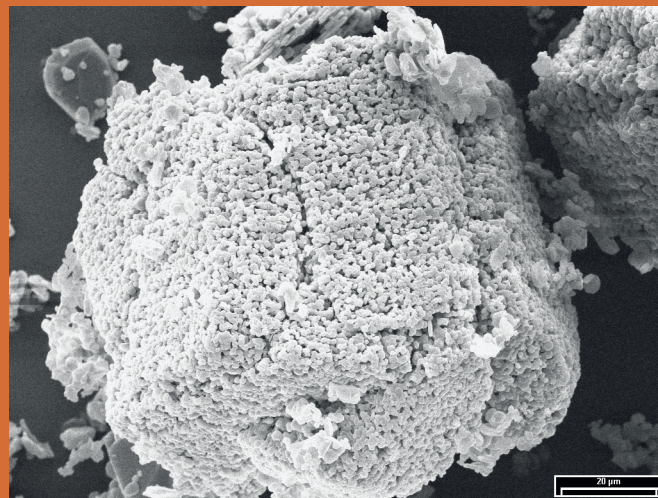


Oralprophylaxe Kinderzahnheilkunde

Herausgeber Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V. | Deutsche Gesellschaft für Kinderzahnheilkunde
Organschaft Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung e.V. | Deutsche Gesellschaft für Kinderzahnheilkunde | www.dgzmk.de



REM Aufnahme eines Putzkörpers

SONDERDRUCK

Abrasivität von Zahnpasten und ihre klinische Bedeutung

C. E. Dörfer

33. Jahrgang, Heft 1 (2011)

Seite 18-22

 **Deutscher
Ärzte-Verlag**

C. E. Dörfer¹

Abrasivität von Zahnpasten und ihre klinische Bedeutung

Abrasivity of dentifrices and its clinical relevance

Hintergrund: Die Prävalenz nicht-kariöser Zahnhartsubstanzverluste nimmt derzeit zu und die Befürchtungen wachsen, dass möglicherweise die Abrasivität von Zahnpasten dafür verantwortlich wäre. In der Folge werden überwiegend niedrig abrasive Zahnpasten empfohlen, obwohl eine bestimmte Abrasivität erforderlich ist, damit die Zahnpasten ihre unterstützende Reinigungswirkung entfalten können.

Problematik: Die Abrasivität von Zahnpasten wird üblicherweise durch den RDA-Wert charakterisiert, einen Laborparameter, der mit großen methodenimmanenten Reliabilitäts- und Validitätsproblemen behaftet ist. Vergleichende Tests haben ergeben, dass der RDA-Wert ein und derselben Zahnpaste bei Messung in verschiedenen Laboratorien bis 240 % voneinander abweichen kann. Darüber hinaus wird der durch die Abrasivstoffe bedingte intraorale Verlust an Zahnhartsubstanz von vielen anderen klinischen und verhaltensgestützten Faktoren moduliert. Die International Standardization Organization (ISO) hat daher auf eine Graduierung der Zahnpasten nach ihrer Abrasivität auf der Basis des RDA-Werts verzichtet und stellt in der aktuellen Überarbeitung der Zahnpastennorm lediglich einen Sicherheitsgrenzwert von RDA 250 fest, den Zahnpasten nicht überschreiten sollten.

Schlussfolgerung: Zahnärzte und alle in die Prophylaxe involvierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sollten daher Zahnpasten nicht auf Grund des RDA-Wertes pauschal empfehlen, sondern die Auswahl individuell anhand der klinischen Situation treffen.

Schlüsselwörter: Zahnpasten; Abrasivität; RDA; Sicherheit; klinische Relevanz

Background: The prevalence of non-carious lesions is increasing and there exists growing concern that toothpastes might contribute to this development due to their abrasiveness. In consequence, low abrasive toothpastes are recommended widely, although certain abrasivity is needed to gain its additive cleaning effect.

