

6 Diskussion

6.1 Diskussion des Versuchsaufbaus

6.1.1 Versuchszähne

Für die Studie wurden frisch extrahierte Rinderzähne verwendet. Viele Untersuchungen zum Demineralisationsverhalten von Schmelz wurden bereits an Rinderzähnen durchgeführt, denn oftmals liegen humane Zähne nicht in notwendiger Zahl und kariesfreiem Zustand vor (Gente et al. 1985, Mellberg 1992, Esser et al. 1998). Rinderzahnschmelz ist in seinem chemischen Aufbau dem menschlichen Schmelz sehr ähnlich (Davidson et al. 1973), er ist jedoch geringfügig weicher und weist eine höhere Porosität als menschlicher Zahnschmelz auf (Arends und Jongebloed 1978, Arends et al. 1980, Silverstone et al. 1981b).

Die Zähne wurden bis zum Versuchsbeginn in physiologischer Kochsalzlösung (NaCl 0,9% Spüllösung, steril, DeltaSelect GmbH, 72793 Pfullingen) aufbewahrt. Dadurch wurden die Eigenschaften der Zähne nicht verändert, so dass die Voraussetzungen physiologisch waren. Bei Lagerung in anderen Lösungen wie zum Beispiel Formalin werden die Eigenschaften der Zahnhartsubstanz beeinflusst (Haller et al. 1993). Die bewusst gering gehaltene Zeitspanne zwischen Extraktion und Weiterverarbeitung der Schmelzproben machte den Zusatz von antimikrobiellen Zusätzen wie z. B. Thymol entbehrlich. Die Verwendung frisch extrahierter, möglichst kurz in physiologischer Kochsalzlösung oder Ringerlösung gelagerter Zähne wird in Untersuchungen häufig beschrieben (Hoppenbrouwers et al. 1986, Kielbassa et al. 1997, Kielbassa et al. 2000).

6.1.2 Vorbereitung der Schmelzproben

Alle Trenn-, Schleif- und Poliervorgänge an den Schmelzproben erfolgten unter Wasserkühlung. Zwischen den Bearbeitungsschritten wurden die Proben in physiologischer Kochsalzlösung (NaCl 0,9% Spüllösung) gelagert. Eine Austrocknung allein kann nämlich schon zu einer Verfälschung der Messergebnisse führen (Herkstroter et al. 1989).

6.1.3 Demineralisationslösung

Im Anschluss wurden die Proben in einer Methylendiphosphorsäure (MHDP)-haltigen Demineralisationslösung demineralisiert. MHDP verhindert die Auflösung der Oberflächenschicht des Schmelzes (Arends und Ten Bosch 1992). So kann eine intakte Oberflächenschicht, wie sie bei einer intraoral entstandenen Initialläsion zu finden ist, bei der In-Vitro-Demineralisation erhalten werden. Darüber hinaus kann über die MHDP-Konzentration die Geschwindigkeit der Läsionsprogression gesteuert werden (Buskes et al. 1985). Die Demineralisationslösung enthielt Essigsäure, welche durch eine 10molare Kaliumhydroxidlösung auf einen pH-Wert von 5,0 titriert wurde. Dieser pH-Wert wurde über die gesamte Zeit, in welcher die Schmelzproben demineralisierten, konstant gehalten. Ein niedrigerer pH-Wert führte in Vorversuchen zu Erosionen an den Oberflächen der sich bildenden Läsionen. Ein höherer pH-Wert verringerte dagegen den Demineralisationsprozess drastisch, so dass die Läsionsprogression sehr stark verlangsamt wurde.

6.1.4 Methode zur Darstellung mikroporöser Strukturen in Zahnhartsubstanzen

Zur Visualisierung von Adhäsivstrukturen wurden in der Vergangenheit oftmals transmissionselektronenmikroskopische (TEM) (Nakabayashi 1985, Van Meerbeek et al. 1993, Eick et al. 1995) und rasterelektronenmikroskopische Verfahren (REM) (Walshaw und McComb 1994, Swift et al. 1995) eingesetzt. Um die Probe mit dem TEM betrachten zu können, muss sie jedoch zuvor in einem speziellen Prozess eingebettet werden. Im REM-Verfahren können nur die oberflächlichen Strukturen dargestellt werden. In beiden Verfahren müssen die Proben getrocknet werden, was insbesondere an den Zahnhartsubstanzen zu Schrumpfungerscheinungen und Rissbildungen führen kann.

