

Eine Methode zum Monitoring von säurebedingtem Zahnhartsubstanzverlust

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

Vorgelegt von : Stefano De Sanctis
aus: Düsseldorf

Gießen 2001

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und präventive Zahnheilkunde
Leiter: Prof. Dr. J. Klimek
des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Klimek
Gutachter: PD. Dr. Klingmüller

Tag der Disputation: 22. Oktober 2002

1. EINLEITUNG	1
2. LITERATURÜBERSICHT	9
2.1. Erosionen	9
2.1.1. Definition und Ätiologie	9
2.1.2. Extrinsische Faktoren	10
2.1.3. Erosionen durch Einwirkung von Medikamenten und Vitamin-Präparaten	13
2.1.4. Erosionen durch berufliche Exposition	14
2.1.5. Intrinsische Faktoren	15
2.1.6. Klinisches Erscheinungsbild der Erosion	19
2.1.7. Mikromorphologisches Bild der Erosion	20
2.1.8. Epidemiologie	21
2.1.9. Therapie und Prophylaxe von Erosionen	24
2.2. Methoden zur Beurteilung von Zahnhartsubstanzverlust	27
3. MATERIAL UND METHODE	39
3.1. Prinzip der Messung	39
3.2. Herstellung des Markers und Befestigung auf der Zahnoberfläche	40
3.3. Profilometrie	40
3.4. Messbedingungen	41
3.5. Durchführung der Messungen	42
3.6. Auswerten der Profildiagramme	46
3.7. Reproduzierbarkeit der Methode - Vorversuche	49
3.8. Statistik	51
4. ERGEBNISSE DER VORVERSUCHE	52
5. ANWENDUNG DES VERFAHRENS IN SIMULIRTER KLINISCHER SITUATION	56
5.1. Sammeln und Aufbewahren der Proben	56
5.2. Herstellung des Urmodells	56
5.3. Erzeugung der Erosionen	58

5.4.	Herstellung des Situationsmodells	58
5.5.	Statistik	60
5.6.	Materialien- und Chemikalienliste	61
6.	ERGEBNISSE	63
6.1.	Allgemeines	63
6.2.	Vergleich der Höhenunterschiede nach Erosion mit der Ausgangssituation	68
7.	DISKUSSION	71
7.1.	Auswahl des Messverfahrens	71
7.2.	Befestigung des Markers	71
7.3.	Auswahl des Abformmaterials	73
7.4.	Auswahl des Modellmaterials	73
7.5.	Vorversuche	75
7.6.	Fehlerquellen bei der Abformung und Modellherstellung	76
7.7.	Fehlerquellen bei der profilometrischen Messung	78
7.8.	Diskussion der Messergebnisse	83
8.	KLINISCHE FÄLLE	87
8.1.	Fallbeispiel 1	87
8.2.	Fallbeispiel 2	93
9.	ZUSAMMENFASSUNG	96
10.	LITERATURVERZEICHNIS	98
11.	ANHANG	109

1. Einleitung

Als Zahnerosion bezeichnet man den säurebedingten zentripetalen Zahnhartsubstanzverlust ohne Beteiligung von Bakterien (Hotz 1987, Graehn 1991, Imfeld 1996). Dabei sind Säuren ursächlich, die sowohl endogener (Magensäure) als auch exogener (Lebensmittel, Getränke oder Medikamente) Natur sein können. Entsprechend hoch ist das Vorkommen von Erosionen bei Personen mit besonders „gesundheitsbewusster“ Ernährung. Menschen, die sich rein vegetarisch oder rohköstlich ernähren, sind mit 77%-97% (Linkosalo und Markkanen 1985; Ganß et al. 1999) sehr häufiger betroffen. Neben der Art der aufgenommenen Säuren spielt in erster Linie die Häufigkeit der Aufnahme eine entscheidende Rolle. So konsumieren Laktovegetarier durchschnittlich 9,5 kg Früchte pro Woche und nehmen durchschnittlich zwei- bis siebenmal täglich Zitrusfrüchte zu sich.

Eine weitere Gruppe von Betroffenen sind Personen mit Essstörungen. Nicht zuletzt deswegen, weil Erosionen auch bei dieser Patientengruppe mit einer Häufigkeit von bis zu 94,1% vorkommen (Scheutzel, 1992). Der zahnärztliche Befund bei diesen Patienten reicht von leichtem - manchmal auch gar keinem - bis zu extremem Zahnhartsubstanzverlust durch Erosion.

Wegen der offensichtlich raschen Progredienz des Zahnhartsubstanzverlustes erscheint es gerade bei Personen dieser Risikogruppe besonders wichtig, das Voranschreiten der Erosionen zu beobachten. Dabei stellt sich die Frage nach einer Methode, die es erlaubt, den Substanzverlust auf geeignete Weise zu erfassen. In vitro lässt sich qualitativer und quantitativer Substanzverlust durch chemische und physikalische Methoden mit hoher Genauigkeit bestimmen. Die Profilometrie beispielsweise hat sich bei in vitro- und in situ-Untersuchungen in Bezug auf die Quantifizierung erosiven Zahnhartsubstanzverlustes vielfach bewährt.

Messverfahren zur klinischen Erfassung von Substanzverlust sind in der Literatur jedoch nur wenig beschrieben worden. Indizes zur Beurteilung von Substanzverlust sind zwar geeignet um Erosionen mit geringem Aufwand über einen langen Zeitraum zu beobachten, sie sind aber wenig sensitiv und erlauben

deswegen nicht die Registrierung kleinster Veränderungen innerhalb kurzer Zeiträume. Ein ähnliches Problem bei der Messung von kleinen Substanzverlusten stellt die Verschleißmessung von Restaurationsmaterialien in vivo dar. Dabei werden unter anderem optische Messverfahren, volumetrische Messverfahren, mechanische Messverfahren und mechanisch computerunterstützte Messverfahren beschrieben. Vielfach wurde von natürlichen Referenzpunkten auf den zu messenden Zähnen ausgegangen, etwa den Höckerspitzen oder künstlich geschaffenen Einkerbungen im Schmelz. Es liegt jedoch in der Natur der Sache, dass bei erosionsbedingtem Substanzverlust die Wahl natürlicher Referenzpunkte nicht sinnvoll ist. Viele der computerunterstützten Messverfahren sind zudem zeitaufwendig und mit hohen Kosten verbunden.

Natürliche Referenzpunkte auf der Zahnoberfläche gehen durch Erosion verloren oder verändern sich im Laufe der Zeit, so dass quantitative Aussagen über Substanzverluste schwierig sind. Dies kann allenfalls dann bewerkstelligt werden, wenn gegen erosive Prozesse unempfindliche (Restaurations-) Materialien zur Beurteilung hinzugezogen werden (Grenby 1996).

In Anlehnung an diesen Gedanken soll in der vorliegenden Arbeit eine Methode vorgestellt werden, die es ermöglicht, säurebedingten Substanzverlust in vivo durch Anbringen eines gegenüber Säure unempfindlichen Markers anhand von Modellen profilometrisch nachzuweisen.

2. Literaturübersicht

2.1. Erosionen

2.1.1. Definition und Ätiologie

Der Begriff der Zahnerosion (lat. Erosio dentium) wird verwendet, um das Ergebnis eines pathologischen, chronischen Verlustes von Zahnhartsubstanz durch Säuren oder Chelatbildung ohne Beteiligung von Bakterien zu beschreiben (ten Cate & Imfeld 1996).

Im Gegensatz zur Karies, bei der es unter Einwirkung von Bakterien und Substrat zu einer lang andauernden Säurebildung in der Plaque kommt, liegen Erosionen kurzzeitige aber starke Säureangriffe von außen zugrunde. Bei Schmelzläsionen, die durch Karies verursacht werden, besteht anfänglich eine pseudointakte Oberflächenschicht, die das Ergebnis von De- und Remineralisationsprozessen ist. Unterhalb dieser Schicht finden die eigentlichen Demineralisationsvorgänge statt (subsurface lesion). Während es bei der initialen Karies durch Beseitigung der Noxen zur Remineralisation der Läsion kommen kann, kann bei häufiger Einwirkung starker, erosiver Noxen eine Remineralisation nicht erfolgen, da die Zahnhartsubstanz irreversibel abgetragen wird (McIntyre 1992; Hellwig et al. 1999).

Die Ursachen für Erosionen können *exogener* und *endogener* Natur sein. Extrinsische Faktoren stellen vor allem saure Lebensmittel (Nahrungsmittel und Getränke) dar. Aber auch das erosive Potential von Medikamenten, wie z.B. Ascorbinsäure (Giunta 1983; Meurman & Murtomaa 1986), Acetylsalicylsäure (Hannig & Albers 1993) oder Salzsäurepräparate (Maron 1996) und das Vorkommen von Erosionen durch berufliche Exposition durch erosive Dämpfe in der Industrie wird beschrieben (Petersen & Gormsen 1991). Als intrinsischer Faktor wird die Magensäure betrachtet. Der unphysiologische Kontakt von Magensäure zur Mundhöhle kann verschiedene Ursachen haben und wird später ausführlich dargestellt.

2.1.2. Extrinsische Faktoren

Für die Entstehung von Erosionen werden vor allem Fruchtsäuren in Getränken und Obst, aber auch der Konsum von Softdrinks verantwortlich gemacht. Stafne und Lovstedt (1947) beobachteten bei Patienten mit erhöhtem Konsum von Zitronen Anzeichen für „in Lösung gegangene Zahnschubstanz“. Dabei verwendeten die meisten Patienten Zitronen bzw. Zitronensaft als therapeutisches Mittel gegen Rheuma, Verstopfungen oder Erkältungskrankheiten. Der Schweregrad der Erosionen variierte von Patient zu Patient und schien nicht unbedingt von Dauer und Häufigkeit der Einnahme von Zitronensäure abhängig zu sein. Es wurde vermutet, dass die Pufferkapazität des Speichels eine Rolle spielen könnte. Die Autoren betonen, dass bis dato die Zahnerosion eine untergeordnete Rolle spielte. Die Fälle beschränkten sich auf nur wenige Ausnahmen. Mit zunehmender und teilweise ganzjähriger Verfügbarkeit von exotischen Früchten und Zitrusfrüchten und einem großem Angebot an Fruchtsäften und steigendem Konsum von Softdrinks (Kelleher & Bishop 1999) scheinen Erosionen jedoch häufiger vorzukommen. So stellten Asher und Read (1987) bei der Untersuchung von zwölf Patienten zwischen neun und fünfzehn Jahren zum Teil schwere Erosionen der palatinalen Flächen der oberen mittleren Inzisivi, im schwächeren Ausmaß Erosionen der Okklusalfächen der unteren Molaren, fest. Allen Patienten gemein war der fast ausschließliche und tägliche Genuss von säurehaltigen Getränken (Fruchtsäfte, Limonaden und Cola-Getränke). Linkosalo und Markanen (1985) vermuteten, dass bei Laktovegetariern die Ursache für das gehäufte Vorkommen von Erosionen im häufigen Verzehr von Essig und sauren Konserven sowie sauren Beerenfrüchten und Zitrusfrüchten liegen müsse. Tatsächlich liegt der durchschnittliche Konsum von Obst bei Rohkostlern zwischen 1,5 und 23,7kg (durchschnittlich 9.5kg) pro Woche (Ganß et al. 1999).

Meurman et al. (1990) schlussfolgerten, dass bei der Entstehung von Erosionen der pH-Wert eines Getränkes von entscheidender Bedeutung sei. Dabei wurde die Erosivität der Getränke in einer in vitro-Studie an Rinderschmelzproben untersucht. Der Substanzverlust wurde profilometrisch nachgewiesen. Anschlie-

ßend wurde die Oberflächenhärte gemessen und die Zahnoberfläche elektronenmikroskopisch beurteilt. Der Substanzverlust begann bei pH 5 und stieg exponentiell bei fallendem pH- Wert an.

Jedoch ist nicht nur der pH-Wert, sondern vor allem der Gehalt an titrierbarer Säure maßgebend für den Erosionsprozess (Grenby et al. 1989). Weißwein mit einem pH von 2,8-3,8 ist beispielsweise weniger erosiv als Orangensaft mit einem pH von 3,84 (Larsen & Nyvad 1999). Trotz der ähnlichen pH-Werte muss Orangensaft die doppelte Menge an NaOH zugesetzt werden, um den pH auf 5,5 zu erhöhen (Wiktorsson et al. 1997).

Neben dem pH-Wert und dem titrierbaren Säuregehalt hängt die Erosivität von Säuren in erheblichem Maße auch von dem Gehalt an Zitronensäure, deren Ätzwirkung auch auf ihre komplexbildende Eigenschaft zurückzuführen ist (McIntyre 1992, Barbakov & Imfeld 1990). Rytömaa et al. (1988) untersuchten das Erosionspotential von Cola, Diätcola, Orangensaft, einem Sportgetränk, Bier, Kaffee (gezuckert und ungezuckert), Buttermilch, Erdbeerjoghurt und Mineralwasser mit Kohlensäure. Dabei wurden Schmelzproben von Rindern mit den jeweiligen Getränken behandelt. Der Substanzverlust wurde profilometrisch nachgewiesen und die Oberfläche elektronenmikroskopisch beurteilt. Den ersten vier Produkten wurde ein erosives Potential nachgewiesen. Ihnen allen gemeinsam war das Vorhandensein von Zitronen- bzw. Phosphorsäure. Die restlichen Produkte erzeugten keine Erosionen. Der titrierbare Säuregehalt sei durchaus ein Faktor bei der Entstehung von Erosionen, jedoch sei die gesamte chemische Zusammensetzung einer Lösung zu begutachten. Beispielsweise wird darauf hingewiesen, dass Buttermilch und Joghurt ebenfalls sauer seien und eine erhebliche Menge an titrierbarer Säure aufweisen. Sie sei aber nicht erosiv, was mit ihrem hohen Gehalt an Kalzium und Phosphat erklärt wird.

Lussi et al. (1992) testeten verschiedene Fruchtsäfte, Sportgetränke, Softdrinks, Salatdressing, Weißwein, Molke und Joghurt auf ihre Erosivität. Sie untersuchten die Mikrohärtigkeit (SMH) und die Jodpermeabilität und fanden heraus, dass die Erosivität der Getränke von ihrem pH, dem Gehalt an titrierbarer Säure und von dem Kalzium- und Phosphatgehalt beeinflusst wird. In einem Sportgetränk wiesen sie einen pH von 3,3 nach. Trotzdem erfolgte keine nennenswerte Ände-

rung in der Mikrohärtigkeit. Sie vermuteten, dass der Phosphatgehalt von 5,93 mmol/l des Getränkes eine entscheidende Rolle spiele, denn ein anderes Sportgetränk bei gleichem pH-Wert aber mit einem niedrigeren Phosphatanteil von 1,61 mmol/l erzeugte Erosionen. Den gleichen Effekt nahmen sie auch bei Joghurt und Molke an. Lussi vermutete in diesem Zusammenhang die Verhinderung von Erosionen durch den gleichen Grad der Sättigung der Mineralien im Getränk und im Apatit der Zahnhartsubstanz.

Zu einem ähnlichen Ergebnis sind auch West et al. (1999) gekommen, die dem Saft schwarzer Johannisbeeren Kalzium zusetzten und dessen Erosivität mit Orangensaft und Johannisbeersaft ohne Kalziumzusatz verglichen. Dabei erzeugte der modifizierte Johannisbeersaft signifikant weniger Erosionen als die beiden anderen Fruchtsäfte. Larsen konnte das Erosionspotential von Orangensaft durch die Zugabe von Kalzium und Phosphat eliminieren. Die Konzentration der Mineralien im Orangensaft stimmte (rechnerisch) mit der Löslichkeit von Apatit in destilliertem Wasser bei pH 4 überein. Ähnlich hohe Konzentrationen an Kalzium und Phosphat finden sich ebenfalls in Milch und Milchprodukten, was ihre Nichterosivität erklärt (Larsen & Nyvad 1999). Schon 1975 vermutete Larsen einen Zusammenhang zwischen dem Sättigungsgrad einer Lösung (untersucht wurden verschiedene Fruchtsäfte, verschiedene Softdrinks und Champagner) an Kalzium und Phosphat und deren Erosionspotential. Seine Ergebnisse zeigten, dass jede der Lösungen im Gegensatz zu Fluor- bzw. Hydroxylapatit ungesättigt waren und somit in der Lage sein mussten, Apatit zu lösen.

Milch hat offensichtlich ebenfalls die Fähigkeit, erodierten Schmelz nachträglich zu härten. In einem in situ-Versuch sollten Patienten innerhalb einer Stunde ca. vier Tassen eines Cola-Getränkes schluckweise zu sich nehmen. Die mittels einer Gaumenplatte in der Mundhöhle fixierten Schmelzproben wurden elektronenmikroskopisch begutachtet und auf ihre Mikrohärtigkeit hin überprüft. Anschließend wurde das Vorgehen mit Milch wiederholt. Nach der „Behandlung“ mit Milch wiesen die Proben eine signifikant höhere Oberflächenhärtigkeit auf als vor der Behandlung mit Milch. Elektronenmikroskopisch schien die Oberfläche im Vergleich zu der Ausgangssituation weniger erodiert und mit einer homogenen,

amorphen Schicht bedeckt. Es wurde vermutet, dass es sich dabei um eine Ablagerung organischer Natur handelte (Gedalia et al. 1991). Auch Käse soll nach Einfluss von erosiven Getränken einen „wiederhärtenden“ Einfluss haben (Gedalia et al. 1992).

2.1.3. Erosionen durch Einwirkung von Medikamenten und Vitamin-Präparaten

Medikamente, wie z.B. Vitamin C-Präparate oder Acetylsalicylsäure, haben aufgrund ihres niedrigen pH-Wertes ein nicht zu unterschätzendes erosives Potential. Meurman & Murtomaa (1986) untersuchten den erosiven Effekt von neun verschiedenen wasserlöslichen Vitamin C-Zubereitungen an Rinderschmelzproben. Dabei zeigte sich, dass alle Präparate erosiv waren. In situ wurde gleichzeitig an 14 Personen der Einfluss von hohen Vitamin C-Dosen auf Speichelfließrate, Pufferkapazität, Kalzium- und Phosphatgehalt des Speichels und weitere Parameter untersucht. Bis auf eine erhöhte Speichelfließrate, die bis 30 Minuten nach Einnahme des Präparates anhielt, ließen sich keine Veränderungen der untersuchten Faktoren feststellen. Trotz des erosiven Potentials, das sich in dem in vitro-Versuch darstellte, erklärt Meurmann, dass unter klinischen Bedingungen die Erosivität von Ascorbinsäure nicht relevant sei, vorausgesetzt, es liege eine normale Speichelfließrate vor. Zudem kämen solch extreme Bedingungen, wie im in vitro-Versuch beschrieben, in der Mundhöhle nicht vor, da bei sachgerechter Anwendung die Vitamin C-Lösung nur für kurze Zeit die Zähne umspüle. Problematisch könnte allerdings der direkte Kontakt von Tablette zu Zahn sein, etwa durch langsames Zergehenlassen und Aufbewahren der Tablette im Vestibulum, wie von Giunta (1983) beschrieben. Dabei kaute eine Patientin über einen Zeitraum von drei Jahren drei mal täglich Vitamin C Tabletten. Ihre Zähne wiesen schwere Erosionen der Bukkalflächen, besonders der linken Seite, auf. Ein ähnlicher Fall wurde durch den falschen Gebrauch eines Salzsäurepräparates beschrieben (Maron 1996). Der Arzt der Patientin verschrieb das Medikament, um eine Verdauungsstörung zu beheben. Da die Patientin nicht in der Lage war, die Tabletten hinunterzuschlucken, zer-

biss sie diese. Die Therapie wurde fünf Jahre auf diese Art durchgeführt, mit der Folge, dass die restlich verbliebenen natürlichen Frontzähne stark erodierten. Hanning und Albers (1993) wiesen auch bei Acetylsalicylsäure einen erosiven Effekt nach, konnte aber durch Modifikation des Präparates mit Calciumcarbonat die Erosivität vollständig eliminieren. Anzunehmen ist aber auch hier, dass die Erosivität von ASS klinisch keine große Relevanz hat, solange sie nicht direkten und lang andauernden Kontakt mit Zähnen hat.

Nicht unbedeutend sind jedoch Medikamente, die die Produktion von Speichel verringern, wie z.B. Tranquillizer, Anticholinergika, Antiemetica, Trizyklische Antidepressiva, Anti-Parkinsonmedikamente, Antihistaminika und auf diesem Wege indirekt die Entstehung von Erosionen begünstigen (Hotz 1987, Lussi 1996). Auch Medikamente, die Übelkeit und Erbrechen provozieren - entweder zentral wirkend oder als Folge von Magenschleimhautreizungen - können auf diesem Wege die Bildung von Erosionen unterstützen (McIntyre 1992).

2.1.4. Erosionen durch berufliche Exposition

Erosionen durch berufliche Exposition werden vereinzelt in der Literatur beschrieben. Petersen und Gormsen (1991) berichtet über eine Inzidenz von 31% bei deutschen Batteriefabrikarbeitern. Das obere Drittel der vestibulären Flächen von Frontzähnen soll dabei am stärksten betroffen sein, da sie am ehesten mit sauren Dämpfen in Berührung kommen können. Seitenzähne waren hingegen kaum von Erosionen betroffen. Allerdings lagen bei 92% der Fabrikarbeiter Attritionen vor. Ähnliche Beobachtungen konnten an Arbeitern gemacht werden, die berufsbedingt organischen und anorganischen Säuredämpfen ausgesetzt waren. Dabei zeigte sich im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ein signifikant häufigeres Vorkommen von Erosionen. Front- und Seitenzähne waren hierbei gleichermaßen betroffen (Tuominen et al. 1991).

„Schmelzentkalkungen“ der Frontzähne bei Chemikern durch das Pipettieren von säurehaltigen Lösungen (Schweizer-Hirt et al. 1978) und Erosionen durch

Verwendung von Säuren in einer Druckerei wurden ebenfalls beschrieben (Smith & Knight 1984).

Bei der Untersuchung von 19 schwedischen Weintestern wurden in 74% der Fälle Erosionen festgestellt (Wiktorsson et al. 1997). Eine starke Korrelation zur Dauer der Berufstätigkeit konnte nachgewiesen werden, jedoch lagen bei vielen Weintestern zusätzliche Faktoren vor, die die Entstehung von Erosionen begünstigten. So fand sich bei mehr als der Hälfte eine verringerte Speichelfließrate. Alle weiblichen Weintester putzten sich unmittelbar nach der Weinverkostung die Zähne, um Verfärbungen entgegenzuwirken. Zwei von ihnen litten an Gastritis und Regurgitation. Beide wurden für mehrere Jahre medikamentös behandelt und litten durch Nebenwirkung der Medikamente an einer verringerten Speichelfließrate. Bei diesen beiden Personen wurden Erosionen an allen Zahnflächen festgestellt, während bei den anderen Weintestern hauptsächlich die Labialflächen der Frontzähne betroffen waren. Chaudhry et al. (1997) berichteten über einen Weintester, der nach 23 Jahren Berufsleben schwere Erosionen an den Palatinalflächen aufwies, wie sie auch bei Bulimie-Patienten auftreten. Er brachte die Lokalisation der Defekte mit der Probiertechnik des Patienten in Verbindung.

2.1.5. Intrinsische Faktoren

Erosionen, die durch Magensäure (pH-Wert ca. 1) verursacht werden, sind häufig Resultat von chronischem Erbrechen oder von Refluxerkrankungen, die über einen langen Zeitraum bestehen (Scheutzel 1996).

In einer Untersuchung mit 117 Patienten, die an Refluxerkrankungen litten, zeigte sich, dass 28 Patienten säurebedingte Zahnhartsubstanzdefekte aufwiesen. Die restlichen 89 Patienten wiesen keine Erosionen auf. Dabei war auffällig, dass Patienten mit Erosionen älter waren und ihr Krankheitsverlauf sich über einen längeren Zeitraum erstreckte. Ein Teil der Patienten wurde einem pH-Monitoring unterzogen. Patienten mit Erosionen zeigten tendenziell häufiger und längere Phasen niedriger pH-Werte im Ösophagus. Außerdem war der

Schweregrad der Erkrankung bei den Erosionspatienten signifikant größer (Meurmann et al. 1994).

Einen deutlich geringere Prävalenz zeigte sich in einer weiteren Studie mit (Jährvinen et al. 1988) untersuchten 109 Patienten, die an Ösophagitis, Duodenalulcera oder Magenulcera litten. 48 Patienten hatten eine Choelozystektomie durchführen lassen. Hier wiesen nur sieben Patienten, vier mit Ösophagitis und drei mit einem Duodenalulcus Erosionen, die hauptsächlich an den Palatinalflächen oberer Frontzähne lokalisiert waren, auf. Dabei schien der Schweregrad der Erosionen nicht mit der Dauer der gastrointestinalen Symptome übereinzustimmen. Drei der Patienten mit Erosionen hatten verringerte Speichelfließraten, was möglicherweise auf die Einnahme von Diuretika, blutdrucksenkenden Mitteln und Tranquillizern zurückzuführen war. Interessanterweise wiesen Patienten nach operativer Entfernung der Gallenblase keine Erosionen auf. Eine mögliche Erklärung könnte die Verringerung der Azidität der Magensäure durch den basischen duodenogastralen Reflux sein.

Eine andere Personengruppe, die zumeist unter subklinischem Reflux leidet, sind Personen mit chronischem Alkoholabusus. Bei ihnen liegt die Prävalenz für Erosionen bei ca. 90% (Robb und Smith 1990). Dabei wurde vermutet, dass die Getränke aufgrund ihres Säuregehaltes mitverantwortlich sein könnten. Viel näher liegt jedoch der Verdacht, dass die alkoholbedingten chronischen Gastriden, bei denen es zu subklinischen Regurgitationen kommt, ursächlich sind. Dafür spricht auch die typische palatinale Lokalisation der Erosionen, wie sie auch bei Refluxerkrankungen charakteristisch ist.

Eine besondere Form des Reflux ist die Rumination, die eigenständig oder auch in Kombination mit bulimischer Anorexie oder Bulimia nervosa vorkommen kann. Dabei wird nach der Regurgitation der Mageninhalt gekaut und wieder hinuntergeschluckt. Nicht selten wird der Vorgang nach einer Malzeit mehrfach wiederholt (Scheutzel 1996). Zusätzlich zu der typischen palatinalen Lokalisation der Erosionen wie bei bulimischer Anorexie oder Bulimia nervosa, findet man bei diesen Patienten Erosionen auf den Kauflächen der Seitenzähne. Die Angewohnheit, den Mageninhalt in das Vestibulum oris zu leiten, führt auch dort zu entsprechen erosiven Veränderungen.