Problem: The abrasivity of toothpastes is usually characterized by the RDA-value, a laboratory parameter, which is faced to major problems in terms of reproducibility and validity of the measurements. In inter-laboratory tests the RDA value of the same toothpaste varied up to a factor of 2.4. Even more, the intraoral loss of tooth substance is modulated by many factors besides the laboratory based abrasivity measures. The International Standardization Organization (ISO), therefore, disclaims a graduation of toothpastes due to the RDA-values beyond the accepted safety margin of RDA 250.

Conclusion: Dentists should not recommend toothpastes according to their RDA-value but make the decision individually and based on the clinical situation.

Keywords: dentifrices; abrasivity; RDA; safety; clinical relevance

¹ Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Arnold-Heller-Strasse 3, Haus 26, 24105 Kiel
DOI 10.3238/OPKZH.2011.0018

Einleitung

Zahnpasten gelten als unverzichtbarer Bestandteil der häuslichen Mundpflege. Theoretisch kann der orale Biofilm zwar durch das tägliche Bürsten aller exponierten Zahnflächen ausreichend entfernt werden, der Erfolg der täglichen Mundhygienemaßnahmen ist jedoch von komplexen Interaktionen vieler Faktoren abhängig. Dazu zählen unter anderem die Menge und Lokalisation der Plaque, ihre physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften, der aktuelle Zustand der lokalen und systemischen Abwehrsysteme, aber auch die mechanischen Fertigkeiten, das Wissen und die Motivation beziehungsweise Disziplin des Anwenders. Das alltägliche Reinigungsergebnis ist in der Regel weit vom Idealzustand entfernt. Die Folge sind gingivale Entzündungszeichen sowie Mineralisation des Biofilms und Verfärbungen der Zähne. Zahnpasten wirken unterstützend bei der Zahnreinigung auf Grund des mechanischen Abriebs der Beläge, also ihrer Abrasivität [27]. Daneben sind sie Träger prophylaktischer oder therapeutischer wirksamer Substanzen und stellen vor allem eine wichtige Quelle für die lokale Fluoridierung dar, obwohl ihre Konsistenz zum Beispiel gegenüber Mundspüllösungen als ungünstig bezüglich einer gleichmäßigen Verteilung dieser Substanzen in der Mundhöhle gilt. Ihre Anwendung findet aber eine breite Akzeptanz in der Bevölkerung, eine Eigenschaft, die sicherlich in erster Linie auf den angenehmen Geschmack und das Frischegefühl zurückzuführen ist. Dadurch wird eine zuverlässige Applikation wirksamer Substanzen weitaus sicherer gewährleistet als dies durch den zusätzlichen Einsatz z. B. einer Mundspüllösung zu erzielen wäre. Ein Verzicht auf den Einsatz von Zahnpasten in der täglichen Mundhygiene ist daher derzeit nicht vorstellbar.

Unsicherheit um Abrasionswerte

Zentrales Element von Zahnpasten sind jedoch die Abrasivstoffe, die die Reinigungswirkung der Zahnbürste unterstützen und unter anderem durch die Entfernung oberflächlich aufgelagerter

