

Forschung · Wissenschaft Recherche · Science

Editor-in-chief
Chefredaktor
Rédacteur en chef
Jürg Meyer, Basel

Editors
Redaktoren
Rédacteurs
Urs Belser, Genève
Peter Hotz, Bern
Heinz Lüthy, Zürich

Assistant Editor
Redaktions-Assistentin
Rédactrice assistante
Catherine Weber, Basel

Advisory board / Gutachtergremium / Comité de lecture

P. Baehni, Genève
F. Barbakow, Zürich
J.-P. Bernard, Genève
C.E. Besimo, Basel
M. Bickel, Bern
S. Bouillaguet, Genève
U. Brägger, Bern
Th. Brunner, Zürich
E. Budtz-Jørgensen, Genève
D. Buser, Bern
M. Cattani, Genève
B. Ciucchi, Genève
K. Dula, Bern
J. Fischer, Bern
A. H. Geering, Bern
R. Gmür, Zürich
W. Gnoinski, Zürich
Ch. Hämmerle, Zürich
N. Hardt, Luzern

T. Imfeld, Zürich
K.H. Jäger, Basel
J.-P. Joho, Genève
S. Kiliaridis, Genève
I. Krejci, Genève
J. Th. Lambrecht, Basel
N.P. Lang, Bern
Ch. Lehner, Zürich
T. Lombardi, Genève
H.U. Luder, Zürich
A. Lussi, Bern
F. Lutz, Zürich
C. Marinello, Basel
G. Menghini, Zürich
R. Mericske-Stern, Bern
J.-M. Meyer, Genève
A. Mombelli, Genève
W. Mörmann, Zürich
Ph. Mojon, Genève

G. Pajarola, Zürich
S. Palla, Zürich
S. Paul, Zürich
M. Perrier, Lausanne
M. Richter, Genève
H. Sailer, Zürich
J. Samson, Genève
P. Schärer, Zürich
J.-P. Schatz, Genève
P. Schüpbach, Zürich
P. Stöckli, Zürich
U. Teuscher, Zürich
H. van Waes, Zürich
T. von Arx, Bern
A. Wichelhaus, Basel
J. Wirz, Basel
A. Wiskott, Genève

Publisher
Herausgeber
Editeur
Schweizerische Zahnärzte-Gesellschaft SSO
Société Suisse d'Odonto-Stomatologie
CH-3000 Bern 7

Adresse der wissenschaftlichen Redaktion
Prof. Jürg Meyer
Zentrum für Zahnmedizin
Institut für Präventivzahnmedizin und Orale Mikrobiologie
Hebelstr. 3
4056 Basel

Das erosive Potenzial verschiedener Zahnpflegeprodukte im Vergleich zu Nahrungsmitteln und Getränken

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war es, das erosive Potenzial verschiedener Zahnpflegeprodukte zu untersuchen und dieses mit jenem von Nahrungsmitteln und Getränken zu vergleichen. Ausserdem sollte die angewendete Härtemessmethode mit rasterelektronen-mikroskopischen Untersuchungen verglichen werden. Sieben Zahnpflegeprodukte (Zahnpasten und Spüllösungen), drei Nahrungsmittel und ein Getränk als positive Kontrolle wurden auf ihr erosives Potenzial hin getestet. Für die Untersuchung der Erosivität der Substanzen wurde die Ausgangshärte von 110 Schmelzprobekörpern bestimmt, und es erfolgte die Immersion in 10-ml-Prüflösung während 10 bzw. 20 Min. bei Raumtemperatur. Anschliessend wurde eine weitere Härtemessung durchgeführt und der Härteunterschied berechnet. Zur Beurteilung der Mikromorphologie von nativem Schmelz vor und nach Immersion wurden jeweils zwei weitere Schmelzproben während 20 Min. in gleicher Weise behandelt und die Oberflächenstruktur rasterelektronen-mikroskopisch bewertet. Die Resultate der beiden Methoden wurden verglichen. Apfelsaft und Orangensaft zeigten nach 10 bzw. 20 Min. Immersion die grösste Härteabnahme. Bei den Zahnpflegeprodukten fand man einzig bei der fluoridfreien Weleda-Zahnpaste eine signifikante Härteabnahme sowohl nach 10 als auch nach 20 Min. Immersion. Ausser Elmex Gelée zeigten alle weiteren Zahnpflegeprodukte signifikante Härtezunahmen ($p < 0,05$). Die Resultate der Härtemessung korrelierten mit den mikromorphologischen Untersuchungen. Es kann gefolgert werden, dass die untersuchten fluoridhaltigen Zahnpflegeprodukte kein mit den angewandten Methoden messbares erosives Potenzial aufweisen.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 111: 274–281 (2001)

Schlüsselwörter:

Erosionen, Zahnpflegeprodukte, Joghurt, Fluoride

Zur Veröffentlichung angenommen: 17. November 2000

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. A. Lussi

Klinik für Zahnerhaltung, Freiburgstrasse 7, 3010 Bern

Tel. 031/632 25 70, Fax 031/632 98 75

ADRIAN LUSSI und THOMAS JAEGGI

Universität Bern, Klinik für Zahnerhaltung, Kinder- und Präventivzahnmedizin, Freiburgstrasse 7, 3010 Bern

Einleitung

Erosion wird definiert als oberflächlicher Zahnhartsubstanzverlust, verursacht durch Säure, ohne Mitwirkung von Mikroorganismen (ZIPKIN & McCLURE 1949). Der Schmelz wird in der Anfangsphase ohne klinisch feststellbare Erweichung flächenhaft demineralisiert. Wirken zusätzlich abrasive Prozesse auf den Zahn ein, so kann es zu einem raschen Fortschreiten des Substanzverlustes kommen. Typisch für eine faziale Erosion ist die Schmelzleiste, welche den Hartsubstanzdefekt von der marginalen Gingiva trennt. Die Schmelzoberfläche ist matt und weist Eindellungen und Stufenbildung auf. Erosiv veränderte Okklusionsflächen haben gerundete Höcker und Eindellungen, die bis ins Dentin reichen können, sowie Füllungen, die die benachbarte Zahnschicht überragen. Palatinale Erosionen sind durch flächenhafte Entkalkung der Zahnhartsubstanz charakterisiert.