Wenn auch die Assoziation von Erosionen mit Refluxerkrankungen nicht sehr deutlich zu sein scheint, findet sich doch eine sehr hohe Prävalenz solcher Läsionen bei Patienten mit Essstörungen. Erosionen der Zahnhartsubstanz sind nicht selten Ausdruck einer psychogenen Essstörungen wie Anorexia und Bulimia nervosa. Der Ausdruck Anorexia leitet sich von dem griechischen Wort „Anorexis“ – ohne Appetit ab und weist auf die frühere Fehlinterpretation dieser Erkrankung hin. Bei Anorexia nervosa versuchen die Patienten entweder allein durch Fasten oder durch „selbstinduziertes Erbrechen“ und Missbrauch von Laxativa eine Reduktion des Körpergewichts zu erzielen. Dementsprechend unterscheidet man zwischen „restriktiver“ und „bulimischer Anorexie“ (Scheutzel, 1992).

Der Ausdruck Bulimia nervosa leitet sich aus dem Griechischen „bous-limos“ ab und bedeutet soviel wie „Ochsenhunger“ und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Patienten nach regelrechten Fressanfällen die großen Mengen aufgenommener Nahrung erbrechen oder mit Hilfe von Laxativa abführen. Im Gegensatz zu den untergewichtigen Anorexie-Patienten bleibt das Körpergewicht bei diesen Patienten im Rahmen des Normalen (Scheutzel, 1992).

Gerade dieser Umstand erschwert die Stellung einer korrekten Diagnose, zumal die Betroffenen aus Schamgefühl ihrer Familie, ihren Freunden und ihrem Arzt gegenüber versuchen, ihre Erkrankung zu verbergen. Oft ist es der Zahnarzt, der Bulimie erstmals aufgrund der multiplen Erosionen diagnostiziert (Graehn et al. 1991).

Robb et al. (1995) untersuchten 122 Patienten, die an einer Essstörung litten und verglichen sie mit einer Kontrollgruppe gesunder Patienten. Sie beschrieben ein signifikant höheres Vorkommen von Erosionen bei Patienten mit Bulimia nervosa und bulimischer Anorexie. Dabei bezeichneten sie das klinische Bild als nahezu katastrophal, was die Ausdehnung der Defekte und das wahrscheinlich rasche Voranschreiten des Erosionsprozesses angeht. Vor allem betroffen sind dabei die oralen Flächen der oberen Inzisivi. Auch die bukkalen Flächen der Unterkieferseitenzähne sind stark betroffen. Bei den Patienten mit restriktiver Anorexie lagen entgegen den Erwartungen ebenfalls mehr Erosio-

nen vor als bei der Kontrollgruppe. Dabei waren ausschließlich die zervikalen, bukkalen und okklusalen Flächen betroffen. Dieser Befund konnte jedoch nicht erklärt werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch Scheutzel (1992). Bei der Untersuchung von Patienten mit Essstörungen, die regelmäßig erbrechen, zeigten diese typische palatinale Erosionen, wie sie auch mit anderen Erkrankungen, die mit chronischem Erbrechen und Regurgitation verbunden sind, auftreten. Der Schweregrad der Erosionen korrelierte dabei mit der Erkrankungsdauer und war bei bulimischer Anorexie höher, was damit erklärt wurde, dass Betroffene auch nach geringer Nahrungsaufnahme erbrechen und Magensäure in konzentrierter Form auf die Zähne einwirken konnte. Die Ursache für die bukkalen Defekte hingegen, die in allen drei Gruppen gleichermaßen auftraten, sind jedoch im exzessiven Konsum von Diätlimonaden und sauren Früchten zu suchen. Auch Milosevic (1999) erwähnte den Konsum von säurehaltigen Getränken und großen Mengen von Früchten bei Essstörungen. Letztere werden unter anderem verzehrt, um Diarrhoe hervorzurufen.

Robb et al. (1995) vermuteten ein schnelles Voranschreiten von Erosionen bei Patienten mit Essstörungen. Um die Progredienz erosionsbedingter Substanzverluste zu beurteilen, untersuchten Öhrn et al. (1999) 35 Frauen mit Essstörungen im Abstand von einem Jahr. Die Zähne wurden anhand von Modellen von verschiedenen Personen beurteilt (Index nach Eccles). 16 von 19 Patientinnen wiesen nach einem Jahr stärkere Defekte auf, obwohl der größte Teil der Patientinnen angab, durch Psychotherapie auf dem Weg der Besserung zu sein und ihr Ess- und Trinkverhalten geändert zu haben. Auffällig war, dass bei den Betroffenen mit vorangeschrittenen Läsionen die Speichelfließrate und die Pufferkapazität des Speichels zu Beginn der Untersuchung geringer war als bei den Patientinnen, bei denen die Erosionen nicht voranschritten. Patientinnen mit progredienten Läsionen litten zudem seit kürzerer Zeit an Bulimia nervosa, was darauf hinwies, dass sie sich möglicherweise in einer aktiveren Phase ihrer Erkrankung befanden.

Öhrn und Angmar-Manson (1999) bemerkten ein Jahr zuvor bei der Untersuchung von 81 Betroffenen, dass bei allen Patienten einer verringerte Speichel-

fließrate und Pufferkapazität vorlag, und machten sie als Cofaktor für die Entstehung von Erosionen verantwortlich.

In einer in situ-Studie wiesen Jaeggi und Lussi (1999) auf die Bedeutung von Speichel als Kalzium- und Phosphorreservoir bei Remineralisationsvorgängen oder bei der Bildung einer schützenden Mineralschicht hin. Rytömaa und Järvinen (1998) stellten nicht bei jedem Patienten Erosionen fest. Sie erwähnten als Faktoren für das Vorkommen und den Schweregrad von Erosionen bei Bulimie-Patienten die Dauer der Erkrankung, die Häufigkeit des Erbrechens und die Speichelmenge. Der Speichel habe unter anderem die Eigenschaft, Magensäure zu neutralisieren und somit die Dauer der Säureeinwirkung zu verringern. Bei Patienten mit niedriger Speichelfließrate bleibt der pH-Wert für längere Zeit niedrig, vor allem im Bereich der Zungenspitze. Dies erkläre unter anderem, warum palatinale Erosionen an oberen Frontzähnen dominieren (Järvinen et al. 1992).

2.1.6. Klinisches Erscheinungsbild der Erosion

Makroskopisch zeigt die Erosion anfänglich eine glatte, matte Oberfläche mit dem Verlust von typischen morphologischen Merkmalen (Perikymatien) intakten Schmelzes (Hotz 1987). Der flache Defekt breitet sich zentripetal aus und geht ohne scharfe Abgrenzung in den gesunden Schmelz über. Auf der getrockneten Zahnoberfläche zeigt sich eine fleckenförmige Veränderung mit Verlust der für gesunden Schmelz typischen Transluzenz (Graehn 1991). Fortgeschrittenere bukkale Läsionen mit Dentinbeteiligung manifestieren sich zuerst im zervikalen Kronendrittel, wo die Dicke des Zahnschmelzes entsprechend dünn ist. Typisch ist ein schmaler zervikaler Saum intakter Zahnhartsubstanz, den man in dieser Form auch bei palatinalen Erosionen von Frontzähnen findet. Er wird durch das Vorhandensein marginaler Plaque „konserviert“. Im Falle extrem schlechter Mundhygiene kann es jedoch zu Überlagerung von Erosionen und kariesbedingten Läsionen kommen. Okklusale Läsionen manifestieren sich zuerst auf den Höckerspitzen in Form von dellenartigen Vertiefungen (Hotz 1987). Solche

Vertiefungen findet man auch im Bereich der Inzisalkanten unterer Frontzähne bei Patienten mit exzessiven Früchtekonsum. Okklusale Erosionen können so stark fortschreiten, dass bestehende Restaurationen im Vergleich zu der umgebenden Zahnhartsubstanz regelrecht herausragen (Schweizer-Hirt et al. 1978). Bei stärker fortgeschrittenen Erosionen des Zahnschmelzes verlieren die palatinalen Flächen von Prämolaren des Oberkiefers ihre konvexe Form und flachen ab, während ursprünglich ebene Oberflächen eine Konkavität entwickeln (McIntyre 1992). Bukkale Erosionen müssen von keilförmigen Defekten abgegrenzt werden. Während keilförmige Defekte in erster Linie durch falsche Putztechnik hervorgerufen werden und nur sekundär durch Erosionsprozesse begünstigt sein können, werden Erosionen primär durch Einwirkung von Säuren provoziert und in zweiter Linie durch Abrasion verstärkt. Die Differenzierung der zwei Läsionsarten ist notwendig, um beide im Rahmen präventiver Maßnahmen erfolgreich behandeln zu können (Lussi 1996). Im Falle einer Dentinbeteiligung werden Patienten auf Erosionen durch Verfärbung der betroffenen Areale durch Einlagerung exogener Farbstoffe, aber auch durch Schmerzempfindungen aufmerksam (Graehn 1991).

2.1.7. Mikromorphologisches Bild der Erosion

Bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung von Epoxidharzmodellen konnte beobachtet werden, dass nach Behandlung der Zähne mit Zitronensäure variable - kaum wahrnehmbare bis massive - Ätزشäden vorlagen. Dabei wurden die Prismenenden des Zahnschmelzes selektiv gelöst (Meurman et al. 1991; Kuroiwa et al. 1994). Die dünnen interprismatischen Bereiche blieben erhalten. Gelegentlich finden sich an bleibenden Zähnen Bereiche aprismatischen Schmelzes, die sehr unterschiedlich stark erodierte Oberflächen aufweisen (Noack 1989). Unregelmäßig punktförmig erodierte Areale und kaum erodierte bis völlig intakte Bereiche, selbst nach langer Einwirkung erosiver Noxen, wechseln sich ab (Sorvari et al. 1994; Grando et al. 1996 ; Meurman & Frank 1991).

Unterschiede in der Oberflächenstruktur zwischen Patienten mit und Patienten ohne Erosionen konnten festgestellt werden. Nach Herstellung eines Epoxidharzmodells konnte gezeigt werden, dass Erosionspatienten Gebrauchsspuren und Kratzer der Zahnoberflächen aufwiesen, während die Kontrollgruppe glatte Oberflächen aufwies. Die Oberflächenstruktur vor Zitronensäureeinwirkung erschien, als Zeichen der Rekristallisation eines durch Säure verursachten Ätzmusters, am Rande der Läsionen wabenartig und verschneit. Nach Einwirkung von Zitronensäure lag das Ätzmuster wieder frei. Der Dentinbereich der Läsion zeigte vereinzelt durch Zitronensäure artifiziell eröffnete Dentintubuli. Patienten mit klinisch sichtbaren Erosionen wiesen eröffnete Dentintubuli auch ohne vorherige Behandlung mit Zitronensäure auf. Nach entsprechend längerer Säurebehandlung wird Dentin im Grenzbereich zwischen peritubulärem und intertubulärem Dentin aufgelöst. Bei schwereren Erosionsprozessen erscheinen die Dentintubuli trichterförmig ausgehöhlt und lassen gelegentlich zelluläre Bestandteile der Odontoblastenfortsätze erkennen. Die Exposition von Dentintubuli durch Einwirkung von Säure erklärt die häufig auftretende Hypersensitivität bei erosionsbedingten Läsionen (Meurman et al. 1991)

2.1.8. Epidemiologie

In den vergangenen Jahren sind nur wenige epidemiologische Studien zur Prävalenz von Erosionen in der Normalbevölkerung durchgeführt worden. Meistens wurden Bevölkerungsgruppen untersucht, die ein erhöhtes Risiko bezüglich Erosionen hatten, beispielsweise Laktovegetarier (Linkosalo & Markkanen 1985), Menschen die sich hauptsächlich rohköstlich ernähren (Ganß et al. 1999) oder aus anderen Gründen einen erhöhten Konsum an sauren Lebensmitteln haben (Künzel et al. 2000). Auch Bevölkerungsgruppen, die aufgrund ihres Arbeitsfeldes einem erhöhtem Risiko ausgesetzt sind (Petersen & Gormsen 1991; Tuominen et al. 1991), sowie Patienten mit chronischem Erbrechen zählen zu den „Risikopatienten“ (Öhrn et al. 1999; Scheutzel 1992).

In der Schweiz wurden 391 zufällig ausgesuchte Personen zweier verschiedener Altersgruppen (26-30 Jahre und 46-50 Jahre) auf das Vorkommen von Erosionen untersucht. Ernährungsgewohnheiten und allgemeine Erkrankungen wurden mit in die Untersuchung einbezogen. 35,6% der jüngeren und 40,1% der älteren Personen zeigten mindestens einen Zahn mit okklusalen Erosionen ohne Dentinbeteiligung. Die ersten Molaren des Unterkiefers waren am häufigsten betroffen. Stärkere Erosionen mit Dentinbeteiligung fanden sich bei 29% der jüngeren und 42,6% der älteren Gruppe. Vestibuläre Erosionen kamen zu 16% vor. Eckzähne und Prämolaren waren am häufigsten betroffen. Erosionen an oralen Flächen wurden an in 6,1% der Fälle beobachtet. Dabei handelte es sich ausschließlich um Zähne des Oberkiefers. Die beschriebenen Erosionen der vestibulären Flächen wurden mit dem Konsum von sauren Getränken in Verbindung gebracht, während 50% der Patienten mit Erosionen der oralen Flächen an chronischem Erbrechen litten (Lussi et al. 1991).

Die Untersuchung von 417 Rekruten der Schweizer Armee im Alter von 19-25 Jahren ergab bei 80% der Personen okklusale Erosionen ohne Dentinbeteiligung. Mindestens ein Zahn zeigte bei 30% der Rekruten okklusale Erosionen mit Dentinbeteiligung. Bukkale Erosionen wurden klar von bukkalen keilförmigen Defekten abgegrenzt. Während keilförmige Defekte mit einer Häufigkeit von 20,4% die oberen ersten Molaren und die ersten Prämolaren des Unterkiefers betrafen, lagen erosionsbedingte Defekte mit einer Häufigkeit von 14% hauptsächlich bei den Eckzähnen des Ober- und Unterkiefers vor. Eine Korrelation zwischen der Lokalisation von keilförmigen Defekten und bukkalen Erosionen lag nicht vor. Es konnte auch kein Zusammenhang zwischen der Lokalisation von Erosionen und keilförmigen Defekten und Ernährungs- und Hygienegeohnheiten, sowie Regurgitation oder chronischem Erbrechen und anderen Faktoren gefunden werden (Jaeggi et al. 1999).

Die beschriebenen Studien sind gut vergleichbar, da derselbe Index zur Beurteilung der Erosionen verwendet wurde. Die Anwendung verschiedener Indizes ist mit ein Grund warum sich epidemiologische Studien jedoch oft nicht vergleichen lassen und teilweise verschiedene Ergebnisse liefern. So berichtet „The National Survey of Child Dental Health“ bei der Untersuchung von 5-6jährigen

Kindern über ein Vorkommen von Erosionen der Glattflächen in mehr als 50% der Fälle. In fast 25% sollen Erosionen mit Dentinbeteiligung beobachtet worden sein. Okklusale und inzisale Flächen wurden bei der Untersuchung außer Acht gelassen (O'Brien 1993). Bartlett et al. (1998) untersuchten 210 Heranwachsende im Alter zwischen 11 und 14 Jahren auf Erosionen. Sie fanden eine Inzidenz von 57%. Dabei waren im Durchschnitt 12% aller Zahnflächen betroffen. Dentinbeteiligung wurde fast nie beobachtet. Molaren und Prämolaren zeigten auf keiner Fläche Erosionen. Lediglich der Zervikalbereich von unteren Prämolaren wies Erosionen auf.

Im Gegensatz zu letzteren Untersuchungen kamen Ganß et al. (2001) zu dem Ergebnis, dass Erosionen der oralen und vestibulären Glattflächen bei Kindern und Heranwachsenden fast keine Rolle spielen. Untersucht wurden dabei 1000 Modelle, welche die Situation vor kieferorthopädischer Behandlung dokumentierten. Bei der Begutachtung der Milchzahnmodelle wiesen 70,6% geringgradige Erosionen und 26% der Modelle ausgeprägtere Erosionen auf, wobei die Prävalenz für Erosionen in den 90er Jahren im Gegensatz zu den 80er Jahren doppelt so hoch war. Bei den bleibenden Zähnen waren im Gegensatz zu den Milchzähnen okklusale Erosionen selten. Sie beschränkten sich meistens auf die unteren ersten Molaren. Erosionen von Glattflächen wurden nicht beobachtet. Insgesamt wiesen 11,6% aller Zähne geringgradige Erosionen auf. Ausgeprägtere Erosionen spielten in nur 0,2% der Fälle eine Rolle. Aber auch bei den bleibenden Zähnen stieg die Prävalenz von den 80er zu den 90er Jahren um mehr als das Doppelte.

265 von 1000 Modellen konnten mit Folgemodellen im zeitlichen Abstand von fünf Jahren verglichen werden. Auf den Folgemodellen konnten Erosionen viermal häufiger nachgewiesen werden als auf den Ausgangsmodellen, wobei Kinder mit Erosionen an den Milchzähnen ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung von Erosionen der bleibenden Zähne hatten.

2.1.9. Therapie und Prophylaxe von Erosionen

Wie schon erwähnt können Getränke durch Erhöhung ihres Gehaltes an Kalzium und Phosphat so modifiziert werden, dass ihr erosives Potential minimiert wird.

Zahlreiche Autoren konnten auch einen protektiven Effekt in Bezug auf erosiv veränderten Zahnschmelz durch Fluoride erkennen. So stellten Sorvari et al. (1994) fest, dass die Mikrohärtigkeit menschlicher Schmelzproben nach Behandlung mit 1,2%iger NaF-Lösung bzw. 2,26%igem Lack (Duraphat) zunahm und eine oberflächliche Erweichung durch ein Cola-Getränk im Gegensatz zu einer unbehandelten Kontrollgruppe verminderte. Eine vollständige Verhinderung der Erosion konnte - wie schon Sorvari et al. (1988) zeigten - nicht erzielt werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Büyükyilmaz et al. (1997). Vor dem Hintergrund, dass Erosionen durch endogene Faktoren (Magensäure) verursacht werden können, verwendeten sie für die Erosionsversuche 0,1M Salzsäure (pH 1,2). Sie untersuchten elektronenmikroskopisch die Oberfläche von Schmelzproben extrahierter, mit ein- bzw. 4%iger TiF_4 -Lösung behandelter Weisheitszähne. Die Oberfläche von Proben, die zuvor nicht mit TiF_4 behandelt wurden, zeigten nach 1- 5minütigem Kontakt mit HCL deutliche Erosionen. Die TiF_4 -behandelten Schmelzproben zeigten stets eine oberflächliche TiF_4 -Schicht, die sich optisch deutlich von der Oberfläche gesunden Schmelzes unterschied. Bei stärkerer Vergrößerung stellten sich globuläre Strukturen dar. Die Anwendung von 4%-igem TiF_4 ergab eine scheinbar dickere Schicht als bei dem 1%-igen Präparat. Dieser Überzug blieb auch nach 5-minütiger Säurebehandlung bestehen.

Untersuchungen der Mikrohärtigkeit ergaben, dass die Oberflächenhärtigkeit unbehandelter Schmelzproben durch HCL erheblich reduziert wurde, während TiF_4 -behandelte Schmelzproben wesentlich weniger beeinflusst wurden.

Der Mechanismus, der diesem Schutzeffekt zugrunde liegt, beruht wahrscheinlich auf der Präzipitation einer CaF_2 -haltigen Deckschicht (Saxegaard & Rolla 1988). Dieser Sachverhalt wurde 1983 auch von Nelson et al. erkannt. Menschliche Molaren wurden mit verschiedenen Fluoridpräparaten behandelt. Sie wie-

sen bei elektronenmikroskopischer Betrachtung eine oberflächliche CaF_2 -Schicht auf, die aus im Durchmesser 4-15 nm großen Partikeln bestand. Auch nadelförmige und prismenförmige Strukturen bis 1 μm Länge wurden beschrieben. Die Stärke der Deckschicht betrug ca. 1 μm . Attin et al. (1999) fanden heraus, dass zuvor mit „Sprite Light“ erodierte Schmelzproben resistenter gegenüber Bürstabrasionen sind, wenn sie vor jedem Bürstvorgang mit einem Fluoridgel behandelt wurden. Im Gegensatz dazu wurden bei der nicht mit Fluoridgel behandelten Kontrollgruppe signifikant höhere Abrasionswerte nachgewiesen.

Ein weiterer Faktor, der die Stärke der Bürstabrasion beeinflusst, ist der pH-Wert der Gels. Während die Abrasion bei Gel mit niedrigerem pH (4,5) und ohne Fluorid höher ist als bei unfluoridiertem Gel und neutralem pH (7,0), ließ sich bei fluoridiertem Gel eine geringerer Abrasionswert nachweisen, wenn der pH entsprechend niedrig war (pH 4,5). Dieses Ergebnis wurde damit erklärt, dass Aminfluorid im sauren Milieu in stärker dissoziierter Form vorliegt als in pH-neutralem Milieu und dadurch die Ausbildung einer dickeren CaF_2 -Schicht ermöglicht wird (Strübing & Gülzow 1986).

Vor Ergreifung jeglicher therapeutischer oder prophylaktischer Maßnahmen sollte in erster Linie erörtert werden, welcher Grund für die säurebedingten Zahnhartsubstanzschäden vorliegt. Nur auf dieser Grundlage kann eine kausale Therapie erfolgen. Liegen die Gründe in einer „falschen“ Ernährungsweise, so muss im Rahmen einer Ernährungsberatung mit dem Patienten besprochen werden, auf welche Weise dessen Ernährung so umgestellt und modifiziert werden kann, dass saure Noxen vermieden oder reduziert werden. Dabei ist ein Ernährungsprotokoll, das der Patient über ein bis zwei Wochen führt hilfreich. Bei Patienten mit Essstörungen sind die Möglichkeiten einer kausalen Therapie für den Zahnarzt zwar eingeschränkt, jedoch kann er bei der Diagnose von Erosionen als Symptom einer möglichen Essstörung eine wichtige Rolle spielen und kann dem Betroffenen erstmals die Möglichkeit geben, sich über sein Problem zu äußern, so dass der Weg zu einer psychosomatischen Therapie geebnet werden kann. Dabei ist jedoch Vorsicht vor zu schneller Konfrontation des

Patienten mit der Verdachtsdiagnose geboten. Ein gutes Vertrauensverhältnis muss Grundlage für ein solches Gespräch sein (Milosevic 1999). Ein Ernährungsprotokoll ist auch bei Patienten mit Essstörungen sinnvoll, da Erosionen sowohl ernährungsbedingt, z.B. durch exzessiven Konsum von Diätlimonaden, als auch durch regelmäßiges Erbrechen verursacht werden können (Scheutzel 1992).

Wie schon erwähnt, scheint der Gehalt an Kalzium und Phosphat das Erosionspotential von Lebensmitteln und Getränken zu reduzieren (Larsen 1975; Lussi et al. 1992). Dabei liegt dem Schutzmechanismus der gleiche Sättigungsgrad der Mineralien im Getränk und im Apatit der Zahnhartsubstanz zugrunde. Durch Modifikation von Getränken kann die Erosivität von Fruchtsäften vermindert oder sogar vollständig eliminiert werden (Larsen & Nyvad 1999; West et al. 1999). Modifizierte Getränke mit Kalziumzusatz sind in Deutschland bereits auf dem Markt.

Es wurde bereits aufgeführt, dass Milchprodukte trotz ihres Säuregehaltes wegen ihres hohen Anteils an Kalzium und Phosphat nicht erosiv sind. Aufgrund dieser Feststellung kann Patienten mit hohem Fruchtekonsum nahegelegt werden, Früchte mit Milchprodukten, z.B. Joghurt oder Quark, zu mischen.

Auch durch Anwendung fluoridhaltiger Präparate konnte ein protektiver Effekt bei Erosionen nachgewiesen werden. (Sorvari et al. 1994; Büyükyilmaz et al. 1997; Saxegaard & Rolla 1988; Nelson et al. 1983). In vitro- und in situ- Versuche haben gezeigt, dass Fluoride die Resistenz erodierter Zahnhartsubstanz gegenüber Bürstabrasion grundsätzlich erhöhen, auch wenn dieser protektive Effekt nicht immer nachgewiesen werden konnte (Jaeggi & Lussi 1999; Attin et al. 1999; Ganß et al. 2001). Deswegen kann angenommen werden, dass lokale Fluoridierungsmaßnahmen mit Gelen und/ oder Lacken in vivo einen schützenden Effekt haben. Deshalb erscheint es sinnvoll, neben der Fluoridierung über Zahnpasten eine intensivere Fluoridierung mit Gelen, Lacken und Mundspüllösungen durchzuführen. Individuell hergestellte weiche Schienen können, nachts getragen, als Träger für fluoridhaltige Gele verwendet werden.

Im Rahmen einer Mundhygieneinstruktion können Patienten eine geeignete Putztechnik erlernen (z.B. Basstechnik) und deren Mundhygienegewohnheiten

so optimiert werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass nur wenig Druck beim Bürsten ausgeübt wird. Auch die Auswahl einer wenig abrasiven Zahnpasta ist ratsam. Unter Umständen kann in Erwägung gezogen werden die Zähne vor dem Verzehr saurer Lebensmittel zu putzen und statt dessen nach dem Essen mit einer fluoridhaltigen Lösung zu spülen. Dasselbe gilt bei Patienten mit Essstörungen nachdem sie erbrochen haben. Da sie das Erbrechen selbst induzieren und den Zeitpunkt des Erbrechens selbst bestimmen, können Fluoridierungsschienen zusätzlich als mechanische Barriere gegen die Magensäure verwendet werden, indem sie vor dem Erbrechen eingegliedert werden. Dieser für „gesunde“ Patienten befremdlich klingende Vorschlag wird von Patienten mit Essstörungen gut angenommen.

Um den Erfolg dieser Maßnahmen im Sinne eines individuellen Monitorings zu überprüfen, bedarf es einer geeigneten Messmethode. Im folgenden werden einige Methoden zur Messung von Zahnhartsubstanzverlust *in vivo* vorgestellt.

2.2. Methoden zur Beurteilung von Zahnhartsubstanzverlust

Indizes

Eine wenig sensitive Methode zur Erfassung von Erosionen stellt die Verwendung von klinischen Indizes dar, die sowohl in tierexperimentellen Studien (McDonald et al. 1973) als auch am Menschen angewendet werden.

Die Gradeinteilung nach Eccles (1979) beinhaltet drei Schweregrade I-III und vier Untergruppen a-d.

Grad I	oberflächliche Läsion ausschließlich im Schmelz
Grad II	lokalisierte Läsionen mit weniger als 1/3 Dentinbeteiligung
Grad III	generalisierte Läsionen mit mehr als 1/3 Dentinbeteiligung
	(a) Bukkalflächen
	(b) Lingual- und Palatinalflächen
	(c) Inzisal- und Okklusalfächen
	(d) starke Beteiligung mehrerer Flächen

Ein Index, der nicht nur den erosiv bedingten, sondern alle Arten von Zahnhartsubstanzverlust erfasst, ist der Index (TWI= Tooth Wear Index) nach Smith und Knight (1984). Hier werden die Lingual- und Palatinalflächen sowie Okklusal- bzw. Inzisalflächen einzeln beurteilt. Zusätzlich wurden Defekttiefen im Zervikalbereich inspiziert. Bei einem vollbezahnten Patienten ergeben sich also insgesamt 128 Flächen.

