

# Die Biokompatibilität von Komposit-Kunststoffen

Gottfried Schmalz, Werner Geurtsen, Dorthe Arenholt-Bindslev

*Komposit-Kunststoffe werden heute in einer Vielzahl von Fällen verwendet, zum Beispiel als Füllungsmaterialien, Stumpfaufbauwerkstoffe, Fissurenversiegler und Befestigungskomposite. Seit kurzem werden diese Werkstoffe auch als Wurzelkanalsealer von einigen Autoren empfohlen. Hinzu kommen Hilfsmittel, wie Säuren und Dentinadhäsive, die den Verbund zwischen Komposit-Kunststoff und Zahnhartsubstanzen verbessern sollen. Kompomere sind chemisch und biologisch den Komposit-Kunststoffen weitgehend ähnlich. Die Eignung zahnärztlicher Werkstoffe, wie von Komposit-Kunststoffen, basiert wissenschaftlich und juristisch im Wesentlichen auf ihrer Wirksamkeit und Sicherheit.*



*Sanierungsbedürftiges Gebiss mit insuffizienten Kompositfüllungen  
(mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. B. Thonemann, Düsseldorf)*

**D**ie Wirksamkeit wird in der Regel durch technische Prüfungen und klinische Tests ermittelt; nach Gesetzeslage basiert die Sicherheit auf einer akzeptablen Biokompatibilität, die in entsprechenden präklinischen und klinischen Prüfungen untersucht und schließlich beurteilt werden kann. Ziel dieser Übersicht ist es, die wichtigsten Aspekte der Biokompatibilität von Komposit-Kunststoffen und verwandten Werkstoffen sowie von Hilfsstoffen, wie auch Dentinadhäsiven, darzustellen. Für weiterführende Informationen zu diesem Themenkomplex sei der interessierte Leser auf die Literatur verwiesen [25].

## Zusammensetzung und Freisetzung von Substanzen

Die Biokompatibilität von Werkstoffen im Allgemeinen hängt zunächst von der Zusammensetzung, vor allem aber von Art und Menge der freigesetzten Substanzen ab. Komposit-Kunststoffe sind im Vergleich zu anderen Werkstoffen, wie Amalgam,

sehr komplexe Stoffgemische und enthalten neben den üblichen Monomeren (Bis-GMA, UDMA), Comonomeren (wie TEGDMA), Füllpartikeln und Coupling Agents (Silane) noch eine Vielzahl von Substanzen, mit deren Hilfe das Abbindeverhalten, die Farbe und die Stabilität gesteuert werden [25]. Die Abgabe von Bestandteilen aus Komposit-Kunststoffen geschieht da-

**Kompositwerkstoffe haben das Amalgam aus restaurationsbedürftigen Kavitäten stark zurückgedrängt. Bezogen auf den Satz: „Keine Wirkung ohne Nebenwirkung“, beschäftigt sich diese umfangreiche Arbeit mit der Biokompatibilität der neuen Zahnersatzmaterialien und reflektiert ihre Verträglichkeit sowie Einsatzfähigkeit. Die Autoren haben nach umfangreichen Literaturstudien und eigenen Untersuchungen Anwendungshinweise entwickelt, die am Ende des Beitrags zu finden sind. Dieser Beitrag erschien in der dzz 9/05. Wir drucken ihn mit freundlicher Genehmigung des Verlages nach. Das Thema Biokompatibilität wird auch in unserem „Aktuellen Thema“ Seite 12 aufgegriffen und kritisch beleuchtet. (Anm. d. Redaktion)**

durch, dass diese nur unvollständig oder gar nicht in das Polymergeflecht eingebaut worden sind. Zudem werden verschiedene Substanzen im Anschluss an die Polymerisation durch Degradation oder Erosion aus Matrix und Füller im Laufe der Zeit freigesetzt. Schließlich können auch Reaktionsprodukte entstehen. Dentinadhäsive enthalten unterschiedliche Methacrylate, wie auch HEMA und TEGDMA. Die Konzentration dieser Monomere ist im Vergleich zu Komposit-Kunststoffen wesentlich höher, da Dentinadhäsive keine oder nur wenige Füller enthalten. Einzelne Präparate enthalten Glutaraldehyd.

Nahezu alle organischen Komponenten lassen sich aus polymerisierten Komposit-Kunststoffen mit organischen Lösungsmitteln, wie Methanol, extrahieren. Im wässrigen Milieu der Mundhöhle werden allerdings weniger Substanzen freigesetzt. Insbesondere die relativ gut wasserlöslichen, kleinen Comonomere, wie EGDMA, DEGDMA und TEGDMA findet man in vergleichsweise hoher, potentiell pulpatoxischer Konzentration in wässrigen Eluaten von Komposit-Kunststoffen, während die Matrixharze Bis-GMA und UDMA sowie verschiedene Additive, wie Stabilisatoren, nur in relativ geringen Mengen freigesetzt werden [31]. Von Bedeutung ist Formaldehyd, das ebenfalls nach der Polymerisation von Komposit-Kunststoffen, insbesondere bei

Vorliegen einer sauerstoffinhibierten oberflächlichen Schicht, in die Mundhöhle über einen längeren Zeitraum (bis 115 Tage nach Polymerisation) freigesetzt werden kann. Generell lässt sich sagen, dass maximal zehn Prozent der organischen Verbindungen in Wasser abgegeben werden. Zudem wurde festgestellt, dass in einem wässrigen Milieu 90 Prozent aller freigesetzten Substanzen in den ersten 24 Stunden nach dem Anmischen eluiert werden [6]. Wesentlich höhere Freisetzungsraten sind bei Dentinadhäsiven zu erwarten.

Auch aus den anorganischen Füllern können Substanzen abgegeben werden, wobei röntgendichte Füller, die beispielsweise Zink, Strontium und insbesondere Barium enthalten, löslicher sind als Füller aus Quarz oder feinstteiligem Siliziumdioxid (Mikrofüller, Nanofüller). Wässrige Füllerextrakte enthalten hauptsächlich Silizium, Bor, Natrium und Barium, allerdings in nur sehr geringen Konzentrationen [6].

