

Aus der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.  
Abteilung Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie

**Einfluss von Zahnpasten / Fluoridgelen mit verschiedenen Inhaltsstoffen  
auf die Abrasion bei erodiertem und nicht erodiertem Dentin**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur

Erlangung des Zahnmedizinischen Doktorgrades  
der Medizinischen Fakultät  
der Albert-Ludwigs-Universität  
Freiburg im Breisgau

Vorgelegt 2003

von Sigrun Wolmershäuser  
geboren in Schwäbisch Hall

Dekan: Prof. Dr. Josef Zentner  
1. Gutachter: PD Dr. Petra Hahn  
2. Gutachter: PD Dr. Dr. Edmund Rose  
Jahr der Promotion: 2004

Meinen Eltern und Großmüttern

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Literaturübersicht .....	2
2.1	Zahnpasten: Inhaltstoffe, Wirksamkeit, medizinische Bestandteile, klinische Studien .....	2
2.2	Struktur des gesunden Dentins .....	21
2.3	Definitionen nicht kariöser Zahnhartsubstanzdefekte .....	24
2.4	Erosive Zahnhartsubstanzveränderungen .....	28
2.5	Epidemiologische Daten zum Auftreten von Zahnerosionen .....	32
2.6	Ätiologie von Zahnerosionen .....	40
2.7	Die Bürstabrasion und ihr Einfluss auf erodierte Zahnhartsubstanzen .....	51
2.8	Präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Erosionen .....	53
2.9	Reaktions- und Wirkungsmechanismus von Fluorid .....	55
2.10	Methoden zur Evaluation von Erosionen und Abrasionen in vitro .....	56
3	Versuchsplanung .....	60
4	Material und Methode .....	62
4.1	Probenherstellung .....	62
4.2	Demineralisations- /Remineralisationslösungen .....	63
4.3	Demineralisation und Remineralisation .....	65
4.4	Bürstabrasion .....	66
4.5	Auswertung .....	69
5	Ergebnisse .....	71
5.1	Bürstabrasion .....	71
5.2	Auswertung der Bürstabrasion .....	73
6	Diskussion .....	79
6.1	Versuchsbedingungen und Analysemethoden .....	79
6.2	Ergebnisse .....	82
6.3	Schlussfolgerung .....	87
7	Zusammenfassung .....	88
8	Literaturverzeichnis .....	89

## 1. Einleitung

Neben Karies stellen Zahnhartsubstanzerosionen und -abrasionen die Hauptursache für den Verlust von Zahnhartsubstanz dar. Dieser Verlust ist lokal pathologisch und irreversibel.

Erosionen werden definiert als oberflächlicher, durch Säuren hervorgerufener Zahnhartsubstanzverlust ohne Beteiligung von oralen Mikroorganismen. Bei der Entstehung von Erosionen spielen sowohl intrinsische als auch extrinsische Faktoren eine Rolle. Zu den intrinsischen Faktoren zählen u. a. der Reflux von Magensäure oder häufiges Erbrechen bei Bulimia nervosa. Als extrinsische Faktoren sind u. a. der häufige Genuss saurer Lebensmittel oder Medikamente zu nennen. In den westlichen Industrienationen gewinnen die extrinsischen Faktoren immer mehr an Bedeutung. Der Konsumanstieg von Salat, Obst, Fruchtsäften und sauren Erfrischungsgetränken lässt das Risiko für erosive Zahnhartsubstanzdefekte steigen. Eine erhöhte Gefahr für die Zahnhartsubstanz liegt vor, wenn erosive und abrasive Einflüsse in Kombination auftreten. Das steigende ästhetische Bewusstsein, die Zahnprophylaxe der Bevölkerungsschichten und die damit verbundene teilweise exzessive Mundhygiene sowie die Anwendung abrasiver Zahnpasten sind ernstzunehmende Faktoren. Der durch Erosion oberflächlich erweichte Zahnschmelz wird beim Zähnebürsten abgetragen, so dass es sogar zur Exposition von Dentin kommen kann. Dies spielt besonders im Bereich dünner Schmelzschichten eine Rolle, wie sie z.B. im Zahnhalsbereich vorkommen. Durch die Erfolge der präventiven Massnahmen können immer mehr Menschen relativ viele Zähne bis ins hohe Alter erhalten. Dabei kommt es jedoch durch altersbedingte Involution, gingivale Rezession, Abrasion oder Zahnstein- und Konkremententfernung zur Freilegung von Wurzel dentin. Freiliegendes Wurzel dentin ist stärker anfällig für eine Demineralisation als Schmelz (HOPPENBROUWERS et al., 1986). Aus diesem Grund wurde in den letzten Jahren eine signifikante Steigerung der Prävalenz von Wurzelkaries bzw. von nicht kariösen Läsionen im Wurzel dentin beobachtet. Auch bei Jugendlichen ist eine Zunahme von Zahnhalsläsionen zu verzeichnen. Diese werden meist durch exzessive Mundhygiene verursacht. AINAMO et al. (1986) fanden heraus, dass 74% der 17-jährigen Schüler in Finnland bereits gingivale Rezessionen aufweisen. Auch orale Piercings traumatisieren den Zahnhalteapparat und führen oftmals zu schweren gingivalen Rezessionen mit Dentin freilegung (DIBART et al., 2002).

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, den Einfluss von Zahnpasten und Fluoridgelelen mit unterschiedlicher Zusammensetzung (Gehalt an Putzkörpern, pH-Wert, Säurezahl, Fluoridgehalt) auf die Bürstabrasion von Dentin in Kombination mit Erosion zu bestimmen.

---

## 2. Literaturübersicht

### 2.1 *Zahnpasten: Inhaltstoffe, Wirksamkeit, medizinische Bestandteile, klinische Studien*

#### 2.1.1 Zahnpasten allgemein

Substanzen zur Reinigung der Zähne mit Zusätzen zur Verbesserung der Atemluft oder zur Unterdrückung des Mundgeruchs sowie mit therapeutisch oder pharmakologisch wirksamen Bestandteilen werden schon seit vielen Jahrhunderten benutzt. Ihre Anwendung erfolgte auf verschiedenste Weise, z.B. mit den Fingern, mit Holzstäbchen und seit dem 14. Jahrhundert mit Zahnbürsten. Die früher vorwiegend angewandten Zahnpulver und Flüssigkeiten spielen mengenmässig in unserer Zeit keine wesentliche Rolle mehr. Zum Erreichen der erwähnten kosmetischen, vorbeugenden und therapeutischen Wirkungen werden heute überwiegend Zahnpasten (gelegentlich auch als Zahncreme bezeichnete Substanzen) benutzt.

Definitionen:

Zahnpasten sind definitionsgemäss Zahn- und Mundpflegemittel. Sie werden der Gruppe der Kosmetika zugeordnet und sind keine Arzneimittel.

Kosmetische Mittel sind im Sinne des Gesetzes Stoffe oder Zubereitungen, „die dazu bestimmt sind, äusserlich am Menschen oder in seiner Mundhöhle zur Reinigung und Pflege... angewendet zu werden“. Nach der Kosmetik-Verordnung dürfen Zahnpasten bei „bestimmungsmässigem oder vorauszusehendem Gebrauch“ keine Gesundheitsschäden verursachen. Um sicherzustellen, dass kosmetische Mittel nicht die Gesundheit schädigen können, hat der Gesetzgeber detaillierte Einzelstoff-Vorschriften erlassen. So sind einige hundert Stoffe für den Einsatz in kosmetischen Mitteln und damit auch in Zahnpflegemitteln verboten. Die einzelnen Rohstoffe einer Zahnpaste dürfen untereinander nicht in Wechselwirkung treten, keine schädlichen Zwischenprodukte bilden und sich gegenseitig nicht inaktivieren.

Die Grenze zu den Arzneimitteln wird dann überschritten, wenn Produkte vorwiegend zur Beseitigung oder Linderung von Krankheiten bestimmt sind. Eine Verschreibungspflicht

---

besteht nur, wenn die Dosis des zugelassenen Wirkstoffs bei längerem Gebrauch unerwünschte Nebenwirkungen auslösen kann. So sind z.B. Zahnpasten mit einem Fluoridgehalt von über 0,15% verschreibungspflichtig.

Definition der FDI (Federation Dentaire International):

Zahnpasten sind Präparate, die unabhängig von ihrer Zusammensetzung (z.B. als Paste, Gel, Pulver oder Lösung) dazu bestimmt sind, zugängliche Zahnflächen mit der Zahnbürste zu reinigen. Sie können zusätzlich Träger für das Einbringen von Wirkstoffen zur Erhaltung der oralen Gesundheit sein.

An die Eigenschaften einer Zahnpaste stellt die FDI eine Reihe von Anforderungen, die helfen sollen, die Produktsicherheit zu wahren (INTERNATIONAL STANDARD FOR TOOTHPASTES, FDI, 1988):

- Bei normaler Anwendung dürfen Zahnpasten nicht die Gesundheit schädigen.
- Zahnpasten dürfen keine Saccharose oder andere vergärbare Kohlenhydrate enthalten. Polyalkohole wie Sorbit, Xylit oder Saccharin sind dagegen als Süsstoffe zugelassen.
- Auf der Zahnpastentube soll eine vollständige Deklaration der Inhaltsstoffe einschliesslich des pH-Wertes, der Konservierungs-, Geschmacks- und Aromastoffe vorhanden sein.
- Bei einer Gebrauchsfähigkeit von weniger als 30 Monaten ist das Verfallsdatum der Zahnpaste anzugeben.
- Die Zahnpaste muss frei sein von pathogenen Mikroorganismen.
- Auf die jeweilige Abrasivität soll mit einem entsprechenden Hinweis aufmerksam gemacht werden.

Zahnpasten werden entweder chargenweise oder in einem kontinuierlichen Prozess hergestellt. Der wichtigste Schritt der Herstellung ist die Dispergierung und Homogenisation von zum Teil nicht unmittelbar miteinander mischbaren Bestandteilen. Deshalb gibt es Hilfsstoffe, die die homogene Mischung über den Haltbarkeitszeitraum garantieren. Die Kosmetik-Verordnung schreibt vor, dass bei einer Haltbarkeit von mehr als 30 Monaten kein Verfalls- oder Aufbrauchdatum angegeben werden muss.

Zahnpasten sind wässrige Systeme. Durch die verschiedensten Inhaltsbestandteile können Zahnpasten sauer, neutral oder basisch reagieren. Dabei sind Extremwerte zu vermeiden, da zu grosse Säurenstärke die Zähne und zu grosse Basenstärke die Mundschleimhaut angreift.

Zahnpasten auf dem internationalen Markt haben pH-Werte zwischen 4,5 und 10,5. Dies wird vom British Standard BS5136 (1981) gefordert. Zudem müssen alle auf dem Markt befindlichen Zahnpasten die DIN/ISO – Norm 11609 einhalten.

Parodontalprophylaktisch wirksame Zahnpasten besitzen vorzugsweise einen hohen pH-Wert. Dadurch wird die spezifische, pathogene Mikroflora gestört. Kariesprophylaktisch wirksame Pasten enthalten üblicherweise Fluoridverbindungen. Die Einlagerung von Fluorid in den Zahnschmelz ist bei einem schwach sauren pH-Wert verbessert.

Beispiele für pH-Werte einiger Zahnpasten:

Aronal forte	7,4
Blendax Antibelag	9,2
Blendi	7,6
Colgate Gel	7,8
Dentagard	6,8
Elmex	5,4
Sensodyne	7,0

### 9.1.2 Inhaltsbestandteile von Zahnpasten:

Zahnpasten sind Stoffgemische und setzen sich aus folgenden Hauptbestandteilen zusammen:

- Abrasivstoffe / Putzkörper 10-55 %
- Feuchthaltemittel / Suspensionsmittel 5-50 %
- Bindemittel / Stabilisatoren 1-2 %
- Detergentien, oberflächenaktive Stoffe (Schaummittel) 2 %
- Geschmacks- und Aromastoffe 1-2 %
- Konservierungsmittel < 1 %



- 
- Plaquehemmende, antibakterielle Wirksubstanzen < 1 %
  - Wirkstoffe / medikamentöse Zusätze < 1 %
  - Farbstoffe und Pigmente < 1 %
  - Wasser

### 9.1.3 Putzkörper

Für eine effektive Zahnreinigung wird ein Putzmedium benötigt, das sowohl den Abrieb von Belägen als auch eine Politur der Zahn- und Füllungsflächen bewirkt. Andererseits muss ein Putzkörper zur Anwendung kommen, der bei der erwünschten Reinigungswirkung die Zahnhartsubstanz nicht angreift. Um den Abrieb der Zahnhartsubstanzen gering zu halten, sind die Putzkörper in der Regel so gewählt, dass ihre Teilchengröße weder als sandig noch als körnig empfunden wird (Teilchengröße: < 15 µm). Form und Härtegrad der Putzkörper sollen ein Minimum an Abrasion bewirken.

Die am häufigsten eingesetzten Putzkörper sind: Karbonate, Phosphate, Silikate, Acrylate, Alumina

Dabei zeigen Kombinationen von Putzkörpern bessere Wirksamkeit als die einzelnen Substanzen.

Während früher vor allem Kreide als Putzkörper in Zahnpasten fungierte, wird heute meist Silikat verwendet. Der Grund hierfür ist, dass Kreide in der Zahnpastentube mit dem Fluorid reagiert und es dadurch inaktiviert. Diese Reaktion spielt vor allem bei den leicht löslichen Verbindungen Natriumfluorid (NaF) und Aminfluorid (AmF) eine Rolle. Dasselbe gilt für Dicalciumphosphat (DCP). Da es noch immer einige NaF-haltige Zahnpasten gibt, die Kreide oder DCP als Abrasivstoff enthalten, muss hierauf geachtet werden.

#### **Natürliches Kalziumkarbonat: Naturkreide (Schlämmkreide):**

Schlämmkreide besteht aus mikroskopischen Resten der Kalkschalen von Meerestierchen und enthält immer Spuren von Silizium- und Aluminiumoxiden, die einzelne tiefe Kratzer im

Schmelz verursachen können. Deshalb wird heute nur noch das chemisch reine Kalziumkarbonat verwendet. Naturprodukte sind im Allgemeinen unrein, weshalb heute generell synthetische Produkte bevorzugt werden.

### **Synthetische Karbonate:**

Synthetische Karbonate werden hergestellt durch Fällung einer Natriumkarbonatlösung mit Kalziumchlorid. Karbonate sind nur in einer alkalischen Paste stabil, weil sie durch Säure aufgelöst würden. Je nach Herstellungsbedingungen entstehen verschiedene Kristallformen und Korngrößen:

- Kalkspat: hexagonal (sechseckig)
- Aragonit: rhomboid (viereckig)

Deutsche Schreibweise: Kalziumkarbonat (Kreide), Magnesiumkarbonat

### **Phosphate**

Phosphate kommen in der Natur nicht in reiner Form vor. Je nach deren Zusammensetzung (Baustein-Struktur) ändern sich die physikalischen Eigenschaften betreffend der Abrasivität beträchtlich. Daher werden zur Herstellung heutiger Zahnpasten synthetische Phosphate verwendet.

Deutsche Schreibweise: Kalziumphosphat, Kalziumdiphosphat, Natriumhexametaphosphat, Natriummetaphosphat, Trikalziumphosphat

### **Silikate**

Silikate kommen wie die Phosphate (s.o.) in der Natur nicht in reiner Form vor. Es sind farblose, transparente Kristalle (Quarz, Sand) oder weisse amorphe Pulver (Kieselgur). Natürliches Silikat wird heute nur noch in wenigen Zahnpasten verwendet. Die meisten Pasten enthalten synthetisches Kieselgel ( $\text{SiO}_2$ ).

Weitaus die meisten heute im Handel erhältlichen Zahnpasten enthalten Silikat-Putzkörper. Diese "Hydrated Silica" (Kieselgel) werden als Mischpulver aus Xerogel- und Aerogel-Silika hergestellt.

**Xerogel Silika** (Syloid®): Putz- und Polierkörper mit relativ hoher Abrasivität: Xerogel ist ein hochreines, wasserfreies, granuläres, mikroporöses Silika-Gel. Bei seiner Herstellung wird es durch Hitze entwässert, wodurch es deutlich abrasiver wird. Xerogel ist den Kalziumphosphat-Putzkörpern bezüglich Reinigung und Glanzgebung überlegen.

**Aerogel Silika** (Aerosyl®): Extrem feine Silika-Teilchen, ohne Abrasivität. Aerogele sind technisch hergestellte Kieselsäuren mit einem Reinheitsfaktor von 99.8%  $\text{SiO}_2$ .

Aerogel ist ein "luftiger", lockerer Füllstoff ("Verdickersilika" genannt) und wird als Zusatz zur Reduktion der Abrasivität stark scheuernder Putzkörper verwendet. Aerogele haben ein hohes Wasserbindevermögen. Der Wassergehalt solcher Pasten ist daher rund doppelt so hoch. Aerogel Silika verhelfen zu einem geschmeidigen formbeständigen Pastenstrang. Aerogele haben thixotrope Eigenschaften: das Gel kann sich ohne Temperaturänderung durch Schütteln oder Rühren verflüssigen.

Seit den 70er Jahren ist ein eindeutiger Trend zu synthetischen Silika- und Alumina- Putzkörpern festzustellen. Durch technologische Fortschritte wurde es möglich, die Partikelgrösse von Abrasivstoffen bis auf  $0.2\mu\text{m}$  zu senken, und zwar auch von Kristallen, welche wesentlich härter als Schmelz sind. Zudem können heute auch amorphe und poröse Teilchen in der Grössenordnung  $10\text{-}20\text{\AA}$  hergestellt werden.

Deutsche Schreibweise: Aluminiumsilikat (Kaolin), Siliziumdioxid (Kieselgel),  
nat. Siliziumdioxid (Perlit), Natriumsilikat (Wasserglas),  
Natrium-Aluminiumsilikat

### **Alumina**

Dieses Mineral besteht aus verschiedenen Aluminiumoxiden ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Diese kommen in der Natur in fünf verschiedenen Kristallformen vor: Korund, Ton, Schmirgel, Rubin und Saphir. Alumina wird heute nur noch selten mit noch anderen nicht-synthetischen Bestandteilen verwendet.

Deutsche Schreibweise: Aluminiumoxid (Tonerde), Aluminiumsilkat (Bimsstein),  
Aluminiumhydroxid

### **Abrasivität von Putzkörpern**

Zahnschmelz als härteste Substanz des menschlichen Körpers ist als sehr widerstandsfähig gegenüber einer reinen Abrasion anzusehen. Dentin und Wurzelzement können hingegen durch zu abrasive Putzkörper geschädigt werden. Die Härte der Putzkörper muss grösser sein als die Härte des behandelten Gewebes, damit es zur Abrasion kommt (FORWARD, 1991). Die Abrasivität eines Putzkörpers korreliert mit Form und Grösse seiner Partikel. Je grösser und rauher diese sind, desto höher ist die Abrasivität (FORWARD, 1991; ASHMORE et al., 1972). Die heute gängigste Methode zur Messung der Abrasivität von Putzkörpern an den

Zahnhartsubstanzen ist der radioaktive Abrasionstest, wobei für Schmelz (REA = Radioactive Enamel Abrasion) und für Dentin (RDA = Radioactive Dentin Abrasion) getrennte Werte ermittelt werden. Die Werte werden im Vergleich zu einem Standard angegeben. Der Wert des Standards (meist Kalziumcarbonat oder Kalziumpyrophosphat) wird mit 100 festgesetzt. Je höher die Werte der Testpaste liegen, desto stärker ist die Abrasivität. Die Ermittlung getrennter Werte für Schmelz und Dentin ist erforderlich, weil zwischen der Abrasivität von Putzkörpern an Schmelz und Dentin keine Korrelation besteht. Obwohl sich die Abrasivität von Zahnpasten in vitro mit diesem Test relativ gut bestimmen lässt, ist eine Übertragung auf das Mundmilieu kritisch, da individuelle Faktoren wie die Verdünnungsrate durch den Speichel, die verwendete Zahnbürste, die Bürstrichtung, der Bürstendruck, die Häufigkeit und Dauer des Zähneputzens bei der Schädigung von Zahnhartsubstanzen eine ebenso große Rolle spielen können wie die Putzkörper selbst (BARBAKOW et al., 1989).

Abrasionswerte einiger Zahnpasten nach Herstellerangaben:

<u>Markenname</u>	<u>RDA-Wert</u>
Colgate Sensation White	112
Colgate Total	77
Elmex	77
Meridol	75
Signal	75
Parodontax	65
Sensodyne	64
Dentagard	41
Elmex Sensitive	30

Es ist bis heute nicht geklärt, wie abrasiv eine Zahnpasta sein muss, um bei minimaler Schädigung der Zahnhartsubstanzen eine maximale Plaqueentfernung zu erzielen. Insgesamt scheint eine hohe Abrasivität von Zahnpasten kein Risiko für die Zähne darzustellen, wenn die richtige Putztechnik entsprechend schonend umgesetzt wird (BAEHNI, KÖNIG, und SAXER, 1992). Bei freiliegenden Wurzeloberflächen ist jedoch eine Schädigung von Zahnhartsubstanz durch zu abrasive Zahnpasten möglich.

Zu den Zahnpasten mit niedriger Abrasivität zählen solche, die Natriumhydrogenkarbonat (Backpulver) enthalten. Der Putzkörperanteil an Natriumhydrogenkarbonat darf nach Empfehlungen der American Dental Association (ADA) maximal 30% betragen. Neben der

geringen Abrasivität machen weitere günstige Eigenschaften die Benutzung von Zahnpasten mit Natriumhydrogenkarbonat empfehlenswert. Ihre Vorteile liegen in der Verbesserung der Pufferkapazität des Speichels und in der bakterienabtötenden Wirkung des Backpulversalzes auf die Mikroorganismen in der Plaque. Im Vergleich mit den USA ist die Zahl der Zahnpasten, die „baking soda“ enthalten, im deutschen Markt gering (z.B. Parodontax, Rot-Weiß).

In einer von IMFELD et al. (1998) publizierten Studie wurden 12 Zahnpasten untersucht, die 1996/97 in der Schweiz am häufigsten verkauft worden waren. Beurteilt wurden dort nur ihre mechanischen Wirkungen, nämlich das Abrasions-, das Anrauhungs- und das Reinigungspotential auf Dentin.

RDA-Werte (in % des Standards)	Ra-Werte (Zun. der mittl. Rauhgk. in $\mu\text{m}$ )	Re-Werte (% gereinigte Fläche)
<b>Gruppe 1 (sehr wenig abrasiv)</b>	<b>Gruppe 1 (sehr geringe Anrauhung)</b>	<b>Gruppe 1 (sehr gute Reinigung)</b>
Elmex Sensitiv Plus ±12	Elmex Sensitiv Plus ±0.078	Odol-dent 3 ±77.1
		Colgate Gel ±74.9
<b>Gruppe 2 (wenig abrasiv)</b>	<b>Gruppe 2 (geringe Anrauhung)</b>	<b>Gruppe 2 (gute Reinigung)</b>
Candida Pepermint ±20	Mentadent C micro-granuli ±0.171	Colgate Total ±63.5
Candida Sensitive ±30	Elmex rot ±0.282	Dentagard mit Kräutereextrakt ±63.3
Mentadent C micro-granuli ±33	Candida Sensitive ±0.297	Mentadent C active ±61.8
Mentadent C active ±35	Candida Fresh Gel ±0.313	Candida Sensitive ±53.3
Elmex rot ±38	Meridol ±0.345	Candida Pepermint ±52.3
Meridol ±39	Colgate Total ±0.409	Candida Fresh Gel ±50.9
<b>Gruppe 3 (mittel abrasiv)</b>	<b>Gruppe 3 (mittlere Anrauhung)</b>	<b>Gruppe 3 (genügende Reinigung)</b>
Dentagard mit Kräutereextrakt ±41	Dentagard mit Kräutereextrakt ±0.636	Elmex rot ±35.9
Candida Fresh Gel ±51	Candida Pepermint ±0.701	Mentadent C micro-granuli ±31.1
Colgate Total ±51	Mentadent C active ±0.887	Meridol ±20.9
<b>Gruppe 4 (stark abrasiv)</b>	<b>Gruppe 4 (sehr starke Anrauhung)</b>	<b>Gruppe 4 (sehr schwache Reinigung)</b>
Colgate Gel ±62	Colgate Gel ±2.210	Elmex Sensitiv Plus ±2.8
Odol-dent 3 ±65	Odol-dent 3 ±3.260	

Tab. 1-1:

Relative Dentinabrasion (RDA), Dentinanrauhung (Ra) und Reinigungseffekt (Re) der 12 getesteten Zahnpasten (hier ohne Standardabweichungen) nach 25 Minuten Bürstzeit. Reihenfolge nach zunehmenden RDA- und Ra-Werten sowie nach abnehmenden Re-Werten.

## 2.1.4 Weitere Inhaltsstoffe

### **Bindemittel**

Bindemittel werden als Verdickungs- und Stabilisierungsmittel verwendet. Sie verhindern die Trennung der Feuchtigkeit von den festen Bestandteilen der Paste und ergeben die cremige Konsistenz. Der Gehalt an Bindemittel beträgt 1-2 %. Als Bindemittel finden natürliche wie synthetische Produkte Verwendung: Glycerin, Gummiarabicum, Paraffin, Carrageenan, Methylzellulose, Carboxymethylzellulose, Guarkernmehl, Hydroxyethylzellulose, Polyethylenglykol, Polysaccharid, Kaliumsorbat, Propylenglykol, Natriumalginat. Zahnpasten mit Glycerin als Bindemittel sind weniger abrasiv als Pasten mit Carboxymethylzellulose als Bindemittel (HARTE und MANLY, 1976).

