

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. dent. R. Hickel

Charakterisierung von Dentinoberflächen nach Bearbeitung mit neuen,
minimal – invasiven und selbstlimitierenden Präparationsverfahren

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde an der Medizinischen
Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Lkhagva Tsolmon

aus

Ulaanbaatar, Mongolei

2008

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
Der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. Karl-Heinz Kunzelmann

Mitberichterstatter: Prof. Dr. I. Rudzki-Janson

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 21.07.2008

Für meine Familie

Inhaltverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Literaturübersicht	9
2.1 Der Aufbau des Zahnes	9
2.1.1 Aufbau des Schmelzes.....	9
2.1.2 Aufbau des Dentins.....	10
2.2 Karies	13
2.2.1 Ätiologie der Karies.....	13
2.2.2 Schmelzkaries.....	15
2.2.3 Dentinkaries	16
2.2.4 Nachweismethoden für Dentinkaries	18
2.3 Therapie der Karies	21
2.4 Chemomechanische Kariesentfernung	23
2.4.1 Entdeckung und Entwicklung.....	23
2.5 Smartprep	27
2.5.1 Entwicklung.....	27
2.6 Biochemische Kariesentfernung (Biosolv)	29
2.6.1 Entdeckung und Entwicklung.....	29
3. Ziel der Dissertation	32
4. Material und Methode	33
4.1 Vorbereitung der Proben	33
4.1.1 Einleitung der Gruppen.....	33
4.1.2 Instrumentarium.....	36
4.2 Kariesentfernung	37
4.2.1 Vorbereiten von Carisolv	37

4.2.2	Exkavation mit dem Carisolv.....	38
4.2.3	Kariesexkavation mit den Smartprep.....	39
4.2.4	Vorbereiten von Biosolv	40
4.2.5	Exkavation mit dem Biosolv.....	40
4.3	Messung der Mikrohärte.....	41
4.3.1	Aufbereitung der Proben.....	41
4.3.2	Messung.....	42
4.4	Restdickenuntersuchung mittels Fluoreszenzanalyse.....	44
4.5	Mikrozugversuch für Haftfestigkeit.....	46
4.6.1	Aufbereitung der Proben.....	46
4.6	Untersuchung mit dem REM.....	48
4.7	Statistische Auswertung.....	49
5.	Ergebnisse.....	50
5.1	Ergebnisse der Mikrohärtemessung.....	50
5.2	Ergebnisse des Fluoreszenzanalyse	53
5.3	Ergebnisse der Mikrozugversuchs	56
5.4	Ergebnisse der REM.....	56
6.	Diskussion.....	60
6.1	Material und Methode.....	60
6.2	Ergebnisse	67
6.2.1	Mikrohärtemessung.....	67
6.2.2	Fluoreszenzanalyse	70
6.2.3	Mikrozugversuch	71
6.2.4	REM.....	72
7.	Schlussfolgerung.....	73
8.	Zusammenfassung.....	74

9. Literaturverzeichnis.....	76
10. Anhang.....	91
10.1 Geräteliste.....	91
10.2 Materiallisten.....	92
11. Danksagung.....	96
12. Lebenslauf.....	97

1 Einleitung

Man unterscheidet initiale Schmelzkaries und bis ins Dentin reichende Kavitationen. Sichtbarer Ausdruck dieser Zahnhartsubstanzveränderung ist eine fortschreitende Zerstörung (Pilz, Plathner, Taatz 1980). Karies ist eine multikausale, lokale Erkrankung der Zahnhartsubstanz und die häufigste Erkrankung des Zahnhartgewebes, d.h. von Schmelz und Dentin. Deshalb stellt die Behandlung von Karies einen Schwerpunkt der Arbeit von Zahnärzten dar. Zur Entfernung kariöser Zahnhartsubstanz sind in der Vergangenheit viele Methoden mit unterschiedlichen Ansätzen entwickelt worden. Diese lassen sich einteilen in mechanische und nicht-mechanische, rotierende und nicht-rotierende Methoden zur Kariesentfernung. Darunter fallen Handinstrumente, Rosenbohrer, Air-Polishing, Air-Abrasion, Sono-Abrasion, Ultraschall-Instrumentierung, chemomechanische Methoden und Lasertechniken (Banerjee 2000). Allen Techniken ist jedoch gemeinsam, dass das Erreichen des Übergangs von kariöser zu kariesfreier Zahnhartsubstanz abgeschätzt, d.h. taktil überprüft werden muss. Hierbei entsteht häufig die Situation, dass tiefer exkaviert wird, als nötig. Es bedeutet den Verlust von gesunder Zahnhartsubstanz. Andererseits kann es auch sein, dass versehentlich infiziertes Gewebe belassen wird.

Die Behandlung der Karies besteht in der Entfernung vom kariösem Schmelz, Dentin und der Versorgung des Defektes. Bisher gibt es das Problem, dass kariöse Zähne vom Zahnarzt in der Regel mit dem Bohrer geöffnet werden. Die kariös veränderte Zahnhartsubstanz wird anschließend entfernt und mit einem Füllungswerkstoff die Kavität versiegelt. Durch die Behandlung mit dem Bohrer wird mehr Zahnhartsubstanz entfernt, als notwendig wäre. Der Begriff „Karies exkaviert“ bedeutet, dass die Kavität von allen bakteriell infizierten und nicht

remineralisierbaren Zahnhartsubstanzen befreit wird.

Die remineralisierbaren Schichten sollen aber belassen werden, um eine unnötige Schwächung des Zahnes zu vermeiden. Der Übergang von krankem zu gesundem Dentin kann mit subjektiven Methoden aber nicht sicher erkannt werden. Damit besteht die Gefahr, dass sich die Zahnkaries unter der Restauration ausdehnt (Terashima et al. 1969) oder eine Übertherapie weit in gesundes Dentin erfolgt.

Wie erkennt der Zahnarzt, ob eine Kavität kariesfrei ist oder wo die bakterielle Besiedlung des Dentins endet? All dies ist heute noch, eine sehr subjektive Entscheidung, bei der die Kavität nach Dentinfarbe, sowie Härte taktil mit der Sonde, beurteilt werden.

Fusayama und Terashima definierten 1972 die Aufteilung einer Dentinläsion in zwei Zonen: das äußere kariöse Dentin, das nicht remineralisierbar, avital und infiziert ist, und das innere kariöse Dentin, das remineralisierbar, vital und nicht infiziert ist. Darauf aufbauend hatten Sato und Fusayama 1976 die Idee, das äußere kariöse Dentin mit Hilfe eines Farbstoffes darzustellen. Fusayama fand 1980 1%iges Säurerot in Propylenglykol als geeignet.

Auch andere Autoren belegen [Anderson et al. (1985) und Kielbassa et al. (1994)], dass die Grenze mit subjektiven Methoden nicht erkannt werden kann.

Eine der aktuellsten Untersuchungen zu diesem Thema wurde von Pitts et al. 2001 durchgeführt. Sie haben die subjektiven Ungenauigkeiten bei der histologischen Untersuchung von Zahnschnitten, die lange als der Goldstandard in der Kariesdiagnostik galten, aufgezeigt. Von Pitts et al. (2001) wird das Problem, histologische Ergebnisse exakt zu reproduzieren, erforscht.

Weiter wird auf die klinische Problematik durch die Anwendung neuer Verfahren der chemomechanischen Kariesentfernung mittels Caridex und Carisolv hingewiesen. Hier wird erweichtes, nicht infiziertes Dentin in der Kavität

belassen, klinisch aber als „zu weich“ empfunden.

Biosolv ist ein neues Produkt zur Kariesentfernung. Biosolv wurde von 3M ESPE AG, Seefeld, Deutschland entwickelt. Durch proteolytische Enzyme kann der Teil der Zahnhartsubstanz entfernt werden, der kariös verändert ist. Die Wirkung dieser Enzyme endet zumindest theoretisch dort, wo die Zahnhartsubstanz ausreichende Qualität aufweist, um remineralisiert werden zu können. Dieser Ansatz ist ein großer Fortschritt, weil er sehr substanzschonend und patientenfreundlich ist und die Endpunktbestimmung so zu sagen in das System integriert ist.

Das Ziel dieser Dissertation ist die Untersuchung und der Vergleich unterschiedlicher Verfahren zur „selbstlimitierenden“ Kariestherapie.

2 Literaturübersicht

2.1 Der Aufbau des Zahnes

2.1.1 Aufbau des Schmelzes

Der Zahnschmelz ist der am stärksten mineralisierte Bestandteil und die härteste Substanz des Zahnes. Zahnschmelz ist ein Produkt zellulärer Leistung und ein rein kristallines Gefüge (Schroeder 1992). Der Schmelz schützt das Dentin und die Pulpa. Der Zahnschmelz besteht zu 98 % aus anorganischen Kristallen. Seine Hauptbestandteile sind Kalzium, Phosphor, Karbonat, Magnesium und Natrium sowie 40 Spurenelemente, von denen nur das Fluorid eine herausragende Rolle spielt (Nikiforuk 1985).

Die Schmelzmineralisation findet auf der Basis von Kalziumphosphat Hydroxylapatit-Kristalliten statt, die durch die chemische Formel $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ zusammengefasst werden können (Heidemann 1999). Der Schmelz enthält außerdem Wasser und anorganische Verbindungen wie Proteine und Lipide. Die Apatitkristalle sind Stäbchen mit einer Länge von ca. 160 nm, einem Durchmesser von 40 bis 70 nm und 26 nm Dicke (Hellwig et al. 1999). Sie bilden die Schmelzprismen, die sich von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Schmelzoberfläche erstrecken. Schmelz enthält weder Nerven noch Gefäße. Er bedeckt das Dentin von der Schmelz-Zement-Grenze bis zur Kronenspitze und bildet den äußeren Teil der Zahnkrone. Die Härte beträgt im Durchschnitt zwischen 272 KHN (KNOOP-HARDNESS-NUMBER, Knoop-Härte) an der Schmelz-Zement-Grenze und 400 KHN an der Schmelzoberfläche (Meredith 1996). Wasser und Alkohol können im freien Fluss den Zahnschmelz durchströmen. Dadurch können wässrige Lösungen im Zahnschmelz, der als zellfreies Mineral-

2 Literaturübersicht

gefüge keinem physiologischen Metabolismus unterliegt, zur Änderung seiner Zusammensetzung beitragen.

2.1.2 Aufbau des Dentins

Das Dentin ist ein mineralisiertes, vitales Hartgewebe. Es ist ein knochenähnliches Gewebe, das den größten Teil der Zahnhartsubstanz darstellt. Dentin ist im Kronenbereich vom Zahnschmelz überzogen und im Wurzelteil vom Zement. Es ist härter als Knochen, aber weicher als der Schmelz. Das Dentin ist aus verschiedenen Schichten aufgebaut und ein Produkt der Odontoblasten. Der Dentinaufbau ist in Abbildung 2.1.2 dargestellt.

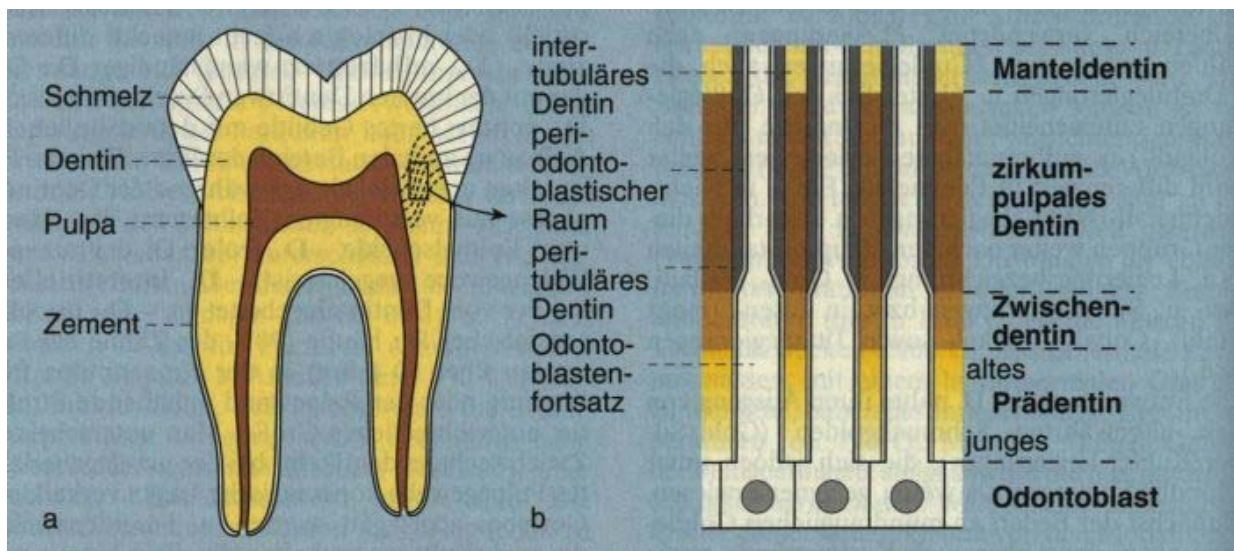


Abbildung 2.1.2: Die Dentinstruktur (Hellwig et al. 1999)

Es enthält eine mineralische Phase. Die Odontoblasten reichen bis an die Schmelz-Dentin Grenze und können bis zu 5000 μm lang sein, der Durchmesser beträgt 2-4 μm . Sie geben Seitenäste zu benachbarten Dentinkanälchen ab. Die Dichte der Dentinkanälchen nimmt von 30000-52000/ mm^2 an der Pulpa-Dentin-Grenze auf etwa 10000/ mm^2 an der Schmelz-Dentin-Grenze ab; sie werden von dem mineralisierten peritubulären Dentin ausgekleidet. Zwischen den einzelnen

Dentinkanälchen liegt das intertubuläre Dentin. Es ist weniger dicht mineralisiert und enthält große Mengen kollagener Fasern.

Die periphere Schicht wird vom Manteldentin gebildet, das viele Gabelungen der Odontoblasten aufweist.

Dentin besteht zu 70 % aus Mineralien (vor allem Hydroxylapatit, geringere Mengen an Fluor, Magnesium sowie Spurenelemente), zu 20 % aus organischer Matrix (Kollagen und nichtkollagene Komponenten, Lipide, Ziträt, Laktat, Chondroitinsulfat) und zu 10 % aus Wasser (Schroeder 1992). 92% der organischen Matrix bestehen aus Typ I Kollagen (Schroeder 1987).

Der restliche Teil der organischen Matrix wird von Proteoglykanen, Phosphoproteinen, Carboxyglutamat enthaltenden Proteinen und einem geringen Teil von Lipiden gebildet (Schroeder 1992). Proteoglykane sind Makromoleküle, die hauptsächlich extrazellulär in Bindegeweben auftreten. Sie bestehen aus einem Proteinkern, an den Seitenketten aus Glykosaminoglykanen und Oligosacchariden. Die Proteoglykane bestimmen durch ihre ausgedehnte Struktur die Resilienz des jeweiligen Gewebes. Sie bilden Komplexe mit kollagenen Fasern. Ein Kollagenmolekül besteht aus drei Aminosäureketten. Im Kollagenmolekül Typ I ist die Tripelhelix aus zwei $\alpha 1$ -Ketten und einer $\alpha 2$ -Kette aufgebaut. Jede α -Kette enthält mehrere tausend Aminosäurereste. Die Aminosäure Glycin besetzt jede dritte Position. Ein weiteres Charakteristikum sind die regelmäßig eingebauten Aminosäuren wie Prolin und Hydroxyprolin. Die Sekundärstruktur jeder α -Kette besteht aus einer steilen linksgängigen Helix. Jede der drei α -Ketten bildet eine rechtsgängige Superhelix. Diese spezifische Zusammensetzung von Aminosäuren innerhalb der Ketten ist eine Voraussetzung für die Bildung der Helixstruktur. Ein solches Kollagenmolekül hat eine Länge von 300 nm und einen Durchmesser von 1,4 nm. Durch die Zusammenlagerung von

fünf Kollagentripelhelices entstehen Mikrofibrillen mit einem Durchmesser von 4 nm (Linde 1985; Löffler 1994). Die Fibrillen werden durch intermolekulare kovalente Bindungen, hauptsächlich durch Lysin und Hydroxylysinreste, stabilisiert. Hydroxylapatitkristalle orientieren sich am Verlauf der kollagenen Fibrillen. Die Länge der Kristalle beträgt 40-80 nm, der Durchmesser 2-4,5 nm.

Nach Schroeder et al. 1992 setzt sich das Dentin morphologisch zusammen aus Odontoblasten, Dentinkanälchen, Prädentin, Zwischendentin, zirkumpulpaalem Dentin, Manteldentin, dem peritubulären Raum und peritubulärem Dentin. Das peritubuläre Dentin hat einen höheren Mineralisationsgrad als das intertubuläre Dentin. Das intertubuläre Dentin liegt zwischen den Dentinkanälchen und besteht bis zu 50 % aus kollagenen Fasern.

Gesundes Primärdentin hat eine Härte 68 KHN (Knoop-Hardness-Number, Knoop-Härte), Sekundärdentin 85 KHN (Craig 1959). Die Härte des Dentins nimmt kontinuierlich vom Schmelz zur Pulpa hin ab und ist mit ca. 70 KHN unterhalb des Schmelzes am größten. An der Pulpa sind nur ca. 20-30 KHN zu messen (Fusayama et al., 1966, Meredith et al., 1996).

2.2 Karies

2.2.1 Ätiologie der Karies

Karies führt noch immer zu einem erheblichen Behandlungsbedarf in der Zahnarztpraxis. Karies ist der akute oder chronische Zerfall der harten Substanz der Zähne und eine der häufigsten Infektionskrankheiten der Welt. Karies ist ein chronischer Demineralisationsprozess der Zahnhartsubstanz. Aus dem Lateinischen übersetzt bedeutet „caries“ Morschsein und Fäulnis (Langenscheidt 1985). Wenn es auch nicht in allen Definitionen der Karies explizit zu finden ist, wird heute von niemandem mehr bezweifelt, dass dieser exogene Ursprung der Kariesätiologie in Zusammenhang mit Bakterien zu sehen ist (Hellwig et al., 1995; Schumacher 1997, Lehmann et al., 1998).

Die Oberfläche des Zahns ist stetig äußeren Einflüssen ausgesetzt. Karies ist nach der im Jahre 1898 von Müller aufgestellten chemoparasitären Theorie eine multikausale Erkrankung. Im Jahre 1962 entwickelte Keyes eine Theorie zur Kariesätiologie, in der die drei Faktoren Mikroorganismen, Substrat und Wirtsfaktoren für die Entstehung einer kariösen Läsion hinreichend beschrieben werden. Er beschrieb für die Kariesentstehung ein Zusammenspiel dreier Faktoren: 1. Zahnhartsubstanz als Wirt, 2. niedermolekulare Kohlenhydrate als Substrat und 3. kariogene Mikroorganismen als Säurelieferanten. Es gelang ihm erstmals, mit einem einzigen isolierten Bakterienstamm und mit Streptokokken, Karies zu erzeugen. König ergänzte 1971 diesen „Kariesursachenkomplex“ um einen vierten Faktor, nämlich die Zeit, und formulierte damit die bis heute gültige Kariesätiologie (s. Abb. 2.2.1). Als sekundäre Faktoren der Karies sind heute Speichelfluss und –zusammensetzung, Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr, Immunabwehr, genetische und soziökonomische Faktoren, sogar Zahn-

fehlstellungen und – Bildungen anerkannt (Hellwig 1995).

Stellen für die Kariesentstehung sind Bereiche, die der natürlichen Selbstreinigung durch Zunge, Wange und Speichel nur schwer oder überhaupt nicht zugänglich sind (Lehmann 1998).

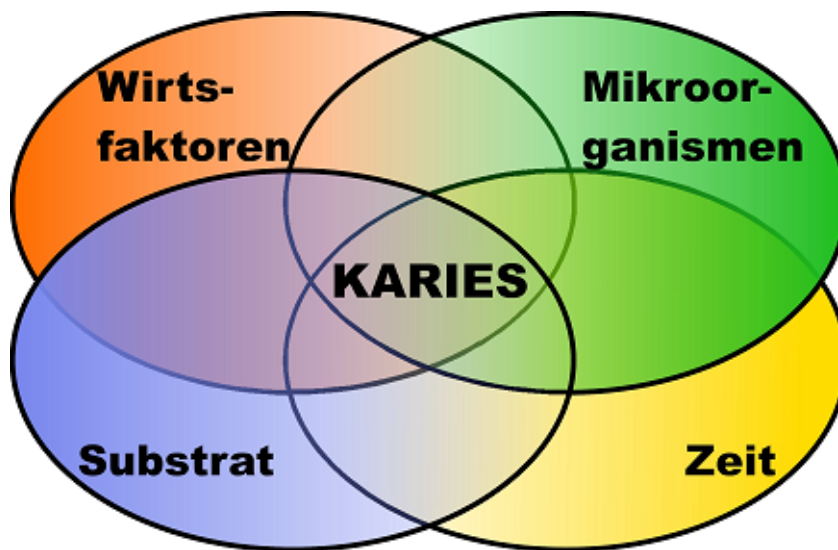


Abbildung 2.2.1: Die Kariesätiologie

Karies ist die Folge einer bakteriellen Stoffwechselaktivität, an deren Ende die Produktion organischer Säuren steht. Als Substrat für diese Stoffwechselaktivität sind niedermolekulare Kohlenhydrate von Bedeutung. Wenn die Säurefreisetzung sich oft wiederholt und die Einwirkzeiten auf die Zahnhartsubstanz groß genug sind, kommt es zur Auflösung von Hydroxylapatitkristallen ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$) und nachfolgend zum Verlust der Substanz. Mittermayer beschrieb 1984, dass sowohl azidolytische als auch proteolytische Vorgänge bei der Karies eine Rolle spielen. Das bedeutet, dass die mineralischen Bestandteile von säureproduzierenden und die organischen Bestandteile von proteaseproduzierenden Bakterien aufgelöst werden. Aber es existieren auch sekundäre Faktoren z. B. Fehlbildungen, Fehlstellungen der Zähne. Die Mundhygiene des

Einzelne, und auch soziale Faktoren spielen bei der Entstehung von Karies ebenso eine Rolle.

