



# Adhäsivtechnik auf kariös verändertem Dentin

Das Postulat der aggressiven Kariesexkavation ist heute deswegen überholt, da es in der Regel nicht förderlich für die Vitalerhaltung der Pulpa ist. Aber auch unabhängig von der Exkavationsstrategie hat es der Zahnarzt bei der adhäsiven Restauration kariöser Läsionen mit unterschiedlichen Adhäsionssubstraten zu tun: Diese sind neben dem Schmelz weitgehend unverändertes Dentin, sklerotisches Dentin, kariös verändertes Dentin und ggf. restkariöses Dentin nach selektiver Kariesexkavation. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Möglichkeit, diese unterschiedlichen Adhärenden gleichzeitig im Sinne einer erfolgreichen Füllungstherapie zu bedienen. Die Ergebnisse und Erfahrungen zeigen, dass die Dentinhafung an unverändertem Dentin signifikant höher ist als an allen anderen Dentinsubstraten. Gerade aber bei defektorientierter, minimalinvasiver Vorgehensweise nimmt der Anteil veränderten Dentins den prozentual größten Raum ein. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Zusammenspiel von Schmelz- und Dentinhafung (einschließlich aller Varianten) klinisch absolut ausreicht, um dauerhafte Füllungen nach der Prämisse des „Total bonding“ zu legen. Lediglich ausgeprägte Bereiche nicht entfernter kariöser Biomasse (> 1 mm) zeigten einen klaren negativen Effekt auf die Gesamtstabilität restaurierter Seitenzähne.

## Charakteristika kariös veränderten Dentins

Kariöse Läsionen sind nach wie vor der Hauptgrund für zahnärztliche Restau-

rationen. Gerade die adhäsive Verankerung von Restaurationsmaterialien hängt stark von der jeweiligen Zahnhartsubstanz und deren Beschaffenheit ab. Während der Zahnschmelz am Kavitätenrand – in der Regel nach rotierender Präparation – ein relativ homogenes Substrat für den adhäsiven Verbund darstellt, ist die Situation im Dentin komplexer. Eine kariöse Läsion führt ebenso wie physiologische Einflüsse zu Veränderungen des Dentins, die bewirken, dass die Adhäsivsysteme mit verschiedenen Dentinvarianten in Kontakt kommen, die sich entweder günstig oder ungünstig auf einen dauerhaften adhäsiven Verbund auswirken können<sup>24</sup>.

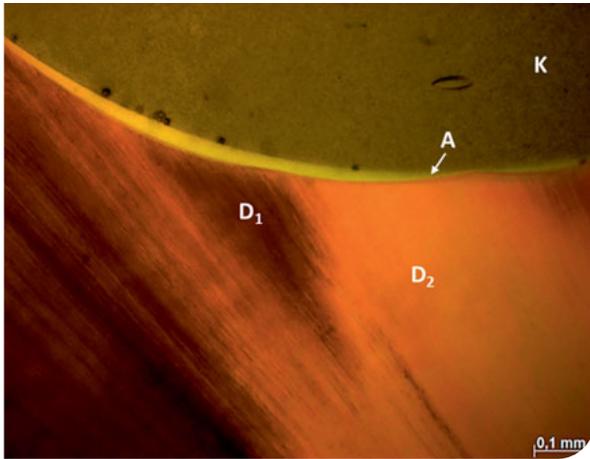
Dentin wird als zusammengesetztes, poröses biologisches Material bezeichnet, das aus Apatitkristallen in einer Kollagenmatrix besteht<sup>22</sup>. Dieses Strukturmodell eines Kompositmaterials wurde von der Arbeitsgruppe von Marshall insofern weiterentwickelt, als dass sie Dentin als eine Art faserverstärktes Kompositum verstehen, in dem die Tubuli mit ihrer peritubulären Auskleidung als zylindrische Faserverstärkung in einer intertubulären Matrix dienen<sup>12,14</sup>. Schon diese strukturellen Voraussetzungen haben einen Einfluss auf den adhäsiven Verbund. Dentin wird darüber hinaus im Laufe des Alters und infolge von Belastungen weiter modifiziert<sup>24</sup>. Man geht koronal von einem durchschnittlichen jährlichen Dickenzuwachs von etwa 6,5 µm unter physiologischen Bedingungen aus<sup>18</sup>, wobei auch bis zu 182 µm jährlich angegeben werden<sup>17</sup>.

