeggi T, Gerber C, Megert B: Effect of amine/sodium fluoride rinsing on toothbrush abrasion of softened enamel in situ. *Caries Res* 38:567-71 (2004)
- Lussi A, Jaggi T, Scharer S: The influence of different factors on in vitro enamel erosion. *Caries Res* 27:387-93 (1993)
- Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P: [The erosion of dental hard substance. Its

- epidemiology, clinical appearance, risk factors and preventive rules]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102:320-9 (1992)
- Mandel ID: The functions of saliva. *J Dent Res* 66 Spec No:623-7 (1987)
- Meurman JH, Frank RM: Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. *Caries Res* 25:81-7 (1991)
- Meurman JH, Rytomaa I, Kari K, Laakso T, Murtomaa H: Salivary pH and glucose after consuming various beverages, including sugar-containing drinks. *Caries Res* 21:353-9 (1987)
- Meurman JH, ten Cate JM: Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. *Eur J Oral Sci* 104:199-206 (1996)
- Nunn JH: Prevalence of dental erosion and the implications for oral health. *Eur J Oral Sci* 104:156-61 (1996)
- Oesterle LJ, Shellhart WC, Belanger GK: The use of bovine enamel in bonding studies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114:514-9 (1998)
- Owens BM, Kitchens M: The erosive potential of soft drinks on enamel surface substrate: an in vitro scanning electron microscopy investigation. *J Contemp Dent Pract* 8:11-20 (2007)
- Petersen PE, Gormsen C: Oral conditions among German battery factory workers. *Community Dent Oral Epidemiol* 19:104-6 (1991)
- Petzold M: The influence of different fluoride compounds and treatment conditions on dental enamel: a descriptive in vitro study of the CaF<sub>2</sub> precipitation and microstructure. *Caries Res* 35 Suppl 1:45-51 (2001)
- Poole DF, Brooks AW: The arrangement of crystallites in enamel prisms. *Arch Oral Biol* 5:14-26 (1961)
- Rahiotis C, Vougiouklakis G: Effect of a CPP-ACP agent on the demineralization and remineralization of dentine in vitro. *J Dent* 35:695-8 (2007)
- Ranjitkar S, Kaidonis JA, Richards LC, Townsend GC: The effect of CPP-ACP on enamel

- wear under severe erosive conditions. *Arch Oral Biol* 54:527-32 (2009)
- Ranjitkar S, Rodriguez JM, Kaidonis JA, Richards LC, Townsend GC, Bartlett DW: The effect of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate on erosive enamel and dentine wear by toothbrush abrasion. *J Dent* 37:250-4 (2009)
- Rees J, Loyn T, Chadwick B: Pronamel and tooth mousse: an initial assessment of erosion prevention in vitro. *J Dent* 35:355-7 (2007)
- Reynolds EC: Remineralization of enamel subsurface lesions by casein phosphopeptide-stabilized calcium phosphate solutions. *J Dent Res* 76:1587-95 (1997)
- Rios D, Honorio HM, Magalhaes AC, Delbem AC, Machado MA, Silva SM, Buzalaf MA: Effect of salivary stimulation on erosion of human and bovine enamel subjected or not to subsequent abrasion: an in situ/ex vivo study. *Caries Res* 40:218-23 (2006)
- Robb ND, Smith BG: Prevalence of pathological tooth wear in patients with chronic alcoholism. *Br Dent J* 169:367-9 (1990)
- Roberts MW, Li SH: Oral findings in anorexia nervosa and bulimia nervosa: a study of 47 cases. *J Am Dent Assoc* 115:407-10 (1987)
- Roulet JF, Zimmer S: Prophylaxe und Präventivzahnmedizin. *Farbatlant der Zahnmedizin* 16. Thieme: 105-11 (2002)
- Rytomaa I, Jarvinen V, Kanerva R, Heinonen OP: Bulimia and tooth erosion. *Acta Odontol Scand* 56:36-40 (1998)
- Rytomaa I, Meurman JH, Koskinen J, Laakso T, Gharazi L, Turunen R: In vitro erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other foodstuffs. *Scand J Dent Res* 96:324-33 (1988)
- Saxegaard E, Rolla G: Fluoride acquisition on and in human enamel during topical application in vitro. *Scand J Dent Res* 96:523-35 (1988)
- Scheutzel P: Etiology of dental erosion--intrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 104:178-90 (1996)
- Schroeder HE: *Orale Strukturbiologie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks.* Thieme, 5.

