

Aus der Abteilung Präventive Zahnmedizin,
Parodontologie und Kariologie

(Komm. Dir.: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann)

im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Prüfung der Anwendbarkeit des Laser-Scanning-Mikroskopes
zur Bewertung der Abnutzung
von Zahnbürstenborsten

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Franziska Teske geb. Gärtner
aus Hoyerswerda

Göttingen 2013

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

- I. Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. R. F. Mausberg
- II. Berichterstatter/in: Priv.-Doz. Dr. med. Männer
- III. Berichterstatter/in: Prof. Dr. med. Miosge

Tag der mündlichen Prüfung: 19.11.2013

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1. Einleitung	3
2. Literaturübersicht	5
2.1 Entwicklung der Mundhygiene	5
2.2 Forderungen an Zahnbürsten	6
2.2.1 Maße	6
2.2.2 Griff	7
2.2.3 Profil	7
2.2.4 Borstenfeldhärte	9
2.2.5 Material und Borstenabrundung	9
2.2.6 Kontamination von Zahnbürsten	10
2.2.7 Putzgewohnheiten	11
2.2.7.1 Gebrauchsdauer der Handzahnbürste	11
2.2.7.2 Zeitdauer des Zähneputzens	12
2.3 Untersuchungsmethoden von Borstenenden	12
2.3.1 Lichtmikroskop	12
2.3.2 Rasterelektronenmikroskop (REM)	13
2.3.3 Laser-Scanning-Mikroskop (LSM)	13
3. Laser - Scanning – Mikroskop - Verfahrensdarstellung	15
3.1 Geschichte	15
3.2 Strahlengang	15
3.3 Prinzip der Bildentstehung	16
3.4 Aufnahmetechnik	16
4. Anwendung der Methode	18
4.1 Zahnbürste	18
4.2 Zahnputzmaschine	19
4.3 Zahnpastaslurry	21
4.4 Vorversuch	22
4.5 Vorbereitung der Zahnbürsten	23
4.6 Versuchsablauf	24
4.7 Bilddarstellung	26

5. Ergebnisse	29
5.1 Fabrikneue Zahnbürsten	29
5.1.1 Aufnahme „a“ – topografische Darstellung	29
5.1.2 Aufnahme „b“ – Höheninformation	30
5.1.3 Aufnahme „d“ – Darstellung mit virtuellem Licht	30
5.2. Zahnbürsten nach 90tägiger Nutzung	31
5.2.1 Aufnahme „a“ – topografische Darstellung	31
5.2.2 Aufnahme „b“ – Höheninformation	31
5.2.3 Aufnahme „d“ – Darstellung mit virtuellem Licht	32
5.3. Zahnbürsten nach 180tägiger Nutzung	32
5.3.1 Aufnahme „a“ – topografische Darstellung	32
5.3.2 Aufnahme „b“ – Höheninformation	33
5.3.3 Aufnahme „d“ – Darstellung mit virtuellem Licht	33
5.4 Vergleich der aufgeführten Ergebnisse	34
6. Diskussion	37
6.1 Benutzerfreundlichkeit – Erlernbarkeit und Arbeit am LSM	37
6.2 Bilddarstellung – Vor- und Nachteile	38
6.2.1 Fotografische Darstellung	38
6.2.2 Topografische Darstellung	39
6.2.3 Höhendarstellung	39
6.2.4 Beleuchtung mit virtuellem Licht	40
6.2.5 Profilmessung	41
6.3 Anwendbarkeit des Laser – Scanning – Mikroskopes	43
6.4 Erster Vergleich der Darstellungsweise der Mikroskope	48
7. Zusammenfassung	54
8. Anhang	55
9. Literaturverzeichnis	62

1. Einleitung

Die manuelle Handzahnbürste, eines der häufigst benutzten Mittel zur Mundhygiene, findet Anwendung bei der Plaquebeseitigung, der Entfernung von Nahrungsresten und bei der Massage der Gingiva. Um die Rolle der physiologischen Mundreinigung, die in unserer Zeit durch die wenig abrasive Nahrung nicht mehr zur alleinigen Säuberung ausreicht, zu ersetzen, muss die Zahnbürste bestimmten Anforderungen genügen. Kunststoffborsten (Perlon, Nylon, Rilsan, Polyurethan) sind gegenüber den Naturborsten vorzuziehen (Sauerwein 1962; Leimgruber 1951; Gülzow 1972; Riethe 1974), da sie keinen Markkanal besitzen und so keine zusätzlichen Retentionsstellen für Bakterien bieten. Dieses Material hat weitere Vorzüge, die eine Besiedlung durch Mikroorganismen vermindern: Es ist nicht hygroskopisch, nicht spaltbar, aber homogen und elastisch (Leimgruber 1951; Gülzow und Busse 1970). Jedoch ist die Retention der Keime nicht nur von diesen Faktoren abhängig. Es sollte nach dem Putzen ein Abspülen sowie eine gründliche Reinigung der Bürste mit anschließendem Trocknen erfolgen (Riethe 1974).

Mit einem kleinen Bürstenkopf und einem planen Borstenfeld (Sauerwein 1962; Leimgruber 1951; Riethe 1974; Gülzow 1972) wird eine bessere Reinigungswirkung erzielt, da durch diese Gestalt alle Bereiche des Gebisses mühelos erreicht werden können. Durch eine leicht abgewinkelte oder kontrawinklige Form des Zahnbürstengriffes erzielt man ebenfalls eine Steigerung der Reinigung (Gülzow 1972; Allet et al. 1972; Sauerwein 1962).

Bei einer vergleichenden Untersuchung von multi- und space-tufted Bürsten stellten Bay et al. (1967) bei den multi-tufted Bürsten eine signifikant höhere Plaquereduktion fest.

Zahnpasta hat beim Zähneputzen eine unterstützende Wirkung und setzt durch die in ihr enthaltenen Stoffe (Schleifmittel) die Putzzeit um etwa 30% herab (Gülzow und Busse 1970). Trotzdem sollte für eine optimale Reinigung eine Putzdauer von 4 ½ Minuten angestrebt werden (Gülzow und Busse 1970).

Dringend empfiehlt sich, die Borsten abzurunden (Klima und Rossiwall 1976; Leimgruber 1951; Sauerwein 1962; Riethe 1974; Gülzow und Busse 1970), um Verletzungen der Zahnhartsubstanzen und der Gingiva zu vermeiden. Es lässt sich jedoch beobachten, dass dies nicht immer ausreichend umgesetzt wird. Nach einer Studie von Nossek und Wächter (1983) finden sich große Anteile von Verarbeitungsrückständen wie scharfkantige Auftreibungen,

Abschrägungen und Spitzen an den Borstenenden. Diese glätten sich jedoch während der ersten Gebrauchswoche und sind nach drei Wochen vollständig endgerundet.

Für die Mehrzahl der Untersuchungen zu Borstenabrundungen wird das Rasterelektronenmikroskop verwendet. Durch die notwendige Probenvorbereitung ist es nicht möglich, Vergleiche zwischen ein und derselben Bürste im neuwertigen und gebrauchten Zustand zu ziehen. Es stellt sich deshalb die Frage, ob es andere Methoden zur Beurteilung von Borstenenden gibt. Darauf basierend ergab sich die Fragestellung für die folgende Studie: Lässt sich das Laser – Scanning - Mikroskop für die Untersuchung von Filamentenden heranziehen? Und ermöglicht uns dieses System, Rückschlüsse auf die Veränderungen an den Monofilamenten der Zahnbürsten nach Gebrauch, ohne vorherige Probenbearbeitung zu ziehen?

2. Literaturübersicht

2.1 Entwicklung der Mundhygiene

Die Anfänge der Mundhygiene reichen bis 4000 vor Christi zurück. So fand man bereits erste Niederschriften im Sanskrit (Bolten 1936; Hintze 1930).

Vorzeitliche Instrumente, die zur Zahnreinigung genutzt wurden, waren einfache Holzstäbchen, um grobe Speisereste zu entfernen. Einige Völker zerkaute das Ende des Stäbchens, bis das Holz faserig war, und so entstand eine der ersten primitiven Bürsten. Abhängig von der verwendeten Holzart konnte es durch das permanente Kauen zur Freisetzung eines adstringierenden Saftes kommen. Im arabischen Kulturraum war die Nutzung des sogenannten Miswak (Holzstäbchen) durch Vorschriften im Koran geregelt. Es durfte nur zu festgelegten Zeiten und an bestimmten Orten benutzt werden. Jedoch werden durch diese Art der Mundhygiene die Molaren nur ungenügend gereinigt. Zur Plaqueentfernung zog man sogar Sand, Salzwasser, Kakaonüsse oder gar Kiefernharz heran. Die im Übergang von der Eisen- zur Bronzezeit gefertigten Zahnstocher bestanden in Mitteleuropa aus Metallen, zum Beispiel aus Eisen und Bronze. In Indien kam das erste Instrument zum Einsatz, welches unserer heutigen Zahnbürste ähnelt. Hierbei wurden kleine flexible Zweige in einem gemeinsamen Holzgriff zusammengefasst (Bolten 1936; Hintze 1930).

Im europäischen Mittelalter stagniert die Entwicklung. Bereits durchgeführte und in der Praxis bis dahin erprobte Methoden ersetzen die Menschen durch heutzutage abergläubisch anmutende Riten. Beispielsweise sollten Zahnschmerzen nachlassen, wenn man sich nach dem Waschen zuerst die Hände abtrocknet oder sich die Zehen- und Fußnägel nur am Freitag schneidet (Bolten 1936; Hintze 1930).

Erstmals erwähnt wurde die Zahnbürste in der heutigen Form bei Ralph Vernel im Jahre 1649. 27 Jahre später verwendete Cornelius Solingen im deutschen Sprachraum diese Begrifflichkeit (Bolten 1936; Hintze 1930). Es vergingen weitere 117 Jahre, bis die Zahnbürste in größerer Stückzahl gefertigt wurde und begann, ihren gewichtigen Platz in der Mundhygiene einzunehmen. All die Zeiten vorher diente sie lediglich als reich verziertes Schmuckstück.

Zu Anfang des 18. Jahrhunderts hielten die damaligen Fachleute die Schädigungen an Zahnfleisch und Zähnen durch den Gebrauch einer Zahnbürste für zu groß, um diese für die tägliche Reinigung für ratsam zu halten. Ursächlich hierfür sind möglicherweise die Besteckungen der Bürsten mit Ziegen-, Dachs- oder Rosshaar (Bolten 1936; Hintze 1930). Erst zum Ende des 18. Jahrhunderts wird die Zahnbürste immer populärer.

1938 kam es zur Einleitung des nächsten und entscheidenden Entwicklungssprungs: Es erfolgte die Einführung der Synthetikborste (Bolten 1936; Hintze 1930).

2.2 Forderungen an Zahnbürsten

Die Effektivität beim Putzen hängt nicht allein vom sachgemäßen Gebrauch der Bürsten ab, sondern ebenso von ihrer Größe, der Form und dem Material. So reduziert sich zum Beispiel bei der Nutzung einer Kurzkopfzahnbürste im Vergleich mit einer gewöhnlichen Erwachsenenzahnbürste die Putzzeit um etwa 30% (Gülzow und Busse 1970).

Diese erreicht aufgrund ihres kleineren Bürstenkopfes mühelos alle relevanten Bereiche der Mundhöhle.

2.2.1 Maße

Die Größe der Zahnbürsten sollte den anatomischen Verhältnissen der Mundhöhle angepasst sein. In der DIN 13917 (Teil 1 1988) werden Unterteilungen in Kinder-, Jugendlichen- und Erwachsenenzahnbürsten vorgenommen. Für die jeweilige Gruppe sind die maximale Breite des Bürstenfeldes, die Länge des Bürstenfeldes und die Schnitthöhe festgelegt. Die Angaben sind der Tabelle 2-1 zu entnehmen. Die Bürstenhersteller können die Länge des Besteckungsfeldes und des Bürstenkopfes selber wählen.

Personengruppe/ Bürstenart	maximale Bürsten- feldbreite	Bürstenfeldlänge	Schnitthöhe
Kinderzahnbürste	9 mm	15 – 25 mm	9 – 12 mm
Jugendzahnbürste	11 mm	17 – 30 mm	9 – 13 mm
Erwachsenenzahnbürste	13 mm	18 – 40 mm	9 -13 mm

Tabelle 2 - 1: Maßangaben für die jeweilige Personengruppe (Angaben nach DIN 13917 Teil 1 1988)

Vor Einführung der DIN gab es bereits zahlreiche Empfehlungen bezüglich der Zahnbürstenmaße. So wurde eine Bürstenkopflänge von 2,5 bis 3,0 cm (Leimgruber 1951; Arnold 1968; Zuhrt 1959) mit einer Bürstenfeldlänge von 6 bis 8 Büscheln und einer Bürstenfeldbreite von 2 bis 3 Büscheln mit einem Zeilenabstand bis zu 3 mm gefordert (Arnold 1968; Zuhrt 1959; Gülzow 1972; Sauerwein 1962; Leimgruber 1951).

Sauerwein (1962) und Gülzow (1972) raten zu einer Schnitthöhe von maximal 11 mm, da nur so eine optimale Reinigung sowie Gingivamassage an den schwer zugänglichen distalen Gebisssegmenten möglich ist.

2.2.2 Griff

Die DIN 13917 (Teil 1 1988) schreibt vor, dass der Griff aus einem stoß- und schlagfesten Werkstoff bestehen muss, der geruch- und geschmacklos ist. Seine Form und Länge sollte den jeweiligen Personengruppen (Kinder, Jugendliche, Erwachsene) angepasst sein. Man unterscheidet zwischen geraden, abgewinkelten und kontrawinkligen Zahnbürsten, wobei ein abgewinkelter oder kontrawinkliger Griff dem geraden gegenüber zu bevorzugen ist (Gülzow 1972; Sauerwein 1962; Allet et al. 1972).

Da durch den Winkel das Borstenfeld in Höhe der Griffebene liegt, ist laut Sauerwein (1962) eine sicherere und gezieltere Handhabung der Zahnbürste möglich. Nach einer Studie von Allet et al. (1972) ist die Reinigungskraft einer abgewinkelten Bürste wesentlich höher als die einer geraden. Des Weiteren werden zudem die oralen Flächen besser gereinigt.

2.2.3 Profil

Das Oberflächenprofil des Borstenfeldes kann plan, ausgezahlt oder konturiert, das heißt, konkav oder konvex sein. Die Borstenbündel dieses Feldes sind entweder eng (multi-tufted) oder weit (space-tufted) angeordnet. Dabei können die Büschel sowohl parallel als auch gegeneinander geneigt – V-Stellung – sein (DIN 13917 Teil 1 1988).

In den siebziger Jahren war nach allgemein herrschender Meinung dem planen Borstenfeld Vorzug vor dem konturierten gegeben, da es einen optimalen Kontakt zu den Zahnflächen gewährleistet (Riethe 1974; Leimgruber 1951). Laut Riethe (1974) kommt es beim konvexen Profil lediglich dazu, dass die Borsten aus der Zahnbürstenmitte unter Zahnkontakt stehen und beim konkaven Profil die Kraft nur auf die Borsten des Bürstenendes übertragen wird.

Durch die zahlreichen industriellen Veränderungen und Weiterentwicklungen hinsichtlich der Bürstenmorphologie und der Borstenstellung in den letzten Jahren können diese Forschungsergebnisse nicht mehr ganz gestützt werden. Es gibt verschiedene aktuelle Studien, die sich damit auseinandersetzen, welches Bürstenprofil zu empfehlen ist.

So ist beispielsweise die Meridol - Zahnbürste mit ihrem planen Borstenfeld und den konischen, schmalen Filamenten der ADA – Referenzzahnbürste hinsichtlich der Plaqueentfernung insgesamt und in den schwer zugänglichen Bereichen deutlich überlegen (Dörfer et al. 2003). Zudem ist sie durch ihre Borsten in der Lage, besonders gut die subgingivalen Areale zu reinigen. In einer Untersuchung von Sgan-Cohen und Vered (2005) wurden bei Probanden, die ihre Mundhygienemaßnahmen mit der Meridolzahnbürste durchführten, im Vergleich zur ADA – Bürste wesentlich niedrigere Gingiva-, Blutungs- und Plaqueindices festgestellt.

Im Test mit sieben anderen Zahnbürsten zeichnet sich die Oral B Cross Action durch eine bessere Plaqueentfernung bei gleicher Putzdauer aus (Cronin et al. 2000; Sharma et al. 2000). Beals et al. (2000) stellten fest, dass die kreuzweise angeordneten 16 Grad abgewinkelten Borsten die proximale Reinigung und die Effektivität der Sauberkeit im Vergleich zu einer identischen Bürste mit senkrechten, anstatt abgewinkelten Borsten steigern.

Auch die Dr. Best Dreikopf, eine Zahnbürste mit drei beweglichen Kopfelementen, die die Anpassung an die Konturen des Zahnbogens erleichtern soll, ist in der proximalen Plaquereduktion und der Säuberung des Zahnfleischsaums erheblich gründlicher als eine plane Bürste (Emling et al. 2005). Die weichen konischen Borsten der Elmex Sensitiv dringen auf Grund ihrer Länge und Form besonders gut in die zervikalen und interdentalen Bereiche ein. Im Vergleich zur ADA – Referenzzahnbürste entfernt sie signifikant mehr Plaque (Sgan-Cohen et al. 2008; Yankell et al. 2007). Jedoch liegt sie in der Gegenüberstellung mit anderen Elmex Inter X – Bürsten hinsichtlich Reduzierung der proximalen und distalen Plaque hinter der Elmex Inter X Medium (Yankell et al. 2002).

Imfeld et al. (2000) prüfte 22 Zahnbürsten unterschiedlichsten Designs unter anderem hinsichtlich ihres Zahnflächenkontaktvermögens. Es konnte kein Bürstenschnitt festgestellt werden, der den anderen überlegen war. So fanden sich plane Bürsten mit großem Borstendurchmesser auf den letzten Plätzen dieser Untersuchungsreihe und andere mit kleinem Durchmesser weit vorn. Als Fazit werden weichere Borsten oder Zahnbürsten mit PowerTip – Borsten, egal welchen Borstenschnittes, empfohlen.

2.2.4 Borstenfeldhärte

Die Einteilung der Borstenhärte erfolgt in drei verschiedene Grade: weich, mittel und hart (DIN 13917 Teil 1 1988). Der Härtegrad ist vom Durchmesser und der Länge der Borsten abhängig (Sauerwein 1962; Leimgruber 1951). Zudem ist eine Borstenlänge von 11 mm erforderlich, um die distalen Bereiche der Zahnbögen zu erreichen (Gülzow 1972; Leimgruber 1951). Die Borstensteifheit hat Einfluss auf die Weichgewebsverletzungen, die Abrasionswerte und die Plaqueentfernung. Sind die Borsten zu steif, können sie nicht wischend durch den Interdentalraum und Sulkus fahren. Ist die Borste jedoch weicher, legt sie sich besser an die Zahnfläche an und es resultiert daraus eine effektivere Plaqueentfernung (Gilanschah 1993; Hauke 1994). Carvalho et al. (2007) stellten in ihrer Putzstudie jedoch fest, dass harte Borsten mehr Plaque entfernen, aber eine größere Anzahl an Gingivaläsionen verursachen. Weichere Bürsten erzeugen weitaus weniger Weichgewebstraumatisierungen als harte (Hauke 1994). In Bezug auf die Gingivakeratinisation und Massagewirkung werden in zahnnahe und zahnferne Gingivabereichen die besten Ergebnisse mit mittelharten Bürsten erzielt (Straub 1980).

