

Ein Modell zur Simulation des Approximalverschleisses *in vitro*

Patrick R. Schmidlin, Tibor Pasqualetti, Thomas Imfeld
und Mario Besek

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Zürich, Klinik für Präventivzahnmedizin,
Parodontologie und Kariologie

Schlüsselwörter:
Approximalverschleiss, Kausimulator, Abrasion/Attrition,
REM, Profilometrie

Korrespondenzadresse:
Dr. Patrick R. Schmidlin
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Zürich, Klinik für Präventivzahnmedizin,
Parodontologie und Kariologie
Plattenstrasse 11, CH-8028 Zürich
Tel. 01/634 08 46, Fax 01/634 43 08

(Texte français voir page 434)

Viele Methoden haben sich mit der Verschleissmessung *in vitro* befasst. Dabei wurde dem Verschleiss in den «occlusal contact areas» (OCA) bedingt durch Antagonistenattrition und den «contact-free occlusal areas» (CFOA), simuliert durch Zahnbürsten- und Zahnpastenabration, besondere Bedeutung beigemessen. Wenige Daten sind über den Approximalverschleiss *in vitro* verfügbar.

Mittels einer neuen Konfiguration im Kausimulator wurde in einem Zweikörper-Abrasionstest im flüssigen Milieu unter Wechseltemperaturzyklus der approximale Verschleiss zweier Komposit (P-50, 3M ESPE und Tetric Ceram, Ivoclar-Vivadent) gegen unbehandelte Nachbarzähne nach 120 000 (a), 240 000 (b), 640 000 (c) und 1 200 000 (d) Kauzyklen untersucht. Der Verschleiss wurde profilometrisch quantifiziert und mittels REM oberflächen-morphologisch qualitativ beurteilt. Es konnte gezeigt werden, dass der Verschleiss ähnlich der okklusalen Abrasion nichtlinear verläuft, sondern nach einer ersten Belastungsphase statistisch signifikant zunahm ($p \leq 0,05$) und danach abflachte. Nach einem 5-Jah-

resäquivalent (Phase d) im Kausimulator betrug der mittlere gemessene Substanzverlust an Komposit $20,3 \pm 15,6 \mu\text{m}$ für P-50 und $17,5 \pm 3,1 \mu\text{m}$ für Tetric Ceram. Der ermittelte Schmelzabrieb zwischen Schmelzantagonisten betrug lediglich $3,9 \pm 4,3 \mu\text{m}$ ($p \leq 0,01$).

In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss der Approximalabration auf ein Versieglermaterial untersucht. Dabei wurden die belasteten Proben einem Demineralisationsgel ausgesetzt, um die protektive Wirkung des Versieglers nach Belastung mittels eines Polarisationsmikroskopes im Kontaktbereich und in den kontaktfreien Arealen zu evaluieren. Dabei konnte gezeigt werden, dass ein oberflächlicher Versieglerverlust zu einer Demineralisation führen konnte.

Einleitung

Da die klinische Materialtestung mit einem enormen zeitlichen, organisatorischen und finanziellen Aufwand verbunden ist, wird der *In-vitro*-Simulation eine immer grössere Bedeutung beigemessen. Diese bietet den Vorteil der Standardisierung der beeinflussenden Parameter. Neben Randqualität-, Leakage- und Farbstabilitätsuntersuchungen (LEINFELDER et al. 1975, BEN-AMAR et al. 1989, BARNES et al. 1991) steht die Messung des okklusalen Verschleisses der Restauration sowie die Verschleisswirkung auf den Antagonisten im Vordergrund (ROULET 1988). Deshalb wurden in den vergangenen Jahren auf diesem Gebiet viele *In-vitro*-Testmethoden entwickelt. Zur Evaluation des Ver-

schleisses durch Attrition und Abrasion wurden ausgeklügelte, dem oralen Milieu möglichst genau entsprechende künstliche Umgebungen geschaffen (DELONG & DOUGLAS 1983, KREJCI et al. 1993, BRYANT 1990). Dabei wurde vor allem zwischen dem «occlusal contact wear» (OCW), dem Verschleiss also, welcher direkt durch Antagonistenattrition und -abrasion im Kontaktbereich bedingt wird, und dem «contact-free occlusal wear» (CFOW), d.h. dem Verschleiss im übrigen Bereich der Restaurationsfläche, welche vor allem der Zahnbürsten- und Zahnpastenabrasion unterliegt, unterschieden (LUTZ et al. 1984). Verschiedenste chemische und physikalische Mechanismen, welche für den Verschleiss des Restaurationsmaterials verantwortlich sein sollten wurden in diesem Rahmen diskutiert (ROULET 1987, SULONG & AZIZ 1990). Dennoch konzentrierten sich auch viele klinische Verschleissuntersuchungen topografisch rein auf die Definition und Evaluation okklusaler Verschleissareale und auf die zu Grunde liegenden Mechanismen (LEWIS 1991).

Bezüglich der Messung des approximalen Verschleisses sind den Autoren keine Laboruntersuchungen bekannt. Auch *in vivo* sind bis dato nur wenige quantitative Daten verfügbar (WANG et al. 1989, ZIMIECKI et al. 1992, WENDT et al. 1996). Dies mag vor allem an der erschwerten Zugänglichkeit dieser Region liegen.