Aus den Daten zur Freisetzung von Substanzen aus Komposit-Kunststoffen folgt,



Abbildung 1: Typ-I-Reaktion mit Urtikaria und asthmaähnlichen Anfällen nach Applikation eines Fissurenversieglers [7]. (Mit freundlicher Genehmigung von Dr. U. Hallström, Lund, Schweden).

dass zahnärztliches Personal eine Risikogruppe darstellt, da es möglicherweise über lange Zeit und wiederholt Kontakt mit diesen Werkstoffen in nicht abgebindenem Zustand hat.

## Mutagenität, systemische Toxizität und Östrogenität

Für eine Reihe von Basismonomeren sind Daten zur allgemeinen Giftigkeit (systemische Toxizität), zum Beispiel nach dem Verschlucken von Monomeren, aus Tierversuchen verfügbar. Außerdem sind Komposit-Kunststoffe über viele Jahre hinweg klinisch verwendet worden, ohne dass über nennenswerte Vergiftungserscheinungen berichtet wurde. Aus dieser Datenlage kann man folgern, dass Komposit-Kunststoffe systemisch nicht toxisch sind [25].

Trotzdem werden von manchen Patienten subjektive Symptome (wie Unwohlsein, Müdigkeit, und mehr) mit Komposit-Kunststoffen in Zusammenhang gebracht. Die angegebenen Symptome stimmen auffallend mit denjenigen überein, die dem Amalgam oder anderen Dentallegierungen angelastet werden [25]. Daraus kann gefolgert werden, dass hier möglicherweise andere Faktoren (unerkannte Allgemeinerkrankung, Medikamentennebenwirkungen, psychologische Aspekte) eine Rolle spielen. Dies sollte bedacht werden, wenn der Zahnarzt derartige Patienten behandelt.

In der Regel ist eine enge Kooperation mit anderen Bereichen der Medizin erforderlich, um den Patienten helfen zu können. Epidemiologische Untersuchungen zur Anzahl von Patienten, die über derartige Symptome klagen, liegen bislang nicht vor. Basismonomere von Komposit-Kunststoffen wie Bis-GMA und UDMA zeigen keine Mutagenität (eine Veränderung des Erbmaterials, die an die nächste Zellgeneration weitergegeben wird) in Säugetierzellen in vitro. TEGDMA, ein weit verbreitetes Comonomer war jedoch in nicht toxischen Konzentrationen mutagen. Es konnte gezeigt werden, dass TEGDMA zu größeren Deletionen in DNA-Molekülen von Säugetierzellen führt. Auch Dentinadhäsive, die



Abbildung 2: Kontaktallergische Reaktionen auf Komposit-Kunststoffe an den Händen eines Zahnarztes

Glutaraldehyd enthalten, waren in bestimmten In-vitro-Tests mutagen [25, 26]. DMPT (Dimethylparatoluidin), ein weit verbreiteter Koinitiator, induziert numerische Chromosomenveränderungen.

Acrylat-Kunststoffe haben in Tieren allerdings keine Tumore hervorgerufen, gleiches gilt für die Inhalation von Methylmethacrylat-Monomer. Epidemiologische Untersuchungen an Industriearbeitern, die Methylmethacrylat-Dämpfen ausgesetzt waren, zeigten bei einer Exposition von 72 ppm keine Veränderungen des Chromosomenmusters. Erhöhte Raten von Chromosomenveränderungen (Sister Chromatid Exchange) fand man bei Konzentrationen von 114 bis 400 ppm [25].

Aus den vorliegenden Daten kann geschlossen werden, dass verschiedene Methacrylate durchaus eine unterschiedliche Mutagenität aufweisen und daher auch getrennt voneinander diesbezüglich beurteilt werden müssen. Manche Komponenten von Komposit-Kunststoffen und Dentinadhäsiven zeigten in In-vitro-Systemen einen mutagenen Effekt (wie das Comonomer TEGDMA). Diese Daten sind insofern von Interesse, da ein hoher Prozentsatz von kanzerogenen Substanzen, die direkt an der DNA angreifen, auch mutagen ist. Letztlich müssten Tierversuche klären, ob das Comono-

mer TEGDMA kanzerogene Wirkungen hat. Die Finanzierung dieser Versuche wurde jedoch wegen mangelnder Ressourcen bislang von der Deutschen Forschungsgemeinschaft abgelehnt. Die Konzentrationen, die man zum Auslösen einer in vitro ermittelten mutagenen Reaktion im Experiment benötigt, sind um Größenordnungen höher als die, die beim Patienten zu erwarten sind. Allerdings kommt zahnärztliches Personal sehr häufig und in sehr engen Kontakt auch mit den nicht ausgehärteten Substanzen und kann deshalb als Risikogruppe angesehen werden. Da die genannten Substanzen in der Lage sind, üblicherweise verwendete Handschuhe zu penetrieren [14], wird empfohlen, einen Haut- / Hand-

**!** Zahnärztliches Personal kommt sehr häufig und in sehr engen Kontakt auch mit den nicht ausgehärteten Substanzen und kann deshalb als Risikogruppe angesehen werden.

schuhkontakt mit diesen Substanzen zu vermeiden.