2.2.2 Schmelzkaries

Hauptsächlich zwei Bakterienarten sind für die Karies verantwortlich: Streptokokkus mutans und Streptokokkus sorbinus. Die dentale Karies betrifft den Schmelz der Zahnkrone und breitet sich von dort konisch in die Tiefe aus. Die erste permanente Demineralisation des Schmelzes erfolgt lange bevor die Karies klinisch oder röntgenologisch zu entdecken ist. Bleibt sie in diesem Stadium unbehandelt, kann sich das darunterliegende Dentin erst demineralisieren, dann infizieren. Die Karies ist nicht in allen Bereichen eines Zahnes in gleicher Weise ausgeprägt. Die Formen der Karies werden nach drei Merkmalen eingeteilt:

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| 1. Verlauf: | A. akute Karies |
| | B. chronische Karies |
| 2. Erkrankungsgrad: | A. primäre Karies |
| | B. sekundäre Karies |
| | C. rezidivierende Karies |
| 3. Ort: | A. Fissurenkaries |
| | B. Glattflächenkaries |
| | C. Wurzelkaries |

Eine akute Karies führt zu einem schnellen Schmelzeinbruch und breitet sich rasch im Dentin aus. Eine chronische Karies wandert sehr langsam zum Dentin. Die Primärkaries ist die erste Läsion an einem Zahn. Als Sekundärkaries bezeichnet man Läsion an Rand von Füllungen oder Kronen. Unter rezidivierender Karies versteht man eine mangelhafte Entfernung der kariösen Stellen bei der Erstbehandlung.

2 Literaturübersicht

Die Fissurenkaries ist eine Kauflächenkaries und beginnt in den Zahnfurchen und Grübchen der Backenzahnoberflächen. Glattflächenkaries betrifft die Innen- und Außenseite der Zähne. Alle freiliegenden Zahnwurzeloberflächen entwickeln sich zu einer Wurzelkaries.

Karies entsteht durch organische Säuren, die von Bakterien als Stoffwechselprodukt ausgeschieden werden (Einwag und Pieper 1997). Man spricht von *Demineralisation*, die durch Speichel in Form von *Remineralisation* rückgängig gemacht werden kann. Die ersten Anzeichen einer kariösen Läsion sind die klinisch sichtbaren „white spots“. Es handelt sich um opake, kalkigweiße Flecken auf der Schmelzoberfläche mit einer intakten, leicht rauen Oberflächenschicht. Im histologischen Bild lässt sich die Schmelzkaries von außen nach innen in vier Zonen unterteilen: die intakte Oberflächenschicht, der Läsionskörper, die dunkle Zone und die transluzente Zone. Die transluzente Zone ist die fortgeschnittene Demineralisation. Sie weist eine höhere Porosität als gesunder Schmelz auf. Die dunkle Zone hat einen Mineralverlust von 6 % und ein Porenvolumen von 2 bis 4 %. Das Zentrum der Läsion ist die ausgedehnteste Karieszone, das Porenvolumen beträgt zwischen 5 bis 25 %. Die Oberflächenzone weist einen Mineralverlust von 1 bis 10 % auf. Gesunder Zahnschmelz hat ein Porenvolumen von 0,1 % (Hellwig 1995).

2.2.3 Dentinkaries

Das Dentin ist ein vitales Hartgewebe und reagiert auf äußere Einfluss gemeinsam mit der Pulpa. Die kariöse Läsion breitet sich im Dentin und entlang der Dentinkanälchen in Richtung Pulpa aus. Die Dentinkaries ist durch eine zelluläre Abwehr der Odontoblasten gekennzeichnet (Schroeder 1997). Die Karies kann sich im Dentin unterminierend entlang der Schmelz-Dentin-Grenze

ausdehnen oder den Dentinkanälchen folgend, in Richtung Pulpa penetrieren. (Schroeder 1997). Bei der Dentinkaries können die strukturellen Veränderungen in Zonen eingeteilt werden, ausgehend von der Pulpa in Richtung Peripherie:

1. Tertiärdentin, 2. normales Dentin, 3. sklerotisches Dentin, 4. Dead tract, 5. Zone der Demineralisation, 6. Zone der Penetration, 7. Zone der Nekrose. Die Darstellung in Abbildung 2.2.3 zeigt den schematischen Aufbau der Dentinkaries.

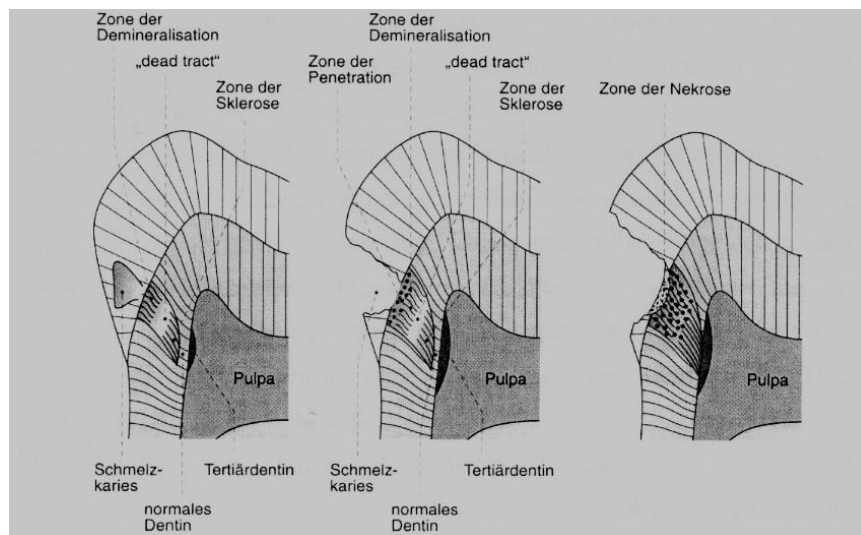


Abbildung 2.2.3: Schematische Darstellung der verschiedenen Stadien der Dentinkaries (Hellwig et. al 1999)

Die Pulpa reagiert auch mit einer Entzündung. Diese Vorgänge können im koronalen oder im radikulären Dentin beobachtet werden (Frank 1990). Ogushi und Fusayama (1975) unterteilen Dentinkaries in ein äußeres und ein inneres kariöses Dentin. Die Unterscheidung erfolgt aufgrund unterschiedlicher Anfärbbarkeit und Histologie. Die äußere Schicht lässt sich mit 0,5 % Fuchsin-Propylen glykol-Lösung anfärben, enthält degenerierte Kollagenfasern und unregelmäßig verstreute Apatitkristalle. Die innere Schicht lässt sich nicht anfärben und zeigt einen regelmäßigen histologischen Dentinaufbau (Ogushi und Fusayama 1975). Einer anderen Gliederung zufolge besteht kariöses Dentin aus zwei

Schichten (Sato und Fusayama 1976). Die Kollagenfasern der zweiten inneren Schicht weisen weniger Quervernetzungen auf als im gesunden Dentin. In der äußeren kariösen Schicht ist die Anzahl der Quervernetzungen noch stärker vermindert (Kuboki et al. 1977). Elektronmikroskopische Untersuchungen zeigen die ultrastrukturellen Unterschiede der beiden Schichten des kariösen Dentins. In der tiefen Schicht ist das Intertubulardentin teilweise entmineralisiert. Die Apatitkristalle, die organische Matrix und der Odontoblastenfortsatz im Dentinkanälchen sind erhalten. In der Oberflächenschicht der Karies ist das Intertubulardentin sehr stark entmineralisiert. Hier zeigen sich unregelmäßig verteilte Apatitkristalle. Die organische Matrix und der Odontoblastenfortsatz sind nicht mehr sichtbar (Ohgushi und Fusayama 1975). Von Fusayama wurde (1965) die Knoophärte vom Zentrum der Karies bis zur Pulpakammer gemessen. Es wurde die Härteänderung von akuter, chronischer Karies und der bakteriellen Penetration beobachtet. Fusayama stellte folgendes fest: Gesundes Dentin weist als größte Härte ca. 70 KHN und als geringste an der Pulpa ca. 20 KHN auf. Schmelzkaries beeinflusst die Dentinhärte nicht.

2.2.4 Nachweismethoden für Dentinkaries

In vivo: Die Kariesdiagnostik wird traditionell mit einer Sonde durchgeführt. Dabei besteht die Gefahr, dass kariöses Dentin nicht erkannt wird (Anderson et al. 1985, Kielbassa 1994). Das Hängenbleiben einer mit Druck in die Karies eingeführten, spitz Sonde wird seit Black et al. 1914 als kariöse und damit behandlungsdürftige Läsion definiert (Jackson et al. 1959, Künzel et al. 1979). Die Genauigkeit der Untersuchungstechnik wurde von Parfitt et al. 1954 und Miller und Hobson et al. 1956 in Frage gestellt. Die Autoren wiesen im Vergleich zur Histologie eine nicht unerhebliche Variabilität der Sondierung

2 Literaturübersicht

nach und schlussfolgerten, dass die Retention der Sonde auch von anderen Faktoren wie Sondierungsdruck, Morphologie der Fissur und Größe und nicht nur vom Vorhandensein einer Karies abhängig ist. Deswegen warnten Kidd et al. 1984 bereits davor, dass die taktile Untersuchung Zahnhartsubstanz-Defekte verursachen kann.

An der Läsion lassen sich als visuelle Zeichen des kariösen Prozesses in die Braunverfärbungen und helle Verfärbungen klinisch differenzieren.

Um diesem Problem entgegenzutreten, wurden Färbemethoden untersucht (Fusayama 1982).

Färbelösungen, die basisches Fuchsin enthielten, wurden wegen vermuteten kanzerogenen Eigenschaften des Fuchsins durch Säurerot 1% in Propylenglykol ersetzt. Es ist in dieser Form als Kariesdetektor im Gebrauch (Kielbassa 1994). Der Kariesdetektor wird nach dem Exkavieren in die Kavität eingebracht und nach 10 s mit dem Wasserspray gespült. An kariösem Dentin bleibt der Farbstoff gebunden und gut sichtbar.

Die Anwendung von Kariesdetektor färbt gesundes Dentin und sogar die Schmelz-Dentin-Grenze an (Kidd 1993, Yip 1994). Auch sei kein signifikanter Unterschied der Menge an nachweisbaren Bakterien nach Exkavation mit Sondenprobe und mit Kariesdetektor feststellbar (List et al. 1987).

In vitro: Dentinkaries lässt sich in vitro auf verschiedene Arten nachweisen und untersuchen: histologisch, mittels Mikroradiographie und Mikrohärtemessung.

1. Histologisch: Es sind histomorphologische Charakteristika des kariösen Dentins differenzierbar. So beschrieben (Sognnaes et al. 1950) die Färbung von Dünnschliffen kariöser Zähne mit Toluidinblau. Dabei wurde die Läsion durch einen nicht anfärbbaren Saum in zwei Zonen getrennt. Das kariöse Dentin zeigte sich tiefblau, das gesunde violett dar.

2 Literaturübersicht

Miller et al. (1962) untersuchte die Eigenschaften von aktiven und chronischen kariösen Läsionen und deren Histochemie. Opdyke (1962) bezeichnete die kariöse Läsion als histochemisch reaktivste Stelle. Er stellte fest, dass die sauren Mukopolysaccharide, die in Dentinkanälchen nachweisbar sind, im kariösen Dentin fehlen. Milton et al. 1970 führten die Bindung von Farbstoffen an die organische Matrix kariösen Dentins auf das Fehlen von Hydroxylapatitkristallen zurück. Im gesunden Dentin sind Hydroxylapatitkristalle an die organische Matrix gebunden. Ein mikrobiologische Nachweis der bakteriellen Penetrationsfront ist mit der Gram-Färbung möglich (Fusayama et al. 1966).

Fusayama et al. 1966 teilte die Gruppe kariöse Läsionen in nur zwei Schichten ein: 1. Die äußere mit Fuchsin-rot - Propylenglykol-Lösung anfärbbar Schicht

2. Die innere nicht anfärbbar Schicht

Ogawa et al. 1983 beschrieben, histologisch von der Pulpa ausgehend seidig opakes Dentin, darauf eine subtransparente Schicht mit abnehmender Opazität, eine Zone der Transparenz und darüber eine verfärbt opake Zone.

Offensichtlich ist es histologisch, ob mit oder ohne Färbung, sehr schwierig, eine kariöse Läsion in zwei Bereiche, einen infizierten, zu entfernen und einen, der belassen werden kann, zu unterteilen (Deery et al. 2000).

2. Mikrohärtemessung: Die Messung der Dentinhärte, die klinisch mit zahnärztlicher Sonde erfolgen kann, ist in vitro mit einem Mikrohärtemessgerät durchführbar. Dentinbereiche, die auf Grund einer kariösen Läsion eine geringe Härte aufweisen, können so diagnostiziert werden (Fusayama et al. 1965, Featherstone et al. 1983).

Die Mikrohärtemessung im Dentin beschrieb Knoop et al. 1939. Weiter folgten Untersuchungen von Graig et al. 1959, Fusayama et al. 1966, Meredith et al. 1996). Ihre Studien führten zu ähnlichen Ergebnissen, die wie folgt zusammengefasst werden können. Die Härte des Dentins nimmt fast vom

Schmelz zur Pulpa hin ab, wobei die Härte mit ca. 70 KHN etwa 300 – 450 µm unterhalb des Schmelzes zu finden ist und zur Pulpa hin auf 20 – 30 KHN zurückgeht. Bei kariösem Dentin sind vor allem in Abhängigkeit der Läsion sehr unterschiedliche Werte zu finden (Fusayama et al. 1966, Craig et al. 1959, Meredith et al. 1996).

3. Mikroradiographie: Angmar et al. 1963 wurde zu einer quantitativen Methode zur Bestimmung des Mineralgehalts von Zahnschmelz und Dentin weiterentwickelt. Es werden dazu dünne 80 – 150 µm dicke parallele Zahnschliffe benötigt. Danach werden die Mikroradiographien auf einem hochempfindlichen Röntgenfilm durch Röntgenbestrahlung der Probe hergestellt. Mit Hilfe einer zur Kalibrierung gleichzeitig abgebildeten Aluminiumeichtreppe kann, bei Dicke der Probe, Mineralgehalt in Abhängigkeit zur Tiefe der Läsion exakt quantitativ erfasst werden (Angmar et al. 1963, Featherstone et al. 1983, de Josselin de Jong et al. 1986, Inspektor et al. 2004).

2.3 Therapie der Karies

Die Behandlung der durch Karies verursachten Zahnschäden ist abhängig vom Grad der Zerstörung. Die Bakterien müssen bei der Behandlung entfernt werden. Bei der Kariestherapie kann man zwischen den nichtinvasiven, den minimalinvasiven Verfahren und der regulären Therapie unterscheiden. Die nichtinvasive Kariestherapie verzichtet auf das Eröffnen und Füllen. Sie ist nur bei Läsionen indiziert, die nicht zur Kavitation geführt haben und ausschließlich in Schmelz lokalisiert sind. Diese Läsionen sind an den Glattflächen als Kreideflecken erkennbar, im Approximalbereich nur röntgenologisch zu diagnostizieren (Curilovic 1983). Dazu gehören Fluoridierungsmaßnahmen, Ernährungsberatung sowie Mundhygieneinstruktionen (s. Abb. 2.3).

2 Literaturübersicht

Bei der minimal-invasiven Kariestherapie wird beim Entfernen der kariösen Zahnhartsubstanz der größtmögliche Erhalt gesunder Zahnhartsubstanz angestrebt. Die daraus resultierenden Kavitäten werden dann mit adhäsiven Füllungs-materialien versorgt. Die Entfernung der kariösen Zahnhartsubstanz kann mit unterschiedlichen Techniken und Instrumenten erfolgen. Dazu dienen Hand-instrumente mit scharfen löffelförmigen Exkavatoren und Rosenbohrer.



Abbildung 2.3: Kariestherapie in Abhängigkeit von der Kariesentwicklung

Neben rotierenden Instrumenten werden in jüngerer Zeit weitere Methoden angewendet: Therapie mit Laser, kinetische Präparation und Pulverstrahlgeräten sowie chemomechanische Kariesentfernung (Yip und Samaranayake 1998).

Therapie mit Laser: Nach Entwicklung des ersten Rubin-Lasers durch Maiman im Jahre 1960 erfolgten bereits 1964 erstmals Untersuchungen eines möglichen Einsatzes in der Zahnheilkunde (Frentzen et al. 1994). Anfang der 90er Jahre wird gezielt der klinische Einsatz von Laser in der Praxis versucht (Banerjee, Watson, Kidd et al. 2000). Verwendung finden hierbei Laser erzeugende Geräte, an die über ein Faseroptikkabel ein Winkelstück mit Wasser angeschlossen ist.

Kinetische Präparation: Im Jahre 1945 führte Black eine neue Methode zur Kariesentfernung von Zahn, die Air-Abrasion ein. Hier handelte es sich um ein Verfahren, Aluminiumoxid-Partikel in einem Druckluftstrahl zur Entfernung

von Schmelz und Dentin zu verwenden (Banerjee, Watson, Kidd et al. 2000). Vorteile im Vergleich mit konventionellen Techniken sind weniger Schmerzempfindung, geringere Vibration und reduzierte Reizung der Pulpa (Banerjee, Watson, Kidd et al. 2000).

2.4 Chemomechanische Kariesentfernung

2.4.1 Entdeckung und Entwicklung

Die Methode der chemomechanischen Kariesentfernung wurde 1986 von der FDA in den USA zugelassen und ist unter dem Namen Caridex-Caries-Removal-System auf dem Markt. Das Caridex-System basierte auf dem nicht spezifischen proteolytischen Effekt von Natriumhypochlorid (NaOCI), aus gewebeprotektiven Gründen vermischt mit der Aminosäure Glycin.

Das Gel Caridex enthält Aminosäuren, Erythrosin, NaOCI und NaOH. Die Wirkung von Caridex beruht auf einer Auflösung von denaturiertem Kollagen, welches mit Handinstrumenten entfernt wird (chemomechanische Kariesentfernung). Bei Studien der Wurzelkanalanatomie von Goldman und Kronman (1970) wurde N-monoglycin-Lösung (NMG) verwendet. Dabei entdeckten sie, dass NMG kariöses Dentin erweicht (Roth 1989). Goldman fand heraus, dass für die Kariesentfernung eine gute Darstellung des kariösen Prozesses sehr wichtig ist. Verschiedene Arten der Karies reagieren unterschiedlich auf die Lösung GK-101 (0,05%ige N-Monoglycinsäure Lösung): Weiche helle akute Karies ließ sich schnell entfernen, die lederartige dunkle und die harte chronische Karies ließen sich schwerer entfernen (Goldman 1976).

Die Mischung wirkt als N-monochloroglycin (NMG) zum einen durch das NaOCI proteolytisch und zum anderen durch die Aminosäure die Zahnharts-

tanz schützend. Der Aufbau des Applikationsgerätes entspricht der Beschreibung von Schutzbank et al. 1978. Die kurz vor Behandlung angemischte N-Monochlor-DL-2-Aminobutyrat-Lösung wird in einem Behälter auf 37° C erwärmt und mittel einer Pumpe zu einer Exkavatorspitze gefördert.

Die Entfernung der Dentinanteile kann mit speziell entwickelten oder mit Handinstrumenten geschehen. In histologischen Untersuchungen ließen sich nach der Behandlung mit Caridex-System bei ca. 90% Kavitäten Residualkaries und bei 77% zurückbleibende Mikroorganismen nachweisen. Der eine Möglichkeit, das Caridex-Systems zu verbessern, sieht Scheutzel et al. 1989 des Caridex-Handstücks, das deutlich bessere Ergebnisse ermöglicht.

Das in der Folgezeit entwickelte Carisolv-Gel: Anfang des Jahres 1998 wurde ein neues System zur chemomechanischen Kariesentfernung namens „Carisolv“ vorgestellt, das in Schweden entwickelt wurde und wodurch die rein mechanische Kariesentfernung mit rotierenden Instrumenten umgangen werden sollte. Mitte Oktober 1998 wurde „Carisolv“ von der Firma Medi-Team Dentalentwicklung AG (Göteborg) in Deutschland auf den Markt gebracht.

Zusätzlich entwickelt wurden Handinstrumente, die sich – ohne scharfe Schneiden – in Form von kreisrunden Scheiben an der Spitze kreuzen und dadurch geringer traumatisch wirken. Die klinischen Untersuchungen nennen als Vorteile des Gels erhöhten Patientenkomfort, leichtere Anwendbarkeit, weniger Substanzverlust, wenig Anästhesie, pulpaschützende Thermo-Effekt und damit unter klinischen Aspekten gegenüber konventionellen Methoden äquivalente Effektivität der Kariesentfernung (Splieth, Rosin, Gellissen et al. 2001).

Carisolv ist ein Mittel, nach dessen Anwendung Karies mit speziellen Instrumenten entfernt werden kann. Diese chemomechanische Kariesentfernung ist nunmehr die alternative Methode zur konventionellen Behandlung kariöser Läsionen.

2 Literaturübersicht

Zusammensetzung des Gels: 1. Natriumhypochlorit, 2. Aminosäuren, 3. Gelsubstanz, 4. Kochsalzlösung, 5. Farbstoff. Vor allem chemomechanische Verfahren mit Caridex^R und CarisolvTM sind untersucht worden (Maragakis et al. 2001; Splieth et al. 1999 und Brecke 2002). Die Studie von Maragakis et al. (2001) zeigte, dass mit CarisolvTM in einem Drittel aller exkavierten Kavitäten Karies nicht vollständig entfernt werden konnte. Die Exkavation mit CarisolvTM benötigte wesentlich länger als die konventionelle Methode. Splieth et al. (1999) beschreibt, dass nach Kariesentfernung mit CarisolvTM und nachfolgender Anfärbung der Kavität mittels Kariesdetektor eine um etwa 25 µm breitere Verfärbungszone auftrat als nach Exkavation mit dem Rosenbohrer. Er betont, dass dieser Unterschied klinisch nicht relevant sei und CarisolvTM daher der konventionellen Methode gleichkommt. Carisolv ist in Abbildung 2.4.1 zu sehen. Es gibt 2 Carisolv Versionen mit unterschiedlicher Konzentration von NaOCI: CarisolvTM I hat 0,5% und Carisolv[®] II hat <1%.