Erosionen können durch exogene oder endogene Faktoren entstehen. Zu den exogenen Ursachen gehören massiver Konsum von säurehaltigen Lebensmitteln sowie berufsbedingte Säureexposition (HOLLOWAY et al. 1958, TEN BRUGGEN 1968, LEVINE 1973, FULLER & JOHNSON 1977, LINKOSALO & MARKKANEN 1985). Unter die endogenen Ursachen fallen chronische Magen-Darmstörungen sowie Anorexia und Bulimia nervosa mit häufigem Erbrechen. Im Zuge der gesundheitsbewussten Ernährungsweise in der heutigen Gesellschaft (AEBI et al. 1984) scheint der erhöhte Konsum von säurehaltigen Nahrungsmitteln und Getränken eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Erosionen zu spielen. Sportgetränke werden heute ebenfalls vermehrt konsumiert und haben zum Teil ein erosives Potenzial (JÄRVINEN et al. 1991, LUSSI et al. 1993, LUSSI et al. 1995).

Untersuchungen über die Prävalenz von Erosionen der Zahnhartsubstanz wurden bisher wenige durchgeführt. Bei 10 000 extrahierten Zähnen wiesen in den USA etwa 18% erosionsähnliche Läsionen auf (SOGNNAES et al. 1972). In einer eigenen Untersuchung (LUSSI et al. 1992) wurden 391 zufällig ausgewählte Personen bezüglich Erosionen untersucht. Das Alter der Untersuchten lag zwischen 26–30 und 46–50 Jahren. 8% der jüngeren und 13% der älteren Probanden wiesen mindestens an einer fazialen Zahnfläche eine Erosion mit freigelegtem Dentin auf. Die Okklusalfächen waren bei 30% der jüngeren und 43% der älteren Personen mit mindestens einer bis ins Dentin reichenden Erosion befallen. Palatinale Erosionen waren seltener; nur etwa 1% der Studienteilnehmer wies eine Erosion bis ins Dentin auf. Die Ernährungsanamnese und die multiple lineare Regression zeigten, dass faziale und okklusale Erosionen mit dem Konsum von (Zitrus)früchten und Fruchtsäften im Zusammenhang standen. Palatinale Erosionen hingegen waren mit häufigem Erbrechen assoziiert. In einer Studie an 106 Probanden kamen JÄRVINEN et al. (1991) zu ähnlichen Ergebnissen. Der Konsum von Zitrusfrüchten, Sport- und Süssgetränken sowie Erbrechen waren die wichtigsten ätiologischen Faktoren für die Entstehung von Erosionen. In einer *In-vitro*-Untersuchung (LUSSI et al. 1993) konnte gezeigt werden, dass die Pufferkapazität, Phosphat- und Fluoridkonzentration und der pH-Wert eines Getränkes einen hochsignifikanten Einfluss auf dessen Erosivität aufwies. Die Extrapolation der *in vitro* gemessenen Erosivität auf die *In-vivo*-Situation ist nicht direkt möglich, weil Faktoren wie Pellikelbildung, Pufferkapazität und Flussrate des Speichels eine wichtige Rolle spielen. Mit *In-vitro*-Tests kann hingegen das erosive Potenzial einer Substanz und damit deren mögliche erosive Wirkung bestimmt werden.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, das erosive Potenzial verschiedener Zahnpflegeprodukte zu testen und sie mit Nahrungsmitteln und Getränken zu vergleichen. Zudem sollte die angewandte Härtemessmethode mit rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen verglichen werden.

Material und Methoden

Herstellung der Schmelzproben

In Formalin gelagerte, kariesfreie Prämolaren wurden gründlich mit Leitungswasser gespült und anschliessend in Kronen- und Wurzelanteil getrennt. Für die Untersuchung wurden nur die Bukkalflächen verwendet. Für die Oberflächenpolitur wurden die Schmelzproben folgendermassen vorbereitet. Ein Objektträger wurde mit einem doppelseitig klebenden Scotchband versehen. Auf den Klebstreifen wurde ein dünner Metallring (Dicke: 200 µm, Aussendurchmesser: 24 mm, Innendurchmesser: 13 mm) gelegt. Dieser Metallring ermöglichte es später, genau 200 µm des Oberflächenschmelzes wegzuschleifen. In die Mitte des Ringes wurde der bukkale Teil der Zahnkrone geklebt. Es wurde darauf geachtet, dass möglichst die grösste Zirkumferenz der Bukkalfläche dem Klebstreifen direkt anlag. Auf den Metallring wurde ein zweiter Metallring (Dicke: 7 mm, Aussendurchmesser: 20 mm, Innendurchmesser: 14 mm) gelegt. Dieser wurde mit dünnflüssigem Kunststoff (Paladur, Kulzer GmbH, Wehrheim, Deutschland) gefüllt und anschliessend ausgehärtet. Nach der Aushärtung wurde der 200 µm dicke Metallring und der Objektträger vom zweiten Metallring getrennt.

Die eingebetteten Schmelzproben wurden poliert, indem zuerst die Proben auf Vorder- und Rückseite mit dem Knuth-Rotor (Knuth-Rotor 2, Siliciumcarbidpapier 46 µm und 30 µm, Stru-

ers, Kopenhagen, Dänemark) bis auf Höhe des Metallringes geschliffen wurden. Dann erfolgte die Politur der Schmelzoberfläche mit der Körnung 18 µm bzw. 5 µm während je 1 Minute mit der gleichen Poliermaschine, wobei auf ständige Wasserkühlung geachtet wurde. Nach dieser Grobpolitur entfernte man den Metallring und polierte die Probekörper eine weitere Minute (Körnung 5 µm). Anschliessend wurden die Schmelzproben unter Kühlung mit der Körnung 3 µm bzw. 1 µm während ebenfalls je 1 Minute poliert (DP U2, DP-Mol Polishing Cloth, DP-Stick HQ, DP-Lubricant HQ Blue, Struers, Kopenhagen, Dänemark). Zwischen den einzelnen Politschritten wurden die Proben gründlich mit Leitungswasser abgespült. Dieses Vorgehen ermöglichte es, dass im Zentrum des Probekörpers genau 200 µm Schmelz entfernt wurden. Dann legte man die Proben in eine Detergenslösung (2 Tropfen Flüssigseife verdünnt in 1,5 dl Wasser) und brachte sie für 5 Minuten ins Ultraschallbad. Zum Schluss spülte man sie noch einmal mit Leitungswasser ab. Die Proben wurden in einer gesättigten Minerallösung gelagert (1,5 mmol/l CaCl₂, 1,0 mmol/l KH₂PO₄, 50 mmol/l NaCl, pH 7,0) (ZERO et al. 1990).