### **Feuchthaltemittel**

Feuchthaltemittel geben der Zahnpaste Glanz, Geschmeidigkeit und schützen sie vor Austrocknung. Ihr Anteil an der Zahnpastenrezeptur beträgt rund 5-50 %. Die am häufigsten verwendeten Feuchthaltemittel sind: Glycerin, Sorbit, Xylit, Propylenglykol, Polyethylenglykolester (PEG)

Durch diese Zusätze wird das Austrocknen der Zahnpaste in der Tube auch bei Lagerung wirksam vermieden. Bei länger offenliegenden Tuben kann aber nicht vermieden werden, dass die Zahnpaste im Bereich der Entnahmeöffnung austrocknet.

### **Geschmacks- und Aromastoffe**

Geschmacks- und Aromastoffe geben den Zahnpasten einen frischen und belebenden Geschmack. Sie sind zu 1-2 % in der Zahnpaste erhalten. Das Frischegefühl hat eine wichtige Motivationswirkung. Es verstärkt das Bedürfnis nach regelmäßiger Zahnpflege. Wichtige geschmacksbestimmende Stoffe sind die nachstehenden ätherischen Öle und Aromen: Pfefferminzöl, Nelkenöl, Anisöl, Fenchelöl, Menthol, Kräuterextrakte, Fruchtgeschmack, Vanillincampher.

Kinder-Zahnpasten und Zahnpasten für den allgemeinen Gebrauch unterscheiden sich durch ihre Aromatisierung. Durch den Zusatz der obengenannten Öle und Aromen entsteht eine relativ scharfe Geschmacksnote, die älteren Verwendern vertraut ist, von Kindern aber abgelehnt wird. Deshalb sind Kinder-Zahnpasten mit einem fruchtartigen oder mild-minzigen

Geschmack versehen. Besonders letztere werden von Kindern akzeptiert, ohne dass es dazu führt, dass die Zahnpaste übermäßig stark verschluckt wird. Zur Abrundung des Geschmacks werden den Zahnpasten Süßstoffe zugesetzt. Dabei wird natürlich kein Zucker verwendet. Zum Einsatz kommen vielmehr nicht von Plaquebakterien vergärbare Süßungsmittel, wie Saccharin, Aspartam oder Xylit.

### **Tenside, oberflächenaktive Stoffe (Schaumbildner)**

Tenside werden auch Detergentien, Schaumbildner oder oberflächenaktive Stoffe genannt. Das einzelne Molekül besteht aus einem hydrophilen und einem hydrophoben Ende. Dadurch sind Tenside in der Lage, Oberflächenspannungen herabzusetzen und durch sogenannte Micellenbildung fettige Stoffe im Wasser zu emulgieren. Die in den Zahnpasten verwendeten Detergentien stammen aus der Gruppe der anionischen Tenside, der kationischen Tenside und der Amphotenside. Hauptsächlich werden eingesetzt: Natriumlaurylsulfat, Natriumlauroylsarcosinat, Natriumsulforicinoleat, Natriumpalmitat, Natriumricinoleat, Cocamidopropylbetain Kokosfettalkohol, Polyethylenglykol, von Rizinusöl, Polyethylenglykol, Polyethylenstearat.

Den Zahnpasten werden sie aus folgenden Gründen zugesetzt:

1. Sie unterstützen die Reinigungswirkung einer Zahnpasta und halten die vom Zahn entfernte Plaque in Lösung.
2. Sie dienen als Lösungsvermittler für primär nicht wasserlösliche Substanzen, z.B. Aromatika.
3. Sie verringern die Oberflächenspannung des Speichels, wodurch eine bessere Benetzung der Zahnoberfläche stattfinden kann und z.B. Fluoride auch an sehr unzugängliche Stellen (Approximalräume, Fissuren) gebracht werden können. (CESLAVSKA und GRON, 1983)
4. Die schäumende Wirkung verursacht beim Benutzer ein Erfischungsgefühl. Dies ist zwar nur ein Nebeneffekt, den man in seiner motivierenden Wirkung jedoch nicht unterschätzen darf. So brach in einer Studie, in der Zahnpasten mit anderen Putzmitteln (Salz u.a.) verglichen wurden, etwa die Hälfte der Benutzer der Alternativpräparate die Untersuchung vorzeitig ab. In der Zahnpasta-Gruppe war die

Ausfallquote sehr viel niedriger. Es wurde angenommen, dass der vorzeitige Abbruch mit dem fehlenden schäumenden Effekt der Alternativpräparate zusammenhing. (DUDDING, DAHL, und MUHLER, 1960).

In Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass ein gewisser Tensidanteil die Reinigungskraft einer Zahnpasta erhöht (BETTERAY und RIETHE, 1973). Außerdem wird die Fluorideinlagerung in Zahnhartsubstanz durch einige Detergenzien beeinflusst (CESLAVSKA und GRON, 1983). Das am häufigsten in Zahnpasten eingesetzte Tensid ist Na-Laurylsulfat. Es wird in der Regel in einer Konzentration von 0,5 bis 2% verwendet. Eine Ausnahme bildet die Zahnpaste Ajona®, die einen Tensidanteil von 6,4% hat. Dieses Produkt kann bei längerem Gebrauch zur Aufquellung und histologischen Veränderung des Zahnfleisches führen. Na-Laurylsulfat erhöht die Durchlässigkeit der Schleimhaut, kann eine epitheliale Desquamation verursachen und verstärkt die Durchblutung der Gingiva (HERLOFSON et al., 1996). Zudem besitzt Na-Laurylsulfat eine antimikrobielle Wirkung (MORAN et al., 1983). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Tenside in Zahnpasten eine unterstützende Wirkung bei der mechanischen Zahnreinigung haben. Eine Konzentration von bis zu 2% ist als sinnvoll und unschädlich anzusehen. Diese Einschätzung wird vom Bundesgesundheitsamt und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK, 1994) geteilt.

### **Konservierungsmittel und plaquehemmende Substanzen**

Konservierungsmittel und antibakterielle Zusätze in Zahnpasten schützen vor mikrobiellem Befall und Zerfall. Insbesondere die Feuchthalte- und Bindemittel sind einer bakteriellen Kontamination ausgesetzt. Einige antibakterielle Zusätze hemmen die Plaquevermehrung und Neubildung auf den Zähnen. Bei ihnen muss jedoch sichergestellt sein, dass sie die normale Zusammensetzung der Mundflora nicht beeinträchtigen. Als Konservierungspräparate und plaquehemmende Mittel kommen folgende Substanzen in Frage: Natriumhydrogenkarbonat (Backpulver), p-Hydroxybenzoesäuremethylester (syn. Methylparaben), p-Hydroxybenzoesäurepropylester, Chlorhexidindigluconat



### **Farbstoffe-und pigmente**

In geringen Mengen werden den Zahnpasten Farbstoffe zugesetzt. Die strahlend weiße Farbe wird durch Beimengen von Titandioxid/Weisspigment erreicht. Andere Farbpigmente und Farbstoffe werden zur Einfärbung von mehrfarbigen Streifenzahncremes benutzt. Dies wird vor allem aus dem Grund gemacht, um den Zahnpasten ein interessantes Aussehen zu geben oder um auf eine Produktbesonderheit aufmerksam zu machen. Die am häufigsten verwendeten Farbstoffe sind: Patentblau V, Chlorophyllin (grün), Chinolingelb, C Rot 2, Monastral (rot), Amaranth (rot)

Die Farbstoffe sind nach der Kosmetik-Verordnung zugelassen und schleimhautverträglich.

### **Wirkstoffe, Wirksamkeit**

Zahnpasten als kosmetische Mittel haben, streng genommen, keine Heilwirkung, wie sie Arzneimitteln zu eigen sind. Sie wirken prophylaktisch und therapieunterstützend. Gemäß der Kosmetik-Verordnung dürfen in ihnen pharmakologisch wirksame Substanzen enthalten sein. Bei den meisten der heute auf dem Markt befindlichen Zahnpasten ist die Tatsache zu registrieren, dass sie aufgrund ihrer Wirkstoffe und ihrer Indikationsstellung eigentlich Arzneimittel sein müssten. Die Zahnpasten werden hinsichtlich ihrer pharmakologisch wirksamen Zusätze unterteilt in:

- Zahnpasten zum Schutz vor Karies
- Zahnpasten zur Festigung des Zahnfleisches
- Zahnpasten zum Schutz vor Zahnsteinneubildung
- Zahnpasten zum Schutz von empfindlichen Zahnhälsen
- Zahnpasten mit antibakteriellen Wirkstoffen

Die Wirkstoffe kann man unterteilen in:

- Plaquehemmende Wirkstoffe
- Gingivotrope Wirkstoffe
- Kariesprotektive Wirkstoffe
- Zahnsteininhibitoren

Bei der hier vorgenommenen Gruppeneinteilung ist jedoch festzustellen, dass sich mannigfache Überschneidungen ergeben. Um nur ein Beispiel zu nennen: Plaquehemmende Wirkstoffe können zugleich auch kariesprotektive Wirkstoffe sein.

### **2.1.5 Zahnpasten zum Schutz vor Karies**

#### Fluorid-Zahnpasten

Nach heutigem Erkenntnisstand ist die Anwendung von Fluoriden neben der zahngesunden Ernährung, der konsequenten Mundhygiene und regelmäßigen zahnärztlichen Kontrolle mit der Möglichkeit zur frühzeitigen Fissurenversiegelung als tragende Säule der Kariesprophylaxe anzusehen. Neben der systemischen Fluoridapplikation haben sich lokale Fluoridierungsmassnahmen wie z.B. die Verwendung fluoridhaltiger Zahnpasten als wirksam erwiesen (KLIMM et al., 1977). Fluoride werden verwendet, um die Demineralisation von Zahnhartsubstanzen durch Säuren zu verhindern (OSTROM et al., 1984; FEAGIN et al., 1980), und um die Remineralisation einer initialen kariösen Läsion zu fördern (ARENDS und TEN CATE, 1981). Fluorid ist daher zweifellos als der wichtigste Inhaltsstoff (Wirkstoff) in den Zahnpasten anzusehen. Am häufigsten werden Natriumfluorid und Aminfluorid zugesetzt, aber auch Natriummonofluorophosphat und Zinnfluorid kommen zum Einsatz. Der Wirkmechanismus von Fluorid ist an anderer Stelle detailliert beschrieben.

Fluoridgehalt in den Zahnpasten:

- Herkömmliche Zahnpasten: 1000 – 1500 ppm Fluorid
- Kinderzahnpasten: 250 – 500 ppm Fluorid

### **2.1.6 Zahnpasten zur Festigung der Gingiva**

Zur Kräftigung der Gingiva werden adstringierende, d.h. eiweißausfällende Zusätze verwendet. Einige Pflanzen enthalten Gerbstoffe, die durch Ausfällen der obersten Eiweißschicht der Schleimhaut adstringierend wirken. Es kommt zu einer örtlichen Gefäßverengung und

Schrumpfung des Gewebes, was zu seiner Straffung führt. Zur Kräftigung des Zahnfleisches werden folgende Substanzen zugesetzt: Aluminiumlaktat, Pflanzenextrakte wie Azulen, Arnika, Myrrhe, Salbei, Anis, Roskastanie, Vitamin A, Meeressalz.

Aluminiumlaktat gehört zur Gruppe der Adstringentien. Wie schon oben erwähnt wirken Adstringentien durch Kontraktion der oberflächlichen Blutkapillaren und durch Eiweissausfällung aus dem Speichel. Zahnfleischbluten kann so vorübergehend unterbunden werden. Adstringentien kurieren damit nur das Symptom, ohne die Ursachen des Zahnfleischblutens, die Plaque, zu beseitigen.

Die Pflanzenextrakte wirken in bestimmten Konzentrationen antiphlogistisch. Azulen wird besonders häufig verwendet. Es ist bekannt, dass nur einem der drei Isomeren des Azulens, dem Chamazulen, eine deutlich antiphlogistische Wirksamkeit zukommt.

Die Roskastanie enthält Saponine, die über seifenähnliche Eigenschaften verfügen. Sie erleichtern die Resorption anderer Wirkstoffe im Körper und haben eine schleimhautreinigende Wirkung durch Anregung der Speichelsekretion. Zugleich sind sie schmerzstillend und wirken einer Flüssigkeitsansammlung im Gewebe (Ödem) entgegen.

Vitamin A wird eine epithelabdichtende Wirkung und ein Verhornungsschutz zugeschrieben. Zusammenfassend ist zu den pflanzlichen Extrakten und entzündungshemmenden Zusätzen in Zahnpasten zu sagen, dass ihre Wirkung wegen zu niedriger Konzentration insgesamt zu vernachlässigen ist. Trotz ihrer vernachlässigbaren Wirksamkeit ist der Einsatz pflanzlicher Wirkstoffe in Zahnpasten als fragwürdig anzusehen. Die gewünschte Wirkung zielt fast ausschließlich auf eine Hemmung von Entzündungssymptomen. Eine Entzündung stellt jedoch eine Abwehrreaktion des Körpers auf einen bestehenden Reiz dar. Während bei akuten Entzündungen der Einsatz eines Antiphlogistikums zur Schmerzlinderung sicherlich sinnvoll ist, muss der ständige Einsatz entzündungshemmender Stoffe als schädlich angesehen werden, da sie zur Verschleierung eines Krankheitsbildes beitragen. (ZIMMER und SEEMANN, 1994).

### **2.1.7 Zahnpasten zum Schutz vor Zahnstein-Neubildung**

Zahnstein stellt wegen seiner rauhen und porösen Oberfläche eine optimale Anheftungsfläche für Plaque dar und ist somit ein wichtiger Cofaktor für die Entstehung von Gingivitis und Parodontitis. Deshalb wird seit über 40 Jahren versucht, durch Zusätze in Zahnpasten eine Hemmung der Zahnsteinbildung herbeizuführen. In heute erhältlichen Zahnpasten sind im

wesentlichen zwei Substanzgruppen vertreten: 1. Lösliche Pyrophosphate (Tetra-Na-Pyrophosphat/Tetra-K-Pyrophosphat) mit oder ohne Copolymer, 2. Zink-Verbindungen (Zinkzitrat/Zinkchlorid)

Diese Substanzen gehören zu den sogenannten Kristallisationsinhibitoren, d.h. sie verhindern das Kristallwachstum von Hydroxylapatit, einem wichtigen Bestandteil des Zahnsteins. Den Zinkverbindungen wird eine plaquehemmende Aktivität zugeschrieben, dabei entscheidend ist die Zink-Konzentration der verabreichten Lösung. Da menschliche Zahnhartsubstanz im wesentlichen aus den gleichen Grundbausteinen wie Zahnstein, nämlich Calcium und Phosphat besteht, liegt die Frage nahe, ob Kristallisationshemmer unerwünschte Auswirkungen auf die an der Zahnoberfläche stattfindenden Remineralisationsvorgänge haben. In wissenschaftlichen Untersuchungen haben sich jedoch keine Hinweise auf eine solche nachteilige Wirkung ergeben. Über die Wirksamkeit der heute Verwendung findenden Substanzen kann man Folgendes sagen:

Pyrophosphate haben ihre Fähigkeit, die Bildung supragingivalen Zahnsteins zu hemmen, in mehreren klinischen Studien bewiesen. Subgingivaler Zahnstein bleibt jedoch durch diese Stoffe unbeeinflusst (ZIMMER et al., 1994). Eine Zahnsteinfreiheit wird also nicht erreicht. Am Gingivalsaum, der im Hinblick auf parodontale Erkrankungen die sensibelste Stelle ist, bleiben in aller Regel Zahnstein und daran anhaftende Plaque zurück. Deshalb ist eine verminderte Zahnsteinbildung lediglich als kosmetischer Effekt zu sehen (BARBAKOW und IMFELD, 1989). MORAN et al. (2001) konnten in einem In-vivo-Versuch zeigen, dass nach dem Putzen mit einer Zinkzitrat-haltigen Zahnpaste die Plaqueproduktion reduziert ist. Bei Probanden, die diese Paste benutzten, hatte sich nach 96h signifikant weniger Plaque neu gebildet als bei Personen der Kontrollgruppe, die mit einer herkömmlichen fluoridhaltigen Zahnpaste putzten.

### **2.1.8 Zahnpasten zum Schutz hypersensibler Zahnhälse**

Jeder siebte erwachsene Patient leidet unter empfindlichen Zahnhälse (BISSADA, 1994). Im wesentlichen werden zwei mögliche Ursachen diskutiert:

1. Hydrodynamische Theorie: Durch Bewegung des Dentinliquors in den offenen Tubuli kommt es zu einer Reizbildung in der Pulpa. Die Bewegungen werden durch thermische, osmotische oder mechanische Reize verursacht. (BRANNSTRÖM, 1980).

2. Odontoblasten-Rezeptor-Theorie: Diese Auffassung stützt sich auf die Annahme, dass der Odontoblast eine spezifisch-sensorische Funktion hat und mit Nervenfasern der Pulpa eine synapsenähnliche Verbindung eingeht.

Folgende Substanzen werden eingesetzt: Fluorid, Strontiumchlorid, Kaliumchlorid, Kaliumzitrat, Hydroxylapatit, Aminfluorid in Verbindung mit Polyethylen

Strontiumchlorid:

Es wird angenommen, dass Strontiumchlorid aufgrund seiner starken Adsorption am Dentin in der Lage ist, Dentintubuli durch eine beschleunigte Rekalzifikation der Dentinmatrix zu verschliessen.

Aminfluorid in Verbindung mit Polyethylen:

Laut Erfahrungsbericht eines praktizierenden Zahnarztes erbrachte diese Substanz bei 25 von 35 Patienten nach dreiwöchiger Verwendung eine deutliche Reduktion bestehender Beschwerden (ADLIVANKINE, 1993).

Hydroxylapatit:

Durch Anwendung einer Hydroxylapatit-haltigen Zahnpaste konnte eine Besserung der Beschwerden beobachtet werden. Nach 4 Wochen waren 50% der Testteilnehmer beschwedefrei (HÜTTEMANN und DÖNGES, 1987).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass von allen angesprochenen Substanzen eine Wirkung bei der Behandlung überempfindlicher Zahnhäule zu erwarten ist. Da eine Linderung der Beschwerden nach Absetzen der entsprechenden Zahnpaste zumeist nicht anhält, müssen diese langfristig verwendet werden. Es muss daher darauf geachtet werden, dass sie Fluorid enthalten und nicht zu abrasiv sind (ZIMMER et al., 1994).

### **2.1.9 Zahnpasten mit antibakteriellen Wirkstoffen**

Das Spektrum der therapieunterstützenden Zusätze in Zahnpasten schließt in zunehmendem Maße Bestandteile ein, die sowohl karies- und parodontalprophylaktisch als auch desensibilisierend wirken. Wirkstoffe, die gegen die Mikroorganismen der supra- und

subgingivalen Plaque gerichtet sind, entfalten ihre Wirkung im wesentlichen durch Veränderung der bakteriellen Umweltbedingungen. So haben osmotische Konzentrationsverschiebungen, z.B. mit Hilfe von Natriumhydrogencarbonat oder die Sauerstoffabgabe aus Wasserstoffperoxid abtötende Wirkung auf Aerobier und Anaerobier der Plaque. Ein zweiter antibakterieller Ansatz verwendet das bekannte Chlorhexidindigluconat (CHX) als Zusatz in Zahnpasten (Parosan, Blend-a-med). Die bakteriostatische Wirkung des CHX setzt an den Zellwänden der Mikroorganismen an. Die wichtigsten antibakteriellen Wirkstoffe in Zahnpasten sind: Natriumhydrogencarbonat, Chlorhexidindigluconat (CHX), Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ), Triclosan, Peroxidase-Thiocyanat-Wasserstoffperoxid-System

### **Triclosan**

Als Alternative zum CHX, das sich als hocheffizient in der Reduktion der bakteriellen Mundkeime erwiesen hat, jedoch im Langzeitversuch eine Reihe von Nebenwirkungen zeigt (neben reversiblen, sekundären Pigmentierungen am Schmelz werden von Patienten auch Geschmacksirritationen sowie in schwereren Fällen Schleimhautveränderungen beklagt), wird der Wirkstoff Triclosan angesehen. Immer mehr auf dem Markt erhältliche Zahnpasten enthalten den Wirkstoff Triclosan. Triclosan wirkt stark bakteriostatisch und übt in der Kombination mit einem Copolymer eine gewünschte Retardwirkung aus. Diese soll bis zu zwölf Stunden andauern. Das hydrophil/hydrophobe System soll sich direkt am Gingivalsaum anlagern, um hier, am Ort des plaquebildenden Geschehens über Stunden die Wirksamkeit von Triclosan zu gewährleisten. ZHANG et al. (2003) konnten zeigen, dass nach Gebrauch einer Triclosan / Copolymer / Na-Fluorid-haltigen Zahnpaste eine höhere Fluoridkonzentration in der Plaque zu finden war als im Vergleich zu einer Na-Fluorid-haltigen Zahnpaste. Auch die Schmelzremineralisation war bei der Triclosan-haltigen Paste verbessert. In einer 2-Jahres-Studie in Israel wurde festgestellt, dass Probanden, die mit der Zahnpaste „Colgate Total“ putzten, welche 0,3 % Triclosan, 2 % Copolymer und 1450 ppm Fluorid enthält, eine signifikant geringere Zunahme an neuen kariösen Läsionen aufwiesen als Personen der Kontrollgruppe, die die Zahnpaste „Crest Cavity Fighting Toothpaste mit Fluoristat“ anwendeten. Da der Fluoridgehalt bei beiden Pasten identisch war, lässt dieses Ergebnis auf einen kariesprotektiven Effekt von Triclosan schliessen (MANN et al., 2001). HU et al. (1997) konnten in einer sechs monatigen Studie zeigen, dass die regelmässige

Anwendung einer Triclosan / Copolymer-haltigen Zahnpaste sowohl Plaquebildung als auch Gingivitis signifikant reduziert. Nebenwirkungen wurden nicht beobachtet. Ein weiterer positiver Effekt ist die Verringerung von Mundgeruch bis zu 12h nach dem Zähne putzen mit einer Triclosan-haltigen Paste, wie SHARMA et al. (1999) herausfanden.

#### Peroxidase-Thiocyanat-Wasserstoffperoxid-System

Ein weiterer Wirkstoff zur Bekämpfung oraler mikrobieller Infektionen besteht in der Ausnutzung speicheleigener antimikrobieller Systeme, die entweder durch Bestandteile in Zahnpasten aktiviert werden oder komplett darin enthalten sein können. Das Peroxidase-Thiocyanat-Wasserstoffperoxid-System wirkt antimikrobiell gegen Laktobazillen und *S. mutans* sowie gegen Hefepilze und einige Viren. Das eigentlich hemmende Hypothiocyanat entsteht unter enzymatischer Wirkung der Peroxidase aus Thiocyanat und Wasserstoffperoxid (TENOVUO und SÖDERLING, 1992). Hypothiocyanat hemmt bereits in geringen Konzentrationen (>100 µmol) den bakteriellen Metabolismus und das Plaquewachstum. Mit einem auf dem Markt erhältlichen Produkt (Biothene) wurden in vitro weit höhere Hypothiocyanat-Konzentrationen erreicht, und die Hemmung von *S. mutans* war annähernd mit einem Chlorhexidin-Gel (1%) vergleichbar (LUMIKARI et al. 1991). ROSIN und KRAMER (2002) untersuchten die Wirksamkeit einer Triclosan-haltigen Zahnpaste im Vergleich zu einer Zahnpaste, die das Peroxidase-Thiocyanat-Wasserstoffperoxid-System enthielt in Bezug auf Plaquebildung und Gingivitis. Sie fanden heraus, dass beide Produkte eine vergleichbare hemmende Wirkung zeigten.

#### **2.1.10 Weitere Wirkstoffe**

##### **Xylit**

Xylit ist ein Süßungsmittel, das wie viele andere Zuckeraustauschstoffe zur Stoffgruppe der Zuckeralkohole gehört, die auch Polyole genannt werden. Xylit ist als Substanz bereits seit 100 Jahren bekannt. Als erste haben der deutsche Chemiker E. Fischer und der französische Chemiker G. Bertrand im Jahre 1891 Xylit in Form eines Sirups durch Reduktion der Xylose,

des sogenannten „Holzzuckers“, im Laboratorium hergestellt. Xylit ist in der Natur weit verbreitet. Zahlreiche Früchte, Beeren und Gemüsearten enthalten geringe Mengen Xylit. Zunächst glaubte man in Xylit einen wegen seiner zuckergleichen Süßkraft besonders interessanten Zuckeraustauschstoff gefunden zu haben. Die meisten oralen Mikroorganismen sind nicht in der Lage, Xylit zu verwerten (KNUUTTILA und MÄKINEN, 1975). Es zeigte sich jedoch, dass Xylit als karieshemmendes Süßungsmittel in eine eigene Klasse zu stellen ist. Die günstigen kariostatischen Eigenschaften des Xylits scheinen zu einem großen Teil auf seine inhibierende Wirkung auf *Streptococcus mutans* zurückzuführen zu sein (HILDEBRANDT und SPARKS, 2000).