Das Verfahren Carisolv beinhaltet die Applikation einer Lösung, worauf eine Exkavation mit Handinstrumenten folgt. Die chemische Lösung im Set besteht aus zwei Komponenten. Die erste Komponente ist ein hochvisköses Gel, bestehend aus den drei Aminosäuren Glutaminsäure, Leucin und Lysin in einer 0,1 M Konzentration. Die zweite Komponente enthält 0,5% Natriumhypochlo-



Abbildung 2.4.1: Carisolv

ritlösung (Thonemann et al. 1999). Kariesfreie Kavitäten wurden nach durchschnittlich 660 s Anwendung von Carisolv in 94 % der Fälle erreicht (Haffner et al. 1999). Bei der Exkavation mit Carisolv war eine Lokalanästhesie nur in 13 % der Fälle nötig (Haffner et al. 1999). Das Exkavieren des kariösen Dentins reduziert Mikroorganismen. Bei der chemomechanischen Kavitätenpräparation wird das Exkavieren mit rotierenden Instrumenten durch einen chemischen Auflösungsprozess der Karies ersetzt. Nach dem Einbringen von Carisolv kann die aufgelöste Karies mit Handinstrumenten entfernt werden. Dadurch ist die mechanische Druckbelastung durch rotierende Instrumente auf den pulpenfernen Bereich beschränkt und die Schmerzbelastung für den Patienten reduziert. Nach dem Auftragen des Gels beträgt die Einwirkzeit 20 bis 30 s. Bei der Carisolv-Methode wird ein Gel auf das kariöse Gebiet aufgetragen. Es weicht die erkrankte Zahnschubstanz auf, erhält aber gesundes Gewebe. Die Wirkung konzentriert sich auf das Kollagen, das den größten Anteil des organischen Dentins ausmacht. Im äußeren, kariösen Dentin ist das fibrilläre Kollagen denaturiert. Von den Wirkungsmechanismen von Carisolv wird angenommen, dass diese, wie bei Caridex auf den von Habib (1975) für die GK-101 veröffentlichten Prinzipien beruhen. Hiernach entsteht in der Lösung nach der Aktivierung chlorinierte Aminosäure, besonders Cl^- liegt instabil gebunden an der Amingruppe vor. Im kariösen Dentin ist hierdurch die Chlorierung des teilweise denaturierten Kollagens möglich, wobei aus Hydroxyprolin Pyrrol-2-Carboxylsäure gebildet wird und somit durch Chlorierung der für die sekundäre und quartäre Kollagenstruktur der funktionellen Gruppen wichtigen Auflösung des Kollagenmoleküls herbeigeführt werden kann (Habib 1975). Durch den Zusatz der drei Aminosäuren unterschiedlicher Polarität soll die Aggressivität des Natriumhypochlorits reduziert werden. Die Aggressivität wird durch die Aminosäuren eingeschränkt, so dass nur das denaturierte Kollagen des kariös

veränderten Dentins gelöst wird (Hannig et al. 1999).

Das erweichte kariöse Gewebe wird mit speziellen Handinstrumenten entfernt. Das Gel reagiert selektiv mit denaturiertem Kollagen und erweicht so kariöses Dentin.

Die Nachteile liegen immer noch im schlechten Geschmack des Gels und längeren Behandlungsdauer (Ericson, Zimmerman, Raber, Götrick und Bornstein et al. 1999).

2.5 Smartprep

2.5.1 Entwicklung

Das Smartprep-Instrument wurde über einen Zeitraum von mehr als drei Jahren von SS White Burs in Zusammenarbeit mit Dr. Daniel Boston, Temple University, USA und Dr. Van Thompson, University of Medicine Dentistry, New Jersey, USA entwickelt. Auf den ersten Blick sieht das Smartprep-Instrument wie ein konventioneller Rosenbohrer aus. Es besteht nicht aus Metall, sondern aus einem speziellen Polymerkunststoff.

Die Schneiden sind nicht in Spiralform angeordnet, sondern schaufelförmig und gerade. Das Polymermaterial hat eine Knoop-Härte von 50 und wurde unter der Vorgabe entwickelt, härter als kariöses Dentin (Knoop-Härte 0-30), aber weicher als gesundes Dentin (Knoop-Härte 70-90) zu sein (s. Abbildung 2.5.1A). Nach Herstellerangaben ist Smartprep in der Lage, selektiv kariöses Dentin zu entfernen, während gesundes Dentin nicht angegriffen wird. Die Instrumentenschneiden aus Polymer nutzen sich bei Kontakt mit härteren Materialien, wie z.B. gesundem Dentin, ab und werden stumpf. Daher sind Smartprep-Instrumente lediglich für den einmaligen Gebrauch bestimmt (Freedman G; Goldstep F. 2003). Sie sind in drei ISO-Größen erhältlich: 010, 014 und

018. Die Smartprep-Instrumente sind in Abbildung 2.5.1B zu sehen.

Ergebnisse von Ogawa et al. (1983) (Abb. 2.5.1A) bezüglich der Härte zeigen, dass man 3 unterschiedliche Arten von Dentin unterscheiden kann. Infiziertes Dentin (gelbe Zone) hat kein remineralisiertes Dentin mit Bakterien, betroffenes Dentin (blau) hat remineralisierbares Dentin bzw. Kollagenfasern. Die dritte Art (grün) ist nicht bakteriell infiziert und hat auch gesunde Kollagenfasern. Aufgrund kariöser Läsion weisen diese eine geringe Härte auf. Das Smartprep Instrument ist härter als kariöses Dentin, aber weicher als gesundes Dentin. Mit einem Zwischenhärteniveau entfernt das Smartprep Instrument kariöses Dentin, aber schädigt nicht die gesunden Zonen von Dentin.

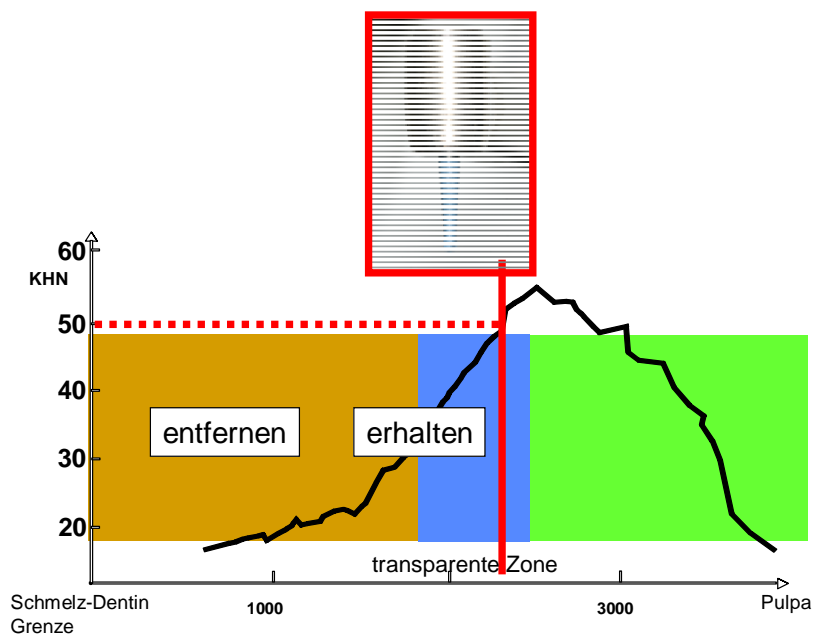


Abbildung 2.5.1A: Mikrohärte von Dentin (Ogawa et al. 1983)

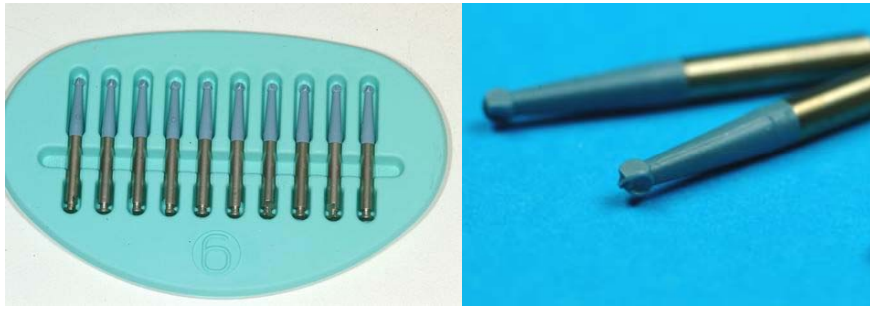


Abbildung 2.5.1B: Smartprep-Instrumente

Das Smartprep Instrument wird mit 500-800 U/min angewendet. Im Gegensatz zu herkömmlichen Rosenbohrern wird nach Primärpräparation die Exkavation nicht von peripher nach zentral, sondern umgekehrt von zentral nach peripher durchgeführt, um Kontakt mit den härteren Zahnhartsubstanzen zu vermeiden. Smartprep soll kariös verändertes Dentin schichtweise abtragen und mit leichtem Druck angewendet werden.

2.6 Biochemische Kariesentfernung (Biosolv)

2.6.1 Entdeckung und Entwicklung

Biosolv ist eine biochemische Methode für das Entfernen von Karies.



Abbildung 2.6.1: Das Biosolv - Set

Biosolv wurde von 3M ESPE AG, Seefeld, Deutschland entwickelt.

Es ist ein neues Material, um, ohne zu Bohren, Karies aus dem Zahn zu entfernen. Hierzu wird eine Flüssigkeit auf die Karies gepinselt. Nach 60 s Einwirkzeit kann die Karies schonend mit Kunststoff-Handinstrumenten abgetragen werden. Dieser Vorgang muss einige Male bis zur vollständigen Säuberung des Zahnes wiederholt werden. Diese bohrerlose Kariesentfernung ist äußerst zahnhartsubstanzschonend, selbstlimitierend und zuverlässig. Biosolv besteht aus zwei Komponenten, die kurz vor der Behandlung vermischt werden. Die erste Komponente ist eine Enzymlösung (PEPSIN A) pH 5.5, bestehend aus Wasser und Natriumdihydrogenphosphat (NaH_2PO_4). Die zweite Komponente enthält Phosphorsäure, Natriumdihydrogenphosphat (NaH_2PO_4), Wasser und Polyethylenglykol.

Biosolv weicht die erkrankte Zahnschicht auf, erhält aber gesundes Gewebe. Die Methode ist ein Minimalangriff und beeinflusst nur den kariösen Teil des Zahnes. Zur Entfernung der gelösten Karies stehen derzeit sternförmige (Arbeitsende) Handinstrumente zur Verfügung: dabei ist die äußere, stark demineralisierte Schicht mit irreversibel denaturiertem Kollagengewebe zu entfernen, während die innere demineralisierte, aber remineralisierbare Schicht belassen werden kann. Das Biosolv - Set ist in Abbildung 2.6.1 zu sehen.

Die Remineralisationsfähigkeit ist der Zustand der Kollagenfasern. Im gesunden Dentin sind die Kollagenfasern in eine Hydroxylapatitmatrix eingebettet.

Biosolv besteht aus Pepsin. Das Pepsin wird im sauren Milieu aktiviert. Pepsin spaltet denaturiertes Kollagen. Durch die sauren Stoffwechselprodukte wird zusätzlich Hydroxylapatit aufgelöst, wobei die Kollagenfasern freigelegt werden. Pepsin ist in der Lage, in verschiedenen Geweben [Osebold und Pedrini, 1976] Kollagen abzubauen.

Sind Hydroxylapatitkristalle zwischen den Triple-Helix-Strängen des Kollagens vorhanden, fördern diese als Kristallisationskeime eine Remineralisation.

Man differenziert deshalb zwischen demineralisiertem Kollagen und zerstörtem Kollagen, das nicht mehr remineralisiert werden kann.

Die innere Zone einer Dentinläsion beinhaltet Kollagen, das erhalten werden kann, obgleich es deutlich weicher ist als gesundes Dentin. Enzyme ermöglichen es, zwischen den Kollagenfasern zu unterscheiden, die zerstört sind bzw. wieder remineralisierbar sind. Deshalb spricht man hier von selbstlimitierender Kariestherapie.

3 Ziel der Dissertation

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, in vitro die Effektivität der selbstlimitierenden Kariesentfernung mittels Carisolv, Smartprep und Biosolv vergleichend zu untersuchen.

Es wurden die nachfolgenden Untersuchungen ausgewählt:

1. Ermittlung der Mikrohärtigkeit des Dentins durch den Vergleich von kariösem und gesundem Dentin.
2. Autofluoreszenzmikroskopie Untersuchungen zeigen die vorderste Front des kariösen Prozesses.
3. Rasterelektronenmikroskopie zur Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit.
4. Mikrozugversuche, um die Haftfestigkeit nachzuweisen („weiches“ Dentin ist evtl. für Haftung ungeeignet).

4 Material und Methode

4.1 Vorbereitung der Proben

Für die Studie wurden frisch extrahierte menschliche Zähne der zweiten Dentition mit natürlichen Kariesläsionen verwendet. Diese stammen von Patienten beiderlei Geschlechts und unterschiedlichen Alters. Sie wurden nach der Extraktion zur Desinfektion in eine 0,8%ige Natriumazidlösung gelegt, anschließend von Gewebsresten gereinigt und für die Dauer der Untersuchung in einer sterilen Ringerlösung (DAB-7, SERAG, Wiessner KG, 95112 Naila, Bayern LOT: 3000834) aufbewahrt. Zähne mit sehr tiefen und pulpanahen Läsionen sortierten wir aus.

4.1.1 Einteilung der Gruppen

Um die Effektivität von Carisolv, Smartprep und Biosolv bei der Kariesentfernung zu vergleichen, sollte die Kariesentfernung an extrahierten menschlichen Zähnen mit natürlichen Läsionen in vitro erfolgen. Die Zahnwurzeln wurden 30 s mit 37,5%iger Phosphorsäure Total Etch Gel (Ivoclar Vivadent AG, FL-9494, Schaan, Liechtenstein) angeätzt und in den selbst polymerisierenden Methacrylatkunststoff Technovit (Technovit 4004 Hereus Kulzer, D) eingebettet. Anschließend wurden alle 24 Präparate (Zähne) mit Sekundenkleber (UHU GmbH & Co. KG, Bühl, D) auf die für die Innenlochsäge (Leica SP 1600, Leica Mikrosystems Nussloch GmbH, Nussloch, D) gehörigen Objekthalter geklebt (Abb. 4.1.1A) und mit dieser Innenlochsäge und einem diamantierten Sägeblatt der Dicke 200 µm bei einer Drehzahl von 600 U/min zerteilt. Zudem wurde auf eine ausreichende Wasserkühlung und minimalen

Druck geachtet und die Zähne in ungefähr 10 bis 12 Teile geschnitten.

Das Besondere bei dieser Untersuchung war, dass aus einer Kavität 4-10 Proben mit einer Dicken von ca. 150 µm gewonnen wurden. Das heißt, Proben mit derselben Karies konnten mit unterschiedlichen Methoden behandelt werden. Die einzelnen Schnittpräparate wurden zwischen zwei Objektträgern stabilisiert. Von jedem Zahn wurden die kariösen Schnitte für die Behandlung ausgewählt. Die Schnitte sind nach Zahn und Schnitt nummeriert, z. B. erster Zahn, erster Schnitt (1.1), erster Zahn, zweiter Schnitt (1.2) usw. bis zum letzten Schnitt (Abb. 4.1.1B). Die Läsionen der Zahnschnitte wurden mit

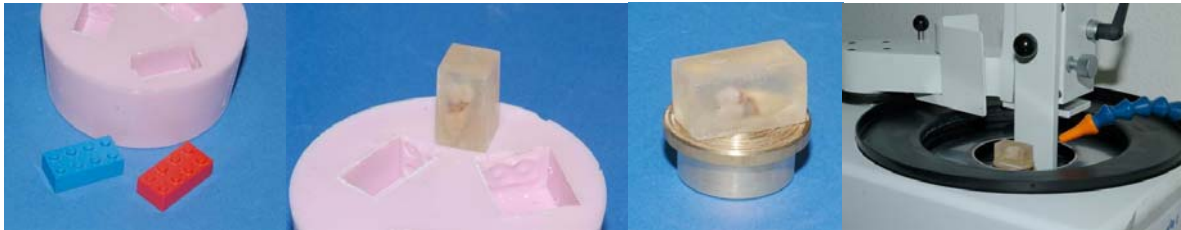
1. Biosolv + Polymerbürste (SFC 3, 3M ESPE AG)
2. Carisolv + Handinstrumente (Medi Team, Sweden)
3. Smartprep (Smartbur, SS White Burs) bearbeitet.

Die Schnitte werden zwischen 2 Objektträgern stabilisiert. Von jedem Zahn wurden für die Behandlung 3 geeignete kariöse Schnitte ausgewählt. Die Kariesläsion wurde mit einem Diamantbohrer eröffnet, um einen guten Zugang zur Dentinkaries zu schaffen, ohne die Karies zu berühren. Dann erfolgte die Applikation von Carisolv, Smartprep oder Biosolv: Carisolv – Behandlung: s. S. 41; Smartprep – Behandlung: s. S. 43 und Biosolv – Behandlung: s. S. 44.

Nach der Behandlung wurde die Kavität mit Wasserspray gespült. Dann wurde die Behandlung der Probe beendet. Die Schnittflächen wurden mit einer Poliermaschine (automatisches Schleif-und-Polier Gerät DAP-7, Struers GmbH, Rodovre, Dänemark) und Diamantspray (DP-Diamantspray P, Spron, Struers GmbH, Rodovre, Dänemark) auf einer Polierscheibe (Polishing Discs, Leco Corporation, St. Joseph, Michigan, USA) bis zum Hochglanz poliert; eine ausreichende Kühlung war durch Befeuchtung mit destilliertem Wasser gewährleistet. Nach der Politur erfolgte die Reinigung mit destilliertem Wasser, um die Proben von Resten des Sprays zu befreien. Dann wurden die Proben mit-

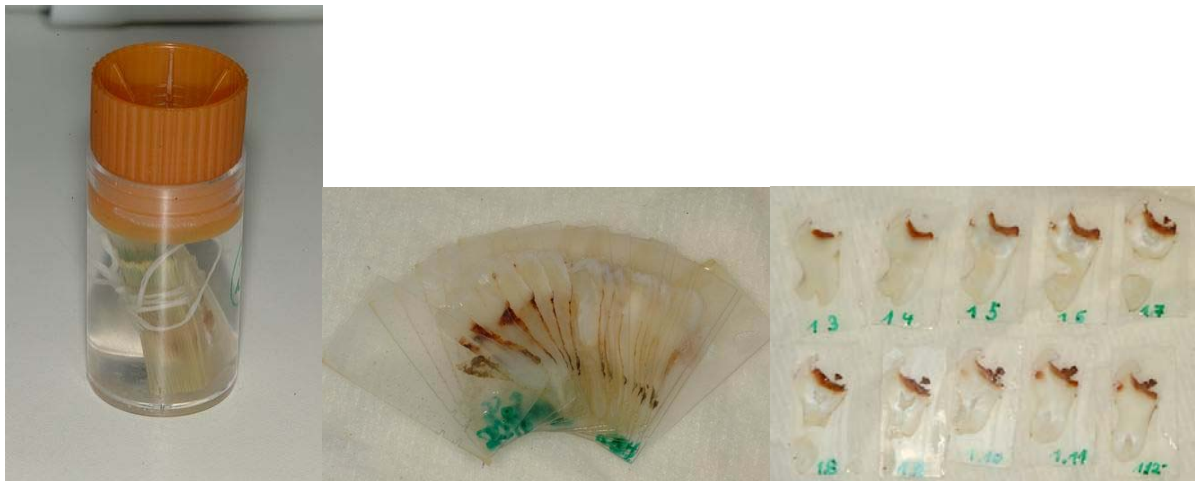
4 Material und Methode

tels Klebefilm (TESA, Beiersdorf, Hamburg, D) auf Objektträgern (Exakt Apparatebau, Norderstedt, D) stabilisiert.



Zahn eingebettet Vorbereitung für Innenlochsäge Innenlochsäge

Abbildung 4.1.1 A: Probenvorbereitung



Schnittpräparaten sind gleich nummeriert und in einer physiologischen Kochsalzlösung gelagert

Abbildung 4.1.1 B: Geschnittene Zähne



Schnittpräparate vor und nach Behandlung

Abbildung 4.1.1 C: Vor der Behandlung und nach der Behandlung

4 Material und Methode

Exkavationsmethoden:

Die kariösen Läsionen der Zahnschnitte

1. In Gruppe 2 wurde das kariöse Dentin chemomechanisch mittels Carisolv (Carisolv®, Medi Team Dental AB, Göteborgsv. 74, Sävedalen, Sweden, SE-43363, LOT: 03-006) und mit speziellen Handinstrumenten (CarisolvTM Instrumente, Medi Team, Sävedalen, Schweden) entfernt.
2. In Gruppe 3 wurde eine der kariösen Läsionen mit Smartprep (Smartbur, SS White Burs) entfernt.
3. In Gruppe 1 erfolgte die Exkavation der Karies nach der neuen Methode mit Biosolv (Biosolv3, 3M ESPE AG, 82229 Seefeld, Deutschland) und Polymerbürste (siehe Abb. 4.1.1C).

4.1.2 Instrumentarium

Biosolv besteht aus zwei chemischen Komponenten und Kunststoffinstrumenten (siehe Abb. 4.1.2 A).



Abbildung 4.1.2 A: Die Kunststoffinstrumente

1. Polymerbürste
2. „Maze Tip“-Instrument
3. Polymerbürste



Abbildung 4.1.2 B: Die Kunststoffinstrumente

1. Linkes Instrument = Maze Tip
2. Rechts Polymerbürste

Im vorliegenden Versuch wurde Biosolv3 (Biosolv3, 3M ESPE AG, 82229 Seefeld, Deutschland) mit den folgenden Chargennummern angewendet:

1. Komponente 1A LOT: BS-IX-155
Komponente 2A LOT: BS-VIII-155,
Verfallsdatum 2/2004
2. LOT: BS-V-0313, Verfallsdatum 4/2005
3. LOT: BS-V-0527, Verfallsdatum 10/2005.

Die Instrumente sind in Abb. 4.1.2A-B dargestellt.

4.2 Kariesentfernung

4.2.1 Vorbereiten von Carisolv

Im vorliegenden Versuch wurde Carisolv® (Carisolv®, Medi Team Dental AB, Göteborgsv. 74, SE-43363 Sävedalen, Sweden) mit den folgenden Chargennummer angewendet:

1. LOT: 03-006
2. LOT: 03-008
3. LOT: 05-001
4. LOT: 05-010.

Die Carisolv Komponenten werden im Kühlschrank gelagert und erst kurz vor Gebrauch auf Zimmertemperatur erwärmt. Daraufhin werden die Inhalte der beiden Röhrchen in einem Dappenglas gemischt. Nach dem Anmischen bleibt das Gel laut den Herstellerangaben für 20 Minuten wirksam, deshalb muss vor für jeder Behandlung ein neues Röhrchen verwendet werden. Diese Darreichung wurde mittlerweile von einer selbstmischenden Doppelspritze abgelöst.