Farbpigmente das ästhetische Ergebnis der häuslichen Zahnpflege verbessern. Dank erfolgreicher Präventionsmaßnahmen verbleiben die Zähne heute länger in Funktion. Daraus erwuchs jedoch die Anspruchshaltung, dass die Zähne ungeachtet der höheren Lebenserwartung ein Leben lang erhalten werden sollten. In Verbindung mit den vermehrten häuslichen Prophylaxeanstrengungen eines zunehmenden Anteils der Bevölkerung sind in den letzten Jahren die negativen Begleiterscheinungen abrasiver Pasten in den Blickpunkt des Interesses geraten. Nicht-kariöse Zahnhartsubstanzen sind derzeit häufig Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen und Zielrichtung von Neuentwicklungen im Bereich der Mundhygieneprodukte. Dadurch hat sich sowohl unter Anwendern als auch im professionellen Bereich die öffentliche Meinung gebildet, eine zu hohe Abrasivität von Zahnpasten sei für diese Substanzverluste zumindest partiell verantwortlich. Konsequenterweise wurden in den vergangenen Jahrzehnten immer radikalere Empfehlungen für den Gebrauch niedrig abrasiver Zahnpasten ausgesprochen bis zu einem Grad, an dem sie ihre die Reinigungsfunktion unterstützende Wirkung verlieren. Die Empfehlungen basieren überwiegend auf dem so genannten RDA-Wert, der die Abrasivität von Zahnpasten im Labortest misst. Allerdings divergieren die in den Empfehlungen ausgesprochenen Grenzwerte teilweise erheblich und führen zu einer Verunsicherung sowohl bei den Anwendern als auch den zahnärztlichen Teams und den Herstellerfirmen. Im Folgenden wird daher das derzeit gängigste Verfahren zur Bestimmung der Abrasivität von Zahnpasten vorgestellt und die Limitationen in Bezug auf die klinische Übertragbarkeit der so gewonnenen Werte herausgearbeitet.

Radioaktive (Relative) Dentin Abrasion (RDA)

Historisch wurde die Abrasivität von Pasten anhand der Messung der abgetragenen Masse über das Gewicht eines Probekörpers vor und nach der Bearbeitung bestimmt. Erste Ansätze zur Abrasivitätsbestimmung waren daher gravimetrischer Natur. Als Substrat dienten

verschiedene Probekörper aus Materialien, die in ihrer Härte humanem Schmelz oder Dentin ähnlich waren. Unter anderem fanden Gläser, Metalle und Kunststoffe Anwendung [14]. Da Feuchtigkeit bei diesen Materialien nur einen geringen Einfluss auf die Masse hat, konnte der Materialabtrag durch Wiegen vor und nach Bürsten mit einer abrasiven Paste reproduzierbar bestimmt werden. Allerdings war die Übertragbarkeit der so gewonnenen Ergebnisse auf die klinische Situation gering, da die verwendeten Substrate zwar in ihren physikalischen Eigenschaften aber nicht in ihrer Mikrostruktur den natürlichen Substraten Schmelz und Dentin ähnelten [11]. Die Suche nach einem in vitro Verfahren, bei dem an natürlichem Dentin- oder Schmelzproben der Abtrag durch abrasive Pasten bestimmt werden kann, gestaltete sich schwierig und ist bis heute nicht endgültig gelöst. Derzeit beruhen Angaben über die Abrasivität in der Regel auf dem Prinzip der sogenannten relativen Dentinabrasion.

Diese RDA-Methode folgt dem Prinzip der radioaktiven Markierung des Dentins und der sich daraus eröffnenden Möglichkeit, die Menge der abgetragenen Substanz durch die radioaktive Strahlung des Überstands nach dem Bürsten quantitativ zu bestimmen. Diese Methode wurde erstmals 1933 beschrieben [11]. Die derzeit überwiegend angewandte Vorgehensweise geht auf die Arbeiten von Grabenstetter und Mitarbeiter zurück [8]. Die gewölbte Oberfläche von Wurzeln frisch extrahierter einwurzliger menschlicher Zähne wird plan geschliffen. Anschließend werden die so gewonnenen Proben einem Neutronenbeschuss ausgesetzt. Dadurch wird im gesamten Zahn das natürliche im Hydroxylapatit vorkommende ^{31}P zu radioaktivem ^{32}P umgewandelt. ^{32}P hat eine Halbwertszeit von 14,3 Tagen, d. h. die Proben können innerhalb eines Zeitraums von circa vier Wochen verarbeitet werden. Die bestrahlten Proben werden in Methyl-Methacrylat eingebettet. Werden diese Proben mit einem Gemisch aus abrasiver Paste und Wasser, dem sogenannten ‚slurry‘ gebürstet, geht das radioaktiv markierte Material in das Pasten-Wassergemisch über und kann aufgrund der Stärke des Signals quantitativ bestimmt werden.