2.2.5 Material und Borstenabrundung

Als Borstenmaterialien werden synthetische Stoffe und zu einem kleinen Teil Naturborsten oder auch Naturhaare verwendet. Aufgrund ihrer zahlreichen negativen Eigenschaften sind die Naturborsten für die häusliche Mundhygiene nicht zu empfehlen. Sowohl der Durchmesser als auch die Beschaffenheit der Naturborsten unterscheiden sich deutlich voneinander, so dass die Herstellung eines standardisierten Besteckungsfeldes nicht möglich ist. Lediglich hinsichtlich der Änderung der Borstenlänge lässt sich die Borstenfeldhärte bestimmen (Riethe 1974; Sauerwein 1962; Leimgruber 1951).

Durch die unregelmäßige Oberfläche und den Markkanal wird die Wasseraufnahme gefördert. Naturborsten können etwa 39% ihres Trockengewichtes an Wasser aufnehmen (Sauerwein 1962; Beyeler und Mooser 1960). Diese Hygroskopie führt zum Quellen der Borsten und damit zum Elastizitäts- und Härteverlust (Gilanschah 1993; Riethe 1974; Leimgruber 1951). Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen ergaben, dass mit zunehmender Nutzung ungünstigere Formen der Borsten entstehen, die auf die inhomogene Struktur zurückzuführen

sind. Durch den achsenparallelen Aufbau der Rindenschicht kommt es zu einer pinselartigen Auffaserung der Borsten in lanzettartige Bündel. Die dachziegelähnlich geschichteten Schuppen der Haarcuticula spalten sich ab und ermöglichen so die Retention von Zahnpastapartikeln und Bakterien. Auch der partiell freiliegende Markkanal bietet optimale Nischen für eine Bakterienanlagerung. Die scharfkantigen, unregelmäßigen, mit Längs- und Querrissen versehenen Borsten brechen im Laufe der Nutzung ab und es entstehen lanzettartige Büschel, die zu Verletzungen der Gingiva und des Sulkus führen können (Massassati und Frank 1982; Gilanschah 1993; Henschke et al. 1978).

Die nach DIN 13917 (Teil 1 1988) geforderte Endabrundung ist mit den Naturborsten somit nicht realisierbar.

Vorteile der Kunststoffborsten liegen unter anderem in ihrer glatten, homogenen, röhren- und porenfreien Oberfläche, die im feuchten Milieu nur eine geringe Wasseraufnahme mit konstanter Oberflächenbeschaffenheit ermöglicht. Damit sind die Elastizität und das Rückstellvermögen dieses Borstenmaterials erheblich größer als das der Naturborsten (Zuhrt 1959; Leimgruber 1951; Sauerwein 1962; Rieth 1974).

Technische Herstellungsverfahren ermöglichen die Produktion von standardisierten Bürsten unterschiedlicher Härtegrade mit abgerundeten Borstenspitzen (Bass 1948; Arnold 1968). Die Abrundung soll die Mundschleimhaut vor mechanischen Schäden, hauptsächlich im Bereich des Sulkus und der unverhornten Gingiva, schützen (Sauerwein 1962).

Untersuchungen zeigten, dass sich bei neuwertigen Bürsten scharfkantige Übergänge, verdickte Randwülste, raue Oberflächen, Bearbeitungsrückstände und tiefe Einkerbungen im Schaft fanden. Nach circa vierzig bis neunzig Tagen verschwanden die Auflagerungen und es entstanden nahezu vollkommen abgerundete Borstenenden. Jedoch nahm die Belagsbildung aus Zahnpasta und Keimen stetig zu. Durch die mechanische Beanspruchung entstehen im Laufe der Nutzung – nach etwa vier Monaten – keilförmige Defekte, Längsspalten sowie abgerundete Enden mit einer Tendenz zur keulenförmigen Deformation (Massassati und Frank 1982; Henschke et al. 1978; Checchi et al. 2001; Gilanschah 1993).

2.2.6 Kontamination von Zahnbürsten

Zahnbürsten sind ideale Keimträger für die verschiedensten Bakterien und Viren. Die Keimretention ist von zahlreichen Faktoren abhängig: der Lagerungsart nach Benutzung, der

Lagerungsdauer, dem Borstenmaterial und der Reinigungsart beziehungsweise dem Reinigungsgrad nach Gebrauch. Zur Minderung der Keimzahl der beim Putzakt aufgenommenen Mikroorganismen ist es unerlässlich, die Zahnbürste nach dem Putzen unter einem kräftigen Wasserstrahl zu reinigen und dann mit dem Borstenfeld nach oben trocken zu lagern (Riethe 1974; Sauerwein 1962; Mayer et al. 1996; Zuhrt 1959). Da es mit zunehmender Austrocknung der Borsten zu einer Minderung der Bakterien- und Virenzahl kommt (Tefoit 1993), fordern Mayer et al. (1996) und Sauerwein (1962) die Nutzung zweier verschiedener Zahnbürsten für das morgendliche und abendliche Zähneputzen. So sind zum Beispiel Keime von *Streptococcus mutans*, *Candida albicans* und Herpes - simplex - Viren nach vierundzwanzig Stunden trockener Lagerung nicht mehr nachweisbar (Tefoit 1993). Naturborsten begünstigen durch ihren unregelmäßigen Aufbau und durch ihre Hygroskopie die Retention von Keimen. In einer aktuellen Studie untersuchte Berchtold (2008) die antibakterielle Wirkung von Nanosilber auf die Keimreduktion. Verglichen wurden handelsübliche Zahnbürsten mit Bürsten, deren Borsten einen Nanosilberüberzug hatten. Die Silberpartikel sollen eine antibakterielle Wirkung haben, die die Zellteilung stört und die Vermehrung der Keime hemmt. In der Auswaschung nach Kontamination fand man im Vergleich deutlich weniger Keime bei der beschichteten Zahnbürste. Zudem kam es zu einer wesentlichen Keimreduktion von *Escherichia coli*.

2.2.7 Putzgewohnheiten

2.2.7.1 Gebrauchsdauer der Handzahnbürste

Eine sich täglich in Gebrauch befindende Zahnbürste sollte nach Gülzow (1972) alle sechs, höchstens aber nach acht Wochen ausgetauscht werden. Sauerwein (1962) jedoch war der Auffassung, dass die mittlere Lebensdauer je nach Intensität der Nutzung zwischen zwei und fünf Monaten liegt. Auf jeden Fall empfiehlt sich der Tausch der Bürste, wenn die Härte und Biegsamkeit der Borsten nachlassen und diese sich seitlich umbiegen. Studien von Sforza et al. (2000) und Daly et al. (1996) zeigten, dass es trotz zunehmenden Verschleißes der Bürsten zu keiner Reduktion der Plaqueentfernung im Vergleich mit neuwertigen Produkten kam. So beeinflussen andere Faktoren, wie zum Beispiel die Putzzeit oder der Anpressdruck, die Plaqueverminderung. Van der Weijden (1998) untersuchte den Zusammenhang zwischen Auflagekraft und Plaqueentfernung. Er konnte keine Korrelation bezüglich Kraft und

Effektivität der Plaquereduktion feststellen. Muller-Bolla et al. (2007) stellten einen Zusammenhang zwischen der Abnutzung und dem Bürstendesign her. So ist diese bei Bürsten mit rechtwinkligen Borstenbereichen oder bei Borsten mit schmalen Durchmesser und unterschiedlichen Höhen größer. Beim Vergleich verschiedener Studien zum Thema Zahnbürstenwechsel schlussfolgerten Koch et al. (2007), dass für Zahnbürsten keine genaue Lebensdauer angegeben werden kann, da individuelle Faktoren, wie Anpressdruck, Putztechnik und Härtegrad der Bürste, die Abnutzung der Borsten beeinflussen.

2.2.7.2 Zeitdauer des Zähneputzens

Da es nicht möglich ist, in einem Putzvorgang die gesamte Plaque von den Zähnen zu entfernen, raten Hellwig et al. (2007) zur Zahnpflege nach jeder Mahlzeit sowie mindestens einmal täglich intensiv die Zähne zu putzen. Eigentlich würde es ausreichen, einmal am Tag eine gründliche Pflege durchzuführen, da sich eine reife Plaque erst nach vierundzwanzig bis sechsunddreißig Stunden etabliert. Zimmer et al. (1999) ermittelten eine Putzzeit mit manuellen und elektrischen Bürsten von 134,1 und 148,8 Sekunden. In 130 Sekunden werden etwa 70 – 80% der initialen Plaque entfernt (Kreifeldt et al. 1980). In der Bürststudie von Huber et al. (1985) stellte sich nach Anfärbung und Beurteilung der Plaquemenge sowie anschließender zeitlimitierter Zahnpflege heraus, dass sich die Plaquereduktion mit zunehmender Putzzeit vergrößert. Dabei wurden die bukkalen Flächen besser gereinigt als die oralen.

2.3 Untersuchungsmethoden von Borstenenden

Es werden verschiedene mikroskopische Verfahren zur Beurteilung von Borsten und deren Endabrundung genutzt. Die am häufigsten zur Anwendung kommenden Geräte sind das Stereo- beziehungsweise Lichtmikroskop und das Rasterelektronenmikroskop.

2.3.1 Lichtmikroskop

Bei diesem einfachen Verfahren wird eine zweidimensionale Abbildung des untersuchten Objektes geschaffen.

Für dieses Verfahren sprechen der geringe apparative Aufwand und die Wiederverwendbarkeit der Proben, da keinerlei Vorbehandlung der Bürste notwendig ist.

Die geringe Tiefenschärfe, das Vorhandensein einer zusätzlichen Lichtquelle und die relativ geringe Vergrößerung sind die negativen Aspekte dieser Methode.

2.3.2 Rasterelektronenmikroskop (REM)

Mit dieser Methode lassen sich mit großem apparativen und präparativen Aufwand Bilder mit hoher Tiefenschärfe und guter räumlicher Darstellung herstellen.

Zur Bilderzeugung tastet ein gebündelter Primärelektronenstrahl die zuvor mit Kohle oder Metallen besputterte Probe zeilenförmig in einem Hochvakuum ab. Während dieses Vorgangs entstehen auf der Probe unter anderem Sekundärelektronen, welche das oberflächentopografische Bild ergeben.

Borchert (2005) stellte in ihrer Studie fest, dass ein Aufnahmewinkel von 45° oder 90° zum Borstenfeld das Bildergebnis nicht beeinflusst. Sie empfiehlt aber einen Winkel von 45°, da so eine Auswahl der Borsten aus allen Büschelbereichen möglich ist.

2.3.3 Laser – Scanning - Mikroskop (LSM)

Ein LSM ist ein konfokales Mikroskop, bei dem nicht wie gewöhnlich das ganze Präparat beleuchtet wird, sondern nur ein Punkt pro Zeiteinheit. Dieser Beleuchtungspunkt, ein Laser, tastet die Probe rasterförmig ab. Die nacheinander aufgenommenen Schärfeebenen fügt ein Computer zu einem dreidimensionalen Bild zusammen.

Vorteil dieser Methode ist das Vorhandensein einer Lochblende (Pinhole) im Strahlengang, die Licht außerhalb der Schärfeebene blockiert. Dadurch erhöht sich die Auflösung. Die Schärfetiefe wird verringert. Zur Untersuchung von Abrundungsqualitäten bei Borstenenden fand diese Aufnahmetechnik bisher keine Anwendung.

Nachfolgende Studie wird klären, ob sich das LSM zur Bewertung von Borstenendrundungen eignet.

Mikroskop	Lichtmikroskop	Rasterelektronenmikroskop	Laser-Scanning-Mikroskop
Technik	optische Vergrößerung durch Linsen und Spiegel	im Hochvakuum erzeugter und gebündelter Primärelektronenstrahl tastet Proben zeilenförmig ab → Sekundärelektronen entstehen → ergibt oberflächentopographisches Bild	Beleuchtungspunkt (Laser) tastet die Probe rasterförmig ab → die nacheinander aufgenommenen Schärfestufen werden mit Hilfe eines Computers zu einem dreidimensionalen Bild zusammengesetzt
Handhabung	leicht zu erlernen	längere Einweisung mit Testläufen notwendig	- längere Einweisung notwendig - Hilfe bei Grundeinstellung Voraussetzung
zeitlicher Aufwand	gering	hoch	hoch
Methoden	Histologie	Forensische Medizin Histologie Biomedizin	Materialoberflächen Biomedizin Zellbeobachtungen
Vergrößerung	5 – 25 fach	50 – 3000 fach	bis 800 fach
Bildarstellung	zweidimensional	zweidimensional	dreidimensional
Probennutzung	mehrmals	einmal	mehrmals
Nachteile	- geringe Tiefenschärfe - nur einseitige Betrachtung der Borsten möglich	- aufwendige Probenvorbereitung - keine Vergleichbarkeit derselben Proben in zwei Zuständen möglich	- geringere Tiefenschärfe als REM

Tabelle 2 - 2: Vergleich der Mikroskope

3. Laser - Scanning – Mikroskop - Verfahrensdarstellung

3.1 Geschichte

Marvin Minsky meldete noch vor Entwicklung des Lasers am 7. November 1957 das Prinzip eines konfokalen Mikroskops zum Patent an. Den ersten Laser realisierte T. H. Maiman 1960. Ende der sechziger Jahre konstruierten Eggar und Petran ein analoges mechanisches konfokales Mikroskop.

Die Herstellung der konfokalen Laser – Scan - Mikroskope begann in den späten Siebzigern, als professionelle Programme zur Bildverarbeitung zur Verfügung standen.

Carl Zeiss Jena stellte 1982 das erste kommerzielle Mikroskop für die Halbleiterindustrie her. Das in dieser Studie verwendete LSM 510 Meta (Carl Zeiss, Jena, Deutschland) kam 2001 auf den Markt

3.2 Strahlengang

Eine Anregungslichtquelle, in dieser Untersuchung ein Argon – Laser, wird auf eine Anregungslochblende fokussiert und von dort auf einen dichromatischen Spiegel oder einen Hauptstrahlteiler gelenkt. Dichromatische Spiegel sind spezielle Filter, die Anregungs- und Emissionslicht voneinander trennen.

Das Laserlicht wird reflektiert und auf einen beweglichen Scan - Spiegel gelenkt, welcher den Anregungspunkt zeilenförmig durch die Probenebene bewegt. In umgekehrter Richtung des Strahlengangs passieren das in der Probe angeregte Fluoreszenzlicht, das erzeugte Streulicht und das die Probe selbst reflektierende Anregungslaserlicht. Der Spiegel reflektiert das störende Anregungslicht und transmittiert das Fluoreszenzlicht.

Eine Tubuslinse fokussiert dieses dann auf eine Detektionslochblende, auch Pinhole genannt. Zur Trennung der Fluoreszenzemissionen wird ein weiterer dichroitischer Strahlteiler verwendet. Er reflektiert das kurzwellige, transmittiert das langwellige Licht und lenkt dieses auf unterschiedliche Detektoren.

3.3 Prinzip der Bildentstehung

Die Anregungs- und Detektionslochblende sind konfokal angeordnet, das heißt, ihre Brennpunkte stimmen miteinander überein. Dadurch werden lediglich die Objektbereiche abgebildet, die sich in der Fokusebene des Objektivs befinden.

Bei lateraler Verschiebung des Fokus` in einer Ebene werden optische Schnitte aufgenommen. Das bedeutet, dass ein Laserstrahl, der als Lichtquelle dient, auf die Anregungslochblende fokussiert und diese dann über den Beleuchtungsstrahlengang exakt in den Fokus des Objektivs abgebildet wird. Es kommt zu einer Fluoreszenzanregung. Die Fluorochrome werden mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt und ihre Elektronen somit auf ein höheres Energieniveau gehoben. Dieses können sie nur kurz, unter geringem Energieverlust beibehalten, bevor sie durch Abgabe von längerwelligem Emissionslicht auf ihre vorherigen Werte zurückfallen.

Das im Objektiv gesammelte Fluoreszenzlicht wird im Emissionsstrahlengang über die Tubuslinse auf der Detektionslochblende (Pinhole) abgebildet. Über- und unterhalb der Fokusebene divergiert der Laserstrahl kegelförmig. Daraus resultiert, dass die Beleuchtungsintensität dort quadratisch mit dem Abstand zur Fokusebene sinkt. Trotzdem kommt es zur Fluoreszenzanregung. Doch nur das Fluoreszenzlicht des Objektfokus` wird genau auf der Pinholeöffnung abgebildet und so optimal transmittiert. Es erfolgt die Fokussierung des anderen Lichtes vor oder hinter die Detektionslochblende und somit dessen Ausblendung. Das von der Probe übertragene und reflektierte Licht wird durch ein Objektiv auf einem hinter der Lochblende befindlichen lichtempfindlichen Empfänger, dem Detektor, abgebildet. Dieser sendet Signale, die digitalisiert und am Computer zu einem dreidimensionalen Bild zusammengesetzt werden (Streichfuss 2008).

3.4 Aufnahmetechnik

Die festgelegten Borstenbüschel wurden im neuwertigen Zustand, nach 90 Tagen und nach 180 Tagen Abnutzung, mit dem LSM 510 Meta (Carl Zeiss, Jena, Deutschland) untersucht. Da das System alle Betriebszustände speichert und wiederherstellt, sind alle drei Untersuchungen mit den gleichen Systemparametern durchgeführt worden. So konnten nach ObjektivEinstellung und Laseraktivierung über die ReUse * - Funktion die Einstellungen

wiederhergestellt werden. Die Zahnbürste wurde auf den Objektisch gelegt, das Borstenbüschel unter dem Objektiv ausgerichtet und schließlich der Brennpunkt eingestellt.

Bei jedem neuen Büschel musste über die Fast XY * – Einstellung der Brennpunkt an das obere und untere Ende der Probe bewegt werden, um mark first * und mark last * festzulegen und zu speichern, das heißt, die Aufnahme in der Tiefe zu markieren. Zur Erzeugung des Bildes muss jetzt der scan * – Button aktiviert werden.

Die Einstellungen sind der Tabelle 3 - 1 entnehmbar.