Ein Bestandteil des Basismonomers Bis-GMA (und des Bis-DMA) ist das Bisphenol A. Aus der Umwelttoxikologie ist bekannt, dass Bisphenol A an Östrogenrezeptoren von Zellen bindet und somit eine östrogenähnliche Reaktion im Organismus hervorrufen kann. Es wurde behauptet, dass Komposit-Kunststoffe und Fissurenversiegler eine östrogene

Reaktion auslösen. In einer Reihe anderer Untersuchungen wurden diese Angaben jedoch nicht bestätigt [1, 8, 22]. Es konnte außerdem mit üblichen Analysemethoden und den entsprechenden Nachweisgrenzen gezeigt werden, dass aus Bis-GMA-Kunststoffen unter Bedingungen des Mundmilieus und bei korrekter Verarbeitung kein Bisphenol A freigesetzt wird, wenn die Ausgangssubstanzen einen genügenden Reinheitsgrad aufweisen [22]. Nur bei Produkten, die Bis-DMA enthalten (wie der Fissurenversiegler Delton, alte Version; heute verfügbare Präparate mit gleichem Namen sind Bis-DMA-frei), treten sehr geringe Mengen von Bisphenol A auf, jedoch nur kurz nach der Applikation. Bereits eine Stunde später ist ein entsprechender Nachweis nicht mehr möglich. Somit kann man davon ausgehen, dass Komposit-Kunststoffe und Fissurenversiegler, insbesondere solche auf Bis-GMA-Basis, keine klinisch relevante östrogene Wirkung entfalten.



Abbildung 3: Kontaktallergische Reaktionen auf Komposit-Kunststoffe an den Händen eines Zahnarztes

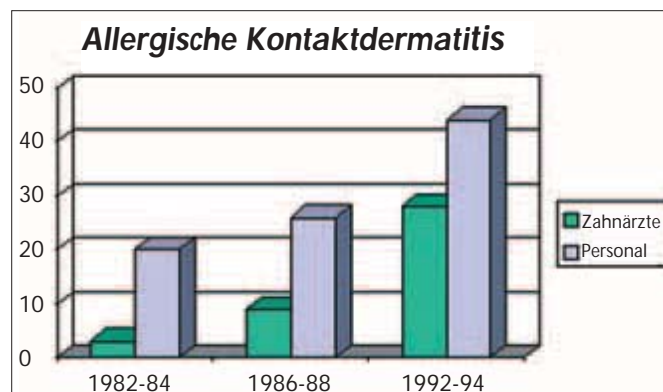


Abbildung 4: Zunahme der allergischen Reaktionen nach Einführung von Dentinadhäsiven



Abbildung 5: Ausgeprägte Entzündung der Mundschleimhaut nach Applikation von Komposit-Kunststoffen bei Allergie auf Formaldehyd [13]. (Mit freundlicher Genehmigung von Dr. P.-O. Lind, Oslo, Norwegen).

**!** Es wurde behauptet, dass Komposit-Kunststoffe und Fissurenversiegler eine östrogene Reaktion auslösen. In einer Reihe von Untersuchungen wurden diese Angaben jedoch nicht bestätigt.

## Allergien

Komposit-Kunststoffe enthalten eine Reihe von Substanzen, die allgemein als Allergene angesehen werden. Über sehr seltene Fälle von anaphylaktischen Reaktionen (Typ I-Allergie) wurde nach der Applikation von Fissurenversiegler berichtet (Abb. 1) [7]. Neben diesen Typ I-Reaktionen werden in der Literatur vor allem Reaktionen im Sinne einer Kontaktdermatitis (Typ IV) beschrieben (Abb. 2, 3). Kanerva et al. [11, 12] beschrieben in einer Reihe von Publikationen verschiedentlich Fälle einer solchen Kontaktdermatitis bei zahnärztlichem Personal. Es lagen allergische Reaktionen gegenüber aromatischen und aliphatischen Monomeren vor. Insbesondere Dentinadhäsive bewirkten bei zahnärztlichem Personal entsprechende allergische Reaktionen. Von besonderer Bedeutung in diesem Zusammenhang sind die Monomere HEMA und TEGDMA. Die Autoren berichten auch über eine Zunahme der Reaktionen in den 90er Jahren (Abb. 4) [12].

**!** Die Allergierate bei zahnärztlichem Personal gegen methacrylathaltige Materialien wird mit etwa zwei Prozent angegeben.

Munksgaard et al. [15] führten eine Umfrage bei 2208 dänischen Zahnärzten durch. Sie konnten zeigen, dass bei 0,7 Prozent der Zahnärzte Kontaktekzeme durch methacrylathaltige Materialien nachgewiesen werden konnten. Die Gesamtzahl wird aufgrund der von den Zahnärzten angegebenen Symptome auf etwa zwei Prozent geschätzt. Andere Autoren geben noch höhere Werte an. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass Komposit-Kunststoffe (mit Dentinadhäsiven) eine hohe allergene Potenz besitzen. Auch bei Patienten wurden kontaktallergische Reaktionen in Zusammenhang mit Komposit-Kunststoffen beschrieben [25]. Außerdem wurde über lichenoidale Reaktionen der Mundschleimhaut in Kontakt mit Komposit-Kunststoffen berichtet [13]. Beim Umgang mit Komposit-Kunststoffen sollte bedacht werden, dass Handschuhe aus unterschiedlichen Materialien, etwa aus

Latex oder synthetischen Polymeren, keinen absoluten Schutz darstellen, da die oben genannten Monomere die Handschuhe in unterschiedlicher Zeit, meist innerhalb weniger Minuten, penetrieren [14]. Daher sollte ein Haut- / Handschuhkontakt mit Komposit-Kunststoffen / Dentinadhäsiven, soweit praktisch möglich, vermieden werden.

Neben Monomeren kann Formaldehyd als Ursache für eine allergische Reaktion angesehen werden (Abb. 5). Formaldehyd entsteht wahrscheinlich als Oxidationsprodukt bei der Polymerisation und / oder als Abbauprodukt der sauerstoffinhibierten Oberflächenschicht [18]. Auch Glutaraldehyd ist ein Allergen und die Sensibilisierungsrate gegenüber dieser Substanz war bei zahnärztlichem Personal wesentlich höher als bei einem Vergleichskollektiv.

