Aus der Abteilung Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie

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

im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Untersuchung zur Effektivität verschiedener Dekontaminationsmethoden bei Handzahnbürsten unterschiedlicher Borstenhärte

Eine In-vitro-Studie anhand Monobiofilmen von
Streptococcus mutans und Staphylococcus aureus

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät

der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Karolin Schlösser

aus Olpe

Göttingen 2013

Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. R. F. Mausberg
2. Berichterstatter/in:	Priv.-Doz. Dr. med. dent. S. Sennhenn-Kirchner
3. Berichterstatter/in:	Prof. Dr. med. M. Oppermann
Tag der mündlichen Prüfung:	09. Juli 2013

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....
Abkürzungsverzeichnis .....
1. Einleitung 1
2. Literaturübersicht 3
2.1 Mundhygiene und Mundhygienemaßnahmen 3
2.1.1 Orale Mikroorganismen 5
2.1.2 Mundhygienehilfsmittel 5
2.1.2.1 Zahnbürste 6
2.1.2.2 Interdentalräume 6
2.1.2.3 Zahnpasta 6
2.2 Zahnbürsten 7
2.2.1 Geschichte der Zahnbürste 7
2.2.2 Klassifizierung und Aufbau von Zahnbürsten 9
2.3 Kariesätiologie 11
2.4 Kariogene Mikroorganismen 12
2.4.1 Staphylococcus aureus 12
2.4.2 Streptococcus mutans 13
2.5 Dekontaminationsmethoden 15
2.5.1 Lufttrocknung 16
2.5.2 Chlorhexidindigluconat 17
2.5.3 UV-Ofen 20
3. Versuchsplanung und Ziel der Studie 22
3.1 Versuchsplanung 22
3.2 Ziel der Studie 24
4. Material und Methoden 25
4.1 Material 25
4.1.1 Handzahnbürsten 25
4.1.2 Dekontaminationsmethoden 26
4.1.2.1 Lufttrocknung 26
4.1.2.2 CHX-Lösung 26
4.1.2.3 CHX-Spray 27
4.1.2.4 UV-Kammer VIOlight 28
4.1.3 Bakterien 28
4.1.3.1 Staphylococcus aureus 29
4.1.3.2 Streptococcus mutans 29

4.1.4 Hilfsmittel und Geräte 30
4.1.4.1 BHI-Lösung 300
4.1.4.2 Nährbodenplatten 30
4.2 Methoden 31
4.2.1 Versuchsaufbau 31
4.2.2 Erfassung und Messung 38
4.2.3 Statistische Auswertung 38
5. Ergebnisse 40
5.1 Versuche mit Streptococcus mutans 400
5.1.1 Einfluss der Borstenhärte auf die Keimbesiedlung 40
5.1.2 Einfluss der Dekontaminationsmethode auf die Keimbesiedlung 40
5.1.3 Wechselwirkung zwischen Zahnbürste und Dekontaminationsmethode.....42
5.2 Versuche mit Staphylococcus aureus 44
5.2.1 Einfluss der Borstenstruktur auf die Keimbesiedlung 44
5.2.2 Einfluss der Dekontaminationsmethode auf die Keimbesiedlung 48
5.2.3 Wechselwirkung zwischen Zahnbürsten und Dekontaminationsmethoden 59
6. Diskussion 55
6.1 Diskussion des Materials 56
6.1.1 Auswahl der Handzahnbürsten 56
6.1.2 Auswahl der untersuchten Bakterien..... 57
6.2 Diskussion der Methoden 58
6.3 Effektivität der unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden 59
6.3.1 Abspülen der Zahnbürste mit destilliertem Wasser 59
6.3.2 24 -stündige Lufttrocknung 60
6.3.3 Chlorhexidindiglukonat 61
6.3.4 UV-Ofen VIOlight 61
6.3.5 Andere untersuchte Dekontaminationsmethoden 62
6.4 Ergebnisdiskussion 63
6.5 Schlussfolgerung 63
7. Zusammenfassung 66
8. Tabellenverzeichnis 68
9. Abbildungsvereichnis 69
10. Literaturverzeichnis.....71

Abkürzungsverzeichnis

BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BHI	Brain Heart Infusion
CFU	colony-forming units
CHX	Chlorhexidindigluconat
CO_2	Kohlenstoffdioxid
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DIN	Deutsche Industrie Norm
DMS IV	vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie
DSM	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen, seit 1987 DSMZ (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen)
EN	Europäische Norm
ISO	Internationale Organisation für Normung
KBE	Kolonie-bildende Einheiten
Lsg.	Lösung
LT	Lufttrocknung
MPG	Medizinproduktgesetz
NaCl	Natriumchlorid
pH	*pondus hydrogenii* oder *potentia hydrogenii* (lat. *pondus* = Gewicht; lat. *potentia* = Kraft; lat. *hydrogenium* = Wasserstoff)
p-Wert	Signifikanzwert
RKI	Robert Koch-Institut
S.a.	Staphylococcus aureus
S.m.	Streptococcus mutans
UV	ultraviolett
WHO	World Health Organisation

1. Einleitung

Seit der Erfindung und Einführung der Handzahnbürste dient sie dem Benutzer als Instrument zur mechanischen Plaqueentfernung. Das Zähneputzen in Verbindung mit einer fluoridhaltigen Zahnpasta stellt eine sehr effiziente Maßnahme zur Vorbeugung von Zahnkaries und Parodontopathien dar. Die Handzahnbürste ist heutzutage nach wie vor das meistverkaufte Gerät zur Zahnreinigung (Tritten und Armitage 1996, Van der Weijden et al. 1998, Williams et al. 2003) trotz der fortschreitenden Entwicklung auf dem Markt für Mundhygieneartikel (z.B. elektrische Zahnbürsten).

Beim Entfernen bakterieller Plaque mit Hilfe der Zahnbürste ist es nicht vermeidbar, dass sie mit unterschiedlichsten Bakterienarten oder auch Pilzen der Mundhöhle kontaminiert wird. Die Borsten kommen gegebenenfalls in Berührung mit entzündetem Gewebe und werden Träger zahlloser Mikroorganismen. Es ist also eine logische Konsequenz darüber zu diskutieren, inwieweit der Zahnbürstenkopf eine Rekontaminationsquelle für pathogene Keime darstellt. Durch das tägliche Verwenden und Einbringen der Zahnbürste in die Mundhöhle könnte durch die Bakterienanheftung und das Wachstum der pathogenen oralen Keime in den Borsten die Entstehung von Karies begünstigt werden (Svanberg 1978). Im Gegensatz zu Einwegartikeln, wie zum Beispiel Zahnseide, wird eine Zahnbürste über Wochen oder Monate verwendet, die selten in regelmäßigem Turnus ausgewechselt wird. Eine Zahnbürste darf nicht auf ihren mechanischen Säuberungseffekt reduziert werden, sondern muss als Lebensraum für Mikroorganismen gesehen werden.

Eine Reihe von Autoren wiesen in ihren Untersuchungen nach, dass sich Keime auf Zahnbürsten etablieren. Sie sind darüber hinaus der Frage nachgegangen, ob diese Keime bis zur nächsten Verwendung der Zahnbürste überleben. Svanberg (1978) untersuchte Zahnbürsten, die von Menschen mit einer schweren Streptococcus-mutans-Infektion benutzt wurden. Er wies an den gebrauchten Zahnbürsten, die für 24 Stunden zur Lufttrocknung aufgestellt wurden, eine Streptococcus-mutans-Konzentration von 10^4 CFU pro Milliliter Lösung nach. Dayoub et al. (1977) fanden nach einer Trocknungs-

zeit von fünf Tagen noch vitale Keime auf den kontaminierten Zahnbürsten. Viren konnten bei trockener Lagerung 48 Stunden, bei feuchter Lagerung sogar bis zu sieben Tagen auf Bürsten aktiv bleiben (Glass und Jensen 1989). Hefepilze können ebenfalls auf benutzten Zahnbürsten überleben. So waren in der Studie von Noga et al. (1976) immerhin 48,6 Prozent der von ihnen untersuchten Zahnbürsten mit dem fakultativ humanpathogenen Pilz Candida albicans kontaminiert. Nach Glass und Lare (1986) können kontaminierte Zahnbürsten auch eine Rolle bei einer Übertragung verschiedener Infektionen wie Herpes labialis oder Erkältungskrankheiten spielen. 1986 wurde schon ein monatlicher Wechsel der Zahnbürste empfohlen, um Infektionen vorzubeugen (Glass und Lare).

Auch in In-vitro-Studien wurden an experimentell kontaminierten Zahnbürsten Überlebensraten oraler Mikroorganismen studiert. Kulturen von Porphyromonas gingivalis, Streptococcus mutans und Candida albicans konnten nach 24 Stunden auf 0,2 bis zwei Prozent ihrer Ausgangskeimzahl reduziert werden, wobei der Zahnbürstentyp einen gewissen Einfluss auf die Überlebensrate der Mikroorganismen besaß (Bunetel et al. 2000). Glass und Jensen (1988) fanden heraus, dass 50 Prozent der auf Zahnbürsten aufgebrachten Herpes-simplex-Viren noch nach sieben Tagen in aktiver Form nachweisbar waren.

Die Keimbesiedlung von Zahnbürsten wird aus hygienischen und potentiell infektiösen Gründen viel diskutiert und der Zahnbürstenkopf als Rekontaminationsquelle angesehen. Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit der bisher ungeklärten Frage, ob die Borstenstruktur Einfluss auf die Keimbesiedlung und Hygienefähigkeit von Handzahnbürsten hat.

2. Literaturübersicht

2.1 Mundhygiene und Mundhygienemaßnahmen

Durch mundhygienische Maßnahmen und Zahnpflege soll die orale Gesundheit möglichst lange erhalten bleiben und das Risiko verringert werden, an Karies zu erkranken. Mundhygienemaßnahmen zielen darauf ab, alle bakteriellen Beläge sowie Speisereste aus der Mundhöhle zu entfernen. Eine richtig und regelmäßig durchgeführte Mundhygiene spielt somit eine große Rolle in der Prävention von Erkrankungen in der Mundhöhle.

Die Ätiologie für Zahnhartsubstanz- und Zahnbetterkrankungen wurde intensiv erforscht. Obwohl es möglich wäre, allein durch Maßnahmen der Mundhygiene einen Rückgang dieser Erkrankungen zu erzielen, leidet ein Großteil der Bevölkerung zivilisierter Länder an Karies und Parodontopathien.

Verschiedene Studien haben sich mit der Wirkung der Mundhygiene beschäftigt. So fand Black (1914), dass durch eine gründliche Zahnreinigung die Entstehung von Karies im gingivalen Drittel der Glattflächen vollständig verhindert wird und „white spot lesions“ zum Stillstand gebracht werden. Werden die Zähne mindestens einmal täglich geputzt, ist die Kariesprävalenz gegenüber einer Gruppe mit unregelmäßiger Mundhygiene deutlich reduziert (Holloway und Teagle 1976, ØGaard et al. 1994, Pieper 2001). Den größten Erfolg erzielt die Zahnreinigung, wenn sie direkt nach den Mahlzeiten mit einer fluoridhaltigen Zahnpaste erfolgt (nach Marthaler 1992).

Angesichts der immer noch in hohem Maße auftretenden kariösen Läsionen sowie plaquebedingten Parodontopathien liegt der Rückschluss nahe, dass der Mundhygiene zu wenig Beachtung geschenkt wird. Die vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV) aus dem Jahr 2005 (Micheelis und Schiffner 2006) zeigt, dass die Mundgesundheit in der Bundesrepublik Deutschland besser geworden ist. Doch das Ergebnis kann durch vermehrte Prävention gesteigert werden. Die Messung der Kariesprävalenz erfolgte durch den DMFT-Wert. Dieser beurteilt die zerstörten (decayed), extrahierten (missing) und gefüllten (filled) Zähne (teeth).

Tabelle 1: Mittlere DMFT-Werte und seine Einzelkomponenten nach Alter

Altersguppe	DMFT	DT	MT	FT
12 Jahre	0,7	0,2	0,0	0,5
15 Jahre	2,8	0,5	0,2	2,0
34-44 Jahre	14,5	0,5	2,4	11,7
65-74 Jahre	22,1	0,3	14,1	7,7

Die mit Hilfe des CPI (Community Periodontal Index) ermittelten Daten geben Aufschluss über die Prävalenz parodontaler Destruktion der untersuchten Deutschen.

Tabelle 2: Vergleich der Daten der DMS III und DMS IV hinsichtlich des Community Periodontal Index (CPI) bei Erwachsenen (35-44 Jahre) und Senioren (65-74 Jahre)

	35-44 Jahre		**65-74 Jahre**	
	DMS III (%)	**DMS IV (%)**	**DMS III (%)**	**DMS IV (%)**
Grad 0	15,1	0,5	5,7	1,4
Grad 1	10,2	11,8	7,9	4,0
Grad 2	28,5	14,4	22,4	6,8
Grad 3	32,2	52,7	39,7	48,0
Grad 4	14,1	20,5	24,4	39,8

Mundhygienemaßnahmen bedeuten aktives Handeln. Fehlt es daran, erhöht sich das Risiko für Erkrankungen, die man als „verhaltensbedingt“ charakterisieren könnte. Herrmann (1991) kam daher zu dem Schluss, dass der Faktor Mensch einer „Korrektur“ unterzogen werden muss, um eine dauerhafte Verbesserung der individuellen Mundgesundheit zu erzielen.

Die Zahnheilkunde beschäftigt sich nicht nur mit der Erforschung und Entwicklung restaurativer Therapieformen. Durch Aufklärungsarbeit in der Be-

völkerung muss die Prophylaxe verstärkt werden, um die Zahngesundheit des Individuums möglichst lange zu erhalten und nicht zuletzt um die hohen Kosten der rekonstruktiven Therapie zu senken.

2.1.1 Orale Mikroorganismen

Die menschliche Mundhöhle ist ein Raum, in dem sich eine komplexe mikrobielle Flora entwickelt und etabliert. In einem Milliliter Speichel leben bis zu 10^9 Millionen Mikroorganismen (Mins et al. 2007).

Der Mensch besitzt unter physiologischen Bedingungen eine relativ stabile orale Flora, das heißt, es herrschen annähernd beständige Bakteriengattungen und Bakterienarten (Heidemann 1999). Diese normale Bakterienflora geht mit oraler Gesundheit einher. Ein Gleichgewicht zwischen Wirt und oraler Flora, dem Speichel, externen Faktoren und bakteriellen Faktoren sind Voraussetzungen für gesunde orale Verhältnisse. Aus einer Verschiebung und Störung des Gleichgewichtes kann sich ein pathogener Vorgang entwickeln. Ursachen für solch einen Vorgang sind häufig eine Änderung der Ernährungsgewohnheiten und / oder eine Verminderung des Speichelflusses bei gleichzeitiger Etablierung kariogener Mikroorganismen.

Die Mikroorganismen, speziell die Bakterien, besitzen die Fähigkeit, auf Zahnoberflächen komplexe Bakterienschichten (Biofilm, Plaque) zu bilden. Als Folge kommt es zur Demineralisation, einem säurebedingten Mineralverlust. Wenn es zu einem Überschreiten des kritischen pH-Wertes kommt (Zahnschmelz 5,2 - 5,7; Wurzeldentin / -zement 6,2 - 6,7), kann sich Karies entwickeln. Hierbei sind lokale Unterschiede innerhalb der Mundhöhle möglich: Die orale Flora kann in vielen Bereichen der Mundhöhle normal sein, während sie in dem Bereich einer kariösen Läsion pathologisch verändert ist.

2.1.2 Mundhygienehilfsmittel

Die moderne Zahnheilkunde ist ohne geeignete Hilfsmittel zur Mundhygiene undenkbar.

2.1.2.1 Zahnbürste

Eine besondere Bedeutung für die Beseitigung von Mikroorganismen und Plaque aus der Mundhöhle kommt nach wie vor der Zahnbürste zu. Sie wird von allen Reinigungsutensilien mit Abstand am häufigsten verwendet. In Kapitel 2.2 wird detailliert auf das Mundhygienehilfsmittel Zahnbürste eingegangen. Um das Ziel der Zahnpflege zu erreichen, ist eine systematische Zahnputztechnik notwendig, da eine gute Zahnbürste und eine fluoridhaltige Zahnpasta alleine wenig ausrichten.

2.1.2.2 Interdentalräume

Die Reinigung der Interdentalräume ist mit einer Zahnbürste allein nicht ausreichend gewährleistet. Hier kommen unterschiedliche Hilfsmittel zum Einsatz. Es eignen sich Zahnseide für die Reinigung enger Interdentalräume, zur Reinigung weit offener Dentalräume und Wurzeleinziehungen sind Interdentalraumbürstchen (Rateitschak et al. 1989, Hellwig et al. 2007) von großem Nutzen. Als weiteres Hilfsmittel sind die medizinischen Zahnhölzer zu nennen. Der Einsatz der Munddusche als alleinige Maßnahme zur Interdentalreinigung ist nicht ausreichend. Mit Hilfe der Wasserstrahlgeräte können zwar lose Speisereste und Materia alba sowie mit der Zahnbürste von den Zähnen abgelöstes Material weggespült werden, aber die anhaftende strukturierte Plaque kann nicht entfernt werden (Riethe 1994, Gülzow 1995, Kramer und Holzinger 1999).