Scan Mode:	12 bit, Stack, multi track
Stack Size:	512 x 512 x 160, 1303,0 µm x 1303,0 µm x 599 µm
Pixel Time:	2,56 µs
Objective:	Epiplan Neoflor 10x / 0,30 PID
Wavelength:	488 nm
Pinhole:	Ch2: 20 µm
Filters:	Ch2:LP 475
scan speed:	6
bidirectional	

Tabelle 3 - 1: Einstellungen des Mikroskops

* Cp - Icon

4. Anwendung der Methode

4.1 Zahnbürste

Verwendet wurde für diese Untersuchung die Zahnbürste Dr. Best® flex plus in der Kurzkopfvariante in den Borstenfeldhärten mittel und weich (Abbildung 4 - 1). Vertrieb ist die Firma Glaxo SmithKline Consumer Healthcare, 77815 Bühl, Deutschland, welche ihre Produkte zur Untersuchung zur Verfügung stellte. Es handelt sich hierbei um multi-tufted Bürsten mit einem planen, sich nach vorne verjüngenden Borstenfeld. Beide sind mit 36 Borstenbüscheln besteckt, deren Borstenlänge 11 mm beträgt. In jedem Büschel befinden sich 33 bis 37 (mittel) beziehungsweise 46 bis 74 (weich) Monofilamente.

Weitere Angaben sind in Tabelle 4 - 1 zusammengefasst.

Die Ermittlung der numerischen makroskopischen Eigenschaften führte man mit einer Präzisionsschieblehre (MaxBahr, Hamburg) durch. Der Filamentdurchmesser wurde mit Hilfe des LSM gemessen.



Abbildung 4 - 1: Zahnbürsten Dr. Best® flex plus

Borstenfeldhärte	mittel	weich
Länge des Bürstenkopfes	29 mm	
Breite des Bürstenkopfes	vorn: 7 mm Mitte: 11 mm hinten: 12 mm	
Länge des Bürstenfeldes	24 mm	
Breite des Bürstenfeldes	vorn: 4 mm Mitte: 7 mm hinten: 9 mm	
Borstenlänge	11 mm	
Anzahl der Borstenbüschel	36	
Anzahl der Filamente pro Büschel	33 - 37	äußere Büschel: 65 – 74 innere Büschel: 46 - 52
Filamentdurchmesser	250 µm	150 µm

Tabelle 4 - 1: makroskopische Angaben der Zahnbürsten im Vergleich

4.2 Zahnputzmaschine

Diese Maschine der Firma Willytec GmbH (Deutschland, München) wurde verwendet, um standardisierte und gleichmäßige Bürstbewegungen durchführen zu können. So ergab sich über die gesamte Versuchsdauer die Gewährleistung konstanter Versuchsbedingungen.

Die Putzmaschine (Abbildung 4 - 2 und 4 - 3) besteht aus sechs Gestängen, die in Zahnbürstenkopfhaltern enden. Mittels Sechspunktfixierung befestigt man die Bürstenköpfe. Eine Parallelisierung zur Putzrichtung und zur Probe wird so ermöglicht.

Anhand der an den Gestängen angebrachten Gewichte werden diverse Anpressdrücke simuliert. Mit einer Federwaage lässt sich durch Verschieben der Gewichte die gewünschte Anpresskraft bestimmen.

Am Zählwerk der Maschine stellt man die benötigte Bürstenstrichzahl ein. Nach Erreichen der vorgewählten Anzahl stoppt diese dann automatisch. Zudem ist es möglich, die Putzfrequenz und die Putzbewegung festzulegen.

Der Putzvorgang wird in Kunststoffwannen durchgeführt, in deren Mitte sich eine im Durchmesser 25 mm runde Aussparung befindet. Dort werden die Probenträger fixiert, auf denen die Bürste hauptsächlich ihre Putzbewegungen vollzieht.

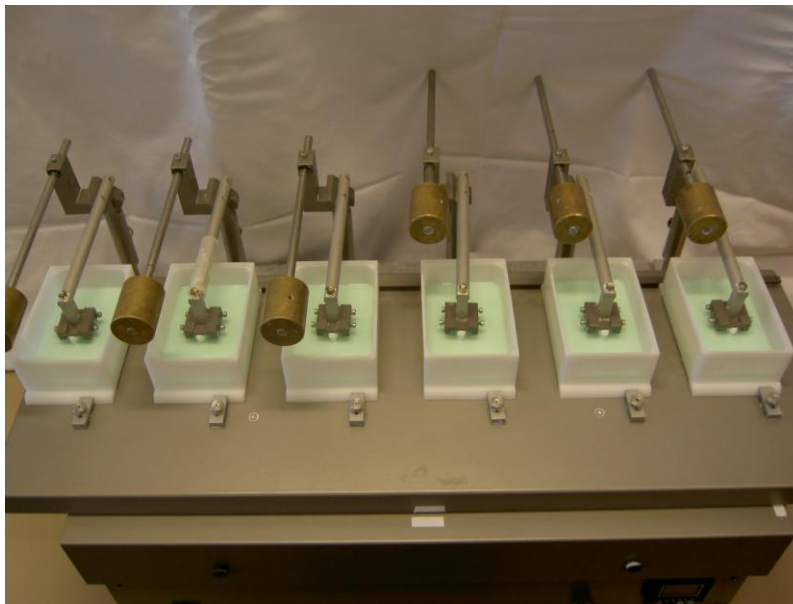


Abbildung 4 - 2: Putzmaschine mit Kunststoffwannen ; Firma Willytec GmbH, Dt., München

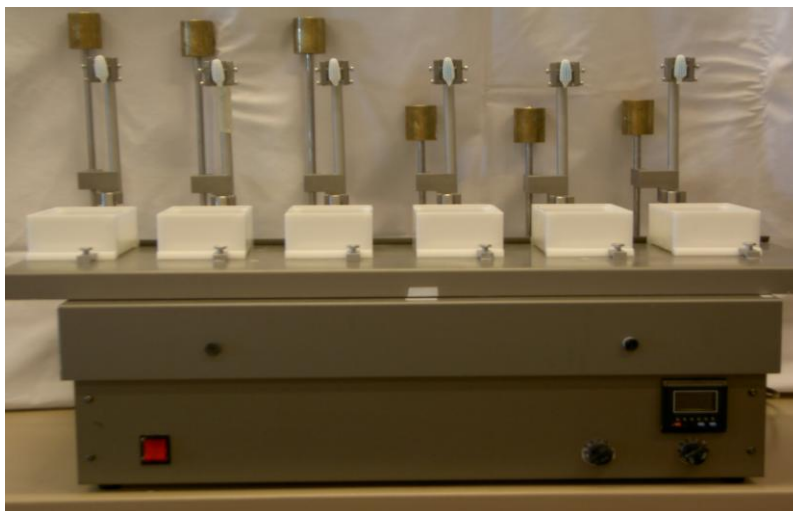


Abbildung 4 - 3: Zahnbürstenköpfe in Putzmaschine eingespannt ; Firma Willytec GmbH, Dt., München

4.3 Zahnpastaslurry

Um die in - vivo - Verhältnisse der Mundhöhle beim Zähneputzen zu simulieren, erforderte es die Nutzung einer abrasiven Suspension aus Zahnpasta und künstlichem Speichel.

Attin et al. (1996) verglichen in einem Versuch die Abrasivität eines Zahnpasta – Wasser – Slurrys mit dem eines Zahnpasta – Speichel – Gemischs. Die Kombination Speichel – Zahnpasta führte zu einer geringeren Abnutzung als die unter Anwendung mit Wasser. Der Speichel wirkt aufgrund seiner Bestandteile wie ein Gleitmittel.

Die Herstellung des künstlichen Speichels erfolgte nach einer Rezeptur von Klimek et al. (1982). Der Tabelle 4 - 3 ist die Zusammensetzung zu entnehmen.

Um eine homogene abrasive Suspension zu erhalten, wurden 1 g Zahnpasta – Colgate total fresh stripe (Colgate – Palmolive, Hamburg, Deutschland) mit 5 ml synthetischem Speichel auf einem Magnetprüher (IKAMAG Reo, Firma IKA, Staufen, Deutschland) vermischt. Die Verwendung von 5 ml Speichel entspricht in etwa der durchschnittlich sezernierten Speichelmenge bei einer Putzdauer von fünf Minuten (Heintze et al. 1983).

In einem Durchgang wurden 1200 ml Slurry hergestellt.

Aqua, Hydrated Silica, Glycerin, PVM/MA Copolymer, Sodium Lauryl Sulfate, Aroma, Cellulose Gum, Sodium Hydroxide, Carrageenan, Sodium Fluoride, Triclosan, Sodium Saccharin, Mica, Eugenol, Cinnamal, Limonene, CI 42090, CI 47005, CI 77891

RDA – Wert 75

pH 7,0

Tabelle 4 - 2: Inhaltsstoffe Zahnpasta Colgate total fresh stripe (Herstellerangaben)

Chemikalien	Anzahl in Gramm
Ascorbinsäure ¹	0,002
Glukose ¹	0,030
Natriumchlorid ¹	0,580
Kalziumchlorid ²	0,17
Ammoniumchlorid ¹	0,160
Kaliumchlorid ¹	1,270
Natriumrhodanid ³	0,160
Kalziumdihydrogenphosphat ¹	0,330
Harnstoff ¹	0,200
Di-Natriumhydrogenphosphat ¹	0,340
Mucin ⁴	2,700
Aqua dest.	1 Liter

Tabelle 4 - 3: Zusammensetzung künstlicher Speichel

1 = Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland

2 = Merck KG, Darmstadt, Deutschland

3 = Fluka Chemie GmbH, Buchs, Schweiz

4 = Bacto®-Mucin Bacteriological, Difco Laboratories, Detroit, USA

4.4 Vorversuch

Ziel des Vorversuches war es festzulegen, welche Anpressdrücke für den eigentlichen Versuch gewählt werden können.

Zur Anwendung kamen die Zahnbürsten Sensodyne (GlaxoSmithKline, Bühl, Deutschland) des Typs mittel und sensitive. Es wurden jeweils zwei Exemplare für einen festgelegten Zeitraum von zwei und sechs Stunden mit einem Anpressdruck von 200 g beziehungsweise von 400 g – was 2 N und 4 N entspricht – in die Zahnputzmaschine eingespannt und eine definierte Vor- und Rückbewegung mit einer Frequenz von 80 Bürstenstrichen in der Minute durchgeführt. Das Putzen erfolgte mit einem Zahnpasta (Colgate total) – Wasser – Gemisch in einem Verhältnis von 1 : 5. Im Anschluss wurden Bilder mit einem Lichtmikroskop (Zeiss,

Jena, Deutschland) von den benutzten und unbenutzten Zahnbürsten angefertigt und ausgewertet. Sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch ließen sich Veränderungen bei Breite und Form der Borstenbüschel erkennen. Diese Abnutzungserscheinungen waren bei beiden Bürsten mit einem Anpressdruck von 4 N und einer Bürstzeit von sechs Stunden am deutlichsten wahrzunehmen.

Anhand der veränderten Büschelstruktur erfolgte eine Einteilung in vier Zonen.

Zone 1 – der vordere Zahnbürstenabschnitt – zeigte eine fächerförmige Aufspaltung der Büschel. Zone 2 – die seitlichen Tufts – wurden abgeflacht und weiter aneinander gedrängt. In Zone 3 – dem zentralen Teil des Borstenfeldes – waren die Borsten stark abgeknickt und es ließen sich einzelne Büschel nicht mehr voneinander unterscheiden. In der letzten Zone – dem hinteren Abschnitt – kam es zu einer Vergrößerung des Büscheldurchmessers.

4.5 Vorbereitung der Zahnbürsten

Anhand der Ergebnisse des Vorversuches wurden die Untersuchungsobjekte – Zahnbürsten Dr Best® flex super – in vier Segmente eingeteilt, die Borstenbüschel durchnummeriert und entsprechend vier Borstenbüschel ausgewählt, die unter dem LSM untersucht werden sollten.

Die Nummerierung erfolgte nach einem festgelegten Schema. Beginnend am linken oberen Rand des Borstenfeldes wurden die nachfolgenden Büschel reihenweise bis zu dem rechts im Bürstenschaftbereich liegenden Büschels durchgezählt.

Die Wahl der zu untersuchenden Büschel fiel auf Nummer 7, 18, 24 und 31.

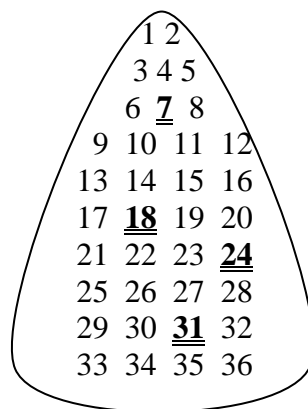


Abbildung 4 - 4: Schema der Borstennummerierung

4.6 Versuchsablauf

Die zwei verwendeten Testzahnbürsten wurden in vier Gruppen zu je zwölf Untersuchungsobjekten eingeteilt.

Gruppe A: Zahnbürste mittel – 275 g

Gruppe B: Zahnbürste mittel – 550 g

Gruppe C: Zahnbürste weich – 275 g

Gruppe D: Zahnbürste weich – 550 g

Im neuwertigen Zustand der Bürsten erfolgte – nach Abtrennung der Griffe mit Hilfe eines Seitenschneiders (Firma AESCULAP Ag und CoKG, Tuttlingen, Deutschland) – eine erste Untersuchung der vier ausgewählten Borstenbüschel im Laser – Scanning - Mikroskop (LSM 510 Meta, Carl Zeiss, Jena, Deutschland).

Zur Gewährleistung standardisierter Versuchsbedingungen wurden die Zahnbürsten in einer automatischen Zahnputzmaschine künstlich abgenutzt. Um die Putzkraft zu simulieren, wählte man Auflagegewichte von 275g und 550 g. Dies entspricht einer Kraft von 2,75 N und 5,5 N. Diese Einstellungen liegen im unteren Drittel des durchschnittlichen Anpressdrucks beim Zähneputzen. Nach Studien von Fraleigh et al. (1967) und Björn und Lindhe (1966) wenden Probanden bei der Zahnpflege eine Kraft von 2,6 N bis 13,1 N auf.

Die Zahnbürstenköpfe wurden zufällig, aber gemäß ihrer Gruppeneinteilung in eine der sechs entsprechenden Halterungen eingebracht und fixiert. Zwei Mal täglich fand ein Bürstvorgang über einen Zeitraum von zwei Mal neunzig Tagen mit einem Abstand von wenigstens vier Stunden statt. Die Trockenzeit einer Zahnbürste beträgt nämlich nach dem abendlichen und morgendlichen Nutzen circa acht Stunden, vom Frühstück bis zum Mittag etwa vier bis sechs Stunden sowie vom Mittagessen bis zum Abendessen noch einmal in etwa sechs bis acht Stunden.

Als Referenzwert wurde eine Putzzeit von 2,5 Minuten festgelegt. Groß et al. (1996) und Heath und Wilson (1974) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass 4,5 Bürstenstriche pro Sekunde vollzogen werden. So ergaben sich bei einer Putzdauer von 2,5 Minuten 675 Bürstenstriche pro Putzvorgang.

Um die realen Bedingungen so gut wie möglich darzustellen, wurde eine Frequenz von 125 Bürstenstrichen pro Minute gewählt. Zudem führte die Maschine leicht elliptische

Putzbewegungen auf in Kunststoff eingebetteten Rinderfrontzähnen durch. Diese Proben waren bereits fertig gestellt und standen poliert zur Verfügung.

In den Kunststoffwannen befand sich während des Bürstvorgangs etwa 20 ml Zahnpastaslurry (Otto 2003). Nach jedem Zyklus kam es zu dessen Erneuerung.

Nach Beenden des Putzvorganges wurden die Bürstenköpfe unter fließendem Wasser abgespült, gesäubert und anschließend auf einem Baumwolltuch zum Trocknen ausgelegt.

Eine mikroskopische Untersuchung fand im neuwertigen Zustand und nach einer Nutzungsdauer der Zahnbürsten von 90 und 180 Tagen statt.

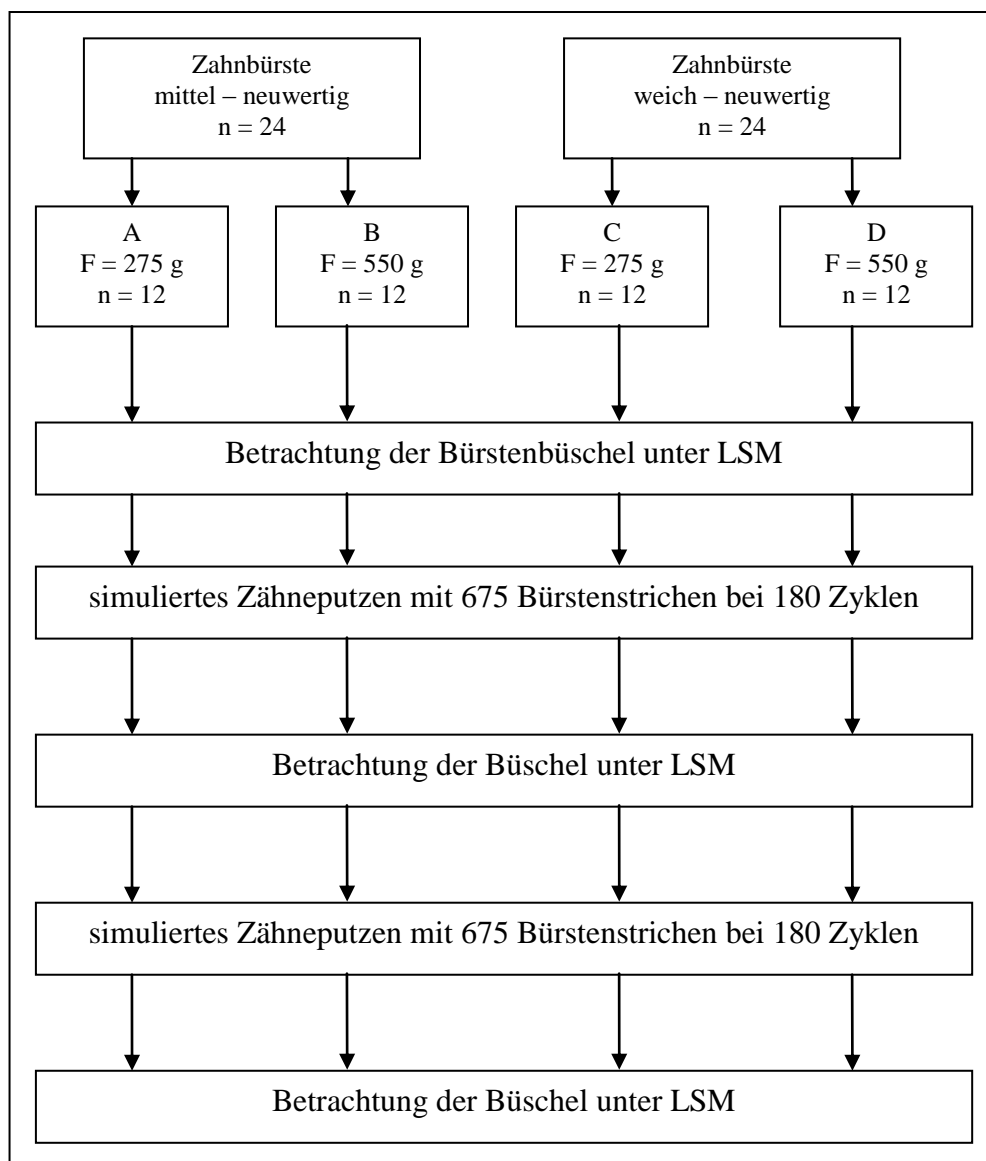


Abbildung 4 - 5: schematische Darstellung des Versuchsablaufes

4.7 Bilddarstellung

Im Anschluss an die Aufnahme der Bilder wurden mit dem Bearbeitungsprogramm AxioVision LE vier Bilddarstellungen angefertigt:
zum Ersten eine topografische Darstellung des untersuchten Borstenbüschels.