Im Rahmen der Einführung der Konfokalen Laser Raster Mikroskopie in Verbindung mit Fluoreszenzfarbstoffen konnte eine neue Technik zur Visualisierung von porösen Zahnhartsubstanzstrukturen etabliert werden. Die Vorteile des Verfahrens liegen darin, dass die zu untersuchenden Proben nicht getrocknet werden müssen und somit Schrumpfung- oder andere Trocknungsartefakte vermieden werden können (Pioch et al. 1996a, Duschner et al. 1997). Darüber hinaus sind die Oberfläche und Schichten bis zu einer Tiefe von 100 μm in die Probe hinein darstellbar. Im Jahre 1987 wurde das CLSM zum ersten Mal von *Watson* und *Boyde* zur Darstellung von Adhäsivstrukturen auf der Dentinoberfläche verwendet (Watson

und Boyde 1987). Das Einfärben von Adhäsivkomponenten mit einem Fluoreszenzfarbstoff wurde bereits 1991 beschrieben (Watson 1991) und nachfolgend von anderen Autoren angewendet (Watson und Wilmot 1992, Pioch et al. 1996b).

Weitere Methoden zur fluoreszenzmikroskopischen Darstellung kariöser Strukturen wurden beschrieben (Fontana et al. 1996, Gonzalez-Cabezas et al. 1998, Iijima et al. 1998). Grundlage dieser Verfahren ist das Einbringen von fluoreszierenden Farbstoffen in die Poren der Schmelzläsionen. Die am häufigsten verwendeten Farbstoffe sind Rhodamin B und Fluorescein sowie deren Thiocyanate. Die einfachste Methode stellt die Einfärbung der Proben mittels wässriger Lösungen der verwendeten Farbstoffe dar. Der Vorteil dieser Methode liegt in der einfachen Infiltration der Proben mit Farbstoff. Nachteilig ist jedoch, dass die Farbstoffe nicht fest an die Zahnhartsubstanz gebunden werden und somit bei der Probenverarbeitung leicht herausgewaschen werden können. Beim Diffundieren der Farbstofflösung von der Probenoberfläche in tiefere Regionen der Probe lagern sich Farbstoffmoleküle bevorzugt an der Oberfläche der Probe ab. Bei einem Querschnitt durch die Probe sind somit grundsätzlich unterschiedliche Farbstoffkonzentrationen zu erwarten.

Einige Probleme der oben beschriebenen Methode konnten mit einem speziellen Hochdruckverfahren umgangen werden (Uchtmann und Wilkie 1997). Die Infiltration der Zahnhartsubstanz mittels angefärbten Kunststoffes unter hohem Druck (2000 bar) in einer eigens zu diesem Zweck entwickelten Apparatur ermöglicht nicht nur das vollständige Ausfüllen aller in der Zahnhartsubstanz vorhandenen Porositäten bis unter 0,1 µm Größe, sondern führt durch die Fixierung der Porositäten zu einer Steigerung der Resistenz der kariösen Läsionen gegen Zerstörungen, welche bei Säge- und Poliervorgängen auftreten können. Ein Auswaschen des Kunststoffes bei der weiteren Verarbeitung ist dabei ausgeschlossen. Die beschriebene Methode erfordert jedoch einen erhöhten apparativen Aufwand, da der verwendete Kunststoff infolge seiner Zähflüssigkeit nur unter hohem Druck alle Porositäten ausfließt. Aufgrund der hohen Viskosität des verwendeten Kunststoffes können darüber hinaus während des Einpressens die oftmals sehr grazilen, instabilen demineralisierten Schmelzstrukturen zerstört werden.

Für das in der vorliegenden Arbeit beschriebene Verfahren wurde *Spurr's Resin* (Spurr 1969), ein in der Biologie und Pathohistologie verbreiteter Kunststoff zur Einbettung von Proben für die Elektronenmikroskopie verwendet. Seine Vorteile liegen in der sehr niedrigen Viskosität und dem ausgezeichneten Benetzungsvermögen von Zahnhartsubstanzen. Sie ermöglichen eine vollständige Penetration von Poren in Zahnhartsubstanzen < 1 µm (Meyer-Lueckel et al.) bereits bei 0,8 MPa in einem Drucktopf, wie er zur Polymerisation von Prothesenkunststoffen gebräuchlich ist. Die Tropfzeit zwischen 3 und 7 Stunden bietet genügend Verarbeitungszeit für die Proben und die