Grad	Fläche	Kriterium
0	B/L/O/I	Kein Schmelzverlust
	C	Kein Konturverlust
1	B/L/O/I	Oberflächlicher Schmelzverlust
	C	Minimaler Konturverlust
2	B/L/O/I	Schmelzverlust mit weniger als 1/3 Dentinbeteiligung
	I	Schmelzverlust mit geringfügiger Dentinbeteiligung
	C	Defekt weniger als 1 mm tief
3	B/L/O/I	Schmelzverlust mit mehr als 1/3 Dentinbeteiligung
	I	Schmelzverlust und Dentinverlust ohne Sekundärdentinbeteiligung, Pulpaexposition
	C	Defekt 1-2 mm tief
4	B/L/O/I	Vollständiger Verlust von Schmelz oder Sekundärdentinbeteiligung oder Pulpaexposition
	I	Sekundärdentinbeteiligung oder Pulpaexposition
	C	Defekt >2 mm tief oder Sekundärdentinbeteiligung oder Pulpaexposition

Diese beiden Indizes boten zahlreichen Autoren Grundlage für eine Reihe von Modifikationen (Millward et al 1994; Oilo et al. 1987; O'Brien 1993; Lussi et al. 1992)

Einige der Indizes sind nicht zwingend für die Erfassung von Erosionen entwickelt worden, sondern beurteilen Zahnhartsubstanzschäden im allgemeinen, beziehen also auch Defekte durch Abrasion und Attrition mit ein. Erst spezielle Indizes oder Modifikationen von allgemeineren Indizes erlauben die genauere

Untersuchung von Erosionen. Sie stellen eine schnelle und kostengünstige Methoden dar, Substanzverluste zu erfassen. Ihnen allen gemein ist aber, dass sie nicht genügend sensitiv sind. Sie erlauben keineswegs die Erfassung von geringem Substanzverlust in kurzen Zeiträumen.

Beispielsweise untersuchten Lussi et al. (2000) 204 zufällig ausgesuchte Personen in der Schweiz auf Erosionen und keilförmige Defekte. Die Probanden wurden in zwei Altersgruppen aufgeteilt (25-30jährige und 46-50jährige). 55 Patienten konnten nachuntersucht werden. Insgesamt zeigte sich eine Zunahme der Erosionen. Bei der jüngeren Gruppe stieg die Anzahl okklusaler bzw. inzisaler Erosionen mit Dentinbeteiligung von 3% auf 8%, während bei der älteren Gruppe ein Anstieg von 8% auf 26% vorlag. Eine Zunahme von vestibulären Erosionen konnte für beide Altersgruppen und für alle Zähne nachgewiesen werden. Sowohl bei den okklusalen als auch bei den vestibulären Flächen waren die Prämolaren und Molaren am stärksten betroffen. Bei dieser Untersuchung konnte zwar gezeigt werden, dass die Anzahl der Erosionen innerhalb der untersuchten Gruppe zunimmt, jedoch erfolgte die Nachuntersuchung nach einem sehr langen Zeitraum von sechs Jahren. Es ist anzunehmen, dass der verwendete Index für kürzere Zeiträume und zur Erfassung kleinster Veränderungen nicht geeignet ist.

Ein weiteres Problem bei der Einschätzung der Ausdehnung einer Läsion besteht darin, dass sie nicht von jedem Zahnarzt in gleicher Weise beurteilt wird. In einem Versuch zur visuellen Abschätzung von Defekttiefen an Modellzähnen hat sich gezeigt, dass die Größe von Defekten meist falsch eingeschätzt wird. Söderholm et al. (1992) verwendeten hierzu Metallmodelle mit Defekten bekannter Ausdehnung. Anschließend erfolgte die Herstellung eines Gipsmodells, welches von fünf verschiedenen Zahnärzten untersucht wurde. Jedes Modell wurde zu verschiedenen Zeitpunkten von jedem Zahnarzt fünfmal beurteilt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Ausdehnung der Defekte grundsätzlich unterschätzt wurde. Außerdem unterlag die Beurteilung der Defekte zu unterschiedlichen Zeitpunkten z.T. großen Schwankungen. Methoden zur Quantifizierung von geringen Mengen erosiv bedingten Substanzverlustes in situ wurden in der Vergangenheit kaum beschrieben. Ein ähnliches Problem stellt allerdings

die Beurteilung von Verschleißerscheinungen von Restaurationsmaterialien dar. Zu dieser Fragestellung gibt es Lösungsvorschläge, die zum Teil zur Erfassung erosionsbedingter Defekte anwendbar wären. Einige von ihnen werden im folgenden beschrieben.

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung von Erosionen in vivo

Die direkte Untersuchung von erosionsbedingten Zahnhartsubstanzdefekten durch Elektronenmikroskopie in vivo ist nicht möglich. Durch Abformung der Zähne und anschließende Herstellung eines Epoxidharz-Modells umgingen Noack et al. (1989) das Problem. Sie untersuchten die Zähne von Patienten mit Erosionen und ohne klinisch erkennbare Erosionen vor und nach fünfminütiger Touchierung mit Zitronensäure. Nachdem die Modelle mit Hilfe einer Sputteranlage beschichtet wurden, untersuchten sie die Oberflächen auf Ätzmuster und Gebrauchsspuren in Form von Wellen und Kratzern. Im Dentinbereich stellten sie ebenfalls vereinzelt eröffnete Dentintubuli fest. Diese Untersuchungsmethode, so wie sie von Noack beschrieben wird, erlaubt eine Aussage über das Vorhandensein von Erosionen im Sinne einer ja/nein-Entscheidung. Der Versuch, quantitative Aussagen über Substanzverlust mit Hilfe dieser Technik durchzuführen, wurde von Teaford et al. (1991) beschrieben. Auch sie nutzten mit Gold beschichtet Epoxidharzmodelle. Die Abformungen wurden in zeitlichen Abständen von maximal sieben Tagen genommen und miteinander verglichen. Dabei wurden alle hinzugekommenen Veränderungen (Kratzer und Einkerbungen) gezählt und zu der Anzahl der Gebrauchsspuren auf dem Ausgangsmodell ins Verhältnis gesetzt. Wurden auf dem Ausgangsmodell beispielsweise 80 Gebrauchsspuren gezählt und kamen im Laufe von drei Tagen drei neue hinzu, so ergab sich daraus ein Verhältnis von 0,0375. Eine klare Aussage über die Menge an verlorener Substanz, etwa in μm oder Gewichtseinheiten, konnte nicht erfolgen. Trotzdem korrelierten die Ergebnisse mit früheren Untersuchungen von Teaford und Oyen (1983), bei denen die Höhenabnahme der Höckerspitzen bei Laboraffen gemessen wurden.

Volumetrische Auswertung von Modellen

Bei dieser Methode wurden von der Ausgangssituation und von den darauffolgenden Situationen Gipsmodelle hergestellt. Anschließend wurde eine Überabformung von dem Ausgangsmodell genommen, die sich auf alle folgenden Modelle gleichermaßen repositionieren ließ. Der Hohlraum, der sich bei entsprechender Abnutzung zwischen Konter und Folgemodell darstellte, wurde mit Quecksilber ausgefüllt. So konnte über das Gewicht des Quecksilbers der Substanzverlust volumetrisch wiedergegeben werden (Urquiola & Charbeneau, 1981). Diese Methode ist insofern problembehaftet, als sehr geringe Hg-Mengen verwendet werden und die Messergebnisse daher relativ großen Schwankungen unterliegen. Ein weiteres Problem ist das Replazieren der Überabformung, was durch Materialungenauigkeiten oder Vorhandensein von harten und weichen Belägen, die vor der Abformung nicht entfernt werden, erschwert werden kann. Schließlich kann das genaue Repositionieren der Überabformung durch starke Veränderung der Zahnmorphologie verhindert werden, was diese Methode für das Messen von Erosionen unbrauchbar macht.

Messung von Erosionen durch Superponierung von Zahnlängsschnitten

Xhonga et al. (1972) verwendeten diese Technik zur Überwachung von Erosionen an 14 Patienten über einen Zeitraum von fünf Monaten. Für die Untersuchung wurden Silikonmodelle verwendet. Von jedem Zahn wurden mit einer Schneidemaschine drei 1 mm dicke Längsschnitte angefertigt. Dabei verliefen die Schnittlinien parallel zur Längsachse des Zahnes. Die Umrisse der entsprechenden Zähne wurden nach 20facher Vergrößerung überlagert und beurteilt. Problematisch ist bei dieser Methode die reproduzierbare Herstellung von gleichbleibenden Schnitten. Durch einen Konter des Ausgangsmodells können alle folgenden Modelle in gleicher Weise in die Schneidemaschine eingespannt werden. Aber auch diese Lösung birgt Fehler in sich. Einerseits können Ungenauigkeiten durch die Modellmaterialien verursacht werden. Andererseits kön-

nen durch den Schneidevorgang Artefakte entstehen, die einen Substanzverlust vortäuschen (Kreulen & van Amerongen 1991).

Nachweis von Substanzverlust durch Messmikroskopie

Diese Methode wurde von Lambrechts et al. (1984) verwendet, um Verschleiß an Seitenzahnfüllungen zu messen. In nichtokklusionstragende Zahnbereiche wurden vier Referenzkerben präpariert. Die vier Punkte definierten eine Referenzebene. Der Abstand (z-Achse) zu dem zu beurteilenden Bereich auf der Zahnoberfläche konnte durch abwechselndes an fokussieren der Referenzebene und der Zahnoberfläche bestimmt werden. An den Folgemodellen, die mit einer Repositionierungshilfe unter dem Mikroskop fixiert wurden, wurde dieser Abstand ebenfalls ermittelt. Die Veränderung in der z-Achse war ein Maß für den Substanzverlust. Abgesehen davon, dass die präparierten Referenzkerben Veränderungen durch erosive Prozesse unterliegen, muss bei dieser Methode hinterfragt werden, inwieweit es ethisch vertretbar ist, Zahnschubstanz zu schädigen, um Substanzverlust zu messen (Kreulen & van Amerongen 1991).

Stereofotogrammetrie

Die Stereofotogrammetrie macht sich das Prinzip des Stereosehens zu nutze. Dabei kann jede Veränderung am lebenden Organismus mit zwei fotogrammetrischen Aufnahmen, die aus verschiedenen Winkeln gemacht werden, numerisch ausgedrückt werden (Straka 1981). Bei dem sogenannten Buffalo-System (Eick et al. 1973) wird die Situation in vivo fotografisch festgehalten. Zwei Kameras müssen bei den folgenden zeitlich versetzten Aufnahmen in gleicher Position fixiert werden. Dies geschieht unter Zuhilfenahme von speziellen Rahmen und individuellen Bisschlüsseln. Das dreidimensionale Bild wird kartographisch ausgewertet. Auch bei dieser Methode besteht das Problem, dass es Areale auf der Zahnoberfläche geben muss, die keinen Veränderungen unterliegen, damit

Vergleiche angestellt werden können. Außerdem ist aufgrund der Kontrastarmut der Zahnhartsubstanz das Erfassen von Höhenunterschieden schwierig. Ungenauigkeiten können zudem durch Änderung des Zahnbogens resultieren, so dass der Bisschlüssel nicht ordentlich reponiert werden kann.

Moiré-Topographie

Die Moiré-Topographie gestattet das Überziehen von Objektflächen mit hellen und dunklen Streifen, die bei justierter Apparatur Höhenlinien darstellen und als solche fotografiert werden können (Meint et al. 1984). Entsprechende Moiré-Bilderpaare können so überlagert werden.

Mayhall kombinierte die Technik mit der digitalen Bildanalyse, wodurch die Okklusalfäche entlang der Fissuren in einzelne Teile gegliedert werden konnte. Die projizierten Linien erlaubten schließlich die Bestimmung des Volumens jedes einzelnen Höckers. Diese Technik ist ausschließlich auf Okklusalfächen von Seitenzähnen anwendbar, nicht aber auf Glattflächen. Ferner sollte die zentrale Fossa intakt sein (Mayhall & Kageyama 1997). Da bei Seitenzähnen häufig nur die Höckerspitzen von Erosionen betroffen sind, könnte diese Methode mit der angegebenen Messgenauigkeit von 10 µm in diesem Bereich ihre Anwendung finden.

Verwendung eines Dreikoordinatenmesssystems

Diese von Krejci et al. (1994) vorgestellte Methode funktioniert prinzipiell wie die Profilometrie. Der Unterschied besteht darin, dass nicht der Taster über die Zahnoberfläche fährt, sondern das Objekt in alle drei Raumrichtungen gegen eine Tastspitze bewegt wird. Dies ermöglicht einen großen vertikalen Messbereich von 30000 µm. Die Messungen wurden allerdings an einem natürlichen extrahierten Zahn zur Verschleißmessung von Füllungsmaterialien demonstriert. Dieser wurde dabei auf einem Präzisionsprobenträger mit höchster Ge-

nauigkeit unter Verwendung eines Spezialmessmikroskopes repositioniert. Der Substanzverlust wurde auch hier durch Überlagern der graphischen Darstellung von Initial- und Folgemessung ermittelt. Dabei wurden extrakoronar angebrachte Referenzpunkte zur Deckung gebracht. Die Angabe erfolgte sowohl in der Form von vertikalem Höhenverlust als auch volumetrisch. Steilhänge konnten aufgrund der Konizität des Tasters bis $59,0^\circ$ reproduzierbar abgetastet werden. Als Vorteil gegenüber der Profilometrie wird angeführt, dass die graphische Darstellung von Oberflächen bei dem Dreikoordinatenmesssystem nicht aus aneinandergereihten Profilen besteht, die ein punktgenaues Überlagern von Initial- und Folgemessung verhindern. Die hohe Reproduzierbarkeit der Messungen in einer Größenordnung von $1\ \mu\text{m}$ erklärt sich zum einen durch die hohe Auflösung der Messapparatur, zum anderen aber durch die Möglichkeit der exakten Repositionierung der Probe. Die Messapparatur ist ausschließlich für die Verschleißmessung *in vitro* konzipiert worden. Der Gedanke liegt deshalb nahe, dass diese Messmethode zur Beurteilung von Substanzverlust am Patienten, über die Herstellung eines Modells, mit größeren Fehlern behaftet wäre, da eine identische Reponierung verschiedener Modellzähne nicht möglich wäre.

Verwendung eines 3-D-Scanners

Mehl et al. (1997) verwendeten zur Erfassung von Oberflächen einen Scanner und untersuchten dabei die Messgenauigkeit bei exakter Repositionierung und bei variabler Repositionierung von Modellzähnen. Bei exakter Repositionierung eines Modellzahnes ließ sich eine gute Messgenauigkeit erzielen. Dabei hat sich gezeigt, dass der Einfallswinkel des Scanner-Strahls entscheidend für die Genauigkeit der Messung ist. Bei einem Einfallswinkel von unter 60° konnten Substanzverluste von weniger als $3\ \mu\text{m}$ gemessen werden. Für den Fall, dass keine exakte Repositionierung möglich war, wie es in klinischen Studien der Fall wäre, konnten Unterschiede von $10\ \mu\text{m}$ nachgewiesen werden.

Ein Nachteil dieser und der Methode des Dreikoordinatenmesssystems ist der sicherlich hohe Kostenaufwand, der sowohl für die Messapparatur als auch für die Computersoftware anfällt.

Verwendung von Ultraschall

Huysmans et al. (2000) versuchten, die Schmelzdicke von neun extrahierten Schneidezähnen zu untersuchen. Dabei wurden die mesialen und distalen Anteile entfernt. Die Dicke des Schmelzes wurde zuvor mikroskopisch beurteilt. Die Messung durch Ultraschall erfolgte an vier verschiedenen Arealen der Zähne (drei bukkale und ein palatinales Areal). Zwar korrelierten die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchung mit der mikroskopische Messung, jedoch unterlag die Messmethode so großen Schwankungen, dass diese Methode allein nicht ohne weiteres für die Messung von geringen Substanzverlusten anwendbar zu sein scheint.

Vergleich von kartographischen Darstellungen von Zahnoberflächen unter Verwendung eines Algorithmus

Bei dieser Methode wurden 10 extrahierte obere Schneidezähne vor und nach Einwirkung erosiver Noxen auf Substanzverlust überprüft. Dabei wurden Abformungen der Ausgangs- und der Folgesituation genommen. Die Oberfläche der Abformung wurde mit silberhaltigem, elektrisch leitendem Lack bepinselt. Anschließend wurden die Abformungen mit Superhartgips ausgegossen. Die Modelle wurden in die Messvorrichtung eingebracht. Sie bestand aus einem Messständer, der das Modell durch Mikromotoren in der horizontalen Ebene bewegen konnte. Eine elektrische Sonde aus Wolframdraht, die senkrecht zu der horizontalen Ebene stand, wurde durch einen dritten Mikromotor angetrieben. Sobald sie Kontakt zu einer leitenden Oberfläche bekam (Modelloberfläche), zog sie sich automatisch zurück. Die Modelloberfläche wurde mit 2500

Datenpunkten anhand eines DTM (= digital terrain models) kartographisch wiedergegeben. Entsprechende Oberflächen wurden überlagert und mit Hilfe eines Algorithmus (SMADDA= surface matching and difference detection algorithm) auf übereinstimmende und abweichende Werte hin untersucht. Dabei wurden Unterschiede auf der kartographischen Darstellung der Anschaulichkeit halber durch Änderungen der Farbintensität verdeutlicht. Die Messgenauigkeit bei wiederholten Messungen desselben Modells betrug 20 µm. Die differierenden Flächen wurden einerseits in Prozent ausgedrückt, andererseits in zwei Kategorien von Höhenunterschieden (1-150 µm und 151-450 µm) eingeteilt. Dabei nahm die Anzahl der nicht korrespondierenden Areale mit stärker werdender erosiver Noxe zu. Schwierigkeiten bei dieser Messmethode können auftreten, wenn sich das Folgemodell in seiner Morphologie so stark verändert, dass eine Überlagerung der DTM nicht möglich ist (Chadwick & Mitchell 2001).

Profilometrische Messung unter Zuhilfenahme künstlich geschaffener Referenzpunkte

Hirt et al. (1984) verwendeten zwei in der Zahnhartsubstanz präparierte Vertiefungen als Referenzpunkte für die profilometrische Messung. Einer diente dabei als Startpunkt, der andere als Endpunkt für die Taststrecke. Durch Superponierung der Profilschriebe wurde ein möglicher Substanzverlust nachgewiesen. Hirt setzte dabei Oberflächen voraus, die keiner Veränderung unterlagen. Bei Erosionen ändert sich die Zahnoberfläche unweigerlich und die Referenzpunkte wären bei Folgemessungen mit großer Wahrscheinlichkeit unauffindbar. Wie bei der Messmikroskopie, ist das Opfern gesunder Zahnschicht aus ethischer Sicht nicht vertretbar.

Profilometrische Messung unter Zuhilfenahme natürlicher Referenzpunkte

Bei dieser Methode erfolgte eine profilometrische Abtastung der Zahnoberfläche. Die horizontale Dimension wurde durch Verschieben der Probe durch Mikromotoren am Messtisch erfasst. Durch Aneinanderreihung aller Profildia-gramme entstand eine dreidimensionale Darstellung der abgetasteten Oberfläche. In gleicher Weise wurde mit dem Folgemodell verfahren. Durch ein spezielles Programm konnten die Konturen der Zähne anhand unveränderlicher Areale überlagert werden. Auf diese Weise konnte eine volumetrische Bestimmung des Substanzverlust erfolgen (Pintado et al. 1988). Fehlerquelle kann die konische Form des Tasters sein. Wird die zu erfassende Oberfläche zu steil, berührt nicht die Tasterspitze, sondern die seitliche Fläche des Tasters die Oberfläche. Die resultierenden Werte wären in diesem Fall zu niedrig. Außerdem könnten starke Veränderungen der Zahnoberfläche das Überlagern der Profile erschweren.

Verwendung eines Laserprofilometers

Bartlett et al. (1997) verwendeten eine Methode, die es ihnen ermöglichte, das Vorschreiten von Erosionen an Glattflächen in einem Zeitraum von sechs Monaten zu überwachen. Untersucht wurden dabei 13 Patienten mit palatinalen Erosionen unbekannter Genese und einer Kontrollgruppe von sieben Probanden ohne klinische Anzeichen für Erosionen. Bei allen Probanden wurde auf den Palatinalflächen der oberen Inzisivi ein im Durchmesser ca. 2 mm großes und 0,1 mm dickes Stahlplättchen befestigt. Voraussetzung dafür war, dass das Plättchen nicht die Okklusion beeinträchtigte. Nach Politur der Plättchen erfolgte die Abformung mit dünnfließendem Silikon. Die Abformung wurde schließlich mit einem Laserprofilometer „abgetastet“. Dabei wurden 164 Einzelprofile zu einer einzigen topographischen Darstellung zusammengefasst. Sechs Monate später erfolgte eine erneute Abformung. Als unveränderlicher Referenzpunkt wurde der höchste Punkt auf dem Metallplättchen verwendet. Mit

diesem wurden 20 ausgewählte Punkte auf der angrenzenden Zahnoberfläche verglichen. Dabei mussten die Punkte so markant sein, dass sie in der Folgemessung ohne Schwierigkeiten wiedergefunden werden konnten. Die Werte wurden in Form von Höhenunterschieden wiedergegeben. Bei der statistischen Analyse zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der „Erosions-Gruppe“ und der Kontrollgruppe. Die Methode wies jedoch erhebliche Schwächen auf. Zum einen war die Befestigung der Plättchen nicht dauerhaft genug. Fast die Hälfte aller Erosionspatienten verlor alle befestigten Plättchen im Laufe der sechs Monate. Zum anderen waren die Referenzpunkte auf der Zahnoberfläche in der Folgemessung häufig nicht wieder auffindbar. Die Messung an sich war zudem sehr zeitaufwendig. Allein der Scan-Vorgang einer Abformung benötigte eine Stunde. Der Autor räumt ein, dass bezüglich der genannten Schwächen weitere Versuche notwendig sind, um das Messverfahren zu optimieren.

Einige der erwähnten Methoden sind sehr empfindlich, und sind aus diesem Grund prinzipiell zum Nachweis kleiner Substanzverluste geeignet. Bis auf die letztgenannte Untersuchung wurde jedoch auf künstliche, unveränderliche Referenzpunkte zur Beurteilung von Substanzverlust verzichtet. Wie mehrfach erwähnt wäre die Richtigkeit eines Messergebnisses vor allem in klinischer Anwendung in Frage zu stellen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, die etablierte Methode der Profilometrie für den klinische Gebrauch zu modifizieren, um das Monitoring von säurebedingtem Zahnhartsubstanzverlust zu ermöglichen.

3. Material und Methode

3.1. Prinzip der Messung

Das Prinzip der Messung beruht auf der profilometrischen Erfassung eines oberflächlichen Zahnhartsubstanzverlustes in Relation zu einer unveränderlichen Referenzebene.

Zu diesem Zweck wird ein gegen Säure unempfindlicher Marker auf die Zahnoberfläche aufgeklebt. Anschließend erfolgen Abformung und Modellherstellung. Die Oberfläche des Markers dient als Referenzareal zur angrenzenden Zahnhartsubstanz. Ausschlaggebend für die Diagnose des Substanzverlustes ist der Höhenunterschied zwischen Zahn- und Markeroberfläche. Dessen Zunahme in zwei zeitlich versetzten Messungen spricht für ein Fortschreiten des Substanzverlustes. Dabei ist entscheidend, dass die Messmethode reproduzierbar ist, also immer dieselben Bereiche auf der Zahnoberfläche beurteilt werden.

3.2. Herstellung des Markers und Befestigung auf der Zahnoberfläche

Der Marker besteht aus einer hochgoldhaltigen Dentallegierung (Mat. 1), hat eine Stärke von 0,1 mm und ist ca. 2 x 2 mm groß. Ein in entsprechender Stärke ausgewalztes Goldblech wurde zunächst beidseitig silanisiert (Mat. 2). Anschließend wurde mit einer speziell zu diesem Zweck hergestellten Stanze (Mat. 3) der Marker ausgestanzt und schließlich mit einer Silanlösung (Mat. 4) behandelt.

Die Zahnoberfläche wurde für 60 Sekunden mit 35%-iger Phosphorsäure (Mat. 5) angeätzt und anschließend mit Wasser mindestens 30 Sekunden abgespült. Danach erfolgte die Konditionierung mit einem Dentinhaftvermittler (Mat. 6).

Der Marker wurde mit lichthärtendem Bonding (Mat. 7) auf dem Zahn befestigt. Dabei erleichterte eine mit Bienenwachs (Mat. 8) beschickte zahnärztliche Sonde die Handhabung. Das Bonding wurde nicht direkt auf die Oberfläche des Zahnes aufgetragen, sondern mit dem an der Sonde haftenden Marker aufgenommen. Es wurde darauf geachtet, dass die Fläche des Markers, die unmittelbaren Kontakt zur Zahnoberfläche hatte, nicht unnötig mit Wachs in Berührung kam, um den Verbund zwischen Metall und Kunststoff nicht zu beeinträchtigen. Der so vorbereitete Marker wurde auf die konditionierte Zahnoberfläche platziert. Mit einem Kugelstopfer (Mat. 9) wurde der Marker in die endgültige Position gebracht. Schließlich erfolgte die Aushärtung des Bondings mit einer Polymerisationslampe (Mat. 10). Eine Politur der Marker erfolgte nicht, um dessen Spitzen nicht zu verletzen.

3.3. Profilometrie

Zur Messung des Substanzverlustes wurde das Oberflächenmessgerät Perthometer S8P verwendet (Mat.11). Die Messeinheit besteht aus einem mechanischen Mikrotaster (Mat. 12), einem Vorschubgerät und einem Rechner. Der Taster tastet das Profil der Zahnoberfläche entlang der Verbindungslinie Zahnoberfläche-Marker-Zahnoberfläche ab (Tastschnittverfahren).

Die Auf- und Abbewegungen des Tastarms, die sich durch die variable Oberflächengestalt ergeben, werden im mechanischen Wandler in ein elektrisches Signal umgewandelt und in einem Messverstärker verstärkt.

Die Signale werden als direkt ertastetes Profil (D-Profil) im Profilspeicher abgelegt und schließlich dem Rechner zur Profilaufzeichnung übermittelt. Über eine Schnittstelle können die Daten an jeden beliebigen Rechner übertragen werden.

Die Auswertung und Bearbeitung der Profildiagramme erfolgt anhand einer speziellen Software (Mat.13).

Um Ungenauigkeiten während der Messungen durch Erschütterungen zu vermeiden, steht der Perthometer auf einem pneumatisch gelagerten Tisch.

3.4. Messbedingungen

Entscheidender Parameter für die Messungen ist der Vertikalbereich (VB). Er ist ein Maß für die maximale Amplitude, innerhalb derer sich der Tastarm während des Messvorganges auslenken lässt, ohne den Messvorgang abubrechen. Die Auslenkung des Tastarmes wird mit 16000 vertikalen Auflösungsschritten registriert.

Um sich die hohe Auflösung zunutze zu machen, sollte der Vertikalbereich deshalb möglichst klein gewählt werden. Für die Messungen erwies sich die Auswahl des Messbereiches von 2500 μm bei einer Empfindlichkeitsklasse 3 als günstig.