Ziel dieser Studie war es, eine Testsituation in der Kaumaschine zu schaffen, welche *in vitro* eine reproduzierbare Quantifizierung und eine morphologische Simulation des approximalen Verschleisses erlaubt. Um einen direkten Vergleich mit der bestehenden Literatur ziehen zu können, wurden das nicht mehr auf dem Markt erhältliche P-50 (3M ESPE) und das immer noch klinisch verwendete Hybridmaterial Tetric Ceram (Ivoclar-Vivadent) nach Belastung in der Kaumaschine (Jahresäquivalent 5 Jahre) sowohl profilometrisch als auch rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Zudem sollte der interdentale Abrieb zwischen natürlichen Molaren ermittelt werden.

Da diese Methode in der Zukunft vor allem der Testung von approximalen Versieglermaterialien dienen soll, ermittelte man zusätzlich rasterelektronenmikroskopisch und mittels Polarisationsmikroskop die Säureresistenz und das Abrasionsverhalten von versiegeltem Schmelz (Heliobond, Ivoclar-Vivadent) nach Belastung in dem vorgestellten Set-up.

Material und Methode

Approximalverschleiss an Komposit und Schmelz

Es wurden 44 extrahierte menschliche Unterkiefermolaren mit intakter approximaler Schmelzoberfläche als Antagonistenpaare verwendet. Die Wurzeln wurden ca. 3–5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze mit einer diamantierten Scheibe (Isomet Low Speed Saw, Buehler Ltd., Evanston, IL-USA) abgetrennt.

Diese Zahnproben wurden auf angerauten REM-Trägern (Balzers Union AG, Balzers, Liechtenstein) mittels Kaltpolymerisat (Paladur, Kulzer GmbH, Friedrichsdorf, Deutschland) in approximalem Kontakt zueinander eingebettet.

Bei 16 Zähnen wurde eine Klasse-II-Kavität (Slot) präpariert. Diese wurden in jeweils einem Inkrement nach Schmelzzätzung mit 35%iger Phosphorsäure (Ultraetch, Ultradent Products Inc., South Jordan, UT-USA) und Dentinkonditionierung (Syntac Classic, Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) gemäss Herstellerangaben nach dem Total-Bonding-Prinzip mit P-50 (3M ESPE, St. Paul, MN, USA, n = 8) und Tetric Ceram (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein, n = 8) gefüllt. Dabei wurde der Kontaktpunktbereich bewusst flach gestaltet und um 0,1 mm

überkonturiert, um diesen beim Finieren und Polieren nicht zu verlieren. Das Finieren und Polieren erfolgte mit flexiblen Discs in absteigender Reihenfolge (Soflex Pop-on Discs, 3M ESPE, St. Paul, MN-USA).

Zusätzlich wurden Brackets halbiert und jeweils bukkal und oral adhäsiv befestigt. Diese dienten als Referenzmarken für die spätere profilometrische Überlagerung. Die Antagonisten blieben dabei jeweils unbehandelt.

Als Kontrolle dienten 8 unbehandelte Antagonistenpaare für die Bestimmung der Abrasionswerte Schmelz gegen Schmelz. Anschliessend erfolgte die zyklische Belastung in der Kaumaschine (Kausimulator CoCom II, PPK, Zürich, Schweiz). Die Zähne wurden reponierbar auf einem Hartgummisockel positioniert und mit einer zyklischen vertikalen Kraft von 50 N belastet. Eine rostfreie Stahlkalotte mit einem Innenwinkel von 30° erzeugte dabei neben der vertikalen zwei horizontale Kraftvektoren, welche das Zahn- bzw. Zahn/Kompositpaar im Kontaktpunktbereich zusammenpressten (Abb. 1). Ein Elastomer-sockel ermöglichte eine minimale Abgleitbewegung. Die Belastung erfolgte im flüssigen Milieu unter Wechseltemperaturzyklus bei 5, respektive 50 Grad Celsius. Nach 120 000 (Behandlungsphase a), 240 000 (b), 640 000 (c) und 1 200 000 (d) Kauzyklen wurden jeweils Abformungen mit einem niedrigviskosen Polyvinsiloxan (President Light Body, Coltène, Altstätten, Schweiz) genommen. Diese wurden mit einem Epoxy-Harz (Stycast, Emerson and Cuming, Belgien) ausgegossen und auf REM-Trägern montiert.

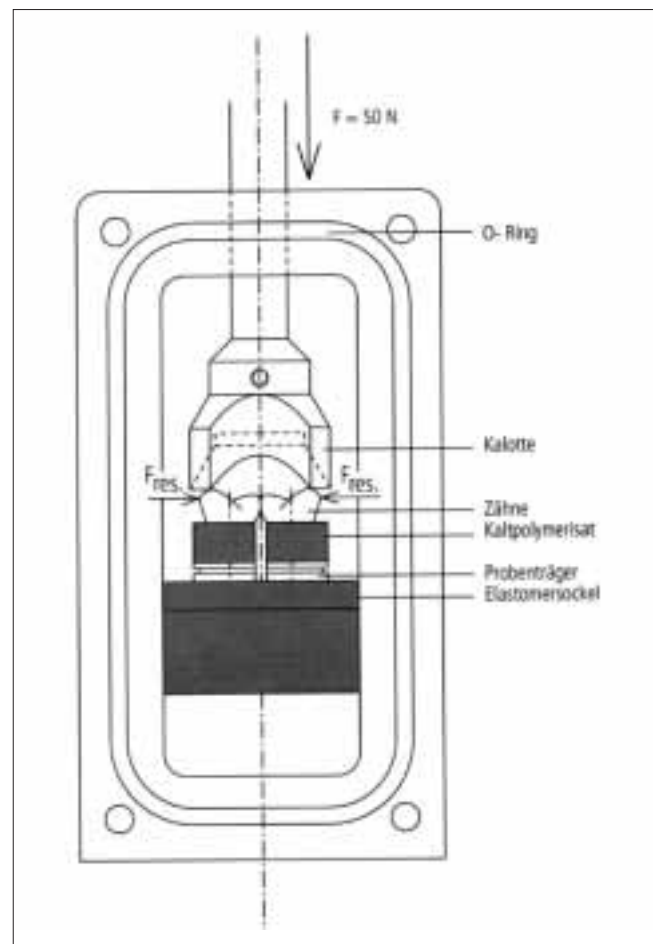


Abb. 1 Schematische Darstellung eines Kammer-Magnet-Elementes.