Härtemessung (KHN-Test)

Die oberflächliche Schmelzhärte (KHN) wurde folgendermassen bestimmt: Die Schmelzproben wurden mit Hilfe von doppelseitig klebendem Scotchband auf einen Objektträger geklebt und mit Hilfe eines Diamanten und einem Auflagegewicht von 50 g mit Indentationen versehen. Es wurde ein Auflagegewicht von 50 g verwendet, weil eine frühere Studie (FEATHERSTONE et al. 1983) zeigte, dass Indentationen mit diesem Auflagegewicht eine sensitive Methode zur Bestimmung der Schmelzdemineralisation darstellt. Direkt nach Setzen der Indentationen wurde deren Länge (µm) mit Hilfe eines im Gerät integrierten optischen Fadekreuzes ausgemessen (HERKSTROETER et al. 1989) (MHT-10 Microhardness Tester Anton Paar/Par Physica, Leica DMR Mikroskop, Ernst Leitz, Wetzlar, Deutschland). Vor jeder Messreihe wurde das Gerät nach Angabe des Herstellers geeicht.

Schmelzmikromorphologie im Rasterelektronenmikroskop (REM)

Für die Beurteilung der Mikromorphologie des Schmelzes vor und nach Immersion in der jeweiligen Lösung im REM wurden die Wurzeln abgetrennt und die oralen Seiten so angeschliffen, dass die Proben auf den REM-Träger passten. Vorher wurden sie 5 Min. in NaOCl 2% gereinigt, gewässert, mit Azeton abgespült, nochmals gewässert und gebürstet. Die Schlussreinigung erfolgte während 5 Min. in destilliertem Wasser im Ultraschallbad. Die Bukkalflächen wurden anschliessend mit Nagellack bestrichen, wobei ein Schmelzfenster von ca. 3×3 mm unbedeckt blieb. Nach Immersion in der jeweiligen Lösung wurde der Nagellack mit einem in Azeton getränkten Wattepellet überall vorsichtig entfernt. Dadurch konnten erodierte und nicht erodierte Schmelzareale dargestellt werden.

Anschliessend wurden die Proben für das Rasterelektronenmikroskop (Cambridge, Stereoscan 200) vorbereitet, indem sie über die Alkoholreihe getrocknet und mit einer 20–30 nm dicken Gold-Paladium-Schicht bedampft wurden.

Die Beurteilung erfolgte nach folgendem Index: (Vergrösserung von ca. 20× und 200×).

0 = Erosion nicht sichtbar, kein Unterschied zu nicht erodierten Stellen.

1 = Erosion sichtbar, keine Stufe zwischen erodierten und nicht erodierten Anteilen sichtbar.

2 = Erosion deutlich sichtbar, Stufe zwischen erodierten und nicht erodierten Anteilen sichtbar.

Phosphat-, Kalzium- und Fluorid-Bestimmung

Die zu untersuchenden Lösungen wurden auf ihren Phosphorgehalt mit der Ammonium-Molybdat-Methode nach CHEN et al. (1956) getestet. Anschliessend wurden die Phosphatkonzentrationen (mmol/kg) berechnet. Die Analyse der Kalziumkonzentrationen (mmol/kg) erfolgte nach Standardmethode mittels Atomabsorptionsspektrometrie. Die Fluoridkonzentrationen (ppm) der Lösungen wurden, sofern keine Angaben vom Hersteller gemacht wurden, mit einer ionenselektiven Elektrode ermittelt (Nr. 960900, Orion Research, Boston, MA, USA). Die Phosphat-, Kalzium- und Fluorid-Konzentrationen wurden für jede Lösung zweimal bestimmt und der Mittelwert berechnet.

Bestimmung von pH und Pufferkapazität

Zur weiteren Charakterisierung der Zahnpflegeprodukte, Getränke und Nahrungsmittel wurde ihr Ausgangs-pH sowie die nötige Basenmenge, um das pH auf 5,5 und 7,0 anzuheben (= «Pufferkapazität»), gemessen. Es wurden jeweils 50-ml-Testlösung mit 1 N NaOH titriert.

Versuchsablauf

Alle Schmelzproben wurden vor den Experimenten mit 6 Indentationen versehen und gemäss ihrer Schmelzhärte in 10 Gruppen à 11 Zähne eingeteilt. Für die Experimente wurde pro zu untersuchende Lösung aus jeder Gruppe ein Probekörper zufällig entnommen. Dadurch wurde gewährleistet, dass für jede Testlösung Proben mit der gleichen durchschnittlichen Ausgangshärte verwendet wurden (10 Probekörper pro Lösung). Nachdem die ausgewählten Zähne mit 6 neuen Ausgangsindentationen versehen wurden, erfolgte die Immersion in 10 ml Prüflösung während 10 bzw. 20 Min. bei Raumtemperatur. Anschliessend wurde die Härte der Schmelzproben nach Immersion bestimmt und die Härteunterschiede berechnet. Folgende Lösungen wurden getestet:

- Orangensaft (Del Monte, Migros, Schweiz) (= positive Kontrolle)
 - Apfelmus (Sun Queen, Migros, Schweiz)/H₂O-Slurry (1/3)
 - Blutorangenjoghurt (Migros, Schweiz)/H₂O-Slurry (1/3)
 - Zitronenjoghurt (Migros, Schweiz)/H₂O-Slurry (1/3)
 - Meridol Zahnpaste (GABA AG, Therwil, Schweiz)/H₂O-Slurry (1/3)
 - Elmex Gelée (GABA AG, Therwil, Schweiz)/H₂O-Slurry (1/3)
 - Weleda-Zahnpaste (Pflanzencreme grün, Weleda AG, Arlesheim, Schweiz)/H₂O-Slurry (1/3)
 - Candida-Zahnpaste (Prophylaxe Plus, Migros, Schweiz)/H₂O-Slurry (1/3)
 - Meridol-Spüllösung (mit Alkohol, frisch) (GABA AG, Therwil, Schweiz)
 - Meridol-Spüllösung (mit Alkohol, gelagert während mindestens 1 Jahr) (GABA AG, Therwil, Schweiz)
 - Candida-Spüllösung (Dental Fluid, Activ-3, Migros, Schweiz)
- (1/3 = 1 Gewichtsteil Probe und 2 Gewichtsteile dest. Wasser)

Zur Beurteilung der Mikromorphologie von nativem Schmelz vor und nach Immersion in den Testlösungen wurden für jede zu untersuchende Lösung zwei Schmelzproben unter gleichen Bedingungen 20 Min. erodiert und die Schmelzoberfläche im Rasterelektronenmikroskop beurteilt.