### Xylit in Zahnpasten

Bei drei Monate dauernden Vergleichsstudien mit Xylit oder Sorbit enthaltenden Zahnpasten zeigte sich, dass bei den Probanden, die eine 20% Xylit enthaltende Zahnpaste benutzten, im Vergleich zu denen, die eine Zahnpaste mit 20% Sorbit benutzten, die Plaque signifikant weniger bakterielle Polysaccharide enthielt und das Niveau an *Streptococcus mutans* im Speichel geringer war (SVANBERG und BIRKHED, 1991). Bei einer weiteren fünfwöchigen Studie, bei der Zahnpasten mit 10% Sorbit und 10 bzw. 5% Xylit verglichen wurden, ergab sich, dass der Gebrauch der xylithaltigen Zahnpasten bei den Probanden eine schwächere Haftung der Plaque an den Zähnen und ein vermindertes Plaqueswachstum bewirkte (KRÜGER, 1995).

### Calziumglycerophosphat

Calziumglycerophosphat (CGP) wird in Zahnpasten mit dem Ziel eingesetzt, die Wirkung von Natriummonofluorophosphat (NaMFP) zu verbessern. Es wurden zwei Studien und eine In-vitro-Untersuchung durchgeführt. In der ersten Studie wurde kein Unterschied zwischen einer Zahnpaste mit dem Zusatz CGP und einer normalen NaMFP-Paste gefunden. In der zweiten Studie, die über 4 Jahre lief, konnte zum Teil ein positiver Effekt des CGP nachgewiesen werden. In der In-vitro-Untersuchung wurde gezeigt, dass eine CGP-haltige Zahnpaste zu einer verbesserten Remineralisation führte im Vergleich zu einer identisch formulierten Paste ohne CGP. Aus diesen Untersuchungen ist zu schließen, dass die Kombination von



Calciumglycerophosphat mit NaMFP in einer Zahnpaste deren kariespräventiven Effekt eventuell verbessert (ZIMMER et al., 1994).

### **2.1.11 Whitening – Zahnpasten**

Weissmacher- oder Whitening-Pasten werden zur Entfernung starker Zahnverfärbungen angepriesen und ihr Marktanteil wächst. Hierbei ist zu beachten, dass diese Pasten lediglich zur mechanischen Entfernung von Verfärbungen dienen, nicht um die Zahnfarbe an sich aufzuhellen. IMFELD und SENER (1999) führten In-vitro-Versuche mit 11 verschiedenen Weissmacher-Pasten durch. Sie untersuchten deren Reinigungswirkung und Nebenwirkungen. Einige der geprüften Whitening-Pasten reinigten nicht besser als normale Zahnpasten, verursachten dabei aber mehr Dentin-Abrasion und eine stärkere Oberflächenanrauhung. Die von den Herstellern empfohlene Anwendungshäufigkeit war allgemein zu hoch. Personen mit freiliegenden Zahnhälsen sollten vom Gebrauch dieser Pasten eher absehen und sie keinesfalls regelmässig oder mehrmals täglich benutzen.

## **2.2 *Struktur des gesunden Dentins***

Dentin bildet die Hauptmasse der Zahnhartsubstanz. Nach innen umgibt es die Pulpa, nach aussen ist es koronal von Schmelz und apikal von Zement umfasst. Ein Zahn hat die Möglichkeit während seiner gesamten Lebensdauer Dentin zu bilden. Dentin, das bis zum Abschluss des Wurzelwachstums entsteht, wird Primärdentin genannt. Dentin, das regulär nach Abschluss des Wurzelwachstums gebildet wird, heisst Sekundärdentin. Irregulär gebildetes Dentin nennt man Tertiärdentin. Es wird aufgrund eines Reizes (z.B. Attrition, Karies, iatrogene Schäden) gebildet und wird deshalb auch Reizdentin oder Reparationsdentin genannt (HELLWIG et al., 1995). Man unterscheidet Kronen-, Wurzel-, und Manteldentin, zirkumpulpaes, peritubuläres und intertubuläres Dentin. Globulardentin und Interglobulardentin sind weitere Dentinstrukturen. Mineralisiertes Dentin besitzt spezifische

Strukturen wie Interglobularräume, Wachstums- und Schichtlinien sowie die Dentinkanälchen (SCHUMACHER, 1991).

Dentin besteht zu 70 Gew.% aus anorganischem Material. Dieses liegt in Form von Hydroxylapatitkristallen  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$  vor, die hauptsächlich aus Kalzium und Phosphat bestehen. Innerhalb des Gesamtdentins ist der Mineralisationsgrad unterschiedlich. Zu 20 Gew.% besteht Dentin aus organischem Material. Davon ist der Grossteil Kollagen, die restliche Masse besteht aus nichtkollagener Grundsubstanz und verschiedenen Plasmaproteinen. Die übrigen 10 Gew.% des Dentins macht Wasser aus.

Aufgrund der anorganischen Phase ist Dentin härter als Knochen, aber weicher als Schmelz, der zu 96-98 Gew.% aus anorganischem Material besteht. Dentin hat eine gelbliche Farbe und ist relativ flexibel. In einem Längsschnitt durch einen Zahn findet man verschiedene Zonen im Dentin. Die Odontoblasten liegen an der Pulpa-Dentin-Grenze. Es folgt nach peripher das nicht mineralisierte Prädentin, das Zwischendentin mit der Mineralisationsfront, das zirkumpulpale Dentin und anschliessend bis zur Schmelz-Dentin-Grenze das Manteldentin.

Odontoblasten differenzieren sich während der Zahnentwicklung aus Ektomesenchymzellen und sind wie Fibroblasten und Osteoblasten mit Bindegewebszellen verwandt. Sie stellen die funktionelle Einheit des Dentins dar und unterhalten es zeitlebens physiologisch.

Die Odontoblasten liegen in einer einzelligen Schicht in der Peripherie der Pulpa, wobei die Zellformen variieren. Die Fortsätze der Odontoblasten sind nach dem Londoner Zahnarzt TOMES (1815 – 1895) benannt und durchziehen das gesamte Dentin bis zur Schmelz-Dentin-Grenze. Die Fortsätze verlaufen in den Dentinkanälchen, die mit Flüssigkeit gefüllt sind. Die Dentinkanälchen sind von peritubulärem Dentin, dem am stärksten mineralisierten Dentin, umgeben. Peritubuläres Dentin ist homogen und dicht mit Apatitkristallen ausgefüllt, es enthält keine kollagenen Fasern. Zwischen den Dentinkanälchen liegt das intertubuläre Dentin, das zu 50 Gew.% aus Kollagen besteht. Die kollagenen Fasern verlaufen quer zu den Odontoblastenfortsätzen (HELLWIG et al., 1995). Die Anzahl der Dentinkanälchen beträgt im pulpanahen Bereich  $64000/\text{mm}^2$  und im peripheren Bereich  $16000/\text{mm}^2$  (SCHROEDER, 1987). Die Kanaldichte nimmt also nach aussen hin ab. Die Odontoblasten sezernieren das Prädentin, eine organische Grundsubstanz, das durch die Odontoblastenfortsätze transportiert und an der Kanalwand abgelagert wird (SCHUMACHER, 1991). So ist es zu erklären, dass der Durchmesser der Dentintubuli mit zunehmendem Lebensalter zugunsten der Hartschubstanz abnimmt. Dies kann zu einer vollständigen Obliteration der Kanälchen führen. Auslösende Faktoren für diesen Reparatur- und Schutzmechanismus können Reize unterschiedlicher Art sein. So können physikalische, bakterielle, mechanische und auch chemische Noxen, wie im

Falle einer Erosion, eine Obliteration der Kanälchen auslösen. Bis es jedoch zu einer Obliteration kommt, können erhebliche Schmerzen auftreten, die durch Bewegungen der Dentinflüssigkeit ausgelöst werden (BRANNSTRÖM, 1966).

Der in den Dentintubuli enthaltene Dentinliquor ist für den physiologischen Erhalt der Fortsätze von grosser Bedeutung (SCHROEDER, 1992). Die Odontoblastenfortsätze senden mehrere Seitenäste aus und gabeln sich im Manteldentin auf. Die Seitenäste, sog. Mikrovilli, sind ca. 0.35-0,6µm dick und reichen bis ins intertubuläre Dentin. Dort gehen sie mit Mikrovilli benachbarter Odontoblastenfortsätze Verbindungen ein. Die Dentinkanälchen verlaufen im koronalen Bereich s-förmig und im Bereich der Wurzel bis zur Zement-Dentin-Grenze geradlinig (THOMAS, 1983). Die Tubuli enthalten ausser den Faserfortsätzen und dem Liquor vereinzelt freie Nervenfasern, jedoch reichen diese nur bis ins Prädentin (HELLWIG et al., 1995; SCHROEDER, 1992).

Das zirkumpulpale Dentin macht den Hauptteil des Dentins aus. Es enthält eine mukopolysaccharidartige Grundsubstanz, Odontoblastenfortsätze und kollagene Fibrillen. Die Mineralisationsfront liegt in einem Abstand von etwa 20 µm zum Odontoblastenkörper. Hier beginnt die Mineralisation des synthetisierten Prädentins. Dieser Prozess wird aktiv von den Odontoblasten gesteuert. Sie bilden Kalzium und Phosphat enthaltende Granula, deren Kristalle in Form von Apatit ausfallen. Diese Apatitkristalle nehmen an Grösse und Zahl zu und breiten sich entlang der kollagenen Fibrillen aus. In einem rhythmischen Vorgang entstehen granulär-globuläre Mineralisationszentren, die später miteinander verschmelzen. Eine etwa 20 µm dicke Prädentinschicht bleibt zeitlebens unverkalkt (SCHUMACHER, 1991).

Das zirkumpulpale Dentin weist sog. von Ebnersche Linien auf. Es handelt sich dabei um Wachstumslinien, die die Ruhephasen der Odontoblasten während der Dentinentwicklung widerspiegeln. Diese hypomineralisierten Bereich verlaufen als konzentrische Kreise parallel zur Schmelz-Dentin-Grenze bzw. zur Pulpa-Dentin-Grenze. Allgemeinerkrankungen im Kindesalter, die mit einer verminderten Mineralisationsleistung der Odontoblasten einhergingen, zeichnen sich als breite, hypomineralisierte sog. Owen'sche Konturlinien ab (HELLWIG et al., 1995). Eine regelmässig auftretende Sonderform dieser Linien stellt die Neonatallinie dar. Sie entsteht sowohl im Schmelz als auch im Dentin zur Zeit der Geburt und ist die Grenzlinie zwischen prä- und postnatal gebildeter Zahnhartsubstanz. (SCHUMACHER, 1991).

### 2.3 *Definitionen nicht kariöser Zahnhartsubstandefekte*

Verschiedene destruktive Prozesse können neben der bakteriell bedingten Zahnkaries und traumatischen Ereignissen zu einem Zahnhartsubstanzenverlust führen. Diese Prozesse werden in der Literatur zumeist als Abrasion, Attrition, Demastikation, oder Abfraktion klassifiziert (IMFELD, 1996b; GALLIEN et al., 1994; GRIPPO, 1991). Es muß festgehalten werden, dass sich die verschiedenen auslösenden Prozesse überlagern können, so dass eine eindeutige ätiologische Zuweisung klinisch nicht immer möglich ist.

#### 2.3.1 Definitionen

##### Abrasion/Demastikation

Unter Abrasion versteht man einen mechanisch verursachten Zahnhartsubstanzenverlust. Der Zahnabrieb wird dabei durch ein weiteres Medium (z.B. Partikel aus Zahnpasta, Staub oder Nahrungsbestandteilen) hervorgerufen (LEVITCH et al., 1994; HICKEL, 1993; PÖLLMAN et al., 1987). Den Abtrag an Zahnhartsubstanz, der speziell durch Nahrungszerkleinerung ausgelöst wird, bezeichnet man als Demastikation. Die Ausprägung des Zahnhartsubstanzenverlustes wird dabei vor allem durch die Abrasivität der Nahrung beeinflusst (IMFELD, 1996b).

Zahnabrasionen im zervikalen Zahnbereich werden meist einer intensiven Zahnpflege mit zu kräftiger Anwendung der Zahnbürste zugeschrieben (LEVITCH et al., 1994; KÖNIG, 1990; KNIGHT, 1969). Im Interdentalbereich kann eine Abrasion durch den übermäßigen Gebrauch von Zahnzwischenraumbürsten oder Zahnstochern hervorgerufen werden (KÖNIG, 1990; MILLER, 1907a, b, c, d). Zahnabrasionen stellen sich häufig als konkave Vertiefungen mit einer glatten Oberfläche dar (KAIDONIS et al., 1992).

##### Attrition

Der Begriff Attrition beschreibt einen Verlust an Zahnhartsubstanz, der durch direkten Zahn-zu-Zahn-Kontakt hervorgerufen wird. Eine Attrition der Zahnhartsubstanz tritt bei heftigem

Zahnpressen und -knirschen (Bruxismus), aber auch beim Zahnkontakt während des Schluckens und Sprechens auf (XHONGA, 1977; KRAFT, 1961). Zahnattritionen stellen sich als scharf begrenzte, flache Oberflächendefekte dar. Sie werden im Bereich der Inzisalkanten und Okklusalfächen in beiden antagonistischen Zahnreihen beobachtet.

### Abfraktion

Mit dem Begriff der Abfraktion wird das klinische Bild eines keilförmigen Defektes im Bereich der Schmelz-Zement-Grenze beschrieben (GRIPPO, 1991). Die keilförmigen Defekte sind meist am vestibulären Zahnhals lokalisiert und weisen eine scharfkantige Grenze auf. Die Ätiologie keilförmiger Defekte ist noch nicht hinreichend geklärt. Als Ursache dieser Läsionen wird eine exzentrische Zahnüberbelastung diskutiert (BRAEM et al., 1992; HEYMANN et al., 1991). Durch diese Überbelastung wird der Zahn im Bereich des Zahnhalses gestaucht, wodurch Mikrofrakturen innerhalb des Zahnschmelzes und Dentins ausgelöst werden. Es wird angenommen, dass es bei weiterer Belastung zu einem Herausbrechen von Zahnhartsubstanzfragmenten kommt (LEE und EAKLE, 1996; GOEL et al., 1991).

### Erosion

Erosionen werden als oberflächlicher, durch chemische Prozesse hervorgerufener Zahnhartsubstanzverlust definiert, der ohne Beteiligung von Mikroorganismen entsteht (ECCLES, 1982a; PINDBORG, 1970). Erosionen entwickeln sich unter dem Einfluß von Säuren, die extrinsischer (z.B. Nahrung) oder intrinsischer (z.B. Magensäure) Herkunft sein können (JÄRVINEN et al., 1991; SCHEUZEL, 1990). Der damit verbundene Zahnhartsubstanzverlust tritt als schüsselförmige, nicht verfärbte, flache Vertiefung mit abgerundeten Begrenzungen auf. Er kann je nach Ätiologie der Läsion sowohl auf oralen als auch auf vestibulären freien Zahnoberflächen beobachtet werden (JÄRVINEN et al., 1992; ECCLES, 1982b; KORNFELD, 1932). In seltenen Fällen können die Läsionen auch subgingival liegen (BALANKO und JORDAN, 1990). XHONGA et al. (1972) haben geschätzt, dass Erosionen zu einem Zahnhartsubstanzverlust von ca. 1µm Tiefe pro Tag führen. Neuere Studien konnten mit quantitativen Messverfahren belegen, dass der durch

Erosionen bedingte Zahnhartsubstanzverlust zwischen verschiedenen Individuen stark schwankt. So registrierten BARLETT et al. (1994) bei Patienten mit Erosionen einen Zahnhartsubstanzverlust, der je nach Patient zwischen 17,6 und 108,2  $\mu\text{m}$  lag. Der Mittelwert des Abtrages dieser Probandengruppe betrug im Zeitraum von sechs Wochen 36,5  $\mu\text{m}$ . Dies entspricht einem Verlust von ca. 0,8  $\mu\text{m}$  pro Tag. Eine Patientenkontrollgruppe ohne Erosionen wies im gleichen Zeitraum einen mittleren Verlust von 3,7  $\mu\text{m}$  (0,08  $\mu\text{m}/\text{Tag}$ ) auf. In der Literatur werden für eine bestimmte Form der Erosion zusätzlich die Begriffe „Perimyolysis“ bzw. „Perimolysis“ verwendet. Diese Begriffe beschreiben einen an palatinalen Zahnflächen vorliegenden Zahnhartsubstanzverlust, der durch einen niedrigen pH-Wert am Zungenrandbereich bei gleichzeitiger muskulärer Hyperaktivität der Zunge ausgelöst wird (DAHL et al., 1993; ROST und BRODIE, 1960; HOLST und Lange, 1939).

Die beschriebenen Zahnhartsubstanzdefekte finden zunächst im Bereich des Zahnschmelzes statt und sind während dieser Zeit für den Patienten schmerzlos. Bei entsprechend langer Wirkdauer der ätiologischen Faktoren kann der Zahnschmelz aber vollständig entfernt werden. Die Zahnhartsubstanzdefekte greifen dann auf das Dentin über. Erosionen und Abrasionen können anschließend zu einem raschen Verlust an Dentin führen (MEURMAN et al., 1991; BARBAKOW et al., 1989; DAVIS und WINTER, 1980). Erst wenn das Dentin betroffen ist, klagen viele Patienten bei schnell fortschreitenden Erosionen oder Abrasionen über Hypersensibilitäten (LUSSI et al., 1992; ECCLES und JANKINS, 1974). Dabei wechseln sich oft Schmerzintervalle mit schmerzfreien Intervallen ab (HELLWIG et al., 1995).

### 2.3.2 Einteilung der Erosionen

Es wurden in der Vergangenheit verschiedene Systeme zur Einteilung und Beurteilung von erosiven Läsionen entwickelt. Diese Klassifizierungen basieren auf Kriterien bezüglich Schweregrad, Progredienz, Lokalisation und ätiologischen Faktoren.

ECCLES (1979) klassifizierte die erosiven Zahnhartsubstanzveränderungen in drei klinisch verschiedene Schweregrade:

Klasse I: oberflächliche Schmelzläsion

Klasse II: lokalisierte Läsion; Dentin liegt auf bis zu einem Drittel der Gesamtoberfläche frei

Klasse III: generalisierte Läsion; Dentin liegt auf mehr als einem Drittel der Gesamtoberfläche frei

Auf der Basis dieser Einteilung, des nicht erosionsspezifischen "Tooth Wear Index" von SMITH und KNIGHT (1984a) sowie eines von LINKOSALO und MARKKANEN (1985) vorgestellten klinischen Index entwickelten LUSSI et al. (1992) einen nach Schweregrad und Lokalisation differenzierenden Index für die klinische Untersuchung. Es konnte nachgewiesen werden, dass es bei dieser einfach zu handhabenden Einteilung zu guten Übereinstimmungen zwischen verschiedenen Untersuchern kommt. Die Einteilung erfolgt nach bukkalen, okklusalen und oralen Flächen:

#### Bukkale Erosionen:

- Grad 0: Keine Erosionen. Schmelz glänzend. Verlust der Perikymatien möglich.
- Grad 1: Flächenhafter Verlust von Schmelzsubstanz. Intakte Schmelzleiste zervikal des Defektes. Stufenbildung. Seidenglanz. Kein Dentinbefall.
- Grad 2: Dentin liegt auf weniger als der Hälfte der Zahnoberfläche frei.
- Grad 3: Dentin liegt auf mehr als der Hälfte der betroffenen Zahnoberfläche frei.

#### Okklusale Erosionen:

- Grad 0: Keine Erosionen. Schmelz glänzend. Verlust der Perikymatien möglich.
- Grad 1: Schwach ausgeprägte Erosionen. Gerundete Höcker. Seidenglanz. Füllungsrän­der erhaben. Dentin nicht befallen.
- Grad 2: Stark ausgeprägte Erosionen. Dentin ist befallen.

#### Palatinale/linguale Erosionen:

- Grad 0: Keine Erosionen. Schmelz glänzend. Verlust der Perikymatien möglich.
- Grad 1: Flächenhafter Verlust von Schmelzsubstanz. Seidenglanz. Intakter Schmelz zervikal des Defektes möglich. Dentin nicht befallen.
- Grad 2: Stark ausgeprägte Erosionen. Intakter Schmelz zervikal des Defektes möglich. Dentinbefall.

Eine weitere Einteilung unterscheidet nach dem Zustand des erosiven Prozesses in aktive und ruhende Läsionen (MANNERBERG, 1960, 1961; SCHWEIZER-HIRT et al., 1978). Aktive Läsionen können klinisch anhand ihres dünn auf dem freiliegenden Dentin auslaufenden Schmelzrandes erkannt werden. Bei schlechter Mundhygiene finden sich in diesem Rand kreidige Entkalkungsflecken, die auf eine erfolgte Demineralisation hinweisen. Bei guter Mundhygiene werden die entmineralisierten Bereiche häufig abradiert. Mikroskopisch weist dieser Rand ein dem Schmelz-Ätzmuster ähnliches Honigwabenmuster auf. XHONGA et al. (1972) konnten nachweisen, dass der Schmelzabtrag während einer aktiven, progredienten Phase bis zu 1µm betragen kann. Ruhende, verminderten Säureangriffen ausgesetzte Läsionen sind an ihren wulstigen Schmelzrändern zu erkennen, denen Kreideflecken und Honigwabenmuster fehlen.

Eine sich auf vestibuläre Glattflächen beschränkende Einteilung unterscheidet lediglich Früh- und Spätläsionen. Spätläsionen haben das Dentin erreicht und können aufgrund äußerer Einflüsse (z.B. Nikotin) gelb oder braun verfärbt sein. Früh- oder Schmelzläsionen entsprechen einer Eccle-Klasse I, die Spätläsionen entsprechen den Eccle-Klassen II und III (SCHROEDER, 1997).

## **2.4 Erosive Zahnhartsubstanzveränderungen**

### **2.4.1 Veränderungen im Schmelz**

Das heutige Wissen über die Pathologie der Schmelzerosionen basiert maßgeblich auf Erkenntnissen aus den Bereichen der Kariologie und der adhäsiven Füllungstherapie mit der Schmelz-Ätz-Technik (MEURMAN und TEN CATE, 1996). Die initiale Phase der oberflächlichen Demineralisation bei Karies und Erosion verläuft identisch. Während der schwach saure, kariöse Angriff an der plaquebedeckten Oberfläche in einer Tiefendemineralisation mit pseudointakter Oberfläche resultiert, kommt es bei der Erosion zu einem irreversiblen Verlust der obersten Schmelzschicht (KÖNIG, 1987). Das Ausmaß des Substanzverlustes hängt von der Art der Säure, der Einwirkzeit und auch dem Schmelztyp ab (HERMSEN und VRIJHOEF, 1993; AMAECHI et al., 1999). So kann man bei vierstündiger Exposition von Rinderschmelzproben in Orangensaft einen Substanzverlust von



durchschnittlich 14 µm beobachten (RYTÖMAA et al., 1988). Die Säure dringt aber auch entlang der Diffusionswege in die Tiefe des Schmelzes und führt dort zu einer Zerstörung der Prismenstrukturen. Dadurch resultiert eine Tiefendemineralisation des Schmelzes. So beobachteten Zero et al. (1990) eine ca. 15 µm tiefe Demineralisation nach 45minütigem Einlegen von Schmelzproben in 0,05 mol Milchsäurelösung (pH-Wert: 4,75). Untersuchungen von ATTIN et al. (1997b) führten zu einer ca. 20 µm tiefen Demineralisation nach 15minütigem Einlegen von Rinderschmelzproben in ein saures Getränk mit einem pH-Wert von 2,84.

Zahlreiche Studien konnten zeigen, dass diese Demineralisation zu einer deutlichen Erweichung der Schmelzoberfläche führt (SORVARI et al., 1994; LUSSI et al., 1993; MEURMAN et al., 1990a,b; ZERO et al., 1990; AESCHBACHER, 1967). MEURMAN und FRANK (1991a) konnten nach einem 15minütigem Einlegen von Schmelzproben in ein maleinsäurehaltiges Getränk keinen Anhalt für einen erosiven Defekt erkennen. Dahingegen waren nach 15 Minuten bei in phosphorsäurehaltigen Getränken liegenden Proben leichte, bei in zitronensäurehaltigen Getränken liegenden Schmelzproben deutliche Läsionen zu beobachten. Nach 60 min waren an allen Proben unabhängig von der Säure deutliche Defekte sichtbar. Rasterelektronenmikroskopisch konnte initial eine Auflösung der Prismenscheiden und Prismenzentren beobachtet werden. Nach längerer Einwirkzeit kam es aber überwiegend zu einer Auflösung der interprismatischen Substanz. Aprismatischer Schmelz zeigte ein irreguläres Ätzmuster. Der erosive Schmelzdefekt entspricht somit dem von ARENDS und CHRISTOFFERSEN (1986) beschriebenen frühen Stadium einer initialen kariösen Schmelzläsion. Die pseudointakte Oberflächenschicht wird bei einer Erosion von Schmelz in einem sauren Getränk polarisationsmikroskopisch jedoch nicht beobachtet (ATTIN et al., 1997b).