Polymerisationszeit von 3 bis 16 Stunden ermöglicht eine relativ effiziente Verarbeitung der Proben. Die geschwächten demineralisierten Zahnhartsubstanzstrukturen werden durch die Penetration des (*Spurr-*) Kunststoffes nicht beschädigt. Gleichzeitig können über den Läsionskörper hinausgehende demineralisierte Bereiche der Probe angefärbt und daher ausgewertet werden. Das in der vorliegenden Studie beschriebene Verfahren zur Visualisierung von porösen Mikrostrukturen wurde VIRIN (Visualisation by **R**esin **I**nfiltration) genannt. Die verschiedenen Bereiche der Schmelzkaries sind in Abb. 2 und 3 erkennbar und im Text erläutert. Demzufolge entspricht die Strecke III (Abb. 2) dem Läsionskörper. Die maximale Läsionstiefe ist durch Strecke IV definiert und stellt die voranschreitende Demineralisationsfront dar. Weitere Untersuchungen müssen bestätigen, ob es sich hierbei um die transluzente Zone handelt. Die dunkle Zone als Übergangszone zwischen Läsionskörper und transluzenter Zone ist mit der CLSM-Darstellung nicht eindeutig abgrenzbar. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bis auf die „dark zone“ alle Teilbereiche einer Läsion beschrieben werden können. Hierbei ist aber unklar, ob die mit der VIRIN-Methode beschriebenen Zonen mit denen, welche durch andere Untersuchungstechniken gefunden wurden, übereinstimmen.

Abweichend von der in der vorliegenden Studie beschriebenen Methode, können anstelle des (*Spurr-*) Kunststoffes die Adhäsive eingefärbt werden (Pioch et al. 1997). Da jedoch in der CLSM-Darstellung nur der Farbstoff sichtbar wird, hat dieses Verfahren den Nachteil, dass unklar bleibt, ob nur der im Lösungsmittel befindliche Farbstoff oder die aushärtenden Adhäsivbestandteile die Penetrationstiefe definieren. Dieses Problem kann umgangen werden wenn lösungsmittelfreie Haftvermittler (z. B. Heliobond[®]) eingesetzt werden (Schmidlin et al. 2004). Ein Nachteil bleibt jedoch bestehen, weil unklar ist, ob die Penetrationseigenschaften des Adhäsivs durch den zugesetzten Farbstoff beeinflusst werden. Darüber hinaus kann die Läsionstiefe nicht bestimmt werden, da die initialen Läsionen selbst nicht angefärbt werden.

Bezüglich des Applikationsverfahrens der verschiedenen Adhäsive wurde im Gegensatz zu den meisten anderen Studien (Davila et al. 1975, Garcia-Godoy et al. 1997, Robinson et al. 2001, Schmidlin et al. 2004) kein Überschuss des jeweiligen Kunststoffmaterials auf den initialen Schmelzdemineralisationen belassen. Eine Abdichtung der Läsion sollte somit nicht durch eine oberflächliche Versiegelung, sondern allein durch das Ausfüllen des Porenvolumens erreicht werden. Darüber hinaus können dadurch iatrogen geschaffene Kariesprädispositionsstellen vermieden werden.

Um das gesamte Porenvolumen im demineralisierten Schmelz auffüllen zu können, muss für die Adhäsive ein optimaler Zugang zum Läsionskörper geschaffen werden. Die Oberflächenschicht einer initialen Läsion besitzt zwar 10-50 mal mehr Poren als die gesunde Schmelzoberfläche (Silverstone 1973), dennoch beträgt dieses Porenvolumen insgesamt nur 1

% der Oberfläche (Gray und Shellis 2002). Die Barrierewirkung ist so stark, dass sie von den Adhäsiven bei Applikation auf die unbehandelte Läsionsoberfläche nicht überwunden wird, so dass eine Penetration in die Tiefe der Läsion von nur 4,4 % erreicht wurde (Gray und Shellis 2002). Das oberflächliche Ätzen der Läsion für den kurzen Zeitraum von 5 s reicht zumindest bei künstlich hergestellten Demineralisationen aus, um einen verbesserten Zugang zur Läsion zu ermöglichen. Eine längere Ätzzeit führte *in vitro* neben einem größeren Substanzverlust zu einer Destabilisierung der Läsionsoberfläche, jedoch zu keiner Erhöhung der Penetrationstiefen (Gray und Shellis 2002). Eine weitere Verminderung von Destruktionsvorgängen an den Läsionsoberflächen bzw. innerhalb der Läsionen war durch die Verwendung eines niedriger konzentrierten Ätzgels (20%ig) und durch das Auftragen des Ätzgels auf die feuchte Schmelzoberfläche (Verdünnungseffekt durch Nassätzung) möglich. In einer histopathologischen Untersuchung von „jungen und alten“ initialen Läsionen konnte gezeigt werden, dass besonders bei älteren Läsionen aufgrund zahlreicher Perioden von Demineralisations- und Remineralisationsvorgängen sehr dicke pseudointakte Oberflächenschichten gefunden werden (Kidd 1983). Darüber hinaus befinden sich im Läsionskörper bakterielle Stoffwechselprodukte und verschiedene Proteine des Speichels (Featherstone et al. 1993), welche die Penetration der Adhäsive negativ beeinflussen könnten. Für natürliche Läsionen muss daher die Optimierung von Ätzsystem und Ätzzeit in weiterführenden Studien bestimmt werden.