Statistik

Mittels box plot wurden alle Daten auf ihre Verteilung untersucht (Systat 5.2, Systat Inc., Evanston, Illinois, USA). Um die Werte vor Immersion, nach 10 Min. und nach 20 Min. zu vergleichen, wurde die Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis verwendet. Mittels multipler linearer Regressionsanalyse (GLM, Systat 5.2, Systat Inc., Evanston, Illinois, USA) wurde der Einfluss des Ausgangs-pH, der titrierten Basenmengen bis pH 5,5 und 7,0, der Phosphat-, Kalzium- und Fluoridkonzentrationen der getesteten Lösungen und Nahrungsmittel sowie der Ausgangshärte der Schmelzproben auf die Endhärte nach 10 bzw. 20 Min. Immersion geprüft. Das Signifikanzniveau lag bei $p < 0,05$.

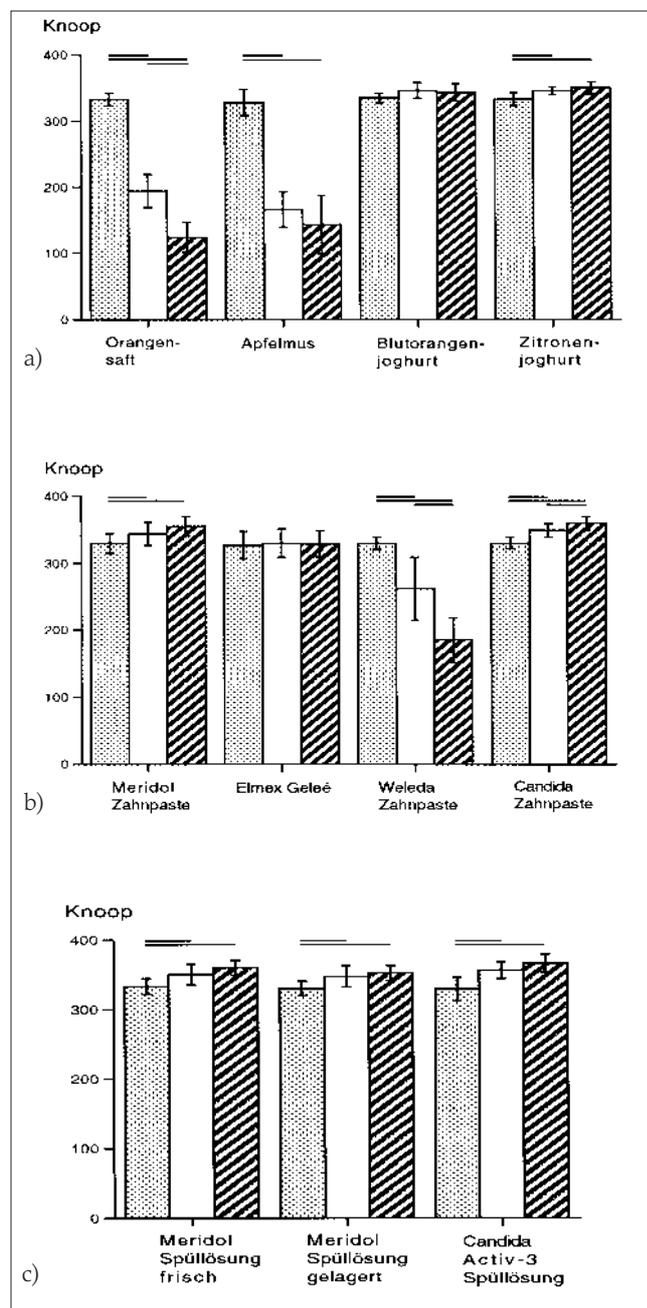
Resultate

Die oberflächliche Schmelzhärte vor der Erosion ($t = 0$) bewegte sich zwischen $326,78 \pm 20,20$ KHN (Elmex Gelée) und $334,11 \pm 7,94$ KHN (Blutorangenjoghurt). Die Schmelzhärten der verschiedenen Gruppen waren statistisch nicht voneinander verschieden ($p > 0,05$). Nach Immersion in der jeweiligen Lösung für 10 Min. fand man Werte zwischen $165,64 \pm 26,62$ KHN (Apfelmus) und $355,54 \pm 12,34$ KHN (Candida Spüllösung), nach Immersion für 20 Min. Werte zwischen $124,16 \pm 22,40$ KHN (Orangensaft) und $365,88 \pm 12,99$ KHN (Candida Spüllösung). Die grösste Härteabnahme nach 10 Min. Immersion wurde durch Apfelmus verursacht ($162,95 \pm 35,35$ KHN), während nach 20 Min. Immersion Orangensaft die grösste Erosion verursachte ($208,90 \pm 21,43$). Weleda-Zahnpaste war mit Härteabnahmen von $67,54 \pm 45,34$ KHN (10 Min. Immersion) und $145,31 \pm 33,35$ KHN (20 Min. Immersion) ebenfalls erosiv, während die übrigen Zahnpflegeprodukte und die Joghurts kein erosives Potenzial aufwiesen. Dieser Sachverhalt wurde anhand von rasterelektronen-mikroskopischen Untersuchungen der nativen Schmelzoberfläche bestätigt (Tab. I). Die mittleren oberflächlichen Schmelzhärtewerte (\pm SD) vor Immersion, nach 10 Min. und nach 20 Min. Immersion in der jeweiligen Testlösung, sowie signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) sind aus den Abbildungen 1a–c ersichtlich. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen typische Bilder, der im REM untersuchten Zähne nach 20 Min. Immersion in der jeweiligen Lösung.

Das Ausgangs-pH der untersuchten Zahnpflegeprodukte, Getränke und Nahrungsmittel, die titrierbare Basenmenge bis pH 5,5 und 7,0 («Pufferkapazität»), sowie die Phosphat-, Kalzium- und Fluoridkonzentrationen sind in Tabelle II aufgelistet. Das Ausgangs-pH lag zwischen 3,35 (Apfelmus Sun Queen, Migros) und 7,25 (Candida-Zahnpaste Prophylaxe Plus, Migros). Bei Orangensaft Del Monte (Migros) musste mit 4,12 ml am meisten Base titriert werden, um das pH auf 5,5 zu erhöhen. Die geringste Basenmenge um auf pH 5,5 und 7,0 zu kommen, brauchte man bei der Titration von Candida-Spüllösung Dental Fluid, Activ-3 (Migros) mit Werten von 0,08 ml und 0,40 ml 1 N NaOH. Auf Grund des hohen Ausgangs-pH von 7,25 konnte die Zahnpaste Candida Prophylaxe Plus (Migros) nicht titriert werden. Die grösste Phosphatkonzentration fand man bei Orangenjoghurt (Migros) mit 43,00 mmol/kg, während die kleinste Konzentration mit 0,10 mmol/l bei Candida-Spüllösung Dental Fluid, Activ-3 (Migros) gemessen wurde. Die grösste Kalziumkonzentration zeigte mit 32,00 mmol/kg Zitronenjoghurt (Migros), während diese bei diversen Produkten unter 0,10 mmol/kg (bzw. mmol/l) lag (Meridol Zahnpaste, Meridol Spüllösung, Elmex Gelée, alle Gaba, und Candida-Spüllösung Dental Fluid, Activ-3, Migros). Der Fluoridgehalt lag zwischen

Tab. I Rasterelektronenmikroskopische Beurteilung der Mikromorphologie von nativem Schmelz nach 20 Min. Immersion in verschiedenen Testlösungen.

