

ADRIAN LUSSI
SAMIRA H. JOÃO-SOUZA
BRIGITTE MEGERT
THIAGO S. CARVALHO
TOMMY BAUMANN

Klinik für Zahnerhaltung,
 Präventiv- und Kinder-
 zahnmedizin, Universität Bern

KORRESPONDENZ

Prof. em. Dr. med. dent.
 Adrian Lussi
 Universität Bern
 Klinik für Zahnerhaltung,
 Präventiv- und Kinder-
 zahnmedizin
 Freiburgstrasse 7
 CH-3010 Bern
 Tel. +41 79 272 80 71
 E-Mail:
 adrian.lussi@zmk.unibe.ch

Diese Arbeit erscheint auch
 in den Zahnärztlichen Mit-
 teilungen (zm) der Bundes-
 zahnärztekammer, Berlin



Das erosive Potenzial verschiedener Getränke, Speisen und Medikamente

Ein Vademecum

SCHLÜSSELWÖRTER

Erosion, Abrasion, «erosive tooth wear»,
 Zahnreinigung, Speichel

Bild oben: Kalksteinerosionen

(Sieben Hengste, Berner Oberland)
 Foto: Markus Schaffner, Interlaken

ZUSAMMENFASSUNG

Zahnerosionen weisen eine steigende Prävalenz auf. Aufgrund der Zerstörung kann die Lebensqualität betroffener Personen beeinflusst und Restaurationen erforderlich werden. Prophylaxe ist daher wichtig. In Beratungsgesprächen mit dem Fachpersonal kommt immer wieder die Frage nach der Erosivität verschiedener Getränke und Speisen auf, spielen sie doch eine wichtige, vom Patienten kontrollierbare Rolle bei der Entstehung der Erosionen. Es bestehen aber nur wenige zugängliche Daten. Die vorliegende Arbeit gibt eine Übersicht über die Erosivität von total 116 Getränken, Speisen und Medikamenten. Von Schmelzprobenkörpern (1020 Prämolaren und 300 Milchzähne) wurde die Härte gemessen und darauf eine Pellikel mit menschlichem Speichel

gebildet. Anschliessend wurde die Härte nach 2 Minuten Exposition in der zu untersuchenden Substanz erneut gemessen. Es bestehen beträchtliche Unterschiede im erosiven Potenzial der getesteten Substanzen. So gibt es saure Produkte, die keine Erosionen verursachen, und solche mit höherem pH-Wert, die ein grösseres erosives Potenzial aufweisen. Die Erosivität der aufgeführten Substanzen stellt nur einen Faktor in einem multifaktoriellen Geschehen dar. Aus diesem Grund werden die anderen ätiologischen Faktoren in dieser Übersicht auch kurz besprochen. Die hier präsentierten Tabellen sind lediglich ein Hilfsmittel auf dem manchmal schwierigen Weg zu einer korrekten Diagnose.

Einleitung

Dentale Erosionen stellen insbesondere in den Industrieländern aufgrund geänderter Lebensumstände ein zunehmendes Problem dar (LUSSI & CARVALHO 2014; SCHLUETER & LUKA 2018). Zahnerosion bedeutet per definitionem chemisch verursachter Zahnhartsubstanzverlust ohne Beteiligung von Mikroorganismen (PINDBORG 1970). Heute wird zwischen Zahnerosion und erosivem Zahnhartsubstanzverlust unterschieden. Unter Zahnerosion wird eine durch Säure verursachte Demineralisation der Zahnhartsubstanz verstanden. Wird diese Oberfläche nun durch mechanische Interaktion abradert, spricht man von erosivem Zahnhartsubstanzverlust, «erosive tooth wear» (SHELLIS ET AL. 2011). Es kann aber bei übermässigem Kontakt mit Säure auch ohne mechanische Belastung ein Zahnhartsubstanzverlust auftreten, der definitionsgemäss der Zahnerosion angehört. Dies kann zum Beispiel im Rahmen einer beruflichen Exposition oder bei gehäuften Erbrechen der Fall sein (SCHLUETER & TVEIT 2014).

Die Trink- und Ernährungsgewohnheiten haben sich in den letzten Jahrzehnten geändert, der Konsum von sauren Lebensmitteln und Getränken gehört vielerorts zum Alltag. Aufgrund dieser veränderten Trink- und Essgewohnheiten stellen Erosionen und erosiver Zahnhartsubstanzverlust ein immer grösseres Problem dar und deren Prophylaxe gewinnt an Bedeutung. In diesem Zusammenhang ist erwähnenswert, dass eine substanzielle Wiedererhärtung demineralisierten Schmelzes durch im Speichel gelöste Mineralsalze Tage bis Monate braucht, um abrasiven Prozessen wie Zahnreinigung oder Kontakt von Zunge und Wange zu den Zähnen zu widerstehen. Bezüglich der mechanischen Zahnreinigung sollte daher von der Empfehlung Abstand genommen werden, nach dem Essen mindestens 30 Minuten mit dem Zähneputzen zu warten (BARTLETT ET AL. 2013; LUSSI ET AL. 2014; O'TOOLE ET AL. 2017; STEIGER-ROUNAY ET AL. 2018). «Wartezeiten vor dem Zähneputzen sind nicht von Nutzen», heisst es treffend auch in den Zahnpflege- und Verhaltensempfehlungen für Patienten und Patientinnen mit Essstörungen der Universitäten Zürich und Bern sowie des Kompetenzzentrums Adipositas, Essverhalten und Psyche (www.zzm.uzh.ch/de/patienten/downloads).

Nach Erbrechen oder Reflux kann man den Mund sofort mit Wasser spülen, um die Magensäure zu verdünnen und deren erosiven Effekt zu mindern (LUSSI ET AL. 2012B). Die Ursache des Erbrechens sollte mithilfe von Fachkollegen schnellstmöglich diagnostiziert und behandelt werden. Neben veränderten Ernährungsgewohnheiten, Reflux oder häufigem Erbrechen gibt es noch viele andere wichtige Risiko- sowie schützende Faktoren, die unbedingt zu beachten sind. Abbildung 1 zeigt die verschiedenen Faktoren sowohl auf der Patienten- als auch auf der Ernährungsseite, die ein erosives Geschehen fördern oder hemmen können (LUSSI ET AL. 2005).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Übersicht der Erosivität bzw. des erosiven Potenzials von total 116 Getränken und Speisen zu geben. Ferner werden auch die Eigenschaften verschiedener häufig konsumierter Medikamente aufgeführt. Die vorliegenden Daten beruhen zum einen Teil auf den Resultaten früherer Untersuchungen (LUSSI ET AL. 2012A, LUSSI & CARVALHO 2015) und zum anderen Teil auf neuen Untersuchungen mit weiteren Produkten, deren erosive Eigenschaften bislang noch nicht in einer Fachzeitschrift veröffentlicht wurden. Es werden bei den Produkten detaillierte Angaben der verschiedenen gemessenen und berechneten physikalischen und chemischen Parameter gegeben und zusätzlich eine zusammenfassende Beurteilung des erosiven Potenziales aufgeführt. Es ist