Patienten mit dem klinisch begründeten Verdacht einer Allergie sollten mittels Patch-Test auf das Vorliegen einer Sensibilisierung gegen einen oder mehrere Bestandteile von Komposit-Kunststoffen untersucht werden. Dazu ist naturgemäß die Kenntnis der Zusammensetzung der verwendeten Werkstoffe erforderlich. Eine Allergie-Testung ohne klinischen Befund, um zum Beispiel vor einer Behandlung mögliche Allergie auslösende Substanzen zu erkennen („Prophetische Prüfung“), wird heute von den relevanten dermatologischen Fachgesellschaften abgelehnt, da sich einerseits im Laufe der Therapie und danach immer noch eine Sensibilisierung

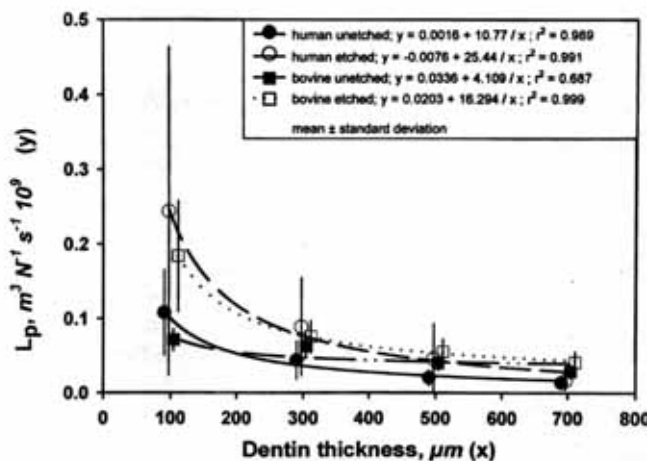


Abbildung 6: Exponentielle Zunahme der Dentin-Permeabilität, je näher man der Pulpa kommt

entwickeln kann und die Ergebnisse der prophetischen Testung dann nicht mehr aussagefähig sind; zum anderen kann es durch die Prüfung selbst, insbesondere bei Acrylaten, zu einer Sensibilisierung einer bislang nicht sensibilisierten Person kommen [25].

### Lokale Wirkung

Die Basis-Monomere (Bis-GMA, UDMA) zeigten eine vergleichsweise hohe Zelltoxizität, das Comonomer TEGDMA war etwas geringer toxisch. HEMA hat eine vergleichsweise geringe Zelltoxizität, ist allerdings gut wasserlöslich und daher auch in größeren Mengen nach Diffusion durch wässrige Systeme verfügbar. Insgesamt kann aus diesen Untersuchungen der Schluss gezogen werden, dass Komponenten von Komposit-Kunststoffen und von Dentinadhäsiven grundsätzlich das Potential besitzen, benachbarte Gewebe (Pulpa, Gingiva) zu schädigen.

Die bisherigen Daten beziehen sich auf weitgehend dramatische zelluläre Ereignisse, die normalerweise direkt mit dem Zelltod enden (Nekrose). In den letzten Jahren hat man sich jedoch vermehrt der Frage zugewendet, welche Wirkungen diese Substanzen auf den Stoffwechsel der lebenden Zellen ausüben. Dabei stellte sich heraus, dass Monomere wie HEMA oder TEGDMA in geringeren als den oben genannten Konzentrationen Apoptose, das heißt den programmierten Zelltod auslösen können. Dies steht möglicherweise in Zusammenhang mit der ebenfalls durch TEGDMA oder HEMA ausgelösten intrazellulären Produktion von Sauerstoff-Radikalen. Aber auch zelluläre Schutzmechanismen werden aktiviert, so bindet beispielsweise Glutathion diese Moleküle und entgiftet sie. Substanzen, die Sauerstoffradikale binden, wie N-Acetylcystein oder Trolox, reduzieren die Toxizität dieser Monomere. Auch eine Aktivierung von NFκB konnte nachgewiesen werden, was als Apoptoseschutz fungiert. Schließlich, und auch

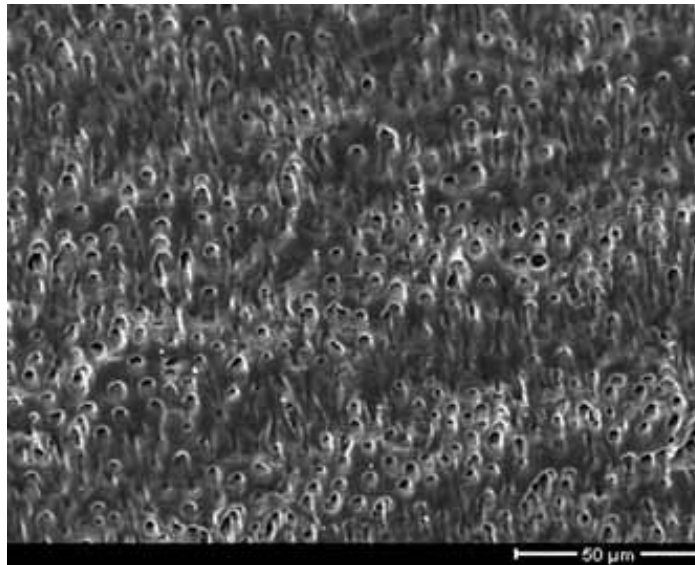


Abbildung 7: Raster-elektronenmikroskopische Abbildung (REM) von Dentin an der Schmelz-Dentin-Grenze

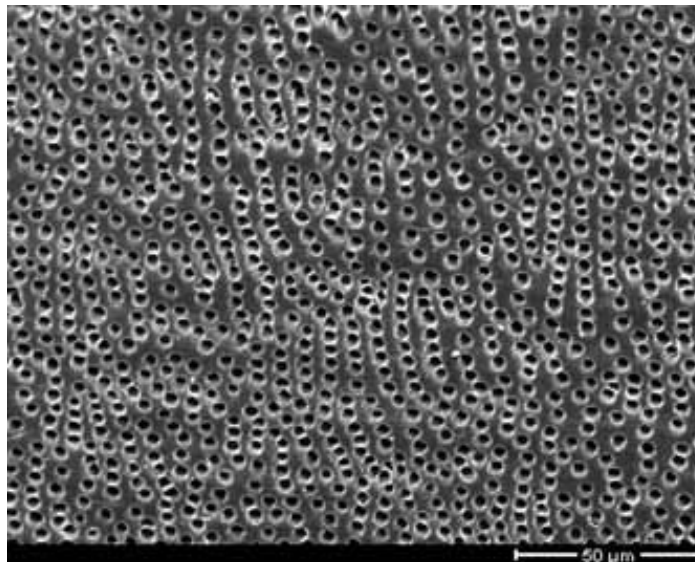


Abbildung 8: Raster-elektronenmikroskopische Abbildung (REM) von Dentin in Pulpanähe