Die gravierendsten pathologischen Veränderungen der Dentinstruktur treten allerdings im Zusammenhang mit kariösen Läsionen auf<sup>30</sup>. Zunächst steht bei ini-

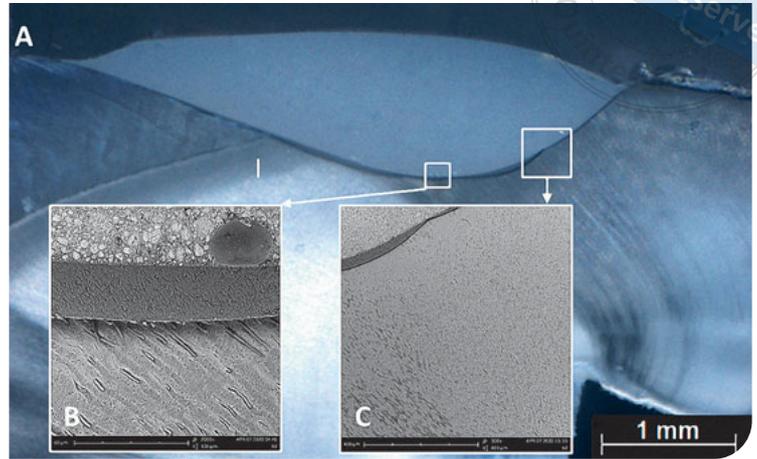
tialen Dentinläsionen die Demineralisation der Zahnhartsubstanz in der sogenannten azidurischen und azidogenen Phase im Vordergrund<sup>32</sup>. Bei fortgeschrittenen Dentinläsionen wird nach der Demineralisierung die organische Kollagenstruktur durch die Aktivierung von Matrix-Metalloproteinasen (MMP) ebenfalls zerstört (proteolytische Phase)<sup>4,32</sup>.

Tiefe, restaurationsbedürftige Dentinkariesläsionen zeigen entsprechend diesen Progressionsphasen der Zerstörung histologisch verschiedene Zonen der Dentinveränderung: vom erweichten zum demineralisierten Dentin bis hin zur transluzenten Zone und zum Sekundär- und ggf. Tertiärdentin<sup>1,25</sup>. Im stark erweichten Dentin, das auch Zone der Destruktion genannt wird, sind die Kollagenfasern degradiert oder bereits verschwunden und Bakterien sind zahlreich zu beobachten. Demgegenüber finden sich in der Zone der Demineralisation noch Apatitkristalle an den nur reversibel veränderten Kollagenfasern<sup>29</sup>. Unterhalb der eigentlichen kariösen Läsion liegt die transluzente Zone, in der die Tubuli als Abwehrreaktion auf die kariöse Destruktion durch schwer lösliche kristalline Präzipitate (u. a. Whitlockit) und Dentinapposition größtenteils verlegt sind<sup>5,35</sup>. Durch die okkludierten Tubuli verringert sich auch der Wassergehalt und die Permeabilität im transluzenten Dentin, sodass im Vergleich zum kariös veränderten Dentin mit hohem Wassergehalt in der transluzenten Zone vollständig andere Substratbedingungen für die Haftung vorliegen<sup>31</sup>.

Will man tiefe kariöse Dentinläsionen adäquat adhäsiv restaurieren, stellt sich zum einen die Frage, welches Dentinsubstrat die besten Voraussetzungen



**Abb. 1** Unterschiedlich mineralisches Dentin (D1, D2) unterhalb einer Kompositfüllung (K) mit Adhäsivschicht (A) (Polarisationsmikroskopie). Kariös verändertes Dentin stellt eine Herausforderung für den adhäsiven Verbund dar.



**Abb. 2** Adhäsive Kompositrestauration (A) mit gleichmäßig dicker Adhäsivschicht (B) auf unterschiedlich strukturiertem Dentin (C).

für einen dauerhaften adhäsiven Verbund bietet. Zum anderen bleibt zu beantworten, welche Dentinanteile vor diesem Hintergrund belassen bzw. entfernt werden sollen, um langfristig die besten klinischen Ergebnisse zu erzielen.