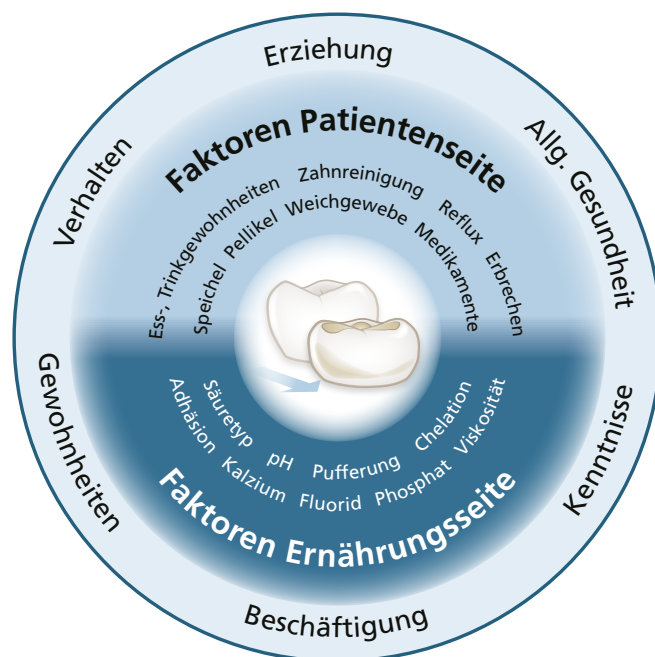


Abb. 1 Die Ätiologie dentaler Erosionen und des erosiven Zahnhartsubstanzverlustes ist vielfältig: Schützende und fördernde Faktoren auf der Patientenseite und auf der Ernährungsseite müssen berücksichtigt werden (modifiziert von LUSSI ET AL. 2005).

geplant, diese Tabellen mit weiteren Produkten zu ergänzen und periodisch zu publizieren.

Material und Methoden

Herstellung der Schmelzprobekörper

Aus einem Pool von extrahierten Zähnen wurden 1020 kariesfreie Prämolaren und 300 Milchzähne ohne Risse an den bukkalen Hälften mithilfe eines Stereomikroskops ausgewählt. Nachdem die Kronen von den Wurzeln getrennt wurden, wurden die bukkalen Seiten unter Wasserkühlung auf einer LaboPol-21-Poliermaschine (Struers, Ballerup, Dänemark) so geschliffen, dass im Zentrum der freiliegenden Fläche exakt 200 µm Schmelz abgetragen wurde. Die Oberflächen wurden bis zu einer Körnung von 3 µm poliert und danach bis zum Versuch in einer Aufbewahrungslösung gelagert. Direkt vor Versuchsbeginn wurden die Probekörper einer Endpolitur mit der Körnung 1 µm während 1 Minute unterzogen (LaboPol-6, DP-Mol Polishing Cloth, DP-Stick HQ, Struers, Kopenhagen, Dänemark). Das genaue Protokoll wurde früher beschrieben (LUSSI ET AL. 2012A).

Härtemessung

Die Bestimmung der oberflächlichen Mikrohärtigkeit erfolgte mit der Härtemessung nach Vickers. Diese Methode ist neben der Härtemessung nach Knoop in der zahnärztlichen Forschung etabliert. Die Ausgangshärte der verschiedenen Schmelzprobekörper variiert von Zahn zu Zahn. Um den Vergleich einfach zu ermöglichen, werden in dieser Arbeit die Resultate in Prozent bezogen auf die Ausgangshärte dargestellt. Das Vorgehen bei der Härtemessung war wie folgt: Ein Vickers-Diamant wurde 15 Sekunden mit einer Kraft von 50 mN (Fischerscope HM 2000 XYP; Helmut Fischer, Hünenberg, Schweiz) auf die Schmelzoberfläche gepresst und dann die Vickers-Härte automatisch aufgrund der Eindringtiefe berechnet. Es wurden bei jedem Messschritt 6 Abdrücke ausgemessen und daraus der Mittelwert berechnet.

Dieser Wert wurde für die weiteren Berechnungen verwendet. Dieses Prozedere wurde verwendet, um die Variationen der Schmelzhärte zu berücksichtigen. Pro Produkt wurden jeweils 10 Probekörper gemessen.

Wir haben in dieser Zusammenstellung sowohl bleibende Zähne als auch Milchzähne integriert. Die Frage, ob Milchzähne anfälliger auf erosive Demineralisation als bleibende Zähne sind, wird in der Literatur widersprüchlich diskutiert (CARVALHO ET AL. 2014). Wir konnten in einer vor kurzem publizierten Untersuchung zeigen, dass im experimentellen Modell, das auch hier verwendet wurde, kein Unterschied zwischen bleibenden und Milchzähnen bestand (LUSSI & CARVALHO 2015). Auch in einer anderen Untersuchung mit ähnlichem Design und je 108 Milch- sowie 108 bleibenden Zähnen wurde mit einer einzigen Ausnahme kein Unterschied in der Anfälligkeit auf Erosionen von bleibenden und von Milchzähnen festgestellt (CARVALHO ET AL. 2017). Trotzdem haben wir in der Tabelle vermerkt, ob die Messung an einem Milch- oder einem bleibenden Zahn vorgenommen wurde.

Versuchsablauf

Von immer der gleichen gesunden Person ohne offene kariöse Läsionen mit normaler Speichelflussrate (stimulierte Flussrate 2,3 ml/min) wurde Paraffinwachs-stimulierter Speichel (Fluka; Sigma-Aldrich Chemie GmbH, München, Deutschland) unmittelbar vor der Messung gesammelt. Der Speichel wurde jeweils um die gleiche Uhrzeit morgens in einem eisgekühlten Behälter gesammelt. Eine Stunde vor einer Speichelentnahme wurde nichts mehr gegessen und keine koffeinhaltigen Getränke getrunken. Die Probekörper wurden dann für 3 Stunden in diesen frisch gesammelten Speichel eingetaucht, um eine Pellikel zu bilden. Die Einwilligung für die Speichelsammlung wurde nach Aufklärung und in Übereinstimmung mit dem von der Kantonalen Ethischen Kommission (KEK) genehmigten Protokoll eingeholt. Nach der Bildung der Pellikel wurden die Probekörper jeweils in die entsprechende Lösung unter ständiger Bewegung (95 U/min) bei 30 °C (Schüttelbad Salvis; Renggli AG, Rotkreuz, Schweiz) gegeben. Es wurde immer 10 ml (oder g) Lösung pro Probekörper benutzt. Nach 2 Minuten wurden die Probekörper der Lösung entnommen und Härtemessungen durchgeführt.