6.1.5 Vergleich Mikroradiografie-CLSM

Für Quantifizierungen von Mineralverlusten in den Läsionen wurde bei der Bestimmung der Läsionstiefen mit Hilfe einer Färbemethode auf Wasserbasis und Benutzung eines Konfokalen Laser Raster Mikroskops im Vergleich mit der Mikroradiografie ein hoher Korrelationskoeffizient ermittelt (Fontana et al. 1996). Somit scheint diese Methode geeignet, die Tiefe des Läsionskörpers zu vermessen. Allerdings besitzt diese Methode damit einen ähnlichen Nachteil wie das mikroradiografische Verfahren, da die über den Läsionskörper hinausgehenden geringfügiger demineralisierten Bereiche der Läsionsfront nicht erfasst werden können. Die fluoreszenzmikroskopische Darstellung kann zu qualitativ sehr gut beurteilbaren Bildern führen. Die quantitative Auswertung ist hingegen nicht immer mit hoher Genauigkeit möglich. So ist die Bestimmung der Tiefe einer Läsion nur deshalb durchführbar, weil es innerhalb eines sehr kleinen Bereiches am Ende des Läsionskörpers oder am Ende der

Demineralisationsfront zu einer erheblichen Grauwertänderung innerhalb der fluoreszenzmikroskopischen Aufnahme kommt.

Obwohl die einzelnen Schmelzproben immer mit den gleichen Aufnahmeparametern abgetastet wurden, entstanden Bilder, welche vermutlich aufgrund der unterschiedlichen Anschnitte der Schmelzprismen zum Teil abweichende Grauwerte im Bereich der Demineralisationen aufwiesen. Fließende bzw. sich langsam ändernde Grauwertübergänge über größere Distanzen sind somit zwischen verschiedenen Proben nur mit geringer Genauigkeit vergleichbar.

Ein großer Vorteil des in der vorliegenden Untersuchung beschriebenen Verfahrens besteht in der größeren Sensitivität gegenüber der mikroradiografischen Methode, da sogar die nur geringfügig demineralisierten Bereiche der voranschreitenden Demineralisationsfront visualisiert werden können und eine Visualisierung der Kunststoffschichten zum gleichen Zeitpunkt möglich war.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Seit vielen Jahren werden Fissurenversiegelungen als kariespräventive Maßnahme erfolgreich angewandt (Simonsen 1991); auch die Verwendung von Fissurenversiegeln im Rahmen von restaurativen Therapien wurde beschrieben (Gray 1999). Einige Untersuchungen zeigten, dass sogar die Arretierung von fissuralen bis ins Dentin reichenden kariösen Läsionen mit Hilfe der oberflächlichen Fissurenversiegelung möglich sein soll (Mertz-Fairhurst et al. 1979, Handelman et al. 1985). Nach Entfernung der Versieglerchichten (nach 2 bis 5 Jahren) wurde in diesen Studien ein trockneres Dentin mit lederner Textur beobachtet. Anzüchtbare kariogene Keime konnten aus diesem Dentin nicht isoliert werden. Gegensätzliche Ergebnisse zeigte eine ähnliche Untersuchung von Weerheijm et al. (1992). In dieser Studie wurden insgesamt 30 Zähne mit bis ins Dentin reichenden fissuralen Läsionen von 21 Patienten durch oberflächliche Fissurenversiegelungen (die Läsionsoberflächen wurden nur geätzt und anschließend versiegelt) versorgt. Nach 1 bis 8 Jahren wurde die Randdichtigkeit der Versiegelungen mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops (indirekt an der Abformung des fissurenversiegelten Zahnes) beurteilt. Darüber hinaus erfolgte nach Entfernung der Versieglerchichten die Untersuchung des darunter liegenden Dentins auf Oberflächenbeschaffenheit, -härte und -farbe sowie auf das Vorhandensein von anzüchtbaren kariogenen Bakterien. Bei 58 % der oberflächlich versiegelten Läsionen wurden im Dentin