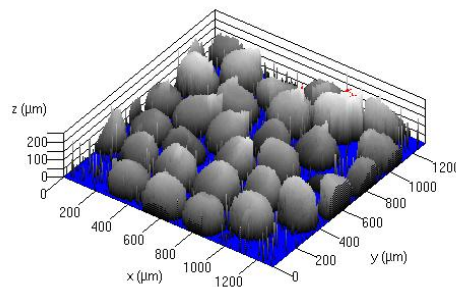


Abbildung 4 - 6: topografische Darstellung

Es besteht nun die Möglichkeit der Anfärbung und daraus resultierend ergeben sich farblich abgestufte Höheninformationen.

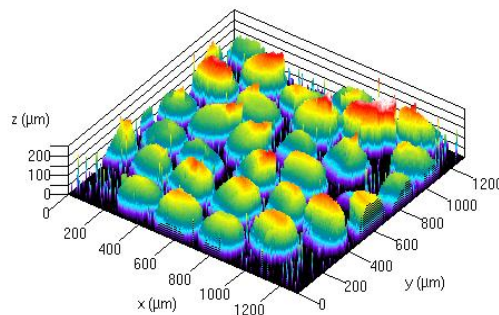


Abbildung 4 - 7: Höheninformation

Mit einer anderen Funktion lassen sich Profilmessungen durchführen. Dazu muss eine Linie an einer definierten Stelle quer durch die Borsten gezogen werden.

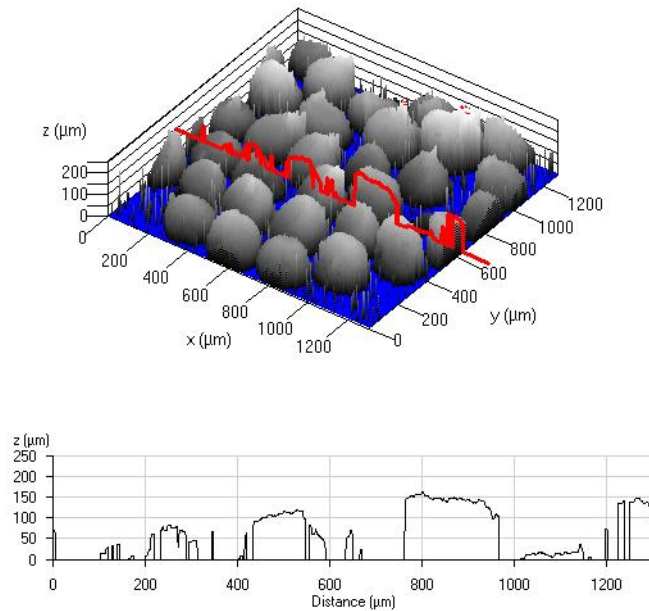


Abbildung 4 - 8: Profilmessung

In der vierten Ansicht ist das dreidimensionale Bild mit virtuellem Licht beleuchtet, so treten die Unregelmäßigkeiten auf der Oberfläche der Borsten deutlich hervor.

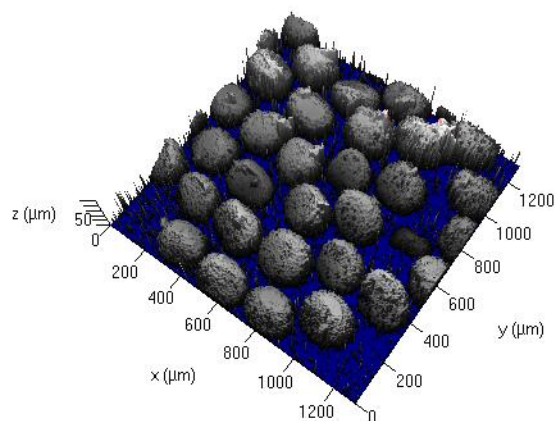


Abbildung 4 - 9: Beleuchtung mit virtuellem Licht

Zudem ist es möglich, mit der am Mikroskop befestigten Kamera – der Axiocam – hoch auflösende Bilder der Proben anzufertigen.

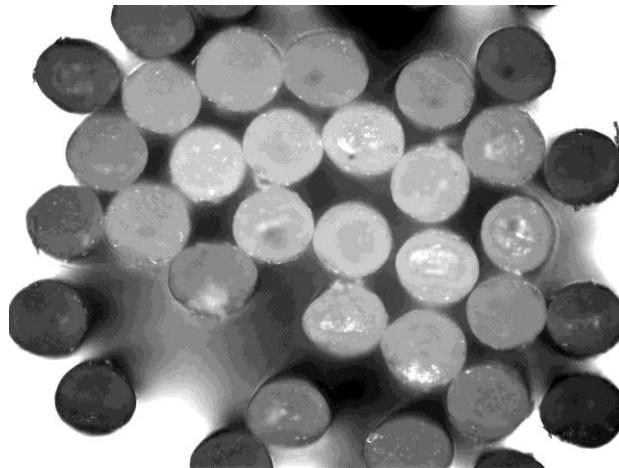


Abbildung 4 - 10: fotografische Darstellung

5. Ergebnisse

Die Auswertung der angefertigten Aufnahmen bezüglich der Qualität der Borstenabrundung erfolgte am Computer – basierend auf der Klassifikation von Silverstone und Featherstone (1988).

Auf Grund der Qualität der Bilder wurde eine Unterscheidung in akzeptable und nicht akzeptable Borstenabrundung ohne Untergruppierungen getroffen.

Silverstone und Featherstone (1988) typisieren die akzeptabel abgerundeten Borsten dreifach:

1. hemisphärische Abrundung,
2. planes Filamentende mit leicht abgerundeten Kanten und
3. zentrale Plateaubildung mit teilweise sphärischen Rundungen.

Als nicht akzeptable Endrundungen ermöglichen sich sogar fünf Formen – diverse scharfkantige und irreguläre Borstenenden.

Pro Gruppe wurden jeweils 12 Zahnbürsten mit je 4 Borstenbüscheln unterschiedlicher Lokalisation untersucht. Dies ergibt 48 auszuwertende Untersuchungsobjekte.

Auf eine genauere Betrachtung der Aufnahme „mit Profil“ wurde verzichtet, da es sich lediglich um eine Abart der topografischen Darstellung handelt.

Die anderen Varianten wurden alle zum Zeitpunkt $t = 0$, $t = 90$ Tage und $t = 180$ Tage untersucht und miteinander verglichen.

Da das Mikroskop deutliche Schwächen in den Aufnahmen – hauptsächlich bei den weichen und benutzten Borsten – zeigte, war es nicht möglich, alle Borsten beziehungsweise nur die teilweise stark reduzierte Anzahl der deutlich abgebildeten Filamente auszuwerten.

Die Zahl der auswertbaren Borsten wurde im Vorfeld für jede Zahnbürste an Hand der angefertigten Aufnahmen festgelegt.

5.1 Fabrikneue Zahnbürsten

5.1.1 Aufnahme „a“ – topografische Darstellung

In Gruppe A (mittel, N= 275g) konnten im Durchschnitt pro Zahnbürste 25 Filamente je Borstenbüschel bewertet werden. Der Mittelwert zeigte eine akzeptable Borstenabrundung von 72,4 %.

Bei Gruppe B (mittel, N=550g) ergab sich bei etwa 23 Filamenten je Büschel eine nicht akzeptable Abrundung von 23,47 %.

In den Gruppen der Bürsten mit weicher Borstenqualität konnten durchschnittlich nur 16 (Gruppe C, weich, N=275g) beziehungsweise 18 (Gruppe D, weich, N=550g) Borsten pro Büschel bewertet werden. In Gruppe C ist ein Wert von 70 % akzeptabel abgerundeten Filamenten erkennbar, während in Gruppe D der Anteil lediglich 58 % beträgt.

Es traten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Werte der Abrundungsqualität in der Lokalisation der Büschel auf.

5.1.2 Aufnahme „b“ – Höheninformation

Bei einer durchschnittlichen Beurteilung von 25 Borsten pro Büschel lag der Anteil der akzeptabel abgerundeten Filamente in Gruppe A (mittel, N = 275g) bei 50,89 %, auch Gruppe B (mittel, N = 550g) zeigt in dieser Aufnahme lediglich 51,63 % gute endgerundete Borsten. Hierbei waren im Durchschnitt jeweils 23 Filamente auswertbar.

Bezüglich der Bürsten mit weicher Borstenqualität konnten bei einer Betrachtung von je 16 (Gruppe C, weich, N = 275g) beziehungsweise 18 (Gruppe D, weich, N = 550g) Borsten je Büschel überwiegend abgeschrägte Borstentypen festgestellt werden. Die Werte liegen in Gruppe C (weich, N = 275g) bei 56,05 % und in Gruppe D (weich, N = 550g) bei 58,76%.

5.1.3 Aufnahme „d“ – Darstellung mit virtuellem Licht

Nach Auswertung der Bilder ergab sich für Gruppe A (mittel, N = 275g) bei durchschnittlich 25 Filamenten ein Wert von 58,61 % akzeptabel abgerundeter Borstenenden.

In Gruppe B (mittel, N = 550g) waren nach Betrachtung aller Aufnahmen 50,63 % der Enden nicht akzeptabel abgerundet. Die Endrundung in Gruppe C (weich, N = 275g) betrug bei den akzeptablen 48,88 % und bei den nicht akzeptablen 51,12 %. Gruppe D (weich, N = 550g) zeigte überwiegend nicht akzeptabel endgerundete Filamente mit einem Mittelwert von 54,62 %.

	Aufnahme a	Aufnahme b	Aufnahme d
Gruppe A	72,41 %	50,89 %	58,61 %
Gruppe B	76,53 %	51,36 %	49,37 %
Gruppe C	70,11 %	43,95 %	48,88 %
Gruppe D	58,20 %	41,24 %	45,50 %

Tabelle 5 - 1 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der neuwertigen Zahnbürsten

5.2. Zahnbürsten nach 90tägiger Nutzung

5.2.1 Aufnahme „a“ – topografische Darstellung

Nach 90tägiger Nutzung der Zahnbürsten stieg die Anzahl der akzeptabel abgerundeten Borsten. Gruppe A (mittel, N = 275g) verzeichnet bei einer Betrachtung von etwa 24 Filamenten je Büschel mit 87,12 % eine gute Endrundung, 84,91 % aller Monofilamente sind in Gruppe B (mittel, N = 550g) akzeptabel abgerundet. Es wurden durchschnittlich 22 Borstenspitzen beurteilt.

Bei den weichen Zahnbürsten ergab sich bereits nach einer 90tägigen Nutzung ein deutlicher Rückgang der auswertbaren Objekte – dies offensichtlich ohne Beteiligung des Anpressdrucks. In Gruppe C (weich, N = 275g) konnten 14 und in Gruppe D 13 Borsten pro Büschel ausgewertet werden. Die Ergebnisse von 82,37 % in Gruppe C und 72,41 in Gruppe D zeigen auch hier eine hohe Anzahl von endgerundeten Filamenten.

5.2.2 Aufnahme „b“ – Höheninformation

Im Vergleich zu den neuwertigen Produkten erkennt man bei diesen Aufnahmen einen sehr deutlichen Anstieg der akzeptabel abgerundeten Borstenenden. In den Gruppen A (mittel, N = 275g) und B (mittel, N = 550g) waren 18 von 24 beziehungsweise 17 von 22 Filamenten mit guten Endrundungen zu finden – dies entspricht einem jeweiligen Prozentsatz von 75,06 % in Gruppe A (mittel, N = 275g) und 78,64 % in Gruppe B (mittel, N = 550g). Bei den zu beurteilenden Büscheln der Gruppe C (weich, N = 275g) ergab sich ein Wert von 23,04 % der

nicht akzeptabel abgerundeten Enden; auch Gruppe D (weich, N = 550g) befindet sich mit 26,45 % im unteren Bereich.

5.2.3 Aufnahme „d“ – Darstellung mit virtuellem Licht

In Aufnahme d zeichnet sich eine Anstiegstendenz der positiv zu bewertenden Endrundungen ab. 18 von 24 Borstenenden der Gruppe A (mittel, N = 275g) sind akzeptabel abgerundet – das entspricht einem Prozentsatz von 71,41 %. Gruppe B (mittel, N = 550g) mit 78,27 % folgt diesem Muster. In den Gruppen C (weich, N = 275g) und D (weich, N = 550g) steigen die Borstenwerte mit guter Abrundung sogar noch weiter an. Hier ergeben sich Resultate von 83,47 % (Gruppe C [weich, N = 275g]) und 98,97 % (Gruppe D [weich, N = 550g]).

	Aufnahme a	Aufnahme b	Aufnahme d
Gruppe A	87,12 %	75,06 %	71,41 %
Gruppe B	84,91 %	78,64 %	78,27 %
Gruppe C	82,37 %	76,95 %	83,47 %
Gruppe D	72,80 %	73,55 %	79,38 %

Tabelle 5 - 2 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der Zahnbürsten nach 90tägigem Gebrauch

5.3. Zahnbürsten nach 180tägiger Nutzung

5.3.1 Aufnahme „a“ – topografische Darstellung

Bei Nutzung von Zahnbürsten nach einer Zeitspanne von 180 Tagen kommt es zu einer Reduzierung der Anzahl der akzeptabel endgerundeten Borstenspitzen. Zudem sind nicht mehr alle Büschel mit Hilfe des Mikroskops erfassbar. Möglicherweise liegt die Ursache hierfür in der weniger exakten Bündelung der Filamentbüschel. Besonders deutlich sieht man dies in den Gruppen C (weich, N = 275g) und D (weich, N = 550g). Eventuell spielt hier der Faktor der Borstendicke zusätzlich eine tragende Rolle.

In Gruppe A (mittel, N = 275g) beträgt die durchschnittlich akzeptable Abrundung 72,32 %, bei Gruppe B (mittel, N = 550g) ergibt sich ein Wert von 62,63 %. Die Mittelkomponenten von Gruppe C (weich, N = 275g) und Gruppe D (weich, N = 550g) liegen bei 62,17 % beziehungsweise 40,50 %.

5.3.2 Aufnahme „b“ – Höheninformation

Verglichen mit Aufnahme „a“ lassen sich tendenziell kaum Unterschiede bei der Reduktion der akzeptabel abgerundeten Borsten feststellen. Gruppe A (mittel, N = 275g) liegt mit einem Durchschnittswert von 82,21 % akzeptabel abgerundeter Filamente an erster Stelle. In Gruppe B (mittel, N = 550g) dagegen zeigen sich nur etwa 64,22 % aller Borsten mit einer guten Endrundung. Zahlenmäßig noch niedrigere Werte findet man in Gruppe C (weich, N = 275g) mit 53,94% und in Gruppe D (weich, N = 550g) mit lediglich 34,52 %.

5.3.3 Aufnahme „d“ – Darstellung mit virtuellem Licht

Wie bereits bei den Aufnahmen „a“ und „b“ lässt sich auch hier eine Abnahme der positiv zu bewertenden Borstenenden nachweisen. Während in Gruppe A (mittel, N = 275g) 82,17 % aller Filamentenden akzeptabel abgerundet sind, liegt der Wert in Gruppe B (mittel, N = 550g) bei nur 71,22%. In den Gruppen C (weich, N = 275g) und D (weich, N = 550g) erhöht sich die Anzahl der abgeschrägten Borsten erheblich. Ergebnisse von 45,46 % in Gruppe C (weich, N = 275g) beziehungsweise 59,75 % in Gruppe D (weich, N = 550g) beweisen die oben angeführte Aussage.

	Aufnahme a	Aufnahme b	Aufnahme d
Gruppe A	72,32 %	82,21 %	82,17 %
Gruppe B	62,63 %	64,22 %	71,22 %
Gruppe C	62,17 %	53,94 %	54,44 %
Gruppe D	40,50 %	34,52 %	40,25 %

Tabelle 5 - 3 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der Zahnbürsten nach 180tägigem Gebrauch

5.4 Vergleich der aufgeführten Ergebnisse

Es lässt sich somit feststellen, dass die neuwertigen Produkte überwiegend akzeptabel abgerundete Borstenenden aufweisen. Nach 90tägiger Nutzung nimmt die Anzahl aller endgerundeten Filamente zu. Noch macht sich kein Unterschied zwischen den Bürsten mit weicher und mittlerer Borstenqualität bemerkbar. Auch innerhalb der Gruppen mit höherem Anpressdruck ist eine Veränderung zu den Bürsten mit einem Gewicht von 275g nicht feststellbar. Eine nahezu generelle Zunahme der nicht akzeptabel abgerundeten Monofilamente ist nach 180tägiger Nutzung der Zahnbürsten erkennbar. Lediglich in Gruppe A verzeichnet sich bei den Aufnahmen „b“ und „d“ ein Zuwachs der annehmbar endgerundeten Borstenspitzen.

Die höhere Rate der scharfkantigen Borsten macht sich besonders bei den weichen Zahnbürsten und bei denen mit einem Anpressdruck von 550 g bemerkbar.

Sowohl bei einer Putzdauer von 90 als auch einer von 180 Tagen treten in allen Gruppen Probleme beim Scanvorgang auf. Insbesondere davon betroffen sind die Gruppen C (weich, N = 275g) und D (weich, N = 550g). Zurückzuführen ist dies mit Sicherheit auf den geringen Borstendurchmesser. Des Weiteren lassen sich die nicht auswertbaren Ergebnisse durch die Aufbiegung der Borstenbüschel und den daraus resultierenden größeren Büschelquerschnitt erklären. Die Borsten sind dadurch nicht mehr vom Laser des Mikroskops erfassbar. Ebenso kann man die abgeknickten oder die nach außen gebogenen Filamente nicht mehr darstellen.