Der Bürstvorgang erfolgt mit einer konventionellen Standardzahnbürste mittlerer Härte und unter genau definierten Rahmenbedingungen, die in einem internationalen Standard festgeschrieben sind [17]. Der hohen Variabilität, der natürlichen Substrate zwangsläufig unterliegen, wird in zweierlei Weise Rechnung getragen. Zum einen wird die Abrasivität immer als relativer Wert im Vergleich zu einem Referenz-Abrasiv angegeben, wobei der Wert 100 der Abrasivität der Referenz entspricht, größere Werte eine höhere und kleinere Werte eine niedrigere Abrasivität der getesteten Paste beschreiben. Zum anderen wird bei der Bestimmung des Abriebs das so genannte Sandwich-Verfahren eingesetzt. Die zu testende Substanz wird zwischen zwei Durchgängen mit der Referenz, deren Ergebnisse gemittelt werden, gemessen. Auf diese Weise kann die Variation des Dentins innerhalb einer Probe weitgehend kompensiert werden [10]. Trotz dieser Vorgehensweise ist mit einer Messwertschwankung von 10–15 % innerhalb einer Messreihe zu rechnen. Von Studie zu Studie können die Ergebnisse sogar bis zu 25 % voneinander abweichen [7]. Das größte Problem bei der Vergleichbarkeit der Ergebnisse stellt jedoch die Verwendung des Referenz-Abrasivs dar. Es ist offensichtlich, dass sich die RDA-Werte substantiell ändern, wenn der relationale Standard andere Eigenschaften aufweist. Daher ist das Referenz-Abrasiv genau definiert. Ursprünglich handelte es sich um eine spezielle Produktionsform von Kalziumpyrophosphat ($\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$), die von einer Firma auf Nachfrage zur Verfügung gestellt wurde. Als diese Firma vor einigen Jahren die Produktion beendete, hat einer der wesentlichen Entwickler der RDA-Methode die Restbestände aufgekauft und stellte sie für Messungen zur Verfügung. Parallel dazu wurde eine neue Standardreferenz gesucht und analog zu den in den meisten Zahnpasten eingesetzten Abrasivstoffen eine spezielle Silica-Formulierung ausgewählt [17], deren Verhältnis zu dem bisherigen Referenzmaterial in ausgedehnten Testreihen bestimmt wurde [13]. Ausschlaggebend für die Auswahl war unter anderem die Zusage der Herstellerfirma, das Referenz-Abrasiv langfristig für entsprechende Messungen bereitzustellen.

Die Messmethode ist sehr techniksensitiv und ständige Qualitätskontrollen sind erforderlich, um die teilweise erheblichen Ergebnisschwankungen zu minimieren. In Ringversuchen fanden sich zwischen Laboratorien bei gleichen Pasten Messwertunterschiede bis zu einem Faktor von 2,4, die durch minimale Unterschiede in der Methode hervorgerufen wurden. Eine Angleichung ist bis heute nicht erfolgt. Vergleiche der RDA-Werte zwischen verschiedenen Laboratorien sind daher nicht aussagekräftig [4].

Relative Schmelz Abrasion (REA)

Analog zur Vorgehensweise im Dentin kann auch der zahnpastenbedingte Abrieb des Zahnschmelzes bestimmt werden. Der entsprechende Wert wird als ‚relative enamel abrasion‘ (REA) bezeichnet. Dieser Wert steht in keinem rationalen Verhältnis zum RDA-Wert. Die Charakteristika von Schmelz und Dentin sind derart verschieden, dass der Unterschied der Wirkung abrasiver Pasten nicht durch einen Korrekturfaktor angegeben werden kann. Vielmehr gibt es Pasten, die im Schmelz eine hohe und im Dentin eine niedrige Abrasivität aufweisen und umgekehrt [3, 20, 22, 27].