kariogene Bakterien (insbesondere *Streptokokkus mutans* und Laktobazillen) nachgewiesen. Darüber hinaus zeigte das Dentin eine weiche, feuchte Konsistenz und eine dunklere Färbung als das gesunde Dentin. Interessanterweise wurden die meisten dieser Versiegelungen mit Hilfe des REM als randdicht beurteilt, so dass die beobachtete Kariesaktivität in der Verstoffwechslung von Bestandteilen pulpaler Flüssigkeit aus den Dentintubuli durch die kariogenen Mikroorganismen vermutet wurde (Jeronimus et al. 1975, Brannstrom 1987). Die REM-Untersuchung zur Randdichtigkeit wurde an Silikonabformungen der versiegelten Zähne durchgeführt, so dass nur oberflächliche Randspalten bzw. Unregelmäßigkeiten im Übergangsbereich zwischen Zahnschmelz und Fissurenversiegler beurteilt werden konnten. Mikrorisse oder -porositäten, welche einen eventuellen Lösungstransfer ins Innere der Läsion ermöglichen, wurden nicht untersucht. So besteht die Möglichkeit, dass oberflächliche Versiegelungen vermutlich nicht ausreichend dicht sind, um eine kariöse, bis ins Dentin reichende Läsion dauerhaft zu arretieren. Eine unzureichende Randdichtigkeit bei Fissurenversiegelungen bildet zudem einen der Hauptgründe, weshalb Mikroorganismen innerhalb der Läsion persistieren können (Going et al. 1978). Andererseits könnte vermutlich die pulpale Flüssigkeit der Dentintubuli für die Ernährung der in den Läsionen verbliebenen kariogenen Bakterien von Bedeutung sein (Jeronimus et al. 1975). Weiterführende Untersuchungen werden benötigt, um die Hauptursachen für den Misserfolg einer solchen Fissurenversiegelung verifizieren zu können.

Rein auf den Schmelz begrenzte Läsionen enthalten nur sehr wenige oder keine Bakterien (Brannstrom et al. 1980, Seppa 1984), so dass eine dauerhafte Arretierung der Läsionen mit Hilfe einer Kunststoffversiegelung sehr wahrscheinlich ist.

Eine rechtzeitige, nahezu non-invasive Behandlung von initialen Läsionen ist für jeden Patienten vorteilhaft. Invasive restaurative Therapietechniken stellen keine Alternative für die Behandlung einer initialen Karies dar. Während der klinischen Beurteilung von initialen Läsionen mit intakter Oberfläche bleibt jedoch ein entscheidender Punkt unklar. Es kann nicht festgestellt werden, ob die Läsion remineralisiert, arretiert oder progressiert. Eine initiale Schmelzkaries entwickelt sich in der Mundhöhle aufgrund abwechselnder Demineralisations- und Remineralisationsvorgänge nur sehr langsam. Es kann 2 Jahre oder länger dauern, bis die Karies die gesamte Schmelzdicke durchdrungen hat (Sheiham 1977).

„White spot lesions“ sind an den Bukkal- oder Lingualflächen im Gegensatz zu den Approximalflächen relativ leicht zu diagnostizieren. Bei letzteren sind qualitativ sehr gute Bissflügelröntgenaufnahmen nötig, damit eine initiale Karies noch erkennbar und beurteilbar

ist. Darüber hinaus wird die Größe der Läsion vom Röntgenbild kleiner dargestellt als sie klinisch tatsächlich erscheint (Foster 1998).

Die Wahrscheinlichkeit, dass von einer Läsionsprogression ausgegangen werden kann, ist für Patienten, bei denen neben einer diagnostizierten kariösen Läsion noch zwei weitere Läsionen gefunden wurden, besonders hoch (Gray 1999). Eine frühere Untersuchung zeigte, dass etwa die Hälfte von initialen Läsionen mit intakter Oberfläche von selbst „ausheilen“ können (Backer-Dirks 1966) bzw. unterstützend durch die Applikation von Fluoriden ein Reparaturprozess der Läsion stattfinden kann (Horowitz und Ismail 1996).