Generell sind zwischen den Aufnahmen die gleichen Tendenzen zur Beurteilung der Abrundungsqualität ersichtlich (siehe jeweils Diagramm 5 - 1, 5 - 2, 5 - 3). Es existieren jedoch Unterschiede in den Bewertungen von Aufnahmen „a“ hinsichtlich derer zu Aufnahmen „b“ und „d“ (siehe Tabelle 5 - 1, 5 - 2, 5 - 3, 5 - 4, 5 - 5, 5 - 6), wobei sich die größere Diskrepanz in der Auswertung der neuen Zahnbürsten bemerkbar macht. Im Gegensatz dazu gleichen sich die Ergebnisse der Bilder „b“ und „d“. Daraus ergibt sich die Hypothese, dass diese Aufnahmen aus den genannten Gründen zur Auswertung von Abrundungsqualitäten der Zahnbürstenborsten geeigneter sind.

	neuwertig	90 Tage	180 Tage
Gruppe A	72,32 %	87,12 %	72,32 %
Gruppe B	76,53 %	84,91 %	62,63 %
Gruppe C	70,11 %	82,37 %	62,17 %
Gruppe D	58,20 %	72,80 %	40,50 %

Tabelle 5 - 4 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der Aufnahme „a“

	neuwertig	90 Tage	180 Tage
Gruppe A	50,89 %	75,06 %	82,21 %
Gruppe B	51,36 %	78,64 %	64,22 %
Gruppe C	43,95%	76,95 %	53,94 %
Gruppe D	41,24 %	73,55 %	34,52 %

Tabelle 5 - 5 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der Aufnahme „b“

	neuwertig	90 Tage	180 Tage
Gruppe A	58,61 %	71,41 %	82,17 %
Gruppe B	49,37 %	78,27 %	71,22 %
Gruppe C	48,88%	83,47 %	54,44 %
Gruppe D	45,50 %	79,38 %	40,25 %

Tabelle 5 - 6 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der Aufnahme „d“

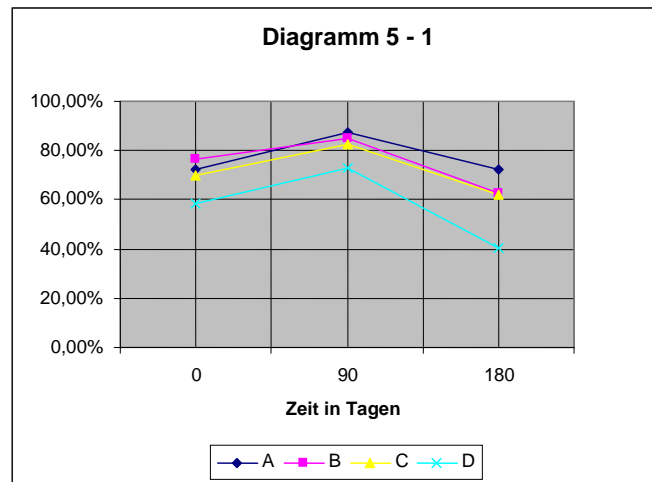


Diagramm 5 - 1 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der Aufnahme „a“

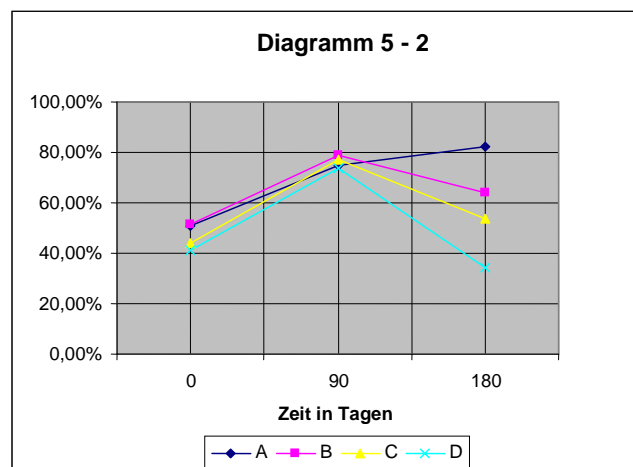


Diagramm 5 - 2 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der Aufnahme „b“

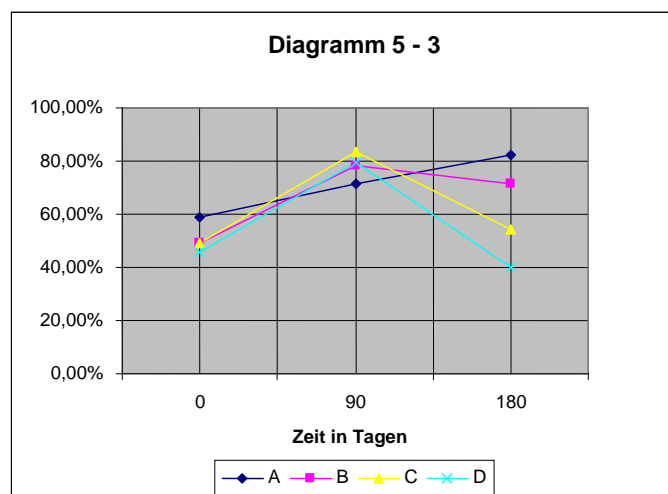


Diagramm 5 - 3 Mittelwerte der akzeptabel abgerundeten Borstenenden der Aufnahme „d“

6. Diskussion

6.1 Benutzerfreundlichkeit – Erlernbarkeit und Arbeit am LSM

Nach ausführlicher Einweisung vor Ort (Institut für Materialwissenschaft und Werkstofftechnologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Herrn Prof. Klaus D. Jandt und Herrn Hempel; Firma Zeiss Fr. Kieslich) in die Funktionsweise und Handhabung des LSM Meta 510 durch den Betreuer des Gerätes sollten die Parameter des Mikroskops für die Untersuchung festgelegt und eingestellt werden. In Ermangelung bereits bestehender Forschungsergebnisse und Publikationen erwies sich dies als besonders schwierig. Um optimale Resultate zu erreichen, musste eine Spezialistin von Carl – Zeiss –Jena (Fr. Kieslich) hinzugezogen werden. Ohne diese durch Experten definierten Grundeinstellungen wäre eine Bedienung des LSM nicht möglich gewesen.

Der erste Arbeitsschritt umfasste die Positionierung der Zahnbürste auf dem Objektträger und die Einstellungen der veränderbaren Parameter. Dann erfolgte das Abtasten mithilfe des Lasers. Je nach Einstellung kann dies ein sehr langwieriger Prozess sein, da der Laser das Untersuchungsobjekt punktförmig, Zeile für Zeile abtastet. Danach werden die so gewonnenen Daten per Computer als dreidimensionales Bild berechnet.

Im Anschluss besteht die Möglichkeit über die AxioCam ein Foto der Probe zu fertigen.

Ist der Vorgang der Bilderstellung abgeschlossen, können die gewonnenen Aufnahmen mit dem Programm AxioVisionLE be- und überarbeitet werden.

Es werden vier verschiedene Alternativen der Darstellung angeboten:

1. topografische Darstellung
2. Höhendarstellung
3. Profilmessung
4. Beleuchtung mit virtuellem Licht.

6.2 Bilddarstellung – Vor- und Nachteile

6.2.1 Fotografische Darstellung

Die Fotografie liefert gute Ergebnisse bei der Beurteilung von Bearbeitungsrückständen (siehe Abbildung 6 - 1, grüner Pfeil) oder Auflagerungen. Es lassen sich Messungen von Abständen und Durchmesser vornehmen (siehe Abbildung 6 - 2). Die Lagebeziehungen der Filamente eines Büschels zueinander sind gut erkennbar. Da die Borsten bei der Aufnahme das Licht reflektieren (siehe Abbildung 6 - 1, blauer Pfeil), ist es unmöglich, eine eindeutige Beurteilung über die Endrundung zu erstellen. Des Weiteren sind auf Grund der Höhenunterschiede der Borsten einige unscharf abgebildet (siehe Abbildung 6 - 1, oranger Pfeil).

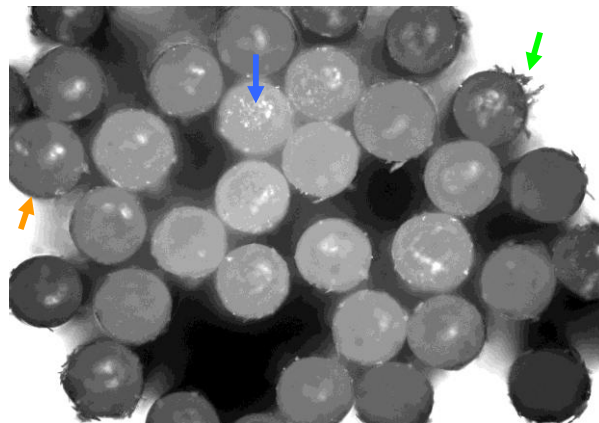


Abbildung 6 - 1: Fotografische Darstellung eines Büschels mit Bearbeitungsrückständen (grüner Pfeil), unscharf abgebildeten Borsten (oranger Pfeil) und Licht reflektierenden Borsten (blauer Pfeil)

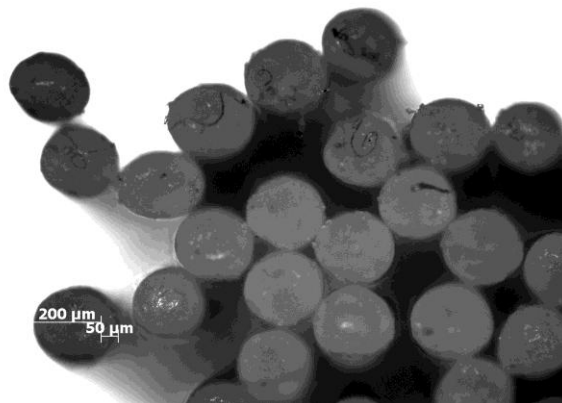


Abbildung 6 - 2: Bestimmung eines Borstendurchmessers

6.2.2 Topografische Darstellung

An Hand dieser Aufnahme lassen sich Höhenunterschiede der einzelnen Borsten deutlich erkennen. Zudem liefert sie einen guten Gesamtüberblick über ein Büschel und dessen grobe Borstenform, wie zum Beispiel in Abbildung 6 - 3 – dachfirstartig zugespitzte Borsten (grüner Pfeil) und Auflagerungen (gelber Pfeil).

Nicht zufrieden stellend ist die Darstellung der Abrundungsqualität. Die Borsten erscheinen primär abgerundet, aber es lässt sich keine Aussage bezüglich der Art der Abrundung treffen, wie beispielsweise Plateaus o. ä. (rosa Pfeil).

Durch die unterschiedlichen Höhen gehen die kürzeren Borsten in der Aufnahme scheinbar verloren und lassen sich nicht mehr optimal beurteilen.

Die einheitliche Farbgebung trägt dazu bei, dass die Details nicht eindeutig erkennbar sind.

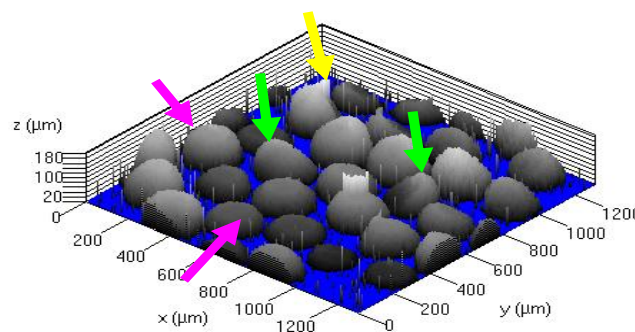


Abbildung 6 - 3: topografische Darstellung eines Büschels mit dachfirstartig zugespitzten Borsten (grüner Pfeil), Auflagerungen (gelber Pfeil) und abgerundeten Borsten (rosa Pfeil)

6.2.3 Höhendarstellung

Bei dieser Art der Aufnahme handelt es sich um die eingefärbte topografische Darstellung eines Büschels.

Die farbliche Gestaltung der Höhenunterschiede erlaubt eine gute Beurteilung der Filamentlängen (siehe Abbildung 6 - 4). Durch das Anfärben des Büschels wird die Konzentration auf die Höhe und Oberfläche der jeweiligen Borsten gelenkt. Auch hier erscheinen diese primär abgerundet, ohne eindeutige Informationen zu deren Qualität zu liefern. Plateaus werden angedeutet (rosa Pfeil), aber nicht ideal dargestellt.

Auflagerungen (grüner Pfeil) und spitz zulaufende (dachfirstartige) Borsten (gelber Pfeil) sind in Abbildung 6 - 4 gut erkennbar.

Die bläulichen Einfärbungen sind nicht zuzuordnen, sie entstehen durch die regenbogenartige Einfärbung der Borsten.

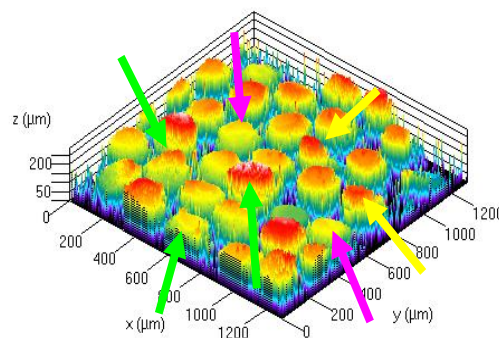


Abbildung 6 - 4: Höhendarstellung eines Büschels mit Auflagerungen (grüner Pfeil), spitz zulaufenden Borsten (gelber Pfeil) und Borsten mit Plateaus (rosa Pfeil)

6.2.4 Beleuchtung mit virtuellem Licht

Das mit virtuellem Licht beleuchtete Bild weist auf die Unregelmäßigkeiten der Monofilamentoberfläche sowie die Abrundungsqualität hin. Abbildung 6 - 5 zeigt Plateaus (rosa Pfeil), dachfirstartig zugespitzte Borsten (grüner Pfeil), Unebenheiten der Oberfläche (gelber Pfeil) und angespitzte, nicht endgerundete Borsten (blauer Pfeil).

Zur Veranschaulichung von Höhenunterschieden lässt sich diese Aufnahmeart jedoch nicht heranziehen.

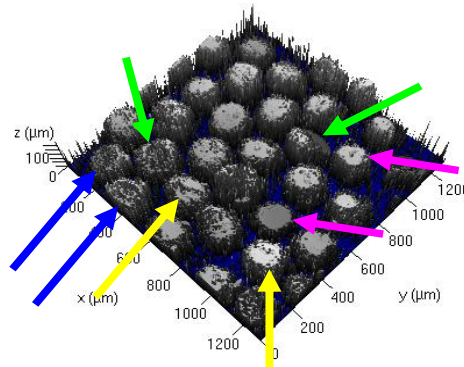


Abbildung 6 - 5: Beleuchtung eines Büschels mit virtuellem Licht und Borsten mit Plateaus (rosa Pfeil), zugespitzten Borsten (grüner Pfeil), Unebenheiten (gelber Pfeil) und nicht abgerundeten Borsten (blauer Pfeil)

6.2.5 Profilmessung

In derartigen Darstellungen wird an Hand einer definierten Stelle eine Linie durch die Probe gezogen. Gleichzeitig erfolgt in einem Diagramm die Wiedergabe des Profils. Auch hier bildet die topografische Übersicht die Grundlage des Bildes.

Veränderungen der Bürstenabrundungsqualität sind unter dem zeitlichen Aspekt nur schwer nachvollziehbar. So zeigt beispielsweise Abbildung 6 - 6 anhand des Linienprofils die Zustände der Borsten unterschiedlicher Nutzungsgrade. Zudem ist eine Veränderung der Borstenqualität am Linienprofil nicht zu erkennen. Es ist also fraglich, ob es sich dabei um ein und dieselben Borsten zu den verschiedenen Zeitpunkten handelt. Zudem sind die tiefen Einkerbungen der Profillinie nur schwer zu interpretieren. Es ist nicht sicher, ob es sich hierbei tatsächlich um Spalten in den Borsten handelt.

Da es nicht möglich ist, die Bürste unter dem Objektiv hundertprozentig wie in der ersten Aufnahme zu reponieren, ist es schwierig, mit dem Linienprofil exakt dieselben Borsten zu treffen, um einen genauen Vergleich hinsichtlich der Oberflächentopografie zu ziehen.

Somit sind die Ergebnisse dieser Aufnahme relativ unbrauchbar.

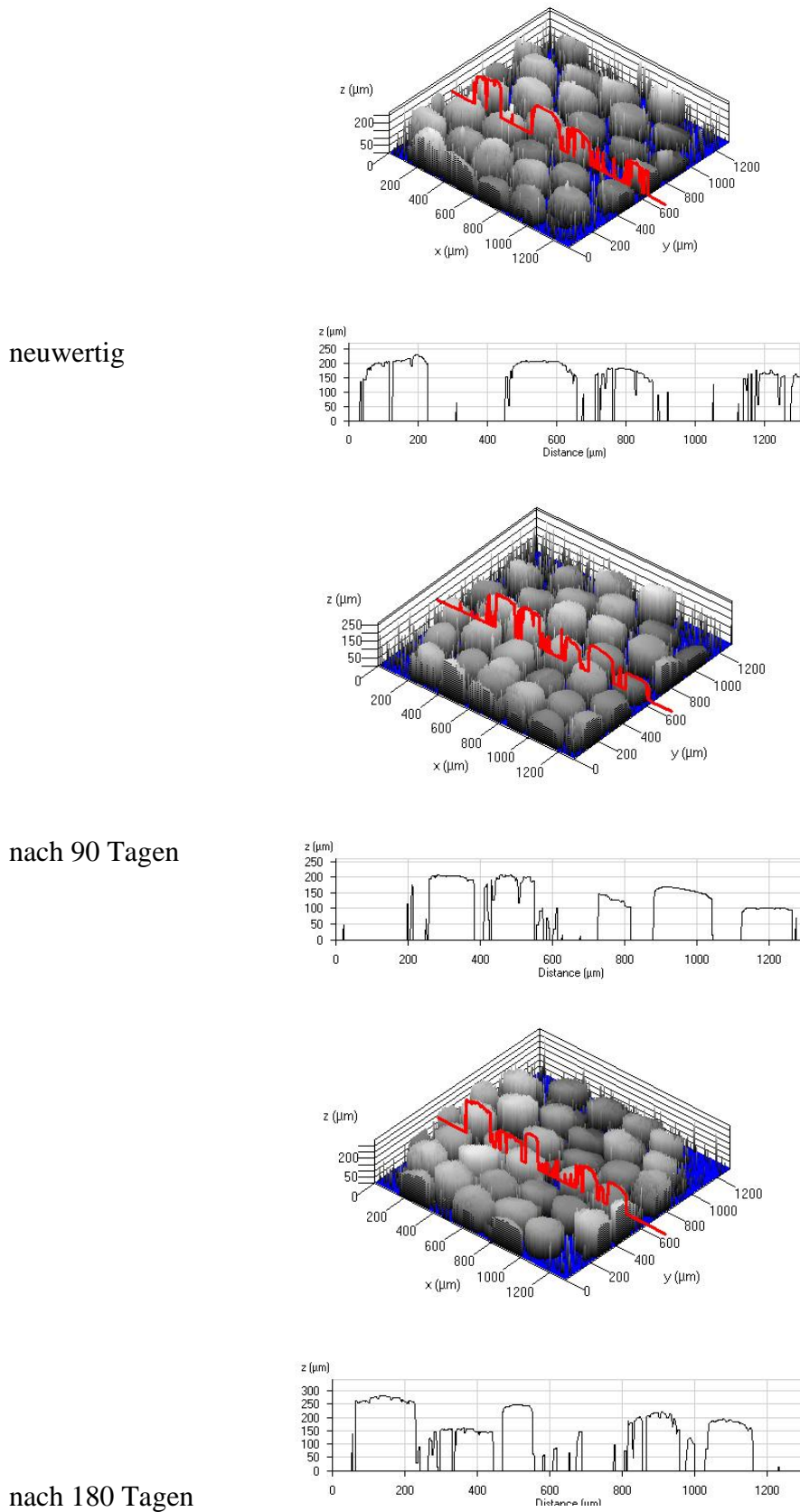


Abbildung 6 - 6: Profilmessung eines Borstenbüschels neuwertig, nach 90 und 180 Tagen

6.3 Anwendbarkeit des Laser – Scanning – Mikroskopes

In den zahlreichen Studien zum Thema Borstenabrundung kam hauptsächlich das Rasterelektronenmikroskop zur Anwendung. Es zeichnet sich durch eine hohe Tiefenschärfe, großes Auflösungsvermögen und räumliche Darstellung des Bildes aus.