Auflage: 55-79 (2000)

Simmons MS, Thompson DC: Dental erosion secondary to ethanol-induced emesis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 64:731-3 (1987)

Tantbirojn D, Huang A, Ericson MD, Poolthong S: Change in surface hardness of enamel by a cola drink and a CPP-ACP paste. *J Dent* 36:74-9 (2008)

ten Bruggen Cate HJ: Dental erosion in industry. *Br J Ind Med* 25:249-66 (1968)

ten Cate JM: Review on fluoride, with special emphasis on calcium fluoride mechanisms in caries prevention. *Eur J Oral Sci* 105:461-5 (1997)

ten Cate JM, Imfeld T: Dental erosion, summary. *Eur J Oral Sci* 104:241-4 (1996)

Thylstrup A, Fejerskov O: *Textbook of Clinical Cariology*. Munksgaard Textbook, Second Edition: 231-57 (1994)

Tuominen M, Tuominen R: Dental erosion and associated factors among factory workers exposed to inorganic acid fumes. *Proc Finn Dent Soc* 87:359-64 (1991)

Walker GD, Cai F, Shen P, Bailey DL, Yuan Y, Cochrane NJ, Reynolds C, Reynolds EC: Consumption of milk with added casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate remineralizes enamel subsurface lesions in situ. *Aust Dent J* 54:245-9 (2009)

Weatherell JA, Robinson C, Hallsworth AS: Variations in the chemical composition of human enamel. *J Dent Res* 53:180-92 (1974)

Wegehaupt FJ, Solt B, Sener B, Wiegand A, Schmidlin PR, Attin T: Influence of fluoride concentration and ethanol pre-treatment on the reduction of the acid susceptibility of enamel. *Arch Oral Biol* 54:823-9 (2009)

Wiegand A, Attin T: Influence of fluoride on the prevention of erosive lesions -- a review. *Oral Health Prev Dent* 1:245-53 (2003)

Wiegand A, Attin T: Occupational dental erosion from exposure to acids: a review. *Occup Med (Lond)* 57:169-76 (2007)

Wiegand A, Bliggenstorfer S, Magalhaes AC, Sener B, Attin T: Impact of the in situ formed

- salivary pellicle on enamel and dentine erosion induced by different acids. *Acta Odontol Scand* 66:225-30 (2008)
- Wiegand A, Kowing L, Attin T: Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel. *Arch Oral Biol* 52:1043-7 (2007)
- Wiegand A, Muller I, Schnapp JD, Werner C, Attin T: Impact of fluoride, milk and water rinsing on surface rehardening of acid softened enamel. An in situ study. *Am J Dent* 21:113-8 (2008)
- Wiegand A, Wegehaupt F, Werner C, Attin T: Susceptibility of acid-softened enamel to mechanical wear--ultrasonication versus toothbrushing abrasion. *Caries Res* 41:56-60 (2007)
- Willershausen B, Schulz-Dobrick B: In vitro study on dental erosion provoked by various beverages using electron probe microanalysis. *Eur J Med Res* 9:432-8 (2004)
- Willershausen B, Schulz-Dobrick B, Gleissner C: In vitro evaluation of enamel remineralisation by a casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate paste. *Oral Health Prev Dent* 7:13-21 (2009)
- Willershausen B. S-DBABGC: In-vitro-Studie zur Überprüfung einer möglichen Remineralisation durch caseinphosphopeptidhaltige, amorphe Calciumphosphat-Komplexe (CCP-ACP). *Dtsch Zahnärztl Z* 63:134-139 (2008)
- Woltgens JH, Bervoets TJ, Witjes F, Houwink B: Ca and P distribution in sound, demineralised and remineralised human surface enamel. *Caries Res* 15:78-84 (1981)
- Zero DT: Etiology of dental erosion--extrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 104:162-77 (1996)
- Zipkin I, McClure FJ: Salivary citrate and dental erosion; procedure for determining citric acid in saliva; dental erosion and citric acid in saliva. *J Dent Res* 28:613-26 (1949)