Auf molekularer Ebene beginnt die Demineralisation mit einer Störung des chemischen Gleichgewichtes zwischen Schmelz und Speichel. Dieses Gleichgewicht beruht auf einer Übersättigung des Speichels an Hydroxylapatit bei neutralem pH-Wert (THYLSTRUP und FEJERSKOV, 1994). Sinkt bei einem Säureangriff der pH-Wert auf einen Wert zwischen 4,5 und 5,5 ab, so liegen die Phosphationen überwiegend in protonierter Form vor. Der Speichel gilt nun als an Hydroxylapatit untersättigt, aber noch an Fluorapatit übersättigt. Kalzium und Phosphat wandern entlang des Konzentrationsgradienten in Richtung Schmelzoberfläche, wo sie zum Teil repräzipitieren. Es resultiert eine kariöse Läsion (LARSEN, 1990, 1991). Bei einem Absinken des pH-Wertes unter einen Wert von 4, wie es bei einem Säureangriff durch

eine in sauren Getränken enthaltene Säure gegeben ist, kommt es zu einer Untersättigung des Speichels in Bezug auf Hydroxyl- und Fluorapatit. Es resultiert eine Erosion. Die angreifende Säure protoniert Orthophosphate, Karbonate oder Hydroxylionen des Schmelzapatits zu Phosphat- und Karbonationen oder Wasser. Diese gehen als Anionen in Lösung. Aufgrund der negativen Ladung der Kristalloberfläche wandern die aus dem instabilen Apatit freigesetzten, positiv geladenen Kalziumionen in die Umgebung der Kristalle (GRAF, 1953). Auch hier gelangen die Ionen entlang des Konzentrationsgradienten in den Speichel. Bei einem Angriff durch Komplexbildner, z.B. Zitronensäure, kommt es zu einer stärkeren Demineralisation (BROSOWSKY, 1966). Zitronensäure hat eine hohe Affinität zu Kalzium. Bei einem Säureangriff kommt es daher einmal zur Ausbildung eines Kalziumzitratsalzes umgekehrt proportional zum pH.

Weiterhin kommt es pH-unabhängig zu einer Komplexierung des Kalziums und so zu einem Entzug freien Kalziums aus dem den Schmelz umgebenden Speichel (ELSBURY, 1952). Dies verhindert die Einstellung eines Gleichgewichtes und fördert die weitere Freisetzung von Kalzium- und Phosphationen aus dem Schmelz. BASHIR et al. (1995b) und Bashir und LAGERLÖF (1996) untersuchten den Einfluß von Zitronensäure auf die Hydroxylapatitsättigung des Speichels und die Geschwindigkeit der Speichelclearance der Zitronensäure. In beiden Fällen wurde eine stark individuelle Ausprägung festgestellt. Zu einer Remineralisation, wie sie bei der Karies bekannt ist, kommt es bei erosiven Defekten nicht. Vielmehr muß das Auftreten einer Erhärtung bereits erweichter Oberflächen als Folge einer Einlagerung schwer säurelöslicher Kalziumphosphate angesehen werden (IMFELD, 1996b).

#### **2.4.2 Veränderungen im Dentin**

Die Demineralisation von Dentin durch Exposition mit Säure folgt anderen Mechanismen als im Schmelz. Leider sind die säureinduzierten Veränderungen im Dentin nicht so umfassend geklärt wie die Veränderungen im Schmelz. Auch Studien über die Kariesprogredienz im Dentin sind nicht mit dem Verhalten von Dentin beim Einwirken erosiver Noxen zu vergleichen. VANUSPONG et al. (2002) führte Demineralisationsversuche am Dentin retinierter Weisheitszähne durch. Das Ziel dieser In-vitro-Studie war, den Einfluss von Zitronensäure auf Dentin zu ermitteln. Dabei variierten die pH-Werte der Säure von 2,54 bis

---

6,0. Die Einwirkzeit betrug zwischen 2 und 4 Stunden. Es wurde gezeigt, dass die Zitronensäure unabhängig von pH-Wert und Einwirkdauer, die Schmierschicht auf der Dentinoberfläche entfernte und die Tubuli offen lagen. Die Dentinoberfläche wurde erweicht. Eine Einlagerung der demineralisierten Proben in künstlichem Speichel für 24 h führte zu keiner Veränderung der Oberflächenhärte. Daraus lässt sich schliessen, dass Dentin schlecht remineralisierbar ist. Auch WHITE et al. (2001) fand heraus, dass Säure die Oberfläche von Wurzeldentin erweicht. Jedoch kommt es nur zu einem geringen Substanzverlust solange das demineralisierte Kollagengerüst hydratisiert bleibt. MEURMAN et al. (1991) konnten anhand des koronalen Dentins dritter Molaren zeigen, dass es zunächst zu einer Demineralisation des peritubulären Dentins kommt. Mit längerer Einwirkzeit (60 min) der verschiedenen Säuren wurde auch das intertubuläre Dentin aufgelöst, zusätzlich wurden die Dentintubuli signifikant erweitert. Da sich die Flüssigkeitssäule in den offenen Tubuli bewegen kann, erklärt diese Beobachtung möglicherweise den Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Erosionen und hypersensiblen Zähnen. Auch HANNIG (1993) berichtet von einer partiellen Eröffnung der Dentintubuli nach der Behandlung mit Acetylsäure und Zitronensäure. In Abhängigkeit von der Konzentration der jeweiligen Testlösung wurde nach 5- bzw. 15-minütiger Einwirkung eine vollständige Eröffnung der Dentintubuli beobachtet. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass der Inhalt der Tubuli herausgelöst und die Dentinoberfläche erosiv abgetragen wurde. Der Bürstabtrag von säuregeschädigtem Dentin ist im Vergleich zum Schmelz erhöht. Ein Grund für diese Beobachtung könnte in der Tatsache begründet sein, dass der kritische pH-Wert des Dentins bei 6,5 und der des Schmelzes bei 5,5 liegt. Somit entsteht früher eine erweichte Schicht, die dann abgebürstet werden kann. GANSS und KLIMEK (2000) führten eine In-vitro-Studie mit retinierten menschlichen dritten Molaren durch. Schmelz-, Dentin-, und Wurzeldentinproben wurden in 0,05 M Zitronensäure für 3 h eingelegt. Ein Teil der Proben hatte eine polierte Oberfläche, die anderen Proben blieben unbehandelt. Anschliessend wurde der Substanzverlust profilometrisch bestimmt. Es zeigte sich, dass die natürlich belassenen Proben generell einen signifikant geringeren Hartschubstanzverlust aufwiesen als die polierten Proben.

## **2.5 *Epidemiologische Daten zum Auftreten von Zahnerosionen***

Britische Funde prähistorischer Skelette zeigen, dass es sich bei dem klinischen Erscheinungsbild der Erosion nicht um eine Erkrankung der Neuzeit handelt. ROBB et al. (1991) nahmen bei 20 der 151 untersuchten Schädel Erosionen als Hauptursache der Zahnhartsubstanzzerstörung an. Aufgrund der unbestrittenen zivilisatorischen Komponente bei der Entstehung von Erosionen und der verlängerten Lebenserwartung der Zähne stufen immer mehr Autoren die Erosion als ein zunehmendes Problem ein (LUSSI et al., 1992; NUNN, 1996). Trotzdem gibt es wenige Untersuchungen, die Aussagen über die Verbreitung von Erosionen machen können. Unterschiede in der Auswahl des Designs, der Bewertungskriterien und Indizes dieser Untersuchungen erschweren einen Vergleich der Resultate. Den Hauptanteil der in der Literatur vertretenen epidemiologischen Studien machen Fallberichte aus, die eher anekdotischen Charakter haben. Dabei wird anhand einiger weniger Fälle von Erosionen versucht, retrospektiv die zugrunde liegende Ursache zu finden. Desweiteren finden sich Studien, die die Häufigkeit des Auftretens von Erosionen in ätiologisch mit Erosionen assoziierten Bevölkerungsgruppen untersuchen. Zu diesen "Risikogruppen" zählen unter anderem Patienten mit Eßstörungen, Fabrikarbeiter und Alkoholiker. Einige kontrollierte Fallstudien und Prävalenzstudien zeigen die Verbreitung von Erosionen innerhalb regionaler und nationaler Bevölkerungsgruppen mit zumeist klaren Unterteilungen in Altersgruppen auf.

### **2.5.1 Prävalenz von Erosionen in "Risikogruppen"**

Zu einer in der vergangenen Jahren größer gewordenen Gruppe gehören die Patienten mit Eßstörungen. Dazu zählen vor allem Bulimie mit einer Prävalenz von 2-5% und Anorexia nervosa mit einer Prävalenz von 1-2% in den westlichen Industrienationen (SCHEUTZEL, 1996; SCHMIDT und TREASURE, 1997).

In einer der ersten Studien über das Ausmaß dentaler Probleme bei Patienten mit Eßstörungen wurden 39 Patienten mit Anorexia befundet. Von diesen handelte es sich bei 27 Patienten um eine Anorexie mit täglichem Erbrechen. In einer gesamten Gruppe konnten mittlere und schwere Erosionen v.a. der palatinalen Oberkieferfrontzähne und in einigen Fällen auch vestibulär festgehalten werden. Unter den übrigen Teilnehmern wurden nur drei leichte Fälle von Erosionen festgestellt. Insgesamt wiesen also 30 (79%) der Untersuchten Erosionen auf

HELLSTRÖM, 1977). Ähnliches ergab eine Studie von HURST et al. (1977). Von 17 Anorexie-Patienten gaben 10 regelmäßiges Erbrechen an. Sieben der Patienten (70%) wiesen Erosionen auf, während in der anderen Gruppe nur ein Patient mit erosiven Läsionen diagnostiziert wurde. JONES und CLEATON-JONES (1989) untersuchten Vorkommen und Ausmaß von Erosionen bei 11 Bulimikern und einer 22köpfigen Kontrollgruppe. 69% der Zähne der Bulimiker wiesen Erosionen auf, die in Ausdehnung und Tiefe die Erosionen der Kontrollgruppe übertrafen. Dabei handelte es sich v.a. um die Palatinalflächen der oberen Inzisivi sowie um die Vestibulärflächen der Molaren. Die Zähne der Patienten der Kontrollgruppe wiesen nur in 7% der Fälle erosive Defekte auf. Bei der Untersuchung von 122 Personen mit Eßstörungen (Bulimie, Anorexie mit und ohne Erbrechen) konnten für alle Erkrankungsformen signifikant mehr Erosionen (43,7% der Zahnflächen) als in der Kontrollgruppe (12,6% der Zahnflächen) festgestellt werden (ROBB et al., 1995). Auch bei dieser Studie wiesen die Erkrankungsformen mit Erbrechen deutlich mehr Erosionen auf. Ein ähnliches Ergebnis zeigt die Studie von MILOSEVIC und SLADE (1989). Von 58 Patienten mit Eßstörungen waren 18 Patienten mit Anorexie und 40 Bulimiker, von denen 33 regelmäßig erbrachen. 42% der Bulimiker mit Erbrechen zeigten Erosionen. In der übrigen Gruppen lag der Anteil bei 28% bzw. 33%. 94% der Patienten der Kontrollgruppe wiesen keine pathologischen Hartschubstanzverluste auf. Eine Gruppe von 35 Bulimikern wurde von RYTÖMAA et al. (1998) mit einer Kontrollgruppe mit 105 Teilnehmern verglichen. 21 Bulimiker (60%) wiesen milde und mittlere Erosionen vor allem an den oberen Schneidezähnen auf. In der Kontrollgruppe konnten 21 Fälle (11,4%) mit erosiven Läsionen entdeckt werden. Die aktuellste Studie berichtet von 81 Patienten mit Eßstörungen (davon 43 Patienten mit regelmäßigen Eß-Brech-Attacken). 79 (97,6%) Patienten wiesen leichte und mittlere Erosionen vor allem der inzisalen und okklusalen Flächen auf (ÖHRN et al., 1999). Anders ist die Verteilung von Erosionen bei Patienten mit Anorexie ohne Erbrechen und Bulimikern in einer Studie von ROBERTS und LI (1987). Während in der Mehrzahl der vorgestellten Studien bei den mit Erbrechen verbundenen Erkrankungsformen ein deutlich höherer Erosionsbefall beobachtet werden konnte, wiesen in der vorliegenden Studie 6 der 17 Patienten mit Anorexie (35%) und 10 der 30 Patienten mit Bulimie (33%) Erosionen der Palatinalflächen der Inzisivi auf. Die Autoren vermuten, daß es auch bei einem großen Anteil der als Anorektiker eingestuften Patienten zu Erbrechen kommt.

Die obengenannten Studien machen ein verstärktes Auftreten von Erosionen in mit Erbrechen verbundenen Erscheinungsformen von Eßstörungen deutlich. Bei allen aufgeführten Untersuchungen wurden neben dem dentalen Befund einige weitere Befunde bezüglich

Speichelparameter, Ernährungsgewohnheiten usw. erhoben. Dabei wurde eine Reduktion des unstimulierten Speichelflusses bei Patienten mit Erosionen in einigen Studien beobachtet. Der in fast allen Studien erhöhte Kariesbefall und Zahnverlust in den Risikogruppen wirft die Frage nach einem Zusammenhang mit Erosionen auf. In den jüngeren Studien konnten auch in den Kontrollgruppen Erosionen nachgewiesen werden. Ob das mit einer ausgereifteren Diagnostik oder einer Zunahme der Erosionen in der Gesamtbevölkerung zusammenhängt, kann nicht beantwortet werden.

Auch bei Patienten mit Erkrankungen des oberen Gastrointestinaltraktes kann es zu vermehrtem Auftreten von Magensäure in der Mundhöhle kommen. MEURMAN et al. (1994) fanden bei 28 von 117 (24%) Patienten erosive Läsionen der Zähne. JÄRVINEN et al. (1988) untersuchten 109 Patienten mit diversen Erkrankungen des oberen Gastrointestinaltraktes. Nur bei 35 Patienten kam es dabei zu einem Reflux von Magensäure. In dieser Gruppe wiesen 9 Patienten erosive Defekte auf. Bei der Untersuchung des Auftretens von Erosionen bei 53 Kinder (4-16 Jahre) mit gastrooesophagealem Reflux konnten O'SULLIVAN et al. (1998) nur bei 9 Kindern (17%) erosive Zahnschäden nachweisen, was unterhalb der Ergebnisse des „NATIONAL UK SURVEY“ (1993) (s.u.) bei gesunden Kindern liegt. Die Erosionsformen waren mild und maßgeblich auf die oberen Frontzähne beschränkt. Eine Untersuchung von 51 Kindern mit zerebraler Lähmung und Refluxerscheinungen stellte bei 25 Kindern Erosionen fest, die nach Ansicht der Autoren mit dem Reflux in Zusammenhang stehen (SHAW et al., 1998).

Reflux und morgendliches Erbrechen bei chronisch Alkoholkranken verursachen bei vielen Alkoholikern Erosionen (SMITH und ROBB, 1989; SIMMONS und THOMPSON, 1987). In einer Untersuchung von 37 Alkoholkranken fanden sich bei 34 Patienten (92%) Zahndefekte erosiver Natur (ROBB und SMITH, 1990). Dabei waren bei 15 Teilnehmern (40,5%) vor allem die palatinalen Flächen der oberen Inzisivi betroffen. HEDE (1996) untersuchte 153 dänische Alkoholiker auf Erosionen und konnte bei 22,9% der Patienten solche nachweisen. Der hohe Gesamtwert in der Studie von ROBB und SMITH (1990) ist wahrscheinlich mit der Anwendung eines nicht erosions-spezifischen Indexes (TWI) zu erklären.

Eine weitere, vielzitierte Studie soll hier in den Rahmen der intrinsischen Faktoren als Vertreter der mit Erosionen vergesellschafteten metabolischen Erkrankungen eingeordnet werden. XHONGA und VAN HERLE (1973) verglichen 30 an Hyperthyreose leidende Patienten mit einer ebenso großen Kontrollgruppe. Dabei wiesen 14,2% der Zähne der hyperthyreoden Patienten Erosionen auf, wohingegen nur 5,2% der Zähne der Kontrollgruppe

befallen waren. Betroffen waren vor allem die vestibulären Flächen der Zähne mit einer annähernd gleichen Verteilung auf Ober- und Unterkiefer. Als Ursache wird eine hormonell bedingte Reduktion des Speichelflusses angesehen.

Bei den exogenen Einflüssen auf die Erosionsentstehung spielen Speisen und Getränke eine große Rolle. Aufgrund der Schwierigkeit, Ernährungsmuster definierten Gruppen zuzuordnen, handelt es sich bei der Mehrzahl der Studien in diesem Bereich um anekdotische Fallstudien und nur in wenigen Fällen um epidemiologische Studien. LINKOSALO und MARKKANEN (1985) verglichen das Auftreten von Erosionen in einer Gruppe Laktovegetarier mit einer Kontrollgruppe. In der Gruppe der Laktovegetarier, die sich häufig von essighaltigen Produkten, Beeren und Zitrusfrüchten ernährten, hatten mehr als 75% der Patienten erosive Defekte. In einer Kontrollgruppe traten keine Erosionen auf. Die Untersuchung von 130 Patienten, die sich zu mehr als 95% von rohen Nahrungsmitteln ernähren, ergab bei 37,2% der Patienten mindestens einen moderaten, bei 60,5% mindestens einen schweren erosiven Defekt an den Zähnen. Nur 2,3% der Patienten der Untersuchungsgruppe wiesen keine Erosionen auf. Dahingegen waren in der Kontrollgruppe 13,2% ohne Erosionsbefall. Jedoch wiesen auch 55,2% der Teilnehmer der Kontrollgruppe mindestens einen moderaten, aber nur 31,6% einen schweren Defekt auf (GANSS et al., 1999).

Eine weitere „Risikogruppe“ bezüglich exogener Einflüsse stellen Arbeiter dar, die an ihrem Arbeitsplatz permanent anorganischen Säuredämpfen ausgesetzt sind. In einer großangelegten Studie untersuchte TEN BRUGGEN CATE (1968) im Zeitraum von März 1962 bis Oktober 1964 555 Arbeiter in mit verschiedensten Säuren arbeitenden Fabriken im Norden Englands. Der lange Beobachtungszeitraum erlaubte ein mehrmaliges Untersuchen der Arbeiter. Bei 20,4% der mehrmals Befundeten konnte ein Fortschritt der Läsion festgestellt werden. Am schwersten betroffen waren Arbeiter, die mit Schwefelsäure konfrontiert waren. Insgesamt konnten 167 Fälle (31,7%) von Erosionen festgestellt werden. Bei 33 Teilnehmern reichte die Läsion sogar bis ins Dentin. Dagegen wies keiner der 293 Arbeiter der Kontrollgruppe aus säurefreien Bereichen erosive Läsionen auf. Eine Untersuchung in einer norwegischen Zinnfabrik ergab, dass bei sieben von zwölf der untersuchten Arbeiter Erosionen der Zahnhartsubstanz auftraten. Diese Erosionen befanden sich vorwiegend an den oberen Schneidezähnen (SKOGEDAHN et al., 1977). TUOMINEN und TUOMINEN (1991) untersuchten 157 zufällig ausgewählte Arbeiter aus vier Fabriken, von denen 76 in säureverarbeitenden Abteilungen arbeiteten. Von diesen wiesen 20 (12,7%) einen oder mehrere Zähne mit erosiven Defekten auf. Bei 15 dieser Arbeiter beschränkten sich die Erosionen ausschließlich auf die Frontzähne. Bei einer Untersuchung von 61 Arbeitern einer

deutschen Batteriefabrik, die mit Schwefelsäure arbeiteten, konnte eine Erosionsprävalenz von 31% festgestellt werden (PETERSEN und GORMSEN, 1991). Einen ähnlichen Wert ergab die Untersuchung von 134 Arbeitern einer japanischen Chemiefabrik. Der Prozentsatz der betroffenen Arbeiter lag bei 30,6% (GOTO et al., 1996). In allen Studien wurden erosive Defekte vornehmlich in der Oberkieferfront gefunden.

In fast allen durchgeführten Untersuchungen bei den obengenannten „Risikogruppen“ wurden weitere Befunde zur Zahngesundheit und Krankengeschichte erfasst. Die Kontrollgruppen wurden zur besseren statistischen Vergleichbarkeit überwiegend in Alter und Geschlecht mit den „Risikogruppen“ in Übereinstimmung gebracht.

### **2.5.2 Prävalenzstudien**

Originäre Prävalenzstudien sind Studien, bei denen in einer repräsentativen Stichprobe Prävalenzdaten erhoben werden, um einen Hinweis auf die Häufigkeit des Auftretens von Erkrankungen in der Gesamtbevölkerung zu bekommen. Ergebnisse aus den Kontrollgruppen der oben aufgeführten Studien zur Erosionsprävalenz in „Risikogruppen“ können bei einer Betrachtung der Verbreitung von Erosionen in der Gesamtbevölkerung aber zusätzlich zu originären Prävalenzstudien miteinbezogen werden.

Die früheste originäre Prävalenzstudie, die die Verbreitung von Erosionen in der Bevölkerung untersuchte, wurde von SOGNAES et al. (1972) an 10 000 extrahierten Zähnen durchgeführt. 1700 der untersuchten Zähne (18%) wiesen erosive Läsionen auf, wobei untere Inzisivi am häufigsten betroffen waren. Ein ähnliches Ergebnis (25% Prävalenz) erbrachte eine Untersuchung von XHONGA und VALDAMIS (1983), in der 527 Patienten (1500 Zähne) im Hinblick auf Erosionen untersucht wurden. Die 255 Patienten aus Los Angeles und 272 aus Boston wurden vor Ort jeweils von einem Behandler befundet. Es fand allerdings wie auch schon in der Untersuchung von SOGNAES et al. (1972) keine Unterteilung in Alterklassen und keine klare Abgrenzung zwischen abrasiven und erosiven Defekten statt.

LUSSI et al. (1991) fanden in einer Studie an 391 zufällig ausgewählten Probanden in der Schweiz eine relativ hohe Prävalenz. Sie beobachteten bei 7,7% der jüngeren (26-30 Jahre) und 13,2% der älteren Untersuchten (46-50 Jahre) vestibulär gelegene Erosionen. Linguale Zahnflächen waren bei 3,6% der jüngeren und 6% der älteren Probanden betroffen. Die lingualen Läsionen waren meist oberflächliche Erosionen im Bereich des Schmelzes, ohne dass eine Exposition von Dentin vorlag. Im Bereich der Okklusalfächen lagen bei 29,9% der



jüngeren und 42,6% der älteren Untersuchten Erosionen vor, bei denen Dentin exponiert war. Defekte der facialen Zahnoberflächen wurden bevorzugt an Eckzähnen und Prämolaren des Oberkiefers beobachtet. Die Autoren stellten fest, dass der Schweregrad der erosiven Läsionen mit zunehmendem Alter anstieg. Eine eindeutige Unterscheidung zwischen Abrasion und Erosion ist sehr schwierig, da einer Abrasion von Zahnschmelz eine erosive Erweichung der Zahnoberfläche vorausgehen kann. In einer weiteren großangelegten Studie wurden 1007 Patienten in Großbritannien untersucht (SMITH und ROBB, 1996). In sechs Altersgruppen wurden die Zähne unter dem Gesichtspunkt „Abtrag bis zu einem inakzeptablen Ausmaß“ betrachtet. Unter den 15-26jährigen waren 5,73%, bei den 56-65jährigen 8,19% und in der Altersgruppe über 65 waren 8,84% der Zahnflächen dementsprechend zerstört. Die dazwischenliegenden Altersgruppen (26-35, 36-45, 46-55) wiesen eine geringere Prävalenz zwischen 3,37% und 4,62% auf (SMITH et al., 1997).

Trotz der unbestrittenen Zunahme der Erosionen weisen manche Studien geringere Prävalenzdaten auf. BRADY und WOODY (1977) untersuchten die Dentitionen von 900 Zahnärzten nach sichtbaren Erosionen. Die Prävalenz lag bei 5,3%. Von diesen 48 Probanden mit Erosionen wurden Modelle angefertigt, die dann mikroskopisch nachuntersucht wurden. In 62% der Fälle waren die ersten Prämolaren betroffen. 68% der Läsionen waren tief. Von 300 Patienten der Altersklasse 16-35 in einer ostdeutschen Studie über nichtkariöse Zahnhartsubstanzverluste konnten bei 4% der Patienten Erosionen nachgewiesen werden (NATUSCH und KLIMM, 1989). In einer kontrollierten finnischen Fallstudie wurden 106 Patienten mit Erosionen und 100 zufällig ausgewählte Patienten nach strikt festgelegten Kriterien untersucht. Die Prävalenz in der Kontrollgruppe, von der in diesem Fall Schlüsse auf die Verbreitung von Erosionen in der Gesamtbevölkerung gezogen wurden, lag bei 5% (JÄRVINEN et al., 1991).

In einigen Übersichtsartikeln über die Epidemiologie von Erosionen (LUSSI et al., 1992) wird die Kontrollgruppe der bereits bei den „Risikogruppen“ erwähnten Studie von XHONGA und VAN HERLE (1973) von vielen Autoren für Aussagen zur Prävalenz der Erosionen genutzt.

Die Streubreite der Werte und die Inkongruenz der Zusatzinformationen verdeutlichen die Problematik der Prävalenzstudien. Erhöhte Prävalenzwerte lassen den Verdacht zu, dass ein Index verwendet wurde, der nicht exakt zwischen den Hartsubstanzdefekten Abrasion, Attrition und Erosion unterscheidet. Dies trifft zum Beispiel für den in einigen klinischen Studien verwendeten „Tooth Wear Index“ zu (SMITH und KNIGHT, 1984a). Dieser Index wurde zur Dokumentation verschiedener Schweregrade von Hartsubstanzverlust unabhängig

von der Ursache entwickelt (SMITH et al., 1997). Vorteilhaft ist, dass die Autoren durch vorhergehende Vorversuche den altersgemäßen Hartschmelzabtrag für jede Altersgruppe einbezogen. Der natürliche Hartschmelzabtrag nimmt mit dem Alter zu (LAMBRECHTS et al., 1989). Wird dies nicht berücksichtigt, kann es zu Verzerrungen der Prävalenzwerte zwischen den einzelnen Altersgruppen kommen. Andere Untersucher verzichten allerdings auf eine Quantifizierung der Defekte. Diese Probleme erschweren die Vergleichbarkeit und mindern die Aussagekraft der Prävalenzwerte.