Der dreidimensionale Eindruck der abgebildeten Objekte ermöglicht die Beurteilung der Oberflächen und der Endrundung mehrerer Borsten innerhalb eines Büschels.

Zur Gewährleistung einer hohen Bildqualität ist es notwendig, die Proben mit einer dünnen, elektrisch leitfähigen Schicht zu überziehen, um Aufladungen während der Bearbeitung zu verhindern und die Sekundärelektronenausbeute zu erhöhen.

Zur Beschichtung des Objektes können Kohle oder Metalle (meist Gold) benutzt werden. Es stehen zwei Beschichtungsverfahren zur Verfügung: die Hochvakuumbedampfung und die am häufigsten genutzte Kathodenzerstäubung (sputtering). Beim Sputtern bildet sich ein Metallgas, das teilweise auf den Proben kondensiert. Um eine zusammenhängende und gleichmäßige Goldschicht zu erzielen, wird der Probenhalter mit 4,5 Umdrehungen pro Minute gedreht (Borchert 2005).

Franchi und Checchi (1995) konnten in ihrer Studie zeigen, dass es bei diesem Vorgang durch eine Temperaturerhöhung bis zu 59° C zu morphologischen Veränderungen der Borsten kommt. Dabei wird die Temperatur von der Zeitdauer des Besputterns und vom Abstand der Probe zur Kathode beeinflusst. Eine Distanz von 5 cm und eine Sputterzeit von 120 Sekunden scheinen auszureichen, um Veränderungen zu vermeiden. Durch das Sputtern der Untersuchungsobjekte sind diese für weitere Verwendungen unbrauchbar. Das heißt beispielsweise, dass keine Vergleiche der gleichen Zahnbürste im neuwertigen und gebrauchten Zustand möglich sind.

Arbeiten, die Borstenenden nach Gebrauch bewerten, sind demnach kritisch zu betrachten, da Abrundungen oder Defekte bereits vor dem Bürstvorgang bestanden haben könnten und nicht durch diesen verursacht sein müssen (Borchert 2005).

Da weder beim Lichtmikroskop noch beim Laser – Scanning - Mikroskop eine Probenvorbereitung notwendig ist, sind Studiendesigns mit mehreren Untersuchungszeitpunkten an einem Objekt, das heißt, an ein und derselben Bürste möglich.

Sowohl Stereo- als auch Rasterelektronenmikroskope schaffen aus dreidimensionalen Gegenständen eine zweidimensionale Abbildung.

Eine Analyse der nicht sichtbaren Bereiche ist unmöglich. Durch die Betrachtung einer Borste von nur einer Seite sind falsch positive Ergebnisse zu erwarten (Drisko et al. 1995).

Einzig das Laser – Scanning - Mikroskop ermöglicht eine dreidimensionale Sichtweise, indem es optische Schnitte in unterschiedlichen Tiefen ausführt und diese zu dreidimensionalen Bildstapeln zusammenfügt (Donges 2007).

Während das Rasterelektronenmikroskop durch seine ausgezeichnete Tiefenschärfe und sein hohes Auflösungsvermögen recht plastische Bilder der Borstenoberfläche schafft, ist das Lichtmikroskop wegen der geringen Tiefenschärfe und der niedrigen Auflösung nicht für die genaue Beurteilung von Endrundungen geeignet.

Anwendung findet es in der allgemeinen Einteilung der Filamentbündel in Anzahl, Reihen und Höhe, der Bestimmung der Anzahl der Einzelfilamente und der Beurteilung der Besteckungszone (Dellermann et al. 1994; Althaus et al. 1990).

Laser – Scanning - Mikroskope und Rasterelektronenmikroskope können je nach Vergrößerung einzelne Borsten oder ganze Büschel abbilden. Bei Betrachtung eines Büschels im Rasterelektronenmikroskop senkrecht von oben werden die Filamente nicht gleich dargestellt. Die kürzeren verschwinden sozusagen in der Aufnahme oder es ergeben sich unscharfe Abbildungen.

Beim Laser – Scanning - Mikroskop wiederum ist es nicht möglich, umgeknickte beziehungsweise umgebogene Borsten darzustellen. Der Laser kann diese nicht erfassen und es erscheinen wahllose Peaks auf dem Bildschirm. Auch werden bei der Darstellung die Borstenschäfte nicht dargestellt. Dazu benötigt man eine zweite seitliche Aufnahme.

Positiv ist, dass man beim Scanning – Mikroskop bei bestmöglich erhaltener Auflösung zwischen großen und kleinen Bildvergrößerungen wechseln kann (Pfinninger 2008).

Vorteile gegenüber dem Rasterelektronenmikroskop sind die dreidimensionale – Darstellung und somit die allseitige Betrachtung der Borste, trotz geringerer Tiefenschärfe als bei Rasterelektronenmikroskopaufnahmen, die Wiederverwendbarkeit der Bürsten und die Möglichkeit der Bearbeitung der gewonnenen Bilder mit einer geeigneten Computersoftware. Die Probenvorbereitungen beim Rasterelektronenmikroskop gestatten somit nur einzeitige Untersuchungen, die beispielsweise die Qualität einer Bürste im Originalzustand beschreiben, oder Fragestellungen, die klären sollen, wie sich Borsten verändern, ohne dabei auf

Ausgangswerte zurückgreifen zu müssen. Das Laser – Scanning – Mikroskop ermöglicht Beurteilungen und Vergleiche von Aufnahmen, die zu verschiedenen Zeitpunkten entstanden sind, miteinander. Hierfür eignen sich am ehesten die Höhendarstellung und die Darstellung mit virtuellem Licht. Eine tendenzielle Beurteilung hinsichtlich der Abrundungsqualität ist nur nach langer Einarbeitungszeit möglich. Durch die teilweise gewöhnungsbedürftige Darstellung der Aufnahmen bietet sich ein gewisses Maß an Interpretationsspielraum.

Hauptsächlich findet die konfokale Mikroskopie in der Biologie und medizinischen Forschung Anwendung (Donges 2007). So kann man beispielsweise Proteinbewegungen erforschen, Ionenkonzentrationen in Zellen darstellen und analysieren, molekulare Wechselwirkungen durch Fluoreszenzfarbstoffe anzeigen, dynamische Prozesse in Zellen und Geweben untersuchen und neuronale Strukturen betrachten (Carl Zeiss 1999; Carl Zeiss 2000; Carl Zeiss 2011). Auch in der Industrie fand diese Art der Mikroskopie Anklang. Es können Messungen der Rauigkeit, Messungen von Mikrohärteeindrücken und Messungen von Schichtdicken durchgeführt werden (Donges 2007).

Gonser et al. (2008) untersuchten in ihrer Studie die Veränderung von Prothesenkunststoff nach Reinigung mit diversen Hygienemitteln. Sie nutzten die REM-Darstellung zur qualitativen und die Profilometrie und Laser-Scanning-Mikroskopie zur quantitativen Oberflächenbewertung. Abschließend stellten sie fest, dass die konfokale Laser – Scanning - Mikroskopie zur Quantifizierung von Rauheitsunterschieden im Nanometerbereich nicht geeignet ist. Zu anderen Ergebnissen bezüglich der Anwendbarkeit des Laser - Scanning - Mikroskops kamen Flemming (2009) und Wünscher (2009).

Flemming (2009) verglich die Profilometrie mit der Laser – Scanning – Mikroskopie. Sie untersuchte Erosionstiefen und den damit einhergehenden Volumenverlust an Milchzähnen. Als negativ wird hier die lange Aufnahmezeit und als positiv die Weiterverwendung des Probenmaterials bewertet.

Zur Bestimmung von Frakturlinien und Impressionen an Dentalkeramiken setzte Wünscher (2009) das Laser – Scanning – Mikroskop 510 Meta ein. Das Mikroskop lieferte eindeutige Ergebnisse und ist somit für diese Art der Analysen ausgezeichnet geeignet.

In der Studie von Rath (2005) werden die Techniken der Impressionszytologie und der Laser – Scanning – Mikroskopie vergleichend betrachtet. Hierzu wurden an 23 Probanden zytologische Proben am Bindehautepithel entnommen beziehungsweise dieses direkt am Auge untersucht. Er stellte fest, dass eine Beurteilung des erhaltenen Bildmaterials nach dem

Scan – Vorgang nur durch einen Vergleich mit den Lichtmikroskopieergebnissen möglich ist und die Auswertung ein hohes Maß an Erfahrung erfordere. Zu kritisieren war, dass das Vorhandensein andersartiger Bildinformationen, die nicht die bekannten Strukturen aus der Lichtmikroskopie widerspiegeln, das Verständnis der Laser – Scanning – Mikroskop – Abbildungen und die Zuordnung der bekannten Zellbestandteile erschweren. Teilweise konnten unscharfe Bereiche im Epithelzellverband entdeckt werden. Trotzdem ist positiv hervorzuheben, dass durch die verminderte Qualität die Formen der Zellen erhalten blieben. Als Fazit kann in dieser Studie festgestellt werden, dass die konfokale Laser – Scanning – Mikroskopie alternativ zur Impressionszytologie als Verfahren zur Diagnostik von Bindehauterkrankungen eingesetzt werden kann. Rath (2005) stellte fest, dass eine Beurteilung des erhaltenen Bildmaterials nach dem Scan - Vorgang nur durch einen Vergleich mit den Lichtmikroskopieergebnissen möglich ist und die Auswertung ein hohes Maß an Erfahrung erfordere. Zu kritisieren war, dass das Vorhandensein andersartiger Bildinformationen, die nicht die bekannten Strukturen aus der Lichtmikroskopie widerspiegeln, das Verständnis der Laser – Scanning – Mikroskopie – Abbildungen und die Zuordnung der bekannten Zellbestandteile erschweren. Teilweise konnten unscharfe Bereiche im Epithelzellverband entdeckt werden. Trotzdem wird positiv hervorgehoben, dass durch die verminderte Qualität die Formen der Zellen erhalten blieben. Als Fazit ergibt sich somit, dass die konfokale Laser – Scanning – Mikroskopie alternativ zur Impressionszytologie als Verfahren zur Diagnostik von Bindehauterkrankungen eingesetzt werden kann.

Die Laser – Scan – Mikroskopie wird bereits seit geraumer Zeit als Standardverfahren zur Detektion Fluoreszenz – markierter Bereiche in Zellen genutzt. Hein (2003) untersuchte unter Vitalfluoreszenzfärbung die Dicke und Vitalität des Biofilms. Im Gegensatz zum Rasterelektronenmikroskop ist bei der konfokalen Mikroskopie keine Bearbeitung oder Fixation der Proben notwendig. So bleiben die Zellen des Biofilms intakt und werden nicht zerstört. Durch die Funktion der Bildserienaufnahme kann die Vitalität der Biofilmbakterien über einen gewissen Zeitraum beobachtet werden.

Zur besseren Veranschaulichung der Vor- und Nachteile der Mikroskope können diese Tabelle 6 - 1 entnommen werden.

	Lichtmikroskop	Rasterelektronenmikroskop	Laser - Scanning - Mikroskop
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Wiederverwendbarkeit der Proben - Untersuchung lebender Proben - leicht zu erlernen - geringer zeitlicher Aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Tiefenschärfe - gute Zeichnungsschärfe 	<ul style="list-style-type: none"> - Wiederverwendbarkeit der Proben - Untersuchung lebender Proben - guter Kontrast - hohe Auflösung - dreidimensionale Bilddarstellung - Tiefen- und Punktauflösung - keine Probenvorbereitung nötig
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Vergrößerung - evtl Probenvorbereitung nötig - geringe Tiefenschärfe - zweidimensionale Bilddarstellung 	<ul style="list-style-type: none"> - schwerer zu erlernen - aufwendige Probenvorbereitung - keine Untersuchung lebender Objekte - keine Wiederverwendbarkeit der Proben - zweidimensionale Bilddarstellung - hoher zeitlicher Aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - schwerer zu erlernen - geringe Tiefenschärfe - Bilder entstehen ausschließlich rechen technisch - hoher zeitlicher Aufwand

Tabelle 6 - 1: Vergleich der Vor- und Nachteile der Mikroskope

6.4 Erster Vergleich der Darstellungsweise der Mikroskope

Das Lichtmikroskop eignet sich auf Grund der geringen Objektvergrößerung gut zur Abbildung mehrerer Borstenbüschel oder sogar eines ganzen Bürstenkopfes.

Mit dem Rasterelektronenmikroskop beziehungsweise dem Laser – Scanning – Mikroskop ist dies nur bedingt möglich. Weiterhin lassen sich Verbiegungen der Büschel und die Neigung dieser sowie einzelner Borsten zueinander erkennen (siehe Abbildung 6 - 7). Durch die zusätzlich benötigte externe Lichtquelle wird die Lichtintensität nicht gleichmäßig verteilt. Es werden diverse Abschnitte zu dunkel, andere zu hell dargestellt. So sind Teile des Objektes nur bedingt beurteilbar, da sie das Licht stark reflektieren beziehungsweise kaum beleuchtet werden (Abbildung 6 - 8 und 6 - 9). Durch die geringe Auflösung und Vergrößerung ist eine detaillierte Betrachtung einzelner Borsten nur schwer möglich. Eine Einschätzung der Abrundungsqualität ist dadurch nicht durchführbar.

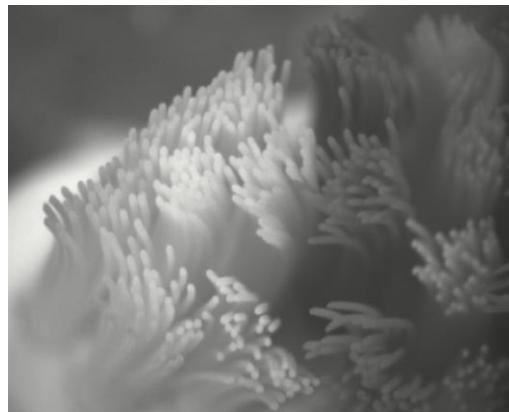


Abbildung 6 - 7: lichtmikroskopische Darstellung der Büschel und Neigung der Borsten zueinander

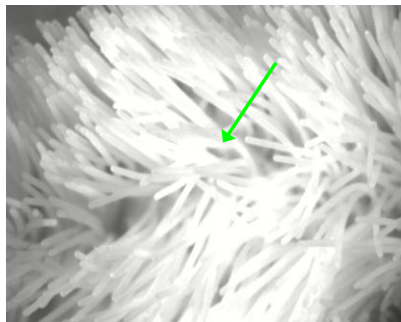


Abbildung 6 - 8: lichtmikroskopische Darstellung einer Bürste mit überbelichteten Anteilen (grüner Pfeil)

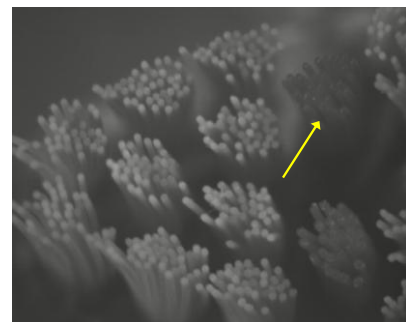


Abbildung 6 - 9: lichtmikroskopische Darstellung mit unterbelichteten, unscharfen Anteilen (gelber Pfeil)

Beim Rasterelektronenmikroskop sorgt die hohe Auflösung für eine gute Beschreibung der Borstenoberfläche und –form. Jedoch werden durch die zweidimensionale Abbildung Borsten teilweise verdeckt. Daraus folgt, dass nur die sichtbare Seite analysierbar ist. Sonst können, wie bereits erwähnt, falsch positive Schlüsse gezogen werden (Drisko et al. 1995).

Die Beurteilung der Abrundung setzt eine Aufnahme von 45° oder 90° voraus (Borchert 2005). Die hervorragende Zeichnungsschärfe lässt die Identifizierung der Oberflächenbeschaffenheit, wie Längsrisse, Aufspaltungen, zerklüftete Oberflächen und Auflagerungen (Abbildungen 6 - 10, 6 - 11, 6 - 12 und 6 - 13), zu.

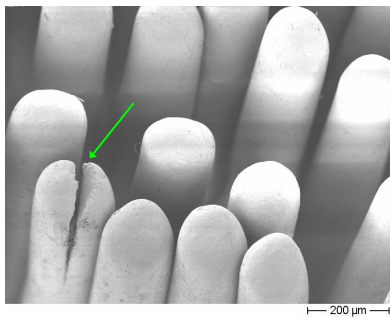


Abbildung 6 - 10: REM-Darstellung mit Längsriss einer Borste (grüner Pfeil)

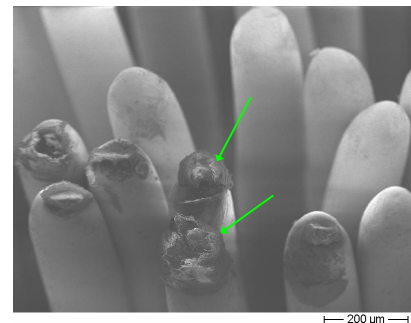


Abbildung 6 - 11: REM-Darstellung von Borsten mit Aufspaltungen (grüner Pfeil)

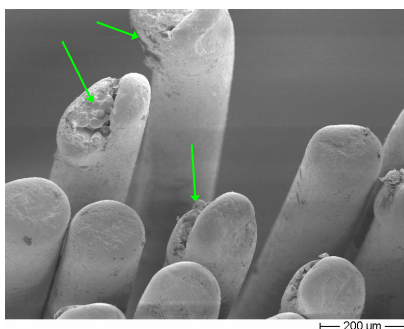


Abbildung 6 - 12: REM-Darstellung von Borsten mit zerklüfteten Oberflächen (grüne Pfeile)

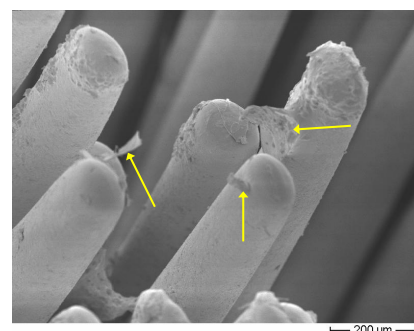


Abbildung 6 - 13: REM-Darstellung von Borsten mit Auflagerungen (gelbe Pfeile)

Das Laser – Scanning – Mikroskop ist im Gegensatz zum Lichtmikroskop und Rasterelektronenmikroskop in der Lage, eine computergestützte, dreidimensionale Abbildung des Büschels zu schaffen. Dadurch kann mit einer Aufnahme ein Büschel von allen Seiten betrachtet werden. Mit dem Licht- und dem Rasterelektronenmikroskop müsste man hierfür zwei oder mehr Aufnahmen anfertigen.