Da jedoch eine im Remineralisationsprozess befindliche Läsion erfolgreich durch ein Adhäsiv penetriert werden kann (Schmidlin et al. 2004) und somit eine gesteigerte Kariesresistenz erreicht wird, erscheint es grundsätzlich sinnvoll, initiale Läsionen mit einem Adhäsiv zu versiegeln, zumal der Aufwand hierfür relativ gering ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen erstmalig, dass es möglich ist, den Läsionskörper sowie tiefere Läsionsbereiche mit einem Adhäsiv zu penetrieren. Darüber hinaus konnte durch das Auffüllen der Poren die Läsion erfolgreich abgedichtet und gegenüber erneuten Säureangriffen geschützt werden. Das Ausfüllen der Porositäten der Läsionen führte zu einem Beschichten der Schmelzkristallite mit säureresistenten Adhäsiv-Kunststoffen.

Kombinierte Adhäsivsysteme, welche für die gleichzeitige Schmelz- und Dentinkonditionierung geeignet sind, können in der Regel feuchtes Dentin benetzen und in flüssigkeitsgefüllte Dentinkanälchen eindringen, da sie oftmals wasserlöslich sind. Diese Adhäsiv-Technik wird beim wet-bonding durchgeführt.

In einer Studie (Gray und Shellis 2002) konnte im Rahmen von Vorversuchen gezeigt werden, dass die verwendeten Adhäsive Scotchbond und Seal and Protect, wenn sie im Sinne der wet-bonding-Technik verarbeitet wurden, schlechtere Penetrationstiefen erreichten, als wenn die Läsionsoberflächen zuvor mit Hilfe von Ethanol dehydriert wurden.

In der vorliegenden Untersuchung wurden die initialen Läsionen vor der Adhäsivapplikation luftgetrocknet und in Abhängigkeit vom verwendeten Adhäsivsystem konnte eine nahezu vollständige Penetration der Läsionen erreicht werden. Andererseits sollte nicht ausgeschlossen werden, dass die Penetrationseigenschaften von bestimmten Adhäsivsystemen durch die Anwendung der wet-bonding-Technik positiv beeinflusst werden.

Ein Kunststoff penetriert nur dann erfolgreich eine initiale Läsion, wenn einige wichtige Voraussetzungen erfüllt werden: Das Material sollte oberflächenaktiv, wasserlöslich und niedrigviskös und darüber hinaus antimikrobiell wirksam sowie einfach zu handhaben und

selbst bei Anwesenheit von Wasser polymerisierbar sein (Gray und Shellis 2002). Eine Verbesserung des optischen Eindrucks von „white spot lesions“ auf für das Auge exponierten Zahnflächen wäre natürlich ebenfalls wünschenswert.

In einer Untersuchung wurde das Penetrationsverhalten eines Fissurenversieglers (Nuva Seal) in Abhängigkeit von der Dimension eines zu penetrierenden Spaltes einer Kapillare und den Penetrationseigenschaften bestimmt (Fan et al. 1975). Die Penetrationseigenschaften eines Materials können durch den Penetrationskoeffizienten formuliert werden. Der Penetrationskoeffizient bildete eine mathematische Funktion, welche sich aus der Oberflächenspannung, der Viskosität und dem Kontaktwinkel des Fissurenversieglers gemessen an einer Kapillarenwand zusammensetzte. Eine Kapillare mit einem Durchmesser von 0,03 cm wurde mit einem auf 25 °C und anschließend mit auf 37 °C erwärmten Fissurenversiegler penetriert. Der höher temperierte Fissurenversiegler penetrierte aufgrund niedrigerer Viskosität in gleicher Zeit eine größere Strecke in der Kapillare. So konnte gezeigt werden, dass die Penetrationseigenschaften des verwendeten Fissurenversieglers in hohem Maße vom Penetrationskoeffizienten abhängig ist. Für die in der vorliegenden Studie verwendeten Adhäsive sollten demnach die Penetrationskoeffizienten bestimmt werden, um somit zumindest eine physikalische Erklärung für z. B. das schlechte Eindringen von Solobond M[®] in die Läsionen im Vergleich zu den anderen verwendeten Adhäsiven zu finden.