Die Replika wurden in einem Profilometer positioniert (Form Talysurf 50, Rank Taylor Hobson, Leicester, England) und auf einer Strecke von 3 mm abgetastet. Dabei dienten die Brackets als Referenz. Anschliessend wurden die gespeicherten Profilverläufe überlagert und der Substanzverlust an der tiefsten Stelle gemessen.

Die Abrasion der beiden Materialien in der jeweiligen Belastungsphase wurde statistisch mit dem Mann-Whitney-U-Test verglichen. Das Verhalten der Materialien über den gesamten Beobachtungszeitraum wurde mit dem Wilcoxon-Test (P-50) und dem gepaarten t-Test (Tetric Ceram) auf statistische Unterschiede hin überprüft.

Zusätzlich wurden danach die Replika mit Gold bedampft und am Rasterelektronenmikroskop qualitativ bezüglich der Oberflächenmorphologie untersucht (Amray Model 1810 T, Amray Inc., Bedford, USA).

Approximalverschleiss an versiegeltem Schmelz

Zu diesem Zweck wurden acht eingebettete menschliche Molaren wie folgt behandelt: Die Approximalfläche wurde gereinigt und in bucco-oraler Richtung in drei gleiche Teile unterteilt, die wie folgt behandelt wurden: Ein äusseres Drittel wurde mit Rubber-Cement (Sanford Corp., Bellwood, IL-USA) geschützt und diente als «Positive Control-Site». Die übrige Approximalfläche wurde mit 35%iger Phosphorsäure während 120 Sekunden geätzt und anschliessend mit Heliobond (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) versiegelt und nach einer Penetrationszeit von 20 Sekunden während 60 Sekunden polymerisiert (Optilux 500, Demetron Inc., Danbury, CT-USA). Der Vorgang wurde ein zweites Mal wiederholt. Das verbliebene äussere Drittel wurde zusätzlich mit einer dünnen Schicht Tetric Flow (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) überzogen, auspolymerisiert und diente als «Negative-Control-Site». Der Rubber Cement wurde entfernt und die acht Antagonistenpaare wie oben beschrieben in der Kaumaschine belastet. Nach 120 000, 240 000, 640 000 und 1 200 000 Kauzyklen wurden Abdrücke mit einem niedrigviskosen Polyvinylsiloxan genommen und im REM wie oben beschrieben analysiert. Nach 1 200 000 Kauzyklen, was einem 5-Jahres-Äquivalent entspricht, erfolgte eine Säureexposition mittels eines Demineralisationsgels während 12 Wochen. Anschliessend wurden die Proben axial durch den Kon-

taktpunkt geschnitten und bezüglich Demineralisation und Versieglerverlust im Polarisationsmikroskop untersucht.

Resultate

Approximalverschleiss an Komposit und Schmelz

Bezüglich des Approximalverschleisses an Komposit während der untersuchten Zeitdauer bestand für P-50 kein linearer Zusammenhang (Abb. 2). Der Verschleiss stieg zwischen der ersten und zweiten Belastungsphase statistisch signifikant ($p \leq 0,05$) von $5,4 \pm 1,7 \mu\text{m}$ auf $9,1 \pm 3,4 \mu\text{m}$ an, flachte danach ab und zeigte darauf keine statistisch signifikante Zunahme der Abrasion an. Nach 1,2 Millionen Kauzyklen (Behandlungsphase d) war eine Defekttiefe von $20,3 \pm 15,7 \mu\text{m}$ messbar.

Ähnliches war für Tetric Ceram zu beobachten (Abb. 2). Auch hier stieg zwischen den ersten drei Belastungsphasen der Verschleisswert statistisch signifikant ($p \leq 0,05$) von $4,3 \pm 3,4 \mu\text{m}$ über $11,4 \pm 3,6 \mu\text{m}$ auf $16,6 \pm 3,1 \mu\text{m}$ an und flachte anschliessend auf einen Wert von $17,5 \pm 3,1 \mu\text{m}$ ab.

Beide Kompositen zeigten vergleichbare Verschleisswerte über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg (n.s.). Allerdings waren bei P-50 deutliche Abweichungen hin zu grösseren Verschleisswerten festzustellen.

Eine quantifizierbare Abrasion konnte lediglich bei den restaurierten Approximalflächen profilometrisch ermittelt werden. Die Schmelzantagonisten zeigten keinen messbaren Substanzverlust. Wurden die Schmelzantagonisten gegeneinander belastet, konnte erst nach 1,2 Millionen Kauzyklen (d) ein Schmelzverlust von $3,9 \pm 4,3 \mu\text{m}$ gemessen werden, der sich statistisch signifikant von P-50 ($p \leq 0,01$) und Tetric Ceram ($p \leq 0,001$) unterschied.

Der im Profilometer bestimmte Substanzverlust konnte morphologisch auch im REM bestätigt werden (Abb. 3). Dabei zeigten sich bei höherer Vergrösserung auch deutliche Verschleisspuren in vertikaler Richtung (Abb. 4).