## 9 Herstellerverzeichnis

Autopolymerisat:	Paladur, Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland
Schleifpapier:	Waterproof Silicon Carbide Paper, Stuers, Erkrath, Deutschland
Gamma-Sterilisation:	Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen, Schweiz
Mikrohärtemessgerät:	High Quality Hardness Tester, Buehler, Düsseldorf, Deutschland
Sprite Zero:	Coca-Cola Company, Atlanta, USA
Fluoridhaltige Mundspüllösung:	250 ppm AmF/SnF <sub>2</sub> , Meridol, GABA, Therwil, Schweiz
Casein phosphopeptide- amorphous calcium phosphate CPP-ACP:	GC Tooth Mousse, Leuven, Belgien

## 10 Anhang

### 10.1 Härtemessungen 1 (Tooth Mousse intraoral)

#### 10.1.1 Knoop-Härte [KHN] vor Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
268	349	325	343	349	341.5
267	366	349	351	340	351.5
275	340	325	340	335	335.0
124	308	297	322	335	315.5
55	346	327	385	357	353.8
240	349	338	351	343	345.3
53	330	325	332	330	329.3
266	378	330	360	357	356.3
180	378	381	335	325	354.8
179	349	330	375	346	350.0
161	332	313	284	315	311.0
30	349	313	301	306	317.3
66	301	315	332	306	313.5
165	372	343	338	343	349.0
213	332	340	349	340	340.3
232	363	366	357	363	362.3
178	363	351	385	340	359.8
283	308	327	313	308	314.0
202	325	322	340	325	328.0
258	369	340	349	249	326.8
229	372	351	363	369	363.8
272	310	325	325	335	323.8
197	315	354	372	391	358.0
217	332	346	357	349	346.0
131	330	310	351	310	325.3
149	346	338	332	330	336.5
278	354	381	357	369	365.3
196	349	325	325	332	332.8
260	308	315	332	330	321.3
71	340	343	315	338	334.0
114	327	288	360	351	331.5
273	401	332	360	335	357.0
182	363	357	343	327	347.5
252	325	330	332	335	330.5
138	317	369	351	408	361.3
11	299	330	317	330	319.0
59	354	338	338	340	342.5
245	351	315	346	338	337.5
89	335	343	330	349	339.3
294	346	343	349	330	342.0

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 339.2**

### 10.1.2 Knoop-Härte [KHN] nach Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
268	257	280	268	259	266.0
267	268	256	249	268	260.3
275	193	206	225	233	215.0
124	196	190	205	211	200.5
55	257	268	250	270	261.3
240	274	265	317	290	286.5
53	254	247	239	240	245.0
266	261	224	206	213	226.0
180	265	286	299	299	287.3
179	288	282	186	270	281.5
161	231	177	224	237	217.3
30	272	233	244	257	251.5
66	239	221	211	227	224.5
165	225	252	261	254	248.0
213	261	256	218	234	242.3
232	274	227	270	240	252.8
178	272	280	295	280	281.8
283	259	265	263	254	260.3
202	218	230	220	194	215.5
258	266	206	245	272	247.3
229	276	272	282	276	276.5
272	233	224	242	234	233.3
197	299	261	299	290	287.3
217	263	228	225	221	234.3
131	247	233	236	280	249.0
149	295	240	268	286	272.3
278	335	247	250	227	264.8
196	252	292	274	249	266.8
260	244	261	288	276	267.3
71	213	172	213	230	207.0
114	254	292	290	297	283.3
273	303	249	299	280	282.8
182	214	261	198	224	224.3
252	151	247	256	211	216.3
138	254	286	284	301	281.3
11	282	266	325	292	291.3
59	256	257	205	206	231.0
245	290	249	295	240	268.5
89	299	290	284	290	290.8
294	272	276	297	278	280.8