Getestete Substanzen und Medikamente

In der vorliegenden Studie wurden 116 beliebte Getränke, Speisen und Medikamente einbezogen (Tab. I). Zur besseren Übersicht wurden die Produkte in Gruppen eingeteilt:

- **Gruppe 1:** Mineralwasser
- **Gruppe 2:** Softdrinks, Erfrischungsgetränke, Limonaden
- **Gruppe 3:** Energiegetränke, Sportgetränke
- **Gruppe 4:** Früchte, Säfte, Smoothies
- **Gruppe 5:** Milchprodukte
- **Gruppe 6:** Tee, Eistee, Kaffee
- **Gruppe 7:** Alkoholische Getränke
- **Gruppe 8:** Medikamente
- **Gruppe 9:** Kinderartikel
- **Gruppe 10:** Verschiedenes

Kohlensäurehaltige Getränke wurden durch Rühren entgast, weil die Blasen eine korrekte Durchführung der Experimente nicht gestatten. Früchte wurden unmittelbar vor Beginn des Experiments zerkleinert/gepresst und der Saft durch ein Sieb gefiltert. Tabletten und Pulver wurden in Wasser nach Herstellerangaben

aufgelöst. Süßwaren wurden in deionisiertem Wasser (5,2 g in 10 ml) bei 45 °C unter Rühren aufgelöst und für das Experiment wieder abgekühlt. Kaugummi wurde während 5 Minuten im Mörser in deionisiertem Wasser gemahlen (2 g in 10 ml) und die resultierende Flüssigkeit im Experiment verwendet.

Klassifizierung des erosiven Potenzials

Die chemischen Analysen (pH, Pufferkapazität, titrierbare Säure, Fluorid-, Kalzium- und Phosphatkonzentrationen) sind früher genau beschrieben worden (LUSSI ET AL. 2012A) und werden hier nicht wiederholt. Der Grad der Über- bzw. Untersättigung bezüglich Hydroxylapatit (HAP) wurde mit einem Computerprogramm berechnet (LUSSI ET AL. 2012A).

Um in den Tabellen zusätzlich einen raschen Überblick des erosiven Potenzials der verschiedenen Produkte zu gewinnen, wurden sie in 3 Gruppen eingeteilt. Ein Produkt wurde als nicht erosiv klassiert (Grad 0: →), sofern nach 2 Minuten eine Härtezunahme oder eine Härteabnahme von bis zu 2% beobachtet wurde. Es wird so der wichtigen Funktion des Speichels Rechnung getragen, der eine Anhebung des pH-Wertes bewirkt, die hier nicht simuliert werden konnte. Als erosiv (Grad 1: ↘) wurden jene Produkte bezeichnet, die nach 2 Minuten bis zu 15% Härteverlust zeigten. Eine Härteabnahme von mehr als 15% nach 2 Minuten wurde als deutlich erosiv (Grad 2: ↘↘) klassifiziert. Einschränkend muss angemerkt werden, dass diese Einteilung die vielen anderen Faktoren nicht berücksichtigt, die – wie oben beschrieben – für eine Gesamtbeurteilung der Erosivität einbezogen werden müssen.

Ergebnisse

Die Tabelle zeigt das abgeschätzte erosive Potenzial sowie chemische und physikalisch-chemische Parameter verschiedener Getränke, Speisen und Medikamente.

Zahn (B = bleibende Zähne; M = Milchzähne), pH, Änderung der Härte nach 2 Minuten Inkubation, erosives Potenzial, titrierbare Säure, Kalzium, anorganisches Phosphor, Fluoridgehalt, Sättigungsgrad in Bezug auf Hydroxylapatit sind aufgeführt.

Interessante Ergebnisse werden unten diskutiert.

Diskussion

Die Entstehung von Zahnerosionen wird fälschlicherweise oftmals nur einem niedrigen pH-Wert von konsumierten Getränken und Speisen zugeschrieben. Diese Fehleinschätzung ist bedingt durch die allgemein bekannten kritischen pH-Werte von Karies in Schmelz und Dentin. Im Unterschied zur Karies, bei der es einen definierten kritischen pH-Wert von 5,3–5,5 für Schmelz gibt, kann man dem Auftreten von Zahnerosionen aber keinen definierten pH-Wert zuordnen (LUSSI ET AL. 2012A). Der kritische pH-Wert ist definiert als derjenige pH-Wert einer Flüssigkeit, bei dem sich die Zahnhartsubstanz im Gleichgewicht mit dieser sie umgebenden Flüssigkeit befindet. Bei diesem pH-Wert ist die Flüssigkeit bezüglich des Zahnes gesättigt, und es kommt insgesamt weder zu einer Auflösung des Zahnes noch zur Bildung neuer Kristalle. Dieser kritische pH-Wert berechnet sich aus den Konzentrationen (eigentlich den Aktivitäten) der gelösten Stoffe in der Flüssigkeit. Bei Karies ist diese Flüssigkeit die «Plaqueliquidität», die für eine bestimmte Person immer etwa gleich zusammengesetzt ist, also immer die gleichen Konzentrationen an gelösten Stoffen enthält. Deshalb gibt es bei Karies einen kritischen pH-Wert, der immer etwa gleich bleibt.

Tab.1 Abgeschätztes erosives Potenzial sowie chemische und physikalisch-chemisch Parameter verschiedener Getränke, Speisen und Medikamente

Produkte/Substanz	Zahn	pH	$\Delta\%$ nach 2 Min	erosives Potenzial	mmol OH ⁻ /l bis pH 7,0	[Ca] mmol/l	[P _i] mmol/l	[F] ppm	(pK- pI) _{HAP}
Mineralwasser									
Henniez (ohne Kohlensäure)	B	7,7	0,7	→	0,0	2,48	<0,01	0,10	2,4
Henniez (mit Kohlensäure)	B	6,1	-0,2	→	4,0	2,40	<0,01	0,09	-6,2
Valser (mit Kohlensäure)	B	5,6	-0,3	→	12,5	9,93	<0,01	0,60	-2,8
Valser (mit Kohlensäure)	M	6,5	-1,0	→	1,6	10,57	<0,01	0,58	-0,3
Valser Viva Lemon	B	3,3	-16,0	↘↘	40,0	9,75	0,08	0,63	-14,7
Softdrinks, Erfrischungsgetränke, Limonaden									
Coca-Cola	B	2,4	-30,7	↘↘	17,5	1,08	5,04	0,22	-20,0
Coca-Cola	M	2,5	-18,0	↘↘	17,0	0,53	5,39	0,05	-20,6
Coca-Cola Light	B	2,6	-46,1	↘↘	19,0	0,82	4,85	0,22	-19,4
Coca-Cola Zero	B	2,6	-18,5	↘↘	32,6	0,26	4,88	<0,01	-22,2
Dreh und Trink Apfel	B	3,4	-19,9	↘↘	22,5	1,45	0,16	0,07	-16,2
Dreh und Trink Himbeere	B	3,0	-26,1	↘↘	33,2	1,44	0,03	0,06	-21,5
Dreh und Trink Zitrone	B	2,9	-28,9	↘↘	44,1	1,50	0,06	0,06	-21,7
Fanta Orange	B	2,7	-47,7	↘↘	52,5	0,48	0,08	0,04	-25,2
Fanta Orange	M	2,6	-20,5	↘↘	45,3	0,56	0,14	0,04	-24,8
Guaraná Antarctica	B	3,0	-9,3	↘	36,4	0,02	<0,01	0,04	-33,1
Guaraná Antarctica	M	2,6	-6,4	↘	18,9	0,03	<0,01	0,02	-37,0
Kombucha Fresh Carpe Diem	B	3,0	-36,1	↘↘	39,0	3,30	0,07	0,39	-19,0
Orangina	B	3,1	-20,9	↘↘	59,0	0,77	0,53	0,01	-18,6
Pepsi Cola	B	2,4	-33,9	↘↘	19,0	0,33	4,93	0,04	-23,0
Pepsi Cola	M	2,5	-12,2	↘	12,6	0,22	5,38	0,01	-22,8
Pepsi Cola Light	B	2,8	-35,2	↘↘	15,0	0,29	4,68	0,04	-20,3
Rivella Blau	B	3,3	-47,9	↘↘	38,0	4,00	2,17	0,08	-12,0
Rivella Grün	B	3,2	-28,7	↘↘	44,0	3,30	2,41	0,09	-12,9
Rivella Rot	B	3,3	-39,7	↘↘	41,5	3,13	2,28	0,08	-12,6
Rivella Rot	M	3,3	-9,1	↘	38,5	2,95	2,72	0,07	-12,5
Schweppes Indian Tonic	B	2,3	-47,1	↘↘	78,6	0,32	<0,01	0,04	-34,1
Sinalco	B	3,1	-32,4	↘↘	36,0	1,14	0,10	0,06	-19,7
Sprite	B	2,5	-37,6	↘↘	39,0	0,30	0,02	0,02	-28,8
Sprite	M	2,6	-24,3	↘↘	38,0	0,47	<0,01	0,02	-34,7
Sprite Zero	B	2,9	-35,6	↘↘	57,3	0,30	<0,01	<0,01	-33,1
Energiegetränke, Sportgetränke									
Gatorade	B	3,2	-24,3	↘↘	46,0	0,13	2,98	0,05	-19,7
Gatorade Cool Blue	B	3,0	-24,6	↘↘	46,8	0,05	2,99	0,02	-22,6
Gatorade Gusto Limone	M	2,9	-21,3	↘↘	46,2	0,05	2,98	0,05	-23,9
Gatorade Mandarine	B	3,2	-24,9	↘↘	42,5	0,06	2,97	0,04	-21,5
Gatorade Red Orange	B	3,1	-24,9	↘↘	46,9	0,06	2,97	0,04	-22,0
Isostar	B	3,9	-6,5	↘	56,5	8,20	4,49	0,10	-5,9