Approximalverschleiss an versiegeltem Schmelz

Im Rasterelektronenmikroskop konnten deutlich Abrasionspuren im Kontaktpunktbereich festgestellt werden. Zudem waren auch Desintegrationen im Bereich des kontaktfreien Areals vorhanden (Abb. 5a und 5b).

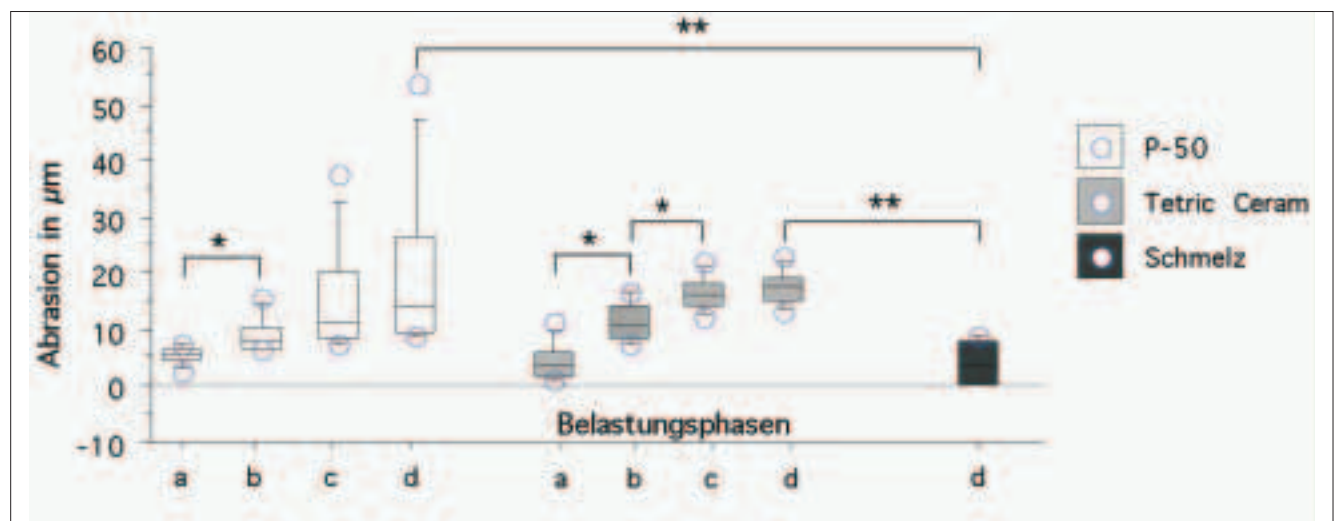


Abb. 2 Approximaler Verschleiss in μm . Phase a: 120 000 Kauzyklen (0,5-Jahres-Äquivalent), Phase b: 240 000 Kauzyklen (1-Jahres-Äquivalent), Phase c: 640 000 Kauzyklen (2,5-Jahres-Äquivalent) und Phase d: 1 200 000 Kauzyklen (5-Jahres-Äquivalent). Signifikanz: * = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$.

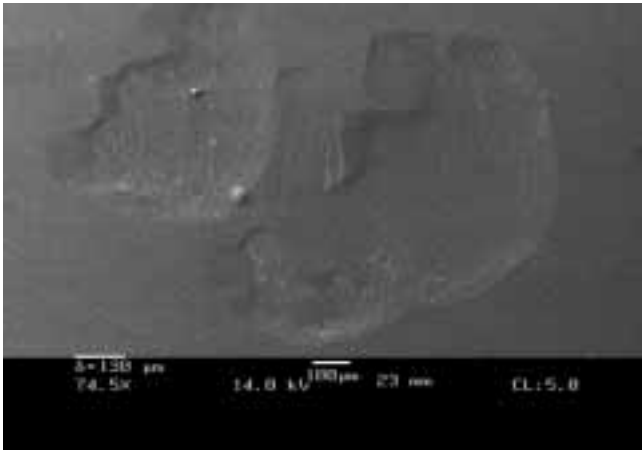


Abb.3 Beispiel eines Approximalverschleissmusters im REM (Tetric Ceram, Vergrößerung 75×).

Fig.3 Exemple d'un type de structure d'usure interproximale vu au MEB (Tetric Ceram, agrandissement 75×).

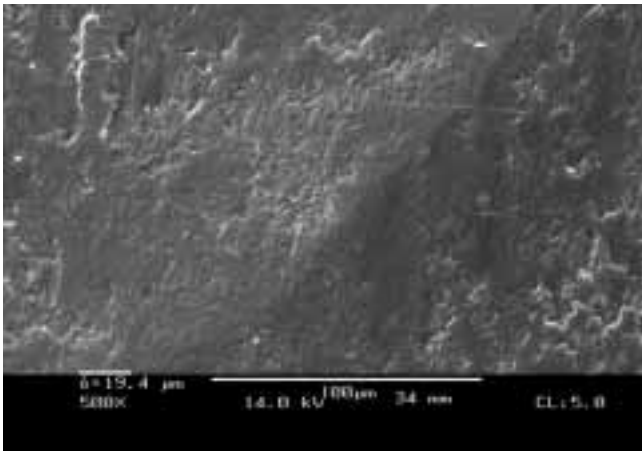


Abb.4 Detailaufnahme aus Abb. 3 bei 500facher Vergrößerung. Deutliche Verschleisspuren sind erkennbar.

Fig.4 Vue de détail de la fig. 3 à un grossissement de 500×. A noter les traces d'usure manifestes.