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 254.5**



### 10.1.3 Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
268	284	280	297	268	282.3
267	297	313	317	313	310.0
275	242	231	237	224	233.5
124	265	257	245	233	250.0
55	256	261	268	276	265.3
240	346	301	338	335	330.0
53	254	256	227	231	242.0
266	308	268	284	263	280.8
180	292	332	327	313	316.0
179	340	299	325	332	324.0
161	240	259	222	292	253.3
30	278	257	193	236	241.0
66	249	247	284	268	262.0
165	274	290	286	288	284.5
213	301	284	280	274	284.8
232	288	303	268	288	286.8
178	297	306	308	308	304.8
283	252	263	284	274	268.3
202	245	224	256	236	240.3
258	276	292	295	270	283.3
229	266	290	292	274	280.5
272	265	257	242	257	255.3
197	301	280	325	320	306.5
217	284	270	237	240	257.8
131	263	259	245	256	255.8
149	332	299	310	310	312.8
278	313	292	268	310	295.8
196	282	263	292	272	277.3
260	295	306	257	322	295.0
71	215	247	239	225	231.5
114	292	322	322	280	304.0
273	303	292	310	295	300.0
182	249	297	290	265	275.3
252	256	209	213	233	227.8
138	301	310	313	278	300.5
11	299	297	290	343	307.3
59	230	234	257	239	240.0
245	263	265	263	259	262.5
89	288	295	286	272	285.3
294	278	288	290	290	286.5

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 277.0**

## 10.2 Härtemessungen 2 (Meridol intraoral)

### 10.2.1 Knoop-Härte [KHN] vor Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
141	330	343	327	313	328.3
150	327	286	430	369	353.0
235	346	308	330	303	321.8
46	327	322	301	322	318.0
15	313	313	303	327	152.3
122	340	357	301	338	334.0
286	385	381	340	310	354.0
65	378	330	351	343	350.5
230	340	385	357	357	359.8
139	330	338	320	330	329.5
2	327	325	346	349	336.8
270	381	366	338	335	355.0
259	385	301	320	284	322.5
276	381	332	330	343	346.5
134	349	330	308	354	335.3
90	343	327	327	299	324.0
74	351	338	325	412	356.5
187	375	340	335	346	349.0
99	366	385	301	315	341.8
191	332	335	313	346	331.5
261	310	322	322	308	315.5
174	349	330	338	340	339.3
47	317	330	330	332	327.3
41	327	338	284	308	314.3
78	310	315	322	299	311.5
166	388	313	343	338	345.5
173	378	335	346	375	358.5
257	372	349	357	313	347.8
142	349	330	346	338	340.8
160	388	315	325	343	342.8
137	385	343	351	372	362.8
111	360	363	363	360	361.5
106	315	338	335	363	337.8
146	372	378	325	354	357.3
185	338	313	320	330	325.3
110	354	388	349	372	365.8
52	338	327	338	320	330.8
16	299	325	388	320	333.0
242	369	375	354	357	363.8
68	325	308	297	346	319.0

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 339.0**

## 10.2.2 Knoop-Härte [KHN] nach Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
141	230	228	215	215	222.0
150	244	257	252	221	243.5
235	205	268	265	236	243.5
46	256	234	261	257	252.0
15	252	268	272	256	262.0
122	228	221	225	209	220.8
286	214	252	250	242	239.5
65	270	268	265	250	263.3
230	280	308	299	297	296.0
139	286	284	244	299	278.3
2	280	284	280	261	276.3
270	272	266	252	270	265.0
259	227	205	204	230	216.5
276	295	266	254	290	276.3
134	306	292	292	295	296.3
90	270	239	272	272	263.3
74	310	278	297	295	295.0
187	244	231	224	270	242.3
99	278	282	292	268	280.0
191	270	254	276	290	272.5
261	268	270	268	234	260.0
174	268	288	261	286	275.8
47	236	234	247	266	245.8
41	198	209	213	185	201.3
78	263	263	247	261	258.5
166	297	297	292	301	296.8
173	256	297	295	276	281.0
257	263	292	295	278	282.0
142	268	254	218	263	250.8
160	272	280	266	282	275.0
137	234	220	214	221	222.3
111	266	265	290	274	273.8
106	244	244	227	231	236.5
146	218	215	236	231	225.0
185	257	278	274	259	267.0
110	263	245	270	278	264.0
52	280	282	263	278	275.8
16	274	261	272	266	268.3
242	247	233	240	249	242.3
68	286	249	250	234	254.8