Aufgrund der raren epidemiologischen Daten forderten TEN CATE und IMFELD (1996) einen klar definierten, den Schweregrad der Defekte erfassenden Index mit deutlich abgegrenzten Altersgruppen und hoher Untersucherübereinstimmung. Weiterhin wurde die Verwendung von Fragebögen zu Krankengeschichte und Lebensgewohnheiten vorgeschlagen. Diese kommen vermehrt in den epidemiologischen Studien zum Einsatz. So konnten JÄRVINEN et al. (1991) in der Gruppe der 106 Patienten mit Erosionen (s.o.) und LUSSI et al. (1991) in der Schweizer Feldstudie (s.o.) eine unbedingte Verbindung zu erhöhtem Verzehr von Zitrusfrüchten und Säften herstellen.

In Großbritannien wurde neben der Prävalenz der Erosionen bei Erwachsenen auch das Ausmaß der Verbreitung bei Kindern untersucht.

In einem vom britischen Gesundheitsministerium ausgehenden Gutachten zur nationalen Zahngesundheit wurden 1993 erstmals Untersuchungen zum Ausmaß von Erosionen an Oberkieferfrontzähnen von Kindern veröffentlicht. Mehr als 2000 Kinder im Alter zwischen 5 und 15 Jahren nahmen an diese Studie teil. Bei 52% der 5jährigen waren die palatinalen Flächen der Milch-Inzisivi, bei 18% die bukkalen Flächen betroffen. Davon reichten 25% der Läsionen bis ins Dentin. Die bleibenden Frontzähne waren palatinal bei 10-12jährigen in 25-30%, bei 13-15jährigen in 30% der Fälle betroffen. 2% der Defekte bei den 13-15jährigen reichten bis ins Dentin (DOWNER, 1995). Eine ähnlich durchgeführte Studie ergab bei 1,5-4,5jährigen im Durchschnitt 19% mit Erosionen der Palatinalflächen der oberen Milchfrontzähne, wovon 8% ins Dentin reichten (NUNN, 1996; NUNN et al., 1996). Bei einer Erhebung der oralen Gesundheit Dreijähriger in East Cumbris 1993 konnten bei 29% der 135 untersuchten Kinder Erosionen der Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne diagnostiziert werden (JONES und NUNN, 1995).

MILLWARD et al. (1994a) führten eine Studie mit 4jährigen durch. Von 178 Kindern verschiedener sozioökonomischer Herkunft hatten fast 50% der untersuchten Probanden erosive Defekte. Die Palatinalflächen der oberen Inzisivi waren am häufigsten betroffen. Bei mehr als 30% dieser Flächen lag Dentin frei. Kinder aus Elternhäusern mit niedrigerem

---

sozioökonomischen Status wiesen dabei weniger Erosionen auf als Kinder höherer sozialer Schichten. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen einer Untersuchung an 1035 14jährigen in Liverpool (MILOSEVIC et al., 1994), in der die Untersucher tendenziell mehr erosiv bedingten Zahnhartsubstanzverlust bei sozial schwächer gestellten Kindern fanden. Insgesamt wiesen 30% der Untersuchten Defekte mit freiliegendem Dentin auf, vor allem inzisal. 80 dieser Kinder (8%) hatten zusätzlich linguale oder okklusale Defekte. 48 dieser 80 Kinder nahmen im darauffolgenden Jahr an einer kontrollierten Fallstudie teil und wurden mit einer aus den „gesunden“ Kindern der Vorjahresuntersuchung zufällig ausgesuchten Kontrollgruppe verglichen (MILOSEVIC et al., 1997a). Anhand von Fragebögen wurden potentielle ätiologische Faktoren verglichen. Dabei konnte eine Korrelation zwischen dem häufigen Genuß von kohlenensäurehaltigen Getränken und dem Auftreten von Erosionen aufgezeigt werden. Auch MILLWARD et al. (1994b) untersuchten bei 101 Kindern den Zusammenhang zwischen Zahnerosionen und ätiologischen Einflussfaktoren. 80% der untersuchten Oberkieferfrontzähne und 30% der ersten Molaren wiesen Hartsubstanzverluste auf. Aufgrund unklarer Altersangaben in der Publikation kann das Ergebnis nicht ausreichend interpretiert werden. Zudem wurde die überwiegende Zahl der Erosionen als „mild“ diagnostiziert. Eine verlässliche Diagnose der leichten Erosionen im Vergleich zu gesunden Zähnen ist eher als schwierig zu bezeichnen. Die palatinalen Defekte der Inzisivi waren am deutlichsten als erosive Defekte bewertbar. 22% der seitlichen und 18% der mittleren Schneidezähne hatten Defekte mit freiliegendem Dentin. Insgesamt zeigte die Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen Schwere der Erosionen und Konsum von Fruchtgetränken auf. Ganz im Gegensatz zu den vorangegangenen Studien stehen die Ergebnisse einer Untersuchung an 210 11-14jährigen Schülern einer Londoner Schule. 57% der Untersuchten wiesen Schmelzerosionen an zehn oder mehr Zähnen auf, Dentinerosionen wurden selten beobachtet. Auch hier waren die oberen Schneidezähne am häufigsten betroffen. Es konnten keine Zusammenhänge zwischen dem Konsum von Fruchtsäften und dem Auftreten der Erosionen aufgezeigt werden (BARTLETT et al., 1998).

In diesen Studien fiel ein starker Befall der Milchfrontzähne im Oberkiefer auf. Dies erinnert entfernt an das bekannte nursing-bottle-syndrome, bei dem es zu kariösem Verfall der Milchfrontzähne durch süße Tees kommt. In Analogie wäre ein erosiver Befall durch Saugen an mit Fruchtsäften gefüllten Flaschen vorstellbar. Allerdings muß bei den hohen Prävalenzraten für Milchzähne der physiologische Abrieb und die geringere Schichtdicke der Zahnhartsubstanz berücksichtigt werden. Insgesamt entsteht aber bei allen Studien der Eindruck, dass Erosionen bei Kindern ein zunehmendes Problem darstellen.

## **2.6 Ätiologie von Zahnerosionen**

Die Erosion der Zahnhartsubstanzen kann durch mehrere verschiedene Faktoren entstehen. Diese lassen sich in intrinsische oder extrinsische Faktoren einteilen, je nach Herkunft der in Kontakt mit den Zähnen tretenden Säure. Daneben hängt die Ausprägung von Erosionen von weiteren Parametern, wie z.B. der Speichelzusammensetzung oder der Speichelfließrate, ab. Die Zahnstruktur und die Zahnstellung sind weitere dieser individuellen, in der Literatur als modifizierte biologische Faktoren bezeichnete Umstände (ZERO, 1996; MEURMAN und TEN CATE, 1996). Einige Autoren sprechen auch von der individuellen "Anfälligkeit" für Erosionen (MOSS, 1998). EISENBURGER et al. (2001) konnten außerdem zeigen, dass das Ausmaß der Erweichung der Zahnoberfläche infolge von Erosionen pH-abhängig ist. Dabei bedeutet ein Abfall des pH-Wertes um mehr als eine Einheit - in diesem Versuch von 3,2 auf 2,54 - eine Verdoppelung der Tiefe der erweichten Zone. Ein Anstieg des pH-Wertes um mehr als eine Einheit - hier von 3,2 auf 4,5 - reduzierte hingegen die Tiefe der erweichten Zone um das dreifache. BARLETT und COWARD (2001) verglichen das erosive Potential von Magensaft und einem Erfrischungsgetränk in vitro. Die im Magensaft enthaltene Säure ist Salzsäure (HCl). Der pH-Wert der Magensaftproben betrug durchschnittlich 2,92. Der pH-Wert des Erfrischungsgetränks lag bei 2,45. Bei gleicher Einwirkzeit löste der Magensaft mehr Kalzium aus den Schmelz- und Dentinproben heraus. Daraus lässt sich schliessen, dass Magensaft ein grösseres erosives Potential besitzt als ein Erfrischungsgetränk.

### **2.6.1 Intrinsische Faktoren**

Zu den intrinsischen Faktoren zählen vor allem Umstände, bei denen Magensäure oder saurer Mageninhalt mit den Zähnen in Kontakt treten. Dieser Kontakt kann durch Erbrechen, Reflux oder Regurgitation zustande kommen. Mit einem pH-Wert von 1-1,5 liegt die Magensäure weit unter dem für Schmelz kritischen pH-Wert von 5,5. Magensäure kann bei regelmäßigem Einwirken über einen längeren Zeitraum (1-2 Jahre) zur vollständigen Auflösung des Schmelzes führen (SCHEUTZEL, 1996).

In den westlichen Nationen leiden bis zu 5% der Frauen im Alter zwischen 18 und 35 unter psychosomatischen Essstörungen. Die mit Essattacken und selbst-induziertem Erbrechen verbundene Bulimie wird oft später entdeckt als die mit starkem Gewichtsverlust verbundene Anorexie. Die seltener auftretende Anorexie kann als restriktive (Hungern) oder bulimische

(Hungern und Erbrechen) Form auftreten (MILOSEVIC, 1999; SCHMIDT und TREASURE, 1997; SCHEUTZEL, 1996). Die neuesten Prävalenzstudien über psychosomatische Essstörungen aus verschiedenen Bereichen zeigen unterschiedliche Verbreitungsgrade der Bulimie. So ergab eine Studie unter 3100 Mädchen zwischen 15 und 18 Jahren aus dem Iran eine Prävalenz von 3,2 % für Bulimie (NOBAKHT und DEZHKAM, 2000). Eine Untersuchung bei 1281 14-16jährigen Jungen und Mädchen in Spanien zeigte, dass unter den Mädchen 1,24 %, unter den Jungen 0,36 % an Bulimie litten. Insgesamt wiesen 5,6 % der Untersuchten Anzeichen einer Essstörung auf. Dies bedeutet einen Anstieg der Essstörungen unter den Jugendlichen in Madrid im Vergleich zu früheren Jahren (MORANDE et al., 1999). McNULTY (2001) berichtet in einer Amerikanischen Veröffentlichung von einer Prävalenz von 2 % für Bulimie in der weiblichen Bevölkerung. In Österreich wurde in einer Gruppe von 1000 Frauen im Alter zwischen 15 und 85 Jahren eine Prävalenzrate von 1,5 % für Bulimie gefunden (KINZL et al., 1999). In Deutschland hingegen sank laut einer Untersuchung von WESTENHÖFER (2001) die Prävalenzrate von Bulimia nervosa zwischen 1990 und 1997 nichtsignifikant bei Männern von 2,1% auf 1,1%, bei Frauen von 2,4% auf 1,1%. In zahlreichen Publikationen wurde, meist in Fallberichten, über die Auswirkung von häufigem Erbrechen auf die Zähne berichtet. RYTÖMAA et al. (1998) beobachteten, dass Erosionen bei Bulimikern 6mal häufiger als in der Normalbevölkerung auftreten. JÄRVINEN et al. (1991) sahen bei Bulimikern sogar ein bis zu 18mal größeres Erosionsrisiko. Die Mehrzahl der Autoren berichtet über massive Zahnhartsubstanzverluste an den palatinalen Flächen der oberen Inzisivi bei Bulimikern (RYTÖMAA et al., 1998; ROBERTS und LI, 1987; HELLSTRÖM, 1977).

Neben den oberen Inzisivi sind bei bulimischen Anorektikern auch die Vestibulärflächen der unteren Molaren betroffen. Bei unter restriktiver Anorexie leidenden Patienten kommt es meist nur zu vestibulären Erosionen der Molaren. Dieses Bild wird dem vermehrten Konsum saurer Nahrungsmittel wie frischen Früchten und sauren Getränken, also eher exogenen Säuren zugeschrieben (ROBB et al., 1995; MILOSEVIC und SLADE, 1989). Zusätzlich können verschiedene Medikamente (Anxiolytika, Psychopharmaka) durch eine Reduktion des Speichelflusses die Entstehung der Erosionen bei Patienten mit psychogenen Essstörungen verstärken (HELLSTRÖM, 1977). Unabhängig von Medikamenten wurde ein überdurchschnittlich großer Anteil Patienten mit reduziertem unstimulierten Speichelfluß beobachtet (HELLSTRÖM, 1977; RYTÖMAA et al., 1998; ÖHRN et al., 1999). Erhöhter Kariesbefall und Zahnverlust sind neben Erosionen typische Befunde (HELLSTRÖM, 1977;

HURST et al., 1977; JONES und CLEATON-JONES, 1989; ÖHRN et al., 1999). ROBB et al. (1995) konnten keinen Zusammenhang zwischen verstärkten Mundhygienemaßnahmen nach dem Erbrechen und Verstärkung des erosiven Defektes durch Abrasion feststellen. MILOSEVIC et al. (1997b) halten den Beitrag der Bürstabrasion am Gesamtzahnhartsubstanzverlust bei Bulimikern für nicht signifikant und empfehlen sofortige Mundhygienemaßnahmen. Im Gegensatz dazu fanden andere Autoren, dass Bürsten der Zähne unmittelbar nach einem Säureangriff die Defekte verstärkt (ATTIN et al., 1997b; SCHEUTZEL, 1996; SCHWEIZER-HIRT et al., 1978; DAVIS und WINTER, 1980).

Zu den Erkrankungen des oberen Verdauungstraktes zählen die mit Erbrechen einhergehenden Krankheiten wie Ulzera, Gastritiden, Infektionen (z.B. Pankreatitis, Hepatitis) und Obstruktionen und die mit Reflux einhergehenden Erkrankungen. Reflux und Regurgitation beschreiben ein Aufsteigen von Magensaft oder Mageninhalt ohne eigene Aktion des Patienten. Es handelt sich in den meisten Fällen um die Folge einer Inkompetenz des Sphinktermuskels der Speiseröhre oder eines erhöhten Druckes in Magen oder Abdomen (BARTLETT et al., 1996a). Das klinische Bild gleicht weitestgehend dem bei Bulimikern. Auch bei den oben genannten Erkrankungen kann es zu Erosionen kommen, die überwiegend die palatinalen Flächen der oberen Inzisivi betreffen (BARTLETT et al., 1996a; BARTLETT et al., 1996b; JÄRVINEN et al., 1988). Einige Autoren sehen einen deutlichen Zusammenhang zwischen Dauer der Erkrankung und Grad der Erosion (MEURMAN et al., 1994). Auch bei Patienten mit chronischem Alkoholabusus kann es durch Erbrechen und gastrooesophagealen Reflux zu ausgeprägten palatinalen Erosionen im Oberkiefer mit ausgedünnten Inzisalkanten und erhabenen Seitenzahnfüllungen kommen (SIMMONS und THOMPSON, 1987; ROBB und SMITH, 1990). Einige endokrine und metabolische Erkrankungen können als Nebeneffekte sowohl zu Erbrechen als auch zu vermindertem Speichelfluß führen (XHONGA und VAN HERLE, 1973). Eine salivationshemmende Nebenwirkung ist auch von zahlreichen Medikamenten bekannt. Dazu zählen z.B. einige Spasmolytika, Antidepressiva oder Neuroleptika (KLIMM, 1993). Verminderter Speichelfluß und verminderte Pufferkapazität des Speichels werden auch bei Bulimikern (HELLSTRÖM, 1977; JÄRVINEN et al., 1991; RYTÖMAA et al., 1998) und Patienten mit Erkrankungen des oberen Verdauungstraktes (MEURMAN et al., 1994; JÄRVINEN et al., 1988) beobachtet. Die Rolle des Speichels bei der Entstehung von Erosionen soll an anderer Stelle diskutiert werden.

### 2.6.2 Extrinsische Faktoren

Extrinsische oder auch exogene Faktoren sind die Hauptursache für Erosionen. Im Gegensatz zu den intrinsischen Faktoren führen die extrinsischen Faktoren überwiegend zu einem Verlust an Zahnhartsubstanz im Bereich der vestibulären Flächen der Oberkieferfrontzähne (LUSSI, 1996). Diese Zahnhartsubstanzverluste können unterteilt werden in Erosionen, die durch Umwelteinflüsse, Nahrung, Getränke, Medikamente oder den Lebensstil einer Person ausgelöst werden (ZERO, 1996).

Zu den Umwelteinflüssen, die Erosionen auslösen können, werden auch beruflich bedingte Säureexpositionen gezählt (BRITISH DENTAL ASSOCIATION, 1959). TEN BRUGGEN CATE (1968) verglich die Erosionshäufigkeit von Arbeitern, die mit Säuren (Schwefel-, Salpeter-, Zitronen- bzw. Salzsäure etc.) konfrontiert waren, mit der Prävalenz bei Arbeitern, die keinen Säurekontakt hatten. Dabei fand er bei 31,7 % der Personen, die säureexponiert waren, Erosionen, die vorwiegend an den Frontzähne lokalisiert waren. Hauptsächlich waren die vestibulären Flächen betroffen bis hin zum Schneidekantenverlust. In der Kontrollgruppe wurden keine Erosionen festgestellt. TEN BRUGGEN CATE (1968) konnte in einer großangelegten britischen Studie diese Zusammenhänge herstellen. Er wies außerdem auf die Abhängigkeit des Ausmaßes der Erosion von der Dauer der Tätigkeit und dem Alter des Arbeiters und die damit zusammenhängende Progredienz hin. Spätere Studien konnten diese Beobachtungen bestätigen (TUOMINEN und TUOMINEN, 1991; PETERSEN und GORMSEN, 1991; SKOGEDAHL et al., 1977).

In einer anderen Untersuchung konnten CENTERWALL et al. (1986) beobachten, dass Wettkampfschwimmer mehr Erosionen aufwiesen als Personen, die im selben Gas-chlorierten Schwimmbad weniger regelmäßig Sport trieben.

Beruflich bedingte Säuredefekte konnten auch bei professionellen Weinverkostern festgestellt werden (GRAY et al., 1998; CHAUDRY et al., 1997). Diese befanden sich aber anders als die Mehrzahl der extrinsischen Defekte auch auf den Palatinalflächen der Frontzähne. Dieses ist eventuell auf die beim Verkosten typische Zungenbewegung zurückzuführen.

Für nahrungsbedingte Zahndefekte werden unter anderem Fruchtsaftgetränke, stark kohlenensäurehaltige Getränke, Erfrischungsgetränke, bestimmte Teesorten, aber auch saure Früchte, Joghurt, Essig oder saure Drops verantwortlich gemacht (HICKEL, 1989; ANGMAR-MÅNSSON und OLIVEBY, 1980). Diese Lebensmittel zeichnen sich durch einen niedrigen pH-Wert aus. In zahlreichen epidemiologischen Studien und Fallstudien konnten anhand von Fragebögen Rückschlüsse auf die Ernährung und die Häufigkeit der Aufnahme

saurer Speisen oder Getränke der Studienteilnehmer gezogen werden. Entscheidend für das Ausmaß der Erosion ist die Frequenz der Aufnahme und die Verweildauer der sauren Nahrung im Mund, nicht die Menge. Häufiges, kurzes, diskontinuierliches Trinken von z.B. Coca-Cola führt zu ausgeprägten Veränderungen der Zahnhartsubstanz (SCHWEIZER-HIRT et al., 1978; HICKEL, 1993). MILLWARD et al. (1997) konnten zeigen, dass der pH-Wert an der Zahnoberfläche nach Spülung mit einer sauren Lösung für ungefähr 2 min unter den kritischen pH-Wert 5,7 fällt. LINKOSALO und MARKANNEN (1985) beobachteten in einer Gruppe von Laktovegetariern mit Erosionen einen täglichen Verzehr von sauren Beeren, Essig und sauren Getränken. In einer Gruppe „Rohköstler“ mit erosiven Schäden wurden bis zu 5 mal täglich Zitrusfrüchte konsumiert (GANSS et al., 1999). JÄRVINEN et al. (1991) konnten in einer kontrollierten Fallstudie bei Personen mit einem zweimal täglichen Konsum von Zitrusfrüchten ein 37mal höheres Erosionsrisiko feststellen im Vergleich zu Personen, die einen selteneren Konsum aufwiesen. Ähnliche Beobachtungen wurden für den täglichen Genuß saurer Erfrischungsgetränke gemacht.

Der Verkauf von sauren Erfrischungsgetränken hat sich in Großbritannien zwischen 1970 und 1990 verdoppelt und seit 1950 versiebenfacht. 65% der Getränke werden an Jugendliche verkauft, 42% der Konsumenten sind Kinder zwischen 2 und 9 Jahren (KELLEHER und BISHOP, 1997; 1999). In Deutschland verdoppelte sich die Produktionsmenge von Erfrischungsgetränken zwischen 1980 und 2000 beinahe, nämlich von 4.415,7 Mio. Liter auf 8.258,7 Mio. Liter (STATISTISCHES BUNDESAMT 2001, WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG ALKOHOLFREIE GETRÄNKE WAFG e.V. 2001). Der Pro-Kopf-Verbrauch an Erfrischungsgetränken in Liter stieg in der Bundesrepublik ebenfalls stetig an: Wurden 1991 von einer Person 86,6 Liter konsumiert, so waren es 1997 bereits 98,7 Liter und im Jahr 2002 110,6 Liter (WAFG e.V. 2002). Bei Untersuchungen in Großbritannien konnte bei Teenagern mit Erosionen ein erhöhter Konsum von kohlenstoffhaltigen Getränken mit niedrigem pH-Wert festgestellt werden (MILOSEVIC et al., 1997a; ASHER und READ, 1987). Eine weitere britische Studie verglich Kinder mit milden, mäßigen und schweren Erosionen bezüglich ihres Getränkekonsums. Kinder mit schweren Erosionen nahmen signifikant häufiger Erfrischungsgetränke zu sich. Vor allem bei Kleinkindern hat das Ausmaß an Erosionen nach Verabreichen von Fruchtsäften zur nächtlichen Beruhigung zugenommen (HICKEL, 1993; SMITH und SHAW, 1987). Nachts ist der Speichelfluss reduziert, so dass die Remineralisation durch den Speichel eingeschränkt ist, und säurehaltige Nahrungsmittel verstärkt Erosionen auslösen können. Neben dem häufig als Ursache aufgeführten exzessiven Konsum hat auch die Art der Nahrungsaufnahme einen



Einfluss auf die Ausprägung der Erosion. So weisen einige Fallberichte auf ungewöhnliche Methoden des Trinkens hin, die zu einer längeren Verweildauer der Säure im Mund führen und dadurch das Ausmaß von Erosionen verstärken (HIGH, 1977).

Grund für die beobachteten Läsionen waren neben der Menge an aufgenommener saurer Nahrung auch spezielle Ess- und Trinkgewohnheiten. So ist es nicht unerheblich, wie oft und wann die Patienten Nahrung zu sich nehmen (MACKIE und HOBSON, 1986; HARRISON und ROEDER, 1991). LUSSI et al. (1991) beobachtete in einer epidemiologischen Studie einen positiven Zusammenhang zwischen dem übermäßigen Konsum säurehaltiger Nahrung bzw. Getränke und dem Auftreten von Erosionen.

In verschiedenen tierexperimentellen Studien konnte festgestellt werden, dass nicht der pH-Wert des Getränks allein, sondern die Menge an frei titrierbarer Säure in einem Getränk das erosive Potential bestimmt (HOLLOWAY et al., 1958). LARSEN und NYVAD (1999) zeigten in In-vitro-Studien, dass sich die Auflösung des Schmelzes logarithmisch umgekehrt proportional zum pH-Wert verhält.

RYTÖMAA et al. (1988) untersuchten profilometrisch die Menge an Schmelz, die während einer vierstündigen Exposition von Schmelz in einem sauren Getränk verloren geht. In diesem In-vitro-Modell wurden keine Erosionen von Getränken mit pH-Wert  $> 4$  erzeugt (Bier, Buttermilch, Kaffee; Mineralwasser). Dahingegen lösten Produkte mit einem pH-Wert  $< 4$  deutliche Erosionen aus (Cola, Orangensaft). Dabei führte das Cola-Getränk zu einem Schmelzverlust von ca. 26  $\mu\text{m}$  Tiefe. Der Säuretyp in dem jeweiligen Getränk oder der jeweiligen Frucht hat einen Einfluss auf die Entstehung einer Erosion. So hat sich bestätigt, dass Zitronensäure im Vergleich zu anderen Säuren (Phosphorsäure, Maleinsäure, Äpfelsäure) am stärksten erosiv wirksam ist (MEURMAN und FRANK, 1991a; MEURMAN et al., 1990a). Zitronensäure besitzt die Möglichkeit, Chelat-Komplexe mit Kalzium einzugehen. Dadurch wird der Demineralisationsprozess zusätzlich gefördert (GRAF, 1953). Das Ausmaß der oberflächlichen Erweichung des Schmelzes schlägt sich in einem Abfall der Härtewerte nieder. Nach Eintauchen von Schmelzproben in zitronensäurehaltige Getränke wie Sprite light® und Apfelsaft konnte ein signifikanter Härteverlust verzeichnet werden (LUSSI et al., 1993, 1995). Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass nach Spülen mit Zitronensäure die Konzentration im Bereich der bukkalen Flächen der oberen Schneidezähne im Vergleich zu anderen Zahnflächen signifikant erhöht ist (BASHIR et al., 1995a). Dieses Verteilungsmuster erklärt unter anderem die häufige vestibuläre Lokalisation extrinsisch ausgelöster Erosionen. Zusätzlich können der Gehalt an Kalzium, Phosphat und Fluorid das erosive Potential von

Getränken beeinflussen (HOLLOWAY et al., 1958; LUSSI et al., 1993; LARSEN und NYVAD, 1999). LARSEN (2001) fand heraus, dass sich Kalziumfluorid recht gut in sauren Erfrischungsgetränken löst. Bei den Getränken mit niedrigerem pH-Wert ging hierbei mehr Kalziumfluorid in Lösung, als bei höheren pH-Werten. Allerdings war das erosive Potential der kalziumfluoridgesättigten sauren Getränke vergleichbar mit dem der Getränke ohne Fluoridzusatz.