Die im Vergleich zu anderen Materialien sehr dicke Sauerstoffinhibitionsschicht (der Begriff wird in diesem Zusammenhang für alle oberflächlichen Defekte der Adhäsivschichten verwendet und gibt nur teilweise Aufschluss über die möglichen Ursachen) bei Excite[®] nach einmaliger Applikation lässt sich vermutlich auf den Lösungsmittelanteil von 25 % Ethanol zurückführen. Da das Lösungsmittel nur über die Läsionsoberfläche verdunsten konnte, fehlte möglicherweise deshalb im oberen Bereich der Läsion der Kunststoff. Erst nach zweimaliger Applikation verringerte sich die SIS auf ähnliche Werte wie bei den anderen Materialien, da der Ethanolanteil nur einen wesentlich kleineren Bereich der ursprünglichen Läsion ausfüllen konnte. Eine ausgedehnte SIS dürfte bei der Behandlung der Schmelzläsionen einen Schwachpunkt darstellen. Da die mittlere Ausdehnung nach zweimaligem Auftragen lediglich ca. 5 % (etwa 5 µm) betrug, scheint diese Vorgehensweise akzeptabel. Darüber hinaus zeigte sich, dass bereits die einmalige Applikation/Lichthärtung zu einer offensichtlich ausreichend dichten Versiegelung führte und somit das erneute Auftragen nicht zu einer erhöhten Penetration beitrug.

Adper Prompt L-Pop[®] enthält Wasser als Lösungsmittel. Da dieses wesentlich langsamer verdunstet als Ethanol, entstand vermutlich die sehr inhomogene Adhäsivschicht, die zudem nicht nur an der Oberfläche beobachtet wurde. Die Materialien Monobond[®], Helioseal[®] und Heliobond[®] enthielten dagegen keine Lösungsmittel und zeigten möglicherweise deshalb keine Porositäten innerhalb der Adhäsivschicht. Bei diesen Materialien fehlte nur an der Oberfläche die Kunststoffschicht, was eventuell durch eine von Sauerstoff inhibierte Polymerisation begründet sein könnte.

Polymerisierte Kunststoffe sind in der Regel unempfindlich gegenüber verdünnten Säuren. So konnte in Voruntersuchungen gezeigt werden, dass mit Hilfe von 1%iger Salpetersäure die Adhäsivschicht umgebende Zahnhartsubstanz vollständig aufgelöst werden kann. Übrig bleibt nur die Kunststoffschicht des Adhäsivs, welche anscheinend nicht von der Säure angegriffen wird. Insofern erscheint es wenig wahrscheinlich, dass die vergrößerten SIS bei Solobond M[®] und Helioseal[®] nach erneuter Demineralisierung (Dichtigkeitsgruppe) aufgrund der Säureeinwirkung entstanden sind. Vielmehr dürfte die gewählte Auflösung bei der CLSM-Darstellung mit 1,02 µm/Pixel ein Limit bei der Genauigkeit der Vermessung der geringen Distanzen der SIS gebildet haben. Eine vollständige Darstellung der Läsion war jedoch hingegen nur bei 10facher Vergrößerung möglich.

Solobond M[®] zeigte nach zweimaliger Applikation zwar keine Steigerung der Penetrationstiefe, eine Läsionsprogression konnte jedoch signifikant gegenüber der Kontrollläsion inhibiert werden. Anscheinend ist die Läsionsprogression nicht abhängig von der erreichten Penetrationstiefe, da Solobond M[®] nur die geringste Penetrationstiefe verglichen mit den anderen verwendeten Materialien erreichte. Es scheint von daher nicht notwendig zu sein, die Läsion vollständig zu penetrieren, um eine Progression der Läsion zu verhindern. Dies gilt natürlich nur für den simulierten, 14 Tage andauernden Säureangriff.

Unterstützt wird dieses Ergebnis durch eine Studie, bei der 22 initiale Läsionen oberflächlich mit einem kariesresistenten Kunststoff versiegelt wurden und anschließend nach 6 wöchiger Lagerung in einem Demineralisationsgel keine Progression der Läsionen festgestellt werden konnte (Goepferd und Olberding 1989). Interessanterweise wurden hier die Poren der Läsionen nicht durch den Adhäsivkunststoff ausgefüllt. Nach Ätzung der pseudointakten Oberfläche der natürlich entstandenen initialen Läsionen mit Phosphorsäure wurde nur ein Ätzrelief innerhalb der Oberflächenschicht erzeugt. Ein Zugang durch die Oberflächenschicht hindurch zum Läsionskörper wurde nicht hergestellt. Aus diesem Grunde drang das Adhäsiv auch nur in die bis zu 50 µm tiefen oberflächlichen Porositäten des Ätzmusters ein, jedoch nicht in den Läsionskörper. Auf der Läsionsoberfläche wurde eine dicke Adhäsivschicht

belassen (Goepferd und Olberding 1989). Allein diese oberflächliche Versiegelung verhinderte eine Progression der Läsion. So verwundert es nicht, dass das teilweise Auffüllen des Läsionskörpers durch Solobond M[®] bereits zu einer stark erhöhten Resistenz gegenüber kariogenen Einflüssen führte.