Während die Zahnbürste zur Reinigung gut zugänglicher Zahnoberflächen akzeptiert und eingesetzt wird, bestehen bei der Reinigung schwer zugänglicher Bereiche noch große Informations- und Fertigkeitsdefizite (Dörfer und Staehle 1998). Dabei stellen die Interdentalbereiche Prädilektionsstellen für die Entstehung von Karies dar und sind häufig Ausgangsorte einer Gingivitis (Gülzow 1996). Für welches Instrument man sich entscheidet**,** hängt von der morphologischen Situation der Interdentalräume ab (Rateitschak et al. 1989).

2.1.2.3 Zahnpasta

Zahnpasten erfüllen in der Regel drei Aufgaben:

1. kosmetische Aufgabe:	Säuberung und Politur der Zahnoberfläche, sowie „Erfrischung des Atems“
2. therapeutische Aufgabe:	Entfernung der Plaque
3. pharmakologische Aufgabe:	Einbringung pharmakologisch wirksamer Substanzen (Hellwig et al. 2007).

Mit ihren Abrasivstoffen (Putzkörpern) verbessern sie die mechanische Reinigung der Zähne mit der Zahnbürste und erleichtern die Politur der Zahnoberfläche. Zugefügte Tenside, wie zum Beispiel Natriumlaurylsulfat, führen zu einer Verringerung der Oberflächenspannung. Ein positiver Effekt der Geschmacksstoffe ist die Erfrischung des Atems. Weitere Bestandteile der Zahnpasten sind Hilfsstoffe wie Feuchthaltemittel, Bindemittel und Konservierungsstoffe, plaquehemmende Wirkstoffe, Zahnsteininhibitoren, pflanzliche Extrakte und fluoridhaltige Kariostatika (Hellwig et al. 2007).

2.2 Zahnbürsten

2.2.1 Geschichte der Zahnbürste

Bereits im 16. Jahrhundert v. Chr. reinigte man sich im alten Ägypten die Zähne mit scharfem Pulver, welches mit den Fingern verrieben wurde (Kötschke und Crimmann 1963, Golding 1982). In Indien benutzten die Menschen Zahnstocher aus Linden- oder Myrtenholz. Die im sechsten Jahrhundert nach Christus verwendeten Hilfsmittel wurden als „ Zahnstöckchen“ oder „Zahnfege“ bezeichnet (Türp 1989, Ramfjord und Ash 1979). Es handelt sich hierbei um Kaustöcke, aus Wurzeln oder Zweigen hergestellt, deren Enden aufgefasert und zu einer Bürste geformt wurden. Diese Art der Zahnreinigung wird auch heute noch vor allem in unterentwickelten Ländern verwendet. Neben dem mechanischen Säubern der Zähne wird eine antibakterielle Wirkung der Inhaltsstoffe der Zweige diskutiert (Hollist 1981, Lorenz 1976, Schenk 1988).

In China wurden um 1500 die ersten Zahnbürsten entworfen, welche die Form eines Pinsels besaßen (Schmitt 2010). Die Borsten stammten vom Wildschwein und waren im rechten Winkel zum Griff angeordnet. Dieser bestand aus Holz oder Elfenbein (Simon 2006).

Mitte des 16. Jahrhunderts hielt die Zahnbürste Einzug in Europa. Das neue Reinigungsutensil traf nicht auf einhellige Begeisterung. 1728 erwähnte Fauchard die Zahnbürste, allerdings riet er von Bürsten aus Pferdehaar ab. Er empfahl stattdessen die Verwendung eines Zahnstochers (Hartlmaier 1954).
In England fertigte man um 1780 die erste „moderne“ Zahnbürste an. William Addis stellte sie nach folgender Methode her: Schweineborsten wurden mit verknoteten Fäden und Drahtligaturen an vorne perforierten Holzgriffen befestigt. Insgesamt wurden 38 Borstenbündel in Viererreihen angeordnet (Simon 2006). Die Form dieser Zahnbürste entspricht nahezu den heutigen Bürsten.
Im 19. Jahrhundert übernahmen hauptsächlich die französischen Bürstenbinder und Kunstdrechsler die Bürstenmacherkunst. Zwei Innovationen in dieser Zeit waren bedeutend für die rasche Entwicklung der Zahnbürstenproduktion: das steigende Gesundheitsbewusstsein der Menschen und das Vorhandensein der notwendigen Rohstoffe durch die Entwicklung und den Bau von Transportwegen (Simon 2006).

Die erste Klassifizierung über das Aussehen einer Zahnbürste entwickelte die Gewerkschaftskammer der Bürstenbinderei im Jahr 1882 in Paris. Zahnbürsten gehörten zu den „Feinen Bürsten oder Bürsten für die Körperpflege“. Folgende Materialien durften Verwendung finden: Bein (Knochen), Holz, Büffelhorn, Elfenbein oder Perlmutt (Simon 2006). Als Borstenmaterial wurden Schweine- und Wildscheinborsten sowie Pferdehaar verwendet (Bogopolsky und Hescot 1995, Sauerwein 1962).

Die Einführung synthetischer Borsten im Jahre 1938 durch die Erfindung des Nylons war ein weiterer Meilenstein in der Geschichte der Zahnbürste. So wurde es möglich, hygienische und zweckmäßige Zahnbürsten als bezahlbaren Massenartikel herzustellen (Zuhrt 1959, Sauerwein 1962). Derzeit existieren zahlreiche unterschiedliche Varianten der Handzahnbürste. Die Mehrzahl besteht aus Kunststoff und ist durch ein dichtes (multi tufted) Feld mit Kunststofffilamenten gekennzeichnet (Golding 1982, Chong und Beech 1983). Der technische Fortschritt führte 1956 zur Entwicklung der elektrischen Zahnbürste durch Bergman und Woog in Genf (Simon 2006). Im Laufe

der folgenden Jahre kam es zu Weiterentwicklungen, so dass aktuell zwischen rotierend-oszillierenden und Schallzahnbürsten entschieden werden kann.

2.2.2 Klassifizierung und Aufbau von Zahnbürsten

Seit 1979 definierte die Deutsche Industrienorm 13917 sehr detailliert den Aufbau, die Form und die Gestaltung von Handzahnbürsten (DIN 13917 1979). In der DIN 13917 wurden auch verschiedene Härtegrade definiert- als Europanorm EN 28627. Die Einteilungskriterien der Härtegrade waren weich (W), mittel (M) und hart (H). Die zweite Klassifizierung für die manuell geführte Handzahnbürste war die Einteilung nach dem Personenkreis der Nutzer: Kinder (1), Jugendliche (2) und Erwachsene (3).

Die deutsche Industrienorm 13917 forderte als Normkopf eine Länge des Bürstenfeldes von 18 bis 40 mm für Erwachsenenzahnbürsten. Die Breite des Bürstenkopfes muss 13 mm und die Länge des Besteckfeldes muss zwischen 9 und 13 mm betragen.

Weitere Einteilungskriterien nahmen Bezug auf den Schnitt der Besteckung (Borstenprofil) und die Anordnung der Bündel. Der Schnitt der Besteckung konnte entweder plan, ausgezahnt oder konturiert sein. Plane oder konturierte Borstenschnitte gab es mit oder ohne Auszahnung. Je nach Anordnung der Bündel unterschied man zwischen Zahnbürsten mit engem -multi-tufted- und weitem, so genanntem space-tufted Bündelabstand. Die Bündel waren entweder parallel und / oder gegeneinander geneigt angeordnet. Gegeneinander geneigte Bündel ergeben eine X- oder eine V-Stellung. Die Zahnbürstengestaltung konnte auch nach dem Bürstengriff unterschieden werden, der entweder gerade oder abgewinkelt sein konnte. Laut Finkelstein und Grossmann (1984) ist die Abwinklung des Bürstengriffes ein wichtiges Detail für eine effiziente Zahnreinigung. Allet et al. (1972) ermittelten eine bessere Plaqueentfernung mit einem um 17 Grad abgewinkelten Griff. Ein um 45 Grad abgewinkelter Griff zeigte ein signifikant besseres Reinigungsergebnis als ein gerader Griff (Kanchanakamol et al. 1993). Innerhalb der vorgeschriebenen Maße regten verschiedene Autoren jedoch Varianten an. Bei der Gestaltung des Bürstenkopfes favorisierten Gülzow (1978) und Riethe

(1974) eine Kurzkopfvariante mit 18 bis 25 mm Bürstenfeldlänge. Aufgrund experimenteller und klinischer Untersuchungen wurden Kurzkopfzahnbürsten für eine optimale Zahnpflege empfohlen (Arnold und Trost 1972, Fanning und Henning 1967). Diese Zahnbürste sollte zudem eine mittelharte Bürste sein, besteckt mit dicht parallel stehenden (multi-tufted) und plan geschnittenen, endgerundeten Kunststofffilamenten (Hellwig et al. 2007). In den Arbeiten von Gülzow (1978) und Riethe (1974) wird dem planen Bürstenfeld eine gute und effektive Plaqueentfernung nachgewiesen.

Seit 2005 gilt eine neue Europäische Norm DIN EN ISO 20126 und ersetzt die Deutsche Norm 13917. Die DIN EN ISO 20126 definiert, dass Handzahnbürsten im Rahmen der Mundhygiene zur Entfernung von Zahnbelägen genutzt werden. Die Norm legt Prüfverfahren und Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften von Handzahnbürsten fest. Damit werden die Gebrauchssicherheit gewährleistet und Mindeststandards festgelegt. Nach der Definition der ISO EN ist eine Handzahnbürste ein ausschließlich von Hand bewegtes Gerät, welches vor allem für die Reinigung der Oberflächen der Zähne angewendet wird. Der Bereich der Zahnbürste, an dem die einzelnen Filamente befestigt sind, nennt man Bürstenkopf. Ein Filament ist definiert als einzelne Borste innerhalb des Bürstenkopfes. Eine Gruppe zusammengefasster Filamente bezeichnet man als Büschel. Die Norm verlangt eine Büschelauszugskraftprüfung: Bürsten, die diese Prüfung bestehen, verlieren keine Filamente (Borsten) beim Putzen. Außerdem darf die Zahnbürste keine scharfen und rauen Oberflächen und keine sichtbaren Verunreinigungen besitzen. Die Verpackung darf die Zahnbürste weder verunreinigen noch eine Verunreinigung zulassen. Sie muss mit dem Handelsnamen sowie Namen und Postanschrift des Herstellerunternehmens und / oder des zuständigen Händlers gekennzeichnet sein.

Die Formgestaltung und das Design der Zahnbürsten sind wichtige Entscheidungskriterien für den Käufer (Gunst 1999). Daneben spielen bei der Wahl der richtigen Zahnbürste die Empfehlung des Zahnarztes bzw. des zahnärztlichen Fachpersonals (Prophylaxe-Assistentin, ZMF, DH) eine zentrale Rolle.

2.3 Kariesätiologie

Karies ist die Erkrankung der mineralisierten Zahnhartsubstanz und wird durch organische Säuren verursacht, die von Mikroorganismen bei der Metabolisierung von Kohlenhydraten generiert werden (Coogan und Motlekar 1996). Auf der Grundlage der Erkenntnisse zur Kariesentstehung beschreibt Keyes (1962) ein multifaktorielles Ursachengefüge. Primäre unabdingbare Faktoren sind das Vorhandensein von Mikroorganismen, Substrat und einem Wirt. König (1971) fügte den wichtigen Faktor Zeit hinzu. Demnach entsteht Karies durch Einwirkung pathogener Mikroorganismen der Plaque auf die Zahnoberfläche bei ausreichender Zufuhr niedermolekularer Kohlenhydrate (Substrat) über einen ausreichend langen Zeitraum oder häufig intermittierende Zeiträume, so dass demineralisierende Stoffwechselprodukte (Säuren) in geeignet hoher Konzentration an der Schmelzoberfläche wirksam werden (König 1987, Städtler 1990, Fejerskov 1997).

Die kariesätiologisch wichtigsten Keime sind nach Krasse (1986), Clarkson et al. (1987), Hellwig et al. (2007) sowie De Soet und De Graaff (1998) Streptococcus mutans, Laktobazillen und Aktinomyceten. Sie konnten eine Korrelation zwischen der Anwesenheit von S. mutans im Speichel sowie in der Plaque und dem Auftreten von Karies nachweisen. Streptococcus mutans führte besonders schnell zur Ausbildung einer kariösen Läsion (De Soet und De Graaff 1998). Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass die wirksamste Prävention in der Plaqueentfernung besteht (Fejerskov 1997).

Bei dem Faktor Substrat spielen die Häufigkeit der Nahrungsaufnahme, die Nahrungsmittelzusammensetzung und die Eliminationszeit eine entscheidende Rolle. Es besteht eine deutliche Korrelation zwischen der Frequenz der Aufnahme von Kohlenhydraten und der Häufigkeit des Kariesbefalls (Gustafsson 1954, Krasse 1989, Newbrun 1989).

Das Substrat wird von kariogenen Mikroorganismen in eine bakterielle Plaque umgesetzt. Plaque ist ein strukturierter, verfilzter zäher Zahnbelag (Biofilm) aus Speichelbestandteilen, Stoffwechselprodukten von Bakterien, Nahrungsresten und Bakterienzellen. Wenn sich die oralen Mikroorganismen ungestört vermehren können, entsteht bei entsprechender Substratzufuhr

eine differenzierte Plaque, welche ohne Hilfsmittel nicht mehr von der Oberfläche zu entfernen ist.

In den Faktor Wirt gehen Zahnmorphologie, Zahnstellung, chemische Zusammensetzung der Zahnsubstanzen, Speichelmenge und Speichelqualität sowie immunologische Faktoren ein; Faktoren, die die „Anfälligkeit“ der Zähne gegenüber Karies bestimmen (Menaker 1980).

2.4 Kariogene Mikroorganismen

Bei den zwei Bakterien Staphylococcus aureus und Streptococcus mutans, welche in unseren Versuchsreihen getestet und untersucht wurden, handelt es sich um potentiell pathogene Mikroorganismen.

2.4.1 Staphylococcus aureus

Staphylococcus aureus gehört in die Familie der Micrococcaceae (Sanderink et al. 2004). Die Bezeichnung für das Bakterium Staphylokokkus stammt aus dem Griechischen und bedeutet „traubenförmig“ (staphylé = Weintraube und kókkos = Kugel). Aufgrund ihrer Unbeweglichkeit sind die Bakterien wie Beeren einer Traube angeordnet. Staphylococcus aureus ist ein Vertreter grampositiver Kugelbakterien (Kokken), welche erstmals 1884 von Robert Koch beschrieben wurden (Groß 2006). Staphylokokken sind grampositive, nicht sporenbildende Zellen. Sie besitzen einen circa 1 µm großen Durchmesser. Der anspruchslose Staphylokokkenkeim benötigt für ein optimales Wachstum ein fakultativ anaerobes Umfeld. Er lässt sich auf gewöhnlichem, z. B. bluthaltigem Nährboden bei 37°C anzüchten (Sanderink et al. 2004). Charakteristisch ist die elfenbeinfarbige, goldgelbe Pigmentierung der Bakterienkolonien bei der Kultivierung (latein. aureus = golden) und die β-Hämolyse. Auf dem Nährboden bildet S. aureus eine glänzende runde Kolonie mit einem Durchmesser von rund 1-2 Millimeter. Der Keim weist eine hohe Umweltresistenz auf und ist relativ unempfindlich gegen Austrocknung (Groß 2006). Zudem weist S. aureus eine hohe NaCl-Toleranz (halotolerant) auf.

Staphylokokken sind beim Menschen, aber auch bei Tieren nicht nur als Besiedler der Haut, sondern ebenso auf den Schleimhäuten des Mund- und Rachenbereichs sowie des Nasenvorhofs weit verbreitet (www.rki.de).

2.4.2 Streptococcus mutans

Streptococcus mutans gehört in die Familie der Streptococcaceae (Pschyrembel 2011). Die Bezeichnung für das Bakterium stammt aus dem Griechischen und bedeutet „geflochtene Kugel“ (streptós = geflochten, kókkos = Kugel). 1874 wurden erstmals Streptokokken von Paul Ehrlich und Theodor Billroth beschrieben (Groß 2006). 1924 konnte S. mutans erstmalig von Clarke aus kariösen Läsionen isoliert werden.

Es handelt sich um ein grampositives, in der Regel nicht bewegliches Bakterium. Die Einteilung erfolgt entsprechend dem Hämolyseverfahren sowie aufgrund von typenspezifischen und gruppenspezifischen Zellwand- beziehungsweise Oberflächenantigenen in Sero-Gruppen nach Lancefield (Groß 2006, Pschyrembel 2011). Streptococcus mutans sind in Kettenform angeordnete Kugelbakterien. Ihr Durchmesser beträgt zwischen 0,5 - 0,75 µm. Der Nachweis der Bakterien stellt erhöhte Anforderungen an die Nährböden, da diese einen Proteinzusatz in Form von Blut oder Serum besitzen müssen (Pschyrembel 2011). Der Keim zeichnet sich durch fakultativ anaerobes Wachstum aus.

