
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-Assistent
Rédacteur assistant
Tuomas Waltimo, Basel

Advisory board / Gutachtergremium / Comité de lecture

P. Baehni, Genève
J.-P. Bernard, Genève
C.E. Besimo, Basel
S. Bouillaguet, Genève
U. Brägger, Bern
D. Buser, Bern
M. Cattani, Genève
B. Ciucchi, Genève
K. Dula, Bern
A. Filippi, Basel
J. Fischer, Bern
L.M. Gallo, Zürich
R. Glauser, Zürich
R. Gmür, Zürich
W. Gnoinski, Zürich
K.W. Grätz, Zürich
Ch. Hämmerle, Zürich
N. Hardt, Luzern
T. Imfeld, Zürich
K.H. Jäger, Basel

J.-P. Joho, Genève
R. Jung, Zürich
S. Kiliaridis, Genève
I. Krejci, Genève
J.Th. Lambrecht, Basel
N.P. Lang, Bern
T. Lombardi, Genève
H.U. Luder, Zürich
A. Lussi, Bern
P. Magne, Genève
C. Marinello, Basel
G. Menghini, Zürich
R. Mericske-Stern, Bern
J.-M. Meyer, Genève
A. Mombelli, Genève
W. Mörmann, Zürich
F. Müller, Genève
G. Pajarola, Zürich
S. Palla, Zürich
S. Paul, Zürich

M. Perrier, Lausanne
B. Pjetursson, Bern
M. Ramseier, Bern
M. Richter, Genève
S. Ruf, Bern
H.F. Sailer, Zürich
J. Samson, Genève
U.P. Saxer, Zürich
J.-P. Schatz, Genève
S. Scherrer, Genève
P. Schüpbach, Horgen
H. van Waas, Zürich
P. Velvart, Zürich
T. von Arx, Bern
F. Weber, Zürich
R. Weiger, Basel
A. Wichelhaus, 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

Die Qualität der Borstenendabrundung von zehn Kinderzahnbürstenmarken

Zusammenfassung

In zahlreichen In-vitro-Untersuchungen sowie Tierversuchen konnte die schädliche Wirkung von schlecht abgerundeten Borsten von Zahnbürsten auf Gingiva und Zahnhartsubstanz aufgezeigt werden. Daher war es Ziel dieser Studie, die Abrundungs- und Oberflächenqualität von Borsten zehn verschiedener Zahnbürstenmarken (Elmex Lernzahnbürste®, Aronal Öko Dent Kinder®, Signal Kids®, Dr. Best Milchzahn®, Dr. Best Best Friends®, Colgate Grip'Ems®, Colgate My First®, Oral B Mickey for Kids®, Oral B Disneys' Mickey Mouse®, Blend-a-med Blendl®) zu vergleichen. Pro Marke wurden vier Zahnbürsten zufällig ausgewählt und rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen (45°) von jeweils fünf Büscheln in einem Winkel von 45 Grad zur Borstenachse angefertigt. Sechs überlagerungsfrei dargestellte Borsten der ersten drei Reihen eines Büschels wurden mit Hilfe eines qualitativen Schemas und der so genannten Formfaktorenanalyse durch einen verblindeten Untersucher beurteilt. Der höchste Formfaktor wurde für Aronal Öko Dent Kinder® mit einem Mittelwert (SD) von 0,278 [± 0,004] gefunden, gefolgt von Dr. Best Milchzahn® (0,277 [± 0,005]) und Elmex Lernzahnbürste® (0,277 [± 0,005]). Diese Werte unterschieden sich signifikant von denen der Marken Colgate My First® (0,258 [± 0,023]) und Colgate Grip'Ems® (0,267 [± 0,012]) ($p < 0,001$; ANOVA, post hoc Bonferroni). Die Oberflächenqualität wurde bei zwei der untersuchten Zahnbürstenmarken bei mehr als 50% der untersuchten Borsten als nichtakzeptabel beurteilt (Signal Kids® (75%); Dr. Best Best Friends® [100%]). Obwohl während der Benutzungsdauer einer Zahnbürste die schlecht gerundeten Borstenenden durch den Gebrauch abgerundet werden können, ist eine primär ausreichende Qualität der Borsten vorteilhaft. Diese konnte jedoch nur bei der Hälfte der untersuchten Zahnbürsten beobachtet werden.

HENDRIK MEYER-LUECKEL^a, NADINE BORCHERT^a,
MARKUS ROGGENSACK^b, INKA MUNZ^c und
ANDREJ M. KIELBASSA^a

^a Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie und

^b Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Campus Benjamin Franklin, Charité – Universitätsmedizin Berlin

^c Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie, Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Schweiz Monatsschr Zahnmed 114: 564–572 (2004)

Schlüsselwörter:

Kariesprophylaxe, Borstenendabrundung, Formfaktor, Kinderzahnbürsten, Rasterelektronenmikroskopie

Zur Veröffentlichung angenommen: 2. Februar 2004

Korrespondenzadresse:

Dr. H. Meyer-Lueckel

Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie,
Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,
Campus Benjamin Franklin, Charité – Universitätsmedizin
Berlin, Assmannshäuserstr. 4–6, D-14197 Berlin

Tel. +49-30-84456106, Fax +49-30-84456204

E-Mail: hendrik.meyer-lueckel@charite.de

Einleitung

Bereits 1948 wurden in mikroskopischen Untersuchungen Gingivaläsionen nachgewiesen, die durch die Anwendung von scharfkantigen Borstenenden verursacht wurden (BASS 1948). In einem Doppelblindversuch konnte für nicht endabgerundete Borsten eine um 30% grössere gingivale Abrasion im Vergleich zu endabgerundeten Borsten beobachtet werden (BREITENMOSER et al. 1979). Insbesondere bei Patienten, die eine gute Mundhygiene betreiben, scheint die Prävalenz gingivaler Irritatio-

nen durch den Gebrauch scharfkantiger Zahnbürsten erhöht (SANGNES & GJERMO 1976). In einer weiteren Studie wurde eine tendenziell stärkere Abrasion für spitz zulaufende Borsten im Vergleich zu endgerundeten Filamenten bestätigt (DANSER et al. 1998).

In zahlreichen Studien wurden für verschiedene Marken und Hersteller von Zahnbürsten teilweise sehr unterschiedliche Borstenqualitäten festgestellt (HENSCHKE et al. 1978, KOCKAPAN & WETZEL 1987, SILVERSTONE & FEATHERSTONE 1988, ALTHAUS et al. 1990, MÜLLER et al. 1992, RAWLS et al. 1993a&b, DELLERMAN et al. 1994, BIENENGRÄBER et al. 1995). In den letzten acht Jahren wurden zu dieser Problematik allerdings nur zwei weitere Untersuchungen veröffentlicht (CHECCHI et al. 2001, JUNG et al. 2003). In einer dieser beiden Studien wurde bei einem Grossteil der 31 untersuchten Marken nur eine schlechte Qualität der Endabrundung beobachtet. Deshalb scheint eine regelmässige Überprüfung der Borstenqualität durch unabhängige Untersucher durchaus sinnvoll.

In der vorliegenden Studie wurde die Qualität der Borstenendabrundung von zehn im deutschsprachigen Raum erhältlichen Kinderzahnbürsten anhand von rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen im Winkel von 45° zur Borstenachse bestimmt.