Zahn (B = bleibende Zähne; M = Milchzähne), pH, Änderung der Härte nach 2 Minuten Inkubation, erosives Potenzial, titrierbare Säure, Kalzium, anorganisches Phosphor, Fluoridgehalt, Sättigungsgrad in Bezug auf Hydroxylapatit (n.a.: keine Messung)
Die Daten stammen zum Teil von LUSSI ET AL. 2012A und LUSSI & CARVALHO 2015

Tab.1 Abgeschätztes erosives Potenzial sowie chemische und physikalisch-chemisch Parameter verschiedener Getränke, Speisen und Medikamente

Fortsetzung

Produkte/Substanz	Zahn	pH	$\Delta\%$ nach 2 Min	erosives Potenzial	mmol OH ⁻ /l bis pH 7,0	[Ca] mmol/l	[Pi] mmol/l	[F] ppm	(pK- p) _{HAP}
Energiegetränke, Sportgetränke (Fortsetzung)									
Isostar Fresh	B	3,8	-2,2	↘	57,2	7,07	4,93	0,07	-6,8
Isostar Lemon	B	3,8	-1,2	→	41,0	7,39	5,05	0,07	-6,2
Isostar Orange	B	3,8	-1,5	→	41,9	6,56	4,56	0,07	-6,6
Monster Energy Drink (grün)	B	3,4	-11,6	↘	95,5	0,04	<0,01	0,01	-30,6
Monster Energy Drink (grün)	M	3,3	-10,1	↘	82,9	0,07	0,03	0,03	-25,1
Monster Energy Drink Rehab	B	3,5	-8,4	↘	71,2	1,42	3,44	0,47	-12,2
Monster Energy Drink The Doctor	B	3,4	-6,0	↘	67,9	9,60	0,12	<0,01	-13,5
Monster Energy Drink Zero	B	3,4	-19,1	↘↘	99,0	0,02	<0,01	<0,01	-30,6
Powerade	B	3,7	-12,3	↘	43,0	0,25	<0,01	0,20	-22,5
Red Bull Energy Drink	B	3,3	-16,6	↘↘	98,0	1,94	<0,01	0,11	-26,4
Red Bull Energy Drink	M	3,3	-10,2	↘	84,1	1,41	<0,01	0,13	-25,7
Früchte, Säfte, Smoothies									
Ananassaft (Frucht)	B	3,4	-15,7	↘↘	60,0	1,70	1,88	0,04	-12,9
Apfelsaft Ramseier	B	3,4	-25,9	↘↘	72,0	1,96	1,66	0,06	-13,0
Apfelsaft Ramseier	M	3,2	-7,8	↘	79,0	1,17	1,62	0,03	-15,2
Aprikosen (Frucht)	B	3,3	-23,2	↘↘	317,0	1,20	5,95	0,02	-13,6
Baby Jus Nestlé, Apfel Birne	M	3,6	-3,1	↘	55,0	2,55	1,96	0,17	-11,0
Capri Sonne Multi Vitamin	B	3,3	-14,3	↘	45,2	2,49	0,32	0,09	-15,2
Capri Sonne Safari Fruits	B	3,3	-17,7	↘↘	44,3	2,51	0,28	0,09	-15,8
Grapefruitsaft Coop	B	3,2	-31,1	↘↘	168,5	2,29	2,17	0,03	-14,2
Innocent Berry Good	B	3,5	-8,0	↘	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Innocent Möhrchen-Prinz	B	3,9	-2,7	↘	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Innocent Super Smoothie Antioxidant	B	3,7	-9,3	↘	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Innocent Smoothie Kiwi, Apfel, Zitrone	M	3,3	-7,3	↘	96,9	2,10	0,27	0,02	-16,1
Karottensaft Biotta	B	4,2	-2,5	↘	70,5	4,40	1,20	0,04	-6,6
Kiwi (Frucht)	B	3,2	-23,4	↘↘	206,5	3,35	4,47	0,02	-11,9
Kiwi (Frucht)	M	3,2	-12,2	↘	200,4	1,06	3,40	<0,01	-14,5
Orange (Frucht)	B	3,6	-17,3	↘↘	113,0	2,18	1,27	0,03	-11,8
Orange (Frucht)	M	3,9	-3,2	↘	104,7	1,50	1,18	0,02	-10,2
Orangensaft Del Monte	B	3,7	-7,0	↘	108,0	2,38	2,36	0,03	-9,8
Orangensaft Hohes C	B	3,6	-10,1	↘	121,0	1,98	2,57	0,03	-11,3
Orangensaft Hohes C	M	3,6	-3,8	↘	111,5	2,11	1,58	0,03	-11,3
Ribena Schwarze-Johannisbeeren-Saft	M	2,5	-9,9	↘	32,0	0,36	0,17	0,01	-26,1
Milchprodukte									
Joghurt Kiwi Tropicana Hirz	B	4,0	1,3	→	124,5	45,83	33,83	0,04	0,0
Joghurt Nature Migros	B	3,9	0,5	→	120,0	43,33	34,34	0,04	-0,6
Joghurt Nature Léger Migros	B	4,2	-0,6	→	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Joghurt Slimline	B	4,0	-0,6	→	133,5	56,33	38,74	0,03	0,8