Die Gattung Streptokokken gehört zur normalen Flora der Haut und Schleimhäute. Streptococcus mutans findet sich physiologisch im Mund- und Rachenraum sowie in der Vagina. Die natürliche Flora des Mundes besteht vor allem aus Streptokokken. Bei 80-90 Prozent der Menschen in Westeuropa und den USA ist die Mundhöhle mit dem Bakterium Streptococcus mutans besiedelt (Mins et al. 2007).

Streptokokken der Mutans-Gruppe haben eine wichtige Bedeutung bei der Entstehung der Zahnkaries. In epidemiologischen Studien wurden sie als Initiatoren und Haupterreger bei der Ätiologie von Schmelzkaries bei Kindern und jungen Erwachsenen, von Wurzelkaries in der älteren Bevölkerung und der „nursing bottle caries“ bei Kleinkindern nachgewiesen (Hannig 2001, Marsh und Martin 2003). Die kariogenen Mikroorganismen sind charakterisiert durch ihre besondere Adhäsion an die Glykoproteinstrukturen des Zahnschmelzhäutchens (Pellicle). Sie verursachen so eine Veränderung auf der Zahnoberfläche durch die Produktion eines Belages aus extrazellulären

Polysacchariden (Glukane), der zahlreichen anderen Bakterien als Lebensraum dient. Durch anaerobe Glykolyse werden organische Säuren gebildet, wie zum Beispiel Laktat und Pyruvat, die bei genügend langer Wirkungszeit den Zahnschmelz demineralisieren. Außerdem können einige Serotypen des Mutanskeims intrazelluläre Polysaccharide bilden. Diese dienen als Speicherkohlenhydrate und garantieren auch in Zeiten geringerer Substratzufuhr fortlaufend die Säureproduktion. Zudem besitzt Streptococcus mutans die Eigenschaften, azidogen und säuretolerant zu sein. Dem Keim ist es möglich, sich gegen seine saure Umgebung abzuschotten und zudem Säure aus dem Zellinneren gegen das Konzentrationsgefälle aktiv auszuschleusen. So kann S. mutans auch unter sauren mikroökologischen Bedingungen (pH < 5,5) in der Plaque überleben.

Die wichtigsten Thesen zur herausragenden Rolle von Streptococcus mutans bei der Kariesentstehung lassen sich nach Krasse (1986) folgendermaßen zusammenfassen:

- Streptococcus mutans indiziert im Tierversuch Karies.
- Es besteht eine Korrelation zwischen der Anwesenheit von Streptococcus mutans im Speichel sowie in der Plaque und dem Auftreten von Karies.
- Die Besiedlung der Zahnoberfläche mit Streptococcus mutans geht zumeist der Entwicklung einer Karies voraus und ist auf kariös demineralisierten Zahnflächen höher als auf gesunden Zahnflächen.
- Bei Patienten mit hoher Kariesprävalenz sind mehr Zahnflächen mit Streptococcus mutans besiedelt als bei Patienten mit niedriger Kariesprävalenz.
- Gegen Streptococcus mutans gerichtete antimikrobielle Maßnahmen reduzieren die Inzidenz der Karies dramatisch.

Bei mit Zahnfleischbluten verbundener Parodontitis infolge schlechter Mundhygiene gelangen orale Streptokokken in die Blutbahn, wo sie, wie neueste Forschungsergebnisse des englischen Instituts für Orale Mikrobiologie an der Bristol's School of Oral and Dental Science und des Royal College of Surgeons (Dublin, Irland) zeigen, infolge einer spezifischen Ummantelung mit Thrombozyten Ursache sein können für thrombotische Arterienplaques mit

den bekannten Folgen arteriosklerotischer Erkrankungen, wie Herzinfarkt und zerebraler Insult (Jenkinson 2010).

2.5 Dekontaminationsmethoden

Es ist evident, dass die Borsten der Zahnbürste beim Benutzen mit oralen Bakterien und anderen Mikroorganismen kontaminiert werden.

In der Medizin gilt das Prinzip, wenn immer möglich, nicht mit kontaminierten Gegenständen in Gewebe- oder Wundkontakt zu treten, um einer Übertragung von unerwünschten Keimen und Infektionen vorzubeugen. Da die Zahnbürste nach der Begriffsbestimmung des Paragraph 3 MPG (Medizinproduktegesetz) nicht zu den Medizinprodukten gehört, gelten keine medizinisch-ethischen Grundsätze bei der Verwendung. Das Mundhygienehilfsmittel ist in der Kategorie Bedarfsgegenstand einzuordnen und unterliegt der Kosmetikverordnung, welche dem Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetz (LFGB) untergeordnet ist. Doch ist zu beachten, dass die Zahnbürste Träger unterschiedlichster Mikroorganismen ist und zum Beispiel mit Speichel, Blut und entzündetem Gewebe in Kontakt tritt. Eine mikrobielle Kontamination der Bürste bei Verwendung ist unvermeidbar und viele Autoren haben sich mit dem Keimnachweis an Zahnbürsten beschäftigt, sowie der Frage, ob und welche Keime bis zum nächsten Einsatz der Zahnbürste überleben.

Noga et al. (1976) konnten aus 48,6 Prozent der von ihnen untersuchten Zahnbürsten Candida species anzüchten. Svanberg (1978) wies an gebrauchten Zahnbürsten Streptococcus mutans nach. Der Keim besaß jedoch nur eine geringe Überlebensrate, da die Ausgangsmenge nach 24 Stunden bei üblicher Aufbewahrung der Zahnbürste um 99 Prozent reduziert wurde. Bunetel et al. (2000) wiesen an experimentell kontaminierten Zahnbürsten nach, dass Kulturen von Porphyromonas gingivalis, Streptococcus mutans und Candida albicans nach 24 Stunden auf 0,2 bis zwei Prozent ihrer Ausgangskeimzahl reduziert wurden, wobei der Zahnbürstentyp einen gewissen Einfluss auf die Überlebensrate besaß. Glass hat häufig Befürchtungen hinsichtlich einer Reinfektion durch verkeimte Zahnbürsten artikuliert (Glass 1993). Die bisherigen Nachweise sind jedoch nicht überzeugend. Es wurden

in Tierversuchen mit Zahnbürsten, die mit Staphylococcus aureus oder Bacteroides melaninogenicus kontaminiert waren, Entzündungen an der Gingiva provoziert (Glass et al. 1989). Die Tatsache, dass bei 93 Prozent einer Patientengruppe mit oralen Entzündungen die Symptome zurückgingen, wenn sie nur ihre Zahnbürste gewechselt hatten, ließ die Überlegung zu, dass verkeimte Zahnbürsten diesen Effekt nicht erbracht hätten (Glass und Shapiro 1993). Weitere verschiedene Studien bestätigen, dass Zahnbürsten Mikroorganismen aufnehmen können, welche orale und / oder systemische Infektionen verursachen können (Svanberg 1978, Verran und Leathy-Gilmartin 1996, Kozai et al. 1989, Glass und Lare 1986). Caudry et al. (1995) beschreiben in ihrer Publikation, dass eine kontaminierte Zahnbürste der Grund für eine Reinfektion bei einer Person mit pathogenen Bakterien sein kann. Cobb stellte schon im Jahre 1920 fest, dass eine kontaminierte Zahnbürste Grund für mehrmalig auftretende Infektionen im Mund ist.

Angesichts des Nachweises der Verkeimung von Zahnbürsten ist es naheliegend, an eine Dekontamination zu denken, zum Beispiel durch Desinfektionsmaßnahmen. In einer Studie von Meier et al. (1996) wurde eine experimentell mit Staphylococcus epidermidis und Candidia albicans verkeimte Zahnbürste mit Hilfe von Cetylpyridiniumchlorid, einer quartären Ammoniumverbindung, erfolgreich desinfiziert. Eine weitere Möglichkeit der Reinigung und weitgehenden Keimbefreiung der Zahnbürste stellt das Spülen in der Haushaltsspülmaschine bei niedrigen Temperaturen dar (Bößmann 2001). In unseren Versuchsreihen wurden die in den folgenden Abschnitten vorgestellten Methoden der Dekontamination getestet.

2.5.1 Lufttrocknung

Um eine Reduzierung der Kontamination auf Zahnbürsten zu bewirken, sind Vorschriften für den Umgang mit Zahnbürsten unerlässlich. Das Trocknen der Bürste an der Luft ist eine einfache Methode, um ein feuchtes Milieu zu verhindern, das für viele Mikroorganismen eine Voraussetzung zum Überleben ist. Deutsche Autoren (u.a. Holzinger 1990, Gülzow 1995, Plagmann 1998, Welk 2000) geben folgende Empfehlungen zum Umgang mit Zahnbürsten:

- Zahnbürste nach dem Putzen unter fließendem Wasser gründlich spülen
- anhaftende Plaque, Zahnpasta und Speisereste entfernen
- Wasser aus der Zahnbürste auf dem Waschbeckenrand ausschlagen
- Aufbewahrung stehend mit dem Kopf nach oben oder waagerecht mit den Borsten nach oben an frischer Luft
- Zahnbürsten nach vier bis acht Wochen wechseln.

Beim Lagern bis zum nächsten Gebrauch der Zahnbürste in einem Behälter ist es wichtig darauf zu achten, dass sich die Zahnbürstenköpfe nicht berühren. Nur so kann vermieden werden, dass Bakterien und Viren von einer Zahnbürste auf eine andere übertragen werden. Doch bewahren viele Familien ihre Zahnbürsten gemeinsam in einem gewöhnlichen Becher auf. So können Bakterien, welche durch die Luft befördert werden, von einer Zahnbürste zu einer anderen übertragen werden, oder direkt von Bürste zu Bürste, da eine Berührung nie sicher auszuschließen ist. Hier besteht ein Übertragungsweg opportunistischer Infektionen.

Ein Nachteil bei der reinen Lufttrocknung als Dekontaminationsmethode ist das Aufbewahren der Zahnbürsten in meist feuchter und warmer Badezimmerluft; eine Umgebung, die ideal ist für Bakterienwachstum (Navneet und Kaur 1996). Zudem begünstigt diese Räumlichkeit eine zusätzliche Kontamination der Zahnbürsten durch Spritzer kontaminierter Flüssigkeiten (Waschbecken, Toilettenspülung).

Verschiedene Studien haben sich mit der Wirkung und Effektivität der reinen Lufttrocknung beschäftigt wie schon in der Einleitung beschrieben (s. S. 1-2).

2.5.2 Chlorhexidindigluconat

Chlorhexidindigluconat (CHX) wird seit über 40 Jahren in der Zahnmedizin als orales Antiseptikum verwendet. Löe und Schiøtt berichteten 1970 erstmals über eine effiziente Plaque- und Gingivitisreduktion durch diesen Wirkstoff. Schon in den 40er Jahren wurden die beiden Wissenschaftler durch die Suche nach einer antibakteriellen Substanz bekannt. Davies et al. (1954) beschrieben CHX als ein gering toxisches Desinfektionsmittel mit einem brei-

ten Wirkspektrum gegenüber pathogenen Mikroorganismen. Es wirkt gegen grampositive und gramnegative Bakterien, Hefen, Dermatophyten, Schimmelpilze und lipophile Viren.

Unter den bislang bekannten Antiplaquewirkstoffen wird CHX als „Goldstandard“, als Mittel der ersten Wahl, angesehen (Jones 1997).

Die antibakterielle Wirksubstanz ist ein kationisches Bisbiguanid (Abb. 1).

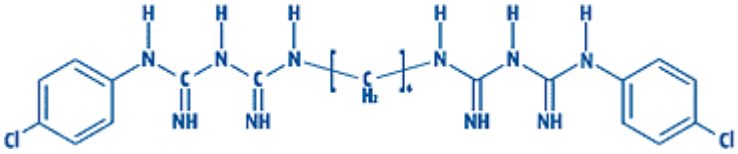

Abbildung 1: Strukturformel Chlorhexidindigluconat
Quelle: http://www.chlorhexamed.de/d/chlorhexamed/wirkstoff.jsp

Eine Eigenschaft ist die relativ schwere Löslichkeit. Deshalb wird CHX als wasserlösliches Salz in leicht löslicher Form verwendet, meist als Chlorhexidindiclonat oder -dichlorid. Aus dem CHX-Molekül entsteht durch Umsetzung mit Gluconsäure und Salzsäure ein streng basisches zweifach positiv geladenes Kation. Wegen seiner zweifach positiven Ladung wird es auch als Di-Kation bezeichnet, und gerade diese beiden positiven Ladungen bedingen die Effizienz von CHX in der Plaqueprävention.

In der Zahnmedizin werden solche Antiseptika als Unterstützung in der mechanischen Reinigung, in der Prophylaxe und Therapie plaqueinduzierter Erkrankungen wie auch bei Karies, Parodontopathien, Periimplantitis, etc. eingesetzt. CHX hemmt die Plaquebildung und reduziert vorhandene Plaque. Weitere vorteilhafte Eigenschaften sind: eine spezifische Wirksamkeit gegen bestimmte orale Mikroorganismen, eine hohe Penetrationsfähigkeit, ein schnelles Erreichen des Wirkortes und eine gute Substantivität. Die antibakterielle Wirkung erzielt Chlorhexidin durch Interaktion mit der bakteriellen Zellmembran, dabei zeigen sich sowohl bakteriostatische als auch bakteriozide Eigenschaften.

Die bakteriostatische Wirkung erfolgt über folgenden Weg:

Durch Bindung des positiv geladenen Wirkstoffs an die negativ geladene Zelloberfläche eines Bakteriums erfolgt eine Hemmung bakterieller Enzyme und eine Stoffwechselstörung der Bakterien. Eine Wechselwirkung mit Phospholipiden führt zu einem Austritt niedermolekularer Zellbestandteile. Diese bakteriostatische Wirkung bei niedrigen Konzentrationen (0,19 ppm CHX) ist vollkommen reversibel. Sie führt zu einer reinen Reduzierung der Bakterienwachstumsrate. Höhere CHX-Konzentrationen von 100 ppm führen zu schwereren Schäden an der Zellmembran sowie zur Koagulation und Ausfällung des Zytoplasmas. Diese Schädigungen sind irreversibel und charakterisieren die bakterizide Wirkung von CHX.

Die hohe Substantivität von CHX garantiert jedoch nach der unmittelbaren bakteriziden Wirkung eine über Stunden andauernde bakteriostatische Konzentration in der Mundhöhle, die klinisch bedeutsamer ist (Bonesvoll und Gjermo 1977). Aus klinischer Sicht kann CHX über Monate verwendet werden, ohne seine Wirksamkeit zu verlieren. Erkenntnisse hinsichtlich einer Resistenzentwicklung nach CHX-Behandlungen liegen nicht vor (Baker et al. 1987). Es konnte gezeigt werden, dass orale Streptokokken empfindlich gegenüber CHX bleiben, auch wenn es über längere Zeiträume verwendet wird (Schiøtt und Löe 1972, Emilson et al. 1976).

Aufgrund der ausgezeichneten Wirkung auf Streptococcus mutans wird Chlorhexidindigluconat häufig in der Kariesprophylaxe eingesetzt. Ein Sinken der Mutans-Streptokokkenzahlen ist von einem relativen Anstieg von Streptococcus sanguis in der Population begleitet, verbunden mit einer Reduktion der Kariogenität (Schiøtt und Löe 1972, Emilson et al. 1976, Emilson 1981, Stanley et al. 1989). Allerdings konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass es unmöglich ist, Mutans-Streptokokken aus der Mundhöhle völlig zu eliminieren (Maltz et al. 1981, Emilson 1981, Kristofferson und Bratthall 1982, Schaeken et al. 1986, Keltjens et al. 1987, Sandham et al. 1988, Spets-Happonen et al. 1985, Zickert et al. 1987, Schaeken und de Haan 1989).

Hinsichtlich des Nebenwirkungsprofils eines lokalen Antiseptikums ist das toxikologische und allergische Potential zu beachten. Der Wirkstoff sollte

nicht zu einem ökologischen Ungleichgewicht in der Mundhöhle führen. Auch ist die Entwicklung von Bakterienresistenzen zu betrachten.

Unter Chlorhexidindigluconat können bei längerfristiger Anwendung lokale Nebenwirkungen beobachtet werden. Dabei handelt es sich in erster Linie um bräunliche Verfärbungen von Zähnen und Füllungen. Der Wirkstoff bindet sich nicht nur an Bakterien**,** sondern geht auch Verbindungen mit Farbstoffen aus Tabak, Rotwein, Tee, Kaffee und anderen Nahrungsmitteln ein. Bei klinischen Studien wurden Irritationen der Schleimhaut, Discolerationen der Zunge und Beeinträchtigungen der Geschmacksempfindung gefunden (Floetra et al. 1971). Nur selten wird beobachtet, dass es zu vermehrter Zahnsteinbildung, zu Mundbrennen und zu Mundtockenheit kommt. Laut Schwarz et al. (2007) sollte aufgrund der oben beschriebenen (reversiblen) Nebeneffekte die Anwendung von CHX eine Zeitspanne von drei Wochen nicht überschreiten.

Die vom Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) zugelassenen Anwendungsgebiete für CHX sind:

- Zur vorübergehenden Keimzahlverminderung im Mundraum
- Zur Unterstützung der Heilungsphase nach parodontalchirurgischen Eingriffen durch Hemmung der Plaque-Bildung
- Zur vorübergehenden unterstützenden Behandlung bei bakteriell bedingten Zahnfleischentzündungen (Gingivitis)
- Bei eingeschränkter Mundhygienefähigkeit.