4.2.2 Exkavation mit Carisolv

Das Carisolv System hat zwei Gelkomponenten und vier doppelendige Handinstrumente. Die speziell entwickelten Carisolv^R Handinstrumente mit unterschiedlichen Arbeitsenden gewährleisten eine maximale Exkavation des erweichten kariösen Dentins nach dem Auftragen des Carisolv^R Gels. Die Instrumente sind atraumatisch und gewebeschonend und beschleunigen die Behandlung. Die Arbeitsenden sind verschieden geformt und werden je nach Form und Lage der Kavität ausgewählt.

Das Exkavieren unsere Zahnschnitte erfolgte mit Carisolv gemäß den Herstellerangaben. Auf die dargestellte kariöse Läsion applizierten wir mit dem sternförmigen Carisolv Instrument einen Tropfen des Carisolv Gels. Nach einer Einwirkzeit von 30 s wurde die Kavitätenoberfläche mit dem exkavator-ähnlichen Instrument bearbeitet. Wir begannen es mit dem größtmöglichen Instrument, mit dem alle Stellen der Kavität gut zu erreichen waren; kleinere Instrumente wurden anschließend je nach Bedarf verwendet.

Während des Exkavierens war zu beachten, dass sich immer ausreichend frisches Gel in der Kavität befand, nachdem das von gelöstem Dentin eingetrübte Gel entfernt worden war. Wenn sich neu eingebrachtes Gel nicht mehr eintrübte, wurde die Kavität mit Wasserspray gespült und getrocknet.

4 Material und Methode

Weiche Stellen mussten erneut exkaviert werden. Die Arbeitsenden der Instrumente 1 bis 3 weisen zwei Formen auf; ein löffelförmiges Ende und ein abgerundetes, sternförmiges Ende. Instrument 4 hat am Ende eine stumpfe Sonde (Abb. 4.2.2).



Abbildung 4.2.2: Carisolv Handinstrumente

4.2.3 Kariesexkavation mit Smartprep

Wie herkömmliche Rosenbohrer werden Smartprep-Instrumente in seinem langsam laufenden Winkelstück bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 500 Umin bis 800 Umin (Böck et al. 1989) angewendet. Hier werden für die Untersuchung mit ISO-Größen 018 durchgeführt. Nach Herstellerangaben ist Smartprep in der Lage, kariöses Dentin zu entfernen, während gesundes Dentin nicht angegriffen wird. Die Schneiden aus Polymer nutzen sich bei Kontakt mit gesundem Dentin, ab und werden stumpf. Deswegen jeder Schnitt wurde mit neuem Instrument exkaviert. Smartprep sollen kariös verändertes Dentin schichtweise abtragen und mit leichtem Druck angewendet werden. Das Smartprep (Abbildung 4.2.3) kann aufgrund seiner Konstruktion und seinen Materialeigenschaften zwischen gesundem und kariösem Dentin unterscheiden,

entfernt demnach im Sinne einer schonenden Zahnbehandlung nur erkrankte Zahnschubstanz.



Abbildung 4.2.3: Smartprep

4.2.4 Vorbereiten von Biosolv

Die Biosolv Komponenten werden im Kùhlschrank bei 2 bis 8°C gelagert und erst kurz vor Gebrauch auf Zimmertemperatur erwärmt. Daraufhin werden die Inhalte der beiden Gläschen in einer Eppendorf Kappe gemischt. Nach dem Anmischen bleibt das Gel laut den Herstellerangaben für 60 Minuten wirksam, deshalb muss vor jeder Behandlung neue Lösung angesetzt werden.

4.2.5 Exkavation mit Biosolv

Das Exkavieren der Zahnschnitte erfolgte mit Biosolv gemäß den Herstellerangaben. Auf die dargestellte kariöse Läsion wurde mit dem Maze-Tipp Biosolv Instrument ein Tropfen des Biosolvgels appliziert. Nach einer Einwirkzeit von 60 s wurde die Kavitätenoberfläche mit der „Polymerbürste“ und „Maze Tip“-Instrument (Abb. 4.2.5) bearbeitet.

Während des Exkavierens war darauf zu achten, dass sich immer ausreichend frisches Gel in der Kavität befand, nachdem das von gelöstem Dentin eingetrübte Gel entfernt worden war. Wenn sich neu eingebrachtes Gel nicht mehr eintrübte, wurde die Kavität mit dem Wasserspray gespült und getrocknet. Weiche Stellen wurden erneut exkaviert. Die kariösen Läsionen wurden mit Biosolv und Plastikhandinstrumenten entfernt.



Abbildung 4.2.5: Biosolv Handinstrumenten

4.3 Messung der Mikrohärtte

4.3.1 Aufbereitung der Proben

Die Schnittflächen der eingebetteten Zähne bildeten die Prüfkörperoberflächen. Diese wurden mit Hilfe einer Poliermaschine und Diamantspray auf einem Polierdisk bis zum Glanz poliert (s. S 38). Nach der Politur erfolgte die Reinigung mit destilliertem Wasser und Trocknung mit Druckluft, um die Proben von Resten zu befreien.

4.3.2 Messung

Man unterscheidet statistische und dynamische Verfahren zur Härtemessung. Die Dentinhärte korreliert mit dem Mineralisationsgrad (Featherstone et al. 1983) und ist somit geeignet, demineralisierte Bereiche zu untersuchen. Die Voraussetzung für Messungen der Mikrohärt nach Vickers ist eine planparallele und polierte Oberfläche. Demzufolge wurde die Oberfläche aller zu untersuchenden Proben poliert. Und die Oberflächenhärt nach der Behandlung gemessen. Die Härteprüfung nach Vickers geschieht durch einen senkrechten Eindruck mit einer quadratischen Diamantpyramide: Messung der Eindruckdiagonalen d_1 und d_2 (Abb. 4.3.2 A).

Die Messung der Dentinhärte in den vorliegenden Untersuchungen erfolgte mit dem Mikrohärtmessgerät Fischerscope H100C, Fischer, Sindelfingen (Abb. 4.3.2B). Bei diesem Messsystem zur Mikrohärt wird die Probe auf dem Messtisch positioniert. Es ist eine bis zu 40fache Vergrößerung möglich. Die Daten können von der verwendeten WIN-HCU-Software übertragen werden. Als Eindringkörper wurde eine Diamantpyramide nach Vickers mit 136° Flächenwinkel verwendet. Bei der Messmethode handelt es sich gemäß DIN 50359, DIN EN ISO 14577-1, DIN 55676 und VDI/VDE-Richtlinie um eine „Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter“. Die Formeln der Vickershärte lauten:

$$HV = 0,102 \times F \times 1,8544 / d^2 = 0,189 \times F / d^2 \quad \text{Vickershärte}$$

$$A = d^2 / 2 \times \sin(136^\circ / 2) = d^2 / 1,8544 \quad \text{Oberfläche des bleibenden Eindrucks (Kontaktfläche)}$$

$$D \quad \text{Mittelwert der Diagonalen } d = (d_1 + d_2) / 2$$

$$F \quad \text{Prüfkraft [N]}$$

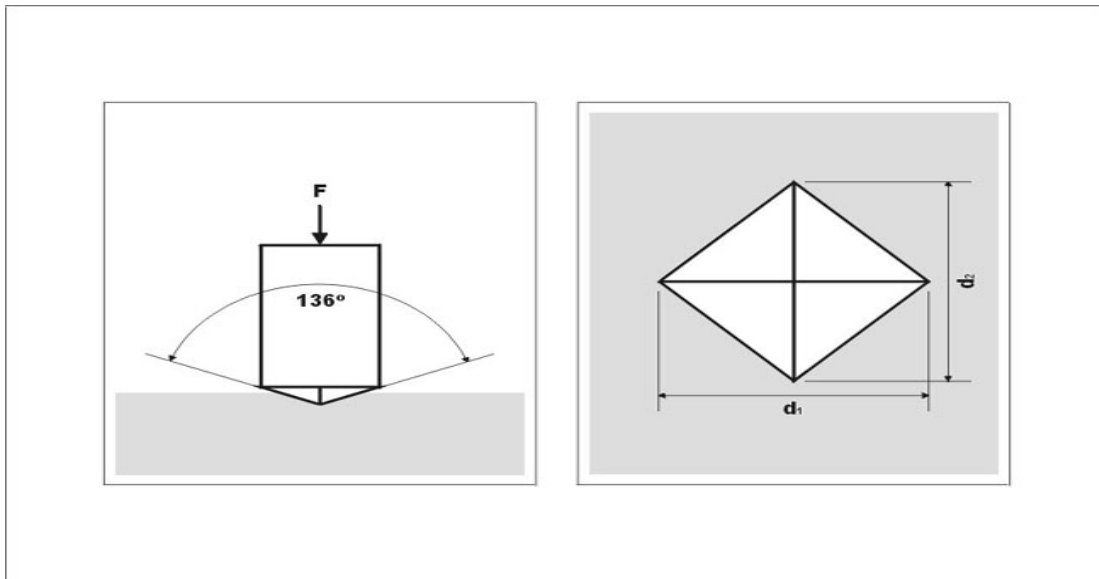


Abbildung 4.3.2 A: Härteeindruck des Eindringkörpers nach Vickers

Bedingungen sind: eine glatte, ebene Probe. Bei jeder Probe wurden zwei Messlinien angelegt, die in gerader Linie vom gesunden Dentin in Richtung kariöses Dentin führten (rote Linie). Die zweite wurde als Vergleichsmessung von dem gesunden Dentin in Richtung gesundes Dentin geführt (blaue Linie), (siehe Abb. 4.3.2 C).



Abbildung 4.3.2B: Härtemessgeräte Fischerscope

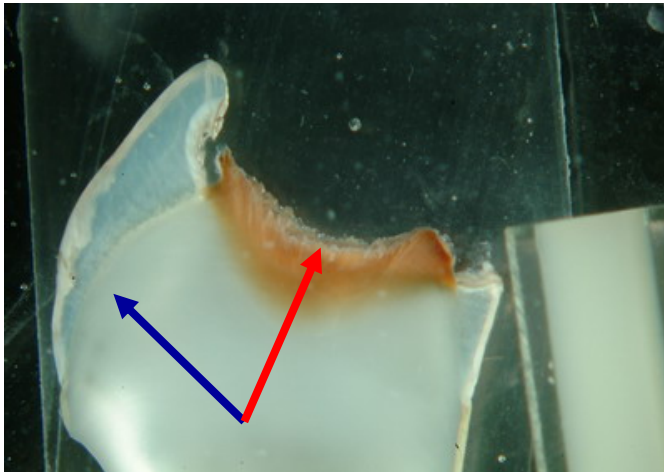


Abbildung 4.3.2C: Messlinie

Die Messung erfolgte durch eine Steigerung der Prüfkraft 0 mN-50 mN, wobei gleichzeitig die Eindringtiefe des Vickersdiamanten gemessen wurde. Die Prüfkraft wurde über eine Zeitspanne von 5 s konstant gehalten. Der Abstand der Messpunkte wurde unabhängig von der Länge der Strecke auf 25 μm festgelegt. Während aller Messungen sorgte ein regelmäßiges Befeuchten der Proben mit steriler Ringerlösung dafür, dass es nicht zum Austrocknen des Dentins kam.

Die Daten mit den Vickershärtewerten der Messspur wurden für die statistische Auswertung exportiert und werden im Folgenden als „HV“ (hardness Vickers) bezeichnet.

4.4 Restdickeuntersuchung mittels Fluoreszenzanalyse

Die Proben wurden im Mikroskop (Abb. 4.4A) untersucht und sowohl vor und als auch nach der Behandlung mit weißem, grünem und rotem Licht fotografiert (Abb. 4.4B), um vorhandene Reste von kariös veränderten Dentin zu ermitteln. Verwendet wurde dabei das Stereomikroskop Stemi SV11 (Carl Zeiss, Oberkochen, D) in Verbindung mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (Fuji Fine

Pix S1 Pro, Fuji Photo Film Europe GmbH, Düsseldorf, D). Als Lichtquelle wurde eine Quecksilberdampfampe (Leuchte HBO 103W, Carl Zeiss, Oberkochen, Deutschland) verwendet.



Abbildung 4.4 A: Autofluoreszenzmikroskopie

Zum Einsatz kamen zwei verschiedene Long-Pass-Filter-Sets:

1. FITC – Zeiss Filter-Set 09 (Ausführung BP 450-490, Beamsplitter FT 510, Emission LP 515, Carl Zeiss, Oberkochen, Deutschland)
2. Texas-Red – Zeiss Filter-Set 00 (Ausführung BP 530-585, Beamsplitter FT 600, Emission LP 615, Carl Zeiss, Oberkochen, Deutschland)

Für die Bestimmung wurden die Schnittbilder entlang einer Linie, parallel zur Härtemesslinie (wegen Korrelation), die dem Grenzbereich zwischen gesundem Dentin und der Karies entspricht, gemessen. Während der Messung wurden alle Auf- und Durchlichtquellen abgeschaltet. Bei den Schnitten wurden alle QLF-Aufnahmen mit einer Belichtungszeit von 30 s angefertigt. Der Raum wurde abgedunkelt.

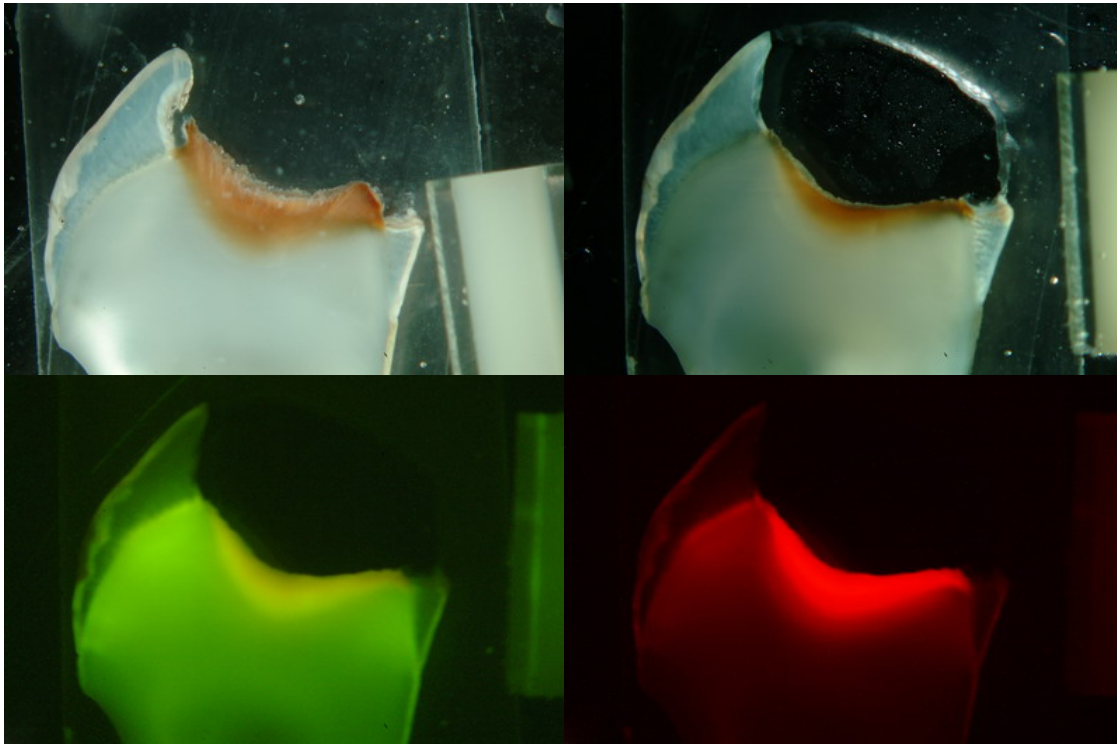


Abbildung 4.4 B: Autofluoreszenz-Fotos

Ausgewertet wurde die reflektierte Lichtintensität der Fluoreszenz des Zahnes. Erfasst wurden die Daten mit der Bildanalysesoftware ImageJ (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA). Die Bilder der Schnittpräparate wurden visuell ausgewertet.

4.5 Mikrozugversuch für Haftfestigkeit

4.5.1 Aufbereitung der Proben

Es wurden 17 extrahierte menschliche Zähne mit kariösen Läsionen ausgewählt. Diese wurden direkt nach der Extraktion zur Desinfektion zunächst eine Woche lang in 0,8%iger Natriumazidlösung, anschließend in steriler Ringerlösung aufbewahrt. Die Zähne wurden mit Biosolv oder Carisolv behandelt und die Karies mit Handinstrumenten entfernt. Nach der Behandlung wurden die

kariösen Läsionen mit Total Etch Gel (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein, Austria) 20 s angeätzt und anschließend Syntac Classic bonding (Ivoclar Vivadent AG) benutzt. Nach der Dentinvorbehandlung wurde die Kavität mit Tetrik Evo CeramA3 (Composite, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein, Austria) restauriert und mit der Polymerisationslampe (Bluephase, FL-9494 Schaan, 12 V DC, Liechtenstein, Ser. No 1547581) 20 s nach Herstellerangaben appliziert (Abb. 4.5.1). Die Zähne wurden anschließend für 24 h bei 37°C in destilliertem Wasser gelagert. Für den Mikrozugversuch (μ -TBST= microtensile bond strength test) wurden die Zähne in Stäbchenform geschnitten. Hierfür wurden parallel zur Zahnlängsachse und mithilfe einer Diamantsäge (Isomet Low speed saw, Buehler, Düsseldorf, D) unter Wasserkühlung Schnitte angefertigt. Die Proben sind 4 bis 5 ca. 1 mm dicke Scheiben pro Zahn und wurden wieder mit der Diamantsäge unter Wasserkühlung in Stäbchenform präpariert. Die Stäbchen wurden anschließend mit einem Sofortklebstoff auf Cyanacrylatbasis (LOCTITE ® 406, Loctite GmbH, München, D) in den Mikrozugaufsatz geklebt und nach 3 min in einer Universalprüfmaschine (MCE 2000ST, Quick test Prüfpartner GmbH, Langenfeld, D) bei einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 mm/min belastet (s. Abb.4.5.1). Es wurden jeweils für die Gruppen Biosolv und Carisolv 23 Stäbchen für den Mikrozugversuch untersucht.

Die für den Bruch der Proben notwendige Kraft wurde gemessen und die Mikrozugfestigkeit berechnet. Mit diesem computergesteuerten System ist eine Dentinhaftbestimmung möglich.

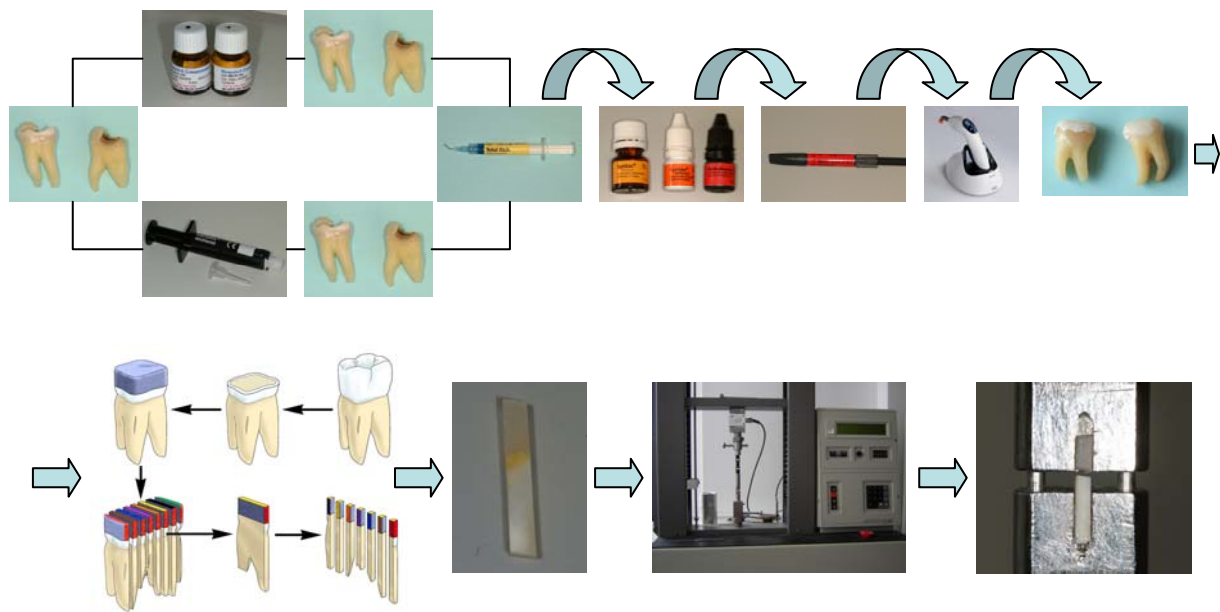


Abbildung 4.5.1: Mikrozugversuch

4.6 Untersuchung mit dem Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Zusätzlich wurde die Morphologie der exkavierten Dentinoberflächen nach der Behandlung mit Biosolv, beziehungsweise dem Carisolv oder Smartprep mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht. Um die Dentinoberfläche nach der Behandlung mit Biosolv, Carisolv oder Smartprep zu untersuchen und eventuelle Unterschiede sichtbar zu machen, wurden einige Proben aus allen Gruppen elektronenoptisch betrachtet. Die kariösen Zähne wurden behandelt und zu REM Proben klein geschnitten. Dann eingebettet in 50% Alkohol für 20 Minuten, und danach in 70%, 80% und 90% Alkohol, die jeweils zwanzig Minuten, und schließlich waren sie gehalten in 96% Alkohol. Nach Perdigao et al. 1995 wurden Proben in Hexamethyldisilasan (HMDS) für 10 Minuten und in der Luft getrocknet bei Raumtemperatur. Jede Probe wurde dann mit „carbon paste“ auf die Probenhalter gefestigt. Danach wurden die Proben im Sputtercoater (Edwards Sputter Coater S150B, Sussex, UK) unter Vakuum und einem Arbeitsdruck von 0,3 atm bei 40 mA Strom 60s lang mit Gold besputtert,

um die für das REM notwendige elektrisch leitende Oberfläche zu erhalten. Die Sputterraten betrug ca. 15 nm/min. Die Oberfläche der Proben wurde unter dem LEO - REM (Leo DSM 982, Carl – Zeiss NTS GmbH, Oberkochen, Deutschland) mit Vergrößerungen zwischen 50x und 50000x abgetastet und mittels Fotos dokumentiert.