Profilometrie

Derzeit gibt es erhebliche Bestrebungen nach Alternativen zur RDA-Methode zu suchen, bei denen eine radioaktive Bestrahlung der Zahnhartsubstanzen nicht erforderlich ist [5]. Eine Option ist die Profilometrie. Im Gegensatz zur RDA-Methode werden bei der Profilometrie Substanzverluste durch direktes Vermessen der Oberflächenveränderungen bestimmt. Dazu wird die Oberfläche vor und nach Einwirkung des Abrasivs rasterförmig abgetastet. Damit eine Kontinuität mit dem bisherigen Verfahren bestehen bleibt, werden derzeit analog zur RDA-Methode auch hier in der Regel keine absoluten Zahlen angegeben, sondern die zu untersuchende Paste im Sandwich-Verfahren in Relation zu einem Referenz-Abrasiv gestellt. Damit soll auch bei dieser Methode der Variabilität des natürlichen Dentins als

Substrat Rechnung getragen werden. Zum Rastern der Oberfläche wird entweder ein mechanischer Abtaster (Kontakt-Profilometrie) oder ein Laserstrahl (Laser-Profilometrie) eingesetzt. Die Verfahren gelten als etabliert, allerdings besteht auch hier das Problem, dass die Ergebnisse von Labor zu Labor teilweise erheblich voneinander abweichen und derzeit ebenfalls keine verallgemeinerbare Aussage über die Abrasivität einer Zahnpaste erlauben. In der revidierten Form des Internationalen Standards wird allerdings erstmals die Profilometrie als potentielle Alternative zur RDA-Methode festgehalten [17].

Klinische Bedeutung und Sicherheitsaspekte

Ursprünglich zielten die Abrasivitätsmessungen verschiedener Zahnpasten im Laborversuch nicht auf Sicherheitsaspekten sondern auf Effizienzaussagen. Vor diesem Hintergrund waren Ungenauigkeiten der Methode toleriert, da die Ergebnisse lediglich einen groben Anhalt bieten sollten. Relativ bald wurde aber der Sicherheitsaspekt in die Diskussion einbezogen und eine Obergrenze für die Abrasivität von Zahnpasten bei einem RDA-Wert von 250 gesetzt [12].

Obwohl der Substanzverlust im Zahnschmelz als vernachlässigbar klein eingeschätzt wird [1], nimmt die Diskussion über das Risiko durch abrasive Zahnpasten zu. Vor allem bei Personen mit hohem Gesundheitsbewusstsein treffen mehrere Faktoren zusammen, die das Risiko nicht-kariöser Zahnhartsubstanzverluste erhöhen. Zum einen unternehmen diese Personen vergleichsweise hohe Anstrengungen zum Erhalt ihrer Zähne. Damit steigt die Lebensdauer der Zähne aber auch zumindest bezüglich der mechanischen Plaquekontrolle das Risiko für eine Traumatisierung der Gingiva mit gegebenenfalls nachfolgender Entwicklung von Rezessionen. Das dadurch freigelegte Wurzelzement und darunterliegende Dentin sind erheblich anfälliger gegenüber Substanzverlust als der Zahnschmelz [1]. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Personen häufig auch ein Ernährungsverhalten zeigen, das durch ein erhöhtes erosives Potenzial auf Grund des hohen Anteils gesunder aber oftmals säurehaltiger Nahrungsmittel und Getränke cha-

rakterisiert ist. Kommen diese Faktoren zusammen, ist die Sorge naheliegend, dass Zahnpasten mit hoher Abrasivität auf Lebenszeit gesehen das Risiko für Zahnverlust erhöhen könnten und daher auf höher abrasive Pasten verzichtet werden sollte. Dabei wird in der Regel auf den RDA-Wert Bezug genommen. Allerdings sind in den letzten Jahren erhebliche Zweifel bezüglich der klinischen Relevanz mittels laborgestützter Verfahren gewonnener Abrasivitätswerte laut geworden. Im Wesentlichen beruhen sie auf folgenden Fakten:

- Reihungen von handelsüblichen Zahnpasten bezüglich ihrer Abrasivität variieren in Abhängigkeit von der Untersuchungsmethode [3].
- Obwohl RDA-Werte mit der Reinigungsleistung von Zahnpasten korrelieren [26], modulieren unterschiedliche Abrasivstoffe diese Korrelation und verbieten einfache Schlussfolgerungen [27].
- Obwohl RDA-Werte mit dem direkt zum Beispiel mittels Profilometrie bestimmten Substanzverlust einer Oberfläche korrelieren [16, 20], führen Unterschiede zwischen verschiedenen Pasten in der klinischen Situation unter Umständen weder im Schmelz noch im Dentin zu einem differierenden Substanzverlust, selbst wenn sie im RDA-Wert mit einem Faktor von über 2 voneinander abweichen [21, 24].
- Selbst bei klinischen Studien, die Unterschiede zwischen Pasten mit verschiedenen RDA-Werten nachweisen, finden sich erhebliche inter- und intrapersonelle Variation sowohl zwischen den Zahnpasten als auch bei Messwiederholungen mit ein und der selben Zahnpaste [2].
- Im klinischen Gebrauch erfolgt mit zunehmender Putzdauer eine Abnahme der wirksamen Zahnpastenmenge auf der Zahnoberfläche. Daraus resultiert eine exponentielle Abnahme der Abrasivwirkung über die Zeit [6].
- RDA-Werte hängen essentiell vom verwendeten Referenzmaterial und kleinsten Unterschieden im methodischen Vorgehen zwischen den verschiedenen Laboratorien ab. Betroffen sind davon nicht nur Unterschiede der Abrasivwerte einer Paste bis zu einem Faktor von 2,4, wenn sie in zwei Labors bestimmt wurden, sondern auch erhebliche Diskrepanzen

bei Messwiederholungen und abweichende Reihungen der verschiedenen Produkte [4]. Routinemäßige Kalibrierungs- und Standardisierungsprozeduren zwischen den Laboratorien gibt es derzeit nicht.

- RDA Werte sind kein Prädiktor für Schmelzabrasion. Niedrige RDA-Werte können mit hoher Schmelzabrasion und hohe RDA-Werte mit niedriger Schmelzabrasion einhergehen [20, 22, 27].
- Eine Extrapolation von RDA-Werten auf den klinischen Substanzverlust würden auf eine Überschätzung der Abrasivwirkung insgesamt um einen Faktor von 7,7 im Schmelz und 3,5 im Dentin hinauslaufen [18].

Klinische Relevanz

Nicht-kariöse Zahnhartsubstanzverluste werden zunehmen und klinisch mehr und mehr an Bedeutung gewinnen. Die Rolle der Abrasivität von Zahnpasten bei diesem Prozess wird derzeit jedoch als eher untergeordnet eingestuft, da andere Faktoren, wie säurebedingte Erosionen [15, 16], die lokale Verfügbarkeit von Fluoriden [9, 25], protektive Ernährungsbestandteile [19, 23] und Zahnbürsteneigenschaften einen größeren Einfluss auf den Zahnhartsubstanzverlust haben und die Abrasivwirkung von Zahnpasten erheblich modulieren [4].