Getränk/Nahrungsmittel/ Zahnpflegeprodukt	Hersteller	Index 1. Probekörper	Index 2. Probekörper
Orangensaft Del Monte	Migros, Schweiz	0-1	0-1
Apfelmus Sun Queen	Migros, Schweiz	2	1-2
Blutorangenjoghurt	Migros, Schweiz	0	0
Zitronenjoghurt	Migros, Schweiz	0-1	0
Meridol Zahnpaste	GABA, Schweiz	0	0
Elmex-Gelée	GABA, Schweiz	0	0
Weleda-Pflanzencreme grün Zahnpaste	Weleda, Schweiz	1	1-2
Candida-Prophylaxe-Plus-Zahnpaste	Migros, Schweiz	0	0
Meridol-Spüllösung (mit Alkohol) frisch	GABA, Schweiz	0-1	0
Meridol-Spüllösung (mit Alkohol) gelagert	GABA, Schweiz	0	0
Candida-Activ-3-Spüllösung	Migros, Schweiz	0	0



12500 ppm (Elmex Gelée, Gaba) und 0,03 ppm (Orangensaft Del Monte, Apfelmus Sun Queen, beide Migros).

Tabelle III zeigt den Einfluss verschiedener unabhängiger Variablen auf die Erweichung der Schmelzproben nach 10 und 20 Min. Immersion. 82% der Erweichung nach 10 Min. kann dem Einfluss folgender Variablen zugeschrieben werden ($p < 0,001$): titrierbare Basenmenge bis pH 5,5, Phosphatkonzentration sowie Kalzium- und Fluoridkonzentration der untersuchten Lösungen und Nahrungsmittel. Dieselben Parameter erklären 74% der Variation der Erweichung nach 20 Min. Immersion.

Diskussion

Charakteristisch für initiale erosive Prozesse auf Schmelz- und Dentinoberflächen ist der minimale Verlust der oberflächlichen Zahnhartsubstanz, welcher mit der Dauer und Anzahl der Säureangriffe zunimmt (MEURMAN & FRANK 1991). Die Demineralisationsrate hängt unter anderem ab von Wirtfaktoren wie Fluoridgehalt der Hartschicht, Pellikel- bzw. Plaquebildung und Kalziumfluoridpräzipitation (Fluoridreservoir) auf der Zahnoberfläche (MEURMAN & FRANK 1991, HANNIG 1994). Andere Faktoren wie Sekretionsrate, Zusammensetzung und Pufferkapazität des Speichels haben ebenfalls einen protektiven Einfluss (WÖLTGENS et al. 1985, JÄRVINEN et al. 1988, MEURMAN & TEN CATE 1996). Grösstenteils können diese Wirtfaktoren in einem *In-vitro*-Versuch nicht simuliert werden. Hingegen kann das erosive Potential einer Lösung bestimmt werden: Sofern *in vitro* keine Erweichung der Zahnhartsubstanz nachgewiesen werden kann, ist auch *in vivo* kein erosives Potenzial vorhanden. Die Abklärung des erosiven Potenzials an menschlichen Zähnen ist bei Substanzen sinnvoll, die wie Joghurt, Elmex-rot-Zahnpaste, Elmex-Gelée oder Weleda-Zahnpaste einen pH-Wert unter dem als kritisch angenommenen pH-Wert von 5,5 aufweisen. Die Bestimmung des pH-Wertes allein ist jedoch ein schlechter Indikator für die Erosivität eines Agens. Vielmehr spielen die Pufferkapazität, der Fluorid-, Kalzium- und Phosphatgehalt (Sättigungsgrad der Lösung bezüglich der Zahnhartsubstanz) sowie die Konsistenz (Dauer des Kontakts mit der Zahnober-

Abb. 1a-c Mittlere oberflächliche Schmelzhärte nach Knoop (\pm SD) vor (gepunktete Säulen), nach 10 Min. (weisse Säulen) und nach 20 Min. (gestreifte Säulen) Immersion in den jeweiligen Testlösungen. Signifikante Unterschiede sind mit einem Strich markiert ($p < 0,05$).

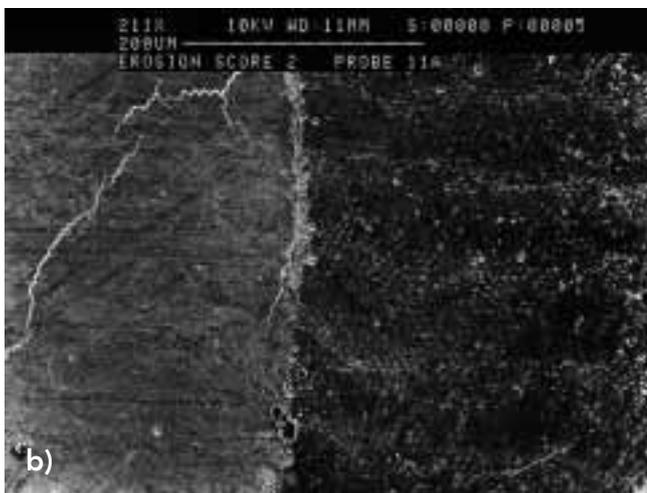
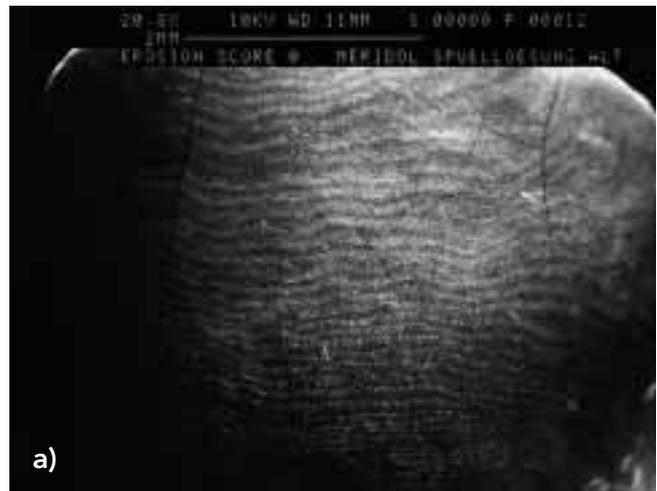
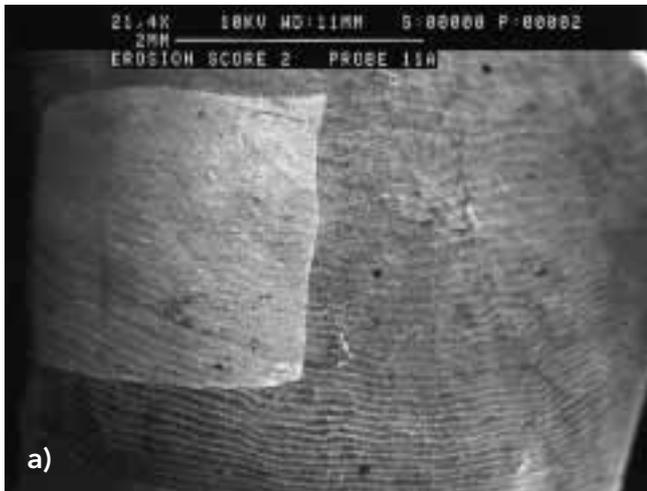