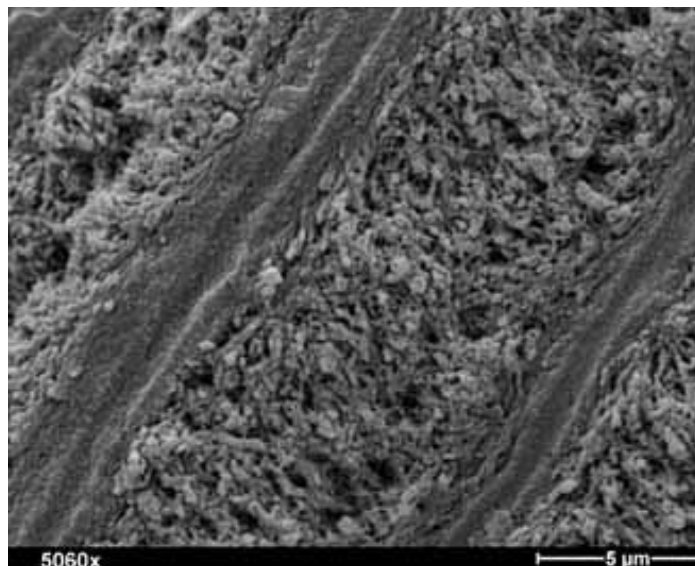


Abbildung 9: Raster-elektronenmikroskopische Abbildung (REM) einer Dentinsklerose

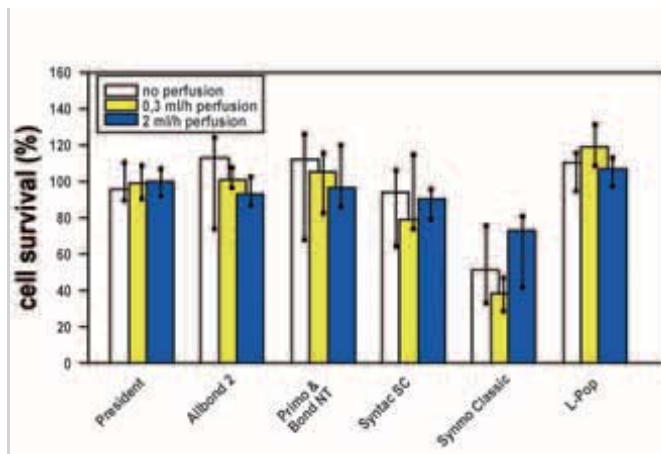


Abbildung 10: Ergebnisse zur Zytotoxizität von Dentinadhäsiven im Dentin-Barriere-Test: Auch saure Monomere führen bei einer Dentinschicht von 500  $\mu\text{m}$  zu keiner Zellreaktion (wie Prompt-L-Pop).

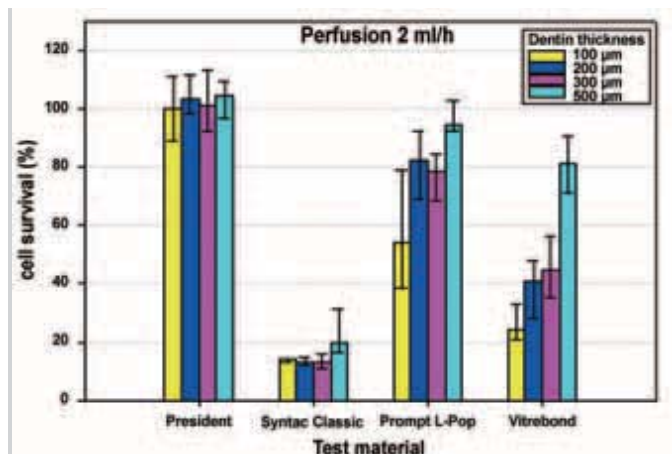


Abbildung 11: Ergebnisse zur Zytotoxizität von Dentinadhäsiven im Dentin-Barriere-Test: In tiefen Kavitäten führen saure Monomere zu Zellreaktionen.

das steht in engem Zusammenhang mit einer erhöhten intrazellulären Synthese von NF $\kappa$ B, werden vermehrt proinflammatorische Mediatoren, wie Interleukin 1, 6 oder 8 synthetisiert, was dann zu den klinischen Zeichen einer Entzündung führen kann. Schließlich benötigt die Zelle Zeit, um diese Vorgänge durchführen zu können, insbesondere bei Reparatur-Prozessen, beispielsweise in Folge einer durch TEGDMA ausgelösten Mutation, was zu einer Beeinflussung des Zell-Zyklus und zu einem Zellzyklusarrest führen kann. Diese Daten sollen verdeutlichen, dass Substanzen aus Kompositkunststoffen Anschluss an den Zellstoffwechsel finden. Somit können andere Stoffwechsellösungen, die wir von solchen Zellen erwarten, wie die terminale Differenzierung pulpaler Stammzellen und die Dentinneogenese, beeinflusst werden, und zwar in Konzentrationen, die in vivo relevant sind [3, 19, 27, 28, 29, 30, 32].

## Wirkung auf die Pulpa

Die Voraussetzung für eine Pulpaschädigung ist, dass die entsprechend toxischen Substanzen in ausreichenden Mengen aus dem Füllungsmaterial eluiert werden und durch das Dentin hindurch in Richtung Pulpa diffundieren. Dabei spielen naturgemäß Abbindeverhalten, Konversionsgrad und Substanzfreisetzung eine wichtige Rolle (siehe oben). Zudem stellt Dentin eine

Diffusions- und Adsorptionsbarriere dar, insbesondere, wenn es von einer Schmier-schicht bedeckt wird [21].