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 259.0**

### 10.2.3 Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
141	282	266	268	292	277.0
150	288	284	301	308	295.3
235	288	257	278	308	282.8
46	303	276	272	265	279.0
15	274	278	308	286	286.5
122	247	240	261	239	246.8
286	292	270	270	263	273.8
65	330	303	284	282	299.8
230	308	308	308	335	314.8
139	278	265	282	280	276.3
2	308	303	301	320	308.0
270	325	313	299	317	313.5
259	276	278	247	280	270.3
276	327	282	299	320	307.0
134	313	303	306	310	308.0
90	286	261	284	270	275.3
74	322	301	332	268	305.8
187	280	236	257	254	256.8
99	301	308	327	288	306.0
191	284	276	274	292	281.5
261	295	297	274	299	291.3
174	297	286	284	290	289.3
47	301	303	299	303	301.5
41	174	172	186	180	178.0
78	315	315	292	295	304.3
166	354	338	349	320	340.3
173	292	290	286	317	296.3
257	315	320	325	292	313.0
142	290	286	313	245	283.5
160	303	299	303	301	301.5
137	274	259	265	272	267.5
111	301	325	292	284	300.5
106	261	215	236	257	242.3
146	217	230	244	210	225.3
185	272	257	257	254	260.0
110	306	280	265	290	285.3
52	247	266	288	284	271.3
16	315	317	317	315	316.0
242	276	284	247	261	267.0
68	220	286	280	288	268.5

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 284.2**

### 10.3 Härtemessungen 3 (Tooth Mousse extraoral)

#### 10.3.1 Knoop-Härte [KHN] vor Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
60	369	354	317	343	345.8
119	369	369	327	332	349.3
56	322	320	332	335	327.3
254	346	349	317	351	340.8
221	369	338	372	372	362.8
32	280	295	332	381	322.0
282	303	330	369	357	339.8
63	340	310	346	327	330.8
209	378	354	357	375	366.0
25	322	346	349	330	336.8
175	349	320	372	372	353.3
38	330	306	299	313	312.0
103	335	322	338	338	333.3
231	349	351	354	338	348.0
93	349	395	332	351	356.8
203	357	366	360	346	357.3
51	357	360	378	346	360.3
212	354	325	340	335	338.5
82	322	313	315	306	314.0
37	349	363	357	366	358.8
246	349	313	308	343	328.3
284	381	354	363	360	364.5
109	327	332	322	346	331.8
222	357	363	351	346	354.3
123	327	317	320	338	325.5
206	354	351	325	308	334.5
169	315	330	320	315	320.0
219	346	363	349	363	355.3
21	354	360	335	325	343.5
192	349	360	335	343	346.8
20	320	338	338	349	336.3
86	327	330	290	313	315.0
69	335	315	303	346	324.8
130	327	335	332	325	329.8
248	375	366	351	354	361.5
277	315	303	332	313	315.8
271	327	327	322	315	322.8
116	330	346	325	366	341.8
244	343	357	343	360	350.8
204	313	357	351	252	318.3