2.5.3 UV-Ofen

Eine weitere Möglichkeit der Bakteriendekontamination ist die Verwendung von UV-Licht. Die Ultraviolettstrahlung ist eine Form elektromagnetischer Strahlung mit einer Wellenlänge, die für das menschliche Auge unsichtbar ist.
Diese in der Zahnmedizin relativ neue Form der Dekontamination wird unter anderem schon länger für die Trinkwasserreinigung verwendet (Wetterau 2007). Desinfektion mit UV-Strahlung stellt eine Alternative zu chemischen Mitteln dar.

Das bei unseren Versuchen eingesetzte Produkt VIOlight toothbrush sanitizer (VIOlight Inc., Yonkers, NY 10701, USA) wirbt damit, die Borsten der Zahnbürste bis zu 99,9% von Bakterien zu befreien. Zwei mit dem VIOlight durchgeführte Studien von Tierno (2004) und Bureau Veritas (2005) bestätigen diese Angaben. Das Produkt ist seit 2005 auf den Markt und wirbt mit einer einfachen, sicheren und effektiven Reinigung. Sowohl Handzahnbürsten als auch Zahnbürstenköpfe elektrischer Zahnbürsten sind verwendbar. Das Spektrum der ultravioletten Strahlung schließt Wellenlängen zwischen 1nm und 380nm ein. Die DIN 5031, Teil 7 (Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Teil 7 Benennung der Wellenlängenbereiche) unterteilt den Strahlungsbereich des UV-Lichtes in UV-A, UV-B und UV-C.

Der UV-Ofen VIOlight verwendet UV-C Licht, um Bakterien zu reduzieren. UV-C Licht ist sehr wirksam gegenüber vielen Mikroorganismen einschließlich Antibiotika-resistenten Stämmen (Speert und Wannamaker 1980, Bank et al. 1990, Conner-Kerr et al. 1988). Das Licht wird produziert mit einer handelsüblichen Niedrigdruck-Quecksilberdampflampe. Etwa 86% der abgegebenen Strahlung hat eine Wellenlänge von 254 Nanometer. Bei dieser Wellenlänge ist die keimtötende Wirkung am stärksten. Die kurzwellige, energiereiche UV-C-Strahlung wird von Molekülen des Bakterienerbguts stark absorbiert. Sie durchstößt die äußere Zellmembran der Mikroorganismen und trifft auf die Nukleinsäuren, dabei erfolgt eine Modifikation der DNA, die zu einer Neuanordnung der zellulären genetischen Information führt. Bestimmte Bereiche der DNA (z.B. DNA-Strang) der Mikroorganismen werden so photometrisch zerstört, wodurch die Zelle vermehrungsunfähig wird (Maier und Nickl 2005).
UV-C-Bestrahlung ist mittlerweile technisch ausgereift, einfach und sicher in der Anwendung. Der große Vorteil der UV-Desinfektion ist, dass keine bis jetzt bekannten toxischen Nebenprodukte gebildet werden (Haider et al. 2002).

3. Versuchsplanung und Ziel der Studie

3.1 Versuchsplanung

Für die Versuche wurden zu Beginn zwei unterschiedliche Bakteriensuspensionen hergestellt: eine mit Streptococcus-mutans-Bakterienstämmen und eine mit Staphylococcus-aureus-Bakterienstämmen.
Danach wurden Handzahnbürsten mit unterschiedlichem Borstendurchmesser, die Dr. Best Flex Plus mittel und hart (GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, D- 77815 Brühl), kontaminiert. Die Bürstenköpfe wurden hierfür in der jeweiligen Bakteriensuspension geschwenkt. Alle verwendeten Zahnbürsten wurden nach der Kontamination unter fließendem destilliertem Wasser abgespült. Eine Zahnbürste wurde für 24 Stunden zur Lufttrocknung bei Raumtemperatur aufgestellt. Bei zwei weiteren Bürsten wurde das Borstenfeld mit CHX-Lösung, beziehungsweise mit CHX-Spray dekontaminiert und anschließend 24 Stunden luftgetrocknet. Die vierte Zahnbürste wurde in einen UV-Ofen gestellt und nach Bestrahlung auch für 24 Stunden luftgetrocknet. Um die Bakterienanzahl zu ermitteln, die nach den Dekontaminationsmethoden noch auf den Borsten der Zahnbürste hafteten, wurden diese in einer BHI-Lösung ausgeschüttelt, auf Blut-Agarplatten ausgestrichen und bei 37°C für 24 Stunden bebrütet. Anschließend wurden die Nährbodenplatten auf koloniebildende Einheiten untersucht und ausgezählt. Die gewonnenen Daten wurden erfasst, dokumentiert und statistisch ausgewertet.

Flussdiagramm zum Versuchsaufbau

Ansetzen der Bakteriensuspension mit

Streptococcus mutans oder Staphylococcus aureus

Dr. Best Flex Plus mittel		Dr. Best Flex Plus hart	
↓	↓	↓	↓
A n = 60 S. mutans	B n = 60 S. aureus	C n = 60 S. mutans	D n = 60 S. aureus
↓	↓	↓	↓

Kontamination der Zahnbürste mit den Bakteriensuspensionen nach Prüfplan

(S. mutans oder S. aureus)

↓ ↓ ↓ ↓

Abspülen unter fließendem Wasser (250 ml Aqua dest.)

↓ ↓ ↓ ↓

Lufttrocknung	**CHX-Lösung**	**CHX-Spray**	**VIOlight**
24 Std.	2 Min.	5 Sprühstöße	10 Min.
ABCD	ABCD	ABCD	ABCD

↓ ↓ ↓ ↓

Bebrütung bei 37°C

Untersuchung auf koloniebildende Einheiten

Auszählung der Bakterienkolonien

3.2 Ziel der Studie

Da anzunehmen ist, dass die Zahnbürste nach Gebrauch ein Reservoir pathogener Mikroorganismen darstellt, war zu klären, wie man effektiv Handzahnbürsten dekontaminiert und ob Unterschiede bei unterschiedlicher Borstenstruktur vorhanden sind.

Durch Anwendung von Dekontaminationsmethoden wird eine Keimreduktion der an den Borsten haftenden Keime erhofft, die als Auslöser für Karies und Parodontopathien (König 1974) diskutiert werden. Wie sinnvoll die Anwendung der unterschiedlichen Methoden in der Mundhygiene sind und für welche Personen die antibakterielle Wirkung von besonderem Nutzen sein könnte, ist zu klären.

Wir legten folgende Hypothesen zugrunde:

> Die Borstenhärte der Handzahnbürsten wirkt sich unterschiedlich auf die Keimbesiedlung und auf die Wirkung der Dekontaminationsmethoden aus.
>
> CHX ist Goldstandard zur Dekontamination von Handzahnbüsten.
>
> Zwischen den verschiedenen Methoden gibt es signifikante Unterschiede in der Effektivität der Bakterienreduzierung.

4. Material und Methoden

4.1 Material

4.1.1 Handzahnbürsten

In der Studie wurden zwei Zahnbürsten der Firma Dr. Best mit unterschiedlicher Borstenstärke untersucht.

- Dr. BEST Flex Plus mittel (GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, D- 77815 Brühl) (Abb. 2)

- Dr. BEST Flex Plus hart (GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, D- 77815 Brühl) (Abb. 2)

Abbildung 2: Dr. BEST Flex Plus- Handzahnbürste mittel und hart

Insgesamt 240 Erwachsenenzahnbürsten wurden getestet, aufgeteilt in zwei Gruppen zu je 120 Stück pro Härtegrad. Bei den Untersuchungsobjekten handelt es sich um eine Erwachsenenhandzahnbürste mit kurzem Borstenkopf und planem Borstenfeld. Die abgerundeten Kunststoffborsten sind in parallel stehenden Borstenbüscheln (multi-tufted) angeordnet.

Folgende Angaben zum Borstenfeld machte die Herstellerfirma:

Anzahl der Borstenbüschel:	43
Anzahl der einzelnen Borsten pro Büschel:	17 + / - 2
Art der Borsten/ Büschelverankerung:	Ankertechnologie
Material der Borstenfilamente:	White Nylon 6.12

Bei der Borsten-, bzw. Büschelverankerung wurde als Material Kupferzink verwendet. Der Griff ist durch eine gummierte noppenverstärkte Oberfläche charakterisiert. Zwischen Griff und Borstenfeld befindet sich ein Federanteil.

4.1.2 Dekontaminationsmethoden

Nach einer Kontaminierung in einer Keimlösung wurden die folgenden vier Dekontaminationsmethoden bei den Versuchsreihen angewendet.

4.1.2.1 Lufttrocknung

Zur sterilen Aufbewahrung der kontaminierten Zahnbürsten benutzten wir einen sterilen 30 cm hohen Plastikbehälter. Zur Abdeckung verwendeten wir sterile Aluminiumfolie, die zuvor mit einem sterilen spitzen Gegenstand durchlöchert wurde. So wurde eine 24 -stündige Lufttrocknung bei Raumtemperatur gewährleistet, und die Aluminiumfolie schützte gleichzeitig vor Verunreinigung und Kontamination mit fremden Keimen. Maximal vier Zahnbürsten wurden gleichzeitig pro Behälter aufgestellt (Abb. 3). Hierbei wurde streng darauf geachtet, dass weder die Zahnbürstenköpfe sich untereinander berührten, noch dass die Borstenfelder mit der Wand des Aufbewahrungsbehälters in Berührung kamen.

Abbildung 3: steriler Behälter zur Aufbewahrung der Zahnbürsten während der Lufttrocknung

4.1.2.2 CHX-Lösung

Als weitere Dekontaminationsmethode wählten wir Chlorhexidindigluconat Fertiglösung 0,2% (Engelhard Arzneimittel GmbH & Co KG, D- 61138 Niederdorfelden) (Abb. 4) Der pharmazeutische Wirkstoff des Produktes ist

Chlorhexidinbis (Di-gluconat). Weitere Inhaltsstoffe sind Ethanol (96%), Glycerol (85%), Sorbitol-Lösung (20%), Pfefferminzaroma, P0603887, Frey & Lau, Patentblau V (E 131) und destilliertes Wasser. Um in den Versuchsreihen die zuvor verunreinigten Zahnbürsten zu dekontaminieren, wurden die Zahnbürstenköpfe in 20 ml der CHX-Lösung für zwei Minuten geschwenkt.

Abbildung 4: CHX-Fertiglösung

4.1.2.3 CHX-Spray

Als dritte Methode der Reinigung verwendeten wir Chlorhexamed Forte 0,2% Spray (GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, D- 77815 Brühl) (Abb. 5). Die Zusammensetzung des CHX-Spray ist mit den oben genannten Inhaltstoffen der CHX-Lösung identisch. Der Unterschied zur vorher beschriebenen Dekontaminationsmethode besteht darin, dass die Lösung auf das Zahnbürstenfeld gesprüht wird, so dass das Aerosol die Borsten benetzen kann.

Abbildung 5: CHX-Spray

4.1.2.4 UV-Kammer VIOlight

Bei der Versuchsanordnung stellte die UV-Kammer VIOlight toothbrush sanitizer Model VS100 (VIOlight, New York) eine weitere Dekontaminationsmethode dar (Abb. 6). Hier wird mit einer spezifischen UV-Strahlung eine Keimreduzierung erzielt. Der aus mehreren Teilen bestehende UV-Ofen wurde nach Anleitung der Hersteller zusammengesetzt. Da es sich bei dem verwendeten Produkt um ein neuseeländisches Fabrikat handelt, war es nötig, die benötigte Voltzahl von 220Volt mittels eines Step Down-Transformators (Model KXT 100, WEE- Nummer DE 76956435) zu erzeugen. Bis zu vier Zahnbürsten wurden kopfüber in dem Ofen aufgestellt. Die UV-Lampe befindet sich in der Mitte des Ofens, so dass möglichst alle Borsten mit der Strahlung erreicht werden. Beim Einsetzen der Zahnbürsten war darauf zu achten, dass das Borstenfeld zur UV-Quelle ausgerichtet wurde. Die Zeit der Dekontamination betrug circa zehn Minuten. Der Vorgang wurde durch das Glühen einer blauen Leuchte dem Nutzer angezeigt. Nach zehn Minuten stellte sich das Gerät automatisch ab.

Technischen Daten des Gerätes: Gewicht 300g, Höhe 8,5cm, Ø x 15,5cm.

Abbildung 6: UV-Ofen VIOlight

4.1.3 Bakterien

Es wurden zwei unterschiedliche Mikroorganismen zur Kontamination der Zahnbürstenköpfe verwendet: Staphylococcus aureus und Streptococcus mutans. Auf Grund von vorangegangenen Versuchen und einer Disserta-

tionsarbeit (Hage, Annina 2010) aus der Abteilung Zahnerhaltung, Präventive Zahnheilkunde und Parodontologie im Zentrum Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde, UMG wurden diese beiden Keime ausgewählt. Ein Vorteil dieser beiden Mikroorganismen ist ihre gute Kultivierbarkeit.

4.1.3.1 Staphylococcus aureus

Die Kultivierung von S. aureus erfolgte auf Nährbodenplatten. Die Bebrütungszeit betrug 24 Stunden im Brutschrank bei 37°C. Auf den Nährbodenplatten stellten sich die Bakterien als gelblich-weißliche Kolonien dar (Abb. 7). Wir verwendeten den Keimstamm ATCC 29213 (Abteilung Medizinische Mikrobiologie, UMG).

Abbildung 7: Staphylococcus aureus

4.1.3.2 Streptococcus mutans

S. mutans wächst als gräulich- schwarze punktförmige Bakterienkolonien auf Nährbodenplatten (Abb. 8). Die Bebrütungszeit dieses Keimes betrug 24 Stunden bei 37°C. Wir verwendeten den Stamm S. m. DSM 20532 (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, Braunschweig, Deutschland).

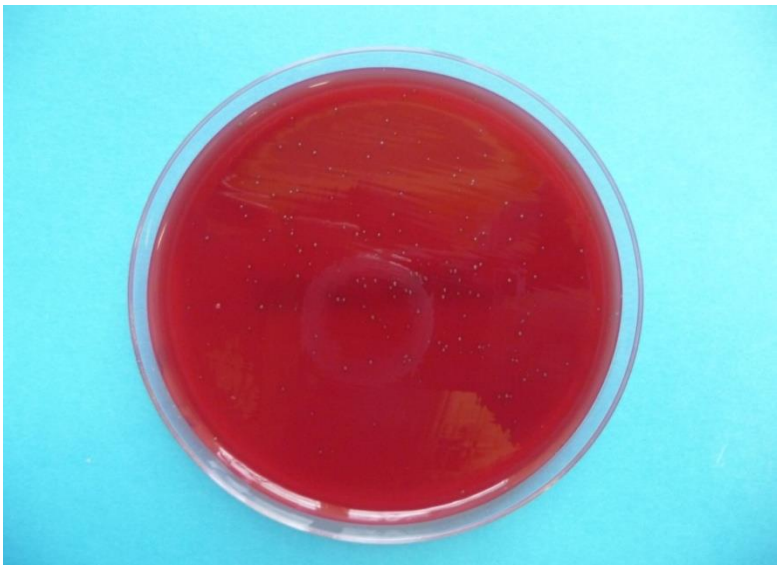

Abbildung 8: Streptococcus mutans

4.1.4 Hilfsmittel und Geräte

4.1.4.1 BHI-Lösung

Als Nährmedium zur Erhaltung der verwendeten Bakterien nutzten wir eine Herz-Hirn-Fertiglösung (AES laboratoire, F- 35172 Bruz cedex). BHI (brain-heart-infusion) wird zur schnellen Kultivierung von aeroben und anaeroben Bakterien verwendet. Die Inhaltsstoffe sind destilliertes Wasser, Infusion von Kalbs- und Rinderhirn, Peptone, Dextrose, Natriumchlorid und Natriumphosphat (www.mibius.de/out/oxbaseshop/html/0/images/wysiwigpro/BHI_Broth_140102I_TI.pdf). Der pH-Wert liegt bei 7,4 ± 0,2 bei 25°C. Die im Paket enthaltenen 100 Reagenzgläser sind mit je fünf Milliliter des Fertignährmediums gefüllt.

4.1.4.2 Nährbodenplatten

Für die Anzüchtung der Bakterien verwendeten wir ausschließlich Blut-Agar-Platten (Columbia- Blut) (biomerieux, 69280 Marcy l' Etoile- France). Blut-Agar dient als Nährboden für Mikroorganismen, welche Blutbestandteile von Säugetieren für das Wachstum benötigen. Der Nährboden besteht zu fünf bis zehn Prozent aus defibriniertem menschlichem oder tierischem Blut. Er ermöglicht den Nachweis bestimmter Erregerklassen und die Beurteilung hämolysierender Eigenschaften der angezüchteten Bakterien

(http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/182138).
Während der Bebrütungszeit der Platten werden diese in einem Aerobiertopf (bioMérieux, F- 69280 Marcy l‘ Etoile)) aufbewahrt. Ein dazu gelegtes CO_2-Tuch (bioMérieux, F- 69280 Marcy l‘ Etoile) dient als Generator zur Anzucht der Bakterien.