## Dentinsubstrat in Abhängigkeit von der Kariesentfernung

Analog zum Modell der ökologischen Hypothese der Dentinkaries unterschied bereits die Arbeitsgruppe um Fusayama zwei Schichten kariösen Dentins: eine infizierte (infected) und eine kariös veränderte (caries-affected) Zone<sup>7</sup>. Damit wollten sie eine Orientierung bieten, um klinisch den Endpunkt der Kariesentfernung zu definieren<sup>9</sup>. Während die erste Schicht stark bakteriell infiziert, demineralisiert und denaturiert ist, weist die zweite Schicht intakte Kollagenfasern und eine vermutlich reversible Demineralisation auf<sup>8</sup>.

Bis zu welchem Endpunkt bzw. bis zu welcher Schicht des veränderten Dentins soll oder muss aus heutiger Sicht nun entfernt werden? Die Kariesexkavation stellt ausschließlich einen Zwischen-

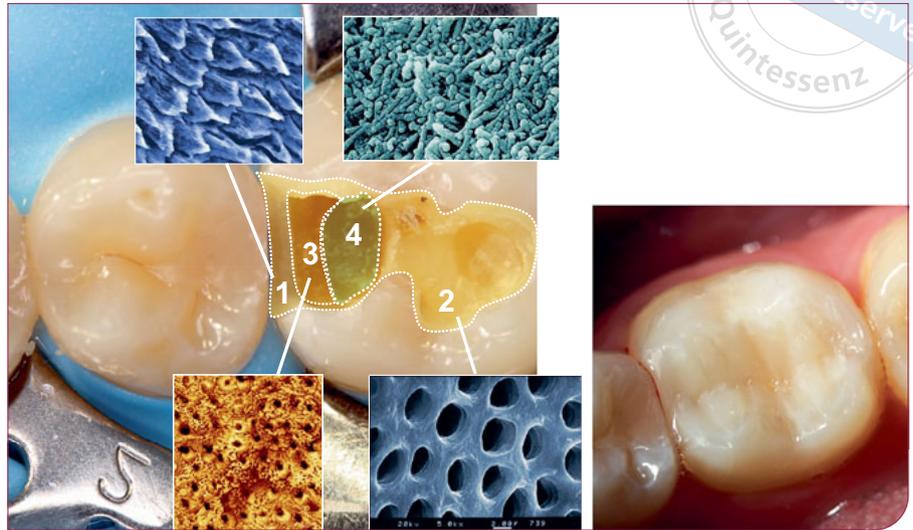
schritt zur Restauration dar und bei adhäsiv befestigten Restaurationen wird die Präparationsform im Wesentlichen durch den Umfang der kariös veränderten Zahnhartsubstanz definiert, die entfernt wurde<sup>9</sup>. Aus Sicht der Kariologie wird diese Grenze dadurch bestimmt, ob mit dem jeweiligen Vorgehen das Fortschreiten der kariösen Läsion verhindert werden kann. Aus Sicht der Werkstoffkunde definiert sich das Vorgehen primär dadurch, dass die Stabilität und Lebensdauer der Versorgung gewährleistet wird. Ziel ist es daher, beide Perspektiven in Einklang zu bringen und nur so viel kariös veränderte Zahnhartsubstanz zu entfernen, wie es für eine langfristig stabile Restauration erforderlich ist. Es gilt, dabei möglichst minimalinvasiv vorzugehen, um den Zahn und im Besonderen die Vitalität der Pulpa zu schützen<sup>3</sup>.

Lange Zeit hielt sich die Überzeugung, dass die möglichst vollständige Entfernung allen infizierten Gewebes Grundvoraussetzung für eine adäquate Restauration sei. In der Zwischenzeit hat sich wissenschaftlich durchgesetzt, dass besonders bei tiefen kariösen Dentinläsionen der selektiven Kariesentfernung der Vorzug zu geben ist. Bei diesem Vorgehen werden nur in der Peripherie

der Kavität – in den Randbereichen der Präparation – die klassischen Kriterien der Kariesfreiheit wie klirrendhartes Dentin, Farbumschlag etc. angewandt und in pulpanahen, zentralen Kavitätenbereichen kariös verändertes Dentin belassen, um eine Pulpaeröffnung zu vermeiden. Trotz der aktuell eindeutigen Evidenzlage, wonach eine nonselektive, konventionelle Exkavationsstrategie als Übertherapie abzulehnen ist<sup>27</sup>, wird nach wie vor teilweise heftig über das Vorgehen diskutiert.