Die Länge der Taststrecke (LM) wurde ausreichend groß gewählt. Dies erfolgte, um auf dem Profilschrieb die Oberfläche des Zahnes und des Markers möglichst vollständig darstellen zu können und um bei der späteren Auswertung der Profildiagramme genügend Platz für das Anlegen von Ausgleichsgeraden zu haben. Bei den meisten Zähnen war eine Messstrecke von 4 mm realisierbar. Bei stark gewölbten Zähnen musste die Messstrecke verkürzt werden und die Messung in zwei getrennten Schritten erfolgen, da der Tastermessbereich bei starker Wölbung der Oberfläche schnell überschritten wurde. Dabei erfolgte die

erste Messung von der Zahnoberfläche über die Ecke auf die Markeroberfläche und die zweite Messung von der Markeroberfläche über die Spitze auf die Zahnoberfläche.

Die Geschwindigkeit, mit der der Taster die Oberfläche abtastet, hängt von der Länge der Messstrecke ab und betrug in unserem Fall 0,1 mm/sec

3.5. Durchführung der Messungen

Die Messung soll hier exemplarisch an einem Modellzahn dargestellt werden. Der Marker hat die Form eines fünfzackigen Sterns. Dieses Design erlaubt die Beurteilung von zehn Messpunkten auf der Zahnoberfläche in der Umgebung des Markers. Sie werden auf folgende Weise ermittelt: bei einer Betrachtungsweise von oben wird jeweils eine Gerade über Zahnoberfläche und Marker gelegt, welche eine beliebige „Ecke“ und die gegenüberliegende „Spitze“ des Sterns verbindet. Auf diese Weise können zwei Punkte auf der Zahnoberfläche festgelegt werden, einer vor der „Ecke“ und einer hinter der „Spitze“ des Markers.

Der mechanische Taster des Profilometers wird so ausgerichtet, dass er während des Messvorganges entlang der Geraden zuerst über die „Ecke“ und anschließend über die gegenüberliegende „Spitze“ des Sterns fährt (Abb. 1).

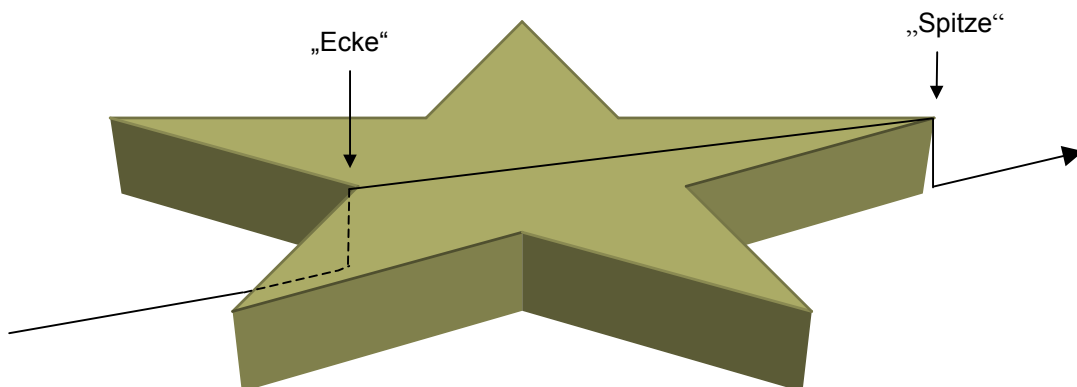


Abb. 1: Schematische Darstellung des Markers und einer durch zwei Referenzpunkte verlaufenden Messstrecke

Die Messstrecken wurden mit den Buchstabenkombinationen a-b bis i-j gekennzeichnet, wobei die erste Messstrecke a-b durch eine nach zervikal gerichtete Ecke und eine nach okklusal gerichtete Spitze des Markers verläuft. Die restlichen Messstrecken c-d, e-f, g-h und i-j wurden dem Marker im Uhrzeigersinn zugeordnet (Abb. 2).

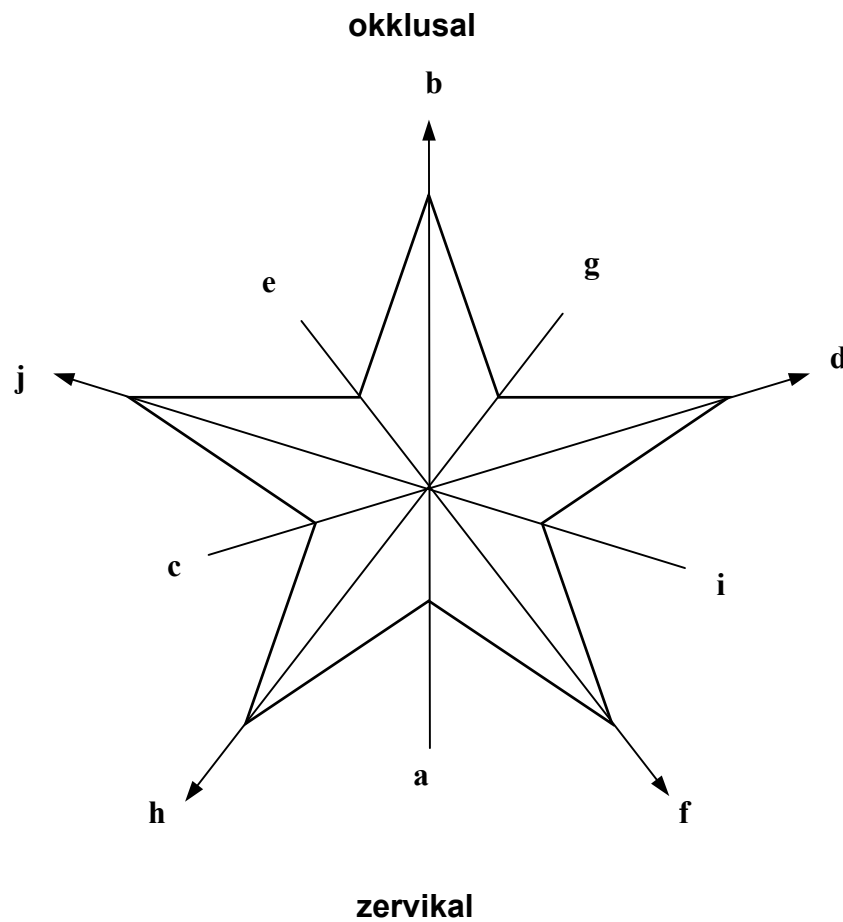


Abb. 2: Darstellung aller möglichen Messstrecken auf dem sternförmigen Marker

Auf der zweidimensionalen Darstellung der Messstrecke, dem Profildiagramm, können die beschriebenen Referenzpunkte leicht identifiziert werden. Indem eine vorher festgelegte Distanz zwischen der Ecke bzw. Spitze und dem gewünschten Abschnitt auf der Zahnoberfläche bestimmt wird, kann der genau definierte Abschnitt auf der Zahnoberfläche reproduzierbar ermittelt werden (Abb.3).

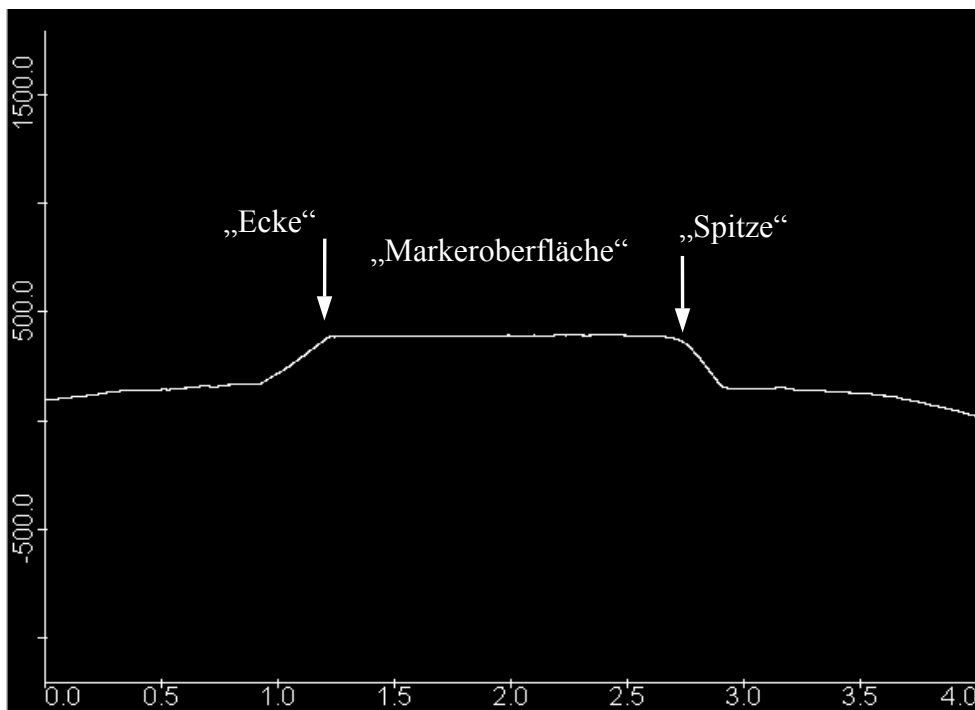


Abb. 3: Profildiagramm mit zweidimensionaler Darstellung der Messstrecke

Die Probe wurde mit Plastolinmasse (Mat. 14) auf dem Messtisch plaziert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Oberfläche des Markers möglichst parallel zur Bezugsebene des Messsystems verlief. Es wurde stets mit der Messstrecke a-b begonnen. Um zu erreichen, dass die Tastarmpitze während des Vorlaufs sowohl über die Ecke als auch über die Spitze des „Sterns“ fuhr, musste der

Marker vor der Messung entsprechend der Vorschubbewegung des Tasters ausgerichtet werden.

Das Positionieren der Probe erfolgte unter einem Stereomikroskop (Mat. 15) mit zehnfacher Vergrößerung unter bestmöglichen Lichtverhältnissen (Mat. 16).

Mit den Positioniertasten am Messständer wurde die Tastarmspitze mit der Oberfläche des Markers in Kontakt gebracht. Nach grober Ausrichtung des Modells wurde der Vorschub des Tasters durch Drehen der Mikrometerschraube an dem Messplateau simuliert. Verließ der Vorschub des Tasters nicht durch die gewünschten Punkte, musste die Position des Modells entsprechend korrigiert werden. Mit dem Handrad für die Höhenfeineinstellung am Messständer wurde der Messwert (Vertikalbereich) auf $0 \pm 100 \mu\text{m}$ justiert. Bei einer weiteren Simulation des Vorlaufes wurde geprüft, ob der Vertikalbereich beim Durchlauf der gesamten Messstrecke (von der Zahnoberfläche auf den Marker und wieder auf den Zahn) nicht über- bzw. unterschritten wurde. Verließ die Simulation wie erwartet, wurde das Modell durch Drehen der Mikrometerschraube in die gewünschte Position zurückgefahren.

Der tatsächliche Messvorgang wurde unter dem Mikroskop beobachtet. Verließ die Messung wider Erwarten nicht durch die Referenzpunkte (Spitze und Ecke), musste das Modell neu positioniert und die Messung wiederholt werden. Durch Drehen des Modells gegen den Uhrzeigersinn konnte man die folgenden Messstrecken c-d, e-f, g-h und i-j auf die gleiche Weise darstellen.

3.6. Auswerten der Profildiagramme

Mit einer speziellen Software (Mat. 12) können auf einem Profilschrieb bestimmte Punkte berechnet oder definiert, bzw. der Profilschrieb in einem Koordinatensystem beliebig ausgerichtet werden. Es handelt sich dabei um die Oberfläche des Markers, Abschnitte der Zahnoberfläche und Spitze und Ecke des Sterns.

Das Profildiagramm wird auf einem kathesischen Koordinatensystem dargestellt, wobei die x-Achse die Taststrecke darstellt (Abb. 3). Zunächst wird durch Legen von möglichst weit auseinanderstehenden Profilpunkten auf der Markeroberfläche eine Ausgleichsgerade berechnet.

Durch Neigen des Profils in die entsprechende Position kann am Übergang Markeroberfläche - Schiefe Ebene der höchste Punkt bestimmt werden, welcher der Spitze des Sterns entspricht. Auf gleiche Weise erfolgt die Definition der Ecke des Sterns (Abb. 4).

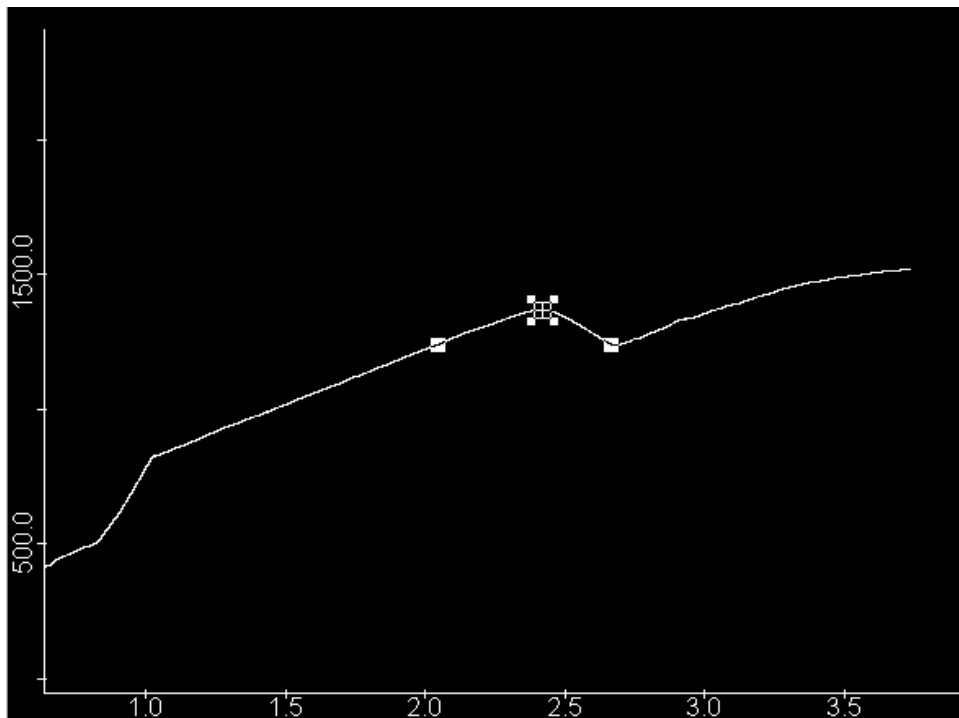


Abb. 4: Die Referenzpunkte werden durch entsprechende Neigung des Profildiagramms bestimmt

Die Oberfläche des Markers wird mit Hilfe der Ausgleichsgeraden auf die x-Achse des Koordinatensystems ausgerichtet.

Der Übergang Marker- Zahnoberfläche stellt sich nicht als deutliche Kante dar. Dies ergibt sich zum einen aus der Konusform des Tasters. Bei Verlassen der Oberfläche des Markers gleitet der konische Anteil des Tasters solange entlang der Spitze bzw. Ecke des Markers, bis die Tasterspitze wieder Kontakt zur Zahnoberfläche hat. Zum anderen können auslaufende Bondingreste am Rand des Markers zu einem ähnlichen Bild führen.

Diese kurze Strecke wird auf dem Diagramm als schiefe Ebene dargestellt und muss für die Auswertung ausgeschlossen werden.

Von der Spitze bzw. Ecke des Sterns wird im Abstand von 40 μm eine Ausgleichsgerade von festgelegten 30 μm Länge auf der Zahnoberfläche berechnet.

Die 40 µm wurden festgelegt, um zum einen die beschriebene schiefe Ebene zu umgehen und zum anderen, um einen Sicherheitsabstand von möglicherweise verbliebenen, nicht sichtbaren Bondingresten einzuhalten. Die Abstände wurden für jede Messung gleichermaßen eingehalten.

Für die drei Ausgleichsgeraden wurde je ein Mittelpunkt berechnet. Von den Mittelpunkten der Ausgleichsgeraden der Zahnoberfläche wurde der Höhenunterschied (y-Achse) zum Mittelpunkt der Ausgleichsgeraden der Markeroberfläche berechnet (Abb.5).

Entsprechend der Messstrecken wurden die Werte durch die Kleinbuchstaben a und b (bzw. c-d, e-f, g-h und i-j für die restlichen Messstrecken des Markers) gekennzeichnet.

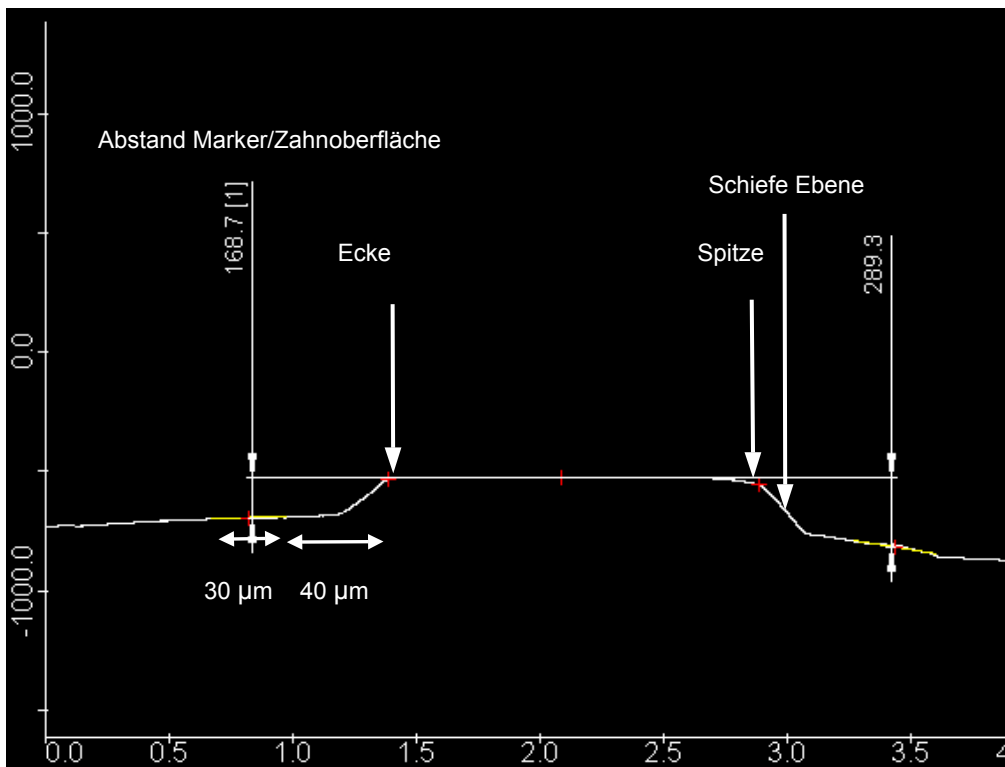


Abb. 5: Ausgewertetes Profildiagramm mit Darstellung der relevanten Flächen und Referenzpunkte

3.7. Reproduzierbarkeit der Methode - Vorversuche

Die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse wurde zuerst an einem möglichst einfachen Urmodell, einem natürlichen Zahn mit plangeschliffener Oberfläche, getestet. Dabei wurde sowohl der Einfluss der Abformung wie auch der Modellmaterialien untersucht.

Die Herstellung der Probe erfolgte mit einem Mikroschleifsystem (Mat. 17). Der Zahn wurde mit lichthärtendem Kunststoff (Chem. 1) auf einer Plexiglasscheibe (Mat. 18) fixiert und in das Mikroschleifsystem mit Hilfe einer Vakuumpumpe (Mat. 19) eingespannt. Die Drehscheibe des Systems wurde mit feuchtem Schleifpapier (Mat. 20) mit der Körnung 800 versehen und der Trägerhalter mit 50 g beschwert. Die Drehgeschwindigkeit betrug 60 U/min. Der Schleifvorgang wurde unter Wasserkühlung soweit fortgesetzt, dass sich eine ca. 4 mm² große plane Fläche auf dem Zahn ergab. In die Mitte dieser Fläche wurde ein Marker aufgeklebt, so dass eine beliebige Spitze des Sterns nach okklusal zeigte.

Zunächst wurde die Messung aller Strecken a-b bis i-j des Urmodells vorgenommen. Die Messungen des Markers wurde fünfmal wiederholt.

Um den Einfluss der Abformung auf die Reproduzierbarkeit der Messwerte zu prüfen, wurde das Urmodell mit Polyethergummi (Mat. 21) abgeformt und mit „Blue Star“, einem Modellmaterial auf Epoxidharzbasis (Mat. 22), auf einem Rüttler (Mat. 23) ausgegossen. Als Abformmassträger dienten Probenbehälter (Mat. 24). Nach ca. achtstündiger Aushärtungszeit wurde das Modell aus der Abformung entfernt und wie das Original fünfmal profilometrisch vermessen.

Um den Einfluss des Modellmaterials auf die Reproduzierbarkeit der Methode zu untersuchen, wurde das Urmodell fünfmal abgeformt. Die gewonnenen Modelle wurden jeweils einmal vermessen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde „Stycast“ (Mat. 25), ein weiteres Epoxidharz, getestet. Das Anmischen des Epoxidharzes erfolgte unter Vakuum (Mat. 26) für ca. 60 Sekunden. Nach dem Ausgießen der Abformung auf dem Rüttler

(Mat. 25) härteten die Modelle in einem Wärmeschrank (Mat. 27) für 24 Stunden aus. Auch diese Modelle wurden jeweils einmal vermessen.

Der Einfluss der Probengeometrie wurde anhand eines gewölbten Zahnes durchgeführt, da zu erwarten war, dass eine gewölbte Fläche schlechter reproduzierbare Werte liefern würde.

3.8. Statistik

Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test wurde festgestellt, dass für die Vorversuchsgruppen eine Normalverteilung vorlag. Im folgenden wurden deshalb parametrische Tests angewendet. Der Vergleich der Mittelwerte innerhalb einer Gruppe wurde mit dem t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Für die Vergleiche zwischen den Gruppen wurde eine einfache Varianzanalyse mit Anschlussstest nach Tukey durchgeführt.

Schließlich wurden die Ergebnisse innerhalb einer Gruppe miteinander korreliert (Korrelation nach Pearson).

Folgende Abkürzungen wurden verwendet:

SD	=	Standardabweichung
\bar{x}	=	arithmetischer Mittelwert
MIN	=	Minimalwert
MAX	=	Maximalwert
p	=	Irrtumswahrscheinlichkeit
n.s.	=	nicht signifikant
*	=	signifikant ($p \leq 0,05$)
**	=	sehr signifikant ($p \leq 0,01$)
***	=	höchst signifikant ($p \leq 0,001$)
r	=	Korrelationskoeffizient nach Pearson

4. Ergebnisse der Vorversuche

Der mittlere Höhenunterschied (\pm SD) bei dem Urmodell in fünf aufeinanderfolgenden Messungen lag bei $148,7 \pm 2,2 \mu\text{m}$. Das entsprechende „Blue Star“-Modell ergab mit $143,8 \mu\text{m}$ bei einer mittleren Differenz von $4,83 \mu\text{m}$ gegenüber dem Originalmodell geringfügig kleinere Werte (n.s.). Die Standardabweichung war mit $2,9 \mu\text{m}$ vergleichbar hoch (n.s.).

Die „Blue Star“-Modelle aus fünf verschiedenen Abformungen wiesen einen mittleren Höhenunterschied von $144,5 \mu\text{m}$ bei einer mittleren Differenz von $4,17 \mu\text{m}$ (n.s.) und eine geringfügig höhere Standardabweichung von $3,9 \mu\text{m}$ gegenüber dem Originalmodell auf (n.s.), während die „Stycast“-Modelle mit einem Mittelwert von $160,15 \mu\text{m}$ signifikant größere Höhenunterschiede ($p \leq 0,01$) und eine höhere Standardabweichung von $11,1 \mu\text{m}$ aufwiesen ($p \leq 0,05$).

Die Differenz zwischen dem höchsten Wert (MAX) des Originalmodells und des „Blue Star“-Modells bzw. des „Stycast“-Modells lag bei $2,08 \mu\text{m}$ bzw. $22,81 \mu\text{m}$. Für den niedrigsten Wert (MIN) ergaben sich Differenzen von $5,95 \mu\text{m}$ bzw. $0,93 \mu\text{m}$.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde „Stycast“ von den folgenden Untersuchungen ausgeschlossen.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Messungen aus dem Vorversuch zur Prüfung der Reproduzierbarkeit an einem Urmodell sowie des Einflusses von Abformung, Modellmaterial und Probengeometrie ($n=10$ Messpunkte des sternförmigen Markers). Abbildung 6 zeigt die graphische Darstellung der Messergebnisse.

Tab.1: Profilmtrisch ermittelte Höhenunterschiede (Mittel- und Medianwerte), Standardabweichungen, Minimum- bzw. Maximumwerte (μm) aller Proben.