Einige Medikamente enthalten Säuren als Wirkstoff. Durch die orale Verabreichung kann der pH-Wert in der Mundhöhle so weit gesenkt werden, dass Erosionen entstehen. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass der direkte Kontakt von Vitamin C (L-Ascorbinsäure) mit Zahnhartsubstanz Erosionen auslösen kann (LINKOSALO et al., 1988). Auch durch Acetylsalicylsäure (Aspirin®, Bayer, Leverkusen, Deutschland) können Erosionen der Zähne ausgelöst werden (HANNIG und ALBERS, 1993). Dabei führen vor allem Kautabletten zu ungewünschten Effekten in der Mundhöhle (SULLIVAN und KRAMER, 1983). Bei Patienten, die eine Langzeittherapie mit ASS benötigen, sollte daher auf diese Darreichungsform verzichtet werden.

Der Lebensstil einer Person spielt in so weit eine Rolle, als dass durch ihn die Art der konsumierten Nahrung, die Häufigkeit und der Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme beeinflusst wird (BROWN et al., 1943). So müssen sportlich aktive Menschen häufig einen großen Flüssigkeitsverlust ausgleichen (SALTIN und KARLSSON, 1977). Exzessive Aufnahme von frischem Obst, Salaten und Joghurt, wie es zu einer gesunden Ernährung gehört, kann zu Erosionen führen (LINKOSALO und MARKANNEN, 1985; GANSS et al., 1999; JÄRVINEN et al., 1991). Ebenso wie die Häufigkeit spielt auch der Zeitpunkt der Aufnahme erosiver Produkte und der Zeitpunkt der Mundhygiene eine Rolle. Bürsten der Zähne direkt nach Säuregenuß kann den Hartsubstanzverlust beschleunigen (DAVIS und WINTER, 1980).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei der überwiegenden Anzahl der Patienten mit eindeutiger Ätiologie die Erosionen ernährungsbedingt sind oder von einem vermehrten Auftreten von Magensäure im Mund herrühren. Bei einem Drittel der Patienten mit Erosionen handelt es sich um eine Kombination mehrerer Faktoren (SMITH und KNIGHT, 1984b). Zwar kann anhand der Lokalisation des erosiven Defektes nicht immer verlässlich auf die Ätiologie geschlossen werden (JÄRVINEN et al., 1992), aber die Wahrscheinlichkeit, bei

oralen Defekten auf intrinsische und bei vestibulären Defekten auf extrinsische Ursachen zu stossen, ist gross.

### **2.6.3 Einfluss von biologischen Faktoren auf Zahnerosionen**

Biologische Faktoren können einen Einfluss auf die Ausprägung von Erosionen haben. Zu diesen Faktoren zählen die Stellung der Zähne im Zahnbogen, individuelle Eigenschaften der Zahnhartsubstanz und die Anatomie der Weichgewebe. Eine der wichtigsten Rollen wird bei der Entstehung von Erosionen dem Speichel zugeschrieben.

### **2.6.4 Einfluss von Speichel auf Zahnerosionen**

Die wichtigsten Faktoren des Speichels im Hinblick auf die Protektion von Erosionen sind die Speichelmenge und -qualität. Der Speichelfluss sorgt dafür, dass der Zahnschmelz ausreichend mit Mineralien versorgt wird und ermöglicht somit Remineralisationsvorgänge an säureinduzierten Defekten. Werden Schmelzproben, die zuvor einer Säure ausgesetzt waren, in natürlichem Speichel in situ gelagert, ist der Mineralverlust signifikant geringer als bei in vitro in Speichel oder Wasser gelagerten Proben (HALL et al., 1999). Daneben besitzt Speichel eine Spülfunktion (BASHIR et al., 1995). Ein geringer Speichelfuß wird daher ebenfalls mit der Entstehung von Erosionen in Zusammenhang gebracht (JÄRVINEN et al., 1991). Normabweichungen bezüglich der Quantität (Fließrate) und Qualität (Gehalt an Kalzium, Phosphat und Fluoriden sowie Muzin- und Zitratgehalt) des Speichels als auch der pH-Wert, die Pufferkapazität und die Anwesenheit des „acquired pellicle“ werden als erosionsbeeinflussend diskutiert (MANNERBERG, 1963).

#### **Speichelfließrate**

Wichtige Aufgaben des Speichels sind die Pufferung von Säuren und die Bereitstellung ausreichender Mineralienmengen für die Remineralisation. Außerdem hat Speichel eine Spülfunktion (HELLWIG et al., 1995). Für diese Funktion ist eine ausreichende Speichelmenge notwendig. Die Normwerte für stimulierten bzw. unstimulierten Speichel

liegen bei 1-3 bzw. 0,25-0,35 ml/min (THYLSTRUP und FEJERSKOV, 1994). Erniedrigte Werte konnten im Zusammenhang mit dem Auftreten von Erosionen beobachtet werden (JÄRVINEN et al., 1991). Eine Reduktion der Speichelfließrate wurde auch bei einigen Untersuchungen von Bulimikern, die erosive Läsionen aufwiesen, festgestellt. Dieser Umstand wird als Folge einer chronischen Dehydrierung oder Xerostomie-induzierender Medikamente angesehen. Die Reduktion des Speichelflusses beeinflusst zusätzlich die Progression der erosiven Defekte (HELLSTRÖM, 1977; MILOSEVIC und DAWSON, 1996; RYTÖMAA et al., 1998).

Zu einer Verminderung des Speichelflusses kommt es außerdem bei Erkrankungen der Speicheldrüsen und Bestrahlung im Kopf-Hals-Bereich. Physiologischerweise zeigen ältere Menschen und Sportler häufig eine verminderte Speichelsekretion.

#### Pufferkapazität

Der Speichel verfügt über mehrere Puffersysteme, z.B. den Bikarbonat- und den Phosphatpuffer. Es handelt sich dabei um schwache Säuren und ihre Salze, die mit den Protonen angreifender Säuren reagieren und so pH-Schwankungen ausgleichen können. Aufgrund des Phasenwechsels des CO<sub>2</sub> und der damit vollständigen Beseitigung der Säure ist die Pufferkapazität des Kohlensäure-Bikarbonat-Systems größer als die des Phosphatpuffers (THYLSTRUP und FEJERSKOV, 1994). Unstimulierter Speichel enthält bis zu 50 mal weniger Bikarbonat, so dass Patienten mit reduzierter stimulierter Speichelsekretion Säuren schlechter abpuffern können (JENKINS, 1966; SCHWEIZER-HIRT et al., 1978). Dies bedeutet, dass Patienten mit einer höheren Speichelfließrate Säuren besser abpuffern können als Patienten mit einer niedrigen Menge stimulierten Speichels. BASHIR und LAGERLÖF (1996) konnten zeigen, dass sich der physiologische Speichel-pH nach Spülung mit Zitronensäure erst nach mindestens 15 min wieder einstellt. Durch saure Nahrung wird der Speichelfluß reflektorisch angeregt. Dadurch kann Säureangriffen direkt bei der Nahrungsaufnahme entgegengewirkt werden. Die Fähigkeit, Säuren im Mund abzupuffern, ist individuell unterschiedlich. Sie ist beim einzelnen Menschen aber nur geringen Schwankungen ausgesetzt (MCCAY und WILL, 1949).

In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass die Mehrzahl der Patienten mit Erosionen eine niedrigere Pufferkapazität aufweisen als Patienten ohne Erosionen (LINKOSALO und

---

MARKKANEN, 1985; JÄRVINEN et al., 1988; GUDMUNDSSON et al., 1995; EINARSSON et al., 1996).

### Kalzium und Phosphat

In physiologischen pH-Bereichen ist der Speichel eine an Hydroxylapatit übersättigte Lösung. Er stellt somit eine natürliche Remineralisationslösung dar und kann während der Demineralisation herausgelöste Kalzium- und Phosphationen wieder einlagern (HELLWIG et al., 1995).

### Muzine

Muzine sind Glykoproteine des Speichels. Es handelt sich um kohlenhydratreiche Proteine mit einem hohen Molekulargewicht. Sie stellen in Bezug auf ihren molekularen Aufbau und ihre Größe, aber auch hinsichtlich ihrer verschiedenen Funktionen eine inhomogene Gruppe dar (JENKINS, 1966). Die makromolekularen Glykoproteine sind aufgrund ihrer Größe und Asymmetrie maßgeblich für die Viskosität des Speichels verantwortlich. Ihre Hauptfunktion besteht im Schutz der oralen Gewebe in Form einer nicht wasserlöslichen Beschichtung. Diese Beschichtung fördert ein friktionsloseres Gleiten der Oberflächen gegeneinander, was eine gewisse Viskosität erfordert (THYLSTRUP und FEJERSKOV, 1994). Ist der Speichel zu viskös, kommt es zu einer Verringerung der Spülwirkung. MILOSEVIC und DAWSON (1996) konnten feststellen, dass bei Bulimikern mit ausgeprägten erosiven Defekten die Viskosität des Speichels erhöht war. MANNERBERG (1963) fand erhöhte Muzinkonzentrationen im Speichel von Patienten mit erosiven Defekten. In einer neueren In-vitro-Studie konnte jedoch kein Einfluß von Muzin auf die Remineralisation von Erosionen nachgewiesen werden (ATTIN et al., 1996).

### Pellicle

Das erworbene Schmelzoberhäutchen oder "acquired pellicle" ist eine azelluläre, primär bakterienfreie, die Schmelzoberfläche bedeckende organische Schicht (DAWES et al., 1963).

---

Durch die selektive Adsorption verschiedener Speichelproteine entsteht in Sekunden ein den sauberen Schmelz bedeckender dünner Film, der innerhalb von zwei Stunden an Dicke zunimmt (SØNJU und RØLLA, 1973). In der Pellicleschicht konnten Immunglobuline, Enzyme und Glykoproteinen nachgewiesen werden (MAYHALL, 1970). Den Hauptanteil bildet ein phosphoryliertes Glykoprotein, das sich durch eine hohe Affinität zu Kalzium auszeichnet (THYLSTRUP und FEJERSKOV, 1994). Die Adsorption erfolgt über elektrostatische Wechselwirkungen zwischen den Kalzium- und Phosphationen und den geladenen Gruppen der Proteine. Das Pellicle an sich ist bakterienfrei, stellt aber die Oberfläche dar, an die Bakterien und Polysaccharide anheften (MECKEL, 1965; VOREADIS und ZANDER, 1958). Eine professionelle Zahnreinigung und der Gebrauch abrasiver, unverdünnter Zahnpasten können das Pellicle vollständig entfernen (HANNIG und BÖBMANN, 1988). Es wird auf sauberen Zahnflächen aber wieder neu gebildet. Innerhalb von zwei Stunden entsteht eine ca. 100 nm dicke Schicht, die während 48 Stunden bis zu 500 nm dick werden kann (BERTHOLD, 1979; LIE, 1975). In einer In-vitro-Untersuchung wurde das Ausmaß der Demineralisation durch ein Cola-Getränk an Rinderschmelzproben mit und ohne Pellicle untersucht. Proben mit einem aus menschlichem Speichel gezüchteten Pellicle wiesen weitaus geringere Demineralisationsspuren auf als Proben ohne Pellicle (MEURMAN und FRANK, 1991b). Auch HANNIG und BALZ (1999) fanden, dass das intraoral gebildete Pellicle den Schmelz vor erosiven Attacken schützt. MAUPOME et al. (1999) konnten in einer In-vitro-Untersuchung keinen Einfluß des Alters des Pellicles (20 min., 2 h, 6 h) auf den Mikrohärteverlust von Schmelz feststellen. Im Gegensatz dazu fanden AMAECHI et al. (1998a) heraus, dass die Dicke des Pellicle individuell variiert und damit das Ausmaß einer Erosion beeinflusst. Ein signifikanter Unterschied zwischen Läsionstiefen mit und ohne Pellicle konnte auch in dieser Studie festgestellt werden. Für die schützende Wirkung der Pellicles vor Demineralisation spricht auch die Tatsache, dass Erosionen nur an plaquefreien Oberflächen auftreten. Zudem weisen Personen mit erosiven Defekten oft eine überdurchschnittlich gute Mundhygiene auf, bei der die Pellicle meist entfernt wird.

## ***2.7 Die Bürstabrasion und ihr Einfluss auf erodierte Zahnhartsubstanzen***

Der Begriff Bürstabrasion steht für den mechanisch bedingten Zahnhartsubstanzverlust durch das Bürsten der Zähne. Zahlreiche Faktoren bestimmen das Ausmaß der Bürstabrasion. So nehmen Anpressdruck der Bürste, Putzmethode und verwendete Zahnpasta Einfluß auf die Menge des Zahnhartsubstanzverlustes. Auch die gebürstete Zahnhartsubstanz selbst spielt eine Rolle. So verleihen die enorme Härte und die Prismenstruktur dem gesunden Schmelz eine hohe Widerstandskraft gegenüber lokal angreifenden mechanischen Kräften (KLIMM, 1993). Dentin und Zement reagieren deutlich empfindlicher auf Abrasivkräfte. So ist der Substanzverlust am Schmelz geringer ausgeprägt als am Dentin oder Zement (BARBAKOW et al., 1989; HOTZ, 1983; STOOKEY, 1978). Es ist anzunehmen, dass die unterschiedliche Härte der verschiedenen Zahnhartsubstanzen eine wichtige Rolle im Hinblick auf die Abrasionsresistenz spielt. Allerdings konnte WRIGHT (1969) zeigen, dass Materialien mit gleicher Härte unterschiedliche Abrasionsresistenzen aufweisen können. Dabei ergab sich, dass Zahnschmelz deutlich stärker abradiert als ein Metall gleicher Härte. Wird diese Beobachtung auf Zahnhartsubstanzen übertragen, so wird deutlich, dass nicht nur die Härte der Substanzen, sondern auch ihre chemische Zusammensetzung und ihr strukturelles Gefüge einen Einfluß auf die Abrasionsresistenz besitzen.

Zahnbürsten werden mit unterschiedlich harten Borsten angeboten. In einer Untersuchung von HOTZ (1983) konnte gezeigt werden, dass die Härte der Borsten aber nur eine sehr untergeordnete Rolle hinsichtlich der Zahnabrasion spielt. Die Verwendung härterer Zahnbürsten wird aber in direktem Zusammenhang mit dem Auftreten von Schleimhautläsionen im Mund gesehen (SAGNES und GJERMO, 1976). Wichtig ist auch die Form der Borsten. Zahnbürsten, deren Borsten nicht abgerundet sind, können Abrasionen verursachen (SILVERSTONE und FEATHERSTONE, 1988). Man kann aber davon ausgehen, dass die Borsten gängiger Marken Zahnbürsten heutzutage abgerundet sind.

Eine große Bedeutung wird der bei Putzen angewendeten Kraft (=Anpressdruck) zugesprochen. PHANEUF et al. (1962) konnten in vitro eine Abhängigkeit zwischen Kraft und Substanzverlust nachweisen. HOTZ (1983) erzielte in vitro bei verdoppelter Putzkraft und gleichzeitig halbiertes Zeit den gleichen Substanzabtrag wie in einer Vergleichsgruppe. Kommt zusätzlich die Horizontaltechnik mit hohem Anpressdruck bei mehrmals täglichem Putzen zur Anwendung, erhöht sich der Hartsubstanzverlust deutlich (BERGSTRÖM und LAVSTEDT, 1979). Dahingegen sind Putzdauer und -häufigkeit bei isolierter Betrachtung eher von untergeordneter Bedeutung (BERGSTRÖM und ELIASSON, 1988). Horizontale

Bürstbewegungen jedoch führen im Vergleich zu kreisenden oder vertikalen Bewegungen zu größeren Abrasionsverlusten. BJÖRN und LINDHE (1966) führten dieses Ergebnis auf eine bei der Horizontaltechnik verlängerte bzw. konstante Kontaktzeit der Bürste mit der Zahnoberfläche zurück. ATTIN (1999c) gibt zu bedenken, dass die Zahnhartsubstanz unter Umständen aufgrund spezifischer Eigenschaften auf eine horizontale Bürstung empfindlicher reagiert. Es muß aber angenommen werden, dass es bei horizontalem Bürsten gleichzeitig zu einem verstärkten Anpressdruck kommt.

Zahlreiche Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Einfluß der Zahnpaste auf den Zahnhartsubstanzverlust. Viele Autoren sehen in der Abrasivität der verwendeten Paste die Hauptursache für den Substanzabtrag beim Zähnebürsten (GROß et al., 1996; BARBAKOW et al., 1989; HOTZ, 1983; NANNINGA et al., 1993). Beim Bürsten der Zähne mit Wasser findet fast kein Abtrag statt (HOTZ, 1983). Bei der Verwendung von Zahnpaste dagegen kommt es je nach Form, Größe und Härte der Abrasivstoffe der Paste zu einem unterschiedlich starken Abtrag. Die abrasiven Zahnpastenpartikel können Frakturprozesse im Schmelzprismenbereich herbeiführen, die zur Abrasion beitragen (GROß et al., 1996). Abrasivstoffe sind für den Reinigungs- und Poliereffekt einer Paste verantwortlich (NANNINGA et al., 1993). Dabei ist noch immer ungeklärt, wie „abrasiv“ eine Zahnpaste sein muß, um eine effektive Zahnreinigung zu gewährleisten.

Die Abrasivität einer Zahnpaste an Schmelz korreliert nicht unbedingt mit der Abrasivität derselben Paste an Dentin. BARBAKOW et al. (1989) konnten zeigen, daß eine Paste mit einer erhöhten Schmelzabrasivität eine geringere Dentinabrasivität aufweisen kann. Eine direkte Übertragung der In-vitro-Werte für die Abrasivität der Pasten auf die klinische Situation ist nicht immer möglich (BARBAKOW et al., 1989). Individuelle Unterschiede resultieren aus Kombinationen mit den oben aufgeführten Faktoren.

SOGNNAES (1963) gibt an, dass Zahnhartsubstanzverluste durch Erosion die Folge von drei aufeinanderfolgenden, sich wiederholenden Schritten ist:

1. Fehlen des schützenden Speichelpellikel auf der Zahnoberfläche
2. Mineralverlust an der Zahnoberfläche durch Einwirken einer sauren Noxe
3. Abtrag der erodierten oberflächlichen Zahnschicht durch biomechanische und – physikalische Einflüsse oder mechanische Reibung durch Lippen, Wangen, Zunge, Nahrung und Zahnbürste



Zahlreiche Studien konnten aufzeigen, dass eine erosiv vorgeschädigte Zahnoberfläche anfälliger auf abrasive Kräfte reagiert als eine gesunde Oberfläche (SCHWEIZER-HIRT et al., 1978; DAVIS und WINTER, 1980; SORVARI et al., 1996; ATTIN et al., 1997b). Dabei nimmt die Bürstabrasion eine herausragende Stellung ein. Die Abrasionsanfälligkeit wird vor allem der Erweichung der oberflächlichen Schicht zugeschrieben. In einer In-vitro-Untersuchung stellten DAVIS und WINTER (1980) fest, dass eine Säureexposition von 45 s eine erweichte Schicht von 0,1 bis 0,2 µm Stärke hervorrufen kann. Diese Schicht ist mit der Zahnbürste leicht zu entfernen.

Mit zunehmender Dauer der Säureeinwirkung nimmt die Härte der oberflächlichen Schmelzschicht ab. Die Folge ist eine tendenziell überproportionierte Zunahme des Bürstabtrages (ATTIN et al., 1997b). Auch BARTLETT et al. (1994) konnten zeigen, dass die Kombination aus Erosion und Abrasion, die sogenannte Erosio-Abrasion, die Oberfläche stärker schädigt, als ein isoliertes Auftreten beider Ereignisse. Zudem konnten sie nachweisen, dass sich der enorme Bürstabtrag erodierten Schmelzes durch die Verwendung einer fluoridierten Zahnpaste reduzieren lässt. KUROIWA et al. (1994) stellten fest, daß Putzen einer erodierten Fläche ohne Paste eine durch den Speichel unterstützte Remineralisation fördert. In einer neueren Studie konnte ATTIN (1999a, 1999b) aufzeigen, dass sich die Abrasionsresistenz von erodiertem Schmelz und Dentin durch die Anwendung eines hochkonzentrierten sauren Fluoridgels verbessern lässt. Eine hochkonzentrierte Natriumfluoridspüllösung führt am erodierten Schmelz nicht zu einer Reduktion der Bürstabrasion (ATTIN et al., 1997a). Die Bürstabrasion des erodierten Dentins hingegen kann durch eine solche Lösung signifikant reduziert werden (ATTIN et al., 1998).

## **2.8 Präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Erosionen**

Präventive Maßnahmen sollen den erosiven Einfluß auf die Zahnhartsubstanz verringern bzw. vermeiden. Dies ist auf verschiedene Art und Weise möglich (IMFELD, 1996a):

1. Verringerung der Häufigkeit des Kontaktes mit einer erosiven Noxe
2. Verringerung des erosiven Potentials von sauren Noxen
3. Stärkung der Abwehrmechanismen, wie Speichelfließrate und Pellikelbildung

4. Verbesserung der Säureresistenz der Zahnhartsubstanz und Remineralisierung der Zahnoberfläche
5. Vermittlung eines chemischen oder mechanischen Schutzes
6. Verringerung der Abrasion

Zur Kontrolle der Eß- und Trinkgewohnheiten ist gefährdeten Patienten das Führen eines Ernährungstagebuches anzuraten (LUSSI, 1996). Darin sollten Zeitpunkt und Art der Nahrung sowie durchgeführte Mundhygienemaßnahmen notiert werden. Bei sauren Getränken sollte darauf geachtet werden, diese zügig zu trinken. Andernfalls ist die Verwendung eines Strohhalmes sinnvoll. Dadurch kommt es zu einem reduzierten Kontakt zwischen dem Getränk und den Zähnen (MILLWARD et al., 1997; GROBLER et al., 1985). Patienten mit Reflux-Erkrankungen oder Verdacht auf eine psychogene Essstörung sollte das Aufsuchen des Hausarztes bzw. eines Psychologen nahegelegt werden. Unabhängig von der Herkunft der Säure kann der Speichel das erosive Geschehen zusätzlich beeinflussen. Eine verminderte Speichelfließrate kann durch das Kauen zuckerfreier Kaugummis erfolgreich erhöht werden. Zur Kontrolle der Speichelfließrate und Pufferkapazität kann der Speichel mittels Speicheltests überprüft werden (BOSE und OTT, 1994).

In verschiedenen Untersuchungen wurde versucht, das erosive Potential von Erfrischungsgetränken durch Zusätze zu reduzieren. Kalzium- oder Kalzium-Phosphat-Beimengungen zu sauren Getränken konnten die Erosionen an Zahnhartsubstanz in vitro vermindern (HAY et al., 1962; HUGHES et al., 1999; LARSEN und NYVAD, 1999). In tierexperimentellen Studien wurde der Einfluß von Fluoridzusätzen untersucht. Die zugesetzten Fluoridmengen lagen zwischen 1-50 ppm. Im Vergleich zu den Originalgetränken verursachten die fluoridhaltigen Getränke signifikant schwächere Erosionen (SHABAT et al., 1975; SORVARI et al., 1988; SORVARI et al., 1996).

Die Karbonierung von Getränken hat im Verhältnis zu den im Getränk enthaltenen Säuren nur einen geringen Einfluß auf das erosive Potential der Getränke. Dennoch konnte im Tierversuch durch einen Verzicht auf Kohlensäure in Orangensaft die Ausprägung von erosiven Zahnhartsubstanzdefekten im Vergleich zu karboniertem Saft vermindert werden (MISTRY und GRENBY, 1993).

Eine prophylaktische Maßnahme besteht in einer Verbesserung der Säureresistenz der Zahnhartsubstanz. Durch eine Vorbehandlung von Schmelz mit Natriumfluoridlack (2,26% F) und einer Natriumfluoridspüllösung (1,2% F) kann eine Verbesserung der Säureresistenz erzielt werden (SORVARI et al., 1994). Auch eine Behandlung mit Titan-

Tetrafluorid kann die Säureresistenz der Zähne erhöhen. Diese Behandlung könnte sich bei einem Patienten mit gastrooesophagealem Reflux bewähren (BÜYÜKYILMAZ et al., 1997). Die Bürstabrasion kann durch den Gebrauch fluoridhaltiger, wenig abrasiver Zahnpasten verringert werden (NOACK, 1989; BARTLETT et al., 1994). Ebenso wird ein hochkonzentriertes fluoridhaltiges saures Gel empfohlen (ATTIN, 1999a; ATTIN et al., 1999b). Eine adäquate Putztechnik mit geringem Anpressdruck und die Verwendung einer weichen Zahnbürste können das Risiko weiter reduzieren.