In der vorliegenden Untersuchung wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Läsionsprogression zwischen teilweise und vollständig gefüllten Läsionskörpern oder nahezu vollständig gefüllten Läsionen gefunden. Allerdings wurde bei Solobond M[®] noch eine 4%ige Progression der Läsionen gemessen, während bei den Materialien Helioseal[®], Heliobond[®] und Excite[®] keine Läsionsprogression nachweisbar war. Längerfristige demineralisierende Einflüsse führen vielleicht bei nur teilweise gefüllten Läsionen zu einer Läsionsprogression. Diese Annahme bleibt jedoch weiterführenden Untersuchungen vorbehalten.

Adper Prompt L-Pop[®] zeigte selbst nach zweimaliger Applikation aufgrund des Lösungsmittelanteils eine sehr inhomogene und nur teilweise aus polymerisiertem Kunststoff bestehende Adhäsivschicht, welche anscheinend die erneuten kariogenen Einflüsse nicht abwehren konnte.

Ein wichtiger Aspekt, wenn auch weiterführenden Studien vorbehalten, ist sicherlich die Beurteilung der klinischen Durchführbarkeit einer Versiegelung von approximalen Läsionen. Mit Hilfe von kieferorthopädischen Gummis oder Drähten sollte eine geringfügige Separation mit Aufhebung des Kontaktpunktes möglich sein. So konnte gezeigt werden, dass unter Anwendung eines kieferorthopädischen Separiergummis innerhalb von 48 Stunden der Approximalkontakt vollständig aufgehoben werden kann (Gray und Shellis 2002). Im Selbstversuch des Autors wurde darüber hinaus festgestellt, dass eine längere Anwendung eines Separierdrahtes zu kaum einer weiteren Aufweitung des Approximalraumes an Zähnen innerhalb der Zahnreihe führt. Endständige Zähne können vermutlich stärker separiert werden. In den entstandenen approximalen Spalt kann mit wenig Aufwand ein Spanngummi zum Ausschluss der Interdentalregion vom Mundmilieu eingegliedert werden. Da mit kleinen Pinselchen oder Kanülen keine genaue Positionierung der Materialien im engen Spaltraum möglich ist, sollte ein modifiziertes Applikationssystem entwickelt werden.

6.3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit Hilfe der vorgestellten Untersuchungsmethode (VIRIN) können poröse Mikrostrukturen der Zahnhartsubstanzen visualisiert werden. Unter Anwendung dieses Verfahrens konnte erstmals gezeigt werden, dass kommerziell erhältliche Adhäsive, insbesondere Excite[®], zur nahezu vollständigen Versiegelung der Läsionskörper sowie tieferer Bereiche von initialen Schmelzläsionen geeignet erscheinen. Eine erneute Progression scheint bei derartig gefüllten/versiegelten Läsionen nahezu ausgeschlossen. Sofern sich diese vielversprechenden Ergebnisse auch in weiterführenden Studien an natürlichen Läsionen reproduzieren lassen, dürfte dies die zukünftige klinische Kariesprävention entscheidend beeinflussen.

Eine erste klinische Studie zur vorliegenden Problematik (hierbei ist wahrscheinlich nur eine oberflächliche Versiegelung und keine Infiltration der Läsionen erreicht worden) konnte anhand von periodisch angefertigten Bissflügelaufnahmen zeigen, dass 77 % der untersuchten Läsionen keine Progression nach zwei Jahren aufwiesen (Ekstrand und Martignon 2004). Damit stellt die Versiegelung approximaler Schmelzflächen mit Adhäsiven eine erfolgreiche Therapie während des untersuchten Zeitraumes dar, da eine invasive Intervention entsprechend hinausgezögert werden kann. Weitere Studien über längere Beobachtungszeiträume sind daher erforderlich. Fluoridierungsmaßnahmen sind als alleinige Therapie häufig nur wenig erfolgversprechend (Bille und Carstens 1989).

Dagegen scheint durch eine Versiegelung der approximalen Läsion eine Arretierung der Demineralisation möglich. Als weiterführende präventive Therapie würden sich Fluoridierungsmaßnahmen anbieten, um das Risiko einer neuentstehenden Karies/Sekundärkaries zu verringern.