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 339.3**

### 10.3.2 Knoop-Härte [KHN] nach Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
60	286	245	292	274	274.3
119	276	261	261	256	263.5
56	245	263	247	270	256.3
254	280	278	290	265	278.3
221	320	254	282	259	278.8
32	259	252	234	256	250.3
282	276	230	254	265	256.3
63	261	254	257	259	257.8
209	284	266	282	276	277.0
25	270	272	261	257	265.0
175	254	263	256	268	260.3
38	200	213	227	224	216.0
103	299	270	268	265	275.5
231	282	295	280	266	280.8
93	259	265	272	247	260.8
203	290	313	278	276	289.3
51	272	295	254	265	271.5
212	261	234	278	266	259.8
82	211	231	214	208	216.0
37	292	284	303	297	294.0
246	272	250	239	237	249.5
284	288	295	280	282	286.3
109	250	263	247	270	257.5
222	274	282	288	297	285.3
123	252	276	259	268	263.8
206	270	270	284	286	277.5
169	252	236	254	227	242.3
219	270	268	270	282	272.5
21	286	252	245	257	260.0
192	263	236	270	261	257.5
20	272	259	268	270	267.3
86	201	203	225	227	214.0
69	256	265	276	254	262.8
130	274	297	284	310	291.3
248	292	301	292	272	289.3
277	274	266	224	211	243.8
271	211	215	209	213	212.0
116	276	274	284	297	282.8
244	272	284	261	308	281.3
204	270	295	204	220	247.3

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 263.1**

### 10.3.3 Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
60	349	310	357	313	332.3
119	286	299	303	299	296.8
56	322	299	299	303	305.8
254	313	322	322	322	319.8
221	313	297	315	313	309.5
32	306	297	284	290	294.3
282	288	265	272	276	275.3
63	310	313	308	317	312.0
209	297	282	303	306	297.0
25	282	325	301	315	305.8
175	263	278	288	272	275.3
38	244	244	234	239	240.3
103	310	338	282	301	307.8
231	317	315	315	335	320.5
93	290	320	313	297	305.0
203	349	346	354	343	348.0
51	282	250	252	237	255.3
212	195	213	221	224	213.3
82	209	228	195	214	211.5
37	282	292	299	290	290.8
246	268	280	245	290	270.8
284	315	322	317	322	319.0
109	320	343	335	301	324.8
222	306	308	330	349	323.3
123	317	349	276	335	319.3
206	303	306	254	265	282.0
169	208	252	290	272	255.5
219	299	306	297	325	306.8
21	299	286	292	295	293.0
192	310	313	313	295	307.8
20	272	280	310	303	291.3
86	256	270	259	257	260.5
69	280	290	270	276	279.0
130	263	261	306	286	279.0
248	343	343	284	320	322.5
277	249	225	214	227	228.8
271	261	284	280	249	268.5
116	301	282	335	308	306.5
244	330	308	209	297	286.0
204	266	282	249	274	267.8

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 290.2**

## 10.4 Härtemessungen 4 (Meridol extraoral)

### 10.4.1 Knoop-Härte [KHN] vor Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
75	416	363	338	332	362.3
151	343	343	366	375	356.8
223	349	366	381	346	360.5
140	357	349	372	357	358.8
31	284	330	343	346	325.8
48	340	325	332	363	340.0
135	351	369	375	357	363.0
216	349	346	330	343	342.0
145	308	297	322	335	315.5
239	338	357	354	369	354.5
42	297	306	332	315	312.5
188	325	327	327	340	329.8
70	327	340	340	327	333.5
281	369	351	338	330	347.0
168	349	332	354	363	349.5
234	354	335	317	332	334.5
97	357	325	315	327	331.0
159	360	369	340	391	365.0
243	320	325	322	325	323.0
269	363	366	369	366	366.0
148	343	357	360	354	353.5
72	340	322	315	335	328.0
292	391	295	286	301	318.3
279	349	351	349	354	350.8
36	306	343	315	297	315.3
136	292	346	354	363	338.8
39	301	325	308	330	316.0
98	372	346	306	340	341.0
291	363	343	327	360	348.3
156	313	317	332	322	321.0
228	357	343	363	366	357.3
249	391	320	322	266	324.8
210	343	338	308	299	322.3
288	340	354	338	351	345.8
171	363	346	325	343	344.3
126	335	335	313	332	328.8
177	322	349	363	315	337.3
158	290	338	322	306	314.0
108	366	354	369	335	356.0
50	332	330	338	346	336.5