## **2.9 Reaktions- und Wirkungsmechanismus von Fluorid**

### **2.9.1 Wirkungsmechanismus auf gesundes und demineralisiertes Dentin**

Obwohl schon VOLKER (1939) die Zusammenhänge zwischen dem natürlichen Fluoridgehalt im Trinkwasser und der daraus resultierenden Herabsetzung der Säurelöslichkeit von Dentin beschrieb, sind diese Zusammenhänge nicht so gut erforscht wie die Wechselwirkung mit Schmelz. Es ist prinzipiell davon auszugehen, dass die Wirkmechanismen von Fluorid im Dentin denen im Schmelz ähneln. TVEIT et al. (1982, 1983, 1985) untersuchten die Fluoridaufnahme an der Wurzeloberfläche mit Hilfe von Röntgenstrahl-Mikroanalysetechnik *in vitro* und *in vivo*. Die Untersuchung wurde mit unterschiedlichen Fluoridlösungen und -lacken durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass der höchste Fluoridgehalt im Dentin durch die ionischen gebundenen Fluoride erreicht wird. SHANNON et al. (1976) und auch DERAND und PETERSON (1982) untersuchten die Säureresistenz von Dentin nach Fluoridbehandlung. Sie zeigten, dass die Resistenz gegen Säureangriffe zunahm und die Säurelöslichkeit des Dentins abnahm. AL-JOBURI und KOULOURIDES (1984) bestätigten nach erfolgter Fluoridapplikation die Bildung einer äusseren Schicht hoher mineralischer Dichte. Auch hier resultierte aus der Behandlung mit Fluorid eine verminderte Säurelöslichkeit des Dentins. Weiterhin zeigen neuere epidemiologische Studien den Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Fluoriden und dem Rückgang kariös bedingter Dentinläsionen (SCHAEKEN et al., 1991; ÜBERSCHÄR et al., 1991). WEI (1969) bewies, dass Dentin mehr Fluoridionen aufnehmen kann als Schmelz. Die höhere Kapazität des Dentins zur Fluoridaufnahme führte er auf die grössere Porosität von

Dentin zurück. Dentin nimmt bei niedrigem pH-Wert mehr Fluorid auf als im neutralen Milieu. Als Grund hierfür wird ein vermehrtes Auftreten von Fluorwasserstoff bei hoher Wasserstoffkonzentration genannt (TEN CATE et al., 1988). Die optimale Fluoridkonzentration die einen grösstmöglichen Schutz während der Demineralisationsphase bietet, liegt laut FEATHERSTONE (1988) im Bereich zwischen 100 und 320 ppm. Bei hohen Konzentrationen, niedrigem pH-Wert und viel verfügbarem Kalzium wird die Bildung von kalziumfluoridhaltigen Präzipitaten, die ebenfalls eine kariostatische Wirkung haben, erleichtert (RÖLLA und SAXEGARD, 1990). Die Applikation von ionisch gebundenem Fluorid (z.B. Aminfluorid, Natriumfluorid) verursacht eine hohe Konzentration lose gebundenen Fluorids an der Oberfläche. Zusätzlich kann bis in eine Tiefe von von ca. 30 µm lose gebundenes Fluorid nachgewiesen werden. Die Ionen diffundieren in die Dentintubuli und liegen dort in freier Form, adsorbierter Form oder als  $\text{CaF}^+$  bzw.  $\text{CaF}^-$  – ähnliche Präzipitate vor (LAUFER et al., 1981). Je niedriger bei dieser Reaktion der umgebende pH-Wert ist, desto mehr Präzipitate bilden sich in einer Sofortreaktion (RÖLLA und SAXEGARD, 1990). Im intertubulären Dentin lässt sich aufgrund der langsameren Diffusionsgeschwindigkeit vorwiegend festgebundenes Fluorid nachweisen. Die Fluoridionen reagieren mit den Apatitkristallen zu Fluorapatit oder Fluorhydroxylapatit (FIGURES et al., 1990). Der Hauptteil des Fluorids befindet sich allerdings in den Tubuli und nicht im peritubulären Dentin. Die Ursache für die grössere Menge an Fluorid im Dentin ist wohl in der beschleunigten Diffusionsgeschwindigkeit im Vergleich zum Schmelz sowie einer grösseren Oberfläche zu sehen.

## **2.10 Methoden zur Evaluation von Erosionen und Abrasionen in vitro**

### **2.9.1 Erosionen**

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Zahnhartsubstanzverlust durch Erosion quantitativ und qualitativ zu erfassen.

- Chemische Analysen

Mit Hilfe chemischer Analyseverfahren lassen sich die durch erosive Getränke aus dem Schmelz gelösten Mineralien bestimmen. Diese quantitative Zunahme der Ca- und P- Ionen in der Lösung kann zum Beispiel durch Atomabsorptionsspektroskopie ermittelt werden (MEURMAN et al., 1990b).

- Physikalische Analysen

Mit Hilfe von physikalischen Verfahren kann die Oberflächenbeschaffenheit der Zahnhartsubstanz nach Einwirken einer erosiven Noxe untersucht werden. Oberflächenverluste können profilometrisch gemessen werden. Entstandene Unregelmäßigkeiten in der Struktur werden durch Abtasten der Oberfläche durch eine Nadel oder einen Laser erfasst. Eine weitere Möglichkeit, Oberflächenveränderungen zu ermitteln, bietet das Mikrohärtemessverfahren. Durch die Vermessung der Eindrücke von genormten Prüfkörpern kann auf den Härteverlust und das Ausmaß der Demineralisation geschlossen werden. Dieses Verfahren findet in zahlreichen Studien Verwendung (LUSSI et al., 1993, 1995; MEURMAN et al., 1990a, 1990b; ATTIN et al., 1996, 1997b; MAUPOME et al., 1999).

- Iodid- Permeabilitäts- Test

Dieses Verfahren kann frühe Erosionsstadien erkennen. Die zu untersuchenden Zahnproben werden mit Kalium-Iodid-Lösungen behandelt. Die Demineralisation verändert die Permeabilität des Schmelzes für Iodid. Nach dem Einwirken des erosiven Mediums können die Ausgangs- und Endwerte des Iodids verrechnet werden (ZERO et al., 1990; LUSSI et al., 1993).

- Digitale Bildanalyse

Bei der digitalen Bildanalyse werden Oberflächen zu verschiedenen versuchsabhängigen Zeitpunkten mit einer Kamera festgehalten. Dabei sind die Zahnproben fixiert und die Einstellungen werden konstant beibehalten. Mit Hilfe einer Computersoftware kann der Zahnhartsubstanzverlust genau bestimmt werden (MISTRY und GRENBY, 1993).

- Rasterelektronenmikroskopie

Dieses Verfahren wird zur qualitativen Bestimmung der Oberflächenveränderung genutzt. Dabei können selbst kleinste Veränderungen erfasst werden (BRADY und WOODY, 1977; MEURMAN und FRANK, 1991a; SORVARI et al., 1996).

- Transverse Mikroradiographie

Die Mikroradiographie ist aus Versuchen über De- und Remineralisationsvorgänge der Karies bekannt. Sie kann auch genutzt werden, um verschiedene Einflüsse auf die Progredienz von Erosionen quantitativ zu erfassen (AMAECCHI et al., 1998b).

### 2.10.2 Abrasionen

Zu den häufig angewendeten Verfahren zur Erfassung des Hartschubstanzverlustes bei Abrasionen und Erosio-Abrasionen in vitro gehören die gravimetrische Methode, das Radiotracer - Verfahren und die Profilometrie (BARBAKOW et al., 1987).

- Gravimetrische Methode

Bei dieser Methode wird der Gewichtsverlust der Zahnprobe durch das Bürsten ermittelt (HOTZ, 1983). Dabei muß darauf geachtet werden, dass der Feuchtigkeitsgehalt der Proben sich nicht verändert. Ansonsten kann es zu falschen Aussagen bezüglich der stattgefundenen Abrasion kommen.

- Radiotracer - Verfahren

Diese Verfahren wurde erstmals von GRABENSTETTER et al. (1958) getestet. Dabei wurden Zahnproben bestrahlt, so dass es zu einer Aktivierung von  $P^{31}$  zu  $P^{32}$  kommt. Nach dem Bürsten der Probe wird die Radioaktivität des Bürst-Slurry bestimmt und mit der Radioaktivität eines Standard-Slurry verglichen (DAVIS, 1979; SLOP et al., 1983).

- Profilometrie

Bei der profilometrischen Analyse wird die Oberfläche einer Zahnprobe von Diamantspitzen oder einem Laserstrahl abgetastet. Es handelt sich um eine sehr genaue Methode zur Erfassung von Oberflächenunebenheiten. Eine quantitative Bewertung der erfolgten Abrasion

wird durch Abtasten ungeputzter und geputzter Bereiche ermöglicht, deren Höhenniveau computergestützt gegeneinander verrechnet werden kann (ASHMORE et al., 1972; NOORDMANS et al., 1991).

### 3. Versuchsplanung

90 Zahnkronen menschlicher retinierter Weisheitszähne wurden halbiert und in Kunststoff eingebettet. Daraus entstanden 180 Proben.

Daraufhin erfolgte das planparallele Abschleifen der Schmelzschicht, sowie ca. 200 µm der Dentinschicht. Die polierte Dentinfläche wurde unter Freilassung eines Mittelstreifens mit Klebefolie abgedeckt und die so präparierten Proben auf 9 Gruppen (A-I) zu je 20 Proben verteilt. Alle Proben wurden vor Versuchsbeginn 72 h in menschlichem Speichel gelagert.

Zehn dieser Prüfkörper pro Gruppe wurden nun folgenden De- und Remineralisationszyklen mit anschließender Bürstabrasion unterzogen:

- Demineralisation durch eine erosive Flüssigkeit (1 %ige Zitronensäure) für 5 min
- Remineralisation in künstlichem Speichel für 1 min
- 1. Bürstabrasion, 2000 Bürststriche
- 2. Bürstabrasion, 2000 Bürststriche
- Zwischenlagerung für 8 h in menschlichem Speichel

Die zehn unerodierten Prüfkörper pro Gruppe wurden folgendem Zyklus unterzogen:

- 1. Bürstabrasion, 2000 Bürststriche
- 2. Bürstabrasion, 2000 Bürststriche
- Zwischenlagerung für 8 h in menschlichem Speichel

Alle Prüfkörper durchliefen ihren jeweiligen Zyklus dreimal. Daraus ergibt sich, dass jede Probe 12000 mal gebürstet wurde. Nach Abschluß der letzten Bürstabrasion wurden die Proben nicht mehr in menschlichem Speichel gelagert.

Die Proben wurden in einer automatischen Zahnbürstmaschine unter Verwendung eines Zahnpastaslurries gebürstet. Als „slurry“ diente ein Gemisch aus Zahnpasta und künstlichem Speichel (100 g Paste / 500 ml Speichel). Durch Verwendung unterschiedlicher Zahnpasten ergaben sich folgende Gruppen:



- 
- Gruppe A: Elmex ®
  - Gruppe B: Blendax Anti Belag 3®
  - Gruppe C: Elmex Sensitive®
  - Gruppe D: Dentsply® Fluorid Gel
  - Gruppe E: Elmex gelée®
  - Gruppe F: Experimentelle Zahnpasta (ZP1)
  - Gruppe G: Experimentelle Zahnpasta (ZP2)
  - Gruppe H: Experimentelle Zahnpasta (ZP3)
  - Gruppe I: Experimentelles Fluorid Gel

Nach Abschluß der Bürstabrasion wurde der Klebestreifen entfernt und die Probenoberfläche mit Alkohol gereinigt. Anschließend wurde der Zahnhartsubstanzabtrag mittels einer rechnergestützten Laserprofilometrie in Bezug auf die vom Klebeband geschützte polierte Probenoberfläche gemessen.

## **4. Material und Methode**

### ***4.1 Probenherstellung***

Für die experimentelle Studie wurden 90 extrahierte, retinierte menschliche Weisheitszähne verwendet. Zur Desinfektion und Aufbewahrung lagerten diese in 0,5 %iger Thymollösung.

Die Zähne wurden sorgfältig mit Skalpell und Zahnbürste gereinigt, die Wurzeln vorsichtig abgetrennt und das Pulpagewebe vollständig entfernt.

Die Zahnkronen wurden mit einer diamantbelegten Bandsäge (Mikro-Schleifsystem, Exakt, Norderstedt, Deutschland) unter Wasserkühlung in mesio-distaler Richtung halbiert.

Die mit Zellstofftüchern getrockneten Zahnkronen wurden mit der vestibulären oder oralen Fläche nach unten zentral auf den Boden von Einbettformen plaziert. Als solche dienten Kunststoffformen (Multiform, Struers, Erkrat, Deutschland) mit 2,5 cm Innendurchmesser.

Anschließend wurde Kaltpolymerisat (Technovit 4071, Heraeus Kulzer, Wehrheim, Deutschland) nach Gebrauchsanweisung angerührt und die Formen so weit aufgefüllt, daß der Zahn vollständig bedeckt war. Zusätzlich wurde darauf geachtet, daß die Schichtdicke des Kunststoffblockes bei allen Proben ungefähr gleich war, nämlich ca. 1 cm. Nach Aushärten des Kunststoffes wurden die Probenzylinder aus den Formen entfernt.

Die Proben wurden bis zur weiteren Verwendung in 0,5 %iger Thymollösung aufbewahrt.

#### **4.1.1 Politur der Proben**

Die Probenoberfläche wurde in einer Politur- und Schleifmaschine (Mikro-Schleifsystem, Exakt Apparatebau, Norderstedt, Deutschland) geglättet. Das Beschleifen und Polieren erfolgte mit Siliciumkarbid-Schleifpapier (Struers, Erkrat, Deutschland) mit abnehmender Körnung (500, 800, 1000, 1200, 2400, 4000). Es wurde darauf geachtet, dass nach dem Abtrag der Schmelzschicht noch ca. 200 µm der oberen Dentinschicht abgeschliffen wurde. Der Abtrag wurde mit einer Bügelmessschraube (Digimatic, Micrometer, Mitutoyo, Tokyo, Japan) kontrolliert. Die Unterseite des Probenkörpers wurde mit Hilfe der Schleifmaschine in Relation zur Probenoberfläche planparallel geschliffen.

Zur Feinpolitur diente ein Poliertuch aus Naturseide (DUR-Tuch, Struers, Erkrat) und Diamantspray (DP-Spray, P; Struers, Erkrat) mit 3 µm- und 1 µm- feinen Partikeln.

Diese Endpolitur erfolgte mit dem Poliergerät DP-U3 (Struers, Erkrat) bei 200 U/min.

Schleif- und Polierrückstände wurden mit aqua dest. abgespült.

Nach der Politur schloß die Oberfläche der Proben bündig mit der Oberfläche des Kunststoffes ab.

#### **4.1.2 Vorbereitung der Proben**

Zwei selbstklebende Dekorstreifen aus dem Automobilzubehör (Dispo®, Dornburg, Deutschland), die im Abstand von 1,2 mm auf einer Rolle fixiert waren, dienten zum Abkleben der Referenzfläche auf den Proben mit einem 1,2 mm breiten Teststreifen in der Mitte.

Dieser Streifen wurde auf der polierten Dentinfläche so plaziert, dass beiderseits der übrige Teil des Dentins abgedeckt war und zentral ein Fenster der Dentinoberfläche unbedeckt blieb.

Die 180 Dentinproben wurden zufällig auf neun verschiedene Gruppen (A-I) verteilt.

## **4.2 *Demineralisations-/Remineralisationslösungen***

### **4.2.1 1 %ige Zitronensäure**

Als erosive Lösung wurde 1%ige Zitronensäure verwendet. Diese wurde aus 10 g Zitronensäure (Merck, Darmstadt, Deutschland) und 990 ml aqua dest. hergestellt.

Der pH-Wert dieser Lösung betrug 2,28. Dieser Wert wurde im Labor mit dem pH-Meßgerät Mikroprozessor pH-mV-Meter pH 526 (WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, Weilheim, Deutschland) gemessen.

### 4.2.2 Künstlicher Speichel

Der synthetische Speichel wurde nach einer Rezeptur von KLIMEK et al. (1982) hergestellt. Er diente zum Mischen des Abrasionsmediums (Bürstslurry).

Die Zusammensetzung des Speichels ist in folgender Tabelle dargestellt:

<u>Bestandteil</u>	<u>Menge in Gramm</u>
Ascorbinsäure*	0,002
Glukose*	0,030
NaCl*	0,580
CaCl <sub>2</sub> *	0,170
NH <sub>4</sub> Cl*	0,160
KCl*	1,270
NaSCN*	0,160
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> *	0,330
Harnstoff*	0,200
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> *	0,340
Muzin#	2,700
aqua dest.	ad 1000 ml

Tab. Zusammensetzung des synthetischen, muzinhaltigen Speichels

\* = Merck, Darmstadt, Deutschland

# = Bacto®-Mucin Bacteriological, Difco Laboratories, Detroit, USA

Der pH-Wert des künstlichen Speichels betrug 6,68.

### 4.2.3 Menschlicher Speichel

Der menschliche Speichel wurde von ca. 80 verschiedenen Probanden beiderlei Geschlechts im Alter von 20 bis 70 Jahren gesammelt. Dabei durften die Probanden 1 h vor dem Spenden und währenddessen weder Nahrung noch Getränke zu sich nehmen. Anschließend wurde der

Speichel in einer Zentrifuge (Biofuge stratos, Heraeus Instruments GmbH, Stuttgart, Deutschland) in verschließbaren 50 ml Plastikröhrchen (50ml Tubes, Greiner Labortechnik, Frickenhausen, Deutschland) für 2 min. bei 2000 U/min zentrifugiert. Die lichtmikroskopische Kontrolle ergab, daß kein Unterschied zwischen 2-, 4- und 6- minütigem Zentrifugieren bestand. Der klare Überstand wurde in ein 3000 ml-Becherglas abgeschüttet und pro 1 l Speichel mit 1 ml 0,2 %igem Natriumazid versetzt. Mit Hilfe des Magnetrührers RCT basic (IKA Labortechnik, IKA Werke, Staufen, Deutschland) wurde der Speichel nun zu einem homogenen Speichel-Pool vermischt. Der pH-Wert des Speichel-Pools betrug 7,18.

### 4.3. *De- und Remineralisation*

Die Proben wurden folgenden Abläufen unterzogen:

Erodierte Proben, n = 10 pro Gruppe:

- Einlagerung in menschlichem Speichel für 72 h, 10 ml pro Probe
- De- und Remineralisationszyklus mit anschließender Bürstabrasion
  1. Demineralisation in 1 %iger Zitronensäure, 10 ml pro Probe für 5 min
  2. Abspülen der Proben mit aqua dest., Trocknen mit Zellstofftüchern
  3. Remineralisation in künstlichem Speichel, 10 ml pro Probe für 1 min
  4. Abspülen der Proben mit aqua dest., Trocknen mit Zellstofftüchern
  5. Bürstabrasion, 2000 Striche, 20 ml Slurry pro Probe
  6. Abspülen der Proben mit aqua dest., Trocknen mit Zellstofftüchern
  7. Bürstabrasion, 2000 Striche, 20 ml Slurry pro Probe
  8. Abspülen der Proben mit aqua dest., Trocknen mit Zellstofftüchern
- Zwischenlagerung in menschlichem Speichel für 8 h, 10 ml pro Probe
- De- und Remineralisationszyklus mit anschließender Bürstabrasion
- Zwischenlagerung in menschlichem Speichel für 8 h, 10 ml pro Probe
- De- und Remineralisationszyklus mit anschließender Bürstabrasion

Nicht erodierte Proben, n = 10 pro Gruppe:

- Einlagerung in menschlichem Speichel für 72 h, 10 ml pro Probe
- Bürstzyklus:
  1. Bürstabrasion, 2000 Striche, 20 ml Slurry pro Probe
  2. Abspülen der Proben mit aqua dest., Trocknen mit Zellstofftüchern
  3. Bürstabrasion, 2000 Striche, 20 ml Slurry pro Probe
  4. Abspülen der Proben mit aqua dest., Trocknen mit Zellstofftüchern
- Zwischenlagerung in menschlichem Speichel für 8 h, 10 ml pro Probe
- Bürstzyklus
- Zwischenlagerung in menschlichem Speichel für 8 h, 10 ml pro Probe
- Bürstzyklus

Die Lösungen wurden bei Zimmertemperatur angewendet und während der Probenexposition nicht umgerührt. Je nach Verwendung der Pasten oder Gele zur Slurryherstellung ergab sich die Einteilung der Proben in die Gruppen A-I.

Die Gruppeneinteilung A-I war für erodierte und nicht erodierte Proben identisch.

#### **4.4. Bürstabrasion**

##### **4.4.1 Bürstapparatur**

Die Abrasion der Proben erfolgte mit einer automatischen Zahnputzmaschine (VDD Elektronik, Freiburg, Deutschland).

Diese Maschine besteht aus einem Motor, der zwei Gestänge vorwärts und rückwärts bewegt. An den beiden Gestängen wurden zwei Zahnbürsten (I und II) befestigt. Die Geschwindigkeit des Motors kann individuell geregelt werden. Die Anzahl der Vor- und Rückbewegungen kann über eine Zähluhr festgelegt werden. An den Kopf der Zahnbürsten wurden Halter geschraubt, an denen ein Gewicht befestigt wurde. Die Maschine ist zusätzlich zu den zwei Zahnbürsten mit Aluminiumgefäßen (I und II) bestückt, die eine zentrale Vertiefung von 30

mm Durchmesser aufweisen. Die Gefäße sind auf einer höhenverstellbaren Platte montiert. Dadurch ist es möglich, den Boden der Gefäße parallel zum Zahnbürstenkopf auszurichten. Zum Putzen wurden Zahnbürsten mit auswechselbarem Borstenfeld (CLIPS Depot, Härte Mittel, fuchs GmbH, Bensheim, Deutschland) verwendet.

#### 4.4.2 Abrasionsmedium

Das Abrasionsmedium wurde durch Mischen von künstlichem Speichel mit der gruppenspezifischen Zahnpasta hergestellt. Inhaltsstoffe und Charakteristika der Zahnpasta sind in Tabelle 4-1 wiedergegeben. Zur Herstellung des Abrasionsmediums wurden 1 g Zahnpasta mit 5 ml synthetischem Speichel auf dem Magnetrührer RCT basic (IKA Labortechnik, Staufen, Deutschland) zu einer homogenen Suspension (Slurry) vermischt. In einem Durchgang wurde immer 0,5 l Slurry hergestellt.

Gruppe	Zahnpaste	RDA	Fluoridgehalt	pH-Wert	Putzkörper	Säurezahl
A	Elmex	77	0,125	4,5	Silica	6
B	Blendax Antibelag 3	106	0,145	6,7-7,3	Silica	
C	Elmex sensitive	30	0,14	5,0	Silica PE	4,4
D	Dentsply Fluoridgel	16	1,25	5,4 – 5,5	Keine	
E	Elmex Gelee	21	1,25	4,5	Keine	8,5
F	ZP 1	125	0,125	4,5	Silica	24
G	ZP 2	129	0,125	4,5	Silica	12
H	ZP 3	81	0	4,5	Silica	1,55
I	Exp. Elmex Gelee	7	0,125	4,5	Keine	3,11

Tabelle 4 –1: Charakteristika der verwendeten Zahnpasten und Fluoridgele laut Angaben der Firma GABA GmbH, Lörrach, Deutschland

Definition RDA-Wert:

Die heute gängigste Methode zur Messung der Abrasivität von Putzkörpern an den Zahnhartsubstanzen ist der radioaktive Abrasionstest, wobei für Schmelz (REA = Radioactive Enamel Abrasion) und für Dentin (RDA = Radioactive Dentin Abrasion) getrennte Werte ermittelt werden. Die Werte werden im Vergleich zu einem Standard angegeben. Der Wert des Standards (meist Kalziumcarbonat oder Kalziumpyrophosphat) wird mit 100 festgesetzt. Je höher die Werte der Testpaste liegen, desto stärker ist die Abrasivität.

Definition der Säurezahl:

Die Säurezahlen sind ein Maß für die Pufferkapazität. Die Säurezahl ist folgendermassen definiert: Die Säurezahl gibt die Menge von Kaliumhydroxid (KOH) in mg an, die zur Neutralisation von 1g der Zahnpasten-Probe verbraucht wird. Je höher die Säurezahl ist, desto höher ist die Pufferkapazität und desto länger bleibt das saure Milieu der Zahnpaste erhalten.

#### **4.4.3 Bürstvorgang**

Jeder Gruppe wurden zwei eigene Bürstköpfe (I und II) zugeteilt, so daß eine einheitliche Abnutzung während des Bürstvorganges gewährleistet war. Auf den Zahnbürstenkopf wurde ein Halter mit Gewichten von 275g aufgesteckt. Dadurch wurde ein definierter, konstanter Anpreßdruck von ca. 2,7 N auf die Probe ausgeübt.

Während der Bürstabrasion wurden die Proben mit Abformmaterial niedriger Konsistenz (Dimension Garant L, Espe, Seefeld, Deutschland) in der Vertiefung der Aluminiumgefäße fixiert. Dadurch konnte ein unbeabsichtigtes Verrutschen der Prüfkörper während des Bürstvorganges verhindert und zusätzlich ein standardisiertes Plazieren aller Proben gewährleistet werden.

Es wurde darauf geachtet, dass die Proben exakt zentral in der Vertiefung lagen und die Oberfläche bündig mit dem Boden des Aluminiumgefäßes abschloss. Das Borstenfeld lag somit in seiner gesamten Länge plan auf der Probe auf.

Die Proben wurden während der oben beschriebenen Zyklen insgesamt sechsmal einer Bürstabrasion unterzogen.

Um eine Härteveränderung der Borsten durch Wasseraufnahme während des Bürstvorganges zu vermeiden, wurden die Bürstköpfe vor dem Bürsten 30 min in Wasser gelagert.



Um einen möglichen Einfluß der beiden motorgetriebenen Zahnbürsten-Gestänge (I und II) auf die Abrasion zu verhindern, wurde jede Probe abwechselnd in Gefäß I und in Gefäß II befestigt.

Es wurden in jedem Zyklus 2000 Bürststriche mit einer Frequenz von 200 Strichen pro Minute in Längsachse des freien Fensters der Proben durchgeführt. Die Bürststrecke betrug 21 mm. Dadurch wurde der Prüfkörper von dem gesamten Borstenfeld erfaßt.