Dabei lässt sich der aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisstand relativ einfach zusammenfassen: Kariöse Läsionen nahezu jeder Ausprägung lassen sich effektiv inaktivieren, wenn man sie vom Substratnachschieben aus der Mundhöhle isoliert<sup>11</sup>. Besonders bei tiefen Dentinläsionen und asymptomatischen, sensiblen Zähnen ist daher eine Pulpaeröffnung durch eine aggressive Entfernung kariösen Gewebes kontraindiziert<sup>27</sup>. Das Pulpagewebe kann bei tiefen Dentinkariesläsionen mit einem selektiven Vorgehen nachweislich besser vital erhalten werden, sodass dieses Vorgehen das Mittel der Wahl darstellt<sup>26</sup>.

Voraussetzung für dieses zurückhaltendere Vorgehen bei der Kariesentfer-



**Abb. 3** Adhärenzen bei der adhäsiven Restauration kariöser Läsionen: Schmelz (1), unverändertes Dentin (2), kariös verändertes Dentin (3), restkariöses Dentin (4).

nung ist die Isolation der kariösen Läsion durch eine dichte Restauration (Abb. 1). Da vollständig dichte oder perfekt adaptierte Restaurationen im klinischen Alltag nicht zu erreichen sind, wird häufig als „Killerargument“ ins Feld geführt, dass an dieser Voraussetzung bereits jegliches Vorgehen im Sinne einer selektiven Kariesentfernung scheitert. Betrachtet man die langjährigen klinischen Studien zu diesem Thema, so wird deutlich, dass bereits die bahnbrechenden Untersuchungen von Mertz-Fairhurst et al.<sup>15,16</sup> eine ausreichende Abdichtung durch Amalgam und Kompositfüllungen erreichten, die in den siebziger Jahren mit den damals verfügbaren Materialien und ohne Dentinadhäsive gelegt worden waren. Damit wird deutlich, dass es bei der Frage der Isolierung der kariösen Läsion nicht um eine unrealistische absolute Forderung geht, sondern um einen klinisch realisierbaren Anspruch.

Gleichwohl ist es notwendig, sich mit den Möglichkeiten der Haftung an den verschiedenen Varianten des Dentins (infiziertes, kariös verändertes, sklerotisches, erodiertes und gesundes Dentin<sup>23</sup>) zu beschäftigen, die in einer Kavität vorzufinden sind (Abb. 2).

### Haftung an unterschiedlichen Dentin substraten

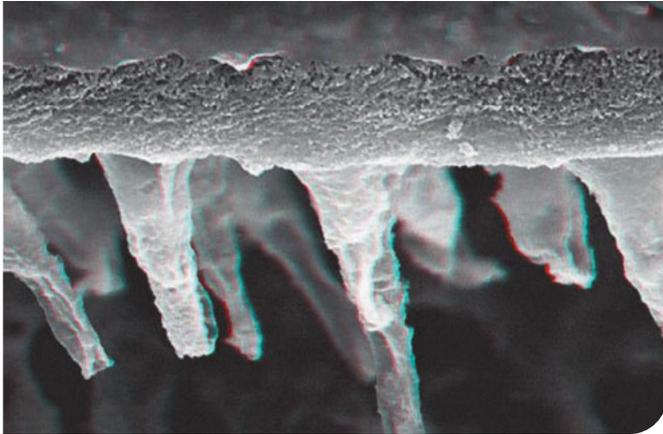
Die Etablierung von Schmelz- und Dentinhaftung verfolgt mehrere Ziele: Retention, Versiegelung, Stabilisierung und Ästhetik<sup>20,33,34</sup>. Letztere hängt wesentlich von verfärbungsfreien Restaurationsrändern ab. Für die Langlebigkeit und den Tragekomfort spielt Ästhetik jedoch eine untergeordnete Rolle<sup>34</sup>. Es ist unzweifelhaft, dass eine effektive Schmelzhaftung allein für eine ausreichende Retention von Kompositfüllungen oder Keramik-inlays/-onlays sorgt, ältere Studien mit konventionellen Unterfüllungen belegen dies<sup>6</sup>. Zementunterfüllungen haben jedoch den Hauptnachteil, dass sie zu erhöhten Frakturnraten bei Adhäsivrestorationen führen<sup>21</sup>. Daher hat sich das „Total bonding“-Konzept an Schmelz und Dentin bewährt, das zu einer Beherrschung postoperativer Hypersensitivitäten und zu einer zusätzlichen Stabilisierung (unterminierter) Zahnhartsubstanz führt<sup>20</sup>.