Materialien und Methoden

Auswahl und Vorbereitung der Zahnbürsten

Jeweils vier Bürsten zehn verschiedener Zahnbürstenmarken (Elmex Lernzahnbürste®, Aronal Öko Dent Kinder®, Signal Kids®, Dr. Best Milchzahn®, Dr. Best Best Friends®, Colgate Grip'Ems®, Colgate My First®, Oral B Mickey for Kids®, Oral B Disneys' Mickey Mouse®, Blend-a-med Blendi®) wurden im freien Handel in Süddeutschland erworben (Tab. I). Zunächst

Tab. I Zehn verschiedene Zahnbürstenmarken wurden in der Studie rasterelektronenmikroskopisch untersucht.

Name	Hersteller
Elmex Lernzahnbürste®	Gaba, D-Lörrach
Aronal Öko Dent Kinder®	
Signal Kids®	Lever Fabergé, D-Hamburg
Dr. Best Milchzahn®	Glaxo Smith Kline Consumer Healthcare, D-Brühl
Dr. Best Best Friends®	
Colgate Grip'Ems®	Colgate-Palmolive, D-Hamburg
Colgate My First®	
Oral B Mickey for Kids®	Gillette Gruppe, D-Kronberg
Oral B Disneys' Mickey Mouse®	
Blend-a-med Blendi®	Blend-a-med-Forschung, D-Schwalbach

wurden die Büschel (Tufts) jeder Marke, in Anlehnung an eine frühere Studien (SILVERSTONE & FEATHERSTONE 1988) nummeriert. Das Büschel, welches am linken oberen Rand des Borstenfeldes am Bürstenkopfe gelegen war, wurde als Nummer 1 definiert. Die übrigen Büschel wurden reihenweise bis zu dem auf der rechten Seite im Bürstenschaftbereich liegenden Büschel durchnummeriert. Pro Zahnbürstenmarke wurden hiernach fünf Tufts pro Bürste zufällig ausgewählt und die nicht benötigten Büschel mit einer chirurgischen Schere (Hu Friedy, Leimen, Deutschland) abgeschnitten (Abb. 1).

Anschliessend wurden die Griffe mithilfe einer diamantierten Säge (Trennschleifsystem, Exakt Apparatebau, Norderstedt, Deutschland) entfernt. Die Bürstenköpfe wurden in 70%igem Alkohol im Ultraschallbad (Sonorex RK 102H; Bandelin, Berlin, Deutschland) entfettet und im Wärmeschrank (Heraeus Instruments, Hanau, Deutschland) getrocknet. Danach erfolgte die Fixierung der auf diese Weise vorbereiteten Bürstenköpfe auf

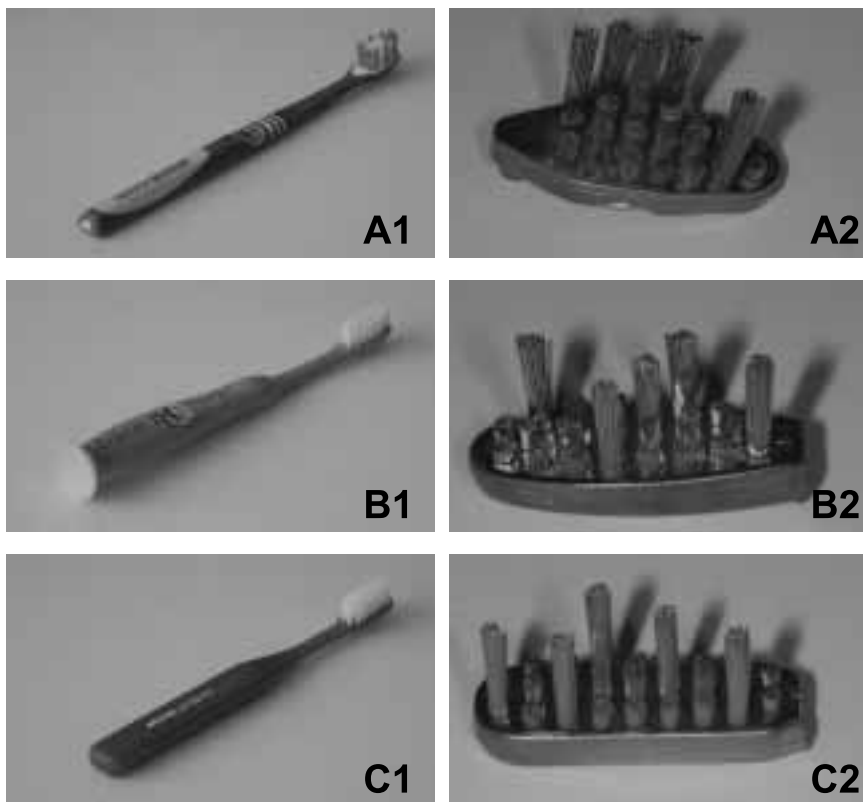


Abb. 1 Exemplarische Darstellung der Zahnbürsten und der präparierten Bürstenköpfe von drei der zehn untersuchten Zahnbürstenmarken. Im Gegensatz zu den Marken Aronal Öko Dent Kinder® (A1) und Dr. Best Milchzahn® (C1) weist Signal Kids® (B1) eine für Kleinkinder gut geeignete Griffgestaltung auf. Anhand der zur rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung vorbereiteten Bürstenköpfe erkennt man die drei- (B2, C2) bzw. vierreihige Gestaltung (A2) des Borstenfeldes.

Probenhaltern (Plano; Wetzlar, Deutschland) mit einem leitfähigen Kleber (Silver Print, Tokyo, Japan). Nach erneuter Trocknung im Wärmeschrank wurden die Proben mit Gold besputtert (Abb. 1). Während der Kathodenzerstäubung (120 s) wurden die Proben gedreht (4,5 U/min), um eine annähernd konstante Goldschicht zu erhalten. Zur Vermeidung von Überhitzungen wurden die Proben in einem möglichst weiten Abstand zur Kathode fixiert (Sputter-Coater SCD 030; Blazers Union, Blazers, Lichtenstein).

Nachdem die Bürstenköpfe auf diese Weise von einer Person (I.M.) vorbereitet worden waren, wurden nun den einzelnen Marken Nummern zugeordnet (H.M.L.), sodass die eigentliche Auswertung der Qualität der Borstenenden für den Untersucher (N.B.) blind durchgeführt werden konnte.

Zur Überprüfung der Reliabilität wurden pro Marke zwei Büschel von zwei unterschiedlichen Bürsten ausgewählt. Unabhängig von der zuvor durchgeführten Messung und der visuellen Beurteilung erfolgte eine erneute Bewertung derselben sechs Borstenenden eines jeden Büschels.

Aufnahmen im Rasterelektronenmikroskop und Auswertung der REM-Bilder

Von den fünf Tufts einer jeden Bürste wurden rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen (CamScan MaXim 2040; Camscan,

Cambridge, England) im Winkel von 45° zur Borstenachse bei einer 45fachen Vergrößerung angefertigt. Sechs überlagerungsfrei dargestellte Borsten wurden zufällig aus den ersten drei Reihen eines jeden Büschels ausgewählt. Somit wurden pro Zahnbürstenmarke 120 Borsten untersucht. Die Klassifizierung der Endabrundung der ausgewählten Borstenenden erfolgte zum einen visuell mit Hilfe einer in der Literatur beschriebenen Gradeinteilung (SILVERSTONE & FEATHERSTONE 1988); die Oberflächenqualität wurde nach einem neu definierten Schema beurteilt (Abb. 2).