Die Permeabilität des Dentins ist von verschiedenen weiteren Faktoren abhängig: zunächst von der Dicke der Dentinschicht und von der Lokalisation. Bei einer verbliebenen Dentinschicht von mehr als 0,5 Millimetern (mm) ist die Permeabilität des Dentins vergleichsweise gering (Abb. 6), sie nimmt mit abnehmender Dicke exponentiell zu. Außerdem ist die Zahl der Dentinkanälchen und deren Durchmesser pulpanah wesentlich größer als pulpafern (Abb. 7, 8), was eine höhere Permeabilität pulpanahen Dentins bedingt [21]. Kariöse Prozesse führen außerdem zu einer Sklerosierung des Dentins, das heißt zu einer Verengung der Dentinkanälchen unterhalb einer kariösen Läsion, wodurch die Permeabilität herabgesetzt wird (Abb. 9). Allerdings können bestimmte Substanzen, wie TEGDMA und HEMA in genügender Konzentration auch durch sklerosiertes Dentin hindurch diffundieren, und gegebenenfalls eine Pulpareaktion auslösen.

Die Applikation von Säuren (wie 38-prozentige Phosphorsäure) im Rahmen der Dentinadhäsiv-Technik oder die Verwendung von sauren Monomeren (wie selbstätzende Primer oder Einfaschensysteme) auf vitalem Dentin wurde früher kontrovers diskutiert. Einerseits wird die Permeabilität des Dentins, insbesondere durch Entfernen der

Schmierschicht, erhöht, andererseits wird die Säure durch Reaktion mit Dentin (Calciumphosphat) abgepuffert. Eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Säurewirkung im Sinne einer Erhöhung der Permeabilität auf die oberflächlichsten Schichten begrenzt ist und daher eine signifikante Erhöhung der Dentinpermeabilität durch Säureapplikation erst bei Schichtdicken von weniger als 300 Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ) zu erwarten ist (Abb. 6) [23]. Somit kann aus biologischer Sicht in flachen und mittleren Kavitäten eine Applikation von Säure / sauren Monomeren auf vitales Dentin bei Einhaltung der Anwendungsvorschriften durchaus empfohlen werden. Dies konnte auch in Zellkulturstudien gezeigt werden, bei denen Dentin zwischen Testsubstanz und Zielzellen appliziert wurde. Saure Monomere, wie im Prompt-L-Pop, riefen bei einer Dentindicke von 500  $\mu\text{m}$  keine Zellreaktion hervor (Abb. 10). Erst bei sehr dünnen Dentinschichten wurde dies beobachtet (Abb. 11) [5].

Tierstudien haben keinen Hinweis darauf ergeben, dass es in mittleren und flachen Kavitäten durch die materialbedingte Toxizität zu einem Pulpaschaden kommt (Abb. 12). Die Datenlage für sehr tiefe und pulpanah Kavitäten ist nicht so einheitlich. So wird einerseits von fehlenden Pulpareaktionen, andererseits von materialbedingten Pulpaschäden berichtet [2]. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass diese Versuche

an Zähnen mit gesunder Pulpa ohne jegliche Vorschäden durchgeführt werden. Beim Patienten hingegen liegt jedoch oftmals ein kariöser Prozess vor, der gegebenenfalls die Abwehrlage der Pulpa negativ beeinflusst. Bei Verwendung eines Pulpa-schutzes in Form eines Kalziumhydroxid-Präparates ist man auf der sicheren Seite (siehe auch direkte Pulpaüberkappung mit Dentinadhäsiven).

Eine weitere Ursache für die Pulpaschädigung durch Komposit-Kunststoffe ist eine Bakterenschicht, die sich am Kavitätenboden bildet. Manche Autoren halten dies für die wichtigste Ursache von Pulpaschäden als Folge einer Füllungstherapie. Voraussetzung dafür ist ein Randspalt zwischen Füllung und Kavität. Durch die Adhäsiv-Technik kann dies größtenteils vermieden werden. Im Seitenzahnggebiet und bei erschwerter Zugänglichkeit kann diese Technik jedoch nicht immer den aktuellen Vorgaben entsprechend durchgeführt werden (Abb. 13). Außerdem ist die Anwendung von Dentinadhäsiven in derartigen Fällen technisch kompliziert, weshalb eine Spaltbildung bei Komposit-Kunststoffen insbesondere im Seitenzahnggebiet aufgrund klinischer Gegebenheiten wohl nicht gänzlich vermieden werden kann. Hinzu kommt, dass Komposit-Kunststoffe, Acrylate und Katalysatoren das Bakterienwachstum steigern können. Wie oben erwähnt wurde, geben Kompositfüllungen im wässrigen Milieu der Mundhöhle insbesondere die kleinen gut wasserlöslichen Komonomere, wie EGDMA und TEGDMA, ab. Diese Verbindungen können das Wachstum der wichtigen kariopathogenen Keime *S. sobrinus* und *L. acidophilus* begünstigen und beschleunigen, was zur Entstehung von Sekundärkaries sowie zur Irritation der Pulpa durch bakterielle Stoffwechselprodukte bei unzureichender Unterfüllung beitragen kann [10].

Interessanterweise findet man auch bei „mitteltiefen“ Kavitäten mit einer verbliebenen Restdentindicke von 0,5 bis 1 mm Pulpreaktionen, wenn eine Bakterenschicht zwischen Füllungswerkstoff und Kavitätenboden auftritt. Da in derartigen Fällen eine chemische Interaktion zwischen



Abbildung 12: Histologisches Bild (Versuchstier, 30 Tage Liegezeit): Keine Pulpaänderung ist erkennbar.

Komponenten aus Komposit-Kunststoff beziehungsweise zwischen dem Dentinadhäsiv und der Pulpa augenscheinlich keine Rolle spielt, kann hier ein Dentinadhäsiv im Sinne eines Pulpa-schutzes verwendet werden, da es die Penetration der Bakterien durch Verringerung des Randspaltes reduziert. Außerdem wird die Häufigkeit postoperativer Beschwerden reduziert.