Die Beschaffenheit der Borstenoberfläche sowie die Abrundungsqualität lassen sich anhand einer Darstellung mit virtuellem Licht mäßig gut beurteilen. Um die Höhe der einzelnen Filamente bestimmen zu können, ist eine zweite Bildbearbeitungsvariante notwendig – die so genannte Höhendarstellung, in der verschiedene Farben unterschiedliche Höhen und Tiefen der Borsten kennzeichnen. Da keine Veränderungen an den Proben vorgenommen werden müssen, ist eine Untersuchung dieser zu unterschiedlichen Zeitpunkten möglich.

Um einen direkteren Vergleich der Darstellungsweisen zu erhalten, sind in den Tabellen 6 - 2, 6 - 3 und 6 - 4 die verschiedenen Aufnahmen in unterschiedlichen Abnutzungsstadien nebeneinander gestellt.

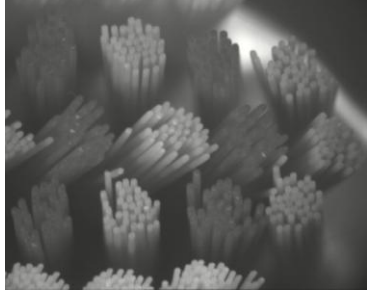
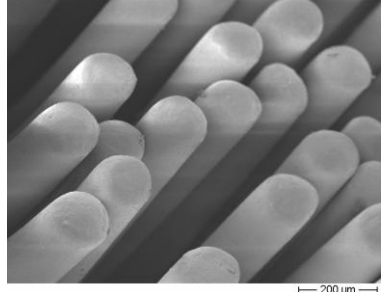
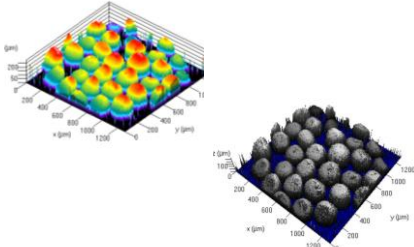
Lichtmikroskop	Rasterelektronenmikroskop	Laser – Scanning - Mikroskop
		
<ul style="list-style-type: none"> - keine Borstenverbiegung - keine Auffaserung der Borstenbüschel - regelrecht angeordnete Borstenbüschel 	<ul style="list-style-type: none"> - akzeptabel abgerundete Borsten mit Plateaus - spitz zulaufende Borsten - glatte Borstenoberfläche - Kunststoffüberschüsse 	<ul style="list-style-type: none"> - akzeptabel abgerundete Borsten - spitz zulaufende Borsten - abgeschrägte Borstenenden - Kunststoffüberschüsse

Tabelle 6 - 2: Vergleich der Darstellungsweise der Mikroskope neuwertiger Zahnbürsten

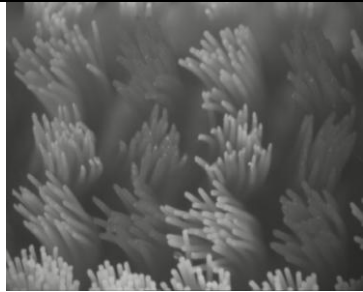
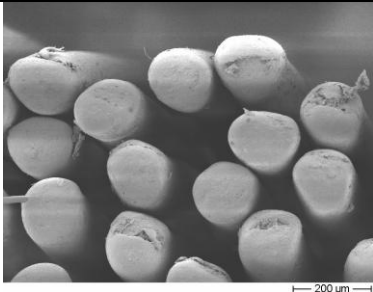
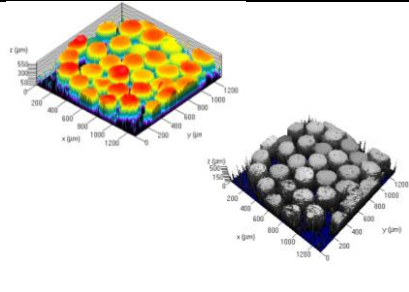
Lichtmikroskop	Rasterelektronenmikroskop	Laser – Scanning - Mikroskop
		
<ul style="list-style-type: none"> - leichte Borstenverbiegung - Auffaserung der Borstenbüschel - Auflockerung der Büschelanordnung 	<ul style="list-style-type: none"> - akzeptabel abgerundete Borsten - teilweise inakzeptabel abgerundete Borsten - Verschmutzungen - Oberflächenrauigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> - akzeptabel abgerundete Borsten - inakzeptabel abgerundete Borsten - Oberflächenrauigkeiten

Tabelle 6 - 3: Vergleich der Darstellungsweise der Mikroskope bei Zahnbürsten mit mäßig starken Gebrauchsspuren

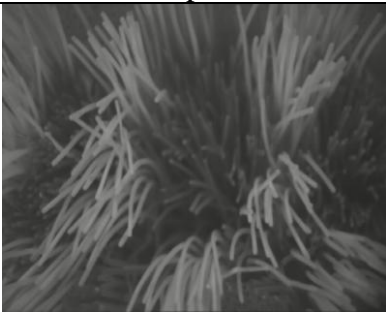
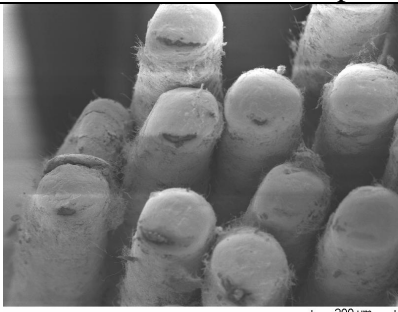
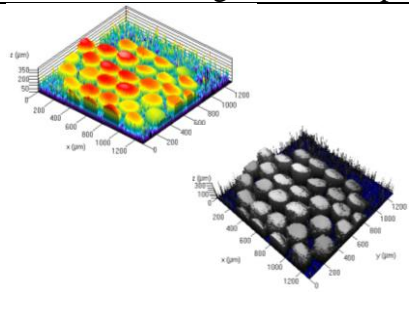
Lichtmikroskop	Rasterelektronenmikroskop	Laser – Scanning - Mikroskop
		
<ul style="list-style-type: none"> - starke Borstenverbiegung - starke Auffaserung der Borstenbüschel - Büschelanordnung schwer erkennbar 	<ul style="list-style-type: none"> - spitz zulaufende Borsten - Längsrisse - keulenförmige Deformation - Auflagerungen - Oberflächenunebenheiten - Oberflächenrauigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> - viele nicht zu beurteilende Borstenenden - Auffaserung der Borstenbüschel - spitz zulaufende Borstenenden - Auflagerungen

Tabelle 6 - 4: Vergleich der Darstellungsweise der Mikroskope bei Zahnbürsten mit starken Gebrauchsspuren

Aus den gerade angeführten Aspekten lässt sich schließen, dass sich das Laser – Scanning - Mikroskop nur bedingt für die Untersuchung von Abrundungsqualitäten eignet, denn die Borsten sind zwar aus den verschiedensten Blickwinkeln betrachtbar, auch durch die farbliche Gestaltung ist zudem das Ausmaß der Abrundung feststellbar, aber nicht eindeutig zuzuordnen. Da es sich bei diesen Aufnahmen lediglich um eine grafische Darstellung der momentanen Situation handelt, kann es zu Störungen (Peaks) und Fehlinformationen innerhalb des Bildes kommen. Diese Nachteile weisen die anderen beiden Methoden nicht auf, da es sich hierbei um vergrößerte Fotografien handelt und durch die ausgezeichnete Schärfenzeichnung im Rasterelektronenmikroskop kleinste Erhebungen, Risse und Splissbildungen der Borsten gut zu sehen sind. Dafür haben diese Aufnahmen durch die nur zweidimensionale Darstellung Bereiche, die innerhalb des Bildes verdeckt sind, und Seiten, die nicht betrachtet werden können. Mit dem Laser – Scanning – Mikroskop ist man also nur in der Lage, interpretierte Aussagen über die Form der Borsten, das heißt, ob sie abgerundet sind, spitz zulaufen oder ob sich Auflagerungen auf ihnen befinden, zu treffen. Daraus ergibt sich, dass das Laser – Scanning – Mikroskop zum gegenwärtigen Zeitpunkt für ausschließliche Untersuchungen von Zahnbürstenborsten nicht geeignet ist.

Andere Konfigurationen und Ausstattungen des Mikroskops könnten die gewünschten Untersuchungen sicherlich ermöglichen.

So ist bei dieser Studie negativ zu bewerten, dass das Objektiv nicht optimal auf die gestellten Anforderungen zugeschnitten war. Eine Übersichtsaufnahme konnte gar nicht und ein gesamtes Büschel nur sehr schwer dargestellt werden. Nach Abnutzung der Zahnbürsten und der daraus resultierenden Aufdehnung der Borstenbüschel sind diese in ihrer Gänze nicht mehr abbildbar. Die dünnen Filamente der Bürsten mit weicher Qualität waren durch den Laser schwer bis kaum erfassbar. Eine Fülle an Fehlmeldungen machte eine hohe Anzahl von Aufnahmen unbrauchbar. Viele Bilder zeigten nach dem Abtasten des Lasers und anschließender Berechnung durch den Computer feine Linien auf den Oberflächen, das sogenannte Bildrauschen. Diese lassen sich mit Hilfe des Gaußfilters unterdrücken. Wünschenswert wäre hierbei zu erfahren, ob durch diese technische Überarbeitung auch nennenswerte Veränderungen an der Oberfläche der Filamente stattfinden.

Durch die besondere Kalibrierung und die hohen technischen Anforderungen an den Bediener ist eine zeitintensive Einweisung mit vorgegebenen Richtwerten erforderlich.

Erwähnenswert ist auch der zeitliche Aspekt der Untersuchung. So benötigt je nach Einstellung die Fertigstellung einer Aufnahme auf Grund der Fülle der zu erstellenden Bildstapel mehrere Minuten. Um dies zu beschleunigen, lassen sich Änderungen der Einstellwerte nur mit einer deutlichen Qualitätseinbuße des gewonnenen Bildes vornehmen.

Bei der dortigen Ausstattung des Mikroskops war es nicht möglich, adäquate Aufnahmen anzufertigen, um diese auf dem gleichen hohen Niveau wie Rasterelektronenmikroskop-aufnahmen auszuwerten.

Mit den technischen Ausstattungen des Laser – Scanning – Mikroskops 510 Meta der Universität Jena ist das Gerät zum Zeitpunkt der Untersuchungen eher für die Betrachtung und Analyse von planen Objekten geeignet.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die Auswahl eines geeigneten Mikroskops von den Studienanforderungen und den zu erwartenden Ergebnissen abhängt. Eine alleinige Nutzung des Laser – Scanning – Mikroskopes zur Bewertung der Borstenabrundung ist somit bei dem derzeitigen Stand der Technik und bei der gegebenen Ausstattung nicht empfehlenswert.

7. Zusammenfassung

Eine gute Qualität der Borstenendrundung ist zur Vermeidung von Weichgewebsverletzungen unerlässlich.

Ziel dieser Studie war es, eine andere Untersuchungsmethode zur Charakteristik von Zahnbürstenborsten zu finden und somit die Anwendbarkeit des Laser – Scanning – Mikroskops zur Beurteilung von Borstenabrundungen zu bewerten.

Zahnbürsten der Marke Dr. Best[®] flex plus, Kurzkopf, mit weicher und mittlerer Borstenfeldhärte, wurden in einer automatischen Zahnputzmaschine abgenutzt. Je nach Gruppeneinteilung betragen die Auflagegewichte 275g oder 550g. Der Putzvorgang fand zwei Mal täglich auf in Kunststoff eingebetteten Rinderfrontzähnen mit einem Mindestabstand von vier Stunden statt. Als Putzmedium diente ein Zahnpasta – Speichel – Gemisch.

Die Bürstenköpfe wurden im Originalzustand nach 90 und 180 Tagen Abnutzung unter dem Laser – Scanning – Mikroskop 510 Meta untersucht. Zuvor fand eine Einteilung der Köpfe in 4 Segmente statt. Aus diesen wählte man jeweils ein Büschel, die Büschel 7, 18, 24 und 31, zur genaueren Betrachtung aus. Nach rasterförmigem Abtasten der Probe durch den Laser und Erstellung eines dreidimensionalen Bildes mit Hilfe eines Computers konnten die Aufnahmen mit dem Bildbearbeitungsprogramm AxioVision LE überarbeitet werden. Es entstanden vier verschiedene Darstellungen eines Büschels: 1. die topografische Darstellung, 2. die Höhendarstellung, 3. die Profilmessung und 4. die Beleuchtung mit virtuellem Licht. Zusätzlich bestand die Möglichkeit, ein Foto der dargestellten Situation mit der am Mikroskop befestigten Kamera anzufertigen.

Die entstandenen Bilder wurden im Vergleich miteinander und mit lichtmikroskopischen sowie rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen analysiert. Die Höhendarstellung und die Darstellung der Beleuchtung mit virtuellem Licht sind als mäßig geeignet zur Beurteilung von Borstenabrundungen befunden worden.

Quintessenz dieser Studie ist, dass sich die Methodik des Laser – Scanning – Mikroskops zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zur Analyse von Borstenenden eignet.

8. Anhang

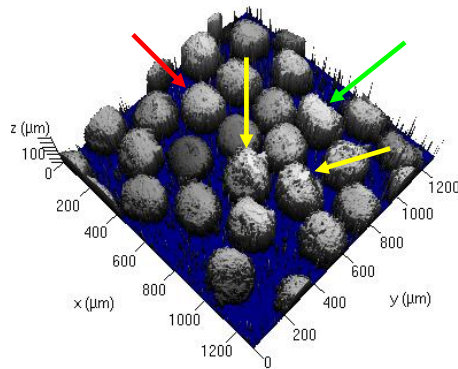


Abbildung 8 - 1: LSM –Darstellung eines Büschels mit abgeschrägten Borsten (grüner Pfeil), Auflagerungen (gelber Pfeil) und primär endgerundeten Borsten im ungenutzten

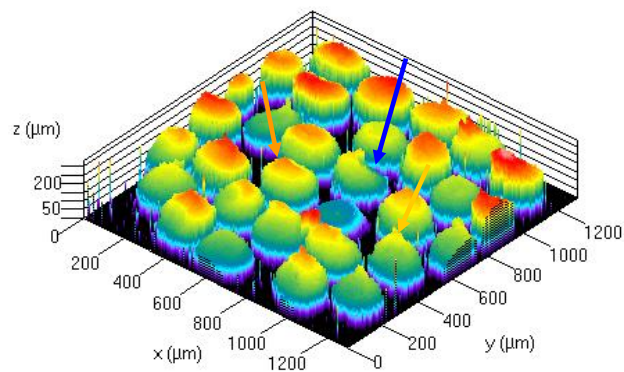


Abbildung 8 - 2: LSM - Darstellung eines Büschels mit dachförmig zugespitzten Borsten (blauer Pfeil) und Auflagerungen (oranjer Pfeil)

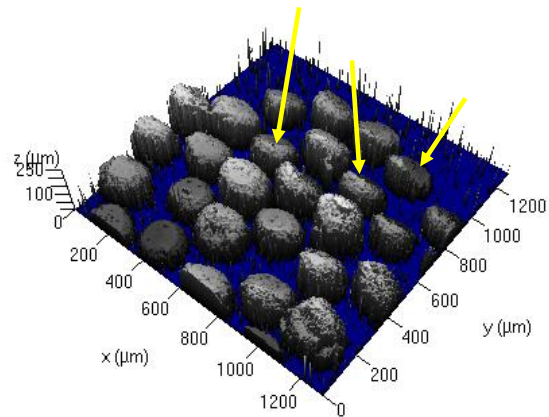


Abbildung 8 - 3: LSM – Darstellung eines Büschels mit dachfirstartig zugespitzten Borsten im neuwertigen Zustand

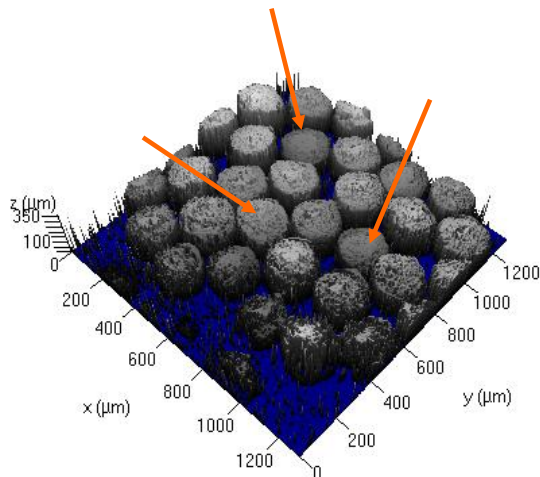


Abbildung 8 - 4: LSM – Darstellung mit vollständig abgerundeten Borstenenden (oranger Pfeil) nach einer Putzdauer von 90 Tagen

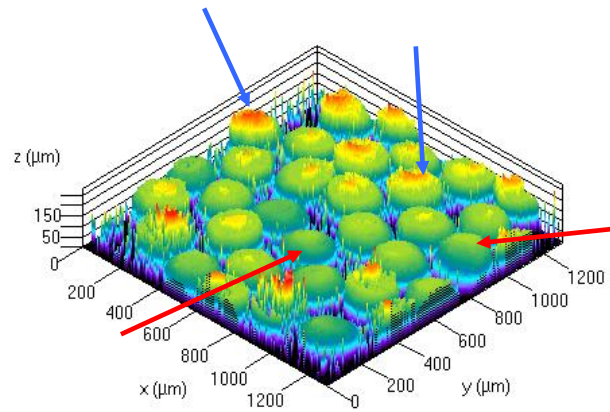


Abbildung 8 - 5: LSM – Darstellung eines Büschels mit beinahe gleichlangen (blauer Pfeil) und ideal abgerundeten Borstenenden (roter Pfeil) nach 90 tägiger Abnutzung

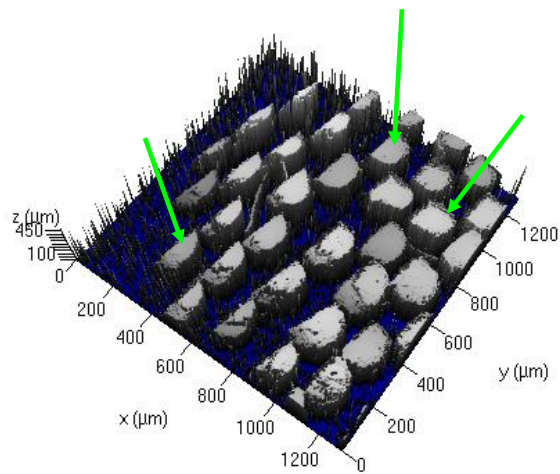


Abbildung 8 - 6: LSM – Darstellung eines Büschels mit abgeflachten und nicht endgerundeten Borsten (grüner Pfeil) nach einer Abnutzung von 180 Tagen