Darüber hinaus erfolgte mithilfe eines geeigneten Bildverarbeitungsprogramms (IMAGE C; IMTRONIC GmbH, Berlin) die computergestützte Bewertung der Qualität der Borstenenden (RAWLS et al. 1993a & b). Die Berechnung der Fläche (A) erfolgte nach Umfahrungen des Umfanges des Borstenendes (u) und Einzeichnen des Durchmessers (d) computergestützt (Pentium 3). Der Übergang von der geraden Linie der Borste in die Konkavität bzw. Konvexität des Borstenendes definierte hierbei den jeweiligen Startpunkt der Messung (Abb. 3). Die gemessenen Werte für den Umfang wurden von einem Halbkreis auf einen Kreis umgerechnet, um diese in Anlehnung an die in der Literatur beschriebenen Formfaktoranalyse, die sich auf einen Kreis bezieht, auswerten zu können (RAWLS et al. 1993a&b). Über die Formfaktoranalyse ist eine zweidimensionale Darstellung des

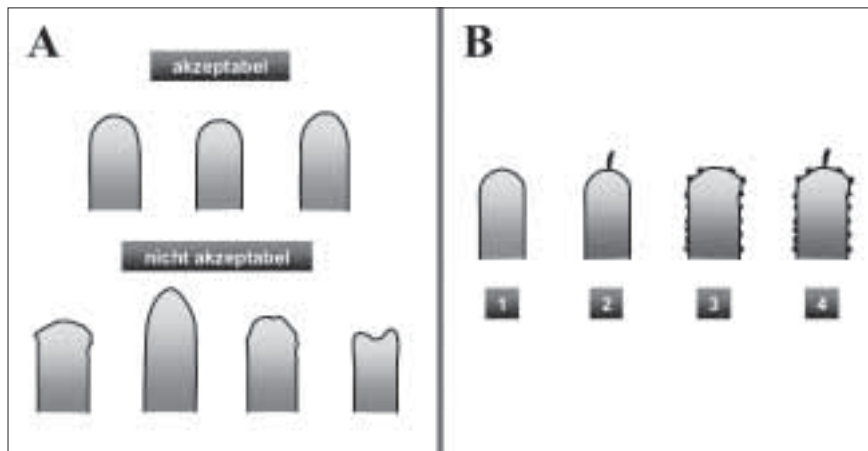


Abb.2 Sowohl die Abrundung (A) als auch die Oberflächenqualität (B) der Borstenenden wurden rein visuell nach zuvor definierten Schemata beurteilt.

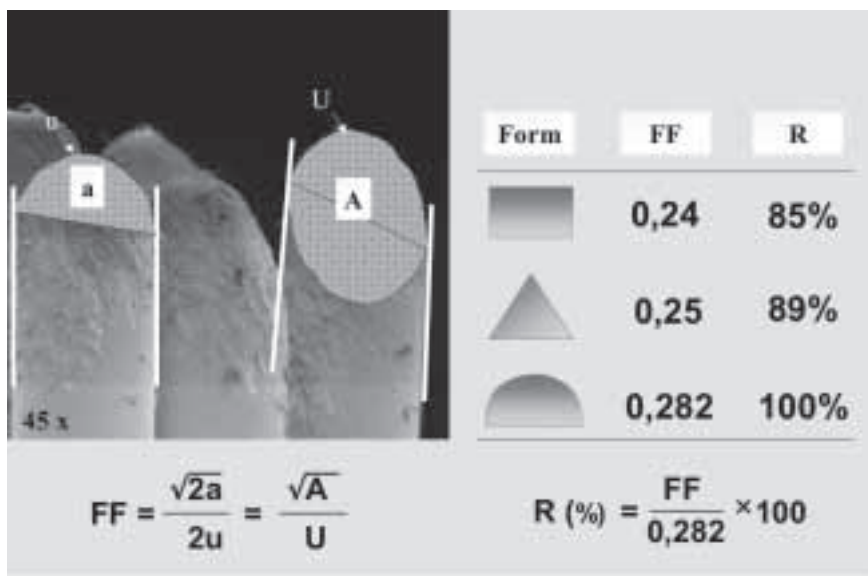


Abb.3 Bei der Formfaktoranalyse wird das Verhältnis der Fläche zum Umfang eines der Form des Borstenenden entsprechenden Körpers berechnet. Spitz zulaufende und stark abgeflachte Borstenenden haben hierbei einen geringeren Formfaktor als der eines Kreises (FF=0,282). Die prozentuale Rundung (R) errechnet sich aus dem Verhältnis des gemessenen FF zu dem Maximalwert (0,282).

Grades der Endabrundung von Zahnbürstenborsten möglich. Sie basiert auf dem Verhältnis der Fläche (A) zum Umfang (U). Theoretisch hat ein Kreis eine maximale Rundung mit einem Formfaktor $FF = \sqrt{A/U} = 0,282$. Eine gerade Linie dagegen hat einen Formfaktor von null. Dies sind die oberen und unteren Grenzwerte in einer Bewertungsskala, um den Grad der relativen Rundung von Objekten ausdrücken zu können. Borsten mit flach abgeschnittenen, unebenen oder spitz zulaufenden Enden haben somit einen niedrigen Formfaktor. Bei einem rechteckigen Borstenende beträgt der Formfaktor etwa 0,24, bei einem dreieckigen dagegen etwa 0,25. Der Formfaktor kann auch als prozentualer Wert ausgedrückt werden. Dabei wird er als prozentualer Anteil von der maximal zu erreichenden Rundung (R) dargestellt ($R [\%] = 100 \times FF / 0,282$) (Abb. 3). Zur Vereinfachung der Darstellung wurden zwei Grenzwerte der Rundung (R) festgelegt. Borsten mit einem R-Wert über 96% wurden demnach als qualitativ ausreichend abgerundet bewertet; Borsten mit einem R-Wert unter 89% wurden hingegen als besonders schädigend eingestuft.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten der computergestützten und visuellen Analyse der Borstenenden sowie der Borstenoberflächen erfolgte mit SPSS (SPSS GmbH, Version 11.5). Die Mittelwerte der Formfaktoren verschiedener Zahnbürstenmarken wurden verglichen (ANOVA, Bonferroni). Sowohl die Anzahl der Borsten, die einer der beiden visuell bestimmten Rundungs- bzw. eine der vier Oberflächenqualitäten zugeordnet wurden, als auch die Anzahl der Borsten unter bzw. oberhalb der beiden festgelegten Grenzwerte der Formfaktoranalyse wurden mit dem adjustierten Chi-Quadrat-Test verglichen. Eventuelle Unterschiede zwischen den Wiederholungsmessungen wurden mit dem Wilcoxon-Test überprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt.

Resultate

Qualitative Darstellung der untersuchten Borsten

Die exemplarische Darstellung der Büschel der verschiedenen Zahnbürstenmarken anhand von rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen verdeutlicht die unterschiedliche Qualität der Borsten (Abb. 4). Die Filamente der Marken Aronal Öko Dent Kinder® (Abb. 4A) und Elmex Lernzahnbürste® waren akzeptabel abgerundet und hatten eine glatte Borstenoberfläche. Eine ähnlich gute Oberflächenbeschaffenheit war bei Colgate Grip'Ems® (Abb. 4C) zu beobachten. Allerdings waren die Borstenenden lanzettartig geformt und somit nichtakzeptabel abgerundet.