**!** *Tierstudien haben keinen Hinweis darauf ergeben, dass es in mittleren und flachen Kavitäten durch die materialbedingte Toxizität zu einem Pulpaschaden kommt. Bei Verwendung eines Pulpa-schutzes in Form eines Kalziumhydroxid-Präparates ist man auf der sicheren Seite.*

In letzter Zeit wird auch die Verwendung antibakteriell wirkender Monomere verstärkt diskutiert. Das Problem ist, dass das Präparat einerseits toxisch gegenüber Bakterien sein soll, andererseits jedoch nicht toxisch gegenüber Pulpazellen. Ein Monomer wurde kürzlich auf den Markt gebracht (MDPB), das neben einer Methacrylat-Funktion auch eine antibakterielle Gruppe (Pyridiniumbromid) enthält. In-vitro-Untersuchungen haben ergeben, dass diese Substanz wirksam gegenüber üblichen oralen Bakterien ist, jedoch nicht toxisch gegenüber der Pulpa. Dies beruht wahrscheinlich darauf, dass die antibakteriell wirksame Gruppe durch Polymerisation immobilisiert und damit eine unkontrollierte Diffusion in die Pulpa mit anschließender Schädigung

weitgehend verhindert wird [16, 24]. Die Verwendung von Dentinadhäsiven zur direkten Pulpaüberkappung wurde postuliert, wird heute jedoch äußerst kontrovers diskutiert. Neben Studien an Versuchstieren, in denen nach Applikation von Dentinadhäsiv / Kunststoff ein „Bridging“ und damit ein Verschluss der Pulpa beobachtet wurde, sind auch Untersuchungen erschienen, in denen über sehr ausgeprägte Pulpaschäden sowohl an Zähnen von Versuchstieren und an solchen von Patienten berichtet wird [2, 20]. Auch die Hersteller geben als Indikation für die Kombination Komposit-Kunststoffe / Dentinadhäsive nicht die direkte Überkappung an. Der Zahnarzt sollte daher bei der Verwendung dieser Werkstoffe zur direkten Überkappung sehr zurückhaltend sein.

Die zur Polymerisation von Komposit-Kunststoffen verwendeten Lampen emittieren neben Licht auch Wärmestrahlen, die unter Umständen schädlich für die Pulpa sein können. Während die über viele Jahre verwendeten Halogenlampen (Lichtleistung etwa 800 mW/cm<sup>2</sup>) und neuere LED-Geräte (400 – 800 mW/cm<sup>2</sup>) nur zu einer geringen Erwärmung der Pulpa führen, werden bei Plasmabogenlampen intrapulpare Temperaturerhöhungen von 8 °C für zehn Sekunden bei einer verbliebenen Dentinschicht von einem Millimeter gemessen [9]. In einer vergleichsweise lange zurückliegenden Studie aus dem Jahre 1965 wurde gefunden, dass eine intrapulpare Temperaturerhöhung von 5,5 °C in 15 Prozent aller Fälle zu irreversiblen Schäden der Pulpa führte. Bei diesen Untersuchungen

muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei manchen Plasmabogenlampen aus technischen Gründen das Gerät alle drei Sekunden für eine kurze Zeit abschaltet. Neuerdings werden auch Halogen- und LED-Lampen angeboten, die deutlich mehr als 800 mW/cm<sup>2</sup> Leistung aufweisen. Der Hersteller sollte bei allen Lichtgeräten Daten vorlegen, die belegen, dass keine hitzebedingten Veränderungen der bestrahlten Gewebe (Pulpa – in tiefen Kavitäten, Gingiva) auftreten. Ein Blendschutz für den Behandler ist heute üblich.

### Schäden an der Gingiva

Wie bereits ausgeführt wurde, sind Substanzen aus Kompositen zytotoxisch und daher potentiell schädlich für die oralen Schleimhäute. Entsprechende Implantationsstudien an verschiedenen Labortieren haben gezeigt, dass frisch angemischte Komposit-Kunststoffe eine Entzündungsreaktion hervorrufen, im abgebundenen Zustand diese Werkstoffe jedoch meist inert sind. In klinischen Untersuchungen zeigt sich, dass der Entzündungszustand der Gingiva in Nachbarschaft zu einer intakten Schmelzfläche geringer war als in Kontakt mit Kompositfüllungen, wenn die Patienten im Rahmen einer Studie zur experimentellen Gingivitis sieben Tage keine Zahnpflege betrieben.

Diese Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit den Laborbefunden, wonach Komposite Bakterienwachstum fördern [25]. Auf lichenoiden Reaktionen der Mundschleim-

**!** Bei Applikation geeigneter Dentinadhäsive (selbstätzende Primer) werden die postoperativen Beschwerden deutlich reduziert.

haut in direktem Kontakt mit Komposit-Füllungen, wie sie von Lind [13] beschrieben wurden, wurde bereits hingewiesen. Diese, auf die Kontaktstelle mit dem jeweiligen Füllungsmaterial begrenzten Schleimhautveränderungen heilen in der Regel aus, wenn das Füllungsmaterial gegen ein anderes ausgetauscht wird. In diesen Fällen ist eine allergische Komponente nicht auszuschließen. In der oben genannten Untersuchung von Lind [13] wurden bei fünf Patienten Allergietests durchgeführt, drei reagierten positiv auf Formaldehyd.

### Postoperative Beschwerden

Im Anschluss an die Verwendung von Komposit-Kunststoffen – insbesondere zur Versorgung von Kavitäten im Seitenzahnbereich – wurden in verschiedenen Publikationen in bis zu 30 Prozent der Fälle spontane Beschwerden der Patienten beschrieben [17]. Beschwerden unter Belastung wurden sogar in bis zu 56 Prozent der Fälle berichtet [17]. Diese Beschwerden sind augenscheinlich nicht abhängig von der Kavitätengröße. Sie gehen in aller Regel nach wenigen Tagen zurück, können jedoch in einer nicht unbeträchtlichen Zahl bei bestimm-

ten Werkstoffen (bis zu vier bis fünf Prozent der gelegten Füllungen) Anlass zur Erneuerung sein [4]. Als Ursache für die postoperativen Beschwerden werden eine Pumpwirkung und eine Flüssigkeitsverschiebung innerhalb der Dentinkanälchen vermutet. Bei Applikation geeigneter Dentinadhäsive werden die postoperativen Beschwerden deutlich reduziert. Insbesondere selbstätzende Primer sollen zu einer Reduktion postoperativer Beschwerden führen.