4.7 Statistische Auswertung

Alle ermittelten Werte wurden in dem Computerprogramm SPSS 13.1 für Windows erfasst und statistisch ausgewertet.

Begonnen wurde die Auswertung mit dem Vergleich der Ergebnisse der Mikrohärtemessung (HV). Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Messwerte sollten auf die folgenden Stellungen hin getestet werden:

- Abhängigkeit der Messwerte von der Behandlungsart
- Abhängigkeit der Messwerte von der Kavitäten (kariös oder gesund)

Hierzu wurde ANOVA und der Tukey-B post-hoc-Test verwendet.

Des Weiteren wurden für die Haftfestigkeit mit Hilfe von Anova und Weibull-Analyse ausgewertet.

Ein Unterschied wird (bei allen Tests) dann als statistisch signifikant definiert, wenn die Wahrscheinlichkeit p für sein Auftreten kleiner oder gleich der kritischen Irrtumswahrscheinlichkeit α von 5 % ist ($p \leq 0,05$).

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Mikrohärtemessung

Die weiche Zahnschubstanz wurde mit Biosolv schnell gelöst und war einfach zu entfernen. Das dunkle kariöse Dentin wurde weniger schnell gelöst. In solchen Fällen war eine längere Einwirkzeit notwendig. Die Dentinoberfläche erschien nach der Kariesentfernung mit Biosolv im Vergleich zur Carisolv und Smartprep rauher.

Bei allen Proben wurde neben der Messspur durch die kariöse Läsion immer eine zweite (blaue Linie s.S.48) Vergleichsspur im gesunden, unveränderten Dentin angelegt. Die Messungen erfolgten, soweit es die Schnittebene des Präparates zuließ, in gerader Linie von der Pulpa, bis zur Schmelz-Dentin-Grenze.

Zum Vergleich wurden zwei Linien gemessen: Zwischen Zähnen könnte die Härte stark unterschiedlich sein. Die Linie im gesunden Dentin hilft, das zu kontrollieren. Innerhalb eines Zahnes könnte ein natürlicher Härtegradient vorliegen. Durch Vergleichsmessung sieht man den Einfluss von Karies.

Die erstellten Härteprofile nach Vickers zeigten für kariöses wie auch für gesundes Dentin einen charakteristischen Verlauf (s. Abb. 5.1A und B). Bei den Messungen im kariös veränderten Dentin wurde als niedriger Wert 17,7 HV gefunden. Die Vergleichsmessungen in gesundem Dentin wiesen deutlich höhere Werte auf.

Im kariösen Dentin liegt eine geringere Mikrohärtigkeit als im gesunden Dentin vor. In der kariösen Gruppe Biosolv betrug diese 26 HV (Standardabweichung 16,9).

In der kariösen Gruppe Carisolv lag der Wert bei 27 HV (Standardabweichung 17,5) und Smartprep lag bei 37 HV (Standardabweichung 19,4). Die Dentinhärte war nach Exkavation mit Smartprep höher als nach anderen Exkavationen. Im direkten Vergleich der drei Behandlungsarten war die Härte mit Smartprep deutlich höher als bei Proben, die mit Carisolv und Biosolv exkaviert wurden. In der Analyse zeigte sich ein hochsignifikanter Unterschied der Härte zwischen den Messungen im kariös veränderten und gesunden Dentin. Zwischen Biosolv und Carisolv gibt es keinen Unterschied (Abb. 5.1C).

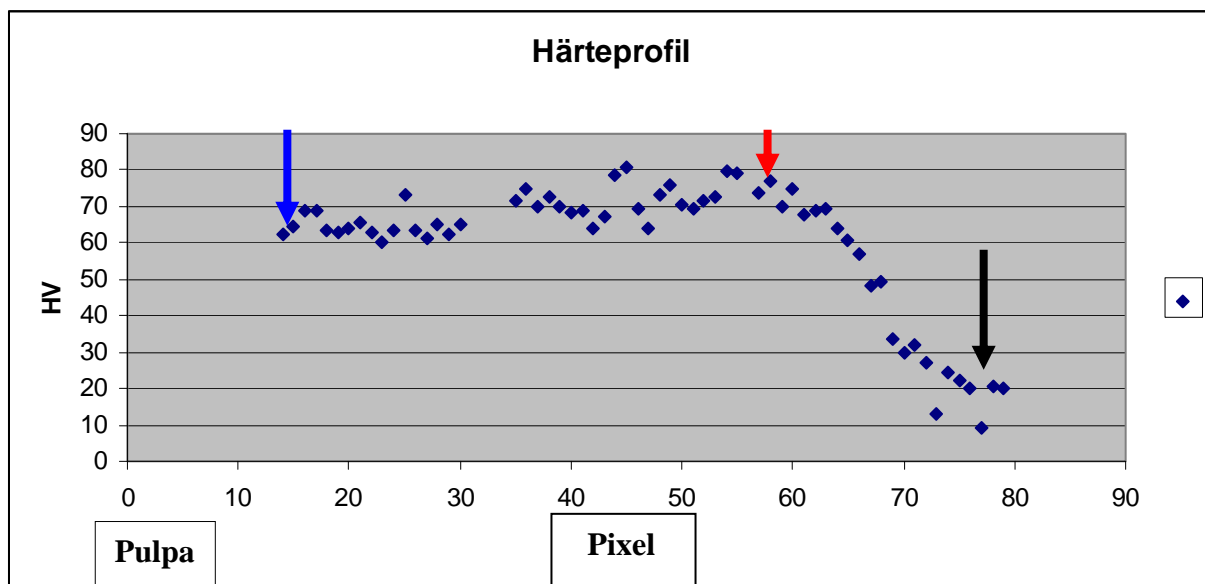


Abbildung 5.1 A: Beispiel Härteprofil nach Vickers (kariös)

y-Achse in HV, x-Achse in Pixel

Zwischen dem blauen und roten Pfeil liegt gesundes Dentin vor, zwischen rotem und schwarzem Pfeil kariöses Dentin. Die Pulpa liegt links des blauen Pfeiles.

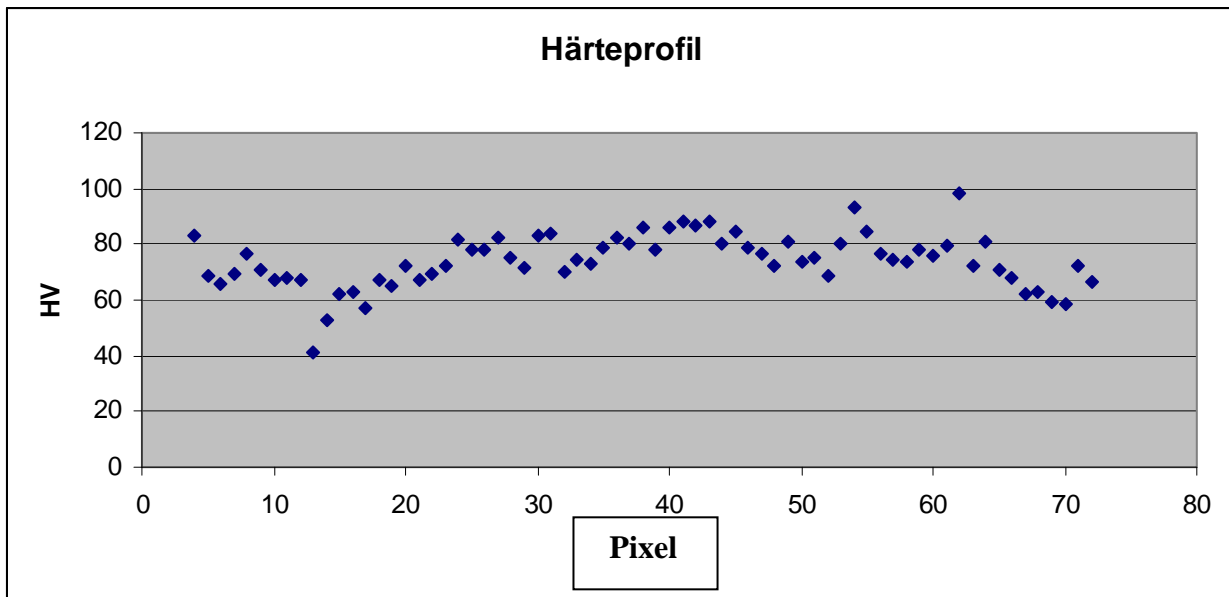


Abbildung 5.1 B: Beispiel Härteprofil nach Vickers (gesundes Dentin)

x-Achse in μm

y-Achse in Pixel, der Abstand zwischen den Pixeln betrug $25 \mu\text{m}$.

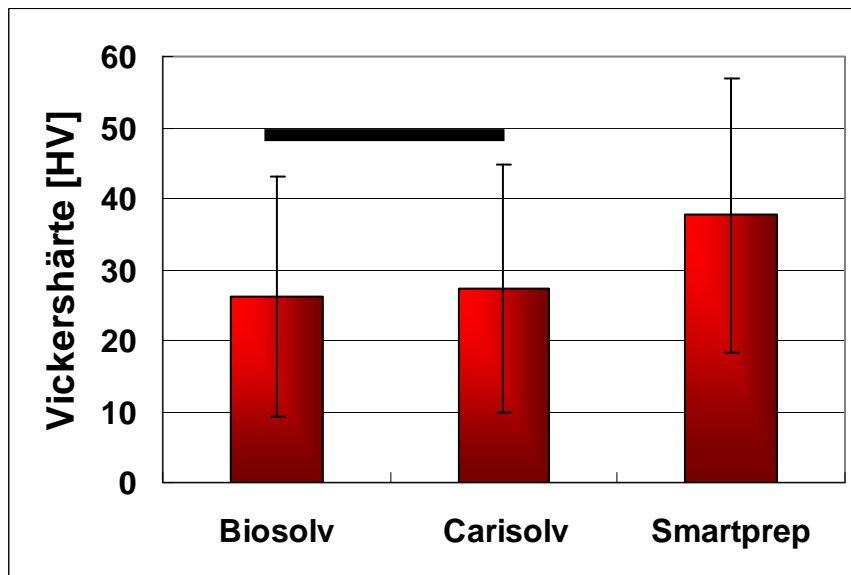


Abbildung 5.1 C: Arithmetische Mittelwerte der Mikrohärtemessung (HV) in 3 Gruppen.

Pro Gruppe wurden 24 Schnitte behandelt. Die schwarze Linie zeigt keine Unterschiede bei beiden Behandlungen. Smartprep unterschied sich hochsignifikant von den beiden anderen Gruppen.

5.2 Ergebnisse der Fluoreszenzanalyse

Die Fluoreszenzbilder mit Behandlung:



Für die Bestimmung wurde auf den Schnittbildern entlang einer Linie parallel zur Härtemesslinie (wegen der zu untersuchenden Korrelation), die der Karies entspricht, die Helligkeit gemessen. Erfasst wurden die Daten mit der Bildanalysesoftware ImageJ (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA). Die Anzahl der Messpunkte auf der x-Achse entsprach der Anzahl der Pixel auf der gemessenen Linie. Anfang und Endpunkt wurden per Hand markiert. Beide Filtersysteme FITC und Texas Red kamen zur Anwendung. Die Biosolv – Proben wiesen 0,9 mm Dicke auf, die Carisolv – Proben 0,6 mm und die Smartprep Proben 0,9 mm Dicke. Die Biosolv und Smartprep sind in einer homogenen Untergruppe. Carisolv – Proben waren signifikant dünner.

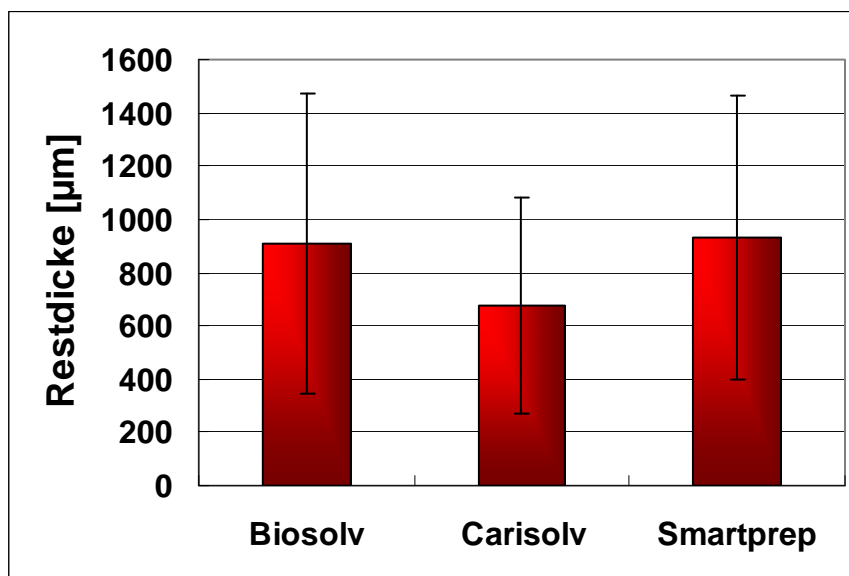


Abbildung 5.2A: Werte der Restdicke aus der Autofluoreszenzmessung (MPa)

Die Fluoreszenzbilder mit Behandlung:



Abb. 5.2.1 Zahnschnitt N 1.3 ohne Filter.

Links vor der Behandlung und rechts nach der Behandlung:
Dieser Schnitt ist mit Carisolv behandelt (30 s) worden.
Links sieht man deutlich viel kariöses Dentin, rechts nach der Behandlung wenig kariöses Dentin.

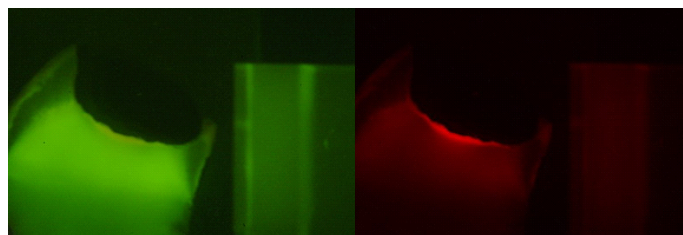


Abb. 5.2.2 Zahnschnitt N 1.3 mit FITC(Grün) und TR(Texas Rot) Filter aufgenommen.

Beide sind nach der Behandlung mit Carisolv aufgenommen worden.
Beim Filter FITC sieht man kariös verändertes Dentin nicht deutlich.
Beim Filter TR sieht man kleine Reste von der Zahnhartsubstanz mit exogenen Fluorophoren.



Abb. 5.2.3 Zahnschnitt N 1.4 ohne Filter.

Links vor der Behandlung und rechts nach der Behandlung:
Dieser Schnitt wurde mit Smartprep behandelt.
Links sieht man deutlich kariöses Dentin.
Rechts sieht man nach der Behandlung wenig kariös verändertes Dentin.

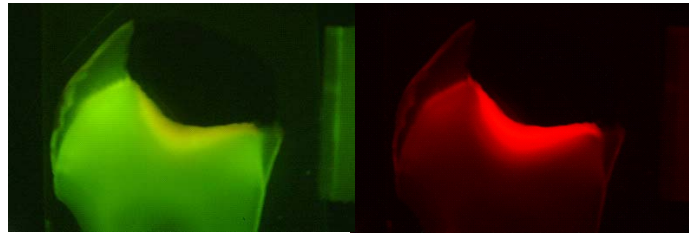


Abb. 5.2.4 Zahnschnitt N 1.4 mit FITC(Grün) und TR(Texas Rot) Filter aufgenommen.

Beide wurden nach der Behandlung mit Smartprep aufgenommen.
Beim Filter FITC sieht man Reste von der Karies undeutlich;
beim Filter TR sieht man eine große Restmenge der Karies.

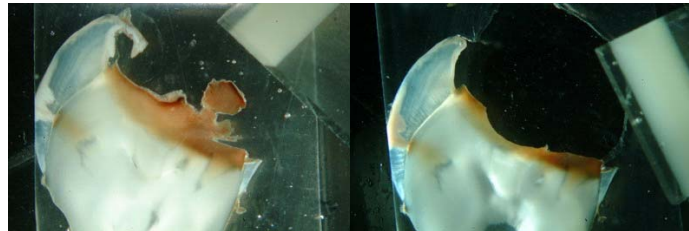


Abb. 5.2.5 Zahnschnitt N 1.10 ohne Filter.

Links vor der Behandlung und rechts nach der Behandlung:
Dieser Schnitt wurde mit Biosolv behandelt (60 S).
Links sieht man viel kariöses Dentin.
Rechts, nach der Behandlung, sieht man wenig kariöses Dentin
Hier kann man anhand der unterschiedlich dicken, braunen
Schicht den ungleichmäßigen Abtrag sehen.

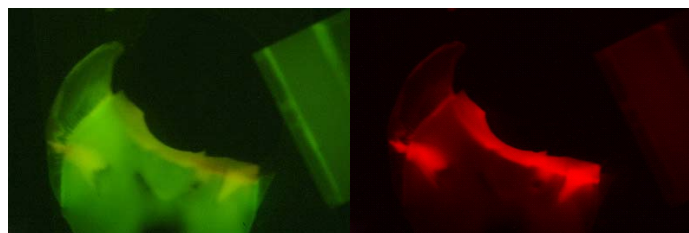


Abb. 5.2.6 Zahnschnitt N 1.4 mit FITC(Grün) und TR(Texas Rot) Filter aufgenommen. Beide wurden nach der Behandlung mit Biosolv (60 S) dokumentiert. Beim Filter FITC sieht man undeutlich Reste der Karies; beim Filter TR ist eine große Restmenge Karies zu erkennen.

Bei allen drei Behandlungen kann man eine autofluoreszierende Zone sehen.
Biosolv, Carisolv und Smartprep sind in einer homogenen Untergruppe.

5.3 Ergebnisse des Mikrozugversuchs

Die Dentinhaftung wurde mit Hilfe einer Universalprüfmaschine gemessen (s.S.51). Die Messung im kariesfreien Dentin, mit Biosolv behandelt, ergab eine durchschnittliche Haftfestigkeit von 43,8 MPa (Standardabweichung 3,2); mit Carisolv behandelt ergab sich eine durchschnittliche Haftfestigkeit von 35,3 MPa (Standardabweichung 4,4). Zunächst wurden die Haftfestigkeitsergebnisse der Kontrollmessungen als absolute Werte miteinander verglichen. Die Dentinhaftung ist nach der Behandlung mit Biosolv (Enzym) höher als nach der Carisolv – Behandlung, beide Werte liegen aber unter der Zugfestigkeit des gesunden Dentins. Gesundes Dentin > Biosolv > Carisolv

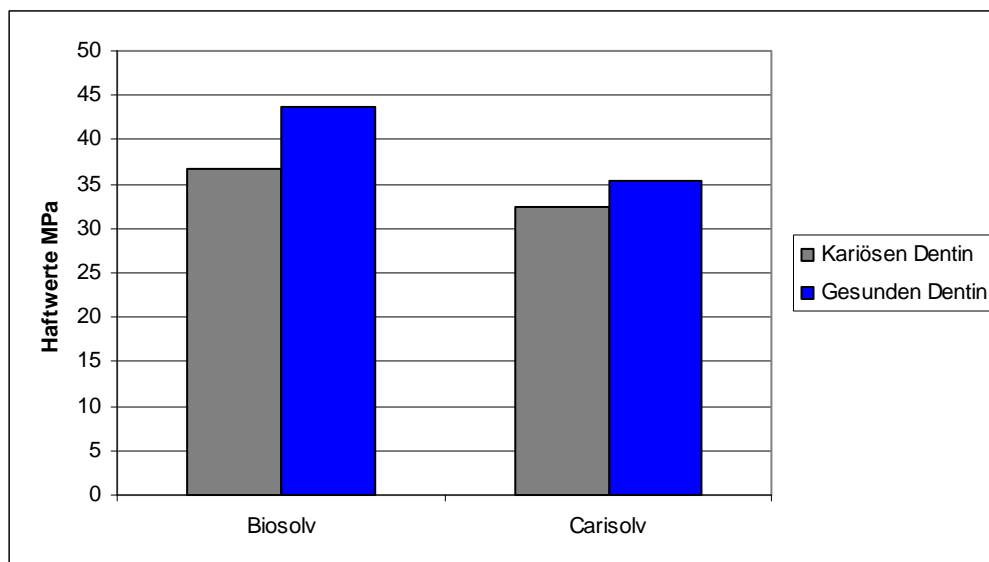


Abbildung 5.3: Die Haftwerte in Mikrozugversuchsmessung

5.4 Ergebnisse der Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Die Dentinoberflächen der Proben, die zuvor mit Biosolv und Carisolv exkaviert wurden, waren deutlich schmierschichtfreier, als die der Proben, welche mit Smartprep exkaviert worden waren. Bei Proben aus der Gruppe Biosolv und Carisolv teilweise waren offene Dentintubuli und nur teilweise „Smear plugs“ erkennbar, während die Dentintubuli bei Proben aus der Gruppe Smartprep

durch eine Schmierschicht verstopft waren. Nach der biochemischen Kariesentfernung mit Biosolv sind offene Dentinkanälchen und teilweise Kollagenfasern zu erkennen. Die Bakterien sind auf allen Oberflächen sichtbar. Nach der Smartprep-exkavation erscheint die Dentinoberfläche verdichtet, es sind verschlossene Dentintubuli sichtbar (Abbildung 5.4 I). Bei stärkerer Vergrößerung (5000x) sind Partikel zu sehen, die die Eingänge der Dentinkanälchen nach Smartprep verstopfen (Abbildung 5.4 E). Die Bilder für Smartprep Kariesentfernung sind in Abbildung 5.4 I wiedergegeben. Nach der chemomechanischen Kariesentfernung mit Carisolv sind offene Dentinkanälchen und keine Schmierschicht sichtbar (Abbildung 5.4 A bis D). Nach der biochemischen Kariesentfernung mit Biosolv sind offene Dentinkanälchen und keine Schmierschicht erkennbar (Abbildung 5.4 K bis O). Bei allen Behandlungen sieht man Bakterien, deren Zahlen unterschiedlich waren.