Die derzeit für die Abrasivität herangezogenen RDA-Werte unterliegen methodischen Problemen und einer extrem hohen Variabilität in Abhängigkeit von den durchführenden Laboratorien. Auf der Basis der derzeit verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz sind sie daher nicht geeignet, um die Sicherheit von Zahnpasten und das Risiko für unerwünschte Zahnhartsubstanzverluste zu beurteilen. Sie erlauben keine Rückschlüsse auf potenzielle Risiken für zahnpastenbedingte Zahnhartsubstanzverluste in der klinischen Situation [4]. In der aktuellen Überarbeitung des Zahnpastenstandards hat die ISO daher auf weitere Abstufungen in niedrig, mittel und hoch abrasive Pasten auf der Basis des RDA-Wertes verzichtet und hält mangels Alternativen lediglich an der Aussage fest, dass Zahnpasten unter einem RDA-Schwellenwert von 250 als sicher eingestuft werden [17]. Die meisten derzeit auf dem Markt befindlichen

Zahnpasten liegen weit darunter [3, 27]. Es sollte daher davon ausgegangen werden, dass in der Regel der Nutzen durch den unterstützenden Reinigungseffekt aufgrund der Abrasivwirkung von Zahnpasten bei weitem die Risiken überwiegt [5]. Auf eine generelle, sogenannte prophylaktische Empfehlung niedrig abrasiver Pasten sollte daher verzichtet werden. In Einzelfällen und alleine nach Maßgabe des individuellen klinischen und anamnestischen Befundes kann es dennoch sinnvoll sein, niedrig abrasive Zahnpasten zu empfehlen. Für die protektive Effektivität dieser Maßnahme wäre es allerdings sinnvoll, in diesem Zusammenhang andere potenzielle risikoerhöhende Gewohnheiten ebenfalls zu eruieren und gegebenenfalls zu modulieren.

Interessenskonflikte: Der Autor führt Drittmittelstudien für Hersteller und Vertreiber von Zahnpasten (Gaba, Procter & Gamble) durch. Er hält Vorträge im Auftrag o.g. Firmen und berät sie. Der Autor ist Leiter der zuständigen Normungskommission im DIN und Deutscher Delegierter bei der ISO.

Literaturverzeichnis

1. Addy M: Tooth brushing, tooth wear and dentine hypersensitivity – are they associated? *Int Dent J* 55, 261–267 (2005)
2. Addy M, Hughes J, Pickles MJ, Joiner A, Huntington E: Development of a method in situ to study toothpaste abrasion of dentine. Comparison of 2 products. *J Clin Periodontol* 29, 896–900 (2002)
3. Barbakow F, Imfeld T, Lutz F, Stookey G, Schemmhorn B: Dentin abrasion (RDA), enamel abrasion (REA) and polishing scores of dentifrices sold in Switzerland. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 99, 408–413 (1989)
4. Dörfer CE: Abrasivity of dentifrices from a clinical perspective. *J Clin Dent* 21, S4–S5 (2010)
5. Dörfer CE, Hefferren JJ, Gonzalez-Cabezas C, Imfeld T, Addy M: Methods to determine dentifrice abrasiveness: A technical report. Executive Summary. *J Clin Dent* 21, S2–S3 (2010)
6. Franzo D, Philpotts CJ, Cox TF, Joiner A: The effect of toothpaste concentration on enamel and dentine wear in vitro. *J Dent* 38, 974–979 (2010)
7. Gonzalez-Cabezas C: Determination of the abrasivity of dentifrices on human dentin using the radioactive (also known as relative) dentin abrasion (RDA) method. *J Clin Dent* 21, S9–S10 (2010)

C. E. Dörfer:
Abrasivität von Zahnpasten und ihre klinische Bedeutung
Abrasivity of dentifrices and its clinical relevance