Zahn (B = bleibende Zähne; M = Milchzähne), pH, Änderung der Härte nach 2 Minuten Inkubation, erosives Potenzial, titrierbare Säure, Kalzium, anorganisches Phosphor, Fluoridgehalt, Sättigungsgrad in Bezug auf Hydroxylapatit (n.a.: keine Messung)

Die Daten stammen zum Teil von LUSSI ET AL. 2012A und LUSSI & CARVALHO 2015

Tab.1 Abgeschätztes erosives Potenzial sowie chemische und physikalisch-chemisch Parameter verschiedener Getränke, Speisen und Medikamente

Fortsetzung

Produkte/Substanz	Zahn	pH	$\Delta\%$ nach 2 Min	erosives Potenzial	mmol OH ⁻ /l bis pH 7,0	[Ca] mmol/l	[P _i] mmol/l	[F] ppm	(pK- p) _{HAP}
Milchprodukte (Fortsetzung)									
Joghurt Waldbeeren Migros	B	3,8	-1,2	→	159,0	45,50	36,81	0,05	-1,4
Joghurt Waldbeeren Migros	M	4,1	5,0	→	109,4	37,39	10,72	0,04	-0,5
Joghurt Zitronen	B	4,1	<0,1	→	110,4	32,00	39,90	0,04	0,7
Sauermilch LC1	B	4,2	1,9	→	56,0	69,00	39,20	0,03	2,4
Vollmilch UHT	B	6,7	1,2	→	4,0	29,50	18,90	0,01	16,3
Tee, Eistee, Kaffee									
Ice Tea Classic Coop	B	2,9	-16,3	↘↘	26,5	0,45	0,04	0,76	-24,2
Ice Tea Classic Coop	M	2,4	-12,7	↘	28,8	0,03	0,06	0,88	-33,6
Ice Tea Lemon Lipton	B	3,0	-16,8	↘↘	24,0	0,18	0,12	0,58	-24,0
Ice Tea Peach Lipton	B	2,9	-15,2	↘↘	21,5	0,12	0,15	0,54	-25,2
Ice Tea Peach Lipton	M	2,7	-5,3	↘	30,7	0,08	0,13	0,55	-28,4
Kaffee Espresso Nestlé	B	5,8	0,7	→	3,0	0,69	0,63	0,07	0,6
Tee Hagebutten mit Hibiskus Migros	B	3,2	-33,2	↘↘	19,5	2,65	0,42	0,05	-16,0
Tee Hagenbutten (rein)	B	6,3	-1,3	→	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tee Hibiskus (rein)	B	2,8	-62,4	↘↘	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tee Pfefferminze Migros	B	7,5	0,1	→	0,0	1,93	0,35	0,05	11,8
Tee Schwarztee Coop	B	6,6	-0,2	→	1,5	1,10	0,27	1,63	5,6
Tee Waldfrüchte Lipton	B	6,8	0,4	→	1,0	1,10	0,24	0,78	6,6
Alkoholische Getränke									
Bacardi Breezer Orange	B	3,2	-39,3	↘↘	60,0	0,19	0,14	0,03	-22,5
Bier Carlsberg	B	4,2	-0,3	→	17,5	0,74	5,65	0,74	-7,9
Bier Eichhof	B	4,1	0,1	→	18,0	1,94	9,30	0,06	-6,3
Bier Erdinger Alkoholfrei	B	4,4	2,4	→	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Schaumwein Freixenet	B	3,0	-23,9	↘↘	78,0	1,90	1,98	0,26	-15,9
Cynar	B	4,0	0,2	→	6,0	2,01	0,13	0,07	-12,0
Rotwein Colivo	B	3,4	-5,7	↘	76,0	1,25	4,69	0,07	-12,5
Rotwein Montagne	B	3,7	-3,7	↘	63,0	1,68	2,79	0,11	-10,7
Smirnoff Ice	B	3,1	-30,8	↘↘	50,0	0,18	6,53	0,12	-18,8
Weisswein La Côte	B	3,6	-4,9	↘	53,0	1,30	4,42	0,27	-11,3
Medikamente									
Alca-C Brausetablette	B	4,2	-2,5	↘	53,0	9,03	0,02	0,07	-10,2
Alcacyl 500	B	6,9	-0,4	→	0,5	1,89	<0,01	0,07	0,4
Alka-Selzer Brausetablette	B	6,2	-0,8	→	14,0	2,06	0,03	0,08	1,5
Aspirine-C Brausetablette	B	5,5	-3,3	↘	27,5	2,04	0,01	0,08	-5,7
Berocca Brausetablette	B	4,2	-0,3	→	59,5	15,20	0,03	0,12	-8,9
Claritime Sirup	M	3,0	-2,0	↘	93,7	0,07	<0,01	<0,01	-37,1
Zahn (B = bleibende Zähne; M = Milchzähne), pH, Änderung der Härte nach 2 Minuten Inkubation, erosives Potenzial, titrierbare Säure, Kalzium, anorganisches Phosphor, Fluoridgehalt, Sättigungsgrad in Bezug auf Hydroxylapatit (n.a.: keine Messung) Die Daten stammen zum Teil von LUSSI ET AL. 2012A und LUSSI & CARVALHO 2015									

Tab.1 Abgeschätztes erosives Potenzial sowie chemische und physikalisch-chemisch Parameter verschiedener Getränke, Speisen und Medikamente