Im Falle unterschiedlicher Exkavationsstrategien haben wir es jedoch mit fundamental verschiedenen Adhäsions substraten zu tun (Abb. 3): Neben dem

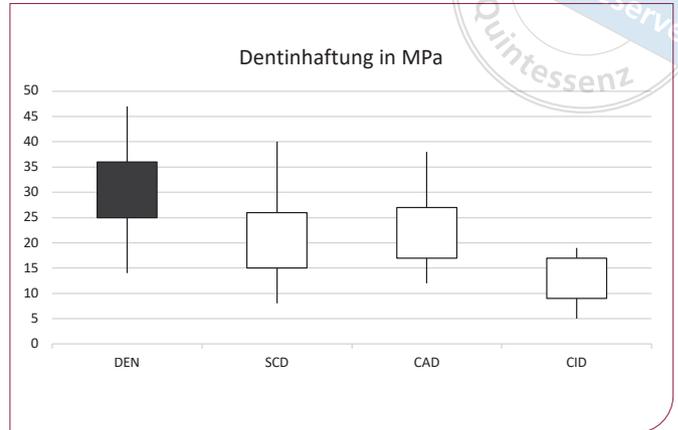
Schmelz finden sich – oft in einer Kavität nebeneinander – unverändertes Dentin (DEN), sklerotisches Dentin (SCD), kariös verändertes Dentin („caries-affected dentin“ [CAD]) sowie evtl. pulpanah restkariöses Dentin („caries-infected dentin“ [CID])<sup>10</sup>.

Um die Haftung an diesen Substraten zu evaluieren, bedienen sich die Autoren des vorliegenden Beitrags des Microtensile-Verfahrens<sup>19</sup> anhand von 24 Zähnen (n = 6 Zähne pro Gruppe, n = 36 Stäbchen/ Messwerte pro Gruppe), bei dem regionale Haftungen in Kavitäten je nach Zone (welche danach mit Härtemessung des Dentins klassifiziert werden) gemessen werden können (Adhäsivsystem: OptiBond FL, Fa. Kerr, Rastatt)<sup>19</sup>.

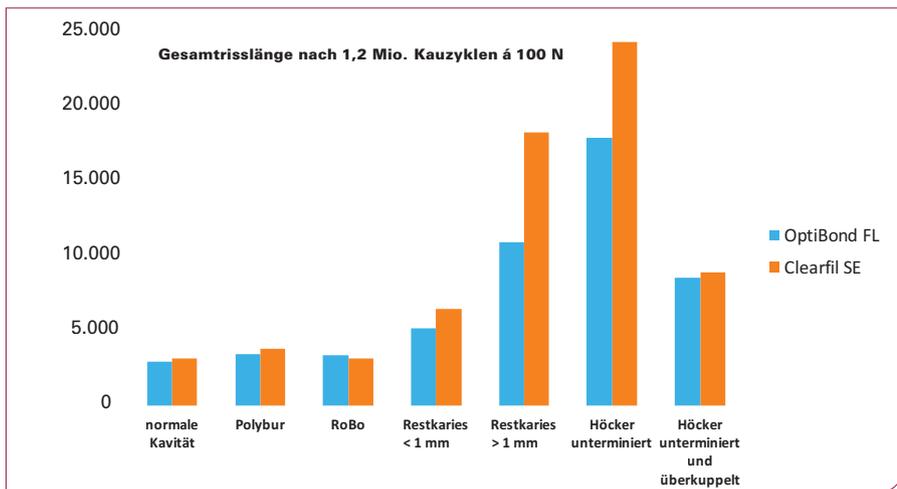
Die Ergebnisse zeigen ein klares Gefälle DEN > SCD = CAD > CID. Da diese Zonen unter normalen klinischen Umständen jedoch immer gleichzeitig in einem zu restaurierenden Zahn vorliegen, wird die Gesamthaftung bzw. -retention auch bei teilweise kompromittierter Haftung einzelner Bereiche in der Regel immer ausreichend sein (Abb. 4 und 5).



**Abb. 4** Komposit-Dentin-Interface an kariös verändertem Dentin. Es zeigt sich eine deutlich kürzere Tag-Formation durch obliterierte Dentintubuli.