Die Marken Signal Kids® und Dr. Best Best Friends® (Abb. 4B) wiesen teilweise nichtakzeptabel abgerundete Borsten mit unregelmässiger Oberfläche und Kunststoffüberschüssen an den Borstenenden auf.

Die Borsten der Zahnbürsten Dr. Best Milchzahn®, Oral B Disneys' Mickey Mouse® (Abb. 4E) und Blend-a-med Blendi® (Abb. 4F) waren zwar grösstenteils akzeptabel abgerundet, hatten aber gleichzeitig zum Teil imperfekte Oberflächen. Die Marken Oral B Mickey for Kids® (Abb. 4D) und Colgate My First® besaßen hingegen neben der schlechten Oberflächenqualität häufig eine nicht akzeptable Abrundung ihrer Borstenenden.

Quantitative Auswertung der Beschaffenheit der Borsten

Der höchste mittlere Formfaktor der untersuchten Borsten (n=120 pro Gruppe) wurde für die Zahnbürstenmarke Aronal

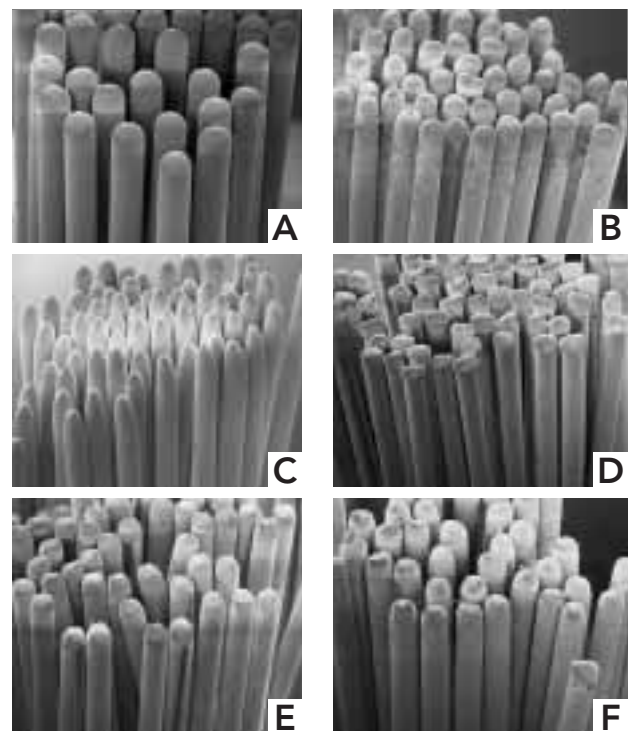


Abb. 4 Exemplarische rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines Büschels sechs verschiedener Zahnbürstenmarken.

Öko Dent Kinder® errechnet (0,278) (Abb. 5). Einen ähnlich hohen Mittelwert wiesen die Marken Elmex Lernzahnbürste® (0,277) und Dr. Best Milchzahn® (0,277) auf ($p > 0,05$; ANOVA, post hoc Bonferroni). Signifikant schlechtere Mittelwerte wurden dagegen für die Marken Signal Kids® (0,273), Oral B Mickey for Kids® (0,271), Colgate Grip'Ems® (0,267) und Colgate My First® (0,258) gefunden ($p < 0,05$).

Eine vergleichbare Reihung der Marken zeigt die Darstellung der prozentualen Verteilung der visuell als akzeptabel bewerteten Borstenenden. Die Marken mit niedrigen Mittelwerten bei der Formfaktoranalyse (Signal Kids®, Oral B Mickey for Kids®, Colgate Grip'Ems® und Colgate My First®) hatten zu 45–64 Prozent akzeptabel abgerundete Borsten (Tab. II). Betrachtet man hingegen die Anzahl der Borsten mit einem sehr hohen Schädigungspotenzial ($FF < 89\%$), erkennt man vor allem bei Colgate My First® ein signifikant gehäuftes Vorkommen dieser Qualität (27%; $p < 0,05$, Chi-Quadrat-Test). Eine erhöhte Anzahl an Borsten (3–12 Prozent), die mit einem $FF < 89\%$ bewertet wurden, konnte darüber hinaus bei vier weiteren Marken (Signal Kids®, Oral B Mickey for Kids®, Colgate Grip'Ems®, Blend-a-med Blendi®) gefunden werden. Die Auswertung der Borsten mit einem $FF > 96\%$ verdeutlicht ebenfalls die signifikant schlechtere Abrundungsqualität der Borsten der Marken Colgate Grip'Ems® und Colgate My First® ($p < 0,05$; Chi-Quadrat-Test).

Die Abbildung 6 zeigt den prozentualen Anteil der Borsten unterhalb der jeweiligen Schwellenwerte der Formfaktoren (89%, 93%, 96%, 99%). Je weiter die Kurve im rechten unteren Bereich verläuft, desto niedriger ist das Schädigungspotenzial der entsprechenden Borste. Die Zahnbürste Colgate My First® hatte somit von den drei dargestellten Marken das höchste Schädigungspotenzial, während die Borsten der Marken Oral B Mickey for Kids® und Elmex Lernzahnbürste® besser abgerundet waren und demnach ein geringeres Schädigungspotenzial aufwiesen.

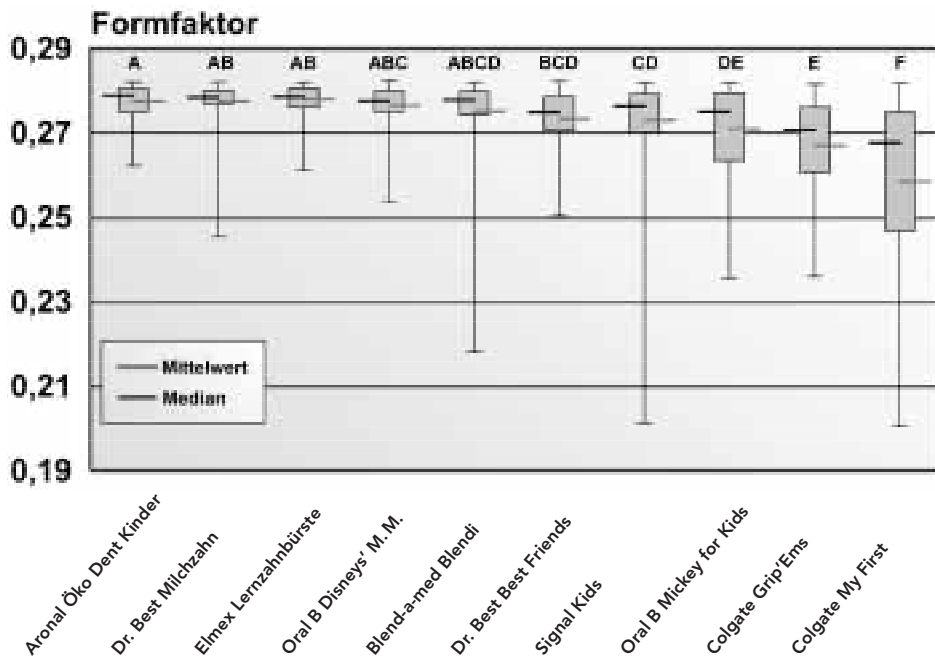


Abb.5 Box-and-whisker-Plots der Formfaktoren der Borsten der untersuchten zehn Zahnbürstenmarken. Marken mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$; ANOVA, Bonferroni).