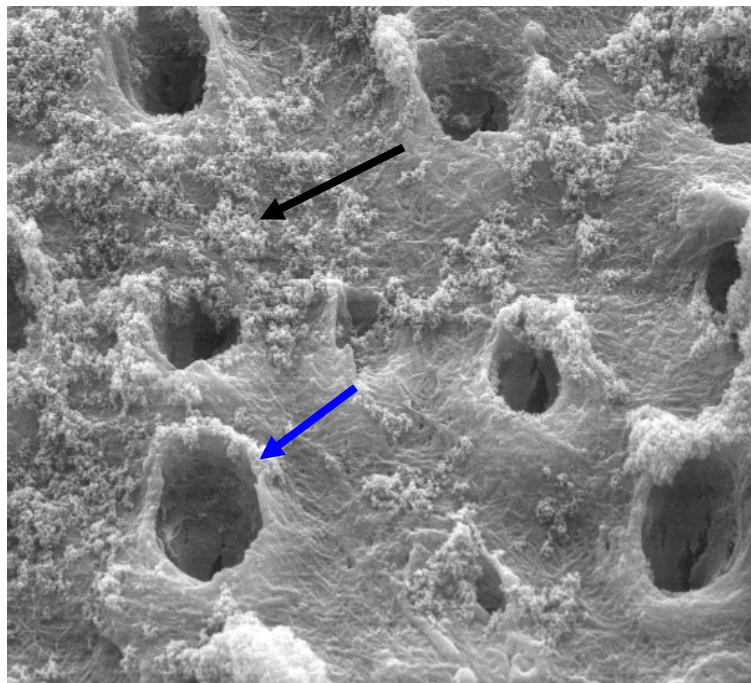


Abb. 5.4A: Dentin nach Behandlung mit Carisolv (REM-Aufnahmen 5000x).

- 1. Schwarzer Pfeil: Reste von Hybridschicht**
- 2. Blauer Pfeil: höhermineralisiertes peritubuläres Dentin**

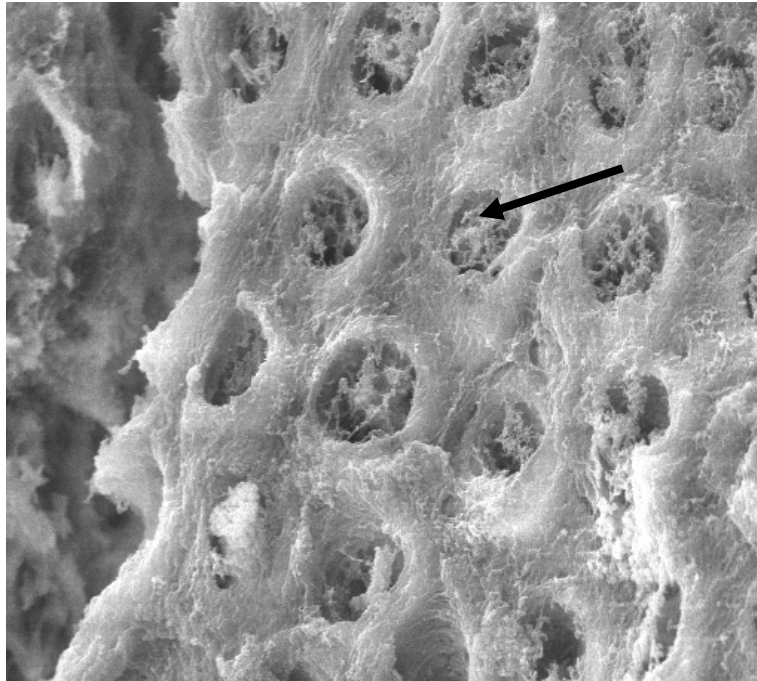


Abb. 5.4D: Dentin nach Behandlung mit Carisolv (REM-Aufnahmen 10000x).

Im Dentintubuli sieht man Reste der Schmierschicht als „Smear plugs“ (schwarzer Pfeil).

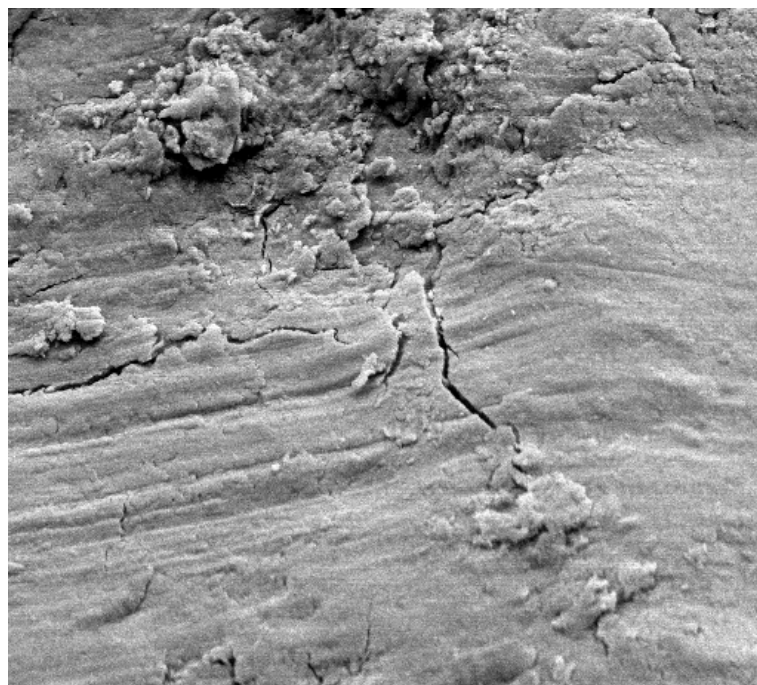


Abb. 5.4I: Dentin nach Behandlung mit Smartprep (REM-Aufnahmen 1000x).

Die Dentinoberfläche ist mit einer Schmierschicht belegt und erscheint glatt, Eingänge der Dentinkanälchen sind nicht erkennbar. Es ist keine offene Dentintubuli sichtbar.

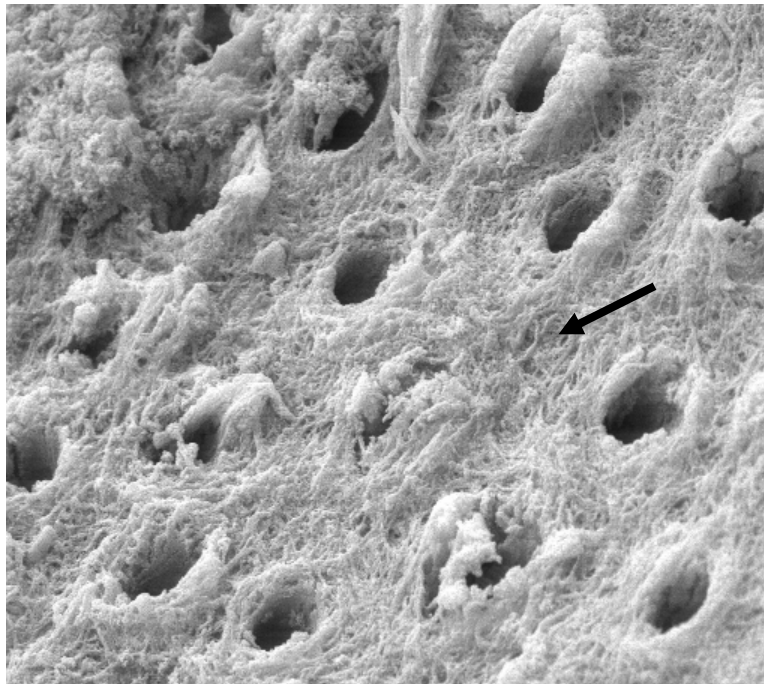


Abb. 5.4K: Dentin nach Behandlung mit Biosolv (REM-Aufnahmen 5000x).

Die Dentinoberfläche ist deutlich schmierschichtfrei, freiliegende Dentintubuli sind erkennbar und offene Dentinkanälchen sichtbar. Der schwarze Pfeil zeigt kollagene Fasern.

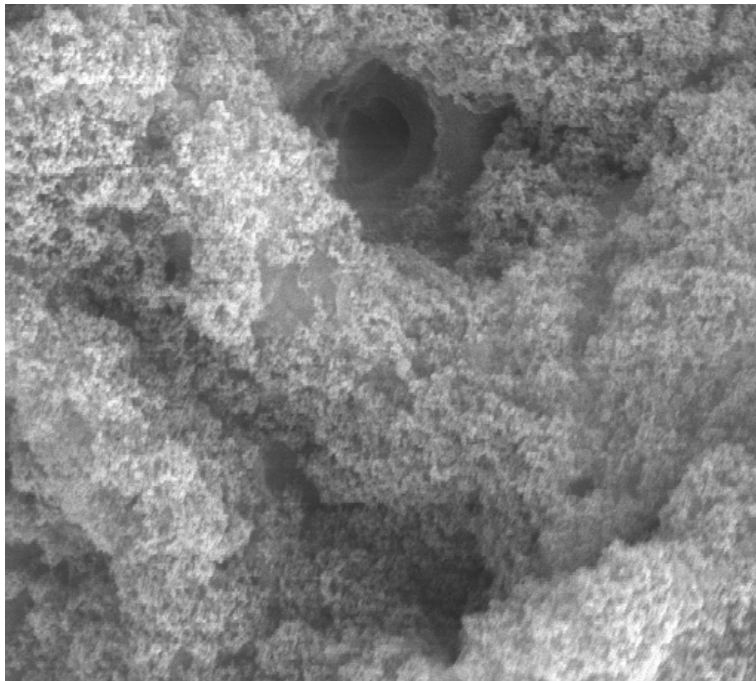


Abb. 5.4L: Dentin nach Behandlung mit Biosolv (REM-Aufnahmen 10000x).

Intertubuläres Dentin ist teilweise demineralisiert.

6 Diskussion

6.1 Material und Methode

Für die Untersuchung wurden kariöse, extrahierte, menschliche Zähne verwendet. Es wurde keine Unterscheidung hinsichtlich Zahnart, Alter und Geschlecht vorgenommen. Die Zähne nach der Extraktion in 0,8%iger Natriumazidlösung gelagert. Diese Art der Desinfektion wird u. a. vom Hersteller von Carisolv™ für In-vitro-Untersuchungen empfohlen. Die Lagerung der fertig eingebetteten Proben erfolgte in einer physiologischen Kochsalzlösung.

Der Einfluss des Lager- und Desinfektionsmediums auf die Untersuchungen ist als gering einzuschätzen. Rautiola und Craig (1961) konnten während einer Untersuchung der Mikrohärtigkeit des Dentins, keinen nennenswerten Einfluss der Lagerung auf die Mikrohärtigkeit feststellen. Die Einbettung der Zähne erfolgte mit Methacrylatkunststoff, wie von Donath et al. 1988 für Proben, die nicht fixiert werden sollen, beschrieben wird. Die weitere Bearbeitung der Proben machte ein Aufkleben der Präparate auf den Objektträgern nötig. Dies sollte allerdings für die Fluoreszenzmessung vermieden werden. In Vorversuchen wurde eine Eigenfluoreszenz der Objektträger ausgeschlossen. Auf die Infiltration des Klebers in kariöses Dentin wurde verzichtet, und Fluoreszenz durch den Kleber zu vermeiden.

Dementsprechend wurden die Schnittpräparate in einem Arbeitsgang mittels Innenlochsäge gefertigt, und die verschiedenen Untersuchungen an den Schnittflächen durchgeführt.

Um die Vollständigkeit der Kariesentfernung zu kontrollieren, wurde im vorliegenden Versuch die Härte des Dentins untersucht.

Die vollständige Entfernung kariösen Dentins zur Vermeidung eines Kariesrezidivs ist schon 1826 von Koecker (Hoffmann-Axthel, Walter 1973)

gefordert worden und stellt bis heute das unbedingt anzustrebende Ziel im Rahmen jeder Therapie dar. Für die Prognose der späteren Restauration und der Erhaltung des Zahnes ist ebenfalls die verbleibende Menge restlicher Zahnhartsubstanz entscheidend. Daher ist die Schonung gesunder Zahnhartsubstanz ein weiteres, wichtiges Ziel der zahnerhaltenden Therapie. Ein allgemein akzeptiertes Verfahren, den Übergang von kariöser und gesunder Zahnhartsubstanz klinisch eindeutig zu unterscheiden und damit eine Kavität als eindeutig kariesfrei bewerten zu können, ist bislang jedoch noch nicht entwickelt worden. Zwar existieren schon seit geraumer Zeit Versuche, Verfahren zur selektiven und damit substanzschonenden Kariesentfernung zu etablieren, jedoch haben diese hinsichtlich Effizienz, Effektivität und Sensibilität bisher nicht überzeugen können.

Klinisch beurteilt wurde eine exkavierte Kavität visuell hinsichtlich Dentinfarbe und deren Oberflächenbeschaffenheit mit einer spitzen Sonde auf Härte. Mittels dieser Methoden kann jedoch weder das kranke noch das gesunde Dentin sicher erkannt werden (Kielbassa 2001), da die Kariesfreiheit eines erkrankten Zahnes meist aufgrund subjektiver visueller und taktiler Kriterien festgestellt wird.

Der Kariesdetektor benetzt bei korrekter Applikation die Kavitätenwände und ermöglicht eine einfache Untersuchung. Al-Schaibany et al. (1996) gestehendem Kariesdetektor in okklusalen Läsionen eine 100%ige Darstellung der Karies zu.

Bei der konventionellen Inspektion mit einer Sonde konnten 25% der Zähne als kariös diagnostiziert werden. Jeder Zahnarzt empfindet aber hart und weich individuell unterschiedlich. Form und Beschaffenheit des Instruments beeinflussen das von der Dentinoberfläche vermittelte Gefühl und darüber hinaus ist es unwahrscheinlich, dass die gesamte Kavität mit der Sondenspitze abgetastet wird.

Um die Vollständigkeit der Kariesentfernung zu kontrollieren wurde im vorlie-

genden Versuch die Härte des Dentins unter dem Kavitätenboden untersucht. Der Zahnarzt beurteilt dieses Kriterium, indem er mit der Sonde den Kavitätenboden überprüft. In meiner Untersuchung jedoch wurde die Kontrolle per Sonde durch die objektive Mikrohärtemessung ersetzt.

Mikrohärte

Die Dentinhärte korreliert mit dem Mineralisationsgrad (Featherstone et al. 1983) und ist geeignet, die demineralisierte Fläche zu untersuchen. Knoop et al. 1939 beschrieb dies als erster, später auch andere Autoren (Rautiola und Craig et al. 1961; Fusuyama et al. 1966; Meredith et al. 1996). Als Voraussetzung für genaue Messungen der Mikrohärt nach Knoop gilt eine planparallele und polierte Oberfläche. Die Oberflächenrauigkeiten würde Messfehler verursachen. Dem folgend wurden alle Proben dieser Studie an einem Schleifsystem parallel ausgerichtet und die untersuchte Oberfläche poliert.

Fusayama et al. 1966 und Ogawa et al. 1983 untersuchten die Beziehung zwischen Härte, Verfärbung und Penetration von Mikroorganismen in kariösem Dentin. In kariösen Dentinbereichen konnte stark verminderte Härte festgestellt werden.

Das Verfahren nach Vickers wurde 1925 durch Smith und Sandland weiter entwickelt. Die Messeindrücke wurden durch den Eindringkörper, einer Diamantpyramide nach Vickers, mit 50 mN für 20 s erzeugt. Der Abstand der Messpunkte wurde in dieser Untersuchung unabhängig von der Länge der Meßstrecke auf 25 µm festgelegt.

In meiner Messung endete die Messung 25 µm unterhalb der Oberfläche, da sich Messfehler ergeben würden, sobald der Messaufsatz A über die Kante der Probe ragt (Abb. 6.1).

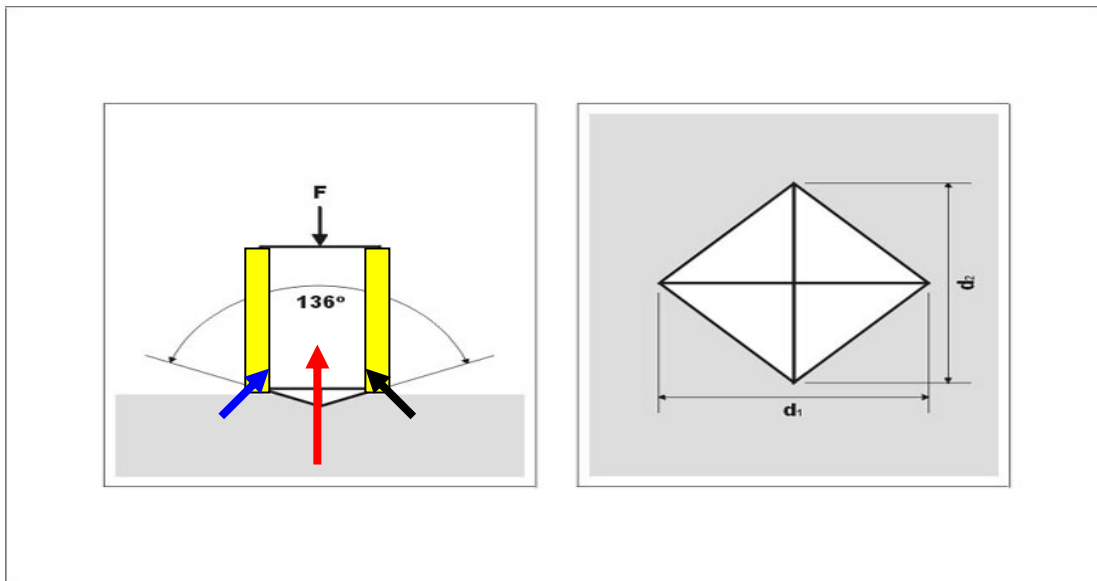


Abb. 6.1: Mikrohärte Messung

**Der blaue Pfeil ist der Messaufsatz A und der schwarze Pfeil der Messaufsatz B.
Der rote Pfeil zeigt den Diamantkörper.**

Zu erwähnen ist, dass Knoop+Vickers unterschiedlich geformte Diamantpyramiden verwendet haben. Die Knoop-Diamantform beträgt $172,5^\circ$ für die lange und 130° für die kurze Seite der rhombischen Form. Um die Vickershärte zu messen, wird eine gleichseitige Diamantpyramide mit einem Öffnungswinkel von 136° unter einer festgelegten Prüfkraft in das Werkstück eingedrückt. Der Abstand der Messpunkte betrug bei den Knoop Untersuchungen $50\text{ }\mu\text{m}$ und bei Vickers $25\text{ }\mu\text{m}$, wobei die Differenz von $25\text{ }\mu\text{m}$ nicht so schwerwiegend ist. Damit fand eine Orientierung an den Versuchs von Fusayama et al. (1966), Ogawa et al. (1983), Featherstone et al. (1983) statt, die auf diesem Gebiet die ersten Ergebnisse erzielten. Fusayama et al. (1966) untersuchten die Beziehung zwischen Härte, Verfärbung und Penetration von Mikroorganismen in kariösem Dentin und die Mikrohärte von kariesfreien Zähnen in einer Tiefe von $450\text{ }\mu\text{m}$ unter der Schmelz-Dentin-Grenzfläche mit 70 KHN. Im kariösen Dentin konnte eine stark verminderte Mikrohärte festgestellt werden.

In einer Entfernung von 100 μm zur Pulpa besaß gesundes Dentin eine Härte von 20 KHN und war so weich wie kariöses Dentin.

Der hier ermittelte Universalhärtewert HU wurde mit Software des Herstellers in den Vickershärtewert umgerechnet. In der Literatur findet meist die Härtemessung nach Knoop ihre Anwendung, da es mit optischen Härtemessungen einfacher ist, den Knoop-Härteindruck zu erkennen.

Restdickenuntersuchung mit mittels Fluoreszenzanalyse

Bei der histologischen Untersuchung im Auflichtmikroskop konnten alle Strukturen, auch kariöses Dentin, erkannt werden. Hier wurden zwei verschiedene Filtersysteme (FITC – Zeiss Filter-Set 09 und Texas-Red – Zeiss Filter-Set 00) verwendet. Ein ähnliches Vorgehen mit unterschiedlichen Filtersystemen und der Untersuchung von Schnittpräparaten wird von Shigetani et al. 2003 beschrieben. Sie verwendeten verschiedene (UV: Ex 380-420 nm/ Em 450 nm; FITC: Ex 465-495 nm/ Em 515-555 nm; Cy5: Ex 590-650 nm/ Em 663-735 nm) Filtersysteme für die Fluoreszenzuntersuchung von Schnittpräparaten. Sie untersuchten nur 9 Proben von denen 4 keine Dentinkaries aufweisen. Die Dicke der Proben betrug 50 μm und verwendeten einen He-Ne-Laser als Lichtquelle. Weitere Autoren, die ebenfalls Fluoreszenzuntersuchungen an Schnittpräparaten durchführte sind Van der Veen und ten Bosch et al. 1996. Die Dicke ihrer 6 Präparate mit in vitro Karies betrug 130 μm . Sie verwendeten einen Argonlaser als Lichtquelle. Um genauere Aussagen treffen zu können, erfolgte in der hier besprochenen Untersuchung die Auswertung der Fluoreszenzintensität für die Bestimmung der Grauwerte. Das wird auch von Hafstrom-Bjorkman et al. (1992) beschrieben. Hier ist die getroffene Aussage ohne Angabe von konkreten Werten. In meiner Studie betrug die Dicke 150 μm . Als

Lichtquelle diente eine Quicksilberdampflampe.

Mikrozugversuch für Haftfestigkeit

Die Verbundfestigkeit ist eine wichtige Eigenschaft dentaler Füllungsmaterialien. Verbundfestigkeitsmessungen werden von Buonocore et al. 1955 weiterentwickelt.

Die Verbundfestigkeit ist durch unterschiedliche Versuchsanordnungen gemessen werden. Unterschieden werden müssen der Zugversuch und der Scherversuch. Der Zugversuch wurde von Sano et al. (1994) zum Mikrozugversuch weiterentwickelt. Bei Zugversuchen kommt es zu Spannungsmaxima an den Randbereichen (van Noort et al. 1989). Die Anzahl von Frakturen verringert sich, wenn der Zugversuch mit Proben mit kleinen Verbundflächen durchgeführt wird (Sano et al. 1994, Phrukkanon et al. 1998, Tanumihaja et al. 1999). Weitere Eigenschaften sind die Möglichkeit, Verbundfestigkeiten am Zahn zu messen, Mittelwert und Streuung für einen Zahn errechnen zu können und den Einfluss veränderten Dentins auf die Verbundfestigkeit messen zu können (Pashley et al. 1995).