8. Grabenstetter RJ, Broge RW, Jackson FL, Radike AW: The measurement of the abrasion of human teeth by dentifrice abrasives: a test utilizing radioactive teeth. *J Dent Res* 37, 1060–1068 (1958)
9. Hara AT, Gonzalez-Cabezas C, Creeth J, Parmar M, Eckert GJ, Zero DT: Interplay between fluoride and abrasivity of dentifrices on dental erosion-abrasion. *J Dent* 37, 781–785 (2009)
10. Hefferren JJ: A laboratory method for assessment of dentifrice abrasivity. *J Dent Res* 55, 563–573 (1976)
11. Hefferren JJ: Abrasivity of Dentifrices from a Laboratory (in vitro) perspective. *J Clin Dent* 21, S5–S6 (2010)
12. Hefferren JJ: Critical points in evolution of laboratory methods to measure the functionality of toothpastes. *J Clin Dent* 21, S6–S7 (2010)
13. Hefferren JJ, Schemehorn B, Storeck A, Lerch M, Li N: Silica as a reference for laboratory dentifrice assessment methods: multiple site collaborative study. *J Clin Dent* 18, 12–16 (2007)
14. Hodge H, McKay: Microhardness of teeth. *J Am Dent Assoc* 22, 227 (1933)
15. Hooper S, West NX, Pickles MJ, Joiner A, Newcombe RG, Addy M: Investigation of erosion and abrasion on enamel and dentine: a model in situ using toothpastes of different abrasivity. *J Clin Periodontol* 30, 802–808 (2003)
16. Hughes N, Mason S, Creeth J, Hara AT, Parmar M, Gonzalez-Cabezas C: The effect of anti-sensitivity dentifrices on brushing abrasion of eroded dentin in vitro. *J Clin Dent* 19, 143–146 (2008)
17. ISO (2010): ISO 11609: Dentistry – Toothpastes – Requirement, test methods and marking
18. Joiner A, Schwarz A, Philpotts CJ, Cox TF, Huber K, Hannig M: The protective nature of pellicle towards toothpaste abrasion on enamel and dentine. *J Dent* 36, 360–368 (2008)
19. Magalhaes AC, Wiegand A, Rios D, Hannas A, Attin T, Buzalaf MA: Chlorhexidine and green tea extract reduce dentin erosion and abrasion in situ. *J Dent* 37, 994–998 (2009)
20. Philpotts CJ, Weader E, Joiner A: The measurement in vitro of enamel and dentine wear by toothpastes of different abrasivity. *Int Dent J* 55, 183–187 (2005)
21. Pickles MJ, Evans M, Philpotts CJ et al.: In vitro efficacy of a whitening toothpaste containing calcium carbonate and perlite. *Int Dent J* 55, 197–202 (2005)
22. Pickles MJ, Joiner A, Weader E, Cooper YL, Cox TF: Abrasion of human enamel and dentine caused by toothpastes of differing abrasivity determined using an in situ wear model. *Int Dent J* 55, 188–193 (2005)
23. Ranjitkar S, Rodriguez JM, Kaidonis JA, Richards LC, Townsend GC, Bartlett DW: The effect of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate on erosive enamel and dentine wear by toothbrush abrasion. *J Dent* 37, 250–254 (2009)
24. Volpe AR, Mooney R, Zumbrennen C, Stahl D, Goldman HM: A long term clinical study evaluating the effect of two dentifrices on oral tissues. *J Periodontol* 46, 113–118 (1975)
25. Wiegand A, Hiestand B, Sener B, Magalhaes AC, Roos M, Attin T: Effect of TiF₄, ZrF₄, HfF₄ and AmF on erosion and erosion/abrasion of enamel and dentin in situ. *Arch Oral Biol* 55, 223–228 (2010)
26. Wiegand A, Kuhn M, Sener B, Roos M, Attin T: Abrasion of eroded dentin caused by toothpaste slurries of different abrasivity and toothbrushes of different filament diameter. *J Dent* 37, 480–484 (2009)
27. Wülknitz P: Cleaning power and abrasivity of European toothpastes. *Adv Dent Res* 11, 576–579 (1997)

■ **Korrespondenzadresse**

Prof. Dr. Christof Dörfer

Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein,
Campus Kiel
Arnold-Heller-Strasse 3, Haus 26
24105 Kiel
E-Mail: doerfer@konspar.uni-kiel.de