Tab.II Prozentualer Anteil der Borsten, deren Endabrundung rein visuell als akzeptabel bewertet wurde, sowie der mit der FF-Analyse mit einer schlechten Abrundung ($FF < 89\%$) bzw. mit einer ausreichenden Abrundung ($FF > 96\%$) bewerteten Borsten. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Marken einer jeden Beurteilung sind durch verschiedene Buchstaben ersichtlich ($p < 0,05$; adjustierter Chi-Quadrat-Test).

Marke	Visuell		FF < 89%		FF > 96%	
	%	Sign.	%	Sign.	%	Sign.
Aronal Öko Dent Kinder	98	A	0	A	97	A
Dr. Best Milchzahn	97	A	0	A	96	A
Elmex Lernzahnbürste	98	A	0	A	94	A
Oral B Disney's M. M.	88	AB	0	A	91	A
Blend-a-med Blendi	88	AB	3	AB	88	A
Dr. Best Best Friends	82	BC	1	A	72	B
Signal Kids	64	CD	4	AB	73	B
Oral B Mickey for Kids	62	D	7	AB	60	BC
Colgate Grip'Ems	45	D	12	B	45	C
Colgate My First	54	D	27	C	43	C

Anhand der Auswertung der Oberflächenbeschaffenheit wird deutlich, dass Borsten von gut abgerundeten Zahnbürstenmarken zum Teil eine schlechte Qualität der Borstenoberfläche aufwiesen (Dr. Best Milchzahn®, Dr. Best Best Friends®), aber dass auch lanzenartige Borstenenden sehr glatt waren (Colgate Grip'Ems®) (Abb. 7).

Die Reliabilitätsprüfung ergab keine Abweichungen zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ($p > 0,05$; Wilcoxon).

Diskussion

In einigen Studien konnte ein erhöhtes Verletzungsrisiko durch die Benutzung von scharfen, nicht abgerundeten Borsten auf die Gingiva aufgezeigt werden (BREITENMOSER et al. 1979). Die Prävalenz gingivaler Irritationen scheint durch den Gebrauch scharfkantiger Zahnbürsten, insbesondere bei Patienten, die eine gute

Mundhygiene betreiben, erhöht (SANGNES & GJERMO 1976). In einer «Split-mouth-Studie» konnte für spitz zulaufende Borsten eine tendenziell stärkere Abrasion im Vergleich zu endgerundeten Filamenten bestätigt werden. Hierbei wurden bereits nach einer einmaligen Putzdauer von 60 Sekunden gingivale Veränderungen beobachtet. Die tendenziellen Unterschiede zwischen gerundeten und spitzen Borsten könnten somit bei einem längeren Anwendungszeitraum deutlicher hervortreten. Borsten mit einem höheren Schädigungspotenzial, wie abgeflachte oder lanzenartige Borstenenden, wurden in diese Untersuchung allerdings nicht miteinbezogen (DANSER et al. 1998). Insgesamt scheint eine primäre Abrundung der Borstenenden somit vorteilhaft.

Ein häufiges Argument gegen die aufwändige Abrundung von Borsten ist die Beobachtung, dass schlecht gerundete Borsten bereits durch die normale Benutzung abgerundet werden. Während jedoch eine dreiwöchige Benutzung einer Zahnbürste mit inadäquater Borstenabrundung zu keiner akzeptablen Formveränderung der Borsten führte (KLIMA & ROSSIWALL 1976), wurde in einer anderen Studie bereits nach wenigen Minuten Putzdauer eine Abflachung von ursprünglich abgerundeten Borsten beobachtet (MCLEY et al. 1997). Allerdings wurden in dieser Studie benutzte Borsten mit unbenutzten Borsten einer anderen Zahnbürste derselben Marke verglichen. Hierbei wurde festgestellt, dass die unbenutzten Borsten schlecht abgerundet waren, während die Borsten der benutzten Zahnbürste nach dem Putzen eine gute Abrundung besaßen. Dieses Studiendesign könnte zu falschen Ergebnissen führen, da die nach der Benutzung untersuchten Borsten bereits primär endabgerundet gewesen sein könnten und dies gerade eben nicht durch den Putzvorgang entstanden ist. Allerdings wurde in einer anderen Studie zumindest für harte Borsten nach mehrmaligem Gebrauch eine Abrundung der Filamente festgestellt (MASSASSATI & FRANK 1982). Die Abnutzung der Borsten scheint bei der Benutzung einer abrasiven Zahnpasta sogar erhöht (LENTZ et al. 1991). In einer älteren Untersuchung wurde hingegen auch nach mehrwöchiger Benutzung keine Abrundung der Borsten beobachtet (KLIMA & ROSSIWALL 1976). Die Problematik der Traumatisierung der Gingiva durch scharfkantige Borstenenden scheint somit durch primär nicht abgerundete Borsten wahrscheinlich. Deshalb sollte die

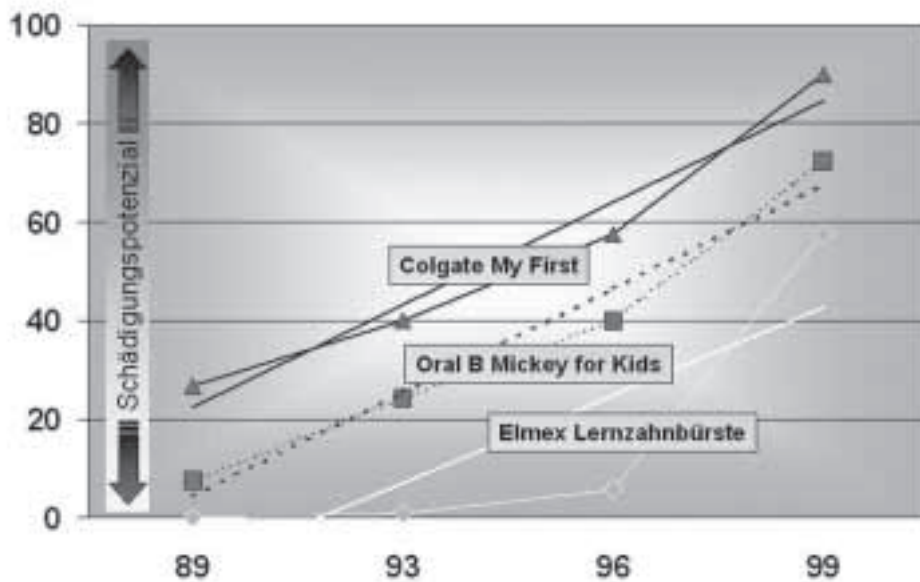


Abb.6 Exemplarische Darstellung des Schädigungspotenzials anhand von drei Zahnbürstenmarken. Das Schädigungspotenzial ist umso geringer, je näher die Kurve der prozentualen Verteilung der Formfaktoren und die dazugehörige Trendlinie nach unten rechts verschoben ist.