4.2 Methoden

Die Versuchsreihen wurden im Institut für Medizinische Mikrobiologie, Universitätsmedizin Göttingen (Leiter: Prof. Dr. U. Groß) durchgeführt.

Für die Studie wurden die 240 verwendeten Zahnbürsten in 16 Gruppen eingeteilt. Dies erfolgte nach der Borstenstärke, den zwei Bakterienkeimen und den vier verwendeten Dekontaminationsverfahren. Die Stärke der einzelnen Gruppen betrug 15 Zahnbürsten.

4.2.1 Versuchsaufbau

Ein Versuchsdurchlauf dauert vier Tage. Am Vortag der Versuchsreihe wird eine Suspensionslösung frisch hergestellt. Hierfür werden fünf Bakterienkolonien vom jeweiligen Keim von einer Nährbodenplatte mit Hilfe einer sterilen 10 µl-Impfschlinge (Sarstedt Aktiengesellschaft& Co., D- 51588 Nümbrecht) abgehoben und in einem mit 10 ml BHI-Lösung gefüllten Reagenzglas geschüttelt. Die Röhrchen werden für 24 Stunden bei 37°C bebrütet.

Herstellung der Suspensionslösung:

5 abgehobene Bakterienkolonien in jeweils 10 ml Hirn-Herz-Bouillon (BHI-Lösung) ausschütteln

↓

24 h bei 37°C brüten

↓

5 ml kontaminierte BHI-Lösung zu 800 ml NaCl (0,9%ig) hinzufügen

Die folgende Anleitung ist für eine Versuchsreihe mit vier Zahnbürsten:

800 ml 0,9%ige Natriumchloridlösung (B. Braun Melsungen AG, D- 34209 Melsungen) werden mit 5 ml Bakterien-Suspensionslösung in einem sterilen 1-Liter-Gefäß versetzt und kräftig durchgeschüttelt. Die 800 ml Kontaminationslösung werden auf vier sterile Gefäße (Fassungsvermögen 500ml) zu je 200ml aufgeteilt. Aus jedem dieser vier Gefäße werden 0,5 ml Lösung entnommen um Kontrollgruppen herzustellen. Für die Applikation werden Eppendorf-Pipetten (Pipetman, Gilson, Inc., USA) und Pipettenspitzen (Biosphere Filter Tips, Sarstedt Aktiengesellschaft& Co., D- 51588 Nümbrecht) verwendet.

Aus jeder Kontrolllösung (kontaminiertes NaCl) wird eine Verdünnungsreihe hergestellt. Dazu werden acht beschriftete Reagenzgläser benötigt, die jeweils mit 4,5 ml BHI-Lösung gefüllt sind. Von der Kontrolllösung werden 0,5 ml abpipettiert und in das erste Reagenzglas entleert. Durch Schütteln wird eine gleichmäßige Verteilung der Bakterien in der Lösung erreicht. Aus diesem Reagenzglas werden wieder 0,5 ml abpipettiert und in Reagenzglas Nummer zwei gefüllt. Dieser Vorgang wird bis zum achten Reagenzglas wiederholt. Dem letzen Reagenzglas werden 0,5 ml hinzugefügt, ohne anschließend dieses Volumen nach dem Schüttelvorgang wieder zu entfernen. Im achten Reagenzglas befinden sich dementsprechend nach dem Abschluss der Verdünnungsreihe 5 ml Flüssigkeit (Abb. 9).

Abbildung 9: Anlegen einer Verdünnungsreihe

Von der Verdünnungsreihe werden acht beschriftete Blut-Agar-Platten mit je 0,1 ml Flüssigkeit beimpft. Eine neunte Platte wird mit 0,1 ml der kontaminierten unverdünnten BHI-Lösung bestrichen. Zum Beimpfen der Nährbodenplat-

ten werden 10 µl-Einmalimpfschlingen (Sarstedt Aktiengesellschaft& Co., D-51588 Nümbrecht) verwendet (Abb. 10).

Abbildung 10: Ausstreichen von 0,1 ml Bakteriensuspension auf eine Blut-Agar-Platte

Die Blut-Agar-Platten werden in einem 2,5-Liter-Anaerobiertopf (Merck KGaA, D- 64293 Darmstadt) so gestapelt, dass die Gelschicht nach oben liegt. Die Aufbewahrungsbehälter sind mit einem CO_2-Tuch (bioMérieux, F-69280 Marcy l´Etoile) luftdicht verschlossen und werden für 24 Stunden bei 37°C im Brutschrank bebrütet. Am folgenden Tag werden die gewachsenen Bakterienkolonien gezählt. Die gewonnenen Kontrollwerte dienen zur Beurteilung der Ausgangswerte der Keimlast.

Vier originalverpackte Zahnbürsten werden vorsichtig entnommen und jeweils in einem der Gefäße mit 200 ml Kontaminationslösung für zwei Minuten geschwenkt. Anschließend wird jeder Zahnbürstenkopf mit 250 ml destilliertem Wasser übergossen (Abb. 11).

Abbildung 11: Abspülen der kontaminierten Zahnbürste mit 250 ml destilliertem Wasser

Danach wird eine der vier Dekontaminationsmethoden angewendet. Zur Identifizierung wird jede Zahnbürste beschriftet mit dem jeweils angewandten Verfahren und dem verwendeten Bakterienkeim.

1. Methode: Lufttrocknung (24 Stunden):

Nach dem Abspülen wird die Zahnbürste zur Lufttrocknung mit dem Borstenkopf nach oben in einen sterilen Plastikbehälter bei Raumtemperatur aufgestellt und mit Alufolie abgedeckt. Die Folie wird mit einem sterilen Gegenstand (Impfschlinge) durchlöchert.

2. Methode: CHX-Lösung 0,2 %ig (zwei Minuten):

Bei dieser Methode wird der Zahnbürstenkopf nach dem Abspülen mit destilliertem Wasser in 20 ml CHX-Lösung für zwei Minuten geschwenkt. Hierfür werden die 20 ml CHX in ein steriles 200ml-Gefäß gefüllt. Es wird darauf geachtet, dass das komplette Borstenfeld mit der Flüssigkeit benetzt wird. Anschließend erfolgt die 24 -stündige Lufttrocknung.

3. Methode: CHX-Spray 0,2 %ig (fünf Sprühstöße):

Bei dieser Methode werden nach dem Abspülen mit destilliertem Wasser fünf Sprühstöße CHX-Spray aus unterschiedlichen Richtungen auf das Borstenfeld abgegeben. Der erste Sprühstoß erfolgt senkrecht von oben auf das plane Borstenfeld, der zweite und dritte auf die Borstenfeld von links und rechts. Die letzten beiden Sprühstoße benetzen das vordere und hintere Ende des Borstenfeldes. Der Abstand vom Sprühkopf zum Borstenfeld beträgt etwa fünf Zentimeter.

4. Methode: UV-Ofen VIOlight (circa zehn Minuten):

Die vierte Zahnbürste wird nach dem Abspülen mit destilliertem Wasser für zehn Minuten in den VIOlight-UV-Ofen gestellt (Abb. 12). Es wird darauf geachtet, dass der Borstenkopf Richtung Gerätemitte positioniert wird, damit das UV- Licht direkt die Borsten bestrahlen kann. Durch das Erleuchten einer blauen Kontrollleuchte wird der Dekontaminationsvorgang angezeigt. Das Gerät schaltet sich automatisch nach zehn Minuten aus. Nach jeder Benutzung wird das Gerät mit Oberflächendesinfektionsspray gereinigt.

Abbildung 12: UV-Ofen VIOlight in Betrieb

Bei der Lufttrocknung wird darauf geachtet, dass maximal vier Zahnbürsten pro sterilem Behälter platziert werden mit einem Abstand von circa fünf Zentimeter zwischen den einzelnen Bürstenköpfen.

Am folgenden Versuchstag werden die luftgetrockneten Zahnbürsten jeweils für zwei Minuten in 20 ml BHI-Lösung geschüttelt, um die Bakterien aus dem Borstenfeld zu isolieren (Abb. 13).

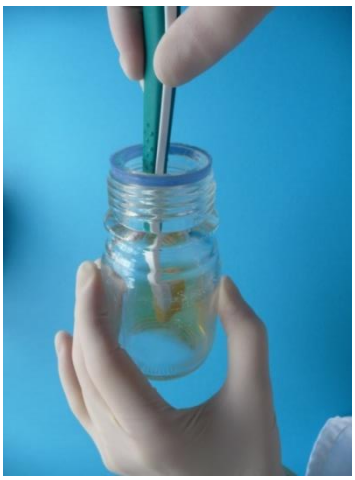

Abbildung 13: Ausschütteln der Bakterien in 20 ml BHI

Anschließend werden Verdünnungsreihen aus der BHI-Lösung angelegt. Hierzu wird, wie bei der Kontrolllösung schon beschrieben, von der kontaminierten BHI-Lösung 0,5 ml abpipettiert und in ein beschriftetes Reagenzglas, welches mit 4,5 ml steriler BHI-Flüssigkeit gefüllt ist, entleert. Nach dem Schütteln werden aus dieser Suspension 0,5 ml Flüssigkeit entnommen und in ein neues Reagenzglas mit 4,5 ml BHI-Lösung gegeben. Dieser Vorgang

wird entsprechend wiederholt. Bei der Lufttrocknung werden - wie bei der Kontrollgruppe - acht Verdünnungsstufen gewählt, bei der CHX-Lösung vier, beim CHX-Spray und beim VIOlight-Ofen fünf. Die Anzahl der Verdünnungsstufen wurde durch entsprechende Vorversuche ermittelt, um auswertbare Ergebnisse zu erhalten.

Das Ausstreichen der einzelnen Verdünnungsstufen erfolgt mit sterilen 10µl-Impfschlingen. Zusätzlich wird eine Platte mit der unverdünnten BHI-Lösung, in der die Bakterien der Borsten geschüttelt worden sind, beimpft. Alle Platten werden in geschlossenen Anaerobiertöpfen 24 Stunden im Brutschrank bei 37°C aufbewahrt.

Am letzten Tag einer Versuchsreihe werden die Blut-Agar-Platten inspiziert und vorhandene Bakterienkolonien ausgezählt. Das Zählergebnis wird in einem Laborbuch notiert.

Herstellen der Kontaminationslösung:

4 x 200 ml Kontaminationslösung

Verdünnungsreihen der Kontaminationslösungen auf 9 RG's (Kontrolllösung)

Eintauchen der zu untersuchenden Zahnbürstenköpfe in die Kontaminationslösung

Abspülen unter 250 ml Aqua dest.

Dekontamination mit der jeweils vorgesehenen Methode

2 Min. Schütteln der zu untersuchenden Zahnbürstenköpfe in 20 ml BHI-Lösung

Verdünnungsreihen der BHI-Lösungen auf RG´s

Ausstreichen auf Blutplatten (je 0,1 ml von jeder Verdünnungsstufe)

Bebrütung bei 37°C

Untersuchung auf koloniebildende Einheiten

Auszählung der Bakterienkolonien

4.2.2 Erfassung und Messung

Nach der 24 -stündigen Bebrütung der kontaminierten Nährbodenplatten werden diese auf koloniebildende Einheiten untersucht. Das Auszählen vorhandener Bakterienkolonien erfolgt unter einer beleuchteten Lupe und mit Hilfe eines Handzählgerätes (s. Abb. 14 und 15).

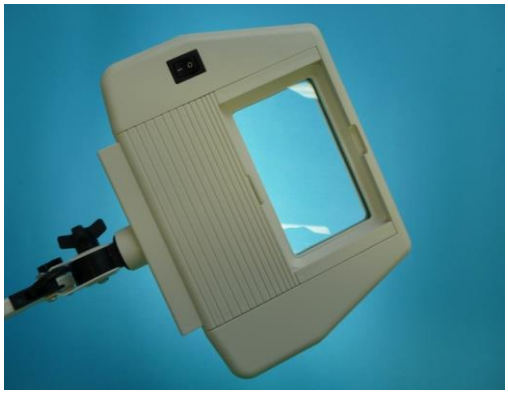

Abbildung 14: beleuchtete Vergrößerungshilfe

Abbildung 15: Handzählgerät

4.2.3 Statische Auswertung

Die Daten der Auszählungen der Bakterienkolonien wurden zusammengefasst in Exceltabellen und in Zusammenarbeit mit der Abteilung “Medizinische Statistik“ der Medizinischen Fakultät Göttingen ausgewertet (damaliger Leiter: Prof. em. Dr. E. Brunner). Folgende statistische Methoden kamen zur Anwendung:

Der Einfluss des Zahnbürstentyps und der Dekontaminationsmethode auf die Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ sowie die Wechselwirkung dieser bei-

den Faktoren wurde mit einer zweifachen, nichtparametrischen Varianzanalyse untersucht. Eine Wechselwirkung zwischen zwei Faktoren bedeutet, dass der Einfluss des einen Faktors bei den unterschiedlichen Stufen des anderen Faktors unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Im Falle signifikanter Haupteffekte wurden paarweise Vergleiche zwischen den einzelnen Stufen der entsprechenden Faktoren betrachtet – hierzu wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet.

Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests mit alpha = 5% festgelegt. Bei Paarvergleichen wurde gegebenenfalls ein Bonferroni-adjustiertes Signifikanzniveau alpha* angesetzt (hierbei ist alpha* = alpha / Anzahl an Paarvergleichen). Alle Analysen wurden mit der freien Software R (Version 2.8, www.r-project.org) vorgenommen.

5. Ergebnisse

In dem folgenden Kapitel sind die Ergebnisse der Dekontaminationsmethoden bei Handzahnbürsten unterschiedlicher Borstenstruktur dargestellt. Aus Übersichtsgründen ist die Darstellung der Ergebnisse nach Bakterium, Zahnbürste und Dekontaminationsmethode unterteilt. Als Kontrollgruppe für jede Messung und für jede Versuchsreihe wurde die aussagekräftigste Verdünnungsstufe gewählt. Verdünnungsstufe Drei war geeignet, da bei den Kontrolllösungen ab dieser Verdünnungsstufe die einzelnen Bakterienkolonien gut zählbar waren. Auch bei den Dekontaminationsmethoden waren bei dieser Verdünnungsstufe noch Bakterieneinheiten auffindbar.

5.1 Versuche mit Streptococcus mutans

Die Versuchsreihen wurden mit 60 Zahnbürsten mittlerer Borstenhärte und 60 mit harten Borsten durchgeführt. Nach der Kontamination der Borsten mit Streptococcus mutans erfolgte bei allen gleichermaßen eine Spülung mit 250 ml destilliertem Wasser. Anschließend erfolgte die Anwendung einer der vier unterschiedlichen Dekontaminationsverfahren. Die Dekontaminationsmethode Eins beinhaltete eine 24 -stündige Lufttrocknung, die Methode Zwei eine CHX-Dekontamination per Lösung, Methode Drei eine CHX-Dekontamination per Sprühnebel und die vierte Methode eine Bestrahlung mit UV-Licht. Bei den Methoden zwei bis vier erfolgte nach Anwendung der entsprechenden Dekontaminationsmethode noch anschließend eine 24 -stündige Lufttrocknung vor dem Ausschütteln in BHI-Lösung.

5.1.1 Einfluss der Borstenhärte auf die Keimbesiedlung

Bei den Versuchen mit dem Bakterientyp Streptococcus mutans und den zwei Handzahnbürsten mit unterschiedlicher Borstenhärte (mittel / hart) zeigte sich kein statistisch signifikanter Einfluss des Zahnbürstentyps auf die Keimbesiedlung ($p = 0.68$).

5.1.2 Einfluss der Dekontaminationsmethode auf die Keimbesiedlung

Beim Bakterium Streptococcus mutans zeigte sich ein signifikanter Einfluss der einzelnen angewandten Dekontaminationsmethoden ($p < 0,01$).

Abbildung 16 stellt die Keimreduktion des Bakteriums Streptocoocus mutans nach Anwendung der vier unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden dar. Auffällig ist, dass die Lufttrocknung bei dem untersuchten Bakterium am uneffektivsten wirkt. Die anderen drei Methoden zur Dekontamination hingegen liegen alle um die 0,000-Linie. Eine Differenz zwischen den Methoden ist nicht auszumachen. Einzelne Streuwerte sind bei allen vier Methoden erkennbar.