### Kompomere und Befestigungskomposite

Kompomere enthalten ebenfalls Füllerpartikel und eine organische Matrix. Der Füller besteht in der Regel aus röntgenopaken Glaspartikeln, und als organische Basis dienen Monomere, die aus der Komposit-Technologie bekannt sind, wie UDMA, und andere Monomere mit Carboxylgruppen. Konventionelle Befestigungskomposite enthalten ebenfalls die üblichen Diacrylate, sind jedoch meistens dualhärtend, das heißt licht- und chemischhärtend. Dies ist insofern aus Sicht der Biokompatibilität von Bedeutung, da in dualhärtenden Befestigungskompositen unter Umständen weitere Substanzen (wie Initiatoren / Katalysatoren wie DMPT oder Benzoylperoxid) enthalten sind, die bei entsprechend sensibilisierten Patienten allergische Reaktionen auslösen können. Neuere selbstadhäsive Befestigungskomposite (universale Befestigungskomposite) enthalten saure Monomere mit zum Teil mehreren Methacrylat-



Abbildung 13: Sekundärkaries vor (a) und nach (b) Entfernen einer Kompositfüllung / Amalgamfüllung.



Abbildung 14: Allergische Reaktion vom verzögerten Typ mit einem Ödem der Oberlippe (links), einen Tag nach der Insertion von Komposit-Füllungen an den Zähnen 12, 11 und 21 (rechts). Positive Reaktion im Patch-Test auf TEGDMA und HEMA.

und Phosphatgruppen. Die Aushärtung der Kompomere erfolgt hauptsächlich durch Polymerisation, aber auch, in geringem Umfang, durch eine sekundäre Säure-Base-Reaktion der Carboxylgruppe mit Bestandteilen der Glasfüller. Neuere Befestigungskomposite (wie Rely X Unicem) zeigten außerdem eine Abbindereaktion zwischen dem Säurerest und den basischen Füllerpellets, wobei sich der Werkstoff von einem hydrophilen Zustand in eine hydrophobe Matrix umwandelt. Wieder andere, rein chemisch abbindende Befestigungskomposite härten unter Sauerstoffausschluss ab (Panavia). Wie bei allen acrylatbasierten Werkstoffen muss auch hier mit einer Freisetzung von Formaldehyd gerechnet werden. Somit kann man in aller Regel davon ausgehen, dass die biologischen Eigenschaften von Kompomeren und Befestigungskompositen weitgehend denjenigen für Komposit-Kunststoffe ähneln. Ein neuer, für alle Restaurationswerkstoffe als geeignet angegebener Befestigung-Kunststoff (Rely X Unicem) war in eigenen Untersuchungen nicht zytotoxisch und auch in klinischen Tests wurde über keine / sehr wenige postoperative Beschwerden berichtet.

### Hinweise zur Anwendung

■ Aus allen Komposit-Werkstoffen werden insbesondere im nicht abgebundenen Zustand und kurz nach dem Aushärten biologisch aktive Substanzen in biologisch relevanten Konzentrationen freigesetzt. Da

zahnärztliches Personal (auch Zahntechniker) mit nicht abgebundenen Werkstoffen oftmals und über längere Zeit in Kontakt kommen, stellen sie eine Risikogruppe dar.

■ Für das zahnärztliche Personal wird daher empfohlen, Hautkontakt mit Komposit-Kunststoffen und Dentinadhäsiven weitgehend zu vermeiden.

■ Zum Schutz vor dem Polymerisationslicht kann eine Schutzbrille getragen werden, praktischer erscheint die Anbringung entsprechender Schutzschilder am Austrittsort des Lichtes.

■ Da viele Monomere in recht kurzer Zeit übliche Handschuhe penetrieren, sollte auch ein Kontakt über Handschuhe vermieden werden.

■ Bei Patienten mit Allergien gegen Komponenten von Komposit-Kunststoffen sollten diese nicht angewendet werden. Die Voraussetzung dafür, aber auch für eine gezielte allergologische Testung, ist die Kenntnis der Zusammensetzung der Werkstoffe.

■ Generell sollte bei Anwendung von Komposit-Kunststoffen ein entsprechender Pulpaschutz appliziert werden. Dies kann in flachen und mittleren Kavitäten das Dentinadhäsiv sein. In tiefen Kavitäten sollte ein Kalziumhydroxidpräparat auf die pulpanaheste Stelle aufgetragen werden. Bei Ver-

wendung von Kalziumhydroxid-Suspensionen sollten diese mit einem Glasionomerzement abgedeckt werden. Vor einer Verwendung von Dentinadhäsiven zur direkten Überkappung der Pulpa wird abgeraten, da die Angaben in der wissenschaftlichen Literatur widersprüchlich sind und ein geeignetes Präparat (Kalziumhydroxid) zur Verfügung steht.

Prof. Dr. Gottfried Schmalz  
Poliklinik für Zahnerhaltung und  
Parodontologie  
Universität Regensburg  
Franz-Josef-Strauß-Allee 11  
93053 Regensburg

Prof. Dr. Werner Geurtsen  
Department of Restorative Dentistry / Division  
of Operative Dentistry, Dental School  
Box 357456, University of Washington,  
Seattle, WA, 98195-7456, USA

Prof. Dr. Dorthe Arenholt-Bindslev  
Department of Orthodontics  
School of Dentistry  
Faculty of Health Sciences  
University of Aarhus  
Vennelyst Boulevard 9  
DK-8000 Aarhus C



Die Literaturliste können Sie in der Redaktion anfordern. Den Kupon finden Sie auf den Nachrichtenseiten am Ende des Heftes.