GRUPPE		MESS1	MESS2	MESS3	MESS4	MESS5	\bar{x}	SD
Planes Urmodell	n	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{x}	147,9	148,7	148,4	149,4	148,9	148,7	2,2
	Median	148,9	152,9	150,2	152,6	152,5	151,7	2,2
	SD	8,2	8,7	7,6	8,3	8,0	7,8	1,1
	MIN	135,1	135,3	137,8	135,8	136,1	137,6	0,8
	MAX	160,7	157,8	158,4	159,5	156,3	157,8	4,5
Situations- modell (Blue Star) aus der- selben Ab- Formung	n	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{x}	144,0	143,7	143,6	144,2	143,6	143,8	2,9
	Median	146,0	142,1	145,3	145,5	144,6	144,5	2,8
	SD	8,2	7,7	8,9	9,1	9,7	8,2	1,4
	MIN	129,3	132,3	129,9	131,5	130,5	130,7	1,2
	MAX	153,1	153,7	155,0	159,2	155,4	154,7	6,0
Situations- modell (Blue Star) aus 5 Verschiede- nen Abfor- mungen	n	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{x}	146,8	144,3	143,3	145,6	142,4	144,5	3,9
	Median	145,3	144,1	143,8	147,7	144,0	145,2	4,5
	SD	7,4	8,1	9,3	9,0	9,1	7,8	1,4
	MIN	136,0	127,2	129,3	127,3	131,8	130,8	1,7
	MAX	158,5	154,1	155,8	154,4	154,3	153,3	5,7
Situations- modell (Sty- cast) aus 5 verschiede- nen Abfor- mungen	n	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{x}	155,1	157,7	160,5	166,2	161,2	160,1	11,1
	Median	160,8	163,2	161,9	165,9	160,8	161,3	10,0
	SD	10,1	17,4	9,3	17,6	13,8	9,3	4,7
	MIN	137,1	127,9	147,1	147,2	141,9	142,8	5,0
	MAX	165,1	187,4	172,1	196,4	186,2	171,3	19,0
Gewölbtes Urmodell	n	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{x}	277,7	274,3	274,7	273,2	277,2	275,4	4,7
	Median	249,7	257,0	257,4	252,3	257,2	254,7	3,6
	SD	111,6	109,2	110,1	109,4	111,4	110,2	4,1
	MIN	152,0	156,6	149,5	156,8	154,9	154,0	0,7
	MAX	483,7	479,0	476,2	473,0	480,0	478,4	15,9

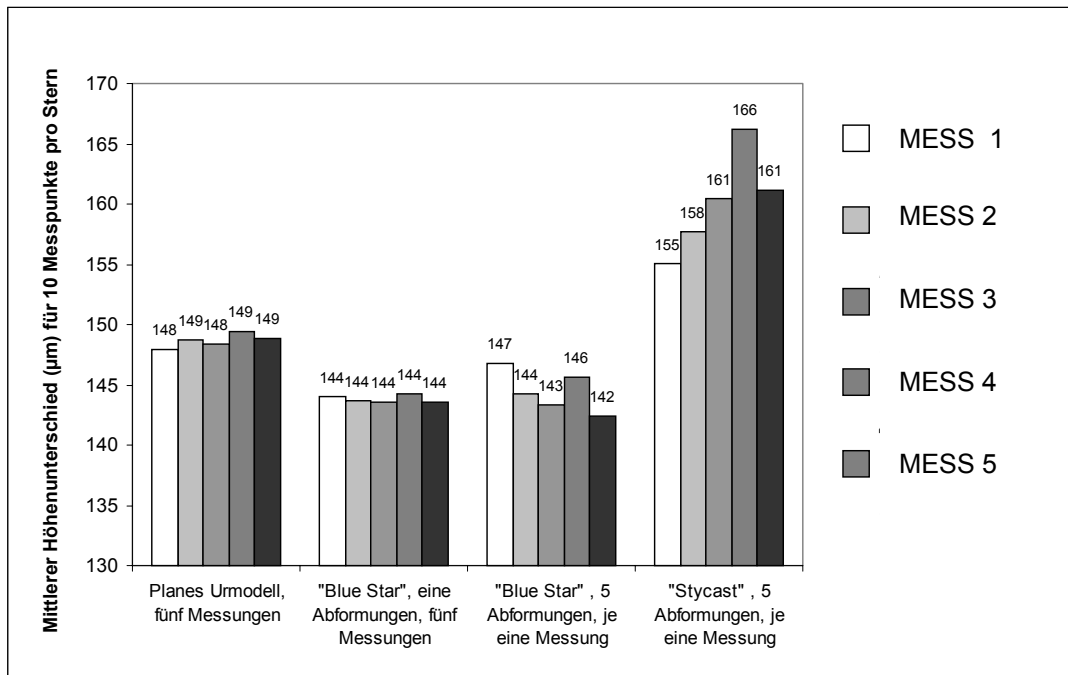


Abb.6: Graphische Darstellung der Mittelwerte des planen Originalzahnes und der entsprechenden Modelle

Wurden die Werte einer Gruppe miteinander korreliert, so ergaben sich für alle Gruppen bis auf die Stycast-Modelle signifikante bis hochsignifikante Korrelationskoeffizienten.

Die Korrelationskoeffizienten für den plangeschliffenen Zahn lagen dabei zwischen 0,80 und 0,97. Bei dem fünfmaligen Vermessen desselben Blue Star-Modells ergaben sich Korrelationskoeffizienten zwischen 0,7 und 0,97. Für die Blue Star-Modelle aus fünf verschiedenen Abformungen und jeweils einmaligem Vermessen resultierten Korrelationskoeffizienten zwischen 0,52 und 0,93. Messungen der Stycast-Modelle zeigten nur eine schwache Korrelation zwischen 0,12 und 0,93

Die Probe „Gewölbtes Urmodell“ zeigte zwar eine höhere Standardabweichung ($\pm 4,7 \mu\text{m}$) als die Probe „Planes Urmodell“, jedoch ergaben sich auch in dieser Gruppe hohe Korrelationskoeffizienten (Tab.2).

Tab. 2: Korrelation der profilometrisch ermittelten Werte aller Proben mit planer Oberfläche und des gewölbten Zahnes (n=10; Korrelationskoeffizient nach Pearson)

GRUPPE		MESS 2	MESS 3	MESS 4	MESS 5
Planes Ur- Modell	MESS1	0,862**	0,925**	0,81**	0,92**
	MESS2		0,953**	0,918**	0,966**
	MESS3			0,906**	0,965**
	MESS4				0,852**
Situations modell (Blue Star) aus derselben Abformung	MESS1	0,744*	0,702*	0,762*	0,734*
	MESS2		0,967**	0,951**	0,916**
	MESS3			0,974**	0,916**
	MESS4				0,926**
Situations modell (Blue Star) aus 5 verschie- denen Abformungen	MESS1	0,741*	0,518	0,704*	0,652*
	MESS2		0,855**	0,932**	0,807**
	MESS3			0,92**	0,874**
	MESS4				0,862**
Situations modell (Stycast) aus 5 verschie- denen Abformungen	MESS1	0,194	0,286	0,093	0,023
	MESS2		0,932**	0,097	0,65*
	MESS3			0,124	0,702*
	MESS4				0,261
Gewölbtes Urmodell	MESS1	0,994**	0,994**	0,994**	0,994**
	MESS2		0,999**	0,999**	0,999**
	MESS3			0,999**	0,999**
	MESS4				0,999**
** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.					
* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.					

5. Anwendung des Verfahrens in simulierter klinischer Situation

5.1. Sammeln und Aufbewahren der Proben

Für den Versuchsaufbau wurden 14 kariesfreie Zähne verwendet. Dem natürlichen Gebiss entsprechend, wurden vier Molaren, vier Prämolaren, zwei Eckzähne, zwei laterale und zwei zentrale Inzisivi ausgesucht. Die von Gewebsresten befreiten Zähne wurden mit Bimsstein (Mat. 28) und anschließend mit fluoridfreier Zahnreinigungspaste (Mat. 29) gereinigt und bis zum Beginn der Versuche in einer gesättigten Thymollösung (Chem. 2) aufbewahrt, um die Zähne vor dem Austrocknen zu schützen.

5.2. Herstellung des Urmodells

Die Zähne wurden mit dem unteren Drittel der Wurzel in Abformgips (Mat. 30) in einem Endodontiemodell (Mat. 31) eingebettet. Um zu vermeiden, dass der Gips während der Erosionsversuche in Lösung geht und somit Einfluss auf den Versuch im Sinne möglicher Remineralisationsvorgänge nimmt, wurde der Gips und die restliche Wurzeloberfläche mit autopolymerisierendem Kunststoff (Mat. 32) bedeckt. Das Modell wurde von diesem Zeitpunkt an im Wasserbad aufbewahrt, um Austrocknung zu verhindern.

Nachdem die Marker in schon beschriebener Weise hergestellt und behandelt wurden, wurden sie mittels Adhäsivtechnik auf den Zahnoberflächen befestigt.

Die Behandlungssituation wurde unter realistischen Bedingungen an einem Phantomkopf (Mat. 33) nachgestellt. Es wurden sowohl die palatinalen als auch die bukkalen bzw. vestibulären Flächen mit je einem Marker versehen. Dabei wurde darauf geachtet, dass eine Spitze des Markers stets nach okklusal bzw. inzisal gerichtet war (Abb. 7). Diese systematische Ausrichtung des Markers erfolgte zur besseren Orientierung während der Messungen. Die erste Messstrecke a-b ergab sich aus der Verbindung der nach zervikal gerichteten Ecke

und der nach okklusal gerichteten Spitze des Markers. Die restlichen Messstrecken c-d, e-f, g-h und i-j wurden dem Marker wie schon beschrieben im Uhrzeigersinn zugeordnet.

Da es sich bei den Markern um sehr kleine Objekte handelt, war die Anwendung einer Lupenbrille (Mat.34) mit 2,5–3facher Vergrößerung hilfreich. So wurde auch gewährleistet, dass möglichst wenige Bondingreste in der Umgebung des Markers verblieben. Da die Entfernung von Bondingresten auf dem Zahn nach erfolgter Polymerisation schwierig ist, wurden Überschüsse durch Verwendung adäquater Mengen Bondings von vornherein bestmöglichst vermieden.

Die Politur erfolgte mit Zahnreinigungsbürstchen (Mat.35) und Bimsstein (Mat.28), anschließend mit diamantierten Bürstchen (Mat.36). Auf eine Politur der Marker mit Gummipolierern wurde verzichtet, um die plane Oberfläche nicht zu verändern um die Spitzen nicht zu beschädigen.



Abb. 7: Das Urmodell

5.3. Erzeugung der Erosionen

Für die Erzeugung der Erosionen wurde eine 0,05 M Zitronensäure (Chem. 3) mit einem pH-Wert von 2,3 verwendet. Der pH-Wert wurde mit einem pH-Meter (Mat. 37) bei Zimmertemperatur ermittelt. Für die erste Versuchsreihe wurde das Urmodell für 20 Minuten mit Zitronensäure im Schüttelbad (Mat. 38) bei Zimmertemperatur (20 C°) behandelt und anschließend unter fließendem Wasser abgespült. Für die zweite Versuchsreihe wurde das Modell weitere 40 Minuten, für die dritte Versuchsreihe weitere 60 Minuten mit Zitronensäure behandelt.

Nach jedem Erosionsschritt wurde das Urmodell durch Einphasenabformung abgeformt. Im folgenden wurde ein Modell aus Epoxidharz (Mat. 23) hergestellt und für die Messungen vorbereitet.

5.4. Herstellung des Situationsmodells

Die Abformung des Urmodells erfolgte mit einem konfektionierten Löffel (Mat. 39). Um das Abfließen des Abformmaterials nach dorsal zu verhindern, wurden die Enden des Löffels mit lichtpolimerisierendem Kunststoff (Mat. 40) umrandet. Die Abformung wurde nach dem Prinzip der Einphasenabformtechnik mit Polyethergummi (Mat. 21) durchgeführt: das Anmischen des Abformmaterials erfolgte unter Verwendung eines Anmischgerätes (Mat. 41). Die mit Markern versehenen Flächen wurden mit Hilfe einer Elastomerspritze (Mat. 42) umspritzt. Unmittelbar danach erfolgte die Überabformung mit demselben Abformmaterial. Frühestens nach Ablauf von zwei Stunden wurde die Abformung mit einem Epoxidharz (Mat. 21) auf einem Rüttler ausgegossen, um eine möglichst vollständige Rückstellung der deformierten Bereiche zu gewährleisten.

Nach Aushärtung des Modellmaterials wurde der Zahnkranz vorsichtig aus der Abformung entfernt und die Unterseite anschließend plangetrimmt (Mat. 43).

Grobe Überschüsse sowie scharfe Kanten wurden mit einer Gipsfräse (Mat. 44) entfernt.

Jeder Zahn des Modells wurde mit Hilfe eines Pinbohrgerätes mit einer basalen Bohrung (Mat. 45) zur Aufnahme eines Modellpins (Mat. 46) versehen, welcher mit Sekundenkleber (Mat. 47) fixiert wurde. Das Modell wurde mit Silikonknetmasse (Mat. 48) gesockelt. Anschließend wurde jeder einzelne Zahn mit einer Trennscheibe (Mat. 49) separiert. So konnte jeder Zahn zu Messzwecken einzeln aus dem Modell entfernt werden (Abb. 8). Die Auswertung der Messungen erfolgte wie in den Vorversuchen beschrieben.



Abb. 8: Das Situationsmodell

5.5. Statistik

Bei den ermittelten Werten des Hauptversuches lag keine Normalverteilung vor. Deswegen wurde hier der nichtparametrische Wilcoxon-Test durchgeführt.

Die Werte für die Stufe von Markeroberfläche zu Zahnoberfläche wichen signifikant von der Normalverteilung ab, nicht jedoch die Werte für den Mineralverlust (Differenz aus 20min und Baseline, 60min und Baseline, 120min und Baseline). Dennoch wurde auch hier der Wilcoxon-Test durchgeführt.

Folgende Abkürzungen wurden verwendet:

SD	=	Standardabweichung
\bar{x}	=	arithmetischer Mittelwert
MIN	=	Minimalwert
MAX	=	Maximalwert
p	=	Irrtumswahrscheinlichkeit
n.s.	=	nicht signifikant
*	=	signifikant ($p \leq 0,05$)
**	=	sehr signifikant ($p \leq 0,01$)
***	=	höchst signifikant ($p \leq 0,001$)

5.6. Materialien- und Chemikalienliste

Materialien

- Mat. 1 : Degulor M, Degussa AG, Hanau, (D)
- Mat. 2 : Sandstrahlgerät Rocatec-System, ESPE, Seefeld (D)
- Mat. 3 : Stanze, Bender Claus Werkzeugbau KG, Aßlar, (D)
- Mat. 4 : Silanlösung, ESPE-Sil, ESPE Dental Medizin, Seefeld, (D)
- Mat. 5 : 35%-ige Phosphorsäure, Haereus Kulzer, Dormagen, (D)
- Mat. 6 : Dentinhaftvermittler, Optibond, Kerr Corporation, Orange, (USA)
- Mat. 7 : Lichthärtendes Bonding, Optibond, Kerr Corporation, Orange, (USA)
- Mat. 8 : Bienenwachs, Orbis dental, Offenbach, (D)
- Mat. 9 : Kugelstopfer, Aesculap AG, Tuttlingen, (D)
- Mat. 10 : UV Polymerisationslampe Optilux 401, Kerr Demetron, (D)
- Mat. 11 : Perthometer S8P, Feinprüf Göttingen, (D)
- Mat. 12 : Perthometer Concept, Version 5.2, Fa. Perthen, Mahr, (D)
- Mat. 13 : Taster FRW-750; 6851401; Fa. Perthen, Mahr, (D)
- Mat. 14 : Plastolinmasse
- Mat. 15 : Stereomikroskop, Leitz Wetzlar, (D)
- Mat. 16 : Kaltlichtquelle KL 750 mit Schwanenhals, Schott, Glastrup, (DK)
- Mat. 17 : Exakt Mikroschleifsystem, Exakt-Apparatebau O. Herrmann, Norderstedt, (D)
- Mat. 18 : Plexiglasobjektträger 5x10 cm, Exakt-Apparatebau O. Herrmann, Norderstedt, (D)
- Mat. 19 : Vakuumpumpe OF, DeTrey, (D)
- Mat. 20 : Schleifpapier FE 50, WB Flex18A, Körnung P-800, Hermes, (D)
- Mat. 21 : Impregum, Penta, ESPE, Seefeld, (D)
- Mat. 22 : Rütteltisch, Renfert, Singen, (D)
- Mat. 23 : Blue Star, Girrbach Dentalsysteme, Pforzheim, (D)
- Mat. 24 : Probenhalter , Greiner Labortechnik Solingen, (D)
- Mat. 25 : Stycast, ICI Belgium N.V., Westerlo, (B)

- Mat.26 : Vakuumanmischgerät, Degussa AG, Hanau, (D)
- Mat.27 : Wärmeschrank, Heraeus, Dormagen, (D)
- Mat.28 : Bimsstein, Hinrichs, Glossar, (D)
- Mat.29 : Zahnreinigungspaste, DENTAX Karl Huber GmbH, Karlsruhe, (D)
- Mat.30 : Abformgips Snow White Plaster, Kerr Corporation, Orange, (USA)
- Mat.31 : Frasaco Endodontiemodell, Sachs & Co. GmbH, Tetnang, D
- Mat.32 : Kaltpolymerisat, Heraeus Kulzer GmbH, Wernheim/Ts, (D)
- Mat.33 : Frasaco Phantomkopf, Sachs & Co. GmbH, Tetnang, D
- Mat.34 : Lupenbrille, Merident Oy, Lohja, (FL)
- Mat.35 : Zahnreinigungsbüschchen, Hawe neos, Buchs, (CH)
- Mat.36 : Polierbüschchen Okklubrush, Hawe neos, Buchs, (CH)
- Mat.37 : pH-Meter 761 Calimatic, Knick (D)
- Mat.38 : Schüttelbad Typ Nr.3047, Köttermann Hänigsen, (D)
- Mat.39 : Abformlöffel, Orbis dental, Offenbach, (D)
- Mat.40 : Lichthärtender Kunststoff, Individuum, Vopo, Cuxhaven, (D)
- Mat.41 : Anmischgerät Pentamix, ESPE Dental Medizin, Seefeld, (D)
- Mat.42 : Elastomerpritze, ESPE, Seefeld, (D)
- Mat.43 : Trimmer, Wassermann, Dentalmaschinen, Hamburg (D)
- Mat.44 : Gipsfräse, Orbis Dental, Offenbach, (D)
- Mat.45 : Pinbohrgerät, Alphasour, Schütz Dental, Rosbach, (D)
- Mat.46 : Modellstifte „Dowel-Pins“, Orbis Dental, Offenbach, (D)
- Mat.47 : Sekundenkleber, Renfert, Hilzingen, (D)
- Mat.48 : Silicon Knetmasse, Orbis Dental, Offenbach, (D)
- Mat.49 : Trennscheibe, Orbis Dental, Offenbach, (D)

Chemikalien

- Chem. 1 : Thymol Pulver, Fluka Chemie AG Buchs, (CH)
- Chem. 2 : Fixationskleber Technovit 7230 VLC, Kulzer-Exakt Wehrheim, (D)
- Chem. 3 : Zitronensäure (Citronensäure-Monohydrat), Art. 242.1000,
Merck Darmstadt, (D)

6. Ergebnisse

6.1. Allgemeines

Bei fast allen Zähnen konnte nach den drei Erosionsschritten eine signifikante Zunahme des Höhenunterschiedes festgestellt werden. Aber auch makroskopisch war erkennbar, dass schon nach 20minütiger Behandlung des Urmodells mit Zitronensäure eine veränderte Oberfläche der Zähne vorlag. Der Schmelz stellte sich nicht mehr so transluzent wie vor Beginn der Versuche dar und erinnert an die Oberflächenbeschaffenheit von Schmelz nach Anwendung der Säurereiztechnik. Eindrucksvoller ließ sich die Veränderung der Zahnoberfläche anhand der aus blauem Epoxidharz hergestellten Situationsmodelle verfolgen. Während die Oberfläche des Ausgangsmodells eine glatte, glänzende Oberfläche besaß, wurden die Oberflächen aller folgenden Modelle schon bei makroskopischer Betrachtung zunehmend matter und rauher.

Bei mikroskopischer Betrachtung (20fache Vergrößerung) der Modelle fiel auf, dass die Oberfläche nicht immer gleichmäßig abgetragen wurde, sondern dass sich fast völlig intakte Areale mit erodierte Arealen abwechselten. Dabei nahm die Größe der erodierten Areale mit der Dauer der Säureexposition zu. Auch zwischen den einzelnen Zähnen gab es große Unterschiede. Dies spiegelte sich auch in den Messwerten wieder.

Abbildungen 8 und 9 stellen exemplarisch die Messung der Messstrecke g-h des Zahnes 15 ohne Säurebehandlung und nach 120minütiger Säureexposition dar. Bei dem Modell ohne Säurebehandlung hebt sich zirkulär um den Marker herum eine Zone ab, die durch das Anätzen mit 35%iger Phosphorsäure entstanden ist. Der Unterschied der beiden Oberflächenprofile ist deutlich erkennbar. Beachtenswert ist auch, auf welcher unterschiedlichen Weise der Abtrag an Substanz auf derselben Messstrecke stattfand. Während sich auf der Seite der Ecke eine relativ glatte Oberfläche darstellt, zeigt das Profil auf der Seite der Spitze eine wesentlich aufgeworfene Oberfläche mit größeren Rauhtiefen. Der Abtrag an Zahnhartsubstanz hat rechts gleichmäßig stattgefunden, wäh-

rend sich auf der linken Seite stark erodierte Areale mit weniger stärker erodierten Arealen abwechseln. Der Substanzverlust ist trotzdem insgesamt auf beiden Seiten ähnlich groß.

Die Abbildungen 10 bis 13 zeigen denselben vergrößerten Abschnitt des Zahnes 15 ohne Säurebehandlung sowie nach 20, 60 und 120minütiger Säureexposition.

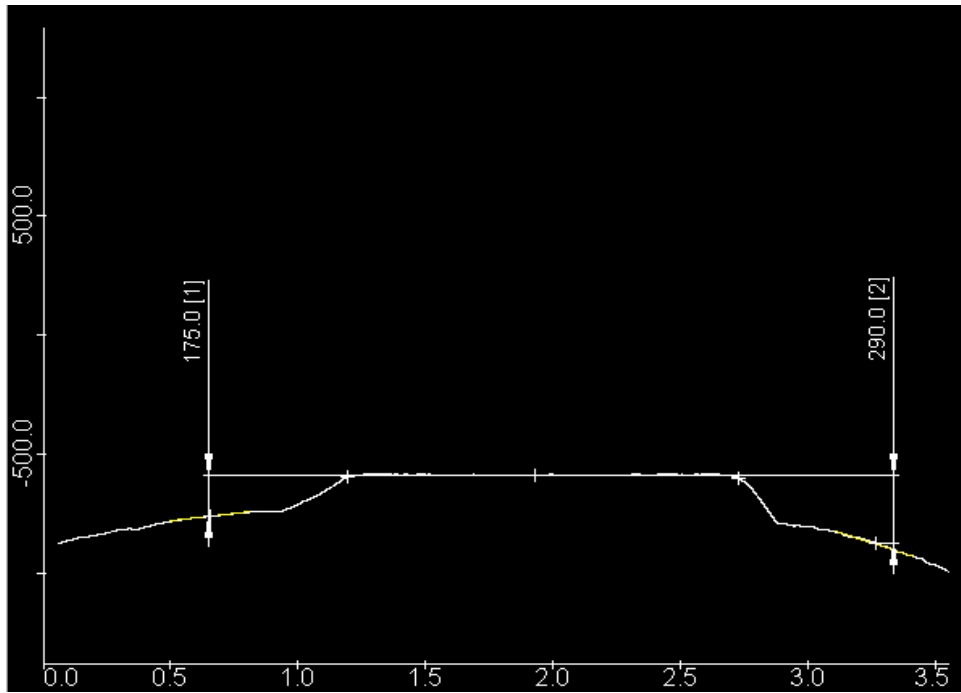


Abb. 8: Oberflächenprofil des Zahnes 15 vor Erosion, Strecke g-h

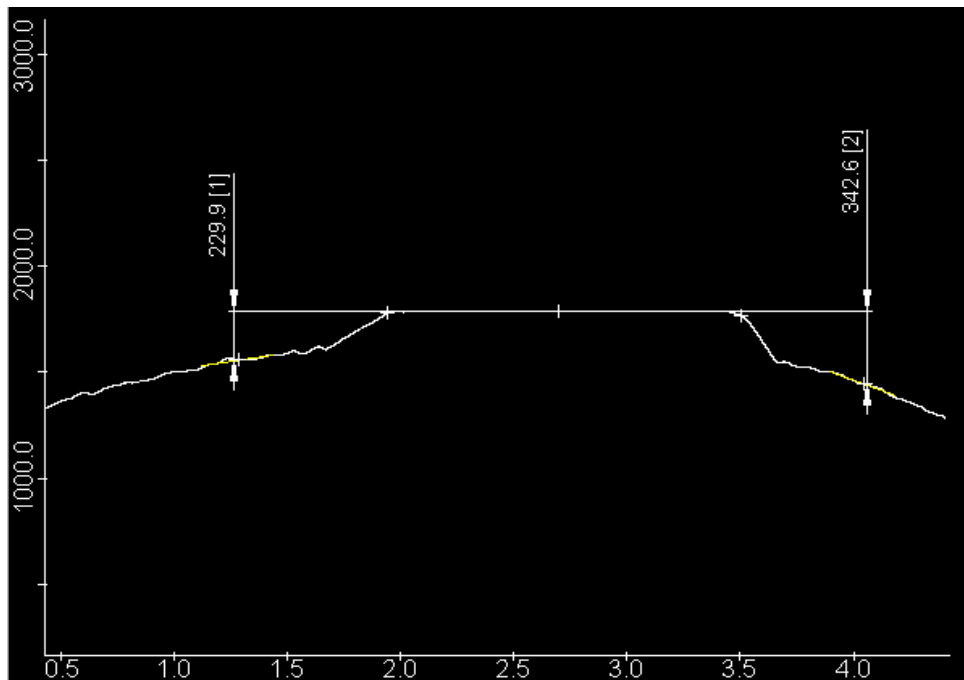


Abb. 9: Oberflächenprofil des Zahnes 15 nach 120 Minuten Erosion, Strecke g-h

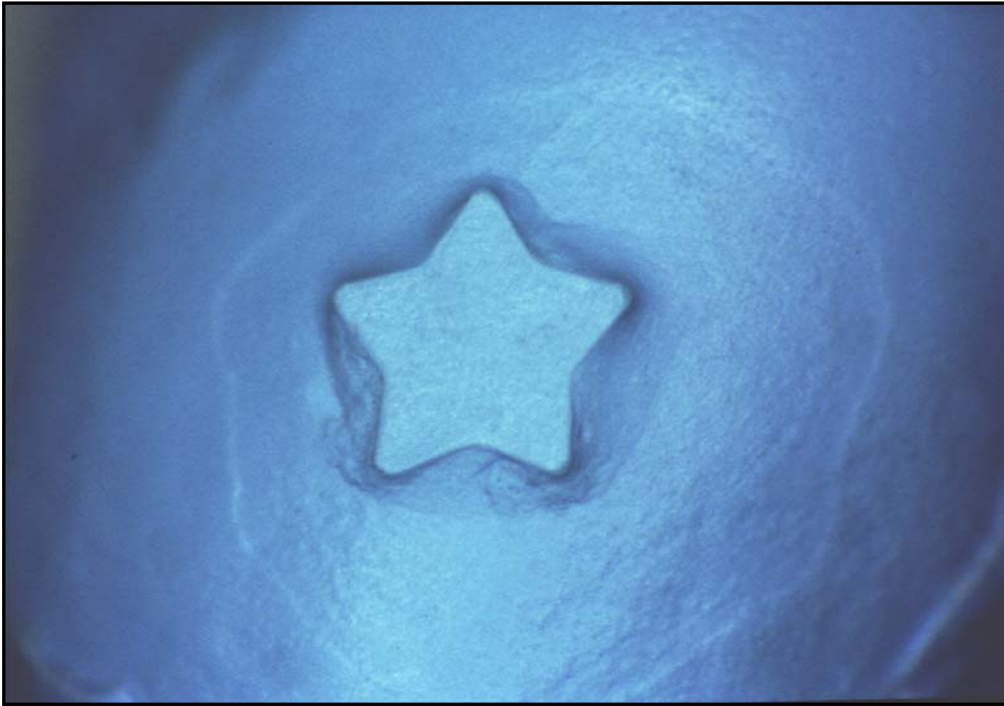


Abb. 10: Vergrößerte Darstellung der intakten Oberfläche des Zahnes 15
(20fache Vergrößerung)

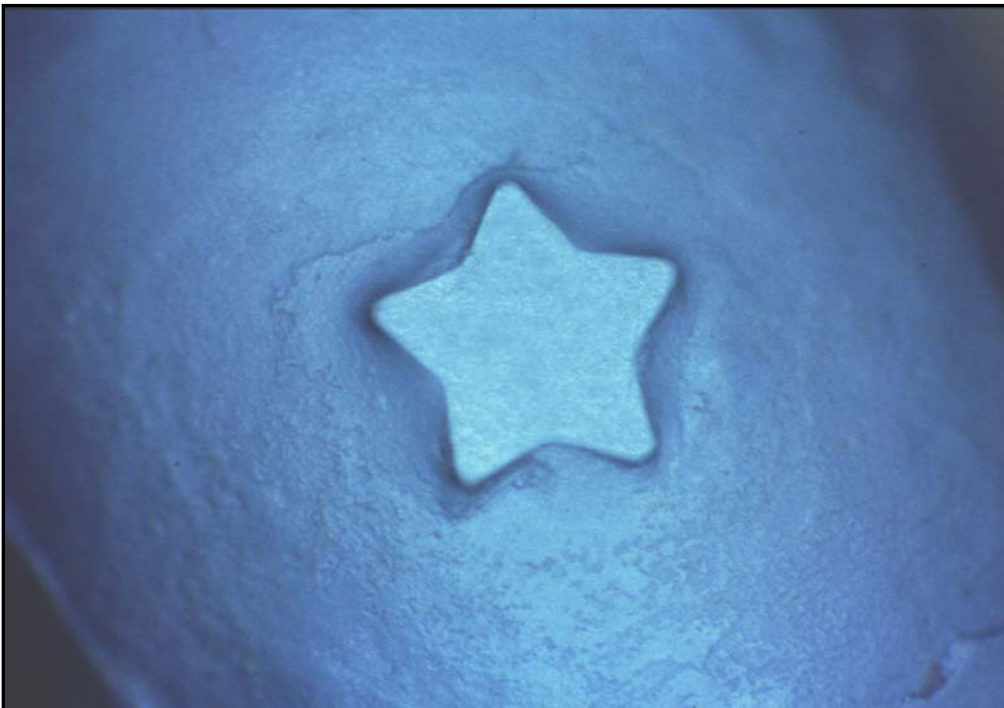


Abb.11: Vergrößerte Darstellung desselben Abschnittes aus Abb.10 nach 20minütiger
Säureexposition (20fache Vergrößerung)



Abb. 12: Vergrößerte Darstellung der Zahnoberfläche nach 60minütiger Säureexposition (20fache Vergrößerung)



Abb. 13: Vergrößerte Darstellung der Zahnoberfläche nach 120minütiger Säureexposition (20fache Vergrößerung)

6.2. Vergleich der Höhenunterschiede nach Erosion mit der Ausgangssituation

Zuerst wurde untersucht, ob sich die Medianwerte der drei Erosionsstufen signifikant von den Medianwerten des Ausgangsmodells unterscheiden. Dabei wurde die Ausgangssituation jeweils mit der ersten, zweiten und dritten Erosionsstufe verglichen (Wilcoxon-Test). In den meisten Fällen ließen sich nach jeder Erosionsstufe signifikante bis sehr signifikante Unterschiede feststellen. Einzige Ausnahme bildeten die Zähne 12 und 27, bei denen sich nach keiner Erosionsstufe signifikante Unterschiede feststellen lassen konnten.

Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Häufigkeit der signifikanten Unterschiede mit der Erosionszeit zunimmt. Nach 20minütiger Erosionszeit zeigen sich in 57% aller Fälle signifikante bis sehr signifikante Unterschiede, nach 60minütiger Erosionszeit sind es 71% und nach 120minütiger Erosionszeit 78%. Signifikante Resultate sind etwa bei einer mittleren Differenz von 15 µm zu erwarten.

Tabellen 3 und 4 zeigt eine Übersicht aller Daten. Angegeben sind die profilometrisch erfassten Mittelwerte, Medianwerte, Standardabweichung, höchster und niedrigster Wert des Ausgangsmodells und die entsprechenden ermittelten Werte nach 20-, 60- und 120minütiger Behandlung mit Zitronensäure.

Tab. 3: Vergleich der Höhenunterschiede (μm) im ersten Quadranten (bukale Flächen) nach 20 Minuten, 60 Minuten und 120 Minuten Erosionszeit. (n=Anzahl der Messstrecken)

Zahn		Baseline (BL)	1 (20 min)	2 (60 min)	3 (120 min)	Differenzen		
						BL-1	BL-2	BL-3
11, n=10	\bar{x}	214,5	234,4	230,5	248,9	19,8	16,0	34,3
	Median	221,7	222,8	221,1	248,7	12,8	10,1	22,4
	SD	55,0	59,4	57,0	56,4			
	MIN	136,6	156,0	146,5	160,3			
	MAX	327,7	359,1	345,8	344,1			
	p					*	*	**
12, n=10	\bar{x}	307,0	313,9	299,4	319,7	6,9	-7,6	12,8
	Median	254,1	262,2	256,2	294,0	3,7	-15,5	9,7
	SD	111,6	115,3	113,5	98,1			
	MIN	174,7	174,5	153,5	198,3			
	MAX	493,8	499,6	482,1	478,0			
	p					n.s.	n.s.	n.s.
13, n=10	\bar{x}	276,6	291,4	306,1	310,3	14,8	29,5	33,7
	Median	250,9	256,0	269,2	268,6	13,0	27,8	34,2
	SD	133,7	140,2	151,6	146,9			
	MIN	139,0	149,2	164,7	174,6			
	MAX	520,4	529,9	552,3	565,2			
	p					*	*	**
14, n=10	\bar{x}	310,1	322,9	324,6	372,5	12,8	14,5	62,4
	Median	288,3	295,4	300,7	353,9	8,9	10,6	62,6
	SD	150,0	151,0	148,7	151,7			
	MIN	106,1	111,7	117,1	168,8			
	MAX	656,2	665,5	664,4	715,6			
	p					**	**	**
15, n=10	\bar{x}	312,0	333,1	329,4	362,4	21,1	17,4	50,4
	Median	303,6	329,3	341,5	378,5	19,9	18,3	53,8
	SD	107,8	108,5	105,8	111,5			
	MIN	175,0	195,6	196,0	221,7			
	MAX	504,0	514,8	500,2	571,3			
	p					**	*	**
16, n=10	\bar{x}	244,1	250,3	252,9	268,7	6,2	8,8	24,7
	Median	249,0	250,5	260,5	246,3	8,8	12,8	14,5
	SD	82,2	80,4	80,3	87,2			
	MIN	127,1	139,3	140,7	142,8			
	MAX	374,6	386,7	388,0	409,0			
	p					*	n.s.	*
17, n=10	\bar{x}	273,1	273,5	289,8	281,1	0,4	16,7	7,9
	Median	213,9	218,0	224,1	219,4	4,1	11,4	10,3
	SD	116,6	106,7	125,2	113,9			
	MIN	164,4	169,8	181,0	181,8			
	MAX	474,5	455,6	525,1	502,7			
	p					n.s.	**	n.s.

Tab. 4: Vergleich der Höhenunterschiede (μm) im zweiten Quadranten (palatinale Flächen) nach 20 Minuten, 60 Minuten und 120 Minuten Erosionszeit (n= Anzahl der Messstrecken)

Zahn		Baseline (BL)	1 (20 min)	2 (60 min)	3 (120 min)	Differenzen		
						BL-1	BL-2	BL-3
21, n=8	\bar{x}	103,6	114,0	124,5	130,2	10,4	20,9	26,6
	Median	116,1	123,6	141,4	129,7	9,1	20,6	13,6
	SD	79,0	79,2	78,1	95,4			
	MIN	1,3	17,6	19,6	10,1			
	MAX	218,9	221,5	209,5	234,7			
	p					*	*	*
22, n=10	\bar{x}	114,1	121,4	121,2	129,1	7,4	7,1	15,0
	Median	118,1	137,6	133,8	138,5	7,2	6,3	17,0
	SD	67,5	69,8	75,8	71,5			
	MIN	9,3	5,2	11,4	20,3			
	MAX	202,2	211,8	224,6	236,5			
	p					*	n.s.	*
23, n=10	\bar{x}	249,1	264,4	266,0	286,8	15,3	16,8	37,7
	Median	228,2	235,0	239,1	260,4	17,4	16,4	32,3
	SD	86,9	94,9	88,5	86,0			
	MIN	145,1	152,0	162,5	188,1			
	MAX	436,0	460,7	439,4	454,0			
	p					*	**	**
24, n=10	\bar{x}	390,6	406,5	415,2	431,0	15,9	24,6	40,4
	Median	401,2	413,3	434,5	445,9	6,0	18,7	35,4
	SD	144,1	151,1	150,1	152,4			
	MIN	170,2	173,3	172,6	171,3			
	MAX	643,7	649,9	651,4	670,8			
	p					n.s.	**	**
25, n=10	\bar{x}	339,0	347,5	360,3	365,1	8,5	21,3	26,1
	Median	319,2	329,5	339,0	345,8	8,3	19,2	25,7
	SD	110,8	114,3	120,9	118,3			
	MIN	200,3	199,3	211,5	201,7			
	MAX	496,8	517,1	522,3	534,0			
	p					n.s.	**	*
26, n=10	\bar{x}	323,2	325,7	337,5	344,4	2,5	14,3	21,1
	Median	294,3	299,8	297,8	305,1	0,2	8,0	15,4
	SD	126,1	127,3	128,4	120,2			
	MIN	190,5	187,8	198,2	214,0			
	MAX	558,1	541,8	555,9	564,5			
	p					n.s.	*	**
27, n=10	\bar{x}	315,9	318,1	337,3	334,9	2,3	21,5	19,1
	Median	297,4	286,6	318,5	282,8	5,9	15,6	23,6
	SD	109,4	105,9	100,3	106,1			
	MIN	188,8	195,2	236,6	238,6			
	MAX	502,6	497,3	527,4	537,1			
	p					n.s.	n.s.	n.s.

7. Diskussion

7.1. Auswahl des Messverfahrens

Die Profilometrie hat sich bei der Messung von Substanzverlust *in vitro* bewährt. Dabei wurden sowohl mechanische Taster (Rytömaa et al. 1988) als auch optische Tastsysteme (Laserprofilometrie) verwendet (Attin et al. 1999). Bartlett (1997) verwendete für den klinischen Nachweis von Erosionen die Laserprofilometrie. Der Vorteil von optischen Tastsystemen gegenüber mechanischen Tastsystemen ist zweifelsohne die Fähigkeit, Oberflächen sehr detailliert wiederzugeben (Jung 1998). Abgesehen davon, dass eine so exakte Wiedergabe von Oberflächen für unsere Zwecke nicht notwendig ist, hat die Laserprofilometrie gegenüber der Verwendung mechanischer Tastsysteme einige Nachteile. So können bei der Messung von sich abrupt ändernden Oberflächenstrukturen Artefakte in Form von überschießenden Spitzen in vertikaler Richtung entstehen (Whitehead et al. 1999) und somit die Darstellung der Oberfläche verfälschen. Sie könnten sowohl am Übergang vom Marker zum Zahn als auch beim Übergang von erodierten zu nicht erodierten Arealen entstehen. Ferner scheinen Laserprofilometer optimale Resultate nur bei planen Oberflächen zu liefern. Bei der Untersuchung gewölbter Oberflächen ist ein mechanischen Taster geeigneter (Chan et al. 1997).

7.2. Befestigung des Markers

Die zuverlässige und dauerhafte Befestigung des Markers ist von entscheidender Bedeutung für die Anwendung der Messmethode. Bartlett bemängelt an seiner Methode, dass die adhäsiv befestigten Plättchen leicht abfallen würden. Scheinbar reicht das einfache Sandstrahlen zum Aufrauen im Sinne einer Oberflächenvergrößerung nicht aus, um ausreichende mechanische Retention zu erzielen (Bartlett et al. 1997). Mechanische Retentionen macht man sich auch in der Kieferorthopädie zur Befestigung von Brackets zu nutze. Bei mikroskopischer Betrachtung erkennt man auf ihrer Unterseite ein feines Netz, in das

dünnfließender Kunststoff laufen kann. Brackets wären aber für unsere Zwecke unbrauchbar. Sie weisen eine konvexe Oberfläche auf, die mit der in unserer Studie verwendeten Auswertmethode zu größeren Ungenauigkeiten geführt hätte. Zweifellos würde es zudem durch die Befestigung von Brackets auf palatinalen Flächen von Frontzähnen aufgrund ihrer Dicke zur Beeinträchtigung der Okklusion kommen. Der Retentionsmechanismus von Brackets lässt sich für unsere Zwecke aus technischen Gründen nicht nachahmen.

Unsere Versuche, Metallplättchen ausschließlich durch Sandstrahlen und Säureätztechnik auf der Zahnoberfläche zu befestigen, ergaben eine subjektiv zu geringe Haftung, als dass sie für die klinische Anwendung zum Einsatz hätten kommen können. Der Verbund Komposit-Metall ist kein neues Problem. In der Zahntechnik versuchte man Kunststoffverblendungen durch mechanische Retention zu erzielen. Erst das Silicoater-Verfahren nach Prof. Musil konnte durch pyrolytisches Aufbringen einer siliziumreichen Schicht der Verbund zwischen Komposit und Metall gewährleisten. Der Vergleich dieses Verfahrens mit einer neueren Methode, dem „Rocatec-System“, zeigte, dass letzteres dem Silicoater-Verfahren in nichts nachsteht. Das Prinzip des Rocatec-Systems beruht auf dem tribochemischen Aufbringen einer keramischen Haftvermittlerschicht und dem anschließenden Auftragen einer Silanlösung. Dabei erzeugt die kinetische Energie der Strahlkörner beim Auftreffen auf das Metall hohe Temperaturen. Die Strahlkornbeschichtung schmilzt ab und bildet auf dem Metall eine keramische Schicht (Ludwig 1996). Die erzielten Haftwerte sind im Gegensatz zu sandgestrahlten, unbehandelten Proben mindestens um den Faktor zwei größer. Dabei spielte die Art der Legierung (Degulor M, hochgoldhaltig; Pors-on 4; Paladium-Basis; Wironit; CoCrMo) keine Rolle (Meiners et al. 1990).

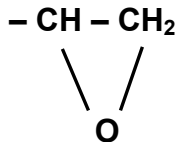
7.3. Auswahl des Abformmaterials

Die Anforderungen an das Abformmaterial sind, abgesehen von einer guten Dimensionstreuung, die originalgetreue Abformung von Oberflächenstrukturen. Bei dem laborexperimentellen Vergleich verschiedener Abformmaterialien zeigten vor allem reversible Hydrokolloide und Polyether (Impregum) hervorragende Eigenschaften in Bezug auf die Dimensionstreuung und erzielten wahrscheinlich auch in der klinischen Anwendung gute Ergebnisse (Federik & Caputo 1997). Im Hinblick auf die Wiedergabe von Oberflächendetails schneiden Hydrokolloide im Vergleich zu irreversiblen elastischen Abformmaterialien schlechter ab. Der Vergleich verschiedener irreversibler elastischer Abformmaterialien zeigt keine signifikanten Unterschiede, obwohl Polyethergummi tendenziell bessere Ergebnisse lieferte (Ragain et al. 2000). Wegen ihres hohen Feuchtigkeitsgehaltes sind Hydrokolloide nicht kompatibel mit Modellmaterialien auf Kunststoff- und Epoxidharzbasis. Aufgrund der dargestellten Eigenschaften schien Polyether für unsere Zwecke geeignet zu sein. Polyetherabformwerkstoffe bestehen aus einer Basispaste und einer Reaktorpaste. Die Basispaste enthält ein Polyetherpolymer mit endständigen Ethylenamin-Gruppen. Die Reaktorpaste hat als wesentlichen Bestandteil aromatische Sulfonsäureester. Sie öffnen die endständigen Ringverbindungen (Ethylenimin) des Polyetherpolymers, verketteten im Zuge der Reaktion und bilden eine steifelastische Masse (Viohl 1996).

7.4. Auswahl des Modellmaterials

Für die profilometrische Messung mit mechanischem Taster war es nötig, ein Modellmaterial zu verwenden, das im Zuge der mechanischen Messung keinen Schaden nehmen würde. Superhartgips zeigte nach einmaligem Messvorgang tiefe Kratzspuren. Die ermittelten Werte waren somit nicht aussagekräftig. Zum anderen wäre das Gipsmodell für eine Wiederholungsmessung unbrauchbar. Epoxidharze schienen für diesen Zweck gut geeignet zu sein.

Epoxidharze entstehen durch Vernetzung flüssiger oder pastöser, meist höhermolekularer Epoxide. Ein Epoxidmolekül enthält mindestens zwei endständige, ringförmige Epoxidgruppen mit der Formel:



Mehrfunktionelle Amine vernetzen in einer Additionsreaktion die Epoxidgruppen verschiedener Ausgangsmoleküle, so dass ein dreidimensional vernetztes Makromolekül entsteht.

Im Gegensatz zu Gips schrumpfen Epoxidharze um ca. 0,05 % linear (Borchers 1996) und geben deshalb Dimensionen verkleinert wieder (Chaffee et al. 1997). Trotzdem lässt sich die Dimensionstreue der Modelle durchaus mit der von Superhartgipsmodellen vergleichen. Neben der Dimensionstreue war für unsere Studie aber auch die Fähigkeit des Materials, feinste Strukturen wiederzugeben und entsprechend unempfindlich gegenüber mechanischem Abrieb zu sein, entscheidend.

Epoxidharze haben eine größere Resistenz gegenüber Abrieb bewiesen und zeigen exzellente Eigenschaften in Bezug auf die Wiedergabe kleinster Details bis zu einer Größenordnung von 1 μm (Teaford & Tylenda 1991; Moser et al. 1975). Die vergleichsweise schlechtere Wiedergabe von Details bei Gips liegt an seiner kristallinen, rauhen Oberflächenstruktur (Wirz 1993; Borchers 1996). Aus diesen Gründen war Epoxidharz für unsere Studie das Mittel der Wahl.

7.5. Vorversuche

Da die profilometrische Messung nicht direkt am Patienten erfolgen kann, stellte sich zu Beginn der Untersuchung die Frage, welche Methode es erlauben würde, die Situation indirekt zu beurteilen. Bei der Herstellung eines Modells kommt es durch Dimensionsveränderungen des Abform- und Modellmaterials zu Ungenauigkeiten. Sie sind aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften der Materialien sicherlich ein zu vernachlässigender Faktor. Dennoch ist die Modellherstellung mit einem gewissen technischen und zeitlichen Aufwand verbunden. Aus diesem Grunde wurde in Betracht gezogen, die Abformung zur Messung der Höhenunterschiede zu verwenden. Die Abformung nahm durch die mechanische Belastung während der Messung zwar keinen Schaden, jedoch waren die Ergebnissen erheblichen Schwankungen unterworfen. Dies lässt sich damit erklären, dass sich das Abformmaterial während der Messung elastisch deformierte, was sich bei mikroskopischer Beobachtung des Messvorganges bestätigte. Die Herstellung eines Modells war unumgänglich. Das Modellmaterial sollte wie schon beschrieben ausreichend resistent gegen Abrieb und in der Lage sein, Oberflächen detailliert wiederzugeben. Epoxidharze weisen für diesen Zweck die geeigneten Materialeigenschaften auf. Noack et al. (1989) verwendeten das Epoxidharz „Stycast“, um erosionsbedingte Veränderungen elektronenmikroskopisch untersuchen zu können.

Bei unseren Untersuchungen waren die Messwerte bei Verwendung dieses Materials nur schlecht reproduzierbar. Dies könnte durch mehr oder weniger starke und unregelmäßige Schrumpfung (1-2% linear laut Herstellerangaben) verursacht worden sein. Da es sich bei „Stycast“ in erster Linie um einen Industrieklebstoff handelt, liegt es in der Natur der Sache, dass dieser nicht in jeder Hinsicht den Bedürfnisse und Anforderungen eines zahnärztlichen Modellmaterials gerecht wird. So werden dem Material bei der Herstellung keine Füllstoffe zugesetzt, die die Schrumpfung verringern könnten.

Eine andere Ursache kann die Inkompatibilität des Abformmaterials und des Modellmaterials sein (Aiach & Malone 1981). Tatsächlich war auf einigen Modellen eine scheinbar nicht polymerisierte Schicht zu erkennen, die die Modelle

für die Messungen unbrauchbar machte. Bei den meisten Modellen traten diese Komplikationen jedoch nicht auf.

Eine weitere Eigenschaft des Materials, die zu Messungenauigkeiten geführt haben könnte, ist seine Transparenz. Durch mangelnden Kontrast oder durch Lichtreflexion ist eine schlechtere Beurteilbarkeit oder Fehleinschätzung der Referenzpunkte durchaus denkbar. In dieser Hinsicht ist das Modellmaterial „Blue Star“ dem „Stycast“ durch seine blaue Pigmentierung überlegen. „Blue Star“ wurde speziell für die Modellherstellung konzipiert. Durch die Zugabe von Füllstoffen (5-30 µm, Herstellerangaben) ist die detaillierte Wiedergabe von Strukturen etwas vermindert, dafür liegt aber die Schrumpfung bei „Blue Star“ bei ca. 0.05% linear. Außerdem ist, wie sich in den Messwerten und mikroskopisch darstellt, die Oberflächenwiedergabe für unsere Zwecke ausreichend (Abb.10-13).

Hinsichtlich einer möglichen Inkompatibilität zwischen „Blue Star“ und „Impregum“ ergaben sich in unseren Versuchen keine Probleme. Die Schwierigkeit, das Modell von der Abformung zu trennen, lag in erster Linie an der Starrheit des Polyethergummis. Reproduzierbar gute Messergebnisse sprechen für „Blue Star“, so dass es in unserer Studie Anwendung fand.

7.6. Fehlerquellen bei der Abformung und Modellherstellung

Bei der Verwendung des Abformmaterials muss den Anweisungen des Herstellers Folge geleistet werden. Das betrifft insbesondere die Arbeitszeit des Werkstoffes, die sich in die Mischzeit, Verarbeitungszeit (Einbringzeit und Abformzeit) und Abbindezeit unterteilt. Die Mischzeit wird durch das mechanische Anrühren auf ein Minimum reduziert, so dass das Risiko von endogenen Spannungen durch fortgeschrittenen Vernetzungsgrad während der Abformung weitgehend eliminiert wird. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die Abformung durch Lufteinschlüsse und Fließfalten unbrauchbar wird, da in einem solchen Falle die Oberfläche des Zahnes und die des Markers nicht genau abgebildet wird.

Ob eine Abformung weitgehend fehlerfrei ist oder nicht, lässt sich letztendlich durch die Herstellung eines Modells beurteilen.

Ebenso wie bei der Abformung können Fehler bei der Modellherstellung entstehen. Das Mischverhältnis wird durch den Hersteller vorgegeben und lässt durch die genaue Portionierung von Basispaste und Katalysator keinen Spielraum für Dosierungsfehler. Beim Einfüllen des Epoxidharzes in die Abformung kann es jedoch auch hier zu Lufteinschlüssen bzw. Blasenbildung kommen. Befinden sich diese auf relevanten Flächen, so muss die Modellherstellung wiederholt werden. Da die Abformung nach der Entfernung des Modells meistens nicht erhalten werden kann, empfiehlt es sich, aus diesem Grunde vorbeugend zwei Abformung zu nehmen und zwei Modelle herzustellen.

Die Abformung der Ausgangssituation und der ersten Erosionsstufe gestaltete sich vergleichsweise einfach. Diffiziler stellte sich diese Aufgabe aber mit steigendem Erosionsgrad des Modells dar. Durch die Einwirkung der Säure wurden die Zähne zunehmend rauher. Die Zahnoberfläche wurde durch das Polyether offensichtlich so gut benetzt, dass es beim Ablösen des Löffels zu Materialabrissen kam. Teilweise waren die Abrisse offensichtlich, so dass die Abformung nach Versäuberung des Modells wiederholt werden konnte. Es lässt sich jedoch nicht ganz ausschließen, dass kleinste Abrisse übersehen worden sind und es somit zu Messungenauigkeiten kam.

Die Eliminierung dieser Komplikation wäre sicherlich wünschenswert gewesen. Jedoch kam jegliche Manipulation des Urmodells, etwa durch Behandlung mit einem Isoliermittel oder gar durch Politur, nicht in Frage, so dass eventuelle Fehlmessungen auf dieser Basis in Kauf genommen wurden.

Dieser Fehler relativiert sich jedoch in Anbetracht der Tatsache, dass sich selbst bei Patienten mit Erosionen massivster Natur derartige Rauigkeiten nie nachweisen lassen. Die Modelle der im Anschluss vorgestellten klinischen Fälle zeigten stets eine glatte Oberfläche. Dies mag dadurch begründet sein, dass die Zähne regelmäßigen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, etwa durch Mundhygienemaßnahmen, Nahrungsaufnahme und Friktion der umgebenden Weichgewebe. Zudem wird die Abformung unter klinischen Bedingungen möglicherweise durch das erworbene Schmelzoberhäutchen (Pellikel) er-

leichtert. Die Vermutung, dass Ergebnisse in der klinischen Anwendung durch das Fehlen der beschriebenen Komplikation zuverlässiger sind als im Versuch, bestätigt sich bei Betrachtung der geringeren Schwankungen der Messwerte der beiden im Anschluss vorgestellten klinischen Fälle.

7.7. Fehlerquellen bei der profilometrischen Messung

Fehler bei der Bestimmung des Höhenunterschiedes können bei dem Messvorgang an sich und bei der Auswertung der Profildiagramme unterlaufen. Abformreste und andere Verunreinigungen (Bohrstaub) mussten vor der Messung von der Modelloberfläche entfernt werden.

Grundsätzlich ist die Messmethode von der Methode Bartletts (1997) abgeleitet. Trotzdem unterscheiden sich die Messmethoden voneinander. Zunächst verwendeten wir anstatt eines optischen Messverfahrens ein mechanisches Messverfahren. Ein weiterer entscheidender Unterschied ist, dass bewusst auf Referenzpunkte verzichtet wurde, die außerhalb des Markers liegen und somit Veränderungen unterworfen sind.

Ob die Werte einer Messung reproduzierbar sind oder nicht, hängt nicht nur von dem Messvorgang an sich ab, sondern in entscheidender Weise von der Art der Auswertung der Profildiagramme. Bei den ersten Versuchen, Mehrfachmessungen auf ihre Reproduzierbarkeit hin zu überprüfen, unterlief ein Fehler, der zu erheblichen Schwankungen, speziell bei der Messung der gewölbten Probe, führte. Dabei wurde fälschlicherweise der erste Referenzpunkt dort gewählt, wo der Taster während der Messung die Zahnoberfläche erstmals verlässt. Der zweite Referenzpunkt wurde dort gewählt, wo die Tasterspitze während des Messvorganges wieder Kontakt zur Zahnoberfläche bekommt.

Unter anderem entsteht durch die konische Form des Tasters die schon beschriebene schiefe Ebene. Betrachtet man nun ein Profildiagramm, so entsprechen die oben beschriebenen Referenzpunkte den Endpunkten der schiefen Ebenen. Prinzipiell würde dieses Vorgehen genauso zu reproduzierbaren Ergebnissen führen, vorausgesetzt die Markeroberfläche könnte bei jeder Mes-

sung in gleicher Weise ausgerichtet werden. Da diese Anforderung nicht realisierbar ist, führte diese Auswertmethode zu Ungenauigkeiten. Der Grund für diese Ungenauigkeiten liegt darin, dass die „schiefe Ebene“ je nach Neigung der Probe variabel lang ist. Somit werden durch Abmessung der Sicherheitsabstände nicht dieselben Oberflächenabschnitte des Zahnes bestimmt. Abbildungen 15 und 16 veranschaulichen anhand zweier Wiederholungsmessungen, wie die Wahl falscher Referenzpunkte zu Messungenauigkeiten führt.