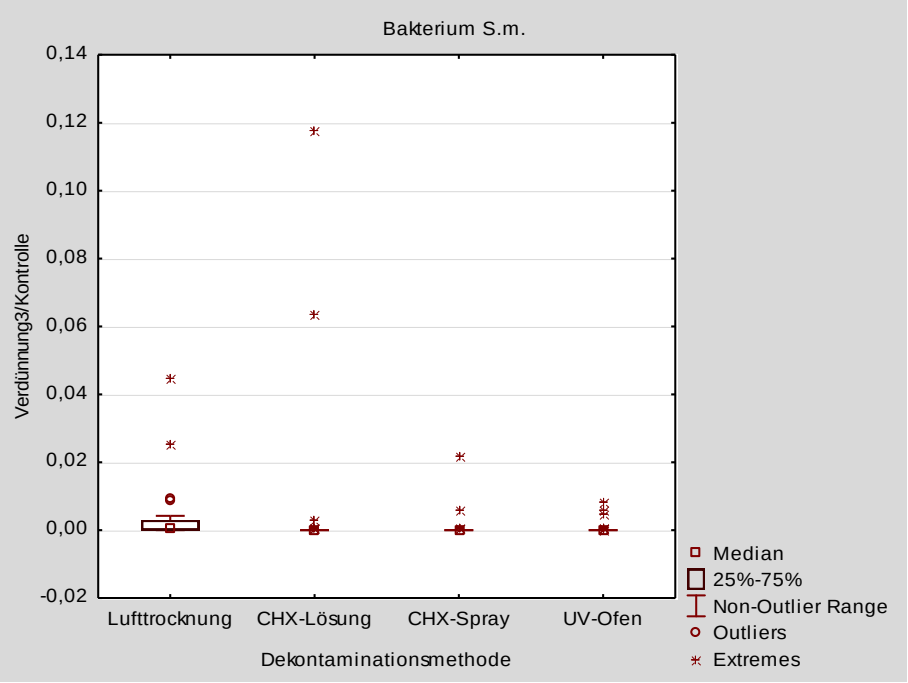

Abbildung 16: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Steptococcus mutans, getrennt nach Dekontaminationsmethode

Die Betrachtung der Medianwerte ergibt eine differenziertere Auskunft auf die Überlebensrate der Bakterienkolonien (Tab. 3).

Der Median der ersten Dekontaminationsmethode (Lufttrocknung) lag bei 0,0007 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung (Verdünnung 3 / Kontrolle), maximal konnten 100,0 und minimal 0,0 Bakterienkolonien gezählt werden. Nach Verwendung der zweiten Dekontaminationsmethode (CHX-Lösung) wurde der Median bei 0,0 erhoben. Der minimale Wert lag bei 0,0 , der Maximalwert bei 0,1179. Im Vergleich zur Lufttrocknung zeigte sich eine Abnahme der Bakterienkolonien, der Median sank um 0,0007. Die dritte Me-

thode, die Dekontamination mit CHX-Spray, wies ebenso mit einem Median von 0,0 Bakterienkolonien niedrige Werte auf. Der minimale Wert lag bei 0,0, der maximale Wert bei 0,0217 Bakterienkolonien bezogen auf die Kontaminationslösung. Beim UV-Ofen zeigte sich im Vergleich zu den ersten drei Methoden die stärkste Verringerung der Kolonien. Die niedrigste Kontamination ist erkennbar. Der Median lag hier auch bei 0,0, das Maximum bei 0,0085 und das Minimum bei 0,0 Kolonien.

Tabelle 3: Verteilungen der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“, getrennt nach Bakterium Streptrococcus mutans und Dekontaminationsmethode.

Bakterium	Dekontaminationsmethode	Zahnbürste	Median (Min-Max) Verdünnung 3 / Kontrolle
Streptococcus mutans	Lufttrocknung	Beide	0.0007 (0.0000-0.0448)
	CHX-Lösung	Beide	0.0000 (0.0000-0.1179)
	CHX-Spray	Beide	0.0000 (0.0000-0.0217)
	VIOlight	Beide	0.0000 (0.0000-0.0085)

5.1.3 Wechselwirkung zwischen Zahnbürste und Dekontaminationsmethode

Eine signifikante Wechselwirkung zwischen Zahnbürste und Dekontaminationsmethode war nicht gegeben (p = 0.57).

Anschließende Paarvergleiche zeigten, dass nur signifikante Unterschiede zwischen Dekontaminationsmethode Eins (Lufttrocknung) gegen alle anderen Methoden zurückzuführen sind (Tab. 4).
Der p-Wert lag hinsichtlich des paarweisen Vergleichs der ersten Methode (Lufttrocknung) mit der CHX-Lösung (Methode Zwei) bei 0,0052. Der Vergleich der Lufttrocknungsmethode mit der Anwendung von CHX-Spray (Dekontaminationsmethode Drei) ermittelte einen p-Wert von 0,005. Ähnlich liegt der p-Wert im Vergleich Lufttrocknung und vierte Dekontaminationsmethode (UV-Ofen VIOlight) (p = 0,0049). Bei der Untersuchung der Wechselwirkung

der Dekontaminationsmethoden zwei bis vier konnten keine p-Werte unterhalb der Signifikanzgrenze ermittelt werden (p-Werte zwischen 0,3406 und 0,8616).

Tabelle 4: Paarweise Vergleiche der Dekontaminationsmethoden; Vergleiche mit $p < 0.05 / 6 = 0.0083$ sind statistisch signifikant.

Bakterium / Zahnbürste	Paarvergleich	p (Mann-Whitney-U-Test)
Streptococcus mutans / beide (mittel und hart)	LT vs. CHX-Lsg.	**0.0052**
	LT vs. CHX-Spray	**0.0005**
	LT vs. VIOlight	**0.0049**
	CHX-Lsg. vs. CHX-Spray	0.4592
	CHX-Lsg. vs. VIOlight	0.8616
	CHX-Spray vs. VIOlight	0.3406

Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuche mit Streptococcus mutans:

Es lässt sich feststellen, dass die Borstenstruktur der Zahnbürsten (mittel und hart) bei den Versuchen mit Streptococcus mutans keinen signifikanten Einfluss auf die Keimbesiedlung hat. Der Effekt der Dekontaminationsmethode auf die Bakterienbesiedlung ist statistisch signifikant. Eine signifikante Wechselwirkung zwischen Zahnbürste und Dekontaminationsmethode war nicht gegeben.

Bei 24 -stündiger Lufttrocknung nach der Kontamination (Methode Eins) wurden die meisten Bakterienkolonien nachgewiesen. Bessere Ergebnisse erzielte die zweite Dekontaminationsmethode (CHX-Lösung + 24 -stündige Lufttrocknung) und die dritte (CHX-Spray + Lufttrocknung). Die geringste Anzahl an Bakterien konnte nach Gebrauch des UV-Ofens VIOlight (+ Lufttrocknung) nachgewiesen werden. Bei den paarweisen Vergleichen der vier Dekontaminationsmethoden untereinander konnten statistisch signifikante

Unterschiede nur zwischen der Dekontaminationsmethode Lufttrocknung im Vergleich zu den anderen drei Methoden gezeigt werden.

5.2 Versuche mit Staphylococcus aureus

Die Versuchsreihen mit Staphylococcus aureus wurden mit zwei Handzahnbürsten unterschiedlicher Borstenhärte (60 Stück mit mittleren Borsten, 60 Stück mit harten Borsten) durchgeführt.
Nach der Kontamination der Borsten mit Staphylococcus aureus erfolgte bei allen gleichermaßen eine Spülung mit 250 ml destilliertem Wasser. Anschließend erfolgte die Anwendung einer der vier unterschiedlichen Dekontaminationsverfahren. Die Dekontaminationsmethode Eins beinhaltete eine 24 -stündige Lufttrocknung, die Methode Zwei eine CHX-Dekontamination per Lösung, Methode Drei eine CHX-Dekontamination per Sprühnebel und die vierte Methode eine Bestrahlung mit UV-Licht. Bei den Methoden zwei bis vier erfolgte nach Anwendung der entsprechenden Dekontaminationsmethode noch anschließend eine 24 -stündige Lufttrocknung vor dem Ausschütteln in BHI-Lösung.

5.2.1 Einfluss der Borstenstruktur auf die Keimbesiedlung

In der Versuchsgruppe des Bakteriums Staphylococcus aureus zeigte sich eine Auswirkung des Zahnbürstentyps auf das Bakterium. Die Borstenhärte (mittel / hart) zeigte einen signifikanten Einfluss auf die Bakterienbesiedlung ($p < 0.01$) (Abb. 17 und 18).

Die Betrachtung der Ergebnisse der Zahnbürsten mit mittlerer Borstenstruktur stellt sich folgendermaßen dar:
Abbildung 17 zeigt, dass die Verwendung von CHX-Spray (Methode Drei) an Zahnbürsten mit mittlerer Borstenstärke zur stärksten Reduzierung der Kolonienzahl führte. Das Schwenken in CHX-Lösung (Methode Zwei) reduzierte ebenfalls Keime, wenn auch nicht so deutlich. Die Dekontamination mit UV-Licht erbrachte im Vergleich zu den erwähnten Methoden eine geringere Abnahme von Bakterienkolonien. Nach der Lufttrocknung konnten auf Zahnbürsten mittlerer Borstenstärke die meisten Bakterienkolonien nachgewiesen werden.

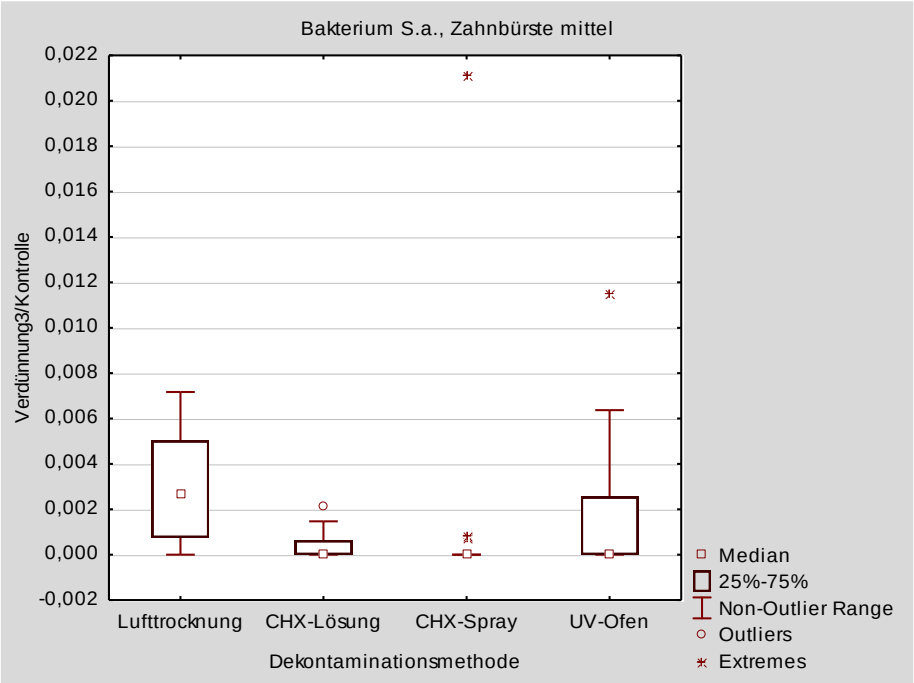

Abbildung 17: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, Zahnbürste mittel, getrennt nach Dekontaminationsmethode

Die Betrachtung der Medianwerte ergibt eine differenziertere Auskunft auf die Überlebensrate der Bakterienkolonien (Tab. 5).

Der Median der ersten Dekontaminationsmethode (Lufttrocknung) bei mittlerer Zahnborstenstruktur lag bei 0,0027 Kolonien bezogen auf die Kontaminationslösung (Verdünnung 3 / Kontrolle), maximal konnten 0,0077 und minimal 0,0 Bakterienkolonien gezählt werden. Nach Verwendung der zweiten Dekontaminationsmethode (CHX-Lösung) wurde der Median bei 0,0 erhoben. Der minimale Wert lag bei 0,0, der Maximalwert bei 0,0022. Im Vergleich zur Lufttrocknung zeigte sich eine Abnahme der Bakterienkolonien, der Median sank um 0,0027. Die dritte Methode, die Dekontamination mit CHX-Spray, wies ebenso mit einem Median von 0,0 Bakterienkolonien niedrige Werte auf. Der minimale Wert lag bei 0,0 der maximale Wert bei 0,0212 Bakterienkolonien bezogen auf die Kontaminationslösung. Der Median beim UV-Ofen VI-Olight lag hier auch bei 0,0, das Maximum bei 0,0115 und das Minimum bei 0,0 Kolonien. Die Anwendung von CHX-Lösung zeigte die effektivste Wirkung zur Dekontamination bei Staphylococcus aureus bei mittlerer Borstenstruktur.

Tabelle 5: Verteilungen der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“, getrennt nach Bakterium Stapylococcus aureus, Dekontamionationsmethode und Zahnbürste (mittel).

Bakterium	Dekontami-nationsmethode	Zahnbürste	Median (Min-Max) Ver-dünnung 3 / Kontrolle
Staphylococcus aureus	Lufttrocknung	mittel	0.0027 (0.0000-0.0077)
	CHX-Lösung	mittel	0.0000 (0.0000-0.0022)
	CHX-Spray	mittel	0.0000 (0.0000-0.0212)
	VIOlight	mittel	0.0000 (0.0000-0.0115)

Die Betrachtung der Ergebnisse der Zahnbürsten mit harter Borstenstruktur stellt sich folgendermaßen dar:

Bei den Versuchsreihen mit Zahnbürsten mit harten Borsten war die Dekontamination mit reiner Lufttrocknung (Methode Eins) effektiver als die Dekontaminationsmethoden mit dem Wirkstoff CHX (Methode Zwei und Drei). Die wenigsten Bakterienkolonien auf den harten Borsten wurden nach Anwendung des UV-Ofen VIOlight dokumentiert (Abb. 18).

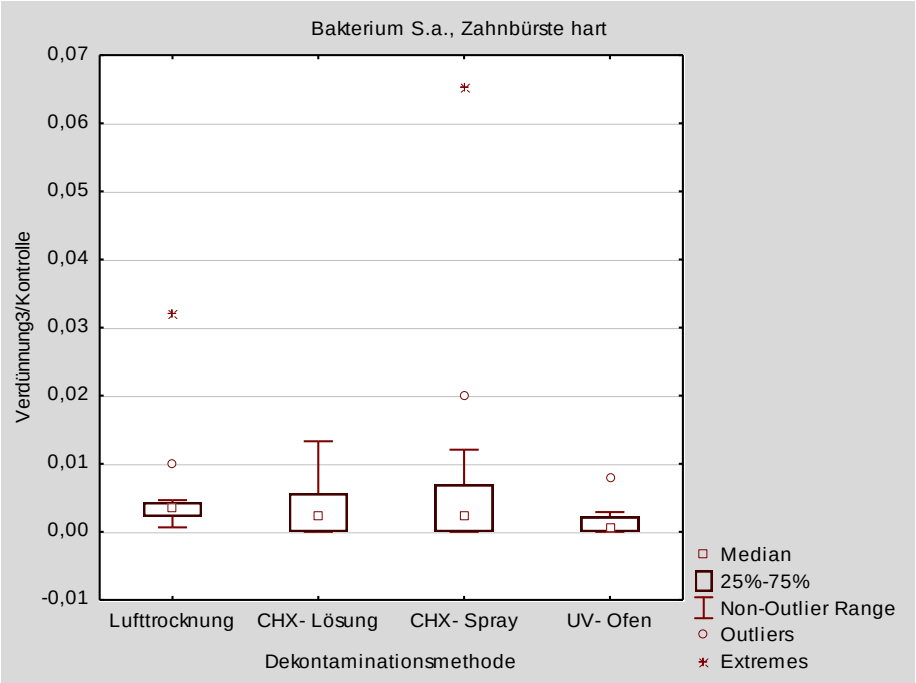

Abbildung 18: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, Zahnbürste hart, getrennt nach Dekontaminationsmethode

Die Betrachtung der Medianwerte ergibt eine differenziertere Auskunft auf die Überlebensrate der Bakterienkolonien (Tab. 6).

Der Median der ersten Dekontaminationsmethode (Lufttrocknung) bei harter Zahnborstenstruktur lag bei 0,0035 Kolonien bezogen auf die Kontaminationslösung (Verdünnung 3 / Kontrolle), maximal konnten 0,0321 und minimal 0,0007 Bakterienkolonien gezählt werden. Nach Verwendung der zweiten Dekontaminationsmethode (CHX-Lösung) wurde der Median bei 0,0022 erhoben. Der minimale Wert lag bei 0,0, der Maximalwert bei 0,0133. Im Vergleich zur Lufttrocknung zeigte sich eine Abnahme der Bakterienkolonien, der Median sank um 0,0013. Die dritte Methode, die Dekontamination mit CHX-Spray, wies mit einem Median von 0,0025 Bakterienkolonien einen ähnlichen Wert auf. Der minimale Wert lag bei 0,0, der maximale Wert bei 0,0653 Bakterienkolonien bezogen auf die Kontaminationslösung. Der Median beim UV-Ofen VIOlight lag hier auch bei 0,0007 das Maximum bei 0,0078 und das Minimum bei 0,0 Kolonien. Die Anwendung des Ofens zeigte die effektivste Wirkung zur Dekontamination bei Staphylococcus aureus bei harter Borstenstruktur.

Tabelle 6: Verteilungen der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“, getrennt nach Bakterium Stapylococcus aureus, Dekontamionationsmethode und Zahnbürste (hart).

Bakterium	Dekontami-nationsmethode	Zahnbürste	Median (Min-Max) Ver-dünnung 3 / Kontrolle
Staphylococcus aureus	Lufttrocknung	hart	0.0035 (0.0007-0.0321)
	CHX-Lösung	hart	0.0022 (0.0000-0.0133)
	CHX-Spray	hart	0.0025 (0.0000-0.0653)
	VIOlight	hart	0.0007 (0.0000-0.0078)

5.2.2 Einfluss der Dekontaminationsmethode auf die Keimbesiedlung

Bei Betrachtung der vier Dekontaminationsmethoden bei den Versuchen mit dem Bakterium Staphylococcus aureus zeigte sich ein statistisch signifikanter Einfluss bezüglich der Bakterienbesiedlung ($p < 0.01$).