Im Polarisationsmikroskop konnte nach Demineralisation generell eine protektive Wirkung sowohl bei der 2-maligen Heliobondapplikation als auch bei der Überschichtung mit Tetric Flow festgestellt werden (Abb. 6). Im Vergleich zur unbehandelten Approximalfläche kam es hier zu keiner ausgeprägten Demineralisation. Allerdings konnten bei vier von sechs Proben, bei denen es im Kontaktpunktbereich zu einem vollständigen Versieglerverlust kam, Schmelzläsionen beobachtet werden (Abb. 7, Tab. 1). Zwei Proben zeigten im gewählten Schnitt im Kontaktpunktbereich eine gute Versieglerretention. Betrachtet man das kontaktfreie, mit Bond versiegelte Areal, so zeigten sieben der acht Proben eine bis mehrere Desintegrationsstellen, welche sich in einem Verlust der Bondschicht äuserten.

Diskussion

Bezüglich *In-vitro*-Abrasionsverhalten stellen Drei- und Zweikörper-Abrasionstests die derzeit gebräuchlichsten Labormethoden dar, um einen der Klinik mehr oder weniger nachempfundenen Verschleiss zu messen.

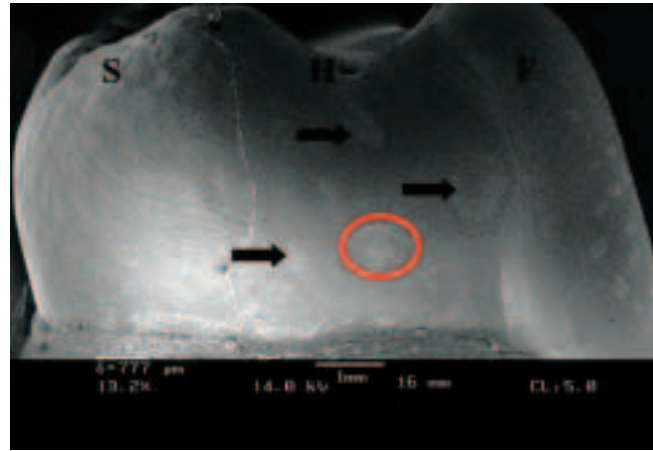


Abb.5a Approximalverschleiss an einer versiegelten Zahnprobe. Die Approximalfläche wurde in drei Teile unterteilt: unbehandelter Schmelz (S, Positivkontrolle), Versiegler (Heliobond: H, Test) und Komposit (Tetric Flow: F, Negativkontrolle). Die Pfeile zeigen Stellen mit desintegrierter Versieglererschicht nach Belastung. Der Kreis zeichnet den Kontaktpunkt.

Fig.5a Usure interproximale sur un échantillon dentaire sous scellement de surface. La face interproximale a été divisée en trois parties: émail non traité (S: contrôle positif); zone traitée par scellement (Heliobond: H, zone de test); composite (Tetric Flow: F, contrôle négatif). Les flèches indiquent les zones ayant subi une désintégration de la couche de la résine de scellement après mise sous charge. Le cercle délimite le point de contact.

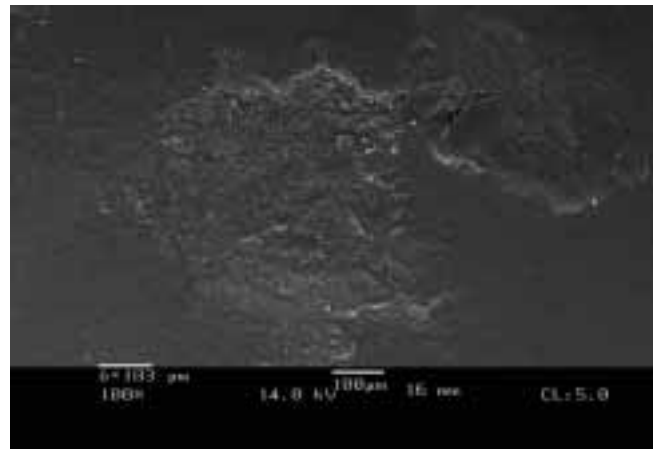


Abb.5b Detailaufnahme des Kontaktpunktes aus Abb. 5a. Ein deutlicher Versieglerverlust ist erkennbar.

Fig.5b Vue de détail du point de contact de la fig. 5a. A noter une perte nette de la couche de la résine de scellement.

Die Dreikörperabrasionsversuche bedienen sich dazu eines losen Abrasivmediums, welches zwischen Probenoberfläche und Antagonisten eingebracht wird. Als typischer Vertreter in dieser Anordnung sind die Zahnpastenabrasionsversuche zu nennen. Ein anderer Versuchsaufbau, der nur wenig mit der klinischen Situation vergleichbar ist, besteht im Schütteln von kugelförmigen Probekörpern zusammen in einem abrasiven Brei aus Siliziumkarbid (JONES et al. 1972). Durch das Einwirken von kontrollierten starren Kraftmediatoren als Antagonisten wurde eine Verbesserung dieser Anordnung erzielt. Dennoch hängen die Resultate stark von der Korngrösse des Abrasivmediums, der einwirkenden Kraft und von der Grösse der Proben ab (EHRNFORD et al. 1980, MARQUIS et al. 2000). Beim Zweikörper-Verschleisstest reibt die Oberfläche des Antagonisten direkt auf der

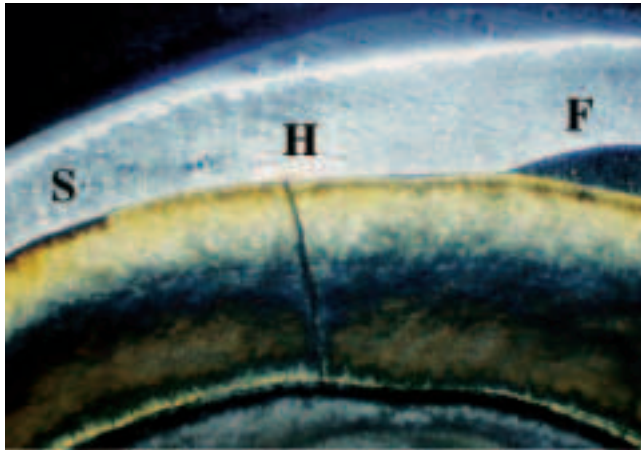


Abb. 6 Histologischer Schnitt im Polarisationsmikroskop. Die behandelten Flächen sind wie in Abb. 5a gekennzeichnet. Die dunkle Schmelzoberfläche im unbehandelten Areal deutet auf Demineralisationsvorgänge hin.