Während der Bürstvorgänge waren die Aluminiumgefäße mit jeweils 20 ml Slurry gefüllt. Nach jedem Zyklus wurde der Slurry erneuert.

Nach Abschluß aller Bürstzyklen wurden die Proben in einer feuchten Kammer gelagert, um ein Austrocknen zu verhindern.

## 4.5 Auswertung

### 4.5.1. Profilometrische Bestimmung

Die Klebestreifen wurden von den Proben entfernt. Mit Alkohol und einem Zellstofftuch wurde die Oberfläche von Klebstoffresten gereinigt.

Die Bestimmung des Dentinabtrages im Bereich des Bürstgrabens wurde mit einer computergestützten Laserprofilometrie (Microfocus Basic, UBM Meßtechnik, Ettlingen, Deutschland) durchgeführt.

Die Parameter des Profilometers waren folgendermaßen definiert (Tab.):

Meßbedingungen:

Meßmodus	Linienmessung
Meßbereich	+/- 500 µm
Meßstrecke	2,5 mm
Meßfrequenz	60 Punkte/s
Punktdichte	200/mm
Geschwindigkeit	0,30 mm/s
Laserleistung	1,0
Auflösung	0,1 µm

Der Laserkopf tastete die Dentinoberfläche senkrecht zur Bürstrichtung ab. Der Startpunkt und der Endpunkt der Messung lag jeweils auf dem nicht gebürsteten Oberflächenbereich (Referenzfläche).

Im Bereich des Bürstgrabens wurden im Abstand von 0,5 mm fünf laserprofilometrische Abtastungen durchgeführt.

Die mit dem Autofocussensor gewonnenen Daten wurden von dem Softwareprogramm „Versuchs- und Auswertesystem Version 1.30“ (UBM Meßtechnik, Ettlingen) digital erfaßt und bearbeitet. Durch die speziell verwendete Software war es möglich, die mittlere Tiefe des Bürstgrabens zu bestimmen. Aus den fünf so bestimmten Werten je Probe wurde ein Mittelwert gebildet.

### **4.5.3 Statistische Analyse**

Die Meßdaten wurden mit Hilfe des Programmes SAS (SAS Institute Inc., Cary, USA) analysiert. Die aus den Abrasionsversuchen ermittelten Bürstgrabentiefen wurden nach dem Verfahren von Tukey (studentized Range HSD) einer Varianzanalyse unterzogen.

Mit dem Abschlußtestverfahren wurden die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen überprüft. Innerhalb einer Gruppe wurden erodierte und nicht erodierte Proben verglichen. Außerdem wurden die Gruppen A, F, G und H und die Gruppen D, E und I verglichen.

Das Signifikanzniveau wurde mit  $p \leq 0,05$  angegeben.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Bürstabrasion

Die Behandlung der Prüfkörper aller neun Versuchsgruppen resultierte in einem Materialabtrag im Bereich des vom Klebestreifen unbedeckten Teststreifens. Auf der Dentinoberfläche konnte man schon makroskopisch eine deutliche Bürstspur erkennen. Diese ließ sich klar gegen die polierten, ungebürsteten Areale abgrenzen.

Alle Proben zeigten im Bereich der Bürstspur eine unregelmäßig aufgeraute Oberfläche. In den Abbildungen 5-1 bis 5-3 sind die profilometrischen Ergebnisse der erodierten Proben für die Gruppen A (Elmex®), C (Elmex Sensitive) und E (Elmex gelée) exemplarisch dargestellt. Um eine bessere Übersicht über die profilometrischen Darstellungen zu erhalten, wurde bei den jeweiligen Abbildungen eine unterschiedliche Skalierung gewählt.

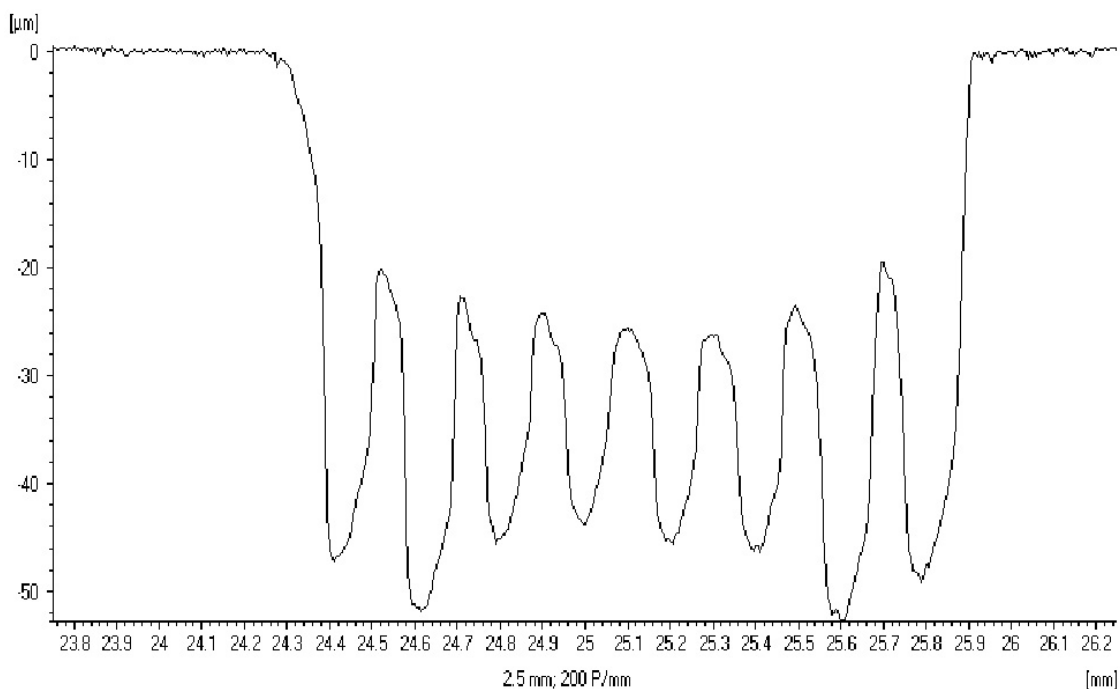


Abb. 5-1: Profilometrische Darstellung einer gebürsteten Dentinprobe (Gruppe A, Elmex®, erodiert)

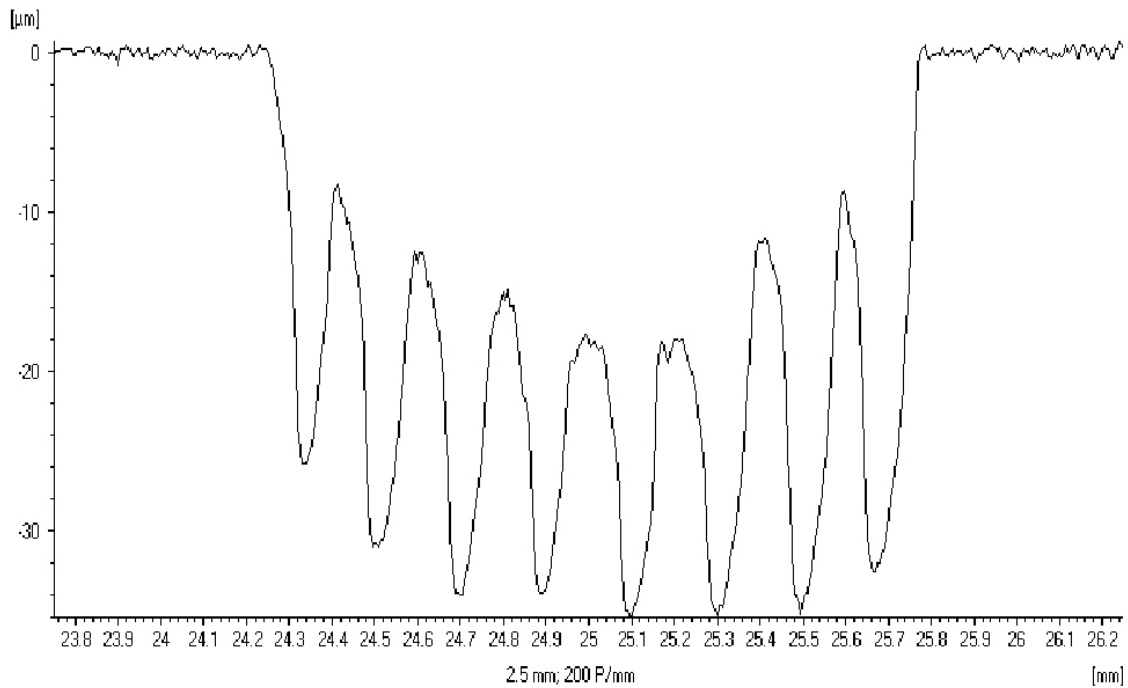


Abb 5-2: Profilometrische Darstellung einer gebürsteten Dentinprobe  
(Gruppe C, Elmex Sensitive®, erodiert)

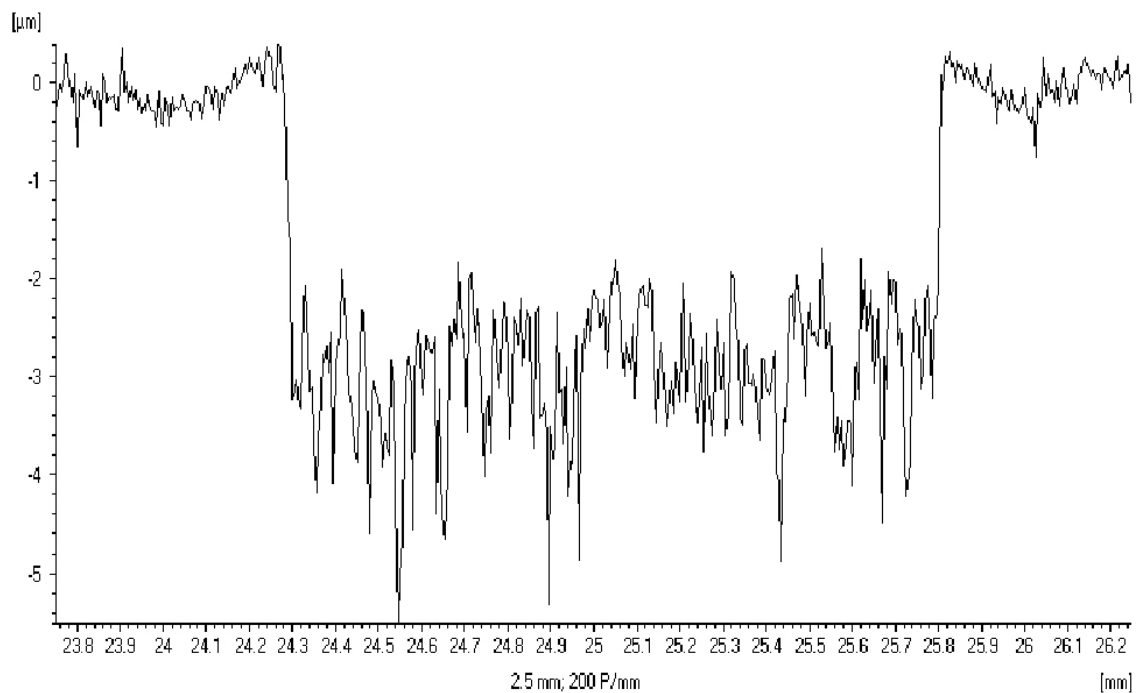


Abb. 5-3: Profilometrische Darstellung einer gebürsteten Dentinprobe  
(Gruppe E, Elmex gelée®, erodiert)

## 5.2 Auswertung der Bürstabrasionen

In den Abbildungen 5-4, 5-5 und 5-6 sind die mittleren Tiefen der Bürstgräben und die Standardabweichungen dargestellt.

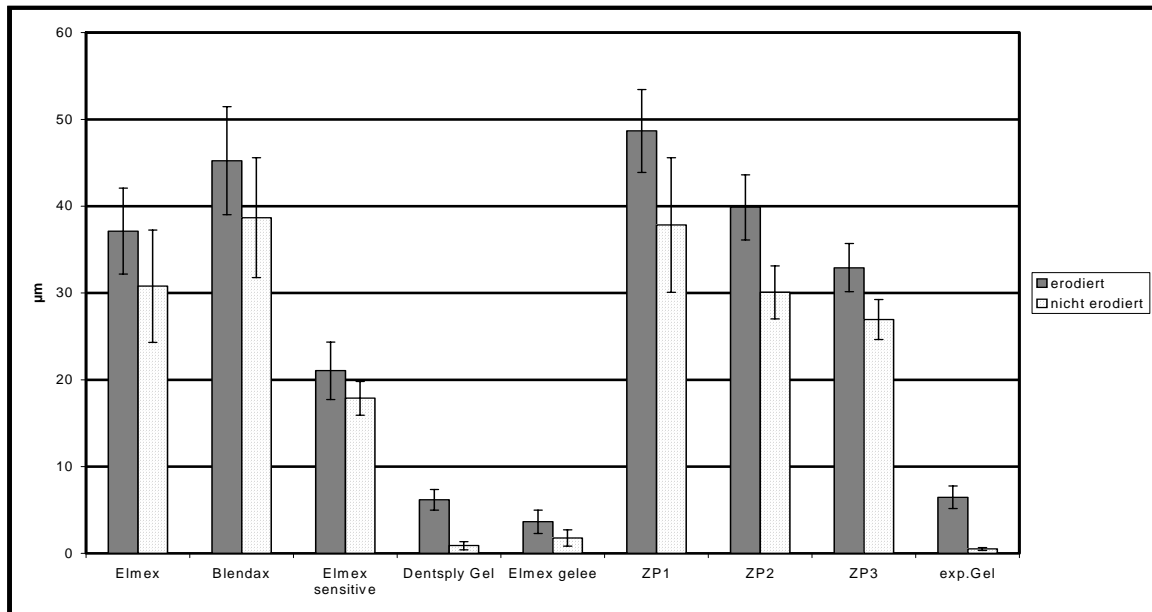


Abb. 5-4: Darstellung des mittleren Dentinabtrags sowie der Standardabweichungen für erodierte und nicht erodierte Proben aller Gruppen (in µm)

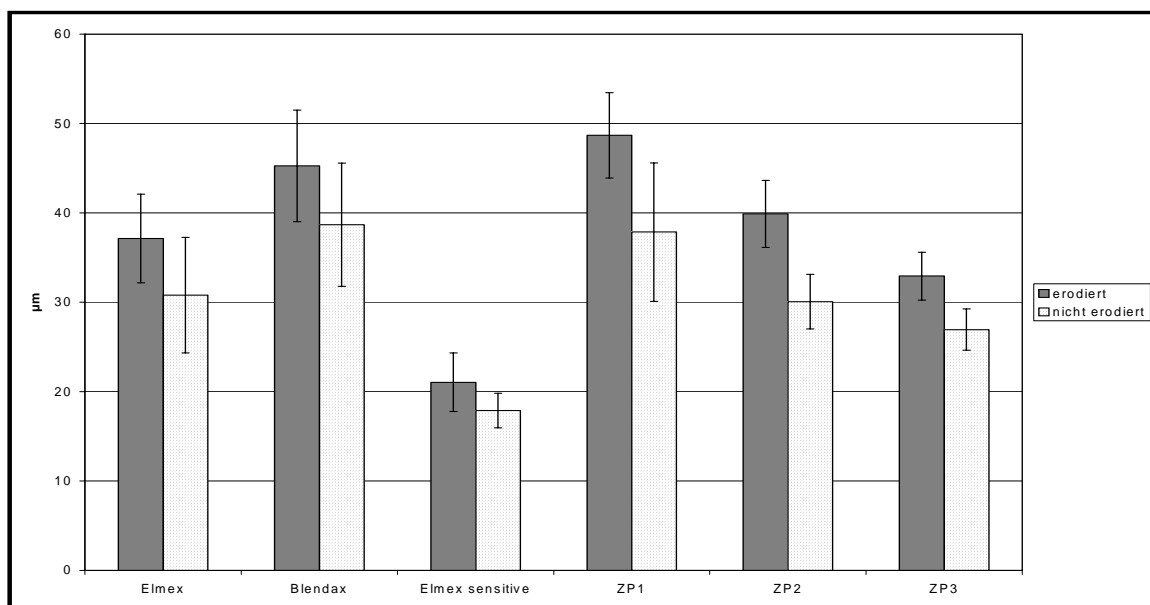


Abb. 5-5: Darstellung des mittleren Dentinabtrags sowie der Standardabweichungen für erodierte und nicht erodierte Proben, die mit Pasten gebürstet wurden (in µm)

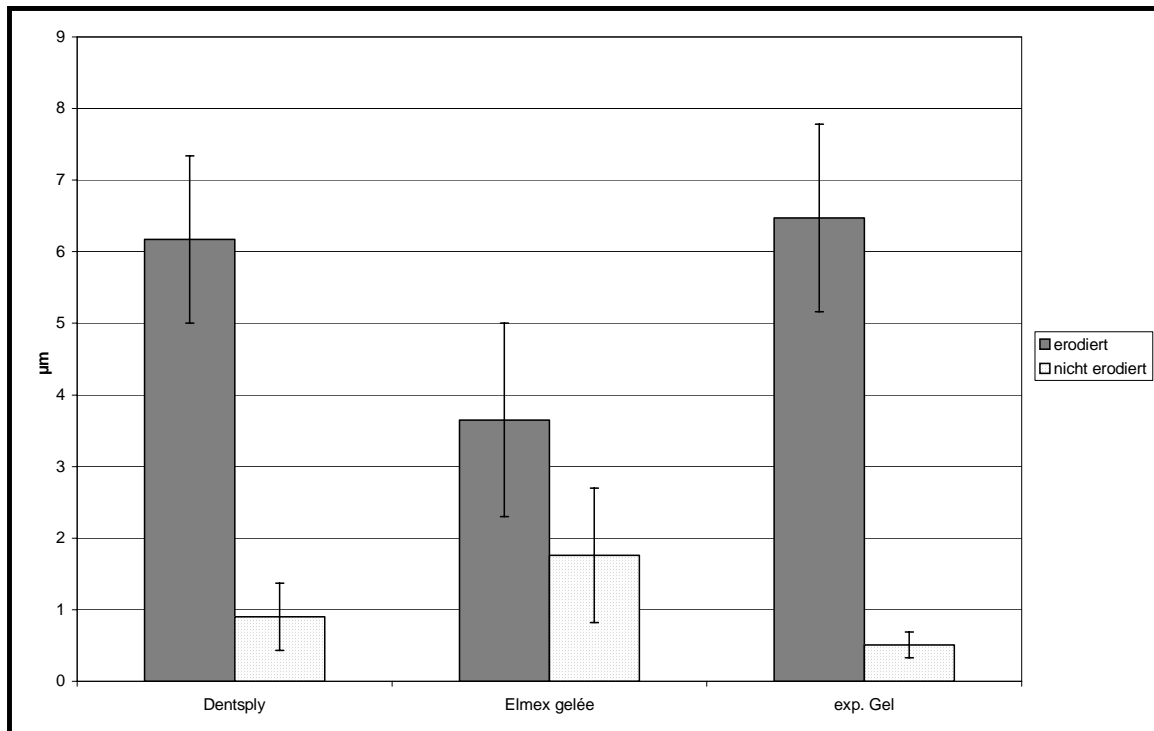


Abb. 5-6: Darstellung des mittleren Dentinabtrags sowie der Standardabweichungen für erodierte und nicht erodierte Proben, die mit Gelen gebürstet wurden (in µm)

Gruppe	Paste	Erodiertes Dentin	Nicht erodiertes Dentin
A	Elmex®	37,12 ± 4,95	30,78 ± 6,47
B	Blendax Antibelag 3	45,25 ± 6,24	38,68 ± 6,89
C	Elmex® Sensitive	21,04 ± 3,29	17,88 ± 1,94
D	Dentsply Fluoridgel	6,17 ± 1,17	0,90 ± 0,47
E	Elmex® Gelée	3,65 ± 1,35	1,76 ± 0,94
F	Exp. Zahnpaste 1	48,67 ± 4,77	37,84 ± 7,75
G	Exp. Zahnpaste 2	39,88 ± 3,76	30,07 ± 3,05
H	Exp. Zahnpaste 3	32,92 ± 2,67	26,93 ± 2,30
I	Exp. Gel	6,47 ± 1,31	0,51 ± 0,18

Tabelle 5-1: Mittlere Dentinabrasion aller Gruppen mit Standardabweichung.  
Alle Zahlenwerte sind in  $\mu\text{m}$  angegeben.

Die statistische Analyse (Methode nach Kruskal-Wallis) aller erodierten Proben untereinander sowie aller nicht erodierten Proben untereinander ergab, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den neun Gruppen vorlag.

In der weiteren statistischen Analyse wurden Pasten und Gele getrennt voneinander verglichen.

Beim Paarvergleich der **Pasten** A, B, C, F, G und H ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den erodierten Proben untereinander und zwischen den nicht erodierten Proben untereinander. Bei den erodierten Proben waren die Unterschiede grösser.

Die p-Werte für den Vergleich der mit Pasten gebürsteten Proben sind in den Tabellen 5-1 und 5-2 angegeben.

	A Elmex	B Blendax Antibelag 3	C Elmex Sensitive	F Exp. Paste 1	G Exp. Paste 2	H Exp. Paste 3
A Elmex		0,0267 *	0,0009 *	0,0017 *	0,5318	0,1561
B Blendax Antibelag 3	0,0267 *		0,0014 *	0,3441 *	0,0991 *	0,0014 *
C Elmex Sensitive	0,0009 *	0,0014 *		0,0014 *	0,0009 *	0,0015 *
F Exp. Paste 1	0,0017 *	0,3441 *	0,0014 *		0,0072 *	0,0014 *
G Exp. Paste 2	0,5318	0,0991 *	0,0009 *	0,0072 *		0,013 *
H Exp. Paste 3	0,1561	0,0014 *	0,0015 *	0,0014 *	0,013 *	

Tabelle 5-1: Paarvergleich der erodierten Proben (Pasten) in einer Vielfeldertafel. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p=0,05$  festgelegt. Die mit \* gekennzeichneten Vergleiche sind signifikant unterschiedlich.

Bei den erodierten Proben sind die Ergebnisse von Blendax Antibelag 3 (B), von Elmex Sensitive (C) und der exp. Paste 1 (F) zu allen Pasten signifikant unterschiedlich. Blendax Antibelag 3 (B) und die exp. Paste 1 (F) zeigten den signifikant grössten Abtrag, Elmex Sensitive (C) bewirkte die signifikant geringste Abrasion. Die Ergebnisse der exp. Pasten 2 (G) und 3 (H) waren zu allen Pasten ausser zu Elmex (A) signifikant unterschiedlich.



	A Elmex	B Blendax Antibelag 3	C Elmex Sensitive	F Exp. Paste 1	G Exp. Paste 2	H Exp. Paste 3
A Elmex		0,0576	0,005 *	0,0696	0,8234	0,1052
B Blendax Antibelag 3	0,0576		0,0007 *	0,8798	0,0095 *	0,002 *
C Elmex Sensitive	0,005 *	0,0007 *		0,0007 *	0,0008 *	0,0021 *
F Exp. Paste 1	0,0696	0,8798	0,0007 *		0,031 *	0,0108 *
G Exp. Paste 2	0,8234	0,0095 *	0,0008 *	0,031 *		0,0836
H Exp. Paste 3	0,1052	0,002 *	0,0021 *	0,0108 *	0,0836	

Tabelle 5-2: Paarvergleich der nicht erodierten Proben (Pasten) in einer Vielfeldertafel. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p=0,05$  festgelegt. Die mit \* gekennzeichneten Vergleiche sind signifikant unterschiedlich.

Bei den nicht erodierten Proben verhielt sich nur Elmex Sensitive (C) zu allen anderen Pasten signifikant unterschiedlich. Elmex Sensitive (C) zeigte den signifikant kleinsten Abtrag. Blendax Antibelag 3 (B) und die exp. Paste 1 (F) bewirkten eine signifikant höhere Abrasion als die exp. Pasten 2 (G) und 3 (H).

Beim Paarvergleich der **Gele** D, E, und I miteinander ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den erodierten Proben und den nicht erodierten Proben.

Die p-Werte für den Vergleich der mit Gelen gebürsteten Proben sind in den Tabellen 5-3 und 5-4 angegeben.

	D Dentsply Fluoridgel	E Elmex gelée	I Experimentelles Gel
D Dentsply Fluoridgel		0,0032 *	0,7055
E Elmex gelée	0,0032 *		0,0012 *
I Experimentelles Gel	0,7055	0,0012 *	

Tabelle 5-3: Paarvergleich der erodierten Proben (Gele) in einer Vielfeldertafel. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p=0,05$  festgelegt. Die mit \* gekennzeichneten Vergleiche sind signifikant unterschiedlich.

Bei den erodierten Proben waren nur die Ergebnisse von Elmex gelée (E) signifikant unterschiedlich zu den Ergebnissen von Dentsply Fluoridgel (D) und zum exp. Gel (I). Elmex gelée (E) zeigte den signifikant kleinsten Abtrag.

	D Dentsply Fluoridgel	E Elmex gelée	I Experimentelles Gel
D Dentsply Fluoridgel		0,0155 *	0,0284 *
E Elmex gelée	0,0155 *		0,0009 *
I Experimentelles Gel	0,0284 *	0,0009 *	

Tabelle 5-4: Paarvergleich der nicht erodierten Proben (Gele) in einer Vielfeldertafel

Bei den nicht erodierten Proben zeigten alle drei Gele (D, E, I) signifikante Unterschiede zueinander. Elmex gelée (E) zeigte den signifikant höchsten Abtrag.