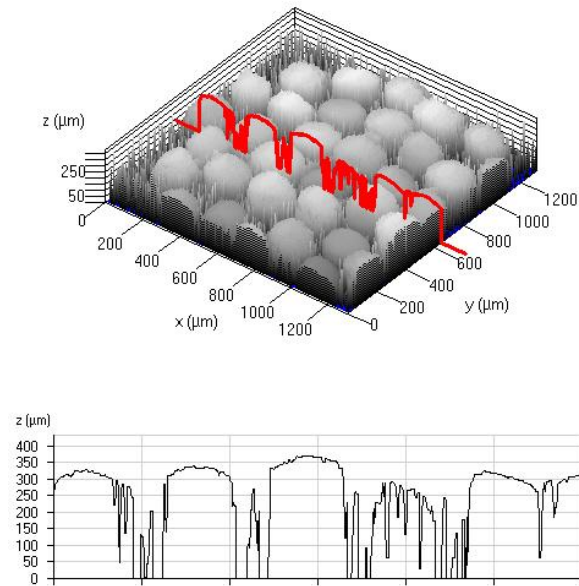


Abbildung 8 - 7: LSM – Darstellung eines Büschels mit ideal abgerundeten Borstenenden nach einer Putzdauer von 180 Tagen

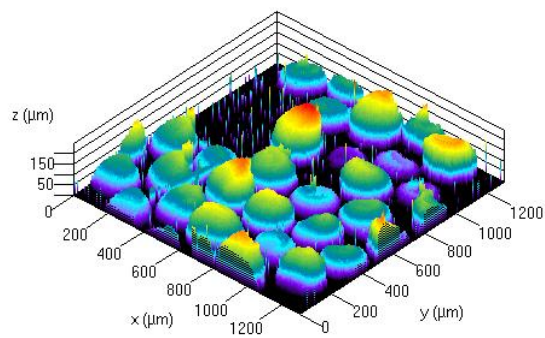


Abbildung 8 - 8: Höhendarstellung der Zahnbürste A1₇ neuwertig mit 53,85% akzeptabel abgerundeten Borstenenden

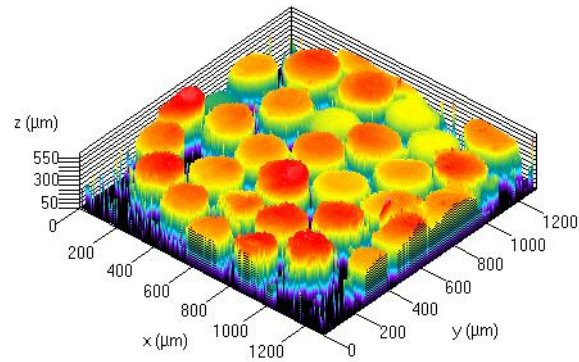


Abbildung 8 - 9: Höhendarstellung der Zahnbürste A1₇ nach 90 Tagen Gebrauch mit 85,71% akzeptabel abgerundeten Borstenenden

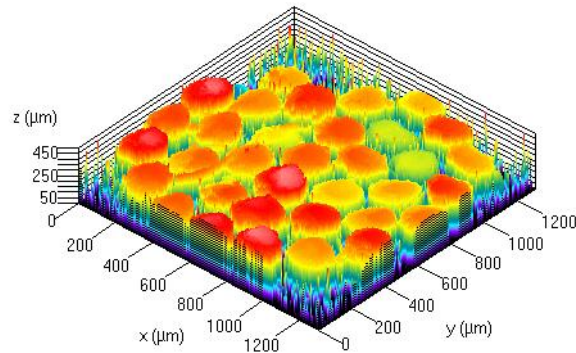


Abbildung 8 - 10: Höhendarstellung der Zahnbürste A1 nach 180 Tagen Gebrauch mit 92,59% akzeptabel abgerundeten Borstenenden

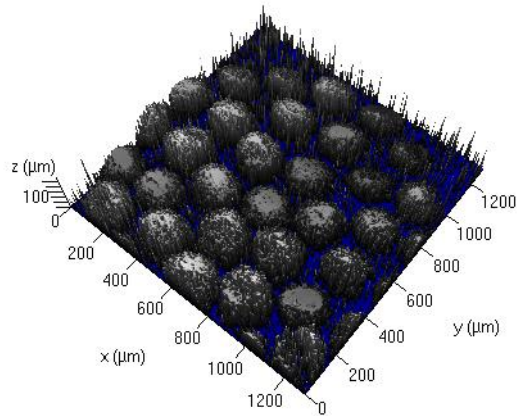


Abbildung 8 - 11: Darstellung mit virtuellem Licht der Zahnbürste B4₃₁ neuwertig mit 85,19% akzeptabel abgerundeten Borstenenden

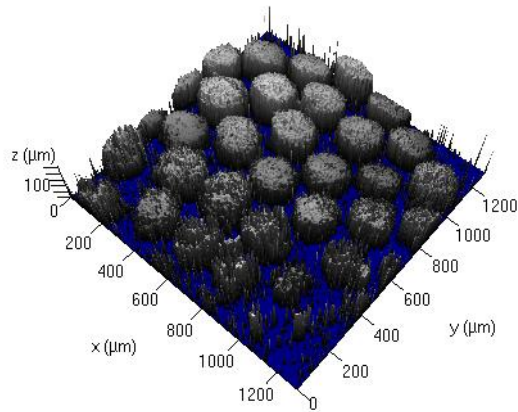


Abbildung 8 - 12: Darstellung mit virtuellem Licht der Zahnbürste B4₃₁ nach 90 Tagen Gebrauch mit 94,12% akzeptabel abgerundeten Borstenenden

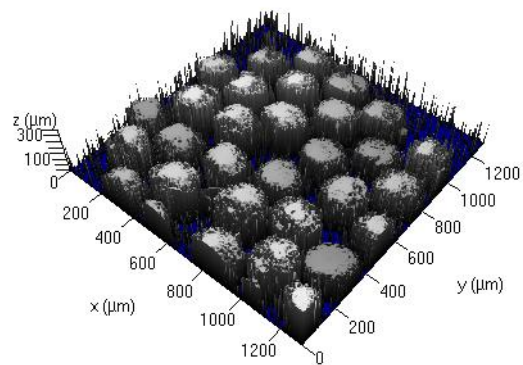


Abbildung 8 - 13: Darstellung mit virtuellem Licht der Zahnbürste B4₃₁ nach 180 Tagen Gebrauch mit 88,00 % akzeptabel abgerundeten Borstenenden

9. Literaturverzeichnis

Allet B, Regolati B, Mühlemann H R (1972):

Die Rolle der Griffabwinkelung auf die Reinigungskraft einer Zahnbürste. Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 82, 452 – 460

Althaus D, Kockapan C, Wetzel W E (1990):

Borstenabrundung und Besteckung bei Kinderzahnbürstenmarken. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100, 159 – 164

Arnold M (1968):

Ein Beitrag und Hinweise zu Fragen der konstruktiven Zweckmäßigkeit, „Lebensdauer“ und des sinnvollen Gebrauchs der Zahnbürste. Dtsch Stomatol 18, 442 – 453

Attin T, Hilger R D, Hellwig E (1996):

Einfluss von Muzin auf die Entstehung von Schmelzerosionen. Dtsch Zahnärztl Z 51, 506 – 510

Bass C C (1948):

The optimum characteristics of toothbrushes for personal oral hygiene. Dent Items of Interest 70, 697 – 718

Bay I, Kardel K M, Skougaard M R (1967):

Quantitative evaluation of the plaque removing ability of different types of toothbrushes. J Periodontol 38, 526 – 533

Beals D, Ngo T, Feng Y, Cook D, Grau D G, Weber D A (2000):

Development and laboratory evaluation of a new toothbrush with a novel brush head design. Am J Dent 13, 5 – 14

Berchtold M-T:

Die antibakterielle Wirkung von Nanosilber auf Zahnbürsten. Med. Diss. Ulm 2008

Beyeler K, Mooser M (1960):

Zahnabrasionen, Zahnfleischverletzungen und tägliche Mundhygiene. Dtsch Zahnärztl Z 15, 1443 – 1448

Björn H, Lindhe J (1966):

Abrasion of dentine by toothbrush and dentifrice. A methodological study. Odontol Revy 17, 17 – 27

Bolten I:

Das Zahnpflegeproblem unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung der Zahnbürste. Med. Diss. Bonn 1936

Borchert N:

Ein Vergleich unterschiedlicher Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Abrundungsqualität der Borsten von Zahnbürsten anhand von 10 kommerziell erhältlichen Kinderzahnbürsten. Med. Diss. Berlin 2005

Carl Zeiss

Produktinformationen des LSM 5 Pascal. Carl Zeiss Jena 1999

Carl Zeiss

Die konfokale Laser Scanning Mikroskopie – Grundlagen. Carl Zeiss Jena 2000

Carl Zeiss

Principle of Confocal Laser Scanning Microscopy – An exclusive monograph detailing the special nature of image formation in a confocal LSM. Carl Zeiss Jena 2011

Carvalho Rde S, Rossi V, Weidlich P, Oppermann R V (2007):

Comparative analysis between hard - and soft – filament toothbrushes related to plaque removal and gingival abrasion. J Clin Dent 18, 61 – 64

Checchi L, Minguzzi S, Franchi M, Forteleoni G (2001):

Toothbrush filaments end-rounding: stereomicroscope analysis. J Clin Periodontol 28, 360 – 364

Cronin M J, Dembling W Z, Low M A, Jacobs D M, Weber D A (2000):

A comparative clinical investigation of a novel toothbrush designed to enhance plaque removal efficacy. Am J Dent 13, 21 – 26

Daly C G, Chapple C C, Cameron A C (1996):

Effect of toothbrush wear on plaque control. J Clin Periodontol 23, 45 - 49

Dellermann P A, Burkett T A, Kreyling K M (1994):

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

DIN 13917 Teil 1, Beuth Verlag, Berlin 1988

DIN 13917 Teil 2, Beuth Verlag, Berlin 1990

Dörfer C E, von Bethlenfalvy E R, Kugel B, Pioch T (2003):

Cleaning efficacy of a manual toothbrush with tapered filaments. Oral Health Prev Dent 1, 111 – 128

Donges A (2007):

Grundlagen der konfokalen Laserscanning Mikroskopie. Laser Journal 17, 32 – 33

Drisko C, Henderson R, Yancy J (1995):

A review of current toothbrush bristle endrounding studies. *Compend Contin Educ Dent* 16, 694, 696, 698

Emling R C, Yankell S L, Shi X, Smith J C (2005):

Three laboratory assessments of a new triple-head toothbrush and the Oral-B-40 toothbrush. *J Clin Dent* 16, 6 – 10

Flemming K:

In – vitro – Erosion von menschlichen Milchzähnen verursacht durch Zitronensäure, vergleichend gemessen mit Profilometer und konfokalem Laser Scanning Mikroskop. Med. Diss. Jena 2009

Fraleigh C M, McElhaney J H, Heiser R A (1967):

Toothbrushing force study. *J Dent Res* 46, 209 – 214

Franchi M, Checchi L (1995):

Temperature dependence of toothbrush bristle morphology. *J Clin Periodontol* 22, 655 - 658

Gilanschah A:

Vergleichende Untersuchungen von Zahnbürsten mit Kunststoff- und Naturborstenbesteckung. Med. Diss. Würzburg 1993

Gonser F, Kiesow A, Sarembe S, Petzold M (2008):

Bewertung durch Zahnbürstenreinigung hervorgerufener Oberflächenveränderungen bei Prothesenkunststoffen. *Dtsch Zahnärztl Z* 63, 689 – 696

Groß D, Lindner S, Mayer R (1996):

Der Einfluß von Zahnputztechniken und Zahnpasten auf die Entstehung von Zahnhalsdefekten. *ZWR* 105, 108 – 111

Gülzow H-J (1972):

Die Mundhygiene mit der Zahnbürste. Dtsch Zahnärztl Z 27, 254 – 260

Gülzow H-J, Busse G (1970):

Klinisch-experimentelle Untersuchung über die Wirksamkeit verschiedener Zahnputzmethoden und Zahnputzmittel. Dtsch Zahnärztl Z 25, 1126 – 1133

Hauke M:

Gingivatraumatisierung und Plaquereduktion unter dem Einfluß der Borstenfeldhärte von multi-tufted Zahnbürsten. Med. Diss. Aachen 1994

Heath J R, Wilson H J (1974).

Forces and rates observed during in vivo toothbrushing. Biomed Eng 9, 61 – 64

Hein N:

Dreidimensionale Struktur- und Vitalitätsverteilung oraler bakterieller Biofilme (dentaler Plaque). Med. Diss. Freiburg 2003

Heintze U, Birkheid D, Björn H (1983):

Secretion rate and buffer effect of resting and stimulated whole saliva as a function of age and sex. Swed Dent J 7, 227 – 238

Hellwig E, Klimek J, Attin T:

Einführung in die Zahnerhaltung. Urban und Fischer, München 2007

Henschke B, Lange D E, Vahl J (1978):

Vergleichende rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Zahnbürsten mit Kunststoff- und Naturborsten. Dtsch Zahnärztl Z 33, 220 -222

Hintze R:

Beiträge zur Geschichte der Zahnbürsten und anderer Mittel zur Mund- und Zahnpflege. Med. Diss. Berlin 1930

Huber B, Rüeger K, Hefti A (1985):

Der Einfluss der Zahnreinigungsdauer auf die Plaquereduktion. Schweiz Monatsschr Zahnmed 95, 985 – 992

Imfeld T, Sener B, Simonovic I (2000):

In-Vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsüblichen Handzahnbürsten. Acta Med Dent Helv 5, 37 – 47

Klima J, Rossiwall B (1976):

Zur Gestaltung von Zahnbürstenborsten – Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen. Quintessenz 27, 113 – 119

Klimek J, Hellwig E, Ahrens G (1982):

Fluoride Taken Up by Plaque, by the Underlying Enamel and by Clean Enamel from Three Fluoride Compounds in vitro. Caries Res 16, 156 – 161

Koch C A, Ausschil T M, Arweiler N B (2007):

Wann sollte eine Zahnbürste ausgewechselt werden? Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd 29, 150 – 158

Kreifeldt J G, Hill P H, Calsisti L J P (1980):

A systematic Study of the Plaque Removal Efficiency of Worn Toothbrushes. J Dent Res 59, 2047 – 2055

Leimgruber C (1951):

Etwas über Zahnbürsten. Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 61, 590 – 602

Massassati A, Frank R M (1982):

Scanning electron microscopy of unused and used manual toothbrushes. *J Clin Periodontol* 9, 148 – 161

Mayer R, Groß D, Tefoit M (1996):

Vergleichende Untersuchungen zur Kontamination von Zahnbürsten mit synthetischem und Naturborsten-Besatz. *Oralprophylaxe* 18, 55 – 60

Muller-Bolla M, Lupi-Pégurier L, Bertrand M F, Velly A M (2007):

Manual toothbrush wear and consequences on plaque removal. *J Clin Dent* 18, 73 – 78

Nossek H, Wächter J (1983):

Stereomikroskopische Untersuchungen über Veränderungen an Zahnbürsten aus Kunststoff in Abhängigkeit von der Gebrauchszeit. *Stomatol DDR* 33, 349 – 354

Otto Y A:

Der Einfluß von Bleichpräparaten auf die Bürstabrasion von Zahnschmelz in vitro. Med. Diss. Göttingen 2003

Pfinninger S:

Aufbau eines Laser – Scan – Mikroskops mit matched – masks Phasenkontrast – Theoretische Grundlagen, Entwicklung des Mikroskops, Analysen und Ergebnisse. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken 2008

Rath R:

Zur vergleichenden Morphologie des Bindehautepithels zwischen Impressionszytologie und konfokaler Laser Scanning Mikroskopie. Med. Diss. Greifswald 2005

Riethe P:

Die Quintessenz der Mundhygiene, Quintessenz Verlag, Berlin 1974

Sauerwein E (1962):

Traktat über die Zahnbürste. Dtsch Zahnärztl Z 17, 121 – 134

Sforza N M, Rimondini L, di Menna F, Camorali C (2000):

Plaque removal by worn toothbrush. J Clin Periodontol 27, 212 - 216

Sgan-Cohen H D, Vered Y (2005):

A clinical trial of the meridol toothbrush with conical filaments: evaluation of clinical effectiveness and subjective satisfaction. J Clin Dent 16, 109 – 113

Sgan Cohen H D, Livny A, Vered Y (2008):

The elmex SENSITIVE toothbrush: effect on plaque reduction and subjective satisfaction after two months. J Clin Dent 19, 22 – 27

Sharma N C, Qaqish J G, Galustians H J, King D W, Low M A, Jacobs D M, Weber D A (2000):

An advanced toothbrush with improved plaque removal efficacy. Am J Dent 13, 15 – 19

Silverstone L M, Featherstone M J (1988):

A scanning electron microscope study of the endrounding of bristles in eight toothbrush types. Quintessence Int 19, 87 – 107

Straub C:

Klinisch – experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung von Zahnpasten mit unterschiedlichen Wirkstoffen und von verschieden harten Zahnbürstenborsten auf die Zellverteilung der gesunden Gingiva, ermittelt mit Hilfe des Millipore-Filter-Abdruckverfahrens. Med. Diss. Homburg 1980

Streichfuss M G:

Aufbau eines konfokalen Rasterfluoreszenzmikroskops. Physikal Dipl. Stuttgart 2008

Tefoit M:

Zur Problematik der Zahnbürstenkontamination mit Bakterien und Viren. Med. Diss. Ulm 1993

Van der Weijden G A, Timmermann M F, Danser M M, Van der Velden U (1998):

Relationship between the plaque removal efficacy of a manual toothbrush and brushing force. J Clin Periodontol 25, 413 – 416

Wünscher U:

Frakturbildung in den zahnärztlichen vollkeramischen Materialien auf der Basis von Zirkoniumdioxid. Med. Diss. Göttingen 2009

Yankell S L, Shi X, Emling R C (2002):

Laboratory evaluations of elmex inter X toothbrushes for interproximal access efficacy and posterior tooth surface cleaning. J Clin Dent 13, 249 – 252

Yankell S L, Shi X, Emling R C (2007):

Laboratory interproximal access efficacy and gingival margin cleaning of the elmex SENSITIVE SOFT, EXTRA SOFT and ADA reference toothbrushes. J Clin Dent 18, 25 – 28

Zimmer S, Didner B, Roulet J-F (1999):

Clinical study on the plaque-removing ability of a new triple-headed toothbrush. J Clin Periodontol 26, 281 – 285

Zuhrt R (1959):

Die Zahnbürste. Dtsch Stomatol 6, 551 – 557

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei Herrn Prof. Mausberg und Herrn Dr. Ziebolz für die Bereitstellung des Themas und für die Betreuung sowie die Bereitstellung der lichtmikroskopischen und rasterelektronischenmikroskopischen Aufnahmen bedanken.

Ein großer Dank gilt auch dem Institut für Materialwissenschaft und Werkstofftechnologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Herrn Prof. Klaus D. Jandt und natürlich Herrn Hempel für die Nutzung des LSM und für die intensive Einarbeitung und Betreuung, sowie Frau Kieslich von der Firma Zeiss für die Hilfe bei der Suche nach den richtigen Einstellungen des Mikroskopes.

Danke Frau Mirja Gursche für die Kunststoffproben. Vielen Dank auch an Herrn Maik Kreft und Herrn Michel Svoboda für die allseits bereite Hilfe bei meinen PC-Fragen.