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 339.6**



### 10.4.2 Knoop-Härte [KHN] nach Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
75	282	292	274	286	283.5
151	218	256	224	245	235.8
223	234	242	252	208	234.0
140	270	231	254	252	251.8
31	242	263	256	259	255.0
48	288	292	322	301	300.8
135	230	242	254	228	238.5
216	274	288	288	292	285.5
145	234	221	221	239	228.8
239	242	259	261	256	254.5
42	242	244	268	274	257.0
188	237	259	247	245	247.0
70	263	250	231	240	246.0
281	192	208	210	221	207.8
168	194	208	166	204	193.0
234	218	224	221	236	224.8
97	242	284	292	265	270.8
159	254	250	270	265	259.8
243	270	266	284	265	271.3
269	286	247	280	282	273.8
148	236	280	263	247	256.5
72	276	270	286	310	285.5
292	256	230	254	242	245.5
279	249	282	220	252	250.8
36	282	288	282	278	282.5
136	228	270	239	233	242.5
39	209	233	203	199	211.0
98	256	266	286	270	269.5
291	228	236	205	233	225.5
156	228	225	247	252	238.0
228	2P42	245	221	227	233.8
249	227	224	233	196	220.0
210	220	182	178	225	201.3
288	263	272	274	284	273.3
171	242	244	247	272	251.3
126	259	233	240	256	247.0
177	274	297	240	254	266.3
158	252	276	256	259	260.8
108	272	263	254	250	259.8
50	252	240	252	244	247.0

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 249.7**

### 10.4.3 Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
75	259	261	266	252	259.5
151	261	254	247	265	256.8
223	265	236	228	225	238.5
140	220	234	252	276	245.5
31	249	276	250	284	264.8
48	330	308	313	299	312.5
135	276	240	257	282	263.8
216	292	301	327	315	308.8
145	213	242	236	237	232.0
239	263	244	261	254	255.5
42	280	299	276	274	282.3
188	266	286	230	265	261.8
70	313	295	297	310	303.8
281	257	239	240	261	249.3
168	217	249	256	239	240.3
234	250	256	265	240	252.8
97	274	266	263	280	270.8
159	270	280	299	268	279.3
243	278	265	292	290	281.3
269	301	286	308	313	302.0
148	272	272	240	228	253.0
72	303	288	315	330	309.0
292	276	274	274	290	278.5
279	322	295	282	310	302.3
36	320	330	315	315	320.0
136	278	280	259	266	270.8
39	237	242	239	250	242.0
98	301	278	284	276	284.8
291	224	213	237	221	223.8
156	295	299	286	290	292.5
228	213	195	228	222	214.5
249	256	259	272	254	260.3
210	282	280	282	266	277.5
288	301	295	297	292	296.3
171	250	254	231	250	246.3
126	230	265	278	252	256.3
177	261	278	299	290	282.0
158	252	257	231	242	245.5
108	254	276	270	278	269.5
50	237	245	247	250	244.8

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 268.3**

## 10.5 Härtemessungen 5 (Kontrolle)

### 10.5.1 Knoop-Härte [KHN] vor Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
167	378	315	343	292	332.0
195	363	346	351	354	353.5
211	327	351	349	322	337.3
181	351	343	340	343	344.3
121	346	320	338	290	323.5
172	338	313	332	332	328.8
105	346	335	266	303	312.5
190	299	346	301	310	314.0
220	381	330	391	366	367.0
170	360	335	322	372	347.3
224	346	349	363	346	351.0
241	369	366	357	351	360.8
107	343	346	335	322	336.5
236	338	325	292	330	321.3
274	363	369	363	357	363.0
26	343	343	335	335	339.0
200	357	343	340	354	348.5
73	325	335	310	320	322.5
5	327	288	332	378	331.3
207	349	322	349	378	349.5
62	369	317	322	297	326.3
44	346	317	306	292	315.3
253	310	310	360	320	325.0
199	303	308	330	349	322.5
101	327	369	375	357	357.0
193	372	369	338	357	359.0
3	322	325	340	349	334.0
45	301	325	357	357	335.0
263	381	363	349	338	357.8
40	363	325	366	330	346.0
280	320	335	360	349	341.0
120	317	315	317	363	328.0
29	315	325	317	317	318.5
153	360	381	338	340	354.8
264	366	378	354	363	365.3
80	313	306	363	340	330.5
8	320	317	320	310	316.8
76	286	388	338	349	340.3
117	369	378	351	351	362.3
290	349	369	357	349	356.0