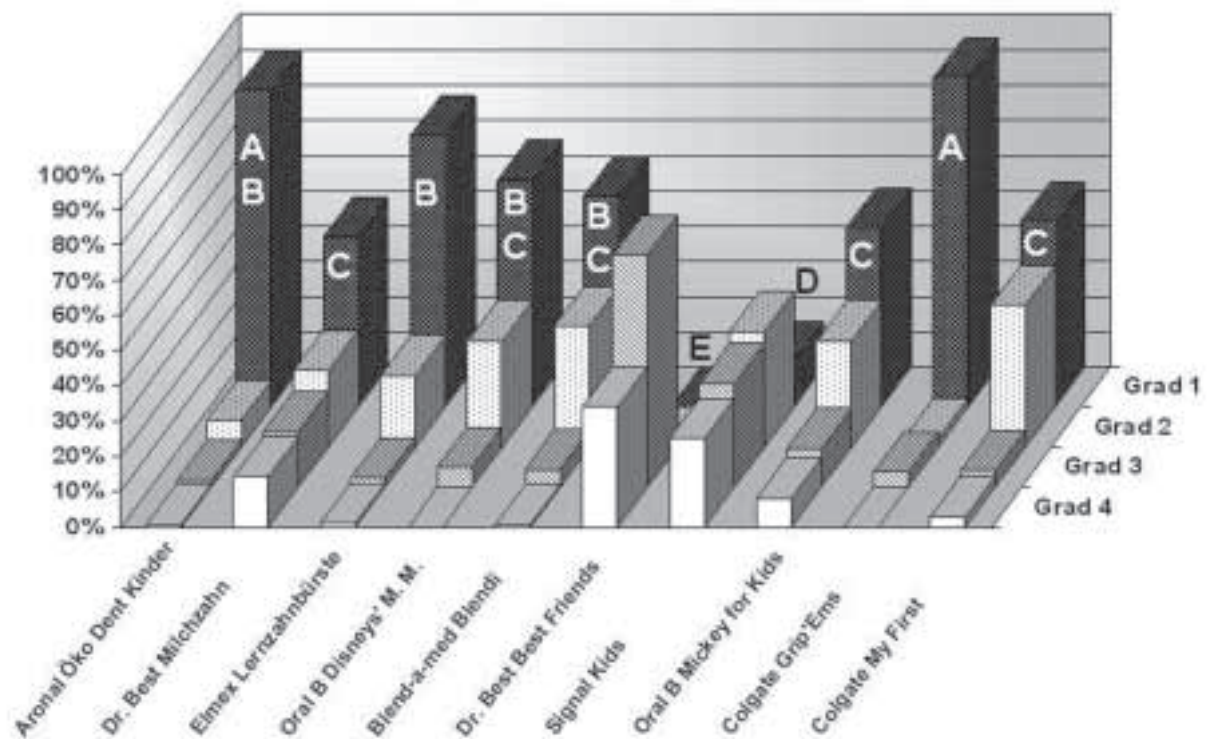


Abb. 7 Prozentuale Verteilung der Oberflächenqualitäten der einzelne Zahnbürstenmarken. Der Borstenanteil der jeweiligen Marken mit einer glatten Oberfläche (Grad 1) ist in der hinteren Säulenreihe dargestellt. Die Säulen in den drei Reihen davor beinhalten den Anteil der Borsten mit den Oberflächenformen Grad 2, Grad 3 und Grad 4. Statistisch signifikante Unterschiede der Anzahl der Borsten, die mit Grad 1 bewertet wurden, sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet ($p < 0,05$; adjustierter Chi-Quadrat-Test).

Herstellung von gut abgerundeten Borsten angestrebt werden. In der Vergangenheit wurde die Borstenendabrundung mithilfe verschiedener Methoden untersucht. Die Vergrößerung der Filamente erfolgte hierbei entweder rasterelektronen- (REM) oder lichtmikroskopisch im 45°- bzw. 90°-Winkel zur Borstenachse (ALTHAUS et al. 1990, MÜLLER et al. 1992, MULRY et al. 1992,

RAWLS et al. 1993b, DELLERMAN et al. 1994, BIENENGRÄBER et al. 1995). Eigene Untersuchungen, in denen das Rasterelektronenmikroskop zur Vergrößerung benutzt wurde, zeigten keine Unterschiede in der Beurteilung der Borstenenden in einem Winkel von 45° bzw. 90°. Da in einem Winkel von 45° jedoch eine größere Anzahl der Borsten eines Tufts darstellbar ist, scheint dieser

Winkel zur Bestimmung der Endabrundung von Borsten vorteilhaft (MEYER-LUECKEL et al. 2004).

Mit der relativ scharfen rasterelektronenmikroskopischen Abbildung der Borsten kann darüber hinaus die Oberfläche beurteilt werden. Die bessere Tiefenschärfe und der dreidimensionale Eindruck der abgebildeten Objekte erlaubt zudem eine Klassifizierung mehrerer Borsten innerhalb eines Tufts (DRISKO et al. 1995). Das Lichtmikroskop scheint für eine allgemeine Einteilung der Borsten allerdings ausreichend zu sein (DELLERMAN et al. 1994). Bei beiden Methoden sollte jedoch berücksichtigt werden, dass eine dreidimensionale Borste in einer zweidimensionalen Abbildung dargestellt wird und eine Analyse des nicht sichtbaren Bereiches nicht möglich ist. Deshalb sind bei der üblicherweise vorgenommenen Betrachtung einer Borste von nur einer Seite falsch positive Ergebnisse zu erwarten (DRISKO et al. 1995, MEYER-LUECKEL et al. 2004).

Zur rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung werden die meisten Objekte im Sputter-Coater-Verfahren mit Gold bedampft. Je näher das Objekt hierbei zur erhitzten Kathode angebracht wird, desto eher wird die ursprüngliche Morphologie der Borste verändert. Ein Abstand von fünf Zentimetern scheint bei einer Sputterzeit von 120 Sekunden jedoch ausreichend, um Veränderungen der ursprünglichen Borstenform zu vermeiden (FRANCHI & CHECCHI 1995).

Heutzutage findet man neben den Zahnbürsten mit einem konventionellen, planen Borstenfeld-Zahnbürsten mit zwei oder drei Borstenebenen auch solche mit einem Wellenprofil. Die Abrundung der Borsten solcher Borstenfelder scheint technisch besonders schwierig, da die Standardmethode, bei der gleich lang geschnittene Borsten in einer Ebene beschliffen und poliert werden, für ein gewelltes Profil nicht anwendbar ist. Mit einem neuen Verfahren scheint es jedoch möglich, solche Borsten ebenso adäquat abzurunden (MULRY et al. 1992, DELLERMAN et al. 1994). Auf Grund der beschriebenen technischen Schwierigkeiten bei der Herstellung der primären Endabrundung von Borsten mit einem gewellten Borstenprofil, sollte eine randomisierte Selektion der Büschel bevorzugt werden. Darüber hinaus ist insbesondere bei Büscheln mit unterschiedlich langen Borsten eine zufällige Auswahl der Borsten sowohl aus der Borstenmitte als auch den Randbereichen zu beachten, da eine primäre Endabrundung auf Grund der Schwierigkeiten bei der grosstechnischen Herstellung nicht für alle Borsten unterschiedlicher Länge gewährleistet sein könnte.

In bisherigen Studien zu der Problematik der Endabrundung von Borsten fehlen häufig Angaben zur Verblindung der Untersucher (DRISKO et al. 1995). In der vorliegenden Studie wurden die Proben von einer Person vorbereitet und nach Kodierung die Anfertigung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen und die Beurteilung der Borstenenden von einem anderen Untersucher durchgeführt. Da dem zweiten Untersucher die Form der Bürstenköpfe bekannt sein könnte, wäre eine totale Verblindung nur gewährleistet gewesen, wenn der erste Untersucher ebenfalls die mikroskopischen Bilder angefertigt hätte und nur die Auswertung durch die zweite Person vorgenommen worden wäre. In der vorliegenden Untersuchung kann eine unzureichende Verblindung jedoch ausgeschlossen werden, da die nach einem zeitlichen Abstand von zwei Monaten durchgeführte Reliabilitätsüberprüfung ohne Kenntnis des Bürstenkopfes durchgeführt wurde.