Fortsetzung

Produkte/Substanz	Zahn	pH	$\Delta\%$ nach 2 Min	erosives Potenzial	mmol OH ⁻ /l bis pH 7,0	[Ca] mmol/l	[Pi] mmol/l	[F] ppm	(pK- p) _{HAP}
Medikamente (Fortsetzung)									
Dafalgan Sirup für Kinder	M	5,3	3,6	→	18,8	0,07	<0,01	0,01	-15,2
Fluimucil 200 mg Brausetablette	B	4,7	-1,8	→	19,5	1,98	<0,01	0,06	-12,5
Fluimucil Granulat	M	4,5	-2,4	↘	21,2	0,01	<0,01	<0,01	-29,3
Maltofer Sirup	M	4,9	2,0	→	10,6	0,12	<0,01	<0,01	-20,7
Mucosolvon Hustensirup für Kinder	M	3,1	-1,5	→	16,8	0,01	0,01	<0,01	-31,5
Neocitran	B	2,8	-46,1	↘↘	73,5	4,63	1,58	0,09	-15,5
SiccOral	B	5,4	-1,4	→	2,5	0,15	0,12	0,02	-7,4
Tossamin Sirup Zuckerfrei	M	4,4	3,1	→	45,5	0,01	1,46	<0,01	-16,4
Ventolin Sirup	M	3,2	-10,6	↘	70,4	0,02	<0,01	<0,01	-37,0
Vitamin C Brausetablette Actilife	B	3,9	-17,3	↘↘	93,0	1,90	0,03	0,06	-15,0
Vitamin C Brausetablette Streuli	B	3,6	-25,3	↘↘	85,0	1,78	2,01	0,06	-11,4
Kinderartikel									
Giant Candy, Spray Super Sour	B	1,9	-23,0	↘↘	328,1	0,35	<0,01	0,17	-41,5
Hannah Brain Licker	B	1,8	-4,4	↘	207,8	0,45	0,02	0,05	-34,6
Haribo Pommes Gelb	M	2,5	-14,1	↘	104,5	0,07	0,12	0,02	-30,6
Mega Mouth Candy Spray	M	2,1	-59,2	↘↘	540,0	0,12	0,16	<0,01	-31,7
Trident Mega Mystery Kaugummi	M	2,7	-11,0	↘	24,7	0,37	0,03	<0,01	-26,6
Trink Bärl Apfel	B	3,1	-24,5	↘↘	29,6	1,81	<0,01	0,07	-24,4
Trink Bärl Himbeere	B	3,5	-11,4	↘	17,8	1,59	0,03	0,07	-18,1
Trinketto® Bubble Gum	B	3,0	-25,9	↘↘	37,3	0,67	<0,01	0,08	-27,3
Verschiedenes									
Apfelessig	B	3,4	-27,2	↘↘	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Honig Blütenhonig	B	3,6	-0,4	→	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Honig Waldhonig	B	4,3	0,2	→	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Obstessig	B	3,2	-50,9	↘↘	740,8	3,40	2,20	1,20	-13,0
Salatsauce M Classic French	B	3,8	-5,8	↘	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Salatsauce Thomy French Classic	B	4,0	-3,9	↘	141,0	20,50	0,46	0,10	-6,1
Salatsauce Thomy French Light	B	3,8	-6,4	↘	145,0	40,00	1,14	0,11	-5,3
Sauerkraut gekocht	B	3,8	-29,1	↘↘	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zahn (B = bleibende Zähne; M = Milchzähne), pH, Änderung der Härte nach 2 Minuten Inkubation, erosives Potenzial, titrierbare Säure, Kalzium, anorganisches Phosphor, Fluoridgehalt, Sättigungsgrad in Bezug auf Hydroxylapatit (n.a.: keine Messung) Die Daten stammen zum Teil von LUSSI ET AL. 2012A und LUSSI & CARVALHO 2015									

Im Falle von Zahnerosionen enthalten die den Zahn umgebenden Flüssigkeiten aber unterschiedlichste Konzentrationen an gelösten Stoffen, weshalb *kein* bestimmter kritischer pH-Wert definiert werden kann. Der entscheidende Faktor, ob es zur Demineralisation kommt, ist also insgesamt nicht der pH-Wert selbst, sondern der Sättigungsgrad an gelösten Stoffen in der mit den Zähnen in Kontakt tretenden Flüssigkeit beim jeweiligen pH-Wert. Ist der Gehalt an bestimmten gelösten Stoffen in der

Flüssigkeit zu klein, ist diese untersättigt und es wird ein Gleichgewicht angestrebt, wobei es zur Demineralisierung der Zahnhartsubstanz kommt. Dieser Prozess schreitet so lange voran, bis das Gleichgewicht erreicht und die Flüssigkeit gesättigt ist. Ist der Gehalt an denselben gelösten Stoffen in der Flüssigkeit jedoch gross, ist diese bereits gesättigt oder gar übersättigt, kommt es nie zu einer Demineralisierung. Ob eine Flüssigkeit bezüglich der Zahnhartsubstanz gesättigt ist oder nicht, wird

insbesondere durch den Kalziumgehalt und, in kleinerem Masse, durch den Gehalt an Phosphat und Fluorid der Getränke und Speisen beim jeweiligen pH-Wert bestimmt. Bei einem niedrigen pH-Wert ist es daher möglich, dass hohe Konzentrationen dieser Stoffe einer Erosion entgegenwirken, da die Flüssigkeit dadurch bezüglich der Zahnhartsubstanz ge- oder sogar übersättigt ist. Fehlen diese Stoffe jedoch oder sind nur geringe Konzentrationen davon vorhanden, kann es andererseits bereits bei einem höheren pH-Wert zur erosiven Demineralisation der Zahnhartsubstanz kommen, da die Flüssigkeit dann bezüglich der Zahnhartsubstanz untersättigt ist (SHELLIS ET AL. 2014).

Weitere ernährungsseitige Faktoren, die die Erosion beeinflussen

Den Einfluss des Sättigungsgrades von Mineralien wie Kalzium, Phosphat und Fluorid in Speisen und Getränken auf die Zahnhartsubstanz macht man sich in der Prophylaxe zunutze. So kann das hohe erosive Potenzial von z. B. Orangensaft (pH-Wert von ca. 4, Tab. I) durch Zugabe von Kalzium aufgehoben werden (HUGHES ET AL. 1999; WEGEHAUPT ET AL. 2011). Joghurt andererseits, das naturgemäss mit einem niedrigen pH-Wert versehen ist, weist aufgrund seines hohen Kalzium- und Phosphatgehalts kein erosives Potenzial auf (Tab. I). Das erosive Potenzial von Salatsauce oder von Fruchtsalat kann mit Beimischung von Joghurt minimiert werden. Alle getesteten Biere (pH zwischen 4,1 und 4,4) sind sauer, rufen aber keine Erosionen hervor. Cynar weist ebenfalls einen tiefen pH-Wert von 4 auf, verursacht aber keine erosive Veränderung der Zahnhartsubstanz. Beide zuletzt genannten Getränke haben weder einen hohen Kalzium- noch einen hohen Phosphatgehalt. Es müssen also andere Faktoren, höchstwahrscheinlich Proteine, eine wichtige schützende Wirkung aufweisen, indem sie zum Beispiel die Pellikel modifizieren.

Eine Fluoridanreicherung von Speisen und Getränken zur Vermeidung von Zahnerosionen erscheint hingegen aufgrund der möglichen Nebenwirkungen von Fluorid bei der für einen Schutz benötigten hohen Konzentration als nicht sinnvoll (LUSSI ET AL. 2019). Verdünnung mit Wasser reduziert die H^+ -Konzentration und damit das erosive Potenzial.

Neben dem Sättigungsgrad gibt es noch weitere die Erosion beeinflussende Faktoren. Besitzt eine Substanz beispielsweise eine hohe Pufferkapazität, dauert es länger bis sie durch den Speichel neutralisiert werden kann (SHELLIS ET AL. 2013). Die Adhäsionseigenschaften beeinflussen die Erosivität insofern, als dass stärker adhärierende Substanzen eine längere Kontaktzeit an den Zähnen haben und dadurch länger erosiv wirken können. Mehrere Untersuchungen (JAGER ET AL. 2012; AYKUT-YETKINER ET AL. 2013, 2014) zeigten, dass eine hohe Viskosität schützend wirkt, weil der Nachschub von H^+ -Ionen an der Grenzfläche zum Zahn beeinträchtigt ist (siehe Tabelle, zum Beispiel Hannah Brain Licker). Diese Eigenschaft muss in Zusammenhang mit anderen die Erosion fördernden Parametern wie pH oder Pufferkapazität gesehen werden (CARVALHO ET AL. 2017). Auch die Temperatur von Getränken und Speisen muss beachtet werden, da sie sowohl einen Einfluss auf den Sättigungsgrad hat als auch auf die chemische Reaktionsgeschwindigkeit, was bei höheren Temperaturen zu einer schnelleren erosiven Auflösung der Zähne führen kann (WEST ET AL. 2000; EISENBURGER & ADDY 2003; BARBOUR ET AL. 2006).