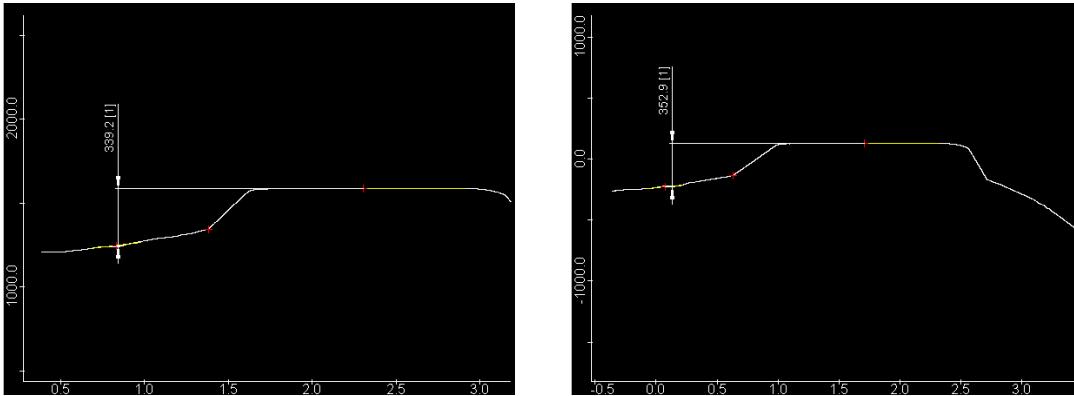


Abb.15: Unterschiedliche Werte (339,2 µm und 352,9 µm) bei Wiederholungsmessungen durch Wahl des falschen Referenzpunktes

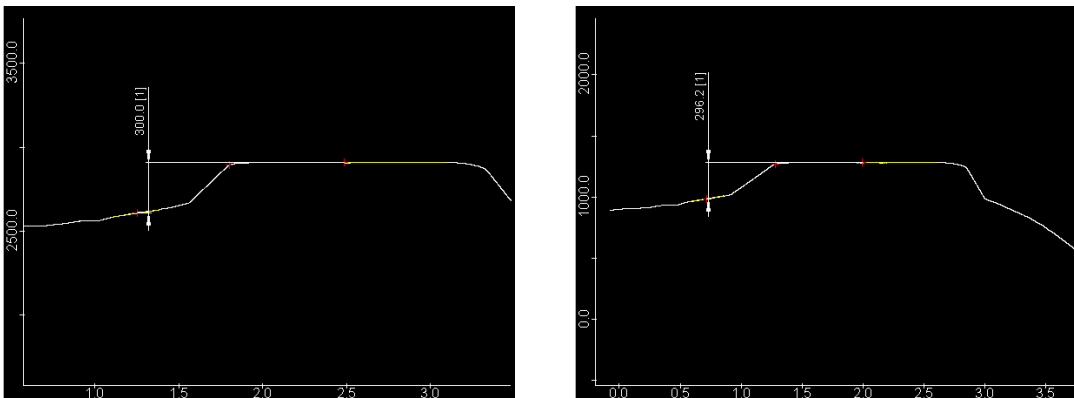


Abb.16: Ähnliche Werte (300 µm und 296,2 µm) bei Wiederholungsmessungen durch Wahl des richtigen Referenzpunktes

Bei der Ausrichtung der Probe musste genau darauf geachtet werden, dass die Tasterspitze tatsächlich durch beide Referenzpunkte verläuft. Selbst kleine Abweichungen von der Spur waren in der Lage, große Schwankungen zu verursachen.

Je stärker die Wölbung der Zahnoberfläche war, um so mehr machte sich eine Abweichung von der eigentlich richtigen Messstrecke bemerkbar. Ein Stereomikroskop und eine helle Lichtquelle sorgten für optimale Sichtverhältnisse, so dass dieses Risiko so gering wie möglich gehalten wurde.

Extrem konkave Flächen können nicht ohne weiteres in die Messungen mit einbezogen werden. Voraussetzung für die korrekte Auswertung der Messung ist,

dass die Referenzebene des Markers im Vergleich zu den zu messenden Arealen auf der Zahnoberfläche erhaben ist. Ist dies nicht der Fall, sondern liegt eine Stelle des Zahnes über dem Niveau des Markers, so muss diese von der Auswertung ausgeschlossen werden. In einem solchen Fall würde ein Substanzverlust zu einer Verringerung des Wertes führen und den Gesamtmesswert verfälschen. Aus diesem Grunde sind zwei Messwerte des Zahnes 21 aus der Wertung herausgenommen worden. Abbildungen 17 und 18 zeigen die Profilschriebe des Zahnes 21 (Strecke a-b) ohne Säurebehandlung und nach 120minütiger Säurebehandlung. Durch die konkave Oberfläche liegt das zu beurteilende Areal der Zahnoberfläche (Messwert b) über dem Niveau des Markers, so dass der Abstand zur Markeroberfläche nach Erosion kleiner wird. In diesem Fall wird der Messwert von der Gesamtwertung ausgeschlossen.

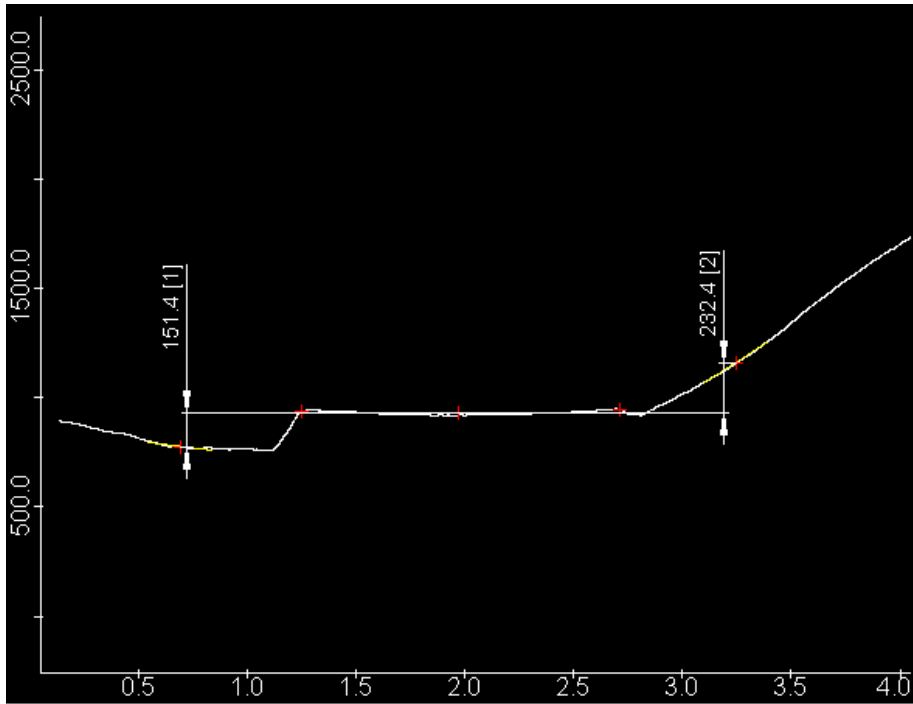


Abb. 17: Zahn 21 (Messstrecke a-b) ohne Säurebehandlung

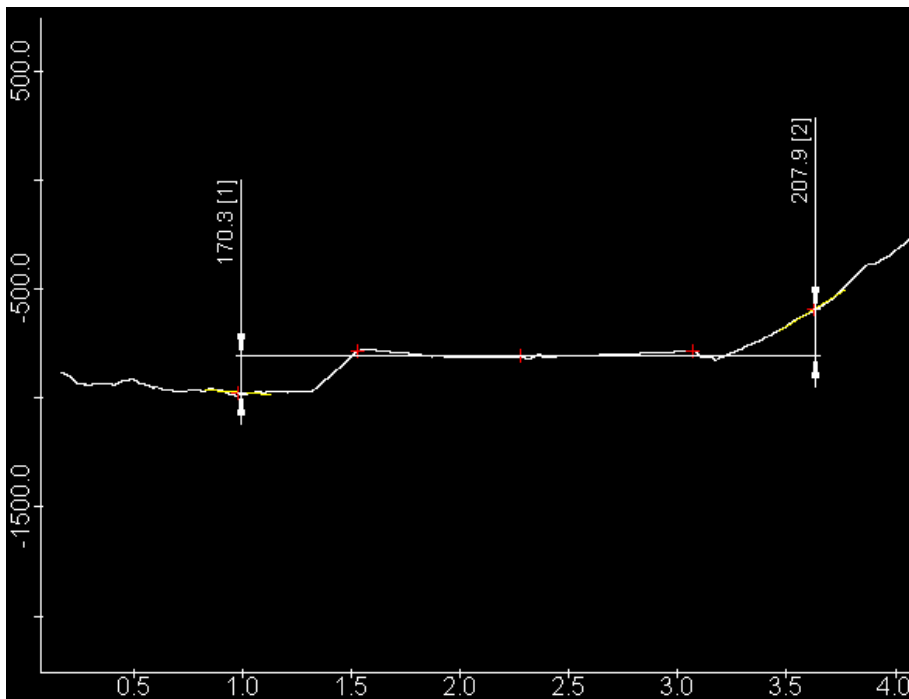


Abb. 18: Zahn 21 (Messstrecke a-b) nach 120minütiger Säurebehandlung

7.8. Diskussion der Messergebnisse

Das Ziel der Untersuchung war es, die Messgenauigkeit der Methode unter simulierten klinischen Bedingungen zu bestimmen.

Angaben über den tatsächlichen Substanzverlust (Goldstandard) durch Erosionen können nicht gemacht werden. Um die Sensitivität der Methode zu testen, war es also wichtig, möglichst geringe Substanzverluste zu erzeugen. Deshalb wurden Erosionszeiten von 20, 60 und 120 Minuten gewählt.

Dabei kam es nach 20 Minuten zu einem durchschnittlichen Substanzverlust von $10,3 \pm 18,1 \mu\text{m}$, nach 60 Minuten zu einem durchschnittlichen Substanzverlust von $15,7 \pm 22,0 \mu\text{m}$ und nach 120 Minuten zu einem durchschnittlichen Substanzverlust von $29,5 \pm 28,0 \mu\text{m}$. Nach insgesamt anfänglich höherem Substanzverlust von ca. $10 \mu\text{m}/20 \text{ min}$, findet in den folgenden Erosionsstufen ein linearer Substanzverlust von $5 \mu\text{m}/20 \text{ min}$ statt. In einem in vitro-Versuch konnte gezeigt werden, dass der Schmelz natürlicher retinierter Zähne bei einer Erosionsdauer von drei Stunden einem vergleichbar durchschnittlichen Substanzverlust von ca. $7,8 \mu\text{m}/20 \text{ min}$ unterliegt (Ganß et al. 2000).

Bei Betrachtung der Werte der einzelnen Zähne fällt auf, dass der Substanzverlust mit zunehmender Erosionszeit auf unterschiedliche Weise fortgeschritten ist.

Bei den Zähnen 13, 21, 24, 25 und 26 hat der Substanzverlust gleichmäßig mit steigender Erosionszeit stattgefunden. Bei den Zähnen 11, 14, 15, 16, 22 und 23 hingegen fand nach anfänglichem Stagnieren ein stärkerer Substanzverlust nach der letzten und längsten Erosionsstufe statt. Die Werte des Mineralverlustes nach den ersten beiden aufeinanderfolgender Erosionsstufen liegen in diesen Fällen dicht beieinander und bewegen sich häufig im Rahmen der Messgenauigkeit von $\pm 4,7 \mu\text{m}$ (s. Vorversuche- „Gewölbte Probe“), so dass eventuelle Substanzverluste in dieser Größenordnung nicht gemessen werden konnten.

Bei dem Probenmaterial handelt es sich um Zähne, die von verschiedenen Patienten stammen und unterschiedlich lange in der Mundhöhle verblieben sind. Abgesehen von individuellen Unterschieden in der Löslichkeit des Schmelzes

der Zähne, waren sie während ihrer Verweildauer in der Mundhöhle De- und Remineralisationsvorgängen unterworfen. Die Säurelöslichkeit des Schmelzes der verschiedenen Zähne konnte somit sehr unterschiedlich sein. Daher verwundern die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Zähne nicht. Das anfängliche Stagnieren der Werte kann damit erklärt werden, dass gegenüber Säureeinwirkung resistenterer Schmelz erst nach entsprechend langer Einwirkung der Säure angegriffen wird.

Die oberste Schmelzschicht ist unterschiedlich stark mineralisiert und weist Bereiche prismatischen und aprismatischen Schmelzes auf. Aprismatischer Schmelz ist gegenüber Säuren wesentlich unempfindlicher. Bei Einwirkung erosiver Noxen zeigen sich auf der Schmelzoberfläche nicht erodierte Areale in unmittelbarer Nachbarschaft zu stark erodierten Arealen (Meurman et al. 1991). Die Abbildungen 10 bis 13 bestätigen dies.

Es wurde bereits erwähnt, dass die Rauigkeit der Zähne teilweise zu Abrissen der Abformung geführt hat. Nach mikroskopischer Betrachtung der entsprechenden Modellzähne kann im Falle des Zahnes 12 vermutet werden, dass Abformfehler durch Abrisse zu fehlerhaften Messergebnissen geführt haben könnten.

Für die Ergebnisse der endständigen Zähne 17 und 27 konnte keine plausible Erklärung gefunden werden.

Wie schon erwähnt, spielt die raue Oberfläche im klinischen Fall eine untergeordnete Rolle, da erodierte Zähne meistens eine glatte Oberfläche aufweisen. Die hervorragenden Resultate der beiden vorgestellten klinischen Fälle bestätigen die Vermutung, dass die Messungen im Versuch durch Rauigkeiten der Zähne Ungenauigkeiten erfahren haben.

Bezogen auf die Messergebnisse und unter Berücksichtigung der Messungenauigkeit der Methode von $\pm 4,7 \mu\text{m}$ kann festgehalten werden, dass signifikante Substanzverluste ab $15 \mu\text{m}$ messbar sind.

Nun stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß Substanzverlust toleriert werden kann, bzw. innerhalb welcher Größenordnung von unphysiologischem Substanzverlust gesprochen werden kann. In erster Linie muss der Substanzverlust in Relation zur Zeit gesehen werden. Erstaunlicherweise gibt es in der Literatur

wenige Angaben über die durchschnittliche Dicke des Zahnschmelzes. Provenza (1988) gibt eine Dicke von bis zu 2,5 mm okklusal an. Der Schmelz wird in Richtung des Zahnhalses dünner und kann dort schließlich Stärken von ca. 100 µm erreichen. Shillingburg (1988) beschreibt die Dicke des Zahnschmelzes in Abhängigkeit des Abstandes zur Schmelz-Zementgrenze. Dabei weisen die Zähne des Oberkiefers grundsätzlich dickere Schmelzschichten als die Zähne des Unterkiefers auf. Obere Frontzähne haben im Bereich der Kronenmitte palatinale Schmelzdicken von durchschnittlich 0,7 mm. Die Schmelzdicke der vestibulären Flächen der oberen Schneidezähne beträgt 1 mm, während die Eckzähne eine dünnere Schmelzschicht von 0,8 mm aufweisen. Die Prämolaren des Oberkiefers weisen palatinale und vestibuläre Schmelzdicken von 1,4 bzw. 1,3 mm auf. Molaren des Oberkiefers haben in diesen Bereichen Schmelzdicken von 1,4-1,6 mm. Die Dicke des Schmelzes im Bereich der Inzisal- bzw. Okklusalfächen reicht von ca. 1 mm bei den Frontzähnen bis 1,5-2,1 mm bei den Prämolaren und Molaren. Die Werte für die Zähne des Unterkiefers sind wie erwähnt etwas geringer. Im Bereich der Fissuren haben Molaren eine Schmelzdicke von lediglich 0,5-0,6 mm, während Prämolaren eine dickere Schmelzschicht von 1,3 mm aufweisen.

Selbst wenn im allgemeinen bei Dentinexposition von einer „Dentinwunde“ gesprochen wird, ist die Freilegung von Dentin beispielsweise bei einem 70jährigen Menschen nicht zwangsläufig als unphysiologisch zu betrachten, wenn die Zahnmorphologie und damit das Kauvermögen weitgehend erhalten bleibt. Ferner kann in einem solchen Fall davon ausgegangen werden, dass zukünftiger Substanzverlust langsam voranschreiten wird.

Liegt hingegen starker Substanzverlust schon in jungen Jahren vor – wie im klinischen Fallbeispiel 1 beschrieben (Abb.19-22) - so muss befürchtet werden, dass die Kaufunktion in Zukunft beeinträchtigt sein wird und die Vitalität der Zähne durch eine mögliche Pulpaexposition gefährdet ist. Im Zeitraum zwischen dem 12. und 18. Lebensjahr hat die Höhe der Prämolarenhöcker ausgehend vom Gingivalrand um durchschnittlich vier Millimeter abgenommen. Betrachtet man die Höhe von ca. 7-9 mm der Prämolaren auf den Ausgangsmo-

dellen, ist dies ein inakzeptabler Verlust an Zahnhartsubstanz. In einem solchen Fall ist unbedingt von unphysiologischem Substanzverlust zu reden.

Unter dem Aspekt der Kaufunktionalität sind sicherlich größere Substanzverluste tolerierbar. Andererseits spielt das äußere Erscheinungsbild in unserem Kulturkreis eine große Rolle. Fortgeschrittener Substanzverlust, wie er bei Bulimiepatienten vorkommen kann, führt häufig zu dünnen auslaufenden Inzisalkanten der mittleren und seitlichen Frontzähne. Unter Kaubelastung können diese frakturieren. Die Patienten beklagen diesen Zustand, der - obwohl kaufunktionell nicht von Bedeutung - zu einem ästhetisch unvorteilhaften Erscheinungsbild führt.

Angaben über den „physiologischen Substanzverlust“ werden in der Literatur kaum beschrieben. Bartlett et al. (1997) stellten bei ihrer Untersuchung einer Kontrollgruppe nach einem Beobachtungszeitraum von einem halben Jahr einen durchschnittlichen Substanzverlust von 3,7 μm fest, während Patienten mit Erosionen einen durchschnittlichen Substanzverlust von 36,5 μm aufwiesen. Xongha et al. beschreiben bei Patienten mit Erosionen eine Vertiefung der Läsionen von durchschnittlich 1 μm pro Tag (Xhonga et al. 1972). Dabei soll der Substanzverlust bei regelmäßig fluoridierten Zähne genauso hoch gewesen sein. Das entspräche einem Verlust von 0,37 mm pro Jahr. Dieser Wert ist jedoch aufgrund der Ungenauigkeit des Messverfahrens anzuzweifeln.

Für den Fall, dass bei halbjährlichem Untersuchungsintervall mit der vorgestellten Messmethode ein Substanzverlust von 15 μm messbar wird, ergibt sich für den Zeitraum von einem Jahr ein Verlust von 30 μm , nach 10 Jahren ein Verlust von 0,3 mm und nach 50 Jahren ein Verlust von 1,5 mm. In Abhängigkeit des Ausgangsbefundes und der Lokalisation der Erosionen ist ein Substanzverlust in dieser Größenordnung grundsätzlich noch akzeptabel.

Nach den ermutigenden Resultaten der Untersuchung sei abschließend die Anwendung der vorgestellten Messmethode anhand zweier klinischer Fälle exemplarisch dargestellt.

8. Klinische Fälle

8.1. Fallbeispiel 1

Der Patient stellte sich im Alter von 17 Jahren in der Poliklinik für präventive Zahnheilkunde in der Universitätsklinik Gießen vor. Seit seinem 11. Lebensjahr war er in kieferorthopädischer Behandlung. Der Patient konsumierte täglich große Mengen eines Cola-Getränks. Anschließend bürstete er intensiv die Zähne.

Abbildungen 15 und 16 zeigen einen Ausschnitt aus dem ersten Quadranten mit 11 bzw. 15 Jahren. Deutlich erkennbar ist das Ausmaß und das Vorschreiten der erosiven Prozesse. Das Höcker-Relief des 6-Jahrmolaren ist im Alter von 11 Jahren noch intakt. Die Prämolaren sind ebenfalls nicht betroffen. Vier Jahre später erscheint die okklusale Fläche des Molaren durch die fortgeschrittene Erosion plan. Auch die Höcker der Prämolaren haben erheblich an Höhe verloren. Der Patient war zu diesem Zeitpunkt, wie an der Bebänderung zu sehen, in kieferorthopädischer Behandlung.

Abbildung 17 zeigt den Zustand bei der Erstaufnahme im Alter von 17 Jahren. Die Zerstörung der Zahnhartsubstanz ist weit fortgeschritten. Der Molar zeigt typische dellenförmige Defekte. Die okklusale Füllung erscheint „herausgewachsen“. Auch die palatinalen Glattflächen zeigen deutliche Anzeichen von erosionsbedingtem Zahnhartsubstanzverlust durch Einebnung der normalerweise gewölbten Form. Die palatinalen Höcker der Prämolaren sind bis auf die Höhe des Gingivalrandes reduziert.

Abbildung 18 zeigt den Zustand zwei Jahre nach der Erstaufnahme. In der Zwischenzeit erfolgten intensive Betreuung und Prophylaxemaßnahmen, die eine Umstellung der Ernährungs- und Putzgewohnheiten, sowie Fluoridierungsmaßnahmen beinhalteten. Makroskopisch hat kein Substanzverlust mehr stattgefunden.



Abb. 19: Zustand mit 11 Jahren

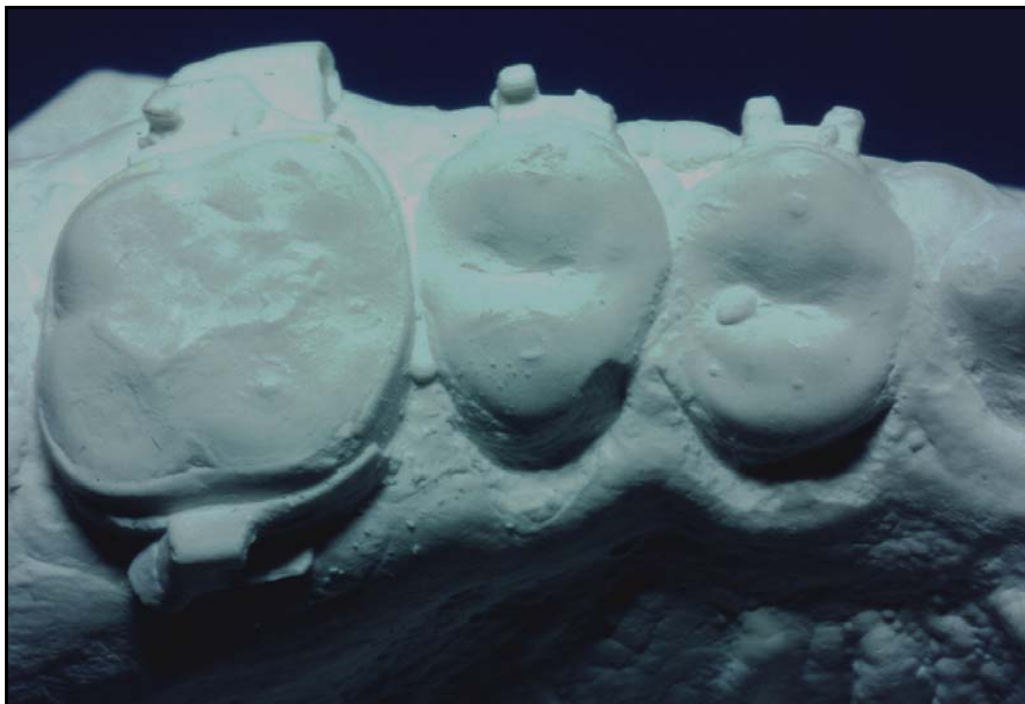


Abb. 20: Zustand mit 15 Jahren. Bebänderung im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung



Abb. 21: Zustand mit 17 Jahren, Erstaufnahme



Abb. 22: Zustand mit 19 Jahren und nach zwei Jahren Prophylaxe

Nach Aufklärung des Patienten wurden Marker auf den Palatinalflächen der Oberkiefer-Frontzähne befestigt. Abbildungen 23 und 24 zeigen den Zustand vor bzw. nach Befestigung der Marker.

Zu erkennen sind in Abbildung 24 Zahnverfärbungen, die für einen Stillstand des Erosionsprozesses sprechen.

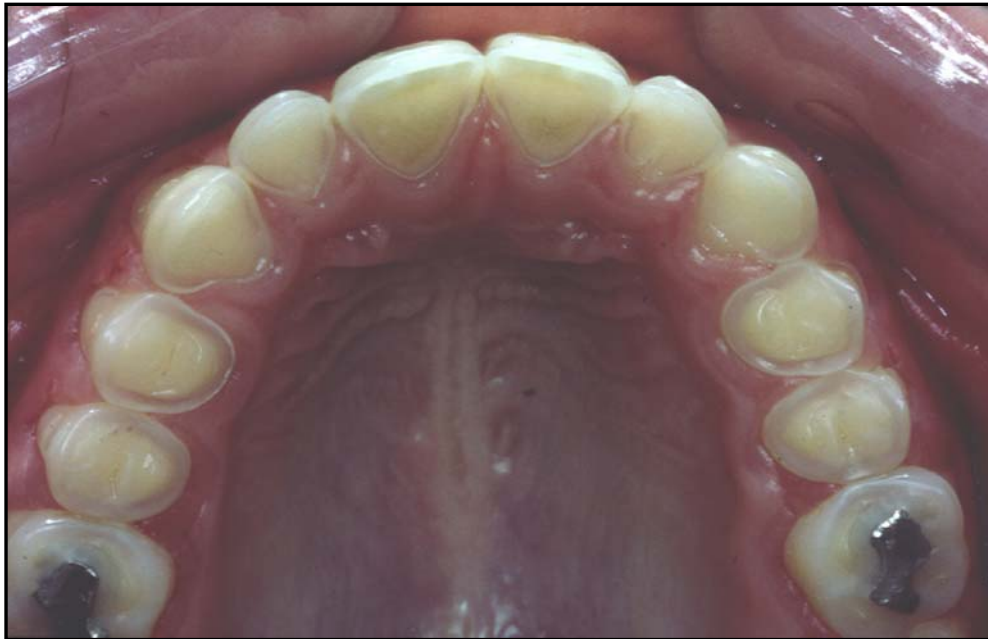


Abb. 23: Zustand vor Befestigung der Marker



Abb. 24: Marker in situ, Zahnverfärbungen deuten auf den Stillstand des Erosionsprozesses hin

Nach Befestigung der Marker erfolgte die Abformung mit Polyethergummi und die anschließende Modellherstellung.

Ca. sieben Monate später erfolgte die erneute Abformung und die Herstellung eines Folgemodells. Die Marker an den Zähnen 12 und 21 gingen verloren, so dass letztendlich vier Zähne profilometrisch untersucht werden konnten.