Fig. 6 Coupe histologique sous microscope à lumière polarisée. Les surfaces traitées sont marquées par les mêmes lettres que dans la fig. 5a. La surface amélaire foncée dans la zone non traitée reflète les processus de déminéralisation.

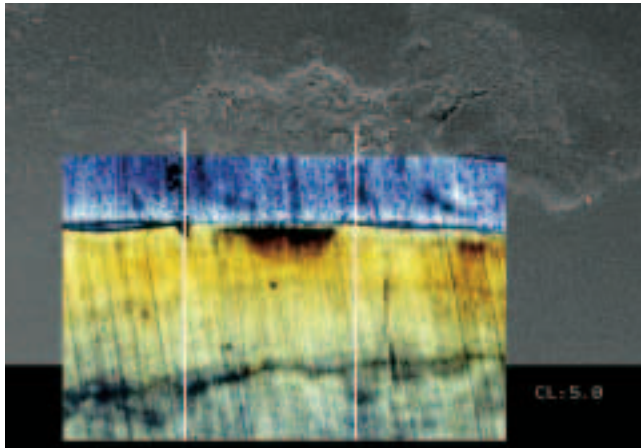


Abb. 7 Das histologische Schnittpräparat der Probe aus Abb. 6 ist der REM-Aufnahme überlagert. Ein kariesähnliches Demineralisationsmuster im abradieren Schmelz ist erkennbar.

Fig. 7 Superposition de la coupe histologique de la fig. 6 montée sur le cliché MEB. A noter une structure de déminéralisation similaire à une lésion carieuse au niveau de l'émail de la zone d'abrasion.

Tab. 1 Anzahl beobachteter Demineralisationen und Versieglerverluste bei den 8 belasteten Proben.

N=8	Unversiegelt	2× Heliobond	Tetric Flow
Demineralisation			
Positiv	8	4	0
Negativ	0	4	8
Versieglerverlust			
Kontaktpunkt	/	6	0
Kontaktfreies Areal	/	7	0

Probe und stellt somit selber das Abrasivmedium und den Kraftmediator dar.

Wird die Krafeinwirkung durch kauzyklusähnliche Belastung mittels Antagonisten aus Schmelz oder Restaurationsmaterialien mit natürlicher Geometrie imitiert und dabei der Substanz-

abtrag genau quantifiziert, so spricht man von physiologischen Tests.

Bei all diesen Versuchsanordnungen war das Hauptaugenmerk auf die Untersuchung des okklusalen Verschleisses gerichtet. Aus (paläo)anthropologischen Studien ist bekannt, dass neben dem okklusalen Verschleiss auch die proximale Abrasion und Attrition eine wichtige Rolle spielen. Funktionelle Veränderungen können adaptive Vorgänge im Zahnhalteapparat nach sich ziehen (NEWMAN 1999). Dabei liegen verschiedene Untersuchungen aus dem deutschsprachigen Raum über die «räumlich gekrümmte Abrasion der interproximalen Kontakte» vor (MOTSCH 1968, NENNINGER 1972, GEHEB 1981). Den Autoren sind jedoch keine quantitativen proximalen *In-vitro*-Verschleissmessungen bekannt. Auch *in vivo* sind bis dato nur wenige quantitative Daten verfügbar.

Der in dieser Studie verwendete Versuchsaufbau stellt somit ein Novum dar. Er entspricht dem von KREJCI und LUTZ erarbeiteten physiologischen Versuchsaufbau mittels einer Kaumaschine (KREJCI 1990, KREJCI & LUTZ 1990), wobei hier als Antagonist eine rostfreie Stahlkalotte verwendet wurde, um eine proximale Abrasion (Zweikörperabrasion) unter Thermocycling zu erzeugen.

Die Abrasionswerte dieser Untersuchung lassen sich allerdings auf Grund fehlender anderer *In-vitro*-Studien nicht mit solchen vergleichen. Es können lediglich die wenigen erwähnten *In-vivo*-Studien herangezogen werden.

VINCI dokumentierte klinisch in ihrer Masters Thesis als Erste nach einem Zeitraum von 4,5 Monaten einen Substanzverlust von 46 µm an mit Komposit gefüllten Molaren (VINCI 1984). In einer weiteren klinischen Studie über den gleichen Zeitraum beobachteten WANG et al. (1989) an 11 Füllungen in Prämolaren einen mittleren Substanzverlust von 15 µm. Kontrollzähne ohne Füllungen zeigten dabei keine signifikante Veränderung der interproximalen Dimension. Diese Werte lagen deutlich höher als die *In-vitro*-Resultate dieser Studie mit ermittelten Werten von 5,4±1,7 µm für P-50 und 4,3±3,4 µm für Tetric Ceram. Dies könnte methodenbedingt sein. Die reponierbare, aber nicht starre Verankerung der Proben im Elastomersockel schien dennoch kleine Überlappungen im Kontaktpunktbereich zuzulassen, was sich im REM durch kongruente, aber teilweise seitlich verschobene Abrasionsspuren ausdrückte. Dadurch ist eine Reduktion des kumulativen Effektes bei den verschiedenen Belastungszyklen bezüglich Abrasionstiefe denkbar.