Abbildung 19 stellt die Keimreduzierung des Bakteriums S. aureus nach Anwendung der vier unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden dar.
Die erste Dekontaminationsmethode (Lufttrocknung) wies eine geringe Anzahl an Bakterienkolonien auf. Die Bakterienanzahl sank durch Anwendung der zweiten Dekontaminationsmethode, in der die Daten nach Verwendung von CHX-Lösung erhoben wurden. Bei der Untersuchung nach der Dekontamination mit CHX-Spray (Methode Drei) konnte eine höhere Anzahl an Kolonien gezählt werden. Bei der Dekontaminationsmethode Vier (UV-Ofen) zeigte sich annähend die Anzahl von Kolonien wie nach Anwendung der Methode zwei. Somit wurden bei den Methoden zwei und vier die wenigsten Staphylococcus-aureus-Kolonien gefunden.

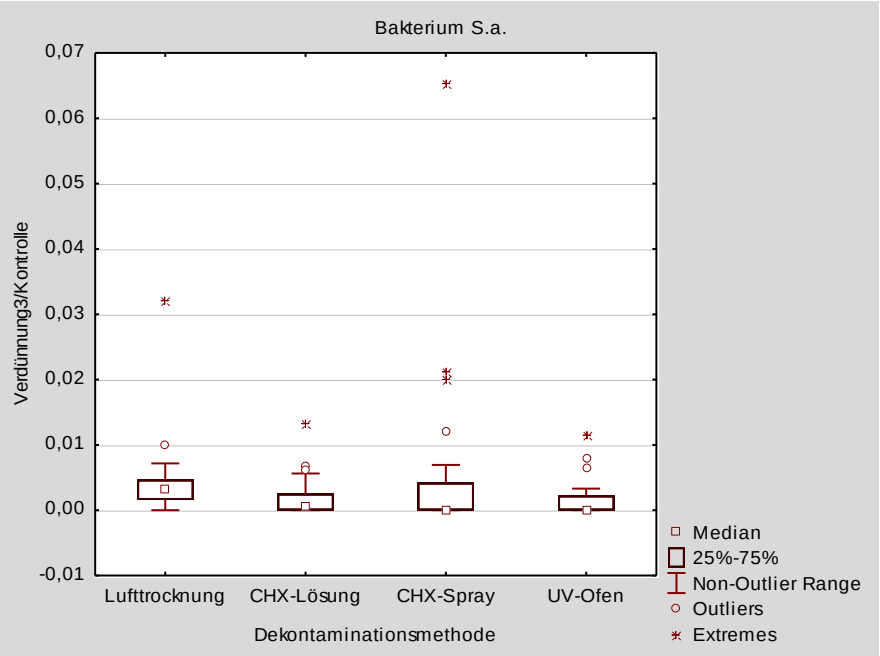

Abbildung19: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, getrennt nach Dekontaminationsmethode

5.2.3 Wechselwirkung zwischen Zahnbürsten und Dekontaminations-methoden

Die statistische Berechnung zeigt eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Zahnbürstentyp und den Dekontaminationsmethoden (p = 0,04).

Es wurden Paarvergleiche der Dekontaminationsmethoden getrennt nach Zahnbürstentyp (mittel / hart) vorgenommen (Tab. 7).
Hierbei zeigte sich bei Zahnbürstentyp Mittel ein signifikanter Unterschied zwischen Dekontaminationsmethode Eins mittels Lufttrocknung und Zwei mittels CHX-Lösung (p = 0.0012) sowie zwischen Methode Eins und Drei (CHX-Spray) (p = 0.006). Bei Zahnbürstentyp Hart waren hingegen nur Dekontaminationsmethode Eins (Lufttrocknung) und Vier (VIOlight) verschieden mit dem Wert p = 0.0008. Bei Dekontaminationsmethode Zwei (CHX-Lösung) und Drei (CHX-Spray) unterschieden sich außerdem die beiden Zahnbürstentypen.

Tabelle 7: Paarweise Vergleiche der Dekontaminationsmethoden, getrennt nach Bakterium und nach Borstenhärte. Vergleiche mit $p < 0.05 / 6 = 0.0083$ sind statistisch signifikant.

Bakterium / Zahnbürs-tentyp	Paarvergleich	p (Mann-Whitney-U-Test)
Staphylococcus aureus / mittel	LT vs. CHX-Lsg.	**0.0012**
	LT vs. CHX-Spray	**0.0006**
	LT vs VIOlight	0.0164
	CHX-Lsg vs. CHX-Spray	0.5448
	CHX-Lsg. vs. VIOlight	0.5786
	CHX-Spray vs. VIOlight	0.3650
Staphylococcus aureus / hart	LT vs. CHX-Lsg.	0.3254
	LT vs. CHX-Spray	0.5699
	LT vs. VIOlight	**0.0008**
	CHX-Lsg. vs. CHX-Spray	0.7376
	CHX-Lsg vs. VIOlight	0.0849
	CHX-Spray vs. VIOlight	0.0504

Paarweise Vergleiche der beiden Zahnbürsten getrennt nach Dekontaminationsmethode zeigen auch signifikante Unterschiede (Tab.8).

Tabelle 8: Paarweise Vergleiche der Zahnbürstentypen getrennt nach Dekontaminationsmethode bei Bakterium Staphylococcus aureus. Vergleiche mit $p < 0.05$ sind statistisch signifikant.

Bakterium / Dekontaminationsmethode	Paarvergleich	p (Mann-Whitney-U-Test)
S.a. / Lufttrocknung	mittel vs. hart	0.40
S.a. / CHX-Lösung	mittel vs. hart	**< 0.01**
S.a. / CHX-Spray	mittel vs. hart	**< 0.01**
S.a. / VIOlight	mittel vs. hart	0.58

Zahnbürsten mittlerer Borstenstruktur zeigen im Vergleich zu Zahnbürsten mit harten Borsten bei der Anwendung von CHX (Dekontaminationsmethode Zwei und Drei) signifikante Unterschiede ($p < 0,01$).

Abbildung 20 und 21 zeigen die Verteilung der Messwerte bei Staphylococcus aureus, getrennt nach Borstenstruktur und Dekontaminationsmethode. Die in Abbildung 20 dargestellten Werte sind durch Versuche mit Zahnbürsten mit mittlerer Borstenstruktur gewonnen worden. Es wird dabei deutlich, dass das CHX-Spray hier am effektivsten Staphylococcus aureus eliminieren konnte. Auch die CHX-Lösung ist wirksam bei der Bakterienvernichtung. Der UV-Ofen VIOlight erreichte schlechte Werte, noch schlechter schnitt die 24 - stündige Lufttrocknung als Dekontaminationsmethode ab.

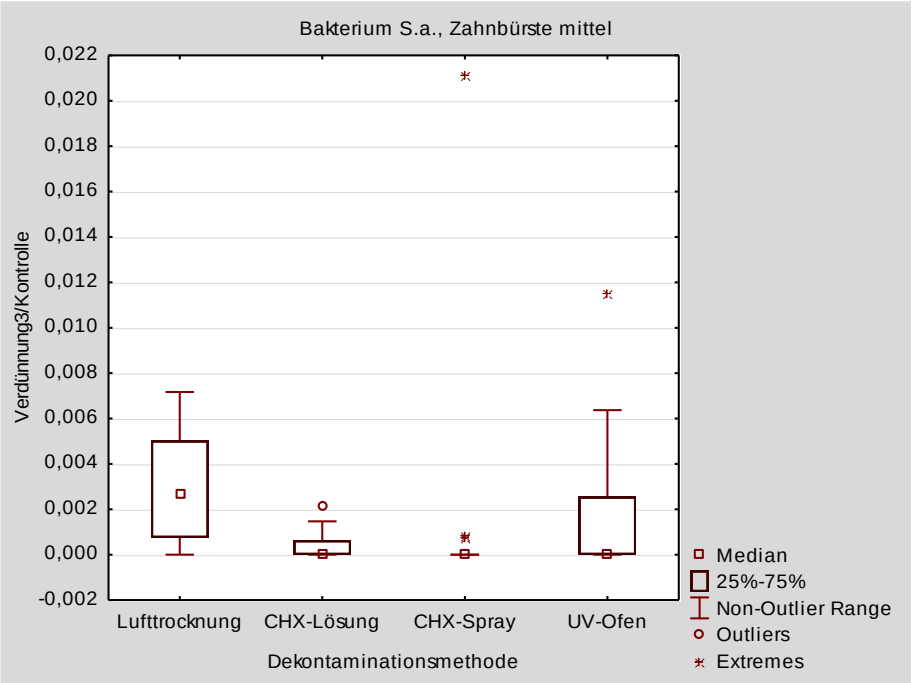

Abbildung 20: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, bei Zahnbürste mittel, getrennt nach Dekontaminationsmethode

Die in Abbildung 21 dargestellten Werte sind durch Versuche mit Zahnbürsten mit harter Borstenstruktur gewonnen worden. Es wird dabei deutlich, dass der UV-Ofen VIOlight am effektivsten S. aureus eliminieren konnte. Die 24 -stündige Lufttrocknung als Dekontaminationsmethode erreicht auch eine wirksame Bakterienvernichtung. Der Wirkstoff CHX schneidet hier am schlechtesten ab.

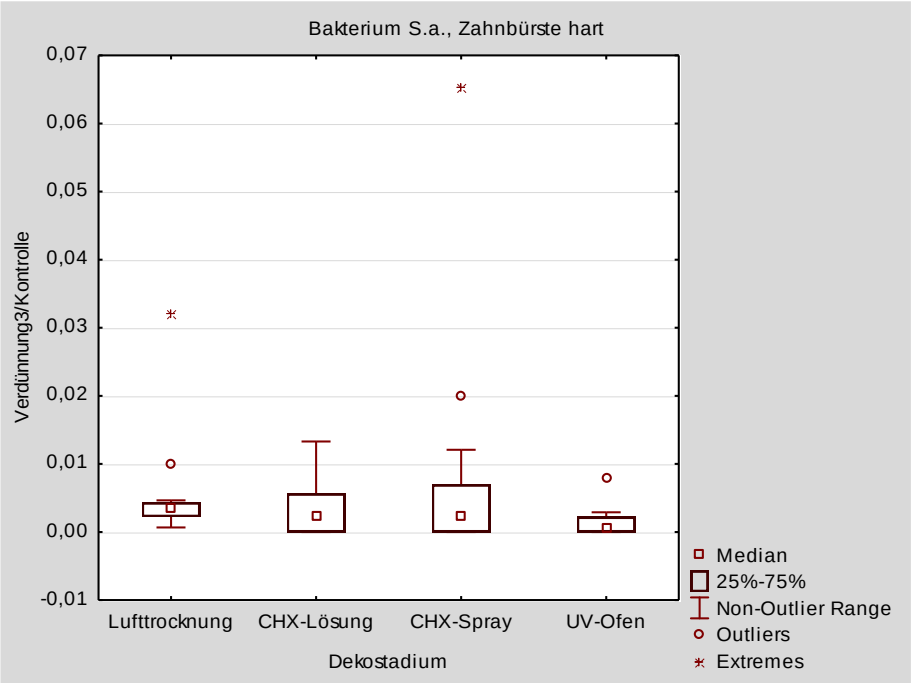

Abbildung 21: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, Zahnbürste hart, getrennt nach Dekontaminationsmethode

Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuche mit Staphylococcus aureus:

Es lässt sich feststellen, dass die Borstenstruktur der Zahnbürsten (mittel und hart) bei den Versuchen mit Staphylococcus aureus einen signifikanten Einfluss hat. Der Einfluss der Dekontaminationsmethode auf die Bakterienbesiedlung ist statistisch signifikant, wie auch die Wechselwirkung zwischen Zahnbürste und Dekontaminationsmethode (Tab. 9).

Tabelle 9: Einfluss des Zahnbürstentyps und der Dekontaminationsmethode auf den Wert „Verdünnung 3/ Kontrolle“. Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse. Effekte mit $p < 0.05$ sind statistisch signifikant.

Bakterium	Effekt	p (Varianzanalyse)
Staphylococcus aureus	Zahnbürste	**< 0.01**
	Dekontaminationsmethode	**< 0.01**
	Wechselwirkung	**0.04**

Bei 24 -stündiger Lufttrocknung nach der Kontamination (Methode Eins) wurden bei beiden Borstenstrukturen die meisten Bakterienkolonien nachgewiesen. Bei Zahnbürsten mit mittlerer Borstenstruktur wirkten alle Dekontaminationsmethoden effektiver als auf Zahnbürsten mit harten Borsten. Unterschiedlich ist auch die Effektivität der Dekontaminationsmethoden auf die unterschiedliche Borstenstruktur: bei mittleren Borsten war CHX-Lösung (+ 24 -stündige Lufttrocknung) am wirksamsten, bei harten Borsten erreichte die Bestrahlung mit UV-Licht (+Lufttrocknung) das beste Ergebnis in der Bakterienvernichtung.

Zur stärksten Reduzierung des Staphylococcus aureus konnte die Verwendung von CHX-Lösung (Methode Zwei) ermittelt werden (unabhängig vom Zahnbürstentyp).

Bei paarweisen Vergleichen der vier Dekontaminationsmethoden getrennt nach Borstenstruktur (mittel / hart) konnten statistisch signifikante Unterschiede gezeigt werden. Bei Zahnbürsten mit mittlerer Borstenstruktur konnte zwischen der Dekontaminationsmethode Lufttrocknung im Vergleich zu den anderen beiden Methoden mit CHX (Methode Zwei und Drei) festgestellt werden, dass Methode Eins am unwirksamsten war. Bei Zahnbürsten mit harten Borsten wurde ein signifikanter Unterschied zwischen Lufttrocknung und dem UV-Ofen VIOlight ermittelt.

Paarweise Vergleiche der beiden Zahnbürstentypen getrennt nach Dekontaminationsmethode zeigen signifikante Unterschiede bei der Verwendung mit CHX (Lösung sowie Spray), bei den anderen Methoden war ein solcher Unterschied nicht feststellbar.

6. Diskussion

Die Kontamination von Zahnbürsten und die daraus folgende Infektionsgefahr sind schon in verschiedenen aktuellen Studien thematisiert und untersucht worden (Bunetel et al. 2000, Bößmann 2001, Warren et al. 2001). Bisher hat sich keine der wissenschaftlichen Studien mit einer Auswirkung des Härtegrades von Zahnbürstenborsten auf eine mögliche Keimanheftung beschäftigt. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Frage, ob die Borstenhärte eine Auswirkungen auf eine Retention bzw. Eliminierung verschiedener Mikroorganismen nach Anwendung unterschiedlicher Dekontaminationsmethoden zeigt.

Wir untersuchten mikrobiologisch zwei Handzahnbürsten gleichen Models mit unterschiedlicher Borstenhärte (mittel / hart). Als Testkeime wurden Streptococcus mutans und Staphylococcus aureus verwendet. Vier verschiedene Dekontaminationsmethoden wurden angewandt, wobei die erste Methode, die reine Lufttrocknung, als Kontrollgruppe diente. Weitere Keimreduktion auf den Borsten erreichten wir durch Verwendung von Chlorhexidindigluconat als Lösung und als Spray sowie von ultraviolettem Licht. Die Versuche wurden als In-vitro-Studie durchgeführt, um mit konstanten Parametern zu arbeiten und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Bestimmte Größen, welche in einer In-vivo-Studie berücksichtigt werden können, wie spezifische Speichelzusammensetzung, bakterielle Mundhöhlenbesiedlung, verwendete Zahnpasta / Mundspüllösung, individuelle Putzgewohnheiten und Fremdkontamination, konnten nicht bewertet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sind daher nicht unmittelbar auf Patientensituationen übertragbar. Weitere Untersuchungen an Probanden sollten durchgeführt werden, um die Ergebnisse klinisch zu bestätigen.

Die erhobenen Daten wurden zur genauen Datenauswertung gemeinsam mit der Abteilung für Medizinische Statistik der UMG (damaliger Leiter: Prof. em. Dr. E. Brunner) bearbeitet.

6.1 Diskussion des Materials

6.1.1 Auswahl der Handzahnbürsten

Die Handzahnbürste gehört zu den meistbenutzen Mundhygieneartikeln zur Reinigung der Mundhöhle. Bei dem von uns verwendeten Handzahnbürstentyp handelt es sich um die Dr. BEST Flex Plus. Das ist eine Erwachsenenzahnbürste, die sich durch ein planes Borstenfeld mit 43 Borstenbüscheln und endgerundeten Nylonborsten auszeichnet. Insgesamt 240 Zahnbürsten dieses Modells wurden untersucht, 120 mit mittlerer Borstenstruktur, die andere Hälfte mit harten Borsten. Bei der Auswahl der Handzahnbürste entschieden wir uns für ein häufig verwendetes Modell im mittleren Preissegment. Die Untersuchungsobjekte wurden freundlicherweise von der Firma GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt.