**Abb. 5** Dentinhaftung im Boxplot-Diagramm auf unverändertem Dentin (DEN), sklerotischem Dentin (SCD), kariös verändertem Dentin („Caries-affected dentin“, CAD) sowie restkariösem Dentin („Caries-infected dentin“, CID).



**Abb. 6** Gesamtrisslänge im Schmelz nach 1,2 Mio. Kauzyklen (normale Kavität: kariessfreie MOD/Kontrolle; RoBo: Rosenbohrer, Polybur: Polybur P1, Fa. Komet Dental, Lemgo).

## Einfluss der Exkavationsstrategie auf die Stabilität gefüllter Zähne

Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt gerade bei der selektiven Kariesexkavation ist die potenzielle Destabilisierung durch belassene, weiche kariöse Biomasse<sup>2,13,28</sup>. Auch hierzu haben wir einen Versuch mit 112 kariösen Zähnen gemacht, die unterschiedlich aggressiv exkaviert, gefüllt (n = 8) und der Kausimulation (1,2 Mio. Kauzyklen) zugeführt wurden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtstabilität (hier: Gesamtrisslänge im Schmelz) durch die Exkavationsstrategie zunächst nicht beeinflusst wird (Polybur- vs. Rosenbohrer), dass jedoch ein Belassen von > 1 mm kariöser Biomasse bei MOD-Kavitäten eine dramatische Zunahme von Schmelzdesintegrationen bedeutet, vor allem wenn die Karies deutlich unterminierend ist (Abb. 6). Außerdem zeigt sich dann ab einer gewissen Kavitätengröße ein positiver Effekt der Schmelzätzung mit Phosphorsäure. Trotzdem wäre dann ab

einer gewissen Unterminierung ein präventives Überkuppeln der Höcker angezeigt.

## Literatur

1. Arnold WH, Konopka S, Kriwalsky MS, Gaengler P. Morphological analysis and chemical content of natural dentin carious lesion zones. *Ann Anat* 2003;185(5):419–424.
2. Barros MMAF, Queiroz Rodrigues MI de, Muniz FWMG, Rodrigues LKA. Selective, stepwise, or nonselective removal of carious tissue: which technique offers lower risk for the treatment of dental caries in permanent teeth? A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig* 2020;24(2):521–532.
3. Bjørndal L. The caries process and its effect on the pulp: The science is changing and so is our understanding. *J Endod* 2008;34 (7 Suppl):5.
4. Chaussain-Miller C, Fioretti F, Goldberg M, Menashi S. The role of matrix metalloproteinases (MMPs) in human caries. *J Dent Res* 2006;85(1):22–32.
5. Daculsi G, LeGeros RZ, Jean A, Kerebel B. Possible physico-chemical processes in human dentin caries. *J Dent Res* 1987; 66(8):1356–1359.
6. Frankenberger R, Taschner M, Garcia-Godoy F, Petschelt A, Krämer N. Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years. *J Adhes Dent* 2008;10(5):393–98.