Abb. 2a, b Rasterelektronen-mikroskopische Aufnahme der Schmelzoberfläche. Links: erodierte Fläche nach 20 Min. Immersion in Orangensaft; rechts: nicht erodierte (während der Immersion mit Nagellack abgedeckte) Fläche
Vergrößerung: a = 21,4×; b = 211×.

Abb. 3a, b Rasterelektronen-mikroskopische Aufnahme der Schmelzoberfläche nach 20 Min. Immersion in Meridol-spüllösung (gelagert). Es ist keine Erosion sichtbar.
Vergrößerung: a = 20,8×; b = 205×.

Tab. II Ausgangs-pH, benötigte Basenmenge, um das pH auf 5,5 bzw. 7,0 anzuheben, Phosphat-, Kalzium- und Fluoridkonzentrationen der verschiedenen Zahnpflegeprodukte, Nahrungsmittel und Getränke.

Getränk/Nahrungsmittel/ Zahnpflegeprodukt	Hersteller	Ausgangs- pH	ml NaOH (1N) bis		PO ₄ mmol/kg	Ca mmol/kg	Fluorid ppm
			pH 5,5	pH 7,0			
Orangensaft Del Monte ¹	Migros, Schweiz	3.68	4.12	5.47	5.54 ²	2.20 ²	0.03
Apfelmus Sun Queen	Migros, Schweiz	3.35	3.90	4.44	3.12	1.46	0.03
Blutorangenhjoghurt	Migros, Schweiz	4.18	2.76	4.55	43.00	31.60	0.05
Zitronenhjoghurt	Migros, Schweiz	4.14	3.80	5.52	39.90	32.00	0.04
Meridol Zahnpaste	GABA, Schweiz	4.80	0.95	2.75	–	< 0.10	1400 ³
Elmex-Gelée	GABA, Schweiz	4.75	2.00	4.85	2.90	< 0.10	12500 ³
Weleda-Pflanzencreme grün Zahnpaste	Weleda, Schweiz	3.72	0.88	1.24	0.23	0.24	0.10
Candida-Prophylaxe-Plus-Zahnpaste	Migros, Schweiz	7.25	–	–	37.80	22.00	1100 ³
Meridol-Spüllösung (mit Alkohol) frisch ¹	GABA, Schweiz	4.07	0.38	0.56	0.53 ²	< 0.10 ²	250 ³
Meridol-Spüllösung (mit Alkohol) gelagert ¹	GABA, Schweiz	3.57	0.38	0.63	0.23 ²	< 0.10 ²	250 ³
Candida-Activ-3-Spüllösung ¹	Migros, Schweiz	4.82	0.08	0.40	0.10 ²	< 0.10 ²	220 ³

¹ = unverdünnt
² = mmol/l
³ = Herstellerangaben

Tab. III Multiple Regressionsanalyse: die verschiedenen unabhängigen Variablen mit signifikantem Einfluss auf die Erweichung nach 10 bzw. 20 Minuten Immersion

Abhängige Variable	Basenmenge bis pH 5,5	Phosphat-Konzentration	Kalzium × Fluorid-Konzentration
Erweichung nach 10 Min. $r^2 = 0,82$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Erweichung nach 20 Min. $r^2 = 0,74$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

fläche) eine wichtige Rolle für das erosive Potenzial einer Substanz (LUSSI et al. 1993, LUSSI et al. 1997). Tatsächlich genügt die Bestimmung nur einer dieser Grössen nicht, um das erosive Potenzial abzuschätzen (LUSSI et al. 1995).

Das erosive Potenzial von Zahnpflegeprodukten wurde schon in früheren Studien untersucht: Eine Antizahnstein-Spüllösung, welche EDTA enthielt, zeigte nach 2 Stunden *In-vitro*-Exposition einen erosiven Effekt auf Schmelz. Dies wurde auf die Kalzium-Chelat-Bildung des EDTA zurückgeführt (RYTÖMAA et al. 1989). In einer weiteren Studie wurden 11 kommerziell erhältliche Spüllösungen auf ihren Säuregehalt untersucht. Dabei bewegten sich die pH-Werte der Lösungen zwischen 3,4 und 8,3. Auch die titrierbaren Säuremengen variierten unter den Produkten stark. Ob die Spüllösungen Erosionen verursachen können, wurde nicht untersucht (BHATTI et al. 1994). ATTIN et al. (1999) untersuchten den Einfluss von pH und Fluoridgehalt von Gelées auf die Abrasionsresistenz von erodiertem Schmelz und fanden eine Verbesserung der Resistenz bei der Verwendung des sauren fluoridhaltigen Elmex-Gelées. Speichelersatzprodukte und speichelstimulierende Produkte sind häufig sauer wegen ihres Gehalts an Zitronensäure oder Maleinsäure. Da diese Produkte von Patienten benutzt werden, die wegen ihrem reduzierten Speichelfluss anfällig auf Erosionen sind, besteht bei übermässiger Anwendung die Gefahr von Säureschäden. ZERO (1996) folgerte daraus, dass Medikamente und Zahnpflegeprodukte mit tiefem pH bei häufiger Anwendung das Potenzial haben, Erosionen zu verursachen.