In der Literatur sind verschiedene Studien zu finden, die sich mit der Anheftung von Bakterien an Zahnbürsten nach Verwendung beschäftigen. Sie ergaben, dass verschiedenste Mikroorganismen auf den Borsten überleben können (Noga et al. 1976, Svanberg 1978, Glass und Lare 1986, Glass und Jensen 1988, Bunetel et al. 2000, Bhat et al. 2003, Mehta et al. 2007, Nies et al. 2008). Auch wir konnten mit unseren Ergebnissen diese Aussage bestätigen. Nach der Kontamination wiesen beide Zahnbürstentypen eine hohe Konzentration der verwendeten Bakterien auf. Da wir die kontaminierten Zahnbürstenköpfe zur Isolierung der Bakterien in einer Nährbodenlösung ausschüttelten, kann nicht nachweislich bestätigt werden, dass die gesamte Masse der anheftenden Bakterien von den Borsten in die Lösung übergingen. Doch durch Wiederholung der Versuchsvorgänge kann eine sichere statistische Tendenz angenommen werden.

Die Fixierung der einzelnen Borstenbüschel im Kopfteil der Zahnbürste erfolgt bei dem von uns verwendeten Modell per Ankertechnologie. Die Art der Befestigung spielt laut Wetzel et al. (2005) eine wichtige Rolle in der Dekontamination von Zahnbürsten. Verschiedene Studien haben ermittelt, dass die Art der Borstenbesteckung Einfluss auf die Hygienefähigkeit hat. Nies et al. (2008) kamen jedoch zu dem Ergebnis, dass die Art der Befestigung der Borstenbündel keinen Einfluss auf die Hygienefähigkeit besitzt. Vielmehr hat

der Abstand der einzelnen Borsten voneinander einen Einfluss auf die Retention der Keime.

Auf dem Markt für Zahnputzhygienemittel sind viele unterschiedliche Zahnbürstenmodelle zu finden. Inwieweit Form, Farbe, Anordnung und Abstand der Borsten, Anzahl der Einzelfilamente, Material der Borsten und der Zahnbürste, etc. eine Rolle spielen, muss in weiteren Studien untersucht werden. Schließlich wird auch diskutiert, inwieweit die Handhabung zu einer Reinfektion mit pathogenen Keimen führen kann.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass eine unterschiedliche Borstenstruktur (mittel / hart) nur bei der Besiedlung mit Staphylococcus aureus Auswirkung auf den Dekontaminationseffekt besitzt. Die Varianzanalyse ermittelte einen p-Wert von 0,01 (s. S. 44 ff.). Die Reduzierung des Keimes Streptococcus mutans ist unabhängig von der Borstenstruktur (p-Wert = 0,68, s.S.40 ff.).

6.1.2 Auswahl der untersuchten Bakterien

Die Mundhöhle ist ein mit vielfältigen Mikroorganismen sehr dicht besiedelter Raum. Die ausgewählten Testbakterien Streptococcus mutans und Staphylococcus aureus sind orale Kokken und gehören zur physiologischen Mundflora. Streptococcus mutans ist ein wichtiger fakultativ humanpathogener Keim, dem eine besondere Rolle bei der Kariesentstehung zukommt. Mitte der 1960-er Jahre erforschte man die Zusammenhänge dieses Bakteriums mit der Initiation und Progression von Karies (Orland et al. 1954, Fitzgerald und Keyes 1960). Staphylococcus aureus ist auch ein fakultativ humanpathogenes Bakterium, das vermehrt über Haut- und Fingerkontakt zu einer Kontamination auf Zahnbürsten führt (Kozai et al. 1989, Mehta et al. 2007).

Aus technischen und zeitlichen Gründen reduzierten wir in der Versuchsplanung die Anzahl der untersuchten Bakterienspezies auf zwei. Die Mundhöhlenflora zeigt jedoch eine große interindividuelle Variabilität (Rateitschak et al. 1989, Caudry et al. 1995, Taji und Rogers 1998). Doch um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, mussten wir uns auf zwei Spezies begrenzen.
Beide Erreger eignen sich für wissenschaftliche Studien, da sie sich mit einfachen mikrobiologischen Methoden kultivieren lassen. Zudem ist eine gute

Vergleichbarkeit mit anderen Studien gegeben, da auch hier S. mutans und S. aureus als Testkeime verwendet wurden (Bunetel et al. 2000, Sato et al. 2004, Nelson-Filho et al. 2006, Glass und Lare 1986, Taji und Rogers 1998, Bößmann 2001).

Trotz entsprechender Vorversuche konnte im Voraus nicht exakt bekannt sein, wie viele Keime sich auf den kontaminierten Borsten befinden werden. So wurden verschiedene Verdünnungsreihen von der Nährbodenlösung angesetzt. Auf diese Weise entstanden makroskopisch gut zählbare Bakterienkolonien auf den Agarplatten.

Zukünftige Studien sollten weitere pathogene orale Bakterien, Viren und Pilze untersuchen.

6.2 Diskussion der Methoden

Unser Versuchsaufbau wurde mit dem Ziel dahingehend gewählt, reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Weitere Untersuchungen können den beschriebenen Ablauf übernehmen. Die Vereinfachung der Versuchsanordnung musste einige Aspekte unberücksichtigt lassen. Wir haben in unserer In-vitro-Studie keine Zahnpasta verwendet. Verschiedene Wirkstoffe, welche die meisten auf dem Markt erhältlichen Zahnpasten enthalten, erzielen einen antimikrobiellen Effekt (Benthin et al. 1994, Warren et al. 2001). Studien zeigen, dass Zahnpasten eine bakterienreduzierende Wirkung auf Bürsten haben. Der verwendete Wirkstoff ist für die Wirksamkeit des antibakteriellen Effekts entscheidend. Nelson-Filho et al. (2004) fanden, dass „Triclosan“-haltige Zahnpasta die Spezies Streptococcus mutans signifikant auf Borstenköpfen reduziert.

In anderen Studien zur Dekontamination von Zahnbürsten erfolgte eine Untersuchung, ob auf original verpackten Zahnbürsten eine Kontamination bestand. Die Überprüfungen hatten immer ein negatives Ergebnis (Wetzel et al. 2005, Berger et al. 2008). Deswegen verzichteten wir in unserer Studie auf eine solche Kontrolle.

Für die statistische Auswertung und Datenerhebung der Versuche wurde bei den gewonnenen Ergebnissen nur die Verdünnungsreihe Drei einbezogen,

da diese Werte am aussagekräftigsten und statistische Fehler am geringsten waren. Bei den Nährbodenplatten mit höheren Koloniezahlen war ein genaues Auszählen schwer, wenn überhaupt möglich, da die Kolonien zusammenwachsen oder sich gegenseitig überlagern. Bei den Platten der Dekontaminationsmethoden der Verdünnungsstufen Vier bis Acht waren häufig keine Bakterienkolonien zählbar.

6.3 Effektivität der unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden

Von Dekontaminationsmethoden erhofft man sich eine Reduzierung und Eliminierung der an den Borsten haftenden Keimen durch Hemmung von Wachstum und Vermehrung. Die Frage nach der effektivsten Dekontaminationsmethode ist anhaltend aktuell und noch nicht abschließend beantwortet. Wir überprüften vier unterschiedliche etablierte, kostengünstige, anwenderfreundliche und neue Dekontaminationsverfahren zur Keimreduktion: Lufttrocknung, CHX-Lösung, CHX-Spray und UV-Licht.

6.3.1 Abspülen der Zahnbürste mit destilliertem Wasser

Die DGZMK wie auch Bößmann (2001) empfehlen, die Zahnbürste nach Anwendung unter fließendem Wasser zu reinigen und anschließend trocken zu lagern. Wir verwandten ein standardisiertes Volumen von 250 Milliliter destilliertem Wasser zum Abspülen der Zahnbürstenköpfe nach Kontamination. So sollte die heimische Patientensituation simuliert werden. Wir setzten destilliertes Wasser ein, um eine Fremdkontamination durch möglicherweise kontaminiertes Leitungswasser zu vermeiden. Das Übergießen der Zahnbürstenköpfe aus einem Messzylinder kann nicht den Druck des Wasserstrahls aus dem Wasserhahn imitieren. Ein möglicherweise erhöhter mechanischer Reinigungseffekt durch den Wasserstrahldruck konnte somit nicht berücksichtigt werden.
Das Auswaschen der kontaminierten Zahnbürsten erfolgte nach dem festgelegten Verfahren, da die Retention von Mikroorganismen durch das Maß und die Zeitdauer des Reinigungsprozesses beeinflusst werden können (Glass 1992, Nelson-Filho et al. 2000). Durch intensives Ausspülen benutzter Zahnbürsten lässt sich die Anzahl der Keime um mehr als die Hälfte reduzieren, jedoch ist dadurch ein vollständiges Entfernen aller Mikroorganismen unmög-

lich (Kozai et al. 1989). Nelson-Filho et al. (2000) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass das Aufbewahren von benutzten Zahnbürsten in sterilem Tafelwasser keine hemmende Wirkung auf das Wachstum von Streptococcus-mutans-Keimen auf den Borsten besitzt. Bhat et al. (2003) konnten in ihren Versuchen eine Reduktion der Anzahl der Streptococcus-mutans-Bakterien um 30 Prozent auf Zahnbürsten zeigen, die allein durch einen Wasserstrahl dekontaminiert wurden.
Das Spülen der Zahnbürste unter fließendem Wasser stellt eine einfache, kostengünstige Methode dar, um einen Teil der Mikroorganismen zu entfernen. Doch ist eine Fremdkontamination durch das häusliche Leitungssystem nicht auszuschließen, so dass es sich empfiehlt, eine weitere zusätzliche Dekontaminationsmethode anzuwenden.

6.3.2 24 -stündige Lufttrocknung

Die wohl verbreitetste Methode in deutschen Haushalten ist die trockene Lagerung der Zahnbürste nach Verwendung und Abspülen unter Wasser. Die Effektivität der Methode ist abhängig von der Zeit und der Art der Lagerung. Das Aufstellen der Zahnbürste erfolgt in der Regel im Badezimmer, wo eine höhere Luftfeuchtigkeit herrscht. Die Trocknung der Borsten ist dabei unvollständig, vor allem auch bei einer engen, dichten Anordnung der einzelnen Borstenfilamente und -büschel (Kozai et al. 1989), woraus eine lange Aufrechterhaltung eines feuchten Milieus im Borstenfeld resultiert. Mikroorganismen wird es ermöglicht, sich dort festzusetzen und im überlebensfähigen Zustand zu verbleiben. Es sollte vermieden werden, den Zahnbürstenkopf mit Plastikkappen, bzw. in geschlossenen Behältnissen aufzubewahren (Mehta et al. 2007, Bunetel et al. 2000), da in diesen umschlossenen Räumen ein noch feuchteres Mikroklima herrscht.

Die Rahmenbedingungen der Versuchsdurchführung verlangten ein Lufttrocknen der kontaminierten Zahnbürsten über 24 Stunden. Geht man vom zweimal täglichen Zähneputzen mit einer einzigen Zahnbürste aus, kann diese Zeitspanne nicht eingehalten werden. Es ist bekannt, dass die Trocknungsphase einen einflussreichen Effekt auf die Überlebensrate der Keime hat. Svanberg (1978) zeigte, dass Streptococcus mutans nur eine geringe

Überlebensrate auf gebrauchten Zahnbürsten hat. Nach 24 Stunden Lufttrocknung war die Keimzahl um 99 Prozent reduziert. In unserer Studie konnten auch wir beide Testkeime nach der 24 -stündigen Trocknungsphase nachweisen. Bei Streptocoous mutans wurden im Median 0,0007 Bakterienkolonien (mittel / hart) (vgl. Tab. 3) und Staphylococcus aureus 0,0027 Bakterienkolonien (mittel), bzw. 0,0035 Bakterienkolonien (hart) (vgl. Tab. 5 und Tab. 6) gemessen.

6.3.3 Chlorhexidindigluconat

CHX gilt als Goldstandard in der antiseptischen Therapie in der Mundhöhle. Auch die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass der Wirkstoff Chlorhexidindigluconat sehr effektiv bei der Reinigung kontaminierter Zahnbürsten ist. Diese Ergebnisse decken sich mit denen aus vorangegangenen Studien (Sogi et al. 2002, Bhat et al. 2003). Die hohe Effektivität von CHX kann dadurch begründet werden, dass CHX ein breites Wirkungsspektrum gegen Mikroorganismen und besonders gegen grampositive Kokken besitzt.

Die bei regelmäßiger Verwendung als Spülung auftretenden oralen Nebenwirkungen sind bei Desinfizierung des Borstenfeldes nicht zu erwarten (vgl. 2.5.2).

Eine besondere Bedeutung kommt der Wechselwirkung zwischen Chlorhexidin und Natriumlaurylsulfat zu, einem häufig verwendeten Schaumbildner in Zahncremes. Da in unseren Versuchsreihen keine Zahnpasta verwendet wurde, sollte dennoch auf die chemische Wechselwirkung hingewiesen werden. In einem Artikel von Kolahi und Soolari (2006) wird die Problematik der Inhibition von Chlorhexidin durch gleichzeitige oder zeitnahe Verwendung von Zahnpasten, die Natriumlaurylsulfat enthalten, diskutiert.

6.3.4 UV-Ofen VIOlight

Der UV-Ofen VIOlight reduziert die Anzahl von Bakterien auf Zahnbürsten ähnlich effektiv wie CHX. Im Jahr 1994 untersuchten Glass und Jensen die Effektivität eines UV-Desinfektionsgerätes zur Reduzierung der Bakterien-, Hefe- und Virenanzahl auf Zahnbürsten. Bei täglichem Einsatz konnte die Anzahl der Bakterien verringert werden (Glass und Jensen 1994). In einer

Pilotstudie von Berger et al. (2008), in der die Effektivität zweier UV-Öfen zur Zahnbürstendesinfizierung untersucht wurden, schnitt im Vergleich zu dem anderen untersuchten Modell (HIGH DENT; Produkt nicht mehr auf dem Markt erhältlich) der VIOlight UV-Ofen wesentlich schlechter ab. Als mögliche Ursache kann die kürzere UV- Bestrahlungszeit von VIOlight angeführt werden. Die vom Hersteller versprochene Effektivität („Eliminate up to 99,9% Germs with UV Light“, www.violight.com, Stand 18.07.2012) konnte durch unsere Ergebnisse nicht bestätigt werden. Boylan et al. (2008) stellten fest, dass eine Verringerung der Bakterienzahl um 86 Prozent mit dem Gerät erreicht wurde.

Untersucht werden muss noch, ob neben der Bestrahlungszeit auch die Farbe und Opazität der Zahnbürste eine Rolle bei der Dekontamination mit UV-Licht spielen.

6.3.5 Andere untersuchte Dekontaminationsmethoden

In einigen anderen Studien wurden weitere Dekontaminations- und Desinfektionsmethoden für die Zahnbürste untersucht. Meier et al. (1996) formulierte eine effektive Desinfektion mittels Cetylpyridiniumchlorid. Auch mit Nano-Silber beschichteten Zahnbürsten wurde eine Keim reduzierende Wirkung testiert (Berchtold 2008).

Neu auf dem Markt ist eine Brausetablette (Steryl Brush Tabs, Jatident, D-59969 Hallenberg), welche eine antibakterielle Wirkung verspricht. Klinische Studien müssen eine Effektivität noch belegen.

Folgende weitere Maßnahmen und Methoden zur Verhinderung von Re- oder Kreuzinfektionen wurden untersucht:

- trockene und senkrechte Aufbewahrung mit dem Kopf der Bürste nach oben (Glass 1989)
- gründliches Abspülen der Zahnbürste nach Gebrauch unter fließendem Wasser (Bößmann 2001)
- Ausschlagen der Bürste am Beckenrand (Bößmann 2001)
- regelmäßiger Austausch der Bürste, vor allem nach Erkrankungen oder ähnlichem (DGZMK)

- Auswaschen des Borstenfeldes mit antibakteriellen Lösungen (Nelson-Filho et al. 2000)
- Ummantelung der Borsten mit Triclosan (Efstratiou et al. 2007)
- Benutzung von Zahnpasten mit antibakteriellen Inhaltsstoffen (Quirynen et al. 2003).

6.4 Ergebnisdiskussion

Die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung nach Anwendung einer der vier Dekontaminationsverfahren belegen, dass die jeweilige Borstenstruktur nur bei Testkeim Staphylococcus aureus einen signifikanten Unterschied bewirkt.

6.5 Schlussfolgerung

Ob spezielle Maßnahmen zur Dekontamination benutzter Zahnbürsten notwendig sind, fragt man sich angesichts der Tatsache, dass viele Bestandteile in Zahnpasten eine antimikrobielle Wirksamkeit besitzen. So wurde allen in Zahnpasten üblichen Tensiden eine Hemmung des Wachstums oraler Keime zugeordnet (Gerckens et al. 1992), ebenso der Kombination Natriumlaurylsulfat mit Natriummonofluorphosphat, bzw. Natriumfluorid. Die beste Hemmwirkung entfalteten Aminfluoride (Benthin et al. 1994). Laut Saxer (1991) scheint die Kombination von Amin- und Zinnfluorid allen Wirkstoffen überlegen.

Die zum Teil in der Presse präsentierten Gefahren einer Zahnbürste sollten relativiert werden. Für Personen mit gesundem Immunsystem gilt, dass das, was sie schon im Munde hatten, in einer verschwindend geringen Menge mit der kontaminierten Zahnbürste zurückgegeben wird. Dies erfolgt zudem üblicherweise zu einem Zeitpunkt, zu dem sich die orale Mikroflora auch quantitativ vom vorhergegangenen