7. Fusayama T. Two layers of carious dentin; diagnosis and treatment. *Oper Dent* 1979;4(2): 63–70.
8. Fusayama T, Kurosaki N. Structure and removal of carious dentin. *Int Dent J* 1972;22(3): 401–411.
9. Haak R, Ziebolz D, Schneider H, Krause F. Darf es ein bisschen weniger sein? - Aktuelle Aspekte der Kariesentfernung. *Quintessenz* 2015;66(10):1129–1138.
10. Isolan CP, Sarkis-Onofre R, Lima GS, Moraes RR. Bonding to sound and caries-affected dentin: A systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent* 2018;20(1):7–18.
11. Kidd EAM. How 'clean' must a cavity be before restoration? *Caries Res* 2004;38(3):305–313.
12. Kinney JH, Marshall SJ, Marshall GW. The mechanical properties of human dentin: A critical review and re-evaluation of the dental literature. *Crit Rev Oral Biol Med* 2003;14(1):13–29.
13. Liberman J, Franzon R, Guimarães LF et al. Survival of composite restorations after selective or total caries removal in primary teeth and predictors of failures: A 36-months randomized controlled trial. *J Dent* 2020;93 [Epub ahead of print].
14. Marshall GW JR, Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: Structure and properties related to bonding. *J Dent* 1997;25(6):441–458.
15. Mertz-Fairhurst EJ, Call-Smith KM, Shuster GS et al. Clinical performance of sealed composite restorations placed over caries compared with sealed and unsealed amalgam restorations. *J Am Dent Assoc* 1987;115(5):689–694.
16. Mertz-Fairhurst EJ, Curtis JW JR, Ergle JW, Rueggeberg FA, Adair SM. Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: Results at year 10. *J Am Dent Assoc* 1998;129(1):55–66.
17. Morse DR. Age-related changes of the dental pulp complex and their relationship to systemic aging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991;72(6):721–745.
18. Murray PE, Stanley HR, Matthews JB, Sloan AJ, Smith AJ. Age-related odontometric changes of human teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;93(4): 474–482.
19. Neves Ade A, Coutinho E, Cardoso MV, Munck J de, Van Meerbeek B. Micro-tensile bond strength and interfacial characterization of an adhesive bonded to dentin prepared by contemporary caries-excitation techniques. *Dent Mater* 2011;27(6):552–562.
20. Opdam N, Frankenberger R, Magne P. From 'direct versus indirect' toward an integrated restorative concept in the posterior dentition. *Oper Dent* 2016;41(S7): S27–S34.
21. Opdam NJM, Bronkhorst EM, Roeters JM, Loomans BAC. Longevity and reasons for failure of sandwich and total-etch posterior composite resin restorations. *J Adhes Dent* 2007;9(5):469–475.
22. Pashley DH. Dynamics of the pulpo-dentin complex. *Crit Rev Oral Biol Med* 1996;7(2):104–133.
23. Perdigão J. Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent Mater* 2010; 26(2):e24–e37.
24. Perdigão J. Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent Mater* 2010; 26(2):37.
25. Schroeder HE. *Orale Strukturbiologie: Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks*. 5. Aufl., Stuttgart: Thieme, 2000.
26. Schwendicke F, Dörfer CE, Paris S. Incomplete caries removal: A systematic review and meta-analysis. *J Dent Res* 2013;92(4):306–314.
27. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L et al. Managing carious lesions: Consensus recommendations on carious tissue removal. *Adv Dent Res* 2016;28(2):58–67.
28. Schwendicke F, Kniess J, Paris S, Blunck U. Margin integrity and secondary caries of lined or non-lined composite and glass hybrid restorations after selective excavation in vitro. *Oper Dent* 2017;42(2):155–164.
29. Spencer P, Wang Y, Katz JL, Misra A. Physicochemical interactions at the dentin/adhesive interface using FTIR chemical imaging. *J Biomed Opt* 2005;10(3):31104.
30. Stanley HR, Pereira JC, Spiegel E, Broom C, Schultz M. The detection and prevalence of reactive and physiologic sclerotic dentin, reparative dentin and dead tracts beneath various types of dental lesions according to tooth surface and age. *J Oral Pathol* 1983;12(4): 257–289.
31. Tagami J, Hosoda H, Burrow MF, Nakajima M. Effect of aging and caries on dentin permeability. *Proc Finn Dent Soc* 1992;88 Suppl 1:149–154.
32. Takahashi N, Nyvad B. Ecological hypothesis of dentin and root caries. *Caries Res* 2016;50(4): 422–431.
33. Van Meerbeek B, de Munck J, Yoshida Y et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: Current status and future challenges. *Oper Dent* 2003;28(3):215–235.
34. Van Meerbeek B, Yoshihara K, van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From Buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *J Adhes Dent* 2020; 22(1):7–34.
35. Zavgorodniy AV, Rohanizadeh R, Bulcock S, Swain MV. Ultrastructural observations and growth of occluding crystals in carious dentine. *Acta Biomater* 2008;4(5):1427–1439.



### Roland Frankenberger

Univ.-Prof. Dr. med. dent., FADM  
Abteilung für Zahnerhaltungskunde  
Med. Zentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde  
Philipps-Universität Marburg und  
Universitätsklinikum Gießen und  
Marburg  
Georg-Voigt-Straße 3, 35039 Marburg  
E-Mail: frankbg@med.uni-marburg.de



### Rainer Haak

Univ.-Prof. Dr. med. dent., MME  
Poliklinik für Zahnerhaltung und  
Parodontologie  
Universitätsklinikum Leipzig  
Liebigstraße 12, 4103 Leipzig