Wie bereits beschrieben, weisen Zahnpflegeprodukte wie Zahnpasten und Fluoridspüllösungen häufig ein tiefes pH auf. Einerseits wird dadurch die Stabilität der Fluoridverbindungen gewährleistet, andererseits konnte gezeigt werden, dass im lokal sauren Milieu die Bildung von Fluoridapatit gegenüber Hydroxylapatit (z.B. bei Initialläsionen) sowie die Präzipitation von Kalziumfluoridartigem Material auf die Zahnoberfläche begünstigt wird (FISCHER et al. 1995, TEN CATE 1997). Die Bildung eines Kalziumfluoridpräzipitates auf der Zahnoberfläche wird zum Schutz gegen Säureangriffe (Karies, Erosionen) angestrebt, wobei das Kalziumfluoridpräzipitat in seiner Löslichkeit verändert wird, wenn Phosphat vorhanden ist, das sich zusammen mit Proteinen in diese Deckschicht einlagert. Bei einem pH-Abfall binden die Hydrogenphosphat-Ionen (HPO_4^{2-}) Protonen, und es kommt durch Zerfall der Deckschicht zu einer Fluoridfreisetzung. Die CaF_2 -Deckschicht fungiert demzufolge als pH-gesteuertes F-Reservoir.

In dieser Studie zeigten alle fluoridhaltigen Zahnpasten und Spüllösungen trotz saurem pH kein messbares erosives Potenzial. Im Gegenteil, nach 10 bzw. 20 Minuten Immersion fand man grösstenteils signifikante Härtezunahmen auf den Schmelzoberflächen. Die Tatsache, dass die sauren fluoridhaltigen Produkte keine messbare Oberflächenveränderung zeigten, kann wie folgt erklärt werden. Beim Kontakt dieser Produkte mit der Schmelzoberfläche werden zuerst Ionen des Hydroxylapatites freigesetzt, was zu einer lokalen pH-Erhöhung an der oberflächlichen Grenzschicht führt, die dann ei-

ne Repräzipitation von fluoridiertem Mineral ermöglicht. Die Lagerung der Meridol-Spüllösung führte zu keiner signifikanten Verringerung der Härtezunahmen. Der pH-Abfall von 4,07 auf 3,57 ist auf die Oxidation von Sn^{2+} zu Sn^{4+} zurückzuführen. Einzig die nicht fluoridhaltige und Zitronensäure enthaltende Zahnpaste Weleda grün führte nach Immersion zu einem signifikanten Verlust der oberflächlichen Schmelzhärte, was auf ein erosives Potenzial hindeutet. Die positiven Kontrollgruppen Orangensaft und Apfelmus zeigten ebenfalls ein deutliches erosives Potenzial. Hingegen führte die Immersion in Joghurts trotz des tiefen pH-Wertes von unter 4,2 zu keinen Erosionen, was in anderen Untersuchungen schon nachgewiesen wurde (LUSSI et al. 1993, LUSSI et al. 2000). Dieser Sachverhalt ist auf die hohe Konzentration von Kalzium ($> 31,6$ mmol/kg) und Phosphat ($> 39,9$ mmol/kg) zurückzuführen, was eine Übersättigung von Joghurt bezüglich des Schmelzes bewirkt. Orangensaft, der mit Kalzium und Phosphat in einer ähnlichen Grössenordnung angereichert wurde, zeigte ebenfalls kein erosives Potenzial (LARSEN & NYVAD 1999). Der Einfluss der im Demineralisationsprozess wichtigen Faktoren spiegelt sich auch in der multiplen linearen Regressionsanalyse wider: Die unabhängigen Variablen Phosphatkonzentration, Kalzium- und Fluoridkonzentration sowie die titrierbare Basenmenge bis pH 5,5 zeigten einen hochsignifikanten Einfluss auf die Endhärte der Schmelzproben. Mindestens 74% der Schmelzerweichung konnte mit diesen Variablen erklärt werden, was für ein biologisches System beträchtlich ist.

Die Versuchsanordnung wurde so gewählt, dass das erosive Potenzial der getesteten Substanzen nicht unterschätzt wird. So zeigten eigene, unpublizierte Versuche mit der Weleda-Zahnpaste, bei der die Zähne in ein Speichel-Zahnpasta-Gemisch (1:1) gegeben wurden, keine Erweichung der Zahnhartsubstanz. Die Ergebnisse der Härtemessmethode korrelierten mit den Resultaten der rasterelektronen-mikroskopischen Untersuchung der Mikromorphologie von nativem Schmelz vor und nach 20 Minuten Immersion in den jeweiligen Lösungen. Diese Versuchsanordnung kann hingegen nicht ausschliessen, dass tiefere und damit erosionsanfälliger Schmelzschichten eine Veränderung in der Mikromorphologie erfahren könnten.

Es kann aus dieser Studie geschlossen werden, dass die getesteten fluoridhaltigen Zahnpflegeprodukte, obwohl häufig sauer, kein erosives Potenzial aufweisen. Es sollten wenn möglich immer fluoridhaltige Zahnpflegeprodukte gewählt werden, insbesondere bei Patienten, die unter manifesten erosiven Läsionen leiden.

Summary

LUSSI A, JAEGGI T: **The erosive potential of various oral care products compared to foodstuffs and beverages** (in German). Schweiz Monatschr Zahnmed 111: 274–281 (2001)

The purpose of the present study was to investigate the erosive potential of various oral care products and to compare the results with those of various foodstuffs and beverages. Furthermore, the chosen method of surface hardness measurements

was compared with scanning electron microscopy. Seven oral care products (toothpastes and mouth rinses), three foodstuffs and one beverage (as positive control) were tested for their erosive potential. After initial hardness testing 110 enamel specimens were distributed into 11 groups of 10 specimens each in such a way as to have a homogenous hardness distribution per group. The erosive potential of the products was tested by immersing the enamel specimens into solutions of the various products for 10 and 20 minutes. After the experimental period Knoop hardness was measured on the enamel specimens and the differences between before and after were calculated. The micromorphology of native enamel surfaces before and after immersion was determined by SEM on further enamel specimens treated identically for 20 minutes. Apple puree and orange juice produced the most marked losses of hardness after 10 and 20 minutes, respectively. Among the dental hygiene products only the fluoride-free Weleda toothpaste produced a significant reduction of hardness after 10 as well as after 20 minutes. With the exception of Elmex-Gel, all tested dental hygiene products led to a significant ($p < 0.05$) increase of enamel hardness. The results of the hardness measurements corresponded with the micromorphological findings. It may, therefore, be concluded that the tested fluoride-containing oral care products do not exhibit any erosive potential which could be measured with the methodology used in this investigation.