Die Oberflächenbeschaffenheit der Borsten ist neben der Borstenendabrundung ein weiteres Qualitätsmerkmal einer Zahnbürste. Eine glatte Oberfläche erschwert die Anheftung von Mikroorganismen und somit die Reinfektion der Mundhöhle

(ALTHAUS et al. 1990, BIENENGRÄBER et al. 1995). Bisher wurde diese Rauigkeiten der Borstenoberfläche nur qualitativ beschrieben, sodass eine Klassifizierung der Oberflächenbeschaffenheit in dieser Studie neu definiert wurde.

Die Formfaktoranalyse ist die einzige in der Literatur beschriebene quantitative Methode zur Bestimmung der Endabrundung von Borsten (RAWLS et al. 1993a&b). Hierbei können verschiedene Zahnbürstenmarken entweder durch die prozentuale Zuordnung der gemessenen Formfaktoren unter- bzw. oberhalb bestimmter Grenzwerte (89%, 96%) oder aber durch den Vergleich der Mediane bzw. Mittelwerte der Formfaktoren miteinander verglichen werden. Unterhalb eines Grenzwertes von $FF < 89\%$, der einer dreieckigen spitzen Form des Borstenendes entspricht (Abb. 3), sind die Borsten als inakzeptabel abgerundet zu bewerten. Der prozentuale Anteil der Borsten mit einem $FF > 96\%$ beinhaltet die Borsten mit einer ausreichenden Abrundung. Eine sehr ähnliche prozentuale Verteilung für die einzelnen Marken konnte jedoch auch bei der visuellen Bewertung der Borstenenden nach dem in der Literatur beschriebenen Schema (SILVERSTONE & FEATHERSTONE 1988) evaluiert werden. Auf Grund der schnelleren Durchführung und der zusätzlichen Möglichkeit der Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit, die bei der Formfaktoranalyse nicht berücksichtigt wird (MEYER-LUECKEL et al. 2004), scheint die subjektive visuelle Bewertung vorteilhaft. Dennoch wurde zur Verdeutlichung dieses Ergebnisses auf die aufwändige Auswertung mittels Formfaktorenanalyse nicht verzichtet, zumal beide Auswertungsmethoden bisher noch nicht gleichzeitig angewendet wurden.

In der zugänglichen zahnärztlichen Literatur sind bisher drei Studien zur Endabrundung von Borsten von Kinderzahnbürsten beschrieben (KOCKAPAN & WETZEL 1987, ALTHAUS et al. 1990, RAWLS et al. 1993b). Zum Teil wurden nur qualitative Merkmale der Borsten untersucht (KOCKAPAN & WETZEL 1987), sodass ein Vergleich der Zahnbürsten der verschiedenen Studien nur bedingt möglich ist. Zumindest die vormals lanzenartige Gestaltung der Borsten der Marke Blendi-Kinderzahnbürste® (ALTHAUS et al. 1990) scheint bei dem Nachfolgeprodukt Blend-a-med Blendi® verbessert. Darüber hinaus wurden die in der erwähnten qualitativen Untersuchung für ausreichend abgerundet beurteilten Borsten der Marken Oral B® und Dr. Best® in dieser Studie zumindest als akzeptabel abgerundet bewertet. Die Borsten der Marke Colgate® wurden hingegen in einigen Studien, die vor allem bei Erwachsenenzahnbürsten durchgeführt wurden, als überdurchschnittlich schlecht abgerundet (akzeptabel: 21–55%) evaluiert (SILVERSTONE & FEATHERSTONE 1988, RAWLS et al. 1993a, DELLERMAN et al. 1994), während andere Studien dies wiederum nicht aufzeigen konnten (MÜLLER et al. 1992, BIENENGRÄBER et al. 1995).

Borsten der Marke Oral B® schnitten in früheren Studien unterdurchschnittlich ab, wogegen die Abrundungsqualität dieser Marke in einer anderen Studie als sehr gut beurteilt wurde (BIENENGRÄBER et al. 1995). Die Borsten der Marke Elmex® wurden hingegen meist als gut abgerundet beschrieben (KOCKAPAN & WETZEL 1987, MÜLLER et al. 1992, BIENENGRÄBER et al. 1995). Abschliessend lassen sich jedoch keine generellen Beurteilungen aus den vorhandenen Daten über einzelne Hersteller oder Marken ableiten, sodass die Konstanz der Abrundungs- und Oberflächenqualität der Borsten von Zahnbürsten nur durch regelmässige Untersuchungen überprüft werden kann.

Schlussfolgerung

Die Formfaktoranalyse ist eine zeitaufwändige Methode und lässt keine Aussage über die Oberflächenstruktur einer Borste

zu. Eine randomisierte visuelle Auswertung nach dem von SILVERSTONE & FEATHERSTONE (1988) vorgeschlagenen Schema scheint bei einem guten Training des Untersuchers ausreichend. Hierbei sind REM-Aufnahmen im Winkel von 45° empfehlenswert, da diese eine Auswahl von Borsten aus allen Bereichen eines Büschels ermöglichen. Dies könnte bei Büscheln mit unterschiedlich langen Borsten relevant sein. Darüber hinaus sollte im Sinne der Kriterien einer evidenzbasierten Zahnmedizin eine Verblindung des Untersuchers erfolgen.

Fünf der untersuchten Zahnbürstenmarken (Aronal Öko Dent Kinder®, Dr. Best Milchzahn®, Elmex Lernzahnbürste®, Oral B Disneys' Mickey Mouse® und Blend-a-med Blendi®) wiesen sowohl eine ausreichende Oberflächen- als auch Abrundungsqualität ihrer Borsten auf und sind demnach besonders zu empfehlen.

Verdankung

Die Autoren bedanken sich herzlichst bei Frau Anne-Dore Kähler für die Anfertigung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen.

Summary

MEYER-LUECKEL H, BORCHERT N, ROGGENSACK M, MUNZ I, KIELBASSA A M: **Bristle end-rounding quality of ten commercial children's toothbrushes** (in German). Schweiz Monatsschr Zahnmed 114: 564–572 (2004)

Animal and clinical studies have shown that sharp, unpolished toothbrush bristles may injure gingival tissue, and their contribution to cervical abrasion is widely discussed. The aim of the present study was to compare the end-roundness and smoothness of the bristle tips of ten commercially available children's toothbrushes (Elmex Lernzahnbürste®, Aronal Öko Dent Kinder®, Signal Kids®, Dr. Best Milchzahn®, Dr. Best Best Friends®, Colgate Grip'Ems®, Colgate My First®, Oral B Mickey for Kids®, Oral B Disneys' Mickey Mouse®, Blend-a-med Blendi®). From forty brushes five tufts each were selected randomly and subjected to scanning electron microscopy (45°) at a viewing angle of 45 degrees. On micrographs six bristles located in the first three rows that could clearly be evaluated were analyzed visually for end-rounding and evaluated by shape factor (SF) analysis by a blinded single examiner. Mean SF was reported highest for Aronal Öko Dent Kinder® at 0.278 (± 0.004) followed by Dr. Best Milchzahn® (0.277 [± 0.005]) and Elmex Lernzahnbürste® (0.277 [± 0.005]). These values were significantly different from those found for Colgate My First® (0.258 [± 0.023]) and Colgate Grip'Ems® (0.267 [± 0.012]) ($p < 0.001$; ANOVA, Bonferroni). More than half of the surfaces of the bristle tips examined were rated as non-acceptable for Signal Kids® (75%) and Dr. Best Best Friends® (100%). For all the other brands more than 50% of the bristle surfaces were judged as being acceptable. Despite of being flattened during usage, rounded bristle tips with a smooth surface are desirable. A good quality of bristle tips could only be observed in half of the brands examined.