Zusätzlich trocknen die Proben wegen ihrer kleinen Größe leicht aus, so dass sie immer feucht gelagert werden müssen (Pashley et al. 1995). Die gewählte Fläche von 1,5 mm² wird als geeignet beschrieben (Phrukkanon et al. 1998). Die Ergebnisse verschiedener Versuchsansätze zur Verbundfestigkeit lassen sich wegen der ungleichen Wirkung auf die Proben nicht vergleichen (Friedl et al. 1995, van Noort et al. 1989). Das lässt darauf schließen, dass sich die Ergebnisse von Mikrozugversuchen wegen der Verschiedenheit der Anordnungen nicht direkt miteinander vergleichen lassen.

Zur Herstellung der Proben wurden extrahierte menschliche Molaren verwendet.

Um das Mundmilieu im Bezug auf die Höhe der Temperatur und die Feuchtigkeit zu simulieren, wurden die Proben im Wärmeschränk bei 37° C gelagert. Alle Arbeitsschritte wurden durchgeführt, wie es der klinischen Praxis entspricht. Materialien, Instrumente, Verarbeitungszeiten und Techniken von Applikation wurden, wie in einer realen Behandlung angewandt. Die Zahnscheibchen wurden zwischen zwei Objektträgern stabilisiert, um Frakturen zu vermeiden.

Elektronenoptische Untersuchung

Die Proben können nach Entziehen der in ihnen enthaltenen Flüssigkeit mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht werden. Deshalb wurden in der vorliegenden Untersuchung extra Proben angefertigt.

Die Proben waren in 50%, dann in 70%, 80% und 90% Alkohol (jeweils für 20 min), schließlich die ganze Nacht in 96% Alkohol eingelegt. Die Proben werden mit Hexamethyldisilazane für 10 min behandelt und danach wurden sie an der Luft bei Raumtemperatur nach Perdigao et al. (1995) getrocknet. Gold unter Vakuum und unter einem Arbeitsdruck von 0,3 atm bei 40 mA Strom 60 s lang besputtert, um die für das REM notwendige Oberfläche zu erhalten (Sputtercoater S15OB Edwards, Sussex, UK).

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Mikrohärtemessung

Die Messeindrücke wurden durch Belasten des Eindringkörpers, einer Diamantpyramide nach Vickers, mit 50 mN für 20 Sekunden erzeugt. Der Abstand der Messpunkte war unabhängig von der Länge. Somit fand eine Orientierung an den Versuchsbedingungen von Fusayama et al. (1966), Ogawa et al. (1983), Featherstone et al. (1983) statt, die auf diesem Gebiet die ersten Ergebnisse erzielten. Sie zeigten die Härte nach Knoop unter einer Belastung von 50 Gramm für 15 s. Der Abstand der Messpunkte betrug bei den Knoop Untersuchungen 50 µm. Knoop+Vickers haben unterschiedlich geformte Diamantpyramiden benutzt. Darum sind die Härtezahlen unterschiedlich. Aber sie drücken den gleichen Zusammenhang aus. Je nach Lage des Messpunktes werden die Prüfkkräfte zwischen 147 mN bis 980 mN, auch von Banerjee et al. (1999), verändert. Diese Änderung der Prüfkkräfte innerhalb einer Messung ist bei dieser Untersuchung wenig sinnvoll gewesen. Die Dentinhärte korreliert mit dem Mineralisationsgrad (Feathersone et al. 1983) und ist somit geeignet, demineralisierte Bereiche qualitativ zu untersuchen. Das Untersuchen der Mikrohärte von Dentin wurde von Knoop (1939) und später von zahlreichen anderen Autoren beschrieben (Craig und Peyton, 1958; Rautiola und Graig, 1961; Fusuyama et al. 1966; Davidson et al. 1974; Schemel, Hummel, Krekeler 1984; Meredith et al. 1996).

Terashima et al. 1969 fanden heraus, dass erfahrene Zahnärzte kariöses Dentin mit Handexkavatoren nur bis zu einer Knoop-Härte (Knoop-hardness-numbers, KHN) von 22,8 KHN und mit einem langsam drehenden Rosenbohrer nur bis zu 28,4 KHN entfernten, wobei sie die Kavität ausschließlich mit einer Sonde

kontrollierten. Dies bedeutet eine Differenz von 40 KHN zu der von Craig et al. 1959 beschriebenen durchschnittlichen Knoop-Härte (68 KHN) bei gesundem Dentin. Den Grund für diese Differenz sehen Terashima et al. 1969 zum einen in einer deutlichen Diskrepanz zwischen der Oberflächenbeschaffenheit von Dentin und dessen experimentell ermittelten Härtewerten und zum anderen in der Subjektivität der konventionellen Untersuchung mit Spiegel und Sonde. Schulz et al. 1991 fanden für Dentin durchschnittlich niedrigere Werte als Craig et al. 1959. Sie beschrieben bei kariesfreien Zähnen für Reizdentin 4,7 KHN, pulpanahes Dentin 10,1 KHN, Dentin 24,8 KHN und schmelznahes Dentin 32,8 KHN. Die Zonen einer Dentinkaries weisen folgende Härtewerte auf: Penetrationszone 3,3 KHN, Demineralisationszone 7,2 KHN, dead tracts 12,4 KHN und sklerotisches Dentin 20,4 KHN. Nach diesen Ergebnissen hätten die Probanden in der Untersuchung von Terashima et al. 1969 bis in die Zone der Sklerose bzw. des gesunden Dentins exkaviert.

Dentin reagiert sehr empfindlich auf Austrocknung. Durch den Mineralverlust der organischen Matrix kann ein Einfallen der Oberfläche beobachtet werden (Ten Cate et al. 1991). Wird die Untersuchung unter feuchten Bedingungen vorgenommen, kann dies verhindert werden (Van Strijp et al. 1995).

Dentinhärte:

Ogawa et. al. (1983) untersuchten die Beziehung zwischen Härte und Verfärbung durch Mikroorganismen im kariösen Dentin und gaben die Mikrohärtigkeit von kariesfreien Zähnen in Schmelz-Dentin-Grenze mit 70 KHN an. Im kariösen Dentinbereich konnte stark verminderte Mikrohärtigkeit festgestellt werden. In der Pulpakammer hat gesundes Dentin eine Mikrohärtigkeit von 20 KHN

und war sehr weich etwa wie kariöses Dentin. Die Dentinhärte der Kontrollmessung im gesunden Dentin war mit 42 KHN am höchsten (Schemel et al, 1984; Meredith et al, 1996).

Die von den verschiedenen Autoren ermittelten Messwerte weisen zwar im Einzelnen eine gewisse Streuung der absoluten Werte auf, sind jedoch miteinander vergleichbar. Erwartungsgemäß war die Mikrohärtigkeit aller Proben im kariös veränderten Dentin geringer als die der Kontrollmessung im gesunden Dentin. Von mehreren Autoren wurde berichtet, dass gesundes Dentin in der Nähe der Pulpa eine geringere Mikrohärtigkeit als im Zentrum des Dentinmantels aufweist (Craig et al. 1959, Fusuyama et al. 1969, Meredith et al. 1996, Hahn et al. 2001). Das haben wir auch beobachtet. Das gesamte Dentin wird von Dentinkanälchen durchzogen (Thomas et al. 1985). Die Zahl der Dentinkanälchen nimmt von der Pulpa zur Schmelz-Dentin-Grenze ab. Sind an der Pulpa-Dentin-Grenze im Durchschnitt 45000 mm² vorzufinden, degradiert sich diese Zahl bei 3 mm Abstand von der Pulpa auf 20000 mm². In Pulpennähe ist die Dichte der Dentinkanälchen am höchsten. Der Durchmesser vermindert sich von 2-3 µm an der Pulpa auf 0,5-0,9 µm an der Schmelz-Dentin-Grenze (Garberoglio und Brännström 1976). Dies erklärt die geringen Durchschnittswerte von Messungen im Dentin unter tiefen Kavitäten. Deswegen ist es schwer anhand der Härte zwischen pulpanahen und kariösen Anteilen zu unterscheiden. In einer Studie von Hahn et al. 2001 wurde die Effektivität von Carisolv mit einem Rosenbohrer verglichen. Beide Behandlungsarten sind mit einer Sondenkontrolle vergleichbar. Die Autoren sagen zum Schluss, dass nach Carisolv-Behandlung remineralisierbares Dentin belassen wird, so dass die Exkavation schonender ist. Im vorliegenden Versuch wurde die Mikrohärtigkeit unter dem Kavitätenboden der mit Biosolv exkavierten Proben mit den Werten der Kontrollgruppe und dem arithmetischen Mittel der Kontrollmessungen im

kariesfreien Dentin (= 52,3 HV) verglichen. Der Gesamtmittelwert der Messwerte, die unter der exkavierten Kavität ermittelt wurden, lag bei 26 HV. Diese Mikrohärtewerte lagen deutlich unter den in der Literatur angegebenen Zahlen für kariesfreie Zähne.

Terashima et al. (1969) fanden heraus, dass erfahrene Zahnärzte kariöses Dentin mit Handexkavatoren nur bis zu einer Knoop-Härte (Knoop-hardness-numbers, KHN) von 22,8 KHN und mit einem langsam drehenden Rosenbohrer nur bis zu 28,4 KHN entfernten. Bei Anwendung moderner Adhäsivsysteme wird die Haftkraft von Kompositen durch die Exkavation mit Carisolv nicht negativ beeinflusst.

6.2.2 Restdickenuntersuchung mittels Fluoreszenzanalyse:

Banerjee et al. 1998 verglichen die Autofluoreszenz mit dem im BSE-SEM (digital backscattered scanning mikroskopy) bestimmten Mineralgehalt. Hier erfolgte die Aussage ohne Angabe von genauen Werten. Banerjee et al. (1999) beschrieben den Zusammenhang zwischen histologischen Veränderungen, Härte und Autofluoreszenz: Die Autofluoreszenz korreliert mit erweichtem braunem Dentin und endet oberhalb der transluzenten Zone im hellbraun verfärbten, leicht erweichten Dentin.

Wird ein Zahn kariös, so nimmt die Fluoreszenz in dem Bereich der Läsion ab. Die Ursache sind Fluorophore aus der Mundhöhle, z.B. Farbstoffen aus der Nahrung oder Bakterienabbauprodukte. Dann wird die Fluoreszenz in der Läsion größer als im gesunden Dentin. Das heißt: Die Dicke der Fluoreszenz ist korreliert mit der Dicke des „affected“ Dentins. In meiner Studie wurden bei einem Zahn drei verschiedene Behandlungen durchgeführt. Damit wurde die Dicke der Fluoreszenzschicht verglichen.

In meiner Untersuchung wird keine Stahlbohrergruppe untersucht. Die Stahlbohrer können nur bei ganzen Zähnen eingesetzt werden. Karies ist sehr variabel: remineralisiert oder nicht, aktiv oder arretiert. Deswegen wären sehr viele Zähne für die Untersuchung erforderlich. Außerdem ist der Stahlbohrer härter als Dentin. Er kann mühelos bis in gesundes Dentin exkavieren. Wir würden mehr die Anwendung und die Erfahrung des Zahnarzts beurteilen, als den Stahlbohrer, so dass auf diese Gruppe verzichtet wurden.

In meiner Untersuchung zeigt sich, dass 800-900 µm Zahnhartsubstanz erhalten werden kann, wenn mit selbstlimitierender Kariesexkavation gearbeitet wird.

6.2.3 Mikrozugversuch für Haftfestigkeit:

Bei Anwendung moderner Adhäsivsysteme wird die Haftkraft von Kompositen durch die Exkavation mit Carisolv und Biosolv nicht negativ beeinflusst. Ohne Anwendung der „total etch“ Technik sind die Haftfestigkeitswerte nach Exkavation mit Carisolv und Biosolv größer als nach Smartprep Exkavation. Durch die Vorbehandlung des Dentins mit Phosphorsäure oder selbst ätzenden Primern werden die von der Exkavationsmethode verursachten Unterschiede ausgeglichen (Haak et al. 2000).

In meiner Studie ergab die Messung im kariesfreien Dentin für Biosolv eine durchschnittliche Haftfestigkeit von 43,8 MPa (Standartabweichung 3,2); mit Carisolv ergab sich eine durchschnittliche Haftfestigkeit von 35,3 MPa (Standartabweichung 4,4). In den Untersuchungen von Yoshiyama et al. (2002) betrugen die Höhen der Haftwerte 45 MPa, bei nach nicht ganz vollständiger Kariesexkavation 30 MPa und bei infiziertem kariösem Dentin 10 MPa.

Die Biosolv- und Carisolv-Haftwerte sind niedriger als gesundes Dentin. Aber Carisolv hat in den klinischen Studien (McInnes-Ledoux, Ledoux und Weinberg

1987) sehr gute Ergebnisse gezeigt. Die Haftung ist somit bei Carisolv kein Problem, bei Biosolv war sie im Mikrozugversuch besser als bei Carisolv. Daher ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass auch Biosolv klinisch erfolgreich sein müsste.

6.2.4 Rasterelektronenmikroskopie:

Die Bilder aus der Rasterelektronenmikroskopie Untersuchung zeigten bei den Kavitäten, die mit Biosolv und Carisolv exkaviert worden waren, eine raue Dentinoberfläche mit erkennbar freiliegenden Dentintubuli.

Bei den Kavitäten, die mit Smartprep bearbeitet wurden, waren die Eingänge der Dentintubuli nicht erkennbar. Dies liegt offensichtlich an der Auflagerung, dem „smear layer“, der bei der Smartprep Exkavation stärker ausgeprägt ist als bei chemomechanischer Exkavation mit Carisolv (Haffner 1998, Becker 1998, Splieth et al. 1999). In einer Studie über die Auswirkung von Carisolv auf die Oberflächentopografie von gesundem Dentin wiesen Cederlund et al. 1999 einen homogenen „smear layer“ auf der mit Carisolv behandelten Dentinoberfläche nach. Es ist aber zu beachten, dass die Zähne nicht kariös verändert waren, sondern bis auf die Dentinoberfläche heruntergeschliffen wurden.

Die Oberflächenrauigkeit chemomechanisch und biochemisch behandelter Kavitäten lässt einen besseren Haftverbund erwarten, als die Rosenbohrer Exkavation (Mc Innes-Ledoux 1986).

7 Schlussfolgerungen

Bei der Kariesentfernung mit Biosolv und Carisolv wird remineralisierbares Dentin belassen, welches bei der Rosenbohrerexkavation unnötigerweise entfernt werden könnte. Die Gefahr einer Pulpaeröffnung ist somit mit Biosolv und Carisolv geringer. Das Problem residueller Bakterien ist durch Desinfektion lösbar. Die Härte ist geringer als bei konventioneller Exkavation, wodurch die klassische Kontrolle der Exkavation mit einer Sonde entfällt.

Nach der biochemischen Kariesentfernung mit Biosolv bleibt am Kavitätenboden ein breiterer Bereich demineralisierten Dentins zurück als nach Carisolv und Smartprep Exkavation. Dies entspricht einer Substanzschonung, da dieses Dentin das Potential zur Remineralisation hat.

Die Oberfläche chemomechanisch und biochemisch behandelter Kavitäten lässt einen besseren Haftverbund erwarten. Die Schmierschicht hat Einfluss auf die Haftfestigkeit, von beispielsweise selbstätzenden Dentinadhäsiven. Total-Etch-Systeme kompensieren diesen Nachteil, weil die Phosphorsäure die Schmierschicht vollständig löst. Bei milden selbstätzenden Systemen könnte aber die Haftung durch Smearplugs und Schmierschicht reduziert sein.

Biosolv stellt eine Möglichkeit dar, Karies selektiv zu entfernen und remineralisierbare Zahnhartsubstanz zu schonen.

In unsere Studie konnte gezeigt werden, dass mind. 800-900 μ Zahnhartsubstanz erhalten werden können, wenn nicht bis in gesundes Dentin exkaviert wird. Die Dentinhaftung an dieser Oberfläche ist höher als bei dem klinisch erfolgreichen Produkt Carisolv, so dass von einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit ausgegangen werden kann.

8 Zusammenfassung

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, ein Verfahren zur selektiven Kariesentfernung in vitro zu untersuchen und es anschließend mit bisher genutzten Vorgehensweisen zu vergleichen.

24 Zähne mit Dentinkaries wurden in drei Behandlungsgruppen eingeteilt. Die Zähne wurden mit einer wassergekühlten, diamantierten Innenlochsäge geschnitten. Die Schnittflächen wurden jeweils parallel geschliffen und poliert. Die Zähne wurden während des gesamten Versuchablaufs in Ringerlösung gelagert.

Die Mikrohärtة der Proben wurde nach der Behandlung kontrolliert. Die Vickershärtة des Dentins wurde unter dem Kavitätenboden gemessen, sowie im gesunden Dentin. Die Diamantpyramide nach Vickers wurde mit 50 mN für 20 s in 25 µm Abstand angewendet. Die geringere Vickershärtة der mit Biosolv behandelten Proben kann ein Hinweis auf die demineralisierte, innere Schicht der Dentinkaries sein, die remineralisierbar ist. Die Mikrohärtة des kariös veränderten Dentins erreichte zwischen 40% und 58% der Härte gesunden Dentins. Beim Vergleich aller Behandlungsarten wurde nach Biosolv eine geringere Mikrohärtة als nach Carisolv und Smartprep gemessen, was als zusätzlich Substanzschonung interpretiert wird.

Die vorliegende Studie lässt somit die Schlussfolgerungen zu, dass bei der biochemischen Kariesexkavation weniger Dentin exkaviert wird als bei der anderen Methode. Die Anwendung des Biosolv erlaubt ein gezieltes und hartsubstanzschonendes Entfernen von Dentinkaries. Es kommt nicht zu einer Überexkavation. Das erweichte Dentin darf belassen werden, da es remineralisieren kann.

8 Zusammenfassung

Zur Sicherheit sollte die Dentinoberfläche jedoch desinfiziert werden, um verbliebene Mikroorganismen zu inaktivieren.

Die Biosolv Methode kann folgendermaßen bewertet werden:

Biosolv ist in der Lage, kariöses Dentin zu entfernen.

Biosolv weist eine der chemomechanischen Exkavation mit Carisolv entsprechende Effizienz auf, ohne dabei übermäßig gesundes Dentin zu entfernen.

Der Vorteil von Biosolv liegt gegenüber der chemomechanischen Kariesentfernung mit Handinstrumenten darin, dass auf häufig als unangenehm empfundene, rotierende Instrumente zur Kariesentfernung verzichtet werden kann.

Die Oberflächenmorphologie der biochemisch und chemomechanisch behandelten Kavitäten lässt klinisch einen besseren Dentin-Haftverbund erwarten als die Exkavation mit Smartprep, da die Haftwerte höher lagen.

Bei der Anwendung moderner Adhäsivsysteme wird die Haftkraft von Kompositen durch die Exkavation mit Biosolv im Vergleich zu Carisolv nicht negativ beeinflusst.

9 Literaturverzeichnis

ADRIANS PA, CLAYES GW, DE BOEVER JA (1987) Scanning electron microscopy of dentin caries. Experimental in vitro studies with *Streptococcus mutans*. *Scanning Micros* 1:671-680

ALFANO RR, YAO SS (1981) Human teeth with and without dental caries studied by visible luminescent spectroscopy. *J Dent Res* Vol. 60 No 2:120-122

ANDERSON MH, CHARBENEAU GT (1985) A Comparison of digital and optical criteria for detecting carious dentin. *J Prost Dent* 53:643-646

ANGKER L, NIJHOF N, SWAIN MV, PATRICK NM (2004) Influence of hydration and mechanical characterization of carious primary dentine using an ultra-micro indentation system (UMIS). *Eur J Oral* 112:231-236

ANGMAR-MANSSON B, AL-KHATEEB S, TRANAEUS S (1999) Current research with quantitative light fluorescence. 4th Annual Indiana Conference May 19-22, Indianapolis, Indiana, USA

BANERJEE A, SHERRIFF M, KIDD E, WATSON T (1999) A confocal microscopic study relating the autofluorescence of carious dentine to its microhardness. *Br Dent J* 187:206-210

BANERJEE A, GLAMOUR A, KIDD E, WATSON T (2004) Relationship between *S. mutans* and the autofluorescence of carious dentin. *J Dent* 17:233-236

BANERJEE A, KIDD EAM, WATSON TF (2000) In vitro evaluation of five alternative methods of carious dentin excavation. Caries Res 34:144-150

BANERJEE A, KIDD EAM, WATSON TF (2000) Scanning Electron Microscopic Observation of Human Dentine after Mechanical Caries Excavation. J Dent 28:179-186

BANERJEE A, BOYDE A (1998) Autofluorescence and mineral content of carious dentine: Scanning optical and backscattered electron microscopic studies. Caries Res 32:219-226

BECKER J (1998) Neue Methoden zur Kariesentfernung. Zahnärztl Mitt 88:1236-1241

BEELEY JA, YIP HK, STEVENSON AG (2000) Chemomechanical Caries Removal: A Review of the Techniques and Latest Developments. Br Dent J 188:427-430

BENNICK A, CANNON M, MADAPALLIMATTAM G (1981) Factors involving the adsorption of salivary acidic prolinerich proteins to hydroxyapatite. Caries Res 15-9

BERNICK S, WARREN O, BAKER RF (1954) Electron microscopy of carious dentin. J Dent Res 33:20-26

BÖCK P (1954) Romeis – Mikroskopische Techniken. Verlag Urban & Schwarzenberg 17. Aufl

BUDDECKE E (1981) Biochemische Grundlagen der Zahnmedizin

CEDERLUND A, LINDKOG S, BLOMLÖF J (1999) Effect of a chemo-mechanical caries removal system (CARISOLV) on dentin topography of non carious dentin. Acta Odontol Scand 57:185-189

CRAIG RG, GEHRING PE, PEYTON FA (1959) Relation of structure to the microhardness of human dentin. J Dent Res 38:624-630

CRAIG RG, PEYTON FA (1958) The micro-hardness of enamel and dentin. J Dent Res 37:661-668

CURILOVIC Z, SAXER UP, MARTHALER TM (1983) Radiologische Kariesläsion im Schmelzfällen oder abwarten? Schweiz Mschr Zahnheilk 93:930-934

DAMMASCHKE T (2001) Neueste Erkenntnisse zur Kariesentfernung mit Carisolv. ZMK 17:280