Résumé

Le but de cette étude était d'évaluer le potentiel érosif d'une variété de produits destinés à l'hygiène buccale et de comparer les résultats avec l'érosion produite par certains aliments et boissons. En plus, l'analyse de dureté des surfaces a été comparée aux images obtenues au microscope électronique à balayage (MEB). Sept produits d'hygiène buccale (dentifrices et bains de bouche), trois types d'aliments solides, ainsi qu'une boisson (comme contrôle positif) ont été testés par rapport à leur potentiel érosif. Après avoir enregistré leur dureté initiale, 110 spécimens d'émail ont été divisés en onze groupes de dix spécimens avec, pour chaque groupe, une distribution homogène du degré de dureté. Le potentiel érosif des différents produits a été testé en plongeant les échantillons d'émail dans des solutions de ces produits pendant 10 et 20 minutes. Après ce laps de temps, la dureté Knoop des spécimens d'émail a été de nouveau mesurée. La micromorphologie des surfaces avant et après immersion a été déterminée au MEB sur deux spécimens supplémentaires traités de manière identique pendant 20 minutes. La purée de pommes et le jus d'oranges ont provoqué la perte de dureté la plus marquée après 10 et après 20 minutes. Parmi les produits d'hygiène buccale, seulement le dentifrice Weleda sans fluorures a causé une réduction significative de dureté après 10 ainsi qu'après 20 minutes. A l'exception du gel Elmex, l'ensemble des produits d'hygiène buccale a engendré une augmentation significative ($p < 0,05$) de la dureté de l'émail. Les résultats de ces mesures de dureté correspondaient aux données micromorphologiques. Par conséquent, on peut conclure que parmi les produits d'hygiène testés, ceux contenant des fluorures n'exhibaient pas de potentiel érosif décelable par la méthodologie utilisée dans cette étude.

Literaturverzeichnis

AEBI H, BLUMENTHAL A, BOHREN-HOEMI M, BRUBACHER G, FREY U, MUELLER H R, RITZEL G, STRANSKY M: Lebensmittelverbrauch

in der Schweiz. In: 2. Schweiz. Ernährungsbericht. Hans Huber Verlag, Bern pp. 20–29 (1984)

- ATTIN T, DEIFUSS H, HELLWIG E: Influence of acidified fluoride gel on abrasion resistance of eroded enamel. *Caries Res* 33: 135–139 (1999)
- BHATTI S A, WALSH T F, DOUGLAS C W: Ethanol and pH levels of proprietary mouthrinses. *Comm Dent Health* 11: 71–74 (1994)
- CHEN P S, TORIBARA T Y, WARNER H: Microdetermination of phosphorus. *Anal Chem* 28: 1756–1758 (1956)
- FEATHERSTONE J D B, TEN CATE J M, SHARIATI M, ARENDS J: Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. *Caries Res* 17: 385–391 (1983)
- FISCHER C, LUSSI A, HOTZ P: Kariostatische Wirkungsmechanismen der Fluoride. Eine Übersicht. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105: 311–317 (1995)
- FULLER J L, JOHNSON W W: Citric acid consumption and the human dentition. *JADA* 95: 80–84 (1977)
- HANNIG M: Bildung, Funktion und Bedeutung des Pellikel. I. Biochemische, bakteriologische und strukturelle Aspekte. *Oralprophylaxe* 16: 39–46 (1994)
- HERKSTROETER F M, WITJES M, RUBEN J, ARENDS J: Time dependency of microhardness indentations in human and bovine dentine compared with human enamel. *Caries Res* 23: 342–344 (1989)
- HOLLOWAY P J, MELLANBY M, STEWART R J C: Fruit drinks and tooth erosion. *Br Dent J* 104: 305–309 (1958)
- JÄRVINEN V, MEURMAN J H, HYVÄRINEN H, RYTÖMÄÄ I, MURTOMÄÄ H: Dental erosion and upper gastrointestinal disorders. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 65: 298–303 (1988)
- JÄRVINEN V K, RYTÖMÄÄ I, HEINONEN O P: Risk factors in dental erosion. *J Dent Res* 70: 942–947 (1991)
- LARSEN M J, NYVAD B: Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 33: 81–87 (1999)
- LEVINE R S: Fruit juice erosion – an increasing danger? *J Dent Res* 2: 85–88 (1973)
- LINKOSALO E, MARKKANEN H: Dental erosions in relation to lacto-vegetarian diet. *Scand J Dent Res* 93: 436–441 (1985)
- LUSSI A, SCHAFFNER M, HOTZ P R, SUTER P: Erosion der Zahnhartsubstanz. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102: 321–327 (1992)
- LUSSI A, JAEggi T, SCHAERER S: The influence of different factors on in vitro enamel erosion. *Caries Res* 27: 387–393 (1993)
- LUSSI A, JAEggi T, JAEggi-SCHÄRER S: Prediction of the erosive potential of some beverages. *Caries Res* 29: 349–354 (1995)
- LUSSI A, PORTMANN P, BURHOP B: Erosion on abraded dental hard tissues by acid lozenges: an in situ study. *Clin Oral Invest* 1: 191–194 (1997)
- LUSSI A, KOHLER N, ZERO D, SCHAFFNER M, MEGERT B: A comparison of the erosive potential of different beverages in primary and permanent teeth using an in vitro model. *Eur J Oral Sci* 108: 110–114 (2000)
- MEURMAN J H, FRANK R M: Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. *Caries Res* 25: 81–87 (1991)
- MEURMAN J H, TEN CATE J M: Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. *Eur J Oral Sci* 104: 199–206 (1996)
- RYTÖMÄÄ I, MEURMAN J H, FRANSILLA S, TORKKO H: Oral hygiene products may cause dental erosion. *Proc Finn Dent Soc* 85: 161–166 (1989)

- SOGNNAES R F, WOLCOTT R B, XHONGA F A: Dental erosion – 1. Erosion-like patterns occurring in association with other dental conditions. *JADA* 84: 571–576 (1972)
- TEN CATE J M: Review on fluoride, with special emphasis on calcium fluoride mechanism in caries prevention. *Eur J Oral Sci* 105: 461–465 (1997)
- TEN BRUGGEN C H J: Dental erosion in industry. *Br J Industr Med* 25: 249–266 (1968)
- WÖLTGENS J H M, VINGERLING P, DE BLIECK-HOGERVORST J M A, BERVOETS D-J: Enamel erosion and saliva. *Clin Prev Dent* 7: 8–10 (1985)
- ZERO D T, RAHBEK I, FU J, PROSKIN H M, FEATHERSTONE J D B: Comparison of the iodide permeability test, the surface microhardness test, and mineral dissolution of bovine enamel following acid challenge. *Caries Res* 24: 181–188 (1990)
- ZERO D T: Etiology of dental erosion – extrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 104: 162–177 (1996)
- ZIPKIN J, MCCLURE F J: Salivary citrate and dental erosion. *J Dent Res* 28: 613–626 (1949)