Ebenfalls nicht zu unterschätzen ist die Kontaktzeit der erosionsfördernden Substanz mit der Zahnoberfläche sowie die Trinkweise (schluckweise *versus* in einem Zug trinken) und die generelle Anfälligkeit auf Erosionen. Der Unterschied in der An-

fälligkeit auf erosiven Zahnhartsubstanzverlust kann nach unseren Untersuchungen eine genetische Komponente aufweisen (ALARAUDANJOKI ET AL. 2019), aber auch mit der Speichelzusammensetzung (z. B. Proteingehalt) zusammenhängen. Beispielsweise ist die genaue Zusammensetzung von Mineralionen und Proteinen im Speichel entscheidend für den Schutz vor Erosionen (BAUMANN ET AL. 2016), und klare Unterschiede des Erosionsschutzes zwischen Kinder- und Erwachsenenspeichel wurden gezeigt (CARVALHO ET AL. 2016A). In einer weiteren Studie erreichte bei Patienten ohne Erosionen der pH-Wert an den Zahnoberflächen 3–5 Minuten nach Konsum von Orangensaft wieder unbedenkliche Werte, während bei Patienten mit Erosionen dies erst nach 5–7 Minuten der Fall war (LUSSI ET AL. 2012B). In dieser Untersuchung haben alle Probanden unter Aufsicht auf die gleiche Art und Weise getrunken, und es bestanden keine wesentlichen Unterschiede in den gemessenen Speichelparametern (Fliessrate, Pufferkapazität bis pH 7). Das Proteom und der Proteingehalt wurden leider nicht gemessen. Diese Arbeit zeigte auch, dass Spülen nach Konsum von Saurem ein gutes Mittel ist, um den pH-Wert auf der Zahnoberfläche zu erhöhen. Eine übersättigte Substanz kann, wie oben erwähnt, nie Erosionen verursachen, deutlich untersättigte immer. Substanzen (z. B. Joghurt mit Waldbeeren, Tab. I), die nur leicht untersättigt sind, verursachen klinisch keine messbare Erosion, da sie an der Grenze zur Zahnoberfläche durch den lokalen minimalen Demineralisationsprozess neutralisiert und mit Kalzium vom Zahn lokal angereichert werden. Dies ist beim Umspülen der Zähne mit erosiven Getränken nicht der Fall. Insofern kann auch erklärt werden, warum bestimmte Trinkgewohnheiten, wie zum Beispiel das Umspülen der Zähne, erosionsfördernd sind (JOHANSSON ET AL. 2004; ATTIN ET AL. 2013).

Patientenseitige Faktoren, die die Erosion beeinflussen

Neben den erwähnten Faktoren auf der Ernährungsseite sind Faktoren auf der Patientenseite im Entstehungsprozess der Zahnerosion von Bedeutung (Abb. 1). Ess- und Trinkgewohnheiten, die Zusammensetzung des Speichels, dessen Fliessrate und Pufferkapazität, die Pellikelbildung sowie diese Faktoren beeinflussende Medikamenteneinnahme sind im Zusammenhang mit Zahnerosionen wichtig. Medikamente können entweder durch ihren niedrigen pH-Wert direkt erosionsauslösend sein oder aber auch durch ihre nicht immer gewollte Wirkung auf die Speichelfliessrate und Zusammensetzung. Zu erwähnen sind insbesondere Beruhigungsmittel, Antiemetika, Antihistaminika und Anti-Parkinson-Medikamente (LUSSI ET AL. 2012A) sowie Brausetabletten mit niedrigem pH-Wert (WEGEHAUPT ET AL. 2016). Andererseits gibt es auch saure Brausetabletten (Berocca, siehe Tab. I), die wegen ihres hohen Kalziumgehalts keine Erosionen verursachen.

Anamnestisch manchmal schwierig, aber für die Diagnostik wichtig, ist auch die Abklärung bezüglich Alkoholmissbrauchs, der häufig mit Reflux vergesellschaftet ist. Weitere zu beachtende Einflüsse sind ein vorhandener gastroösophagealer Reflux sowie psychische Erkrankungen wie Bulimie und Anorexie (LUSSI ET AL. 2009).

Es ist zu beachten, dass Patienten mit schon vorhandenen erosiv-abrasiven Zahnhartsubstanzdefekten anfälliger für weitere Erosionsprozesse sind (CARVALHO ET AL. 2016B). Dies gilt auch für Kinder, denn schon vorhandene erosiv-abrasive Veränderungen an den Milchzähnen sind ein guter Indikator für diese Zahnhartsubstanzdefekte an bleibenden Zähnen (GANSS ET AL. 2001; HAR-

DING ET AL. 2010). Wie üblich, sollte auch hier frühzeitig eine individuelle professionelle Beratung stattfinden und nach einer für die jeweiligen Patienten optimierten Prophylaxemöglichkeit gesucht werden. Hilfreich für eine systematische Analyse ist die Abklärung der in der Abbildung dargestellten Einflussfaktoren.

Abstract

LUSSI A, JOÃO-SOUZA S H, MEGERT B, CARVALHO T S, BAUMANN T:

The erosive potential of different drinks, foodstuffs and medicines – a vade mecum (in German). SWISS DENTAL JOURNAL SSO 129: 479–487 (2019)

There is increasing evidence that the excessive consumption of acidic drinks and foods contributes to dental erosion and may be an important contributing factor for erosive tooth wear. The

aims of the present contribution were twofold: (1) to assess the erosive potential of 116 dietary substances and medications; (2) to determine the chemical properties with an impact on the erosive potential. Using 300 deciduous and 1,020 permanent human teeth, enamel specimens were prepared and a pellicle was formed with human saliva. The erosive potential of the tested agents was quantified as the change in surface hardness of the specimens after 2 min of erosion. To characterise these agents, the following chemical properties were determined: pH, titratable acidity to pH 7, concentrations of Ca, Pi and F, as well as the degree of saturation with respect to hydroxyapatite.

We conclude that some drinks, foodstuffs and medications may cause erosion. However, pH is not the only decisive factor, since some acidic substances did not cause dental erosion.