Betrachtet man die Verschleisswerte der Studie von ZIMECKI et al. (1992) so konnte für P-30 ein sogar noch höherer Substanzverlust ermittelt werden. Die Verschleisswerte betragen dieser Studie zufolge nach 6 Monaten 115 µm, nach einem Jahr 188 µm und nach 3 Jahren 263 µm. Es konnte eine Abflachung der Verschleisskurven beobachtet werden. Dabei zeigten Molaren nach einem halben und einem Jahr signifikant mehr Substanzverlust als Prämolaren. Nach 3 Jahren konnte hingegen kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Prämolaren und Molaren mehr festgestellt werden.

In einer weiteren 2-Jahres-Studie derselben Arbeitsgruppe wurde für P-50 ein Substanzverlust von 83 µm nach einem halben Jahr, 167 µm nach einem Jahr und 211 µm nach zwei Jahren festgestellt (WENDT et al. 1996). In beiden Studien konnte eine Abflachung der Verschleisskurve festgestellt werden. Diese Beobachtung wurde in der vorliegenden Studie bestätigt. Verschleisskurven im okklusalen Kontaktareal verhielten sich ähnlich (GÖHRING et al. 2002).

Der Verschleiss von Tetric Ceram fiel insgesamt etwas geringer aus. Dies kann nicht durch die Härte der Materialien erklärt

werden. Es ist bekannt, dass keine direkte Korrelation zwischen dieser physikalischen Eigenschaft und den ermittelten Abrasionswerten – vor allem *in vivo* – besteht (WILSON 1990). P-50 zeigte eine nichtnormale Verteilung mit Abweichungen hin zu höheren Verschleisswerten. Dies könnte mit der inhomogenen Füllerverteilung, die von 6 bis 0,2 µm reicht, und der Füllerart (Zirkonium/Silizium) erklärt werden.

Bezüglich der oberflächenmorphologischen Untersuchung war das Erscheinungsbild der produzierten Abrasionsfacetten mit dem natürlichen Vorbild vergleichbar. Es resultierten aus der *In-vitro*-Belastung ähnliche ovale Abrasionsfacetten, welche bei höherer Vergrößerung vor allem vertikalen Striae erkennen liessen. Diese lassen auf das einwirkende Bewegungsmuster schliessen (RADLANSKI & JAGER 1989, HOLMEN 1987, KAIDONIS et al. 1992).

Ein ebenfalls deutliches Verschleissmuster war bei den versiegelten Proben feststellbar. Hier war lokal im Kontaktpunktbereich ein Versieglerverlust erkennbar. Durch Thermocycling bedingt waren zudem deutliche Desintegrationen in kontaktfreien Arealen erkennbar. Dieser wohl chemische Prozess stimmt mit den Resultaten einer weiteren *In-vitro*-Studie überein, wo ebenfalls gezeigt werden konnte, dass bereits eine Lagerung in Speichelersatz (pH 7) oder Milchsäure (pH 4) ohne mechanische Belastung zu einer partiellen Auflösung des Versieglers führte (SCHMIDLIN et al. 2002).

Wurden die Proben zusätzlich einem Demineralisationsgel ausgesetzt, führte ein kompletter Verlust des Versieglermaterials im Kontaktpunktbereich, was bei sechs der acht Proben der Fall war, zu einer Demineralisation im Kontaktpunktbereich. Bei zwei dieser Proben blieb der Schmelz dennoch vor Demineralisationen geschützt. Dies deutet auf eine protektive Wirkung der Tags hin. Diese Vermutung wird auch dadurch unterstützt, dass in nicht belasteten Arealen ohne Schichtbildung, bedingt durch chemische Einflüsse oder Benetzungsprobleme, es dennoch zu keiner Demineralisation kam.

Die vorgestellten Resultate müssen allerdings als vorläufig gelten. Sie zeigen jedoch, dass sich diese Methode gut eignet, um neue Materialien für die Approximalversiegelung zu testen. Auch könnte es interessant sein, die Wirkung dieser Krafterwirkung auf die marginale Adaptation von Restaurationmaterialien zu evaluieren. Es sind bis dato den Autoren keine diesbezüglichen Studien bekannt. Somit bedarf es weiterer Untersuchungen, um diese Form der Approximalverschleissimulation und -messung zu validieren und andere Anwendungsmöglichkeiten zu prüfen.

Summary

PATRICK R. SCHMIDLIN, TIBOR PASQUALETTI, THOMAS IMFELD, MARIO BESEK: **A model for the simulation of approximal wear in vitro** (in German). Schweiz Monatsschr Zahnmed 113: 427–433 (2003)

Several methods have been developed to evaluate attritional wear of restorative materials. A distinction was made between attritional wear in occlusal contact areas (OCA) and wear in contact-free occlusal areas (CFOA). Only limited data dealing with approximal wear in vitro are available.

Using a new configuration of the computer-controlled masticator, approximal wear of two composites (P-50, 3M and Tetric Ceram, Ivoclar-Vivadent) was assessed in a two-body wear test after thermo-mechanical loading. Wear was quantified using a profilometer. In addition, micromorphology was assessed by SEM.