Résumé

Sur la base d'un grand nombre de recherches en laboratoire et sur les animaux, il a pu être démontré que les poils mal arrondis de brosses à dents provoquaient des effets dommageables sur la gencive et l'émail. Le but de cette étude a été de comparer l'arrondi et la qualité de la surface de poils provenant de brosses

à dents de dix marques différentes. (Elmex Lernzahnbürste®, Aronal Öko Dent Kinder®, Signal Kids®, Dr. Best Milchzahn®, Dr. Best Friends®, Colgate Grip'Ems®, Colgate My First®, Oral B Mickey for Kids®, Oral B Disneys' Mickey Mouse®, Blend-a-med Blendi®). Quatre brosses à dents de chaque marque ont été choisies au hasard pour une analyse au microscope électronique à balayage. Des micrographies (45×) de six touffes de chaque brosse ont été prises sous un angle de 45° par rapport à l'axe des poils. À l'aide d'un schéma qualitatif et d'une soi-disant analyse de forme, six poils situés dans les trois premières rangées d'une touffe ont été jugés à l'aveuglette par un examinateur. Le meilleur facteur de forme trouvé a été celui d'Aronal Öko Dent Kinder®, avec une valeur moyenne (SD) de 0,278 ($\pm 0,004$), suivi de celui du Dr. Best Milchzahn® (0,277 [$\pm 0,005$]) et de Elmex Lernzahnbürste® (0,277 [$\pm 0,005$]). Ces valeurs étaient significativement différentes de celles de Colgate My First® (0,258 [$\pm 0,023$]) et de Colgate Grip'Ems® (0,267 [$\pm 0,012$]) ($p < 0,001$; ANOVA, Bonferroni). Pour plus de 50% des brosses à dents de deux modèles étudiés, la qualité de surface des poils a été jugée inacceptable (Signal Kids® [75%]; Dr. Best Friends® [100%]). Bien qu'il existe la possibilité d'arrondir l'extrémité des poils à force d'utiliser la brosse à dents, il est préférable d'avoir des poils de qualité suffisante dès le début de son utilisation. Ceci n'a pourtant été observé que pour la moitié des brosses étudiées.

Literaturverzeichnis

- ALTHAUS D, KOCKAPAN C, WETZEL W E: Borstenabrundung und Besteckung bei Kinderzahnbürstenmarken. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 159–164 (1990)
- BASS C C: The optimum characteristics of toothbrushes for personal oral hygiene. Dent Items Int 70: 697–718 (1948)
- BIENENGRÄBER V, SPONHOLZ H, HAGIN J: Abrundungs- und Besteckungsqualität der Borsten fabrikneuer und benutzter Erwachsenen-Zahnbürsten. Dtsch Zahnärztl Z 50: 517–524 (1995)
- BREITENMOSER J, MORMANN W, MUHLEMANN H R: Damaging effects of toothbrush bristle end form on gingiva. J Periodontol 50: 212–216 (1979)
- CHECCHI L, MINGUZZI S, FRANCHI M, FORTELEONI G: Toothbrush filaments end-rounding: stereomicroscope analysis. J Clin Periodontol 28: 360–364 (2001)
- DANSER M M, TIMMERMAN M F, Y I J, BULTHUIS H, VAN DER VELDEN U, VAN DER WEIJDEN G A: Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing. J Clin Periodontol 25: 701–706 (1998)
- DELLERMAN P A, BURKETT T A, KREYLING K M: A comparative evaluation of the percent acceptable end-rounded bristles: Butler G. U. M., Colgate Plus, Crest Complete, and Reach. J Clin Dent 5: 38–45 (1994)
- DRISKO C, HENDERSON R, YANCY J: A review of current toothbrush bristle end-rounding studies. Compend Contin Educ Dent 16: 694–698 (1995)
- FRANCHI M, CHECCHI L: Temperature dependence of toothbrush bristle morphology. An ultrastructural study. J Clin Periodontol 22: 655–658. (1995)
- HENSCHKE B, LANGE D E, VAHL J: Vergleichende rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Zahnbürsten mit Kunststoff- und Naturborsten. Dtsch Zahnärztl Z 33: 220–222 (1978)
- JUNG M, KOCKAPAN C, WETZEL W E: Bristle end rounding of manual toothbrushes and reproducibility of end rounding classification. Am J Dent 16: 299–304 (2003)

- Klima J, Rossiwall B: Zur Gestaltung von Zahnbürstenborsten – Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen. *Quintessenz* 27: 113–119 (1976)
- KOCKAPAN C, WETZEL W E: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Borstenenden verschiedener Kinderzahnbürsten. *Oralprophylaxe* 9: 77–84 (1987)
- LENTZ D L, MCDANIEL M D, TOLBERT W E, DEAN D H: Toothbrush abrasion caused by different dentifrices. *Quintessence Int* 22: 985–988 (1991)
- MASSASSATI A, FRANK R M: Scanning electron microscopy of unused and used manual toothbrushes. *J Clin Periodontol* 9: 148–161 (1982)
- MCLEY L, BOYD R L, SARKER S: Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: relative degree of bristle end-rounding. *J Clin Dent* 8: 86–90 (1997)
- MEYER-LUECKEL H, RENZ H, HOPFENMULLER W, KIELBASSA A M: Bristle end-rounding in toothbrushes: A comparison of different evaluation techniques. *J Clin Dent* 15 (in press): (2004)
- MÜLLER P J, KOCKAPAN C, WETZEL W E: Borstenverankerung und Borstenendabrundung bei Erwachsenenzahnbürsten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102: 38–46 (1992)
- MULRY C A, DELLERMAN P A, LUDWA R J, WHITE D J, WILD J E: A comparison of the end-rounding of nylon bristles in commercial toothbrushes: Crest Complete and Oral-B. *J Clin Dent* 3: 47–50 (1992)
- RAWLS H R, SMITH N K, LENTZ D L, COBB G W, JR., BAILEY M S: An electron microscopic comparison of bristle end-rounding of three commercial toothbrushes. *J Clin Dent* 4: 96–100 (1993a)
- RAWLS H R, VAN GELDER R, SMITH N K, JEPPESEN M, YUAN C: Bristle end-rounding in children's toothbrushes: a comparative study. *J Clin Dent* 4: 61–66 (1993b)
- SANGNES G, GJERMO P: Prevalence of oral soft and hard tissue lesions related to mechanical toothcleansing procedures. *Community Dent Oral Epidemiol* 4: 77–83 (1976)
- SILVERSTONE L M, FEATHERSTONE M J: Examination of the end rounding pattern of toothbrush bristles using scanning electron microscopy: a comparison of eight toothbrush types. *Gerodontics* 4: 45–62 (1988)