Literatur

- ALARAUDANJOKI V K, KOIVISTO S, PESONEN P, MANNIKKO M, LEINONEN J, TJADERHANE L, LAITALA M L, LUSI A, ANTONEN V A: Genome-Wide Association Study of Erosive Tooth Wear in a Finnish Cohort. *Caries Res* 53(1): 49–59 (2019)
- ATTIN T, BECKER K, WIEGAND A, TAUBOCK T T, WEGEHAUPT F J: Impact of laminar flow velocity of different acids on enamel calcium loss. *Clin Oral Investig* 17(2): 595–600 (2013)
- AYKUT-YETKINER A, WIEGAND A, BOLLHALDER A, BECKER K, ATTIN T: Effect of acidic solution viscosity on enamel erosion. *J Dent Res* 92(3): 289–294 (2013)
- AYKUT-YETKINER A, WIEGAND A, RONAY V, ATTIN R, BECKER K, ATTIN T: In vitro evaluation of the erosive potential of viscosity-modified soft acidic drinks on enamel. *Clin Oral Investig* 18(3): 769–773 (2014)
- BARBOUR M E, FINKE M, PARKER D M, HUGHES J A, ALLEN G C, ADDY M: The relationship between enamel softening and erosion caused by soft drinks at a range of temperatures. *J Dent* 34(3): 207–213 (2006)
- BARTLETT D W, LUSSI A, WEST N X, BOUCHARD P, SANZ M, BOURGEOIS D: Prevalence of tooth wear on buccal and lingual surfaces and possible risk factors in young European adults. *J Dent* 41(11): 1007–1013 (2013)
- BAUMANN T, KOZIK J, LUSSI A, CARVALHO T S: Erosion protection conferred by whole human saliva, dialysed saliva, and artificial saliva. *Sci Rep* 6: 34760 (2016)
- CARVALHO T S, LUSSI A, JAEggi T, GAMBON D L: Erosive tooth wear in children. *Monogr Oral Sci* 25: 262–278 (2014)
- CARVALHO T S, BAUMANN T, LUSSI A: In vitro salivary pellicles from adults and children have different protective effects against erosion. *Clin Oral Investig* 20(8): 1973–1979 (2016a)
- CARVALHO T S, BAUMANN T, LUSSI A: Does erosion progress differently on teeth already presenting clinical signs of erosive tooth wear than on sound teeth? An in vitro pilot trial. *BMC Oral Health* 17(1): 14 (2016b)
- CARVALHO T S, SCHMID T M, BAUMANN T, LUSSI A: Erosive effect of different dietary substances on deciduous and permanent teeth. *Clin Oral Investig* 21(5): 1519–1526 (2017)
- EISENBURGER M, ADDY M: Influence of liquid temperature and flow rate on enamel erosion and surface softening. *J Oral Rehabil* 30(11): 1076–1080 (2003)
- GANSS C, KLIMEK J, GIESE K: Dental erosion in children and adolescents – a cross-sectional and longitudinal investigation using study models. *Community Dent Oral Epidemiol* 29(4): 264–271 (2001)
- HARDING M A, WHELTON H P, SHIRODARIA S C, O'MULLANE D M, CRONIN M S: Is tooth wear in the primary dentition predictive of tooth wear in the permanent dentition? Report from a longitudinal study. *Community Dent Health* 27(1): 41–45 (2010)
- HUGHES J A, WEST N X, PARKER D M, NEWCOMBE R G, ADDY M: Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink. 3. Final drink and concentrate, formulae comparisons in situ and overview of the concept. *J Dent* 27(5): 345–350 (1999)
- JAGER D H, VIEIRA A M, RUBEN J L, HUYSMANS M C: Estimated erosive potential depends on exposure time. *J Dent* 40(12): 1103–1108 (2012)
- JOHANSSON A K, LINGSTROM P, IMFELD T, BIRKHED D: Influence of drinking method on tooth-surface pH in relation to dental erosion. *Eur J Oral Sci* 112(6): 484–489 (2004)
- LUSSI A, SCHAFFNER M, JAEggi T, GRÜNINGER A: Erosionen. Befund – Diagnose – Risikofaktoren – Prävention – Therapie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115(10): 3–31 (2005)
- LUSSI A, HELLWIG E, GANSS C, JAEggi T: Buonocore Memorial Lecture. Dental erosion. *Oper Dent* 34(3): 251–262 (2009)
- LUSSI A, MEGERT B, SHELLIS R P, WANG X: Analysis of the erosive effect of different dietary substances and medications. *Br J Nutr* 107(2): 252–262 (2012a)
- LUSSI A, VON SALIS-MARINCEK M, GANSS C, HELLWIG E, CHEAIB Z, JAEggi T: Clinical study monitoring the pH on tooth surfaces in patients with and without erosion. *Caries Res* 46(6): 507–512 (2012b)
- LUSSI A, CARVALHO T S: Erosive tooth wear: a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge. *Monogr Oral Sci* 25: 1–15 (2014)
- LUSSI A, LUSSI J, CARVALHO T S, CVIKL B: Toothbrushing after an erosive attack: will waiting avoid tooth wear? *Eur J Oral Sci* 122(5): 353–359 (2014)
- LUSSI A, CARVALHO T S: Analyses of the Erosive Effect of Dietary Substances and Medications on Deciduous Teeth. *PLoS One* 10(12): e0143957 (2015)
- LUSSI A, BUZALAF M A R, DUANGTHIP D, ANTONEN V, GANSS C, JOAO-SOUZA S H, BAUMANN T, CARVALHO T S: The use of fluoride for the prevention of dental erosion and erosive tooth wear in children and adolescents. *Eur Arch Paediatr Dent*: 2019 Feb 14. doi: 10.1007/s40368-019-00420-0. [Epub ahead of print]
- O'TOOLE S, BERNABE E, MOAZZEZ R, BARTLETT D: Timing of dietary acid intake and erosive tooth wear: A case-control study. *J Dent* 56: 99–104 (2017)
- PINDBORG J J: Pathology of the Dental Hard Tissues. Munksgaard, Copenhagen (1970)
- SCHLUETER N, TVEIT A B: Prevalence of erosive tooth wear in risk groups. *Monogr Oral Sci* 25: 74–98 (2014)
- SCHLUETER N, LUKA B: Erosive tooth wear – a review on global prevalence and on its prevalence in risk groups. *Br Dent J* 224(5): 364–370 (2018)
- SHELLIS R P, GANSS C, REN Y, ZERO D T, LUSSI A: Methodology and models in erosion research: discussion and conclusions. *Caries Res* 45 Suppl 1: 69–77 (2011)
- SHELLIS R P, BARBOUR M E, JESANI A, LUSSI A: Effects of buffering properties and undissociated acid concentration on dissolution of dental enamel in relation to pH and acid type. *Caries Res* 47(6): 601–611 (2013)
- SHELLIS R P, FEATHERSTONE J D, LUSSI A: Understanding the chemistry of dental erosion. *Monogr Oral Sci* 25: 163–179 (2014)
- STEIGER-RONAY V, TEKTAS S, ATTIN T, LUSSI A, BECKER K, WIEDEMEIER D B, BEYELER B, CARVALHO T S: Comparison of Profilometric and Micro-indentation Analyses for Determining the Impact of Saliva on the Abrasion of Initially Eroded Enamel. *Caries Res* 53(1): 33–40 (2018)
- WEGEHAUPT F, GUNTART N, SENER B, ATTIN T: Prevention of erosive/abrasive enamel wear due to orange juice modified with dietary supplements. *Oral Dis* 17(5): 508–514 (2011)
- WEGEHAUPT F J, LUNGI N, HOGGER V M, ATTIN T: Erosive potential of vitamin and vitamin+mineral effervescent tablets. *Swiss Dent J* 126(5): 457–465 (2016)
- WEST N X, HUGHES J A, ADDY M: Erosion of dentine and enamel in vitro by dietary acids: the effect of temperature, acid character, concentration and exposure time. *J Oral Rehabil* 27(10): 875–880 (2000)