DAMMASCHKE T, DÄHNE L, KAUP M, STRATMANN U, OTT K (2001) Effektivität von Carisolv im Vergleich zu konventionellen Methoden zur Entfernung kariösen Dentins. Dtsch Zahnärztl Z 56:472-475

DAMMASCHKE T, RODENBERG TN, SCHÄFER E, OTT KHR (2005)
Vergleich der Effektivität von Smartprep mit herkömmlichen Rosenbohrern bei
der Exkavation der Dentinkaries. Dtsch Zahnärztl Z 60:203-206

DEUTSCHE Norm Din (1997) Universalhärteprüfung, Prüfverfahren, Oktober
50359:1

EGGEN K. H, RÖLLA G (1984) Further Information on the composition of the
acquired enamel pellicle. In: Cariology Today, Int. Cong. Zürich, Karger, Basel

EINWAG J, NAUJOKS R (1993) Prophylaxe der Karies. In: Ketterl W, Heraus-
geber. Zahnerhaltung II. München : Urban & Schwarzenberg S:3-55

EKSTRAND KR, BRUNN G, BRUNN M (1998) Plaque and Gingival status as
Indicators for caries Progression on Approximal Surfaces. Caries Res 32:41-45

ERICSON D (1998) In vitro efficacy of a new gel for chemomechanical caries
removal. J Dent Res 77:1252 absrt.360

ERICSON D, ZIMMERMAN M, RABER H, GÖTRICK B, BORNSTEIN R
(1999) Clinical evaluation of efficacy and safety of a new method for chemo-
mechanical removal of caries. Caries Res 33:171-177

ERICSON D (2000) Carisolv: State of the Art einer Methode zur alternativen
Kariesentfernung. Zahnärztl Prax 51:22-31

FEATHERSTONE J, TEN CATE J, SHARIATI M, ARENDS J (1983) Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. *Caries Res* 17:385-391

FLÜCKIGER L, WALTIMO T, STICH H, LUSSI A (2005) Comparison of chemomechanical Caries Removal using Carisolv or Conventional Hand Exkavation in Deciduous Teeth in vitro. *J Dent* 33:87-90

FOREMAN PC (1980) The excitation and emission spectra of fluorescent components of human dentine. *Archs oral Biol* Vol 25:641-647

FRANK RM (1990) Structural events in the caries process in enamel, cementum and dentine. *J Dent Res* 69:559-566

FREEDMAN G, GOLDSTEP F (2003) Polymer preparation instruments. New paradigm in selective dentin removal. *Dent Today* 22:58-61

FRIEDL K, POWERS JM, HILLER KA, SCHMALZ G (2000) Influence of different factors on bond strength of dentin bonding systems. *J Dent Res* (abstract) 79, 508

FURE S, LINGSTRÖM P (2004) Evaluation of the chemo-mechanical removal of dentine caries in vivo with a new modified Carisolv gel. *Clin Oral Invest* 8:139-144

FUSAYAMA T (1982) Neue Konzepte in der konservierenden Zahnheilkunde. Quintessenz Verlag, Tokyo

FUSAYAMA T (1972) Differentiation of two layers of carious dentine by staining. Bull Tokyo Med Dent Univ 19:83-92

FUSAYAMA T, OKUSE K, HOSODA H (1968) Relationship between hardness, discoloration and microbial invasion in carious dentin. J Dent Res 45:1033-1046

FUSAYAMA T, KUROSAKI N (1972) Structure and removal of carious dentin. Int Dent J 22:401-411

FUENTES V, CEBALLOS L, OSORLO R, TOLEDANO M, CARVALLO BM, PASHLEY DH (2004) Tensile strength and micro hardness of treated human dentin. Dent Mater 20:522-529

GOLDMAN M, KRONMAN JH (1976) A preliminary report on a chemo mechanical means of removing caries. J Am Dent Assoc 93:1149-1153

HAAK R, WICHT MJ, NOACK MJ (2000) Does chemo mechanical caries removal affect dentine adhesion? Eur J Oral Sci 108:449

HABIB C, KRONMAN J, GOLDMAN M, WARD M, TUFTS U (1974) Mechanisms of GK-101 activity of collagen and hydroxyproline. J Dent Res 53:147

HAFFNER C (1998) Chemisch-mechanische Kariesentfernung mit Carisolv. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 9:22-26

HAFFNER C, BENZ C, FOLWACZNY M, HICKEL R (1999) Chemomechanical caries removal a clinical study. Caries Res 33:312 (abstr 93)

HANNIG M (1999) Effect of Carisolv solution on sound, demineralized and denatured dentin – an ultrastructural investigation. Clin Oral Invest 3: 155-159

HELLWIG E, KLIMEK J, ATTIN T (1999) Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Fischer, München-Jena: 2. Auflage: 3-11

HEIDEMANN D (1999) Praxis der Zahnheilkunde, Band 2, 4. Aufl.: Kariologie und Füllungstherapie. Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore

HELMUT FISCHER GmbH (2001) Fischerscope H100C Zukunftsweisende Technologie in der Mikrohärtebestimmung.

HODROVA I (1990) Klinische Erfahrungen mit dem Caridex – System. Zahnärztl Welt 99:795-797

HOFFMANN-AXTHELM W (1995) Lexikon der Zahnmedizin. Quintessenz-Verlag, Berlin: 672 f

HOTZ PR, LUSSI A (1996) Die Wurzelkaries-Diagnostik und therapeutische Grundsätze. Dtsch Zahnärztl Z 51:138-142

HOSOYA M, MARSHALL S, WATANABE LG, MARSHALL GW (2000) Micro hardness of carious deciduous dentin. *Oper Dent* 25:81-89

HOSSAIN M, NAKAMURA Y, TAMAKI Y, YAMADA Y, JAYAWARDENA JA, MATSUMOTO K (2003) Dentinal composition and Knoop hardness measurements of cavity floor following carious dentin removal with Carisolv. *Oper Dent* 28:346-351

HOSSAIN M, NAKAMURA Y, YAMADA Y, MURAKAMI Y, MATSUMOTO K (2003) Atomic analysis and knoop hardness measurement of the cavity floor in vitro. *J Oral Rehabil* 30:515-521

JEPSEN S, ACIL Y, ZUCH B, ALBERS KH (1999) Biochemische Analyse der Kollagenstruktur residualen Dentins nach chemomechanischer Kariesbehandlung (Carisolv). *Dtsch Zahnärztl Z* 54:120-122

JOHNSON DV (1994) Comparison of primary and permanent teeth. In: *Oral development and Histology*, 2nd edition. Avery JK editor New York: Thieme Medical Publishers: 287

KAADEN C, POWERS JM, FRIEDL KH, SCHMALZ G (2002) Bond strength of self-etching adhesives to dental hard tissues. *Clin Oral Investig* sept 6(3): 155-160

KANCA J (1992) Resin bonding to wet substrate. Bonding to dentin. *Quintessence int* 23:39-41

KEYES PH (1962) Recent advances in dental caries research. Bacteriology. Bacteriological findings and biological implications. Int Dent J 12:443-448

KLIMM W (1997) Kariologie. Carl Hanser Verlag München

KÖNIG KG (1971) Karies und Kariesprophylaxe, Goldmann, München

KÖNIG KG (1987) Karies und Kariesprophylaxe. Stuttgart

KUBOKI Y, OHGUSHI K, FUSAYAMA T (1977) Collagen biochemistry of the two layers of carious dentin. J Dent Res 56:1233-1237

LEACH S. A, SAXTON C. A (1966) An electron microscopic study of the acquired pellicle and plaque formed on the enamel of human incisors. Archs Oral Biol 11:1081

LINDE A (1985) The extracellular matrix of the dentin pulp and dentin. J Dent Res 64 (Spec Iss):523-529

LYNCH E, BEIGHTON D (1994) A comparison of primary root caries lesions classified according to colour. Caries Res 28:233-239

MARAGAKIS GM, HAHN P, HELLWIG E (2001) Clinical evaluation of chemomechanical caries removal in primary molars and its acceptance by patients. Caries Res 35:205-210

MEREDITH N, SHERRIFF M, SETCHEL DJ, SWANSON SAV (1996) Measurement of the micro hardness and Young's Modulus of human enamel and dentine using an indentation technique. *Archs Oral Biol* 41:539-545

MILLER WA, EICK JD, NEIDERS ME (1971) Inorganic components of the peritubular dentin in young human permanent teeth. *Caries Res* 5:264-278

MILTON R, WIRTHLIN JR (1970) Acid-reacting stains, softening, and bacterial invasion in human carious dentin. *J Dent Res* 49:42-46

MITTERMAYER CH (1984) Zahnkaries. *Oralpathologie für Studenten und Ärzte*. Schattauer, Stuttgart-New York: 179-193

MJÖR IA (1983) Dentin and pulp. In: Mjör IA, editor. *Reaction patterns in human teeth*. Boca Raton: CRC-Press; p. 63-156

NADANOWSKY P, COHEN CARNEIRO F, SOUZA DE MELLO F (2001) Removal of caries using only hand Instruments: A Comparison of Mechanical and Chemo-Mechanical Methods. *Caries Res* 35:384-389

NIKAIDO T, KUNZELMANN KH, OGATA M, HARADA N, YAMAGUCHI S, COX CF, HICKEL R, TAGAMI J (2002) The in vitro dentin bond strengths of two adhesive systems in class I cavities of human molars. *J Adhes Dent* Spring 4(1):31-39

NIKIFORUK G (1985) Understanding dental caries. II: Prevention S. Karger, Basel

OGAWA K, YAMASHITA T, ICHIJO T, FUSAYAMA T (1983) The ultra-structure and hardness of the transparent layer of human carious dentin. J Dent Res 62:7-10

OHGUSHI K (1973) Collagen fibers in the two layers of carious dentin. 1. Histochemical study. Kokubyo Gakkai Zasshi 40:65-74

OHGUSHI K, FUSAYAMA T (1975) Electron microscopic structure of the two layers of carious dentine. J Dent Res 54:1019-1026

OPDYKE DLJ (1962) The histochemistry of dental decay. Arch oral Biol 7: 201-219

PASHLEY DH, DERKSON GD, TAO L, DERKSON M, KALATHOOR S (1988) The effects of a multi-step dentin bonding system on dentin permeability. Dent Mater 4:60-63

PASHLEY DH, MICHELICH V, KEHL T (1981) Dentin permeability: effects of smear layer removal. J Prosthet Dent 46:531-537

PERDIGAO J, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B, TOME AR, VAN-HERLE G, LOPES AB (1996) Morphological field emission-SEM study of the effect of six phosphoric acid etching agents on human dentin. Dent Mat 12:262-271

PERDIGAO J, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B, TOME AR, VAN-HERLE G, LOPES AB (1996) Morphological field emission-SEM study of the effect of six phosphoric acid etching agents on human dentin. Dent Mat 12:262-271

PETERS MC, WAGNER WC, KLEMPNER A (2005) Smartprep Instruments: A Self-Limiting Endpoint for Caries Removal. IADR 83rd General Session Abstracts #2031

PIEPER K, KRÄMER N, EINWAG J (1997) Füllungstherapie im Milchgebiss. Kinderzahnheilkunde. PdZ spezial, Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore 1997:179-201

PRETTY I, HALL A, SMITH P, EDGAR W, HIGHAM S (2002) The intra- and interexaminer reliability of quantitative light-induced fluorescence (QLF) analyses. Br Dent J 193:105-109

RAFIQUE S, FISKE J, BANERJEE A (2003) Clinical Trial of an Air-Abrasion/Chemomechanical Operative Procedure for the Restorative Treatment of Dental Patients. Caries Res 37:360-364

RAUTIOLA C, CRAIG R (1961) The microhardness of cementum and underlying dentine of normal teeth to periodal disease. J Periodont 32:113-123

REICH E (2000) Neue Instrumente zur Kariesdiagnose. Zahnärztliche Mitteilungen 23:44-54

ROTH KKF, DOMNICK E (1989) Kariesentfernung: Caridex oder Bohren? Zahnärztliche Mitteilungen 79:2158-2162

SATO Y, FUSAYAMA T (1976) Removal of dentin by Fuchsin staining. J Dent Res 55:678-683

SAUERWEIN E (1974) Kariologie. Georg Thieme Verlag Stuttgart.

SCHADE K (1993) Lichtmikroskopie: Technologie und Anwendung. Verlag moderne Industrie AG.

SEAMAN F, SHANNON IL (1979) Fluoride treatment and micro hardness of dentin. J Prosthet Dent 41:528-530

SCHEUTZEL P (1989) Möglichkeiten und Grenzen des Caridex-Systems als Alternativ zur herkömmlichen Kariesentfernung. Dtsch Zahnärztl Z 44:612-614

SCHRODER HE (1987) Orale Strukturbiologie 3. Aufl. Georg Thieme Verlag Stuttgart

SCHROEDER HE (1997) Pathobiologie oraler Strukturen. 3. Aufl. Karger Verlag Basel

SCHULZ SD, ROTH KK, PLATZER U (1981) Hardness of different carious layers in teeth with chronic dentinal caries. Dtsch Zahnärztl Z 46:420-422

SCHUTZBANK SG, GALAINI J, KRONMAN JH, GOLDMAN M, CLARK RE (1978) A comparative in vitro study of GK-101 and GK-101E in caries removal. J Dent Res 57:861-864

SILVA NRFA, THOMPSON VP (2003) Polymer bur for carious dentin removal – adhesive bonds to caries – affected dentin. J Dent Res 82 (Spec Iss A), Abstr 0227

SOGNNAES RF, WISLOCKI GB (1950) Histochemical observations on enamel and dentine undergoing carious destruction. Oral Surg 3:1283-1295

SPLIETH CH, ROSIN M, BRECKE T (1999) Vergleich von chemischmechanischer Kariesentfernung mit Carisolv und der konventionellen Exkavation. Dtsch Zahnärztl Z 54:117-119

STOOKEY G, JACKSON R, FERREIRA ZANDONA A, ANALOUI M (1999) Dental caries diagnosis. Dent Clinics of North America Vol 43:4

TEN CATE J, LAGERWEIJ M, WEFEL J, ANGMAR-MANSSON B, HALL A, FERREIRA ZANDONA A, STOOKEY G, FALLER R (2000) In vitro validation studies of quantitative light-induced fluorescence. Early Detection of Dental Caries II: Proceedings of the 4th Annual Indiana Conference GK, S, Indianapolis, IN, USA, Indiana University School of Dentistry 231-250

THONEMANN B, SCHMALZ G, HICKEL R (1999) Caridex und Carisolv. DGZMK Internet: carisolv.dgzmk.htm

TERASHIMA S, WATANABE M, KUROSAKI N, KONO A (1969) Hardness of dentine remaining after clinical excavation of soft dentine. Jpn J Conserv Dent 11:115-120

TONAMI K, TAKAGI T, ARAKI K, MATAKI S, KUROSAKI N (1999) Effect of Carisolv gel on carious dentin collagen. Jap J Conserv Dent 42:1040-1044

WATSON RF, KIDD EA (1986) The caridex caries removal system symposium in Boston. Br Dent J 161:461-462

YAZICI AR, ATILLA P, ÖZGÜNALTAY G, MÜFTÜOĞLU S (2003) In vitro comparison of the efficacy of Carisolv and conventional rotary instrument in caries removal. J Oral Rehabil 30:1177-1182

YOSHIYAMA M, TAY FR, DOI J, NISHITANI Y, YAMADA T, ITOU K, CARVALHO RM, NAKAJIMA M, PASHLEY DH (2002) Bonding of self-etch and total etch adhesives to carious dentin. J Dent Res 81:556-560

ZIMMER S (1996) Kariesrisikobestimmung. In: Roulet J-F, Fath S, Zimmer S, Herausgeber . Lehrbuch Prophylaxehelferin. München: Urban & Schwarzenberg S:129-134

10 Anhang

10.1 Geräteliste

Geräte:

Bezeichnung

Hersteller

1. Poliermaschine

DAP-7

DAP-7

Struers, Denmark

T- 1100747

2. Innenlochsäge

Leica SP1600,

Leica SP1600

Nußloch, Deutschland

T- 1706201

3. Diamantsäge

Isomet Low speed saw,

Buehler, Düsseldorf,

Deutschland

4. Mikrohärtemessgerät

Fischerscope H100C

Fischerscope H100C

Fischer, Sindelfingen

Deutschland

5. Universalprüfmaschine

MCE 2000ST, quick test

Prüfpartner GmbH, Langenfeld,

Deutschland

6. Polymerisationslampe

Ivoclar Vivadent AG,

Bluephase	FL-9494 Schaan, 12V DC Liechtenstein Ser. No 1547581
7. Sony Digitalkamera	Sony 3CCD Color Video
8. Längen-Messgerät	Mitutoyo in Japan, Code N° 156-101
9. LEO-REM	LEO DSM 982, Carl-Zeiss NTS GmbH, Oberkochen, Deutschland

10.2 Materiallisten

Materialien:

<u>Bezeichnung</u>	<u>Hersteller</u>	<u>Chargen Nummer</u>
1. Technovit 4004	Heraeus Kulzer, Wehrheim, Deutschland	LOT: 011933
2. Syntac Classic	Ivoclar Vivadent AG	Primer LOT: H02414 Adhesive LOT: G28467 Bonding LOT: G28454
3. Smartprep RA6		ITEM= 40022-1 LOT: 962
4. A. Biosolv3	3M ESPE AG 82229 Seefeld	kom 1A LOT: BS-IX-155 kom 2A LOT: BS-VIII-155
B. Biosolv3	Deutschland	LOT: BS-V-0313
C. Biosolv5		LOT: BS-V-0527
D. Biosolv Treatment Kit (SFCV)		LOT: BS-H-0472

10 Anhang

E. Biosolv – SFC – V		LOT: BS-H-0508
5. A. Carisolv®	Medi Team Dental AB	LOT: 03-006
B. Carisolv®	Göteborgsv. 74	LOT: 03-008
C. Carisolv®	SE-43363	LOT: 05-001
	Sävedalen, Sweden	
D. Carisolv multimix		LOT: 05-010
6. HMDS	Merck K Ga A	K31687686 424
Hexamethyldisilazan	64271 Darmstadt	1.12186.0100
	Deutschland	
7. Total Etch Gel	Ivoclar Vivadent AG	LOT: H15457
	FL-9494 Schaan	
	Liechtenstein, Austria	
8. Tetric Evo Ceram	Füllungscomposite	LOT: H16250
A3	Ivoclar Vivadent AG	
	FL-9494 Schaan	
	Liechtenstein, Austria	
9. Formaldehyd Lösung	Otto Fischar GmbH &	CH.- B.: 6414022
10%	Co. KG	Index-Nu.: 605-001-00-5
	66067 Saarbrücken	EG-Nr.: 200-01-8
	Deutschland	PZN 7307552

10 Anhang

10. Alkohol	Aphoteke Innenstadt	
Ethanol 50%	Uni, Pettenkoferstr. 8A	L0148
Ethanol 70%	80336 München	L0199
Ethanol 80%	Deutschland	L13478
Ethanol 90%		E47
Ethanol 96%		L04499
11. Polier Spray	Struers. A/S	LOT: 2060-1620
	Made in Denmark by Struers	
12. Sofortklebestoff	LOCTITE GmbH	LOT: 142580
LOCTITE 406	München	
	Deutschland	
13. Ringerlösung	DAB 7, SERAG, Wiessner KG	
	95112 Naila, Bayern	LOT: 3000834
	Deutschland	
14. Natriumazidlösung	LMU, Pettenkoferstr. 8A	
	Aphoteke in München	
	80336 München	
15. Bandsäge	MCE 200	
	Quick Test, D	
16. Impression	Sibron Dental	ITEM N° 60060
Compound SDS Kerr	Specialties (Red)	
17. Tesa	Beiersdorf, Hamburg	
	Deutschland	

- | | |
|---------------------|--|
| 18. Objektträgern | Exakt Apparatebau, Norderstedt,
Deutschland |
| 19. Polishing discs | LECO Corporation, St. Joseph
Michigan, USA |

11 Danksagungen

An erste Stelle möchte mich meinem Betreuer, Herrn Professor Doktor K. –H. Kunzelmann für die Überlassung des interessanten Themas, die Korrektur, die vielen wertvollen Ratschläge, die großzügige Hilfe und die engagierte Betreuung der Arbeit bedanken.

In diesem Zusammenhang möchte ich mich auch bei Herrn Professor Doktor R. Hickel für Erlaubnis bedanken.

Einen herzlichen Dank möchte ich Herrn Prof. Dr. Horst Kollmann bedanken.

Ich bedanke mich ganz besonders bei Frau Dr. Dipl. Ing. N. Ilie für die wertvollen Hinweise und gute Zusammenarbeit.

Ebenso danke ich Frau E. Köbele und allen Mitarbeitern der Klinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, die mir umfangreiche Hilfe geleistet haben.

Ich bedanke mich auch bei allen Kolleginnen und Kollegen des „Tribolabors“ für eine angenehme Atmosphäre und kollegiale Unterstützung, Herrn Dipl. Ing. T. Obermeier für schnelle Hilfe und Unterstützung mit Computern. Ebenso danke ich allen anderen, die diese Arbeit unterstützen.

Ganz besonders Danken möchte ich meiner Mutter Otgonjargal Dashnyam, meinen Bruder Batnyam Lkhagva, meiner Tochter Dulguun und mein Mann Ganzorig Tsend für das Verständnis und Ihre vielseitige Unterstützung während des Studiums und der Promotion.

Danke nach München /Deutschland/

12 Lebenslauf

Name: Lkhagva
Vorname: Tsolmon
Familienstand: Ledig
Geburtsdatum: 05.02.1976 in Ulaanbaatar, Mongolei
Staatszugehörigkeit: Mongolisch

Schulausbildung

1983-1993 Besuch der Oberschule 52 in Ulaanbaatar,
Abschluss: Abitur Note: „sehr gut“

Studium

1993-1998 Medizinische Universität, Fakultät für
Zahnmedizin in Ulaanbaatar

Juni 1998 Erhalt der Approbation als Zahnärztin
Note: „sehr gut“

2000-2001 Deutschkurse für Ausländer bei der
Universität München

2002-2004 Medizinische Universität, Fakultät für
Zahnmedizin in Ulm als Studentin

Beruflicher Werdegang

1998-1999 Zahnärztin in der Privatzahnklinik „Business Dent“ in
Ulaanbaatar

Seit April 2004 Doktorandin und Gastzahnärztin und an der
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der
Ludwig-Maximilians-Universität in München
(Direktor Prof. Dr. R. Hickel)