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 339.4**

## 10.5.2 Knoop-Härte [KHN] nach Erosion

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
167	245	244	252	227	242.0
195	265	217	187	211	220.0
211	272	265	247	242	256.5
181	236	217	270	252	243.8
121	233	228	231	201	223.3
172	218	211	194	200	205.8
105	236	215	272	263	246.5
190	237	256	245	274	253.0
220	292	295	286	286	289.8
170	199	196	218	242	213.8
224	301	295	288	286	292.5
241	218	217	193	256	221.0
107	272	274	276	288	277.5
236	263	245	263	254	256.3
274	265	250	249	268	258.0
26	308	256	247	292	275.5
200	286	286	297	295	291.0
73	210	206	214	200	207.5
5	280	265	256	276	269.3
207	265	252	272	265	263.5
62	245	265	288	259	264.3
44	256	249	249	272	256.5
253	213	228	233	247	230.3
199	263	266	268	263	265.0
101	286	274	244	250	263.5
193	286	261	272	263	270.5
3	256	272	256	244	257.0
45	224	234	239	244	235.3
263	299	245	276	265	271.3
40	250	257	276	234	254.3
280	270	272	276	284	275.5
120	268	263	247	247	256.3
29	274	259	278	254	266.3
153	259	268	274	240	260.3
264	282	295	313	286	294.0
80	192	213	208	190	200.8
8	215	172	182	184	188.3
76	266	252	263	266	261.8
117	209	204	227	228	217.0
290	265	272	292	245	268.5

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 252.2**

### 10.5.3 Knoop-Härte [KHN] am Versuchsende

Probennummer	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	Mittelwert
167	233	265	280	261	259.8
195	274	254	244	259	257.8
211	265	288	239	280	268.0
181	259	250	257	233	249.8
121	254	225	231	242	238.0
172	204	200	215	225	211.0
105	221	191	214	218	211.0
190	286	263	284	286	279.8
220	306	286	297	327	304.0
170	286	265	272	254	269.3
224	335	343	338	349	341.3
241	278	230	236	227	242.8
107	313	292	301	315	305.3
236	266	270	278	292	276.3
274	290	299	320	288	299.3
26	330	343	297	301	317.8
200	276	303	295	263	284.3
73	239	227	220	231	229.3
5	250	265	240	240	248.8
207	222	237	268	231	239.5
62	272	272	266	288	274.5
44	276	256	252	250	258.5
253	252	288	266	266	268.0
199	297	276	272	268	278.3
101	288	308	290	286	293.0
193	295	284	270	280	282.3
3	320	295	313	313	310.3
45	227	252	252	263	248.5
263	274	286	274	301	283.8
40	288	250	266	233	259.3
280	295	306	297	266	291.0
120	295	292	263	257	276.8
29	234	274	276	272	264.0
153	325	303	297	284	302.3
264	315	280	354	288	309.3
80	239	247	265	240	247.8
8	214	261	211	203	222.3
76	276	261	306	284	281.8
117	278	270	263	242	263.3
290	282	282	282	284	282.5

**Mittelwert aller Knoop-Härten: 270.7**

**10.6 Mittlere Knoop-Härte [KHN] (SD) der verschiedenen Behandlungsgruppen 1-5 zu den drei Messzeitpunkten**

Gruppe	Zeitpunkt		
	Vor Erosion	Nach Erosion	Am Versuchsende
<b>1</b> (Tooth Mousse intraoral)	339.2 (15.7)	254.5 (26.6)	277.0 (27.4)
<b>2</b> (Meridol intraoral)	339.0 (15.9)	259.0 (23.8)	284.2 (28.6)
<b>3</b> (Tooth Mousse extraoral)	339.3 (15.9)	263.1 (21.2)	290.2 (31.4)
<b>4</b> (Meridol extraoral)	339.6 (15.9)	249.7 (24.3)	268.3 (25.9)
<b>5</b> (Kontrolle)	339.4 (16.1)	252.2 (27.5)	270.7 (29.0)