Wear showed a non-linear pattern, which was comparable to occlusal abrasion. After the first loading cycle, wear increased significantly ($p \leq 0.05$), and subsequently decreased. After a 5-year equivalent, the mean substance loss for composite specimens was $20.3 \pm 15.6 \mu\text{m}$ for P-50 und $17.5 \pm 3.1 \mu\text{m}$ for Tetric Ceram. Ap-proximal wear between enamel surfaces was $3.9 \pm 4.3 \mu\text{m}$.

In another experiment, the influence of the approximal wear on an enamel bonding agent was assessed. After thermo-mechanical loading, specimens were immersed in a demineralisation gel. The protective potential of the sealant was assessed under a polarized light microscope. The results suggested that partial sealant loss could lead to caries-like demineralisation in the affected areas.

Literatur

- BARNES D M, BLANK L W, THOMPSON V P, HOLSTON A M, GINGELL J C: A 5- and 8-year clinical evaluation of a posterior composite resin. Quintessence Int 22: 143–151 (1991)
- BEN-AMAR A: Microleakage of composite resin restorations. A status report. Am J Dent 2: 175–180 (1989)
- BRYANT R W: Comparison of three standards for quantifying occlusal loss of composite restorations. Dent Mater 6: 60–62 (1990)
- DELONG R, DOUGLAS W H: Development of an artificial oral environment for the testing of dental restoratives: bi-axial force and movement control. J Dent Res 62: 32–36 (1983)
- EHRNFORD L, DERAND T, LARSSON L A, SVENSSON A: An abrasion test for composite resins. J Dent Res 59: 716–720 (1980)
- GEHEB H: Proximal abrasion. Quintessenz 32: 1405–1410 (1981)
- GÖHRING T N, BESEK M J, SCHMIDLIN P R: Attritional wear and abrasive surface alterations of composite resin materials in vitro. J Dent 30: 119–127 (2002)
- HOLMEN L: A scanning electron microscopy study of approximal premolar surfaces from fifteen year old children living in a fluoridated community. Scanning Microsc 1: 2019–2024 (1987)
- JONES D W, JONES P A, WILSON H J: A simple abrasion test for composites. J Dent 1: 28–34 (1972)
- KAIDONIS J A, TOWNSEND G C, RICHARDS L C: Brief communication: interproximal tooth wear: a new observation. Am J Phys Anthropol 88: 105–107 (1992)
- KREJCI I, HEINZMANN J L, LUTZ F: The wear on enamel, amalgam and their enamel antagonists in a computer-controlled mastication simulator. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 1285–1291 (1990)
- KREJCI I, LUTZ F: In-vitro test results of the evaluation of dental restoration systems. Correlation with in-vivo results. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 1445–1449 (1990)
- KREJCI I, LUTZ F, REIMER M, HEINZMANN J L: Wear of ceramic inlays, their enamel antagonists, and luting cements. J Prosthet Dent 69: 425–430 (1993)
- LEINFELDER K F, SLUDER T B, SOCKWELL C L, STRICKLAND W D, WALL J T: Clinical evaluation of composite resins as anterior and posterior restorative materials. J Prosthet Dent 33: 407–416 (1975)
- LEWIS G: In vivo occlusal wear of posterior composite restorations. Oper Dent 16: 61–69 (1991)
- LUTZ F, PHILLIPS R W, ROULET J F, SETCOS J C: In vivo and in vitro wear of potential posterior composites. J Dent Res 63: 914–920 (1984)
- MARQUIS P M, HU X, SHORTALL A C: Two-body wear of dental composites under different loads. Int J Prosthodont 13: 473–479 (2000)

- MOTSCH A: Proximal filling, a problem of caries- and periodontal prophylaxis. *Dtsch Zahnärztl Z* 23: 83–91 (1968)
- NENNINGER H: Approximal abrasion. Comment on E. Souerwein's report in *Quintessenz*, No. 7, 1970. *Quintessenz* 23: 85–91 (1972)
- NEWMAN H N: Attrition, eruption, and the periodontium. *J Dent Res* 78: 730–734 (1999)
- RADLANSKI R J, JAGER A: Micromorphology of the approximal contact surfaces and the occlusal abrasion facets of human permanent teeth. *Dtsch Zahnärztl Z* 44: 196–197 (1989)
- ROULET J F: A materials scientist's view: assessment of wear and marginal integrity. *Quintessenz Int* 18: 543–552 (1987)
- ROULET J F: The problems associated with substituting composite resins for amalgam: a status report on posterior composites. *J Dent* 16: 101–113 (1988)
- SCHMIDLIN P R, GOHRING T N, SENER B, LUTZ F: Resistance of an enamel-bonding agent to saliva and acid exposure *in vitro* assessed by liquid scintillation. *Dent Mater* 18: 343–350 (2002)
- SULONG M Z, AZIZ R A: Wear of materials used in dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 63: 342–349 (1990)
- VINCI R C: Stability of proximal restorations in Class 2 composite resin restorations: a clinical study. Master's Thesis, The University of Michigan School of Dentistry, Ann Arbor (1984)
- WANG J C, CHARBENEAU G T, GREGORY W A, DENNISON J B: Quantitative evaluation of approximal contacts in Class 2 composite resin restorations: a clinical study. *Oper Dent* 14: 193–202 (1989)
- WENDT S L, ZIEMIECKI T L, LEINFELDER K F: Proximal wear rates by tooth position of resin composite restorations. *J Dent* 24: 33–39 (1996)
- WILSON N H: The evaluation of materials: relationships between laboratory investigations and clinical studies. *Oper Dent* 15: 149–155 (1990)
- ZIEMIECKI T L, WENDT S L, LEINFELDER K F: Methodology for proximal wear evaluation in posterior resin composites. *Am J Dent* 5: 203–207 (1992)