Die Modelle wurden wie schon beschrieben vorbereitet und vermessen.

Durch profilometrische Messung war kein signifikanter Substanzverlust nachweisbar. Die Median- bzw. Mittelwerte des Ausgangsmodells stimmten in allen vier Messungen, von geringfügigen Abweichungen abgesehen, mit den entsprechenden Werten des Folgemodells überein.

Offensichtlich haben die prophylaktischen Maßnahmen ausgereicht, um das Voranschreiten der Erosionen zu stoppen.

8.2. Fallbeispiel 2

Eine 30jährige Patientin stellte sich mit massiven Erosionen vor. Insbesondere die palatinalen Flächen der oberen Frontzähne, aber auch die okklusalen Flächen der unteren Seitenzähne waren betroffen. Die Patientin berichtete, dass sie seit dem 12. Lebensjahr an Anorexia nervosa leide. Seit dem 24. Lebensjahr erbrach sie regelmäßig die aufgenommene Nahrung.

Ihr Körpergewicht betrug zum Zeitpunkt der Erstaufnahme bei einer Körpergröße von 167 cm nach eigenen Angaben 40 kg.

Die Patientin wurde gebeten, ein Ernährungsprotokoll zu führen und zu dokumentieren, wie häufig sie im Laufe der Woche erbricht. Bei der Auswertung des Ernährungsprotokolls stellte sich heraus, dass kein ungewöhnlich hoher Konsum an sauren Lebensmitteln vorlag. Die Frequenz des Erbrechens lag bei durchschnittlich 1,5 mal pro Tag.

Im Rahmen eines Beratungsgesprächs wurde der Patientin die Anwendung einer geeigneten Putztechnik, die Verwendung einer wenig abrasiven Zahnpasta sowie die regelmäßige Fluoridierung mit einem Fluoridgelee nahegelegt.

Nach Einwilligung der Patientin wurden an den Palatinalflächen der Zähne 14, 12, 11, 21, 22, 24 Marker befestigt. Die Zweitabformung erfolgte ca. sechs Monate später. Der Allgemein- und Ernährungszustand der Patientin verschlechterte sich innerhalb dieses Zeitraumes. Ihr Gewicht betrug zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 36kg und die Patientin berichtete über eine Häufung der Brechanfälle. Sie begab sich kurze Zeit nach der zahnärztlichen Untersuchung in stationäre Behandlung.

Für die profilometrische Auswertung standen von sechs Markern drei an den Zähnen 14, 23 und 24 zur Verfügung, da die restlichen Marker während der Tragezeit verloren gingen.

Abbildungen 25 und 26 zeigen den Gebisszustand bei der Erstaufnahme bzw. nach Befestigung der Marker.



Abb. 25: Zustand vor Applikation der Marker



Abb. 26: Zustand nach Applikation der Marker

Der makroskopische Vergleich des Ausgangs- und des Folgemodells zeigte keine Veränderungen. Hingegen ergaben sich bei der profilometrischen Untersuchung des Folgemodells für alle Zähne signifikant höhere Werte ($p \leq 0,05$). Der Substanzverlust bewegte sich in einer Größenordnung von ca. 10 μm . Würde man den Substanzverlust auf 10 Jahre hochrechnen, so ergäbe sich ein Substanzverlust von 0,2 mm. Betrachtet man das Ausmaß der Zahnschäden, die innerhalb der sechsjährigen bulimischen Phase entstanden sind, so kann davon ausgegangen werden, dass der Substanzverlust vor der Ergreifung der prophylaktischen Maßnahmen schneller vorangeschritten ist. Aufgrund dessen kann vermutet werden, dass die Durchführung der prophylaktischen Maßnahmen trotz Einwirkung starker erosiver Noxen ausreichend ist, um den erosionsbedingten Verlust von Zahnhartsubstanz auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

9. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, eine Methode zu entwickeln, die das Monitoring von säurebedingtem Zahnhartsubstanzverlust unter Zuhilfenahme von Modellen ermöglicht. Das Prinzip der Messung beruht dabei auf der profilometrischen Erfassung eines oberflächlichen Zahnhartsubstanzverlustes in Relation zu einer unveränderlichen Referenzebene.

Mit einer speziellen Stanze können Marker aus einer hochgoldhaltigen Legierung angefertigt und auf bukkalen und palatinalen Flächen adhäsiv befestigt werden. Dabei erlaubt das sternförmige Design des Markers die Beurteilung von 10 Messpunkten auf der angrenzenden Zahnhartsubstanz. Die Ecken und die gegenüberliegenden Spitzen des Sterns geben fünf Messstrecken vor, die durch entsprechende Ausrichtung des Profilometers reproduzierbar abgetastet werden können. Nach der graphischen Darstellungen der Messstrecken kann der mittlere Höhenunterschied zwischen Markeroberfläche und Zahnoberfläche ermittelt werden. Dabei dienen die Markeroberfläche, die Ecke und die Spitze als Referenzebene bzw. -punkte.

In Vorversuchen zeigten wiederholte Messungen eines an einem plangeschliffenen Zahn befestigten Markers bei einem mittleren Höhenunterschied von 148,7 μm eine Standardabweichung von 2,2 μm und damit eine gute Reproduzierbarkeit der Messmethode. Wiederholte Messungen eines entsprechenden durch Abformung gewonnenen Epoxidharzmodells („Blue Star“) ergaben einen mittleren Höhenunterschied von 143,8 μm bei einer vergleichbaren Standardabweichung von 2,9 μm (n.s.). Messungen von „Blue Star“-Modellen aus fünf verschiedenen Abformungen wiesen einen Mittelwert von 144,5 μm und eine geringfügig höhere Standardabweichung von 3,9 μm gegenüber dem Originalmodell auf (n.s.), während die Messungen eines weiteren Epoxidharzes (Stycast) mit einem Mittelwert von 160,15 μm signifikant größere Höhenunterschiede ($p \leq 0,01$), eine höhere Standardabweichung von 11,1 μm und nur schwache Korrelationskoeffizienten aufwiesen. Wiederholte Messungen eines Markers auf

einem gewölbten Zahn zeigten zwar eine höhere Standardabweichung ($\pm 4,7 \mu\text{m}$) als das plane Urmodell, jedoch ergaben sich wie in den ersten drei Gruppen hohe Korrelationskoeffizienten.

Für die Simulation der Messmethode unter klinischen Bedingungen wurde ein Modell, bestehend aus 14 karies- und füllungsfreien menschlichen Zähnen (vier Molaren, vier Prämolaren, zwei Eckzähnen, zwei lateralen und zwei zentralen Inzisivi), vorbereitet. Die Zähne wurden bukkal und palatinal mit Markern versehen. Die Erosionen wurden durch 0,05 molare Zitronensäure in Erosionsstufen von 20, 60 und 120 Minuten erzeugt. Nach jeder Erosionsstufe erfolgte die Abformung mit Polyethergummi (Impregum) und die Herstellung eines Epoxidharzmodells („Blue Star“). Anschließend erfolgte die profilometrische Vermessung. Um den Mineralverlust zu beurteilen, wurde die Ausgangssituation mit der ersten, zweiten und dritten Erosionsstufe verglichen. In den meisten Fällen ließen sich nach jeder Erosionsstufe signifikante bis sehr signifikante Unterschiede feststellen. Die Ergebnisse zeigen, dass signifikante Resultate etwa bei einer mittleren Differenz von $15 \mu\text{m}$ zu erwarten sind.

Insgesamt steht eine gut untersuchte und hinreichend genaue Meßmethode zum klinischen Monitoring von säurebedingten Zahnhartsubstanzverlusten zur Verfügung.

10. Literaturverzeichnis

1. Aiach D, Malone WFM: Dimension accuracy of epoxiresins and their compatibility with impression materials. J Proth Dent 1984;52: 500-504.
2. Asher C, Read MJ: Early enamel erosion in children associated with the excessive consumption of citric acid. Br Dent J 1987;162:384-387.
3. Attin T, Buchalla W, Gollner M, Hellwig E: Use of variable remineralization periods to improve the abrasion resistance of previously eroded enamel. Caries Res 2000;34: 48-52.
4. Attin T, Deifuss H, Hellwig E: Influence of acidified fluoride gel on abrasion resistance of eroded enamel. Caries Res 1999;33:135-139.
5. Barbakov J, Imfeld T: Dentinabrasions (RDA)- Schmelzabrasions (REA)- und Politurwert von Zahnpaste auf dem Schweizer Markt. Oralprophylaxe 1990;12:114-122.
6. Bartlett DW, Blunt L, Smith BG: Measurement of tooth wear in patients with palatal erosion. Br Dent J 1997;182:179-184.
7. Bartlett DW, Coward PY, Nikkah C, Wilson RF: The prevalence of tooth wear in a cluster sample of adolescent schoolchildren and its relationship with potential explanatory factors. Br Dent J 1998;184:125-129.
8. Borchers L 1996, aus: Eichner K, Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Werkstoffe unter klinischen Aspekten, 1996;2:23-24, 4. Auflage, Hüthing Verlag, Heidelberg.
9. Büyükyilmaz T, Ogaard B, Rolla G: The resistance of titanium tetrafluoride-treated human enamel to strong hydrochloric acid. Eur J Oral Sci 1997;105:473-477.

10. Chadwick RG, Mitchell HL: Conduct of an algorithm in quantifying simulated palatal surface tooth erosion. *J Oral Rehabil* 2001;28:450-456.
11. Chan D, Guillory V, Blackman R, Chung KH: The effects of sprue design on the roughness and porosity of titanium castings. *J Prosthet Dent* 1997;78:400-404.
12. Chaudhry SI, Harris JL, Challacombe SJ: Dental erosion in a wine merchant: an occupational hazard? *Br Dent J* 1997;182:226-228.
13. Chaffee NR, Bailey JH, Sherrard DJ, Dimensional accuracy of improved dental stones and epoxy resin die materials. *J Proth Dent* 1997;77:131-135.
14. Eccles JD: Dental erosion of nonindustrial origin. A clinical survey and classification. *J Prosthet Dent* 1979;42:649-653.
15. Eick JD.; Ortman, L.F.; Allen, T.B. et al: General clinical application of a stereo-camera system. *J Den Res* 1973,52:219 (Abstract).
16. Federik DR, Caputo A, Comparing the accuracy of reversible hydrocolloid and elastomeric impression materials. *J Dent Am Assoc* 1997;128:183-1888.
17. Ganss C, Klimek J, Schwarz N: A comparative profilometric in vitro study of the susceptibility of polished and natural human enamel and dentine surfaces to erosive demineralization. *Arch Oral Biol* 2000;45:897-902.
18. Ganss C, Schleichriemen M, Klimek J: Dental erosions in subjects living on a raw food diet. *Caries Res* 1999;33:74-80.
19. Ganss C, Klimek J, Jung M, Tothbrushabrasion on erodet enamel and dentine – role of fluoride, Vortrag auf der 7th World Congress of Preventive Dentistry von 24. – 17. April 2001 c in Peking.

20. Ganss C, Klimek J, Giese K: Dental erosion in children and adolescents - a cross-sectional and longitudinal investigation using study models. *Community Dent Oral Epidemiol* 2001;29:264-271.
21. Gedalia I, Dakuar A, Shapira L, Lewinstein I, Goultschin J, Rahamim E: Enamel softening with Coca-Cola and rehardening with milk or saliva. *Am J Dent* 1991;26:120-122.
22. Gedalia I, Davidov I, Lewinstein I, Shapira L: Effect of hard cheese exposure, with and without fluoride preinse, on the rehardening of softened human enamel. *Caries Res* 1992;26:290-292.
23. Giunta JL: Dental erosion resulting from chewable vitamin C tablets. *J Am Dent Assoc* 1983;107:253-256.
24. Graehn G: Saureerosion der Zahnhartsubstanzen. 1. Mitteilung: Einfluss von Speichel, Medikamenten, Nahrungssauern und mechanischen Belastungen. *Dtsch Stomatol* 1991;41:494-499.
25. Graehn G, Ehle G, Gertich K: Acid erosions of tooth surface. 2. Oral complications in patients with psychogenic eating disorders. *Dtsch Stomatol* 1991;41:500-504.
26. Grando LJ, Tames DR, Cardoso AC, Gabilan NH: In vitro study of enamel erosion caused by soft drinks and lemon juice in deciduous teeth analysed by stereomicroscopy and scanning electron microscopy. *Caries Research* 1996;30:373-378.
27. Grenby TH: Methods of assessing erosion and erosive potential. *Eur J Oral Sci* 1996;104:207-214.
28. Grenby TH, Phillips A, Desai T, Mistry M: Laboratory studies of the dental properties of soft drinks. *Br J Nutr* 1989;62:451-464.

29. Hanning M, Albers HK: Die erosive Wirkung von Acetylsalicylsäure an Zahnschmelz und Dentin in vivo. Dtsch Zahnärztl Z 1993;48:289-302.
30. Hellwig E, Klimek J, , Attin Th: Einführung in die Zahnerhaltung. 1999:40-43, 2. Auflage, Urban & Fischer, München-Jena.
31. Hirt T, Lutz F, Roulet JF: In vivo evaluation of occlusal wear of two experimental composites versus amalgam. J Oral Rehabil 1984;11:511-520.
32. Hotz PR: Erosion des Zahnschmelzes. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1987;97:219-222.
33. Huysmans MC, Thijssen JM: Ultrasonic measurement of enamel thickness: a tool for monitoring dental erosion? J Dent 2000;28:187-191.
34. Imfeld T: Dental erosion. Definition, classification and links. Eur J Oral Sci 1996;104:151-155.
35. Jaeggi T, Schaffner M, Bürgin W, Lussi A: Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1999;109:1171-1178.
36. Jaeggi T, Lussi A: Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: An in situ study. Caries Res 1999;33:455-461.
37. Järvinen V, Meurman JH, Hyvarinen H, Rytömaa I, Murtomaa H: Dental erosion and upper gastrointestinal disorders. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988;65:298-303.
38. Järvinen V, Rytömaa I, Meurman JH: Location of dental erosion in a referred population. Caries Res 1992;26:391-396.
39. Jung M: Ausarbeitung und Politur von laborgefertigten Keramik- und Kompositinlays in vitro und in vivo. Habilitationsschrift;1998:49-54.

40. Kelleher M, Bishop K: Tooth surface loss: an overview. *Br Dent J* 1999;186:61-66.
41. Krejci I, Reich T, Bucher W, Lutz F: A new method for 3-dimensional wear measurement. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1994;104:160-169.
42. Kreulen CM, van Amerongen WE: Wear measurements in clinical studies of composite resin restorations in the posterior region: a review. *J Dent Child* 1991;58:109-123.
43. Kuroiwa M, Kodaka T, Abe M: Brushing-induced effects with and without a non-fluoride abrasive dentifrice on remineralization of enamel surfaces etched with phosphoric acid. *Caries Res* 1994;28:309-314.
44. Künzel W, Cruz MS, Fischer T: Dental Erosion in Cuban children associated with excessive consumption of oranges. *Eur J Oral Sci* 2000; 108: 104-109.
45. Lambrechts P, Vanherle G, Vuylsteke M, Davidson CL: Quantitative evaluation of the wear resistance of posterior dental restorations: a new three-dimensional measuring technique. *J Dent* 1984;12:252-267.
46. Larsen MJ: Degrees of saturation with respect to apatites in fruit juices and acidic drinks. *Scand J Dent Res* 1975;83:13-17.
47. Larsen MJ, Nyvad B: Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 1999;33:81-87.
48. Linkosalo E, Markkanen H: Dental erosions in relation to lactovegetarian diet. *Scand J Dent Res* 1985;93:436-441.
49. Ludwig K 1996, aus: Eichner K, Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Werkstoffe unter klinischen Aspekten 1996;2:264, 4. Auflage, Hüthing Verlag, Heidelberg.

50. Lussi A: Dental erosion clinical diagnosis and case history taking. *Eur J Oral Sci* 1996;104:191-198.
51. Lussi A, Schaffner M: Progression of and risk factors for dental erosion and wedge-shaped defects over a 6-year period. *Caries Res* 2000;34:182-187.
52. Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P: Dental erosion in a population of Swiss adults. *Community Dent Oral Epidemiol* 1991;19:286-290.
53. Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P: Erosion der Zahnhartsubstanz. Epidemiologie, klinisches Erscheinungsbild, Risikofaktoren und Verhaltensregeln. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1992;102:320-329.
54. Maron FS: Enamel erosion resulting from hydrochloric acid tablets. *J Am Dent Assoc* 1996;127:781-784.
55. Mayhall JT, Kageyama I: A new, three-dimensional method for determining tooth wear. *Am J Phys Anthropol* 1997;103:463-469.
56. McDonald JL, Jr., Stookey GK: Laboratory studies concerning the effect of acid-containing beverages on enamel dissolution and experimental dental caries. *J Dent Res* 1973;52:211-216.
57. McIntyre JM: Erosion. *Aust Prosthodont J* 1992;6:17-25.
58. Mehl A, Gloger W, Kunzelmann KH, Hickel R: A new optical 3-D device for the detection of wear. *J Dent Res* 1997;76:1799-1807.
59. Meiners H, Herrmann R, Spitzbarth S: Bond strength of Rocatec systems. *Dent Labor* 1990;38:185-188.
60. Meint R, Rein H, Riethe P, Verschleißfestigkeitsmessung mittels Moirè-Topographie an okklusionstragenden Kompositfüllungen der Klasse I/II, *Dsch Zahnärztl Z* 1984;39:110-113.

61. Meurman JH, Drysdale T, Frank RM: Experimental erosion of dentin. *Scand J Dent Res* 1991;99:457-462.
62. Meurman JH, Frank RM: Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. *Caries Res* 1991;25:81-87.
63. Meurman JH, Härkönen M, Näveri H, Koskinen J, Torkko H, Rytömaa I, Järvinen V, Turunen R: Experimental sports drinks with minimal dental erosion effect. *Scand J Dent Res* 1990;98:120-128.
64. Meurman JH, Murtomaa H: Effect of effervescent vitamin C preparations on bovine teeth and on some clinical and salivary parameters in man. *Scand J Dent Res* 1986;94:491-499.
65. Meurman JH, Toskala J, Nuutinen P, Klemetti E: Oral and dental manifestations in gastroesophageal reflux disease. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;78:583-589.
66. Millward A, Shaw L, Smith A: Dental erosion in four-year-old children from differing socioeconomic backgrounds. *J Dent Child* 1994;61:263-266.
67. Milosevic A: Eating disorders and the dentist. *Br Dent J* 1999;186:109-113.
68. Moser JB, Stone DJ, G. M. Willoughby: Properties and characteristics of a resin die material, *J Prosthet Dent* 1975;34:297-304.
69. Nelson DGA, Jongebloed WL, Arends J: Morphology of enamel surfaces treated with topical fluoride agents: SEM considerations. *J Dent Res* 1983;62:1201-1208.
70. Noack MJ: REM-Untersuchungen an Erosionen der Zahnhartsubstanzen in vivo. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989;44:517-520.

71. O'Brien M. Children's Dental Health in the United Kingdom 1993. Office of Population Censuses and Surveys 1994. Her Majesty's Stationary Office, London.
72. Oilo G, Dahl BL, Hatle G, Gad AL: An index for evaluating wear of teeth. *Acta Odontol Scand* 1987;45:361-365.
73. Öhrn R, Angmar-Mansson B: Oral status of 35 subjects with eating disorders – a 1-year study. *Eur J Oral Sci* 2000; 108: 275-280.
74. Öhrn R, Enzell K, Angmar-Månsson B: Oral status of 81 subjects with eating disorders. *Eur J Oral Sci* 1999;107:157-163.
75. Petersen PE, Gormsen C: Oral conditions among German battery factory workers. *Community Dent Oral Epidemiol* 1991;19:104-106.
76. Pintado MR, Conry JP, Douglas WH: Measurement of sealant volume in vivo using image-processing technology. *Quintessence Int* 1988;19:613-617.
77. Provenza DW: Fundamentals of oral histology and embryology 1988:147, Lea&Febiger, second edition.
78. Ragain JC, Grosko ML, Raj M, Ryan TN, Johnston WM: Detail reproduction, contact angles, and die hardness of elastomeric impression and gypsum die material combinations. *Int J Prosthodont* 2000;13:214-220.
79. Robb ND, Smith BG: Prevalence of pathological tooth wear in patients with chronic alcoholism. *Br Dent J* 1990;169:367-369.
80. Robb ND, Smith BG, Geidrys LE: The distribution of erosion in the dentitions of patients with eating disorders. *Br Dent J* 1995;178:171-175.
81. Rytömaa I, Järvinen V, Kanerva R, Heinonen OP: Bulimia and tooth erosion. *Acta Odontol Scand* 1998;56:36-40.

82. Rytömaa I, Meurman JH, Koskinen J, Laakso T, Gharazi L, Turunen R: In vitro erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other foodstuffs. *Scand J Dent Res* 1988;96:324-333.
83. Saxegaard E, Rolla G: Fluoride acquisition on and in human enamel during topical application in vitro. *Scand J Dent Res* 1988;96:523-535.
84. Scheutzel P: Etiology of dental erosion-intrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 1996;104:178-190.
85. Scheutzel P. Zahnmedizinische Befunde bei psychogenen Essstörungen, *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:119-123.
86. Schweizer-Hirt CM, Schait A, Schmid R, Imfeld T, Lutz F, Muhlemann HR: Erosion und Abrasion des Schmelzes Eine experimentelle Studie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1978;88:497-529.
87. Shillingburg H, Jacobi R, Brackett SE: Grundlagen der Zahnpräparation, 1988:14-15, Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin.
88. Smith BG, Knight JK: A comparison of patterns of tooth wear with aetiological factors. *Br Dent J* 1984;157:16-19.
89. Smith BG, Knight JK: An index for measuring the wear of teeth. *Br Dent J* 1984;156:435-438.
90. Söderholm KJ, Roberts MJ, Antonson DE, Anusavice KJ, Mauderli AP, Sarrett DC, Warren JW: Visual and profilometric wear measurements. *Acta Odontol Scand* 1992;50:121-127.
91. Sorvari R, Kiviranta I, Luoma H: Erosive effect of a sport drink mixture with and without addition of fluoride and magnesium on the molar teeth of rats. *Scand J Dent Res* 1988;96:226-231.
92. Sorvari R, Meurman JH, Alakuijala P, Frank RM: Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro. *Caries Res* 1994;28:227-232.

93. Stafne EC, Lovstedt SA, Dissolution of tooth substance by lemon juice, Acid beverages and acids from some other sources. J Dent Am Assoc 1947;34:586-592.
94. Straka L: Photogrammetry in dentistry. Stomatol DDR 1981;31:50-56.
95. Strübing W, Gülzow HJ: Untersuchungen zur lokalen Wirksamkeit mit unterschiedlichem Fluoridgehalt und unterschiedlichem pH. Dtsch Zahnärztl Z, 1986;9:832-835.
96. Teaford MF, Oyen OJ: Differences in the rate of molar wear between monkeys raised on different diets. J Dent Res 1989;68:1513-1518.
97. Teaford MF, Tylenda CA: A new approach to the study of tooth wear. J Dent Res 1991;70:204-207.
98. tenCate JM, Imfeld T: Dental erosion, summary. Eur J Oral Sci 1996;104:241-244.
99. Tuominen ML, Tuominen RJ, Fubusa F, Mgalula N: Tooth surface loss and exposure to organic and inorganic acid fumes in workplace air. Community Dent Oral Epidemiol 1991;19:217-220.
100. Urquiola NJ, Charbeneau GT, Quantitative and Evaluation of posterior composite resin restorations. J Dent Res, 1981;60:583.
101. Viohl J 1996, aus: Eichner K, Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Werkstoffe unter klinischen Aspekten, 1996;2:285-286, 4. Auflage, Hüthing Verlag, Heidelberg.
102. West NX, Hughes JA, Parker DM, Newcombe RG, Addy M: Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink 2. Comparison with a conventional blackcurrant juice drink and orange juice. J Dent 1999;27:341-344.

103. Whitehead SA, Shearer AC, Watts DC, Wilson NH: Comparison of two stylus methods for measuring surface texture. *Dent Mater* 1999;15:79-86.
104. Wiktorsson AM, Zimmerman M, Angmar-Månsson B: Erosive tooth wear: prevalence and severity in Swedish winetasters. *Eur J Oral Sci* 1997b;105:544-550.
105. Wirz J, *Klinische Material- und Werkstoffkunde* 1993: 50-53, Quintessenz Bibliothek, Berlin.
106. Xhonga FA, Wolcott RB, Sognnaes RF: Dental Erosion II. Clinical measurements of dental erosion progress. *J Am Dent Assoc* 1972;84:577-582.
107. Zero DT, Rahbek I, Fu J, Proskin HM, Featherstone JD: Comparison of the iodide permeability test, the surface microhardness test, and mineral dissolution of bovine enamel following acid challenge. *Caries Res* 1990;24:181-188.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Joachim Klimek für die Überlassung des Themas und für die äußerst angenehme Zusammenarbeit in seiner Abteilung danken.

Mein besonderer Dank gilt meiner lieben Kollegin Frau Dr. Carolina Ganß, die mich bei der Durchführung dieser Studie mit großem Engagement unterstützt hat.

Bei meiner lieben Freundin Henrike Deitermann und bei meinem Freund und Kollegen Dr. Jens Deitermann bedanke ich mich für das Korrekturlesen der Arbeit.

Ich möchte mich außerdem bei allen meinen Kollegen aus der Abteilung für präventive und konservierende Zahnheilkunde - Dr. Tobias Kaiser, Dr. Hille Bünker, Dr. Martin Jung, Alexandra Rudolph und Dr. Viola Müller-Lessmann - für die ständige Motivation und die schöne gemeinsame Zeit in der Klinik danken (hat Spaß gemacht!).

Schließlich möchte ich mich auch sehr bei meinen Eltern bedanken, die mir das Studium ermöglicht haben und mich jederzeit finanziell unterstützt haben.

Lebenslauf

Name: Stefano De Sanctis

Geburtsdatum: 12.06.1973

Geburtsort: Düsseldorf

Staatsangehörigkeit: italienisch

Eltern: Dr. Lucio De Sanctis, Ingenieur
und
Giovanna De Sanctis, geb. Puledda,
Krankenschwester

Geschwister Gianluca De Sanctis, Ingenieur und MBA

Schulbildung: 1979-1983 Grundschule
1983-1993 Gymnasium

Abitur: 1993

Hochschulausbildung: SS 1994 Beginn des Studiums der Zahnmedizin an
der Justus-Liebig-Universität in Gießen
März 1995 Naturwissenschaftliche Vorprüfung
Oktober 1996 Zahnärztliche Vorprüfung
Dezember 1999 Zahnärztliche Prüfung

Berufliche Tätigkeit: 17.01.2000 – 28.02.2002 Wissenschaftlicher Ange-
stellter in der Poliklinik für Zahnerhaltung und prä-
ventive Zahnheilkunde des Medizinischen Zentrums
für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Klinikums
der Justus-Liebig-Universität in Gießen.
Seit 15.03.2002 Assistenz Zahnarzt in Darmstadt,
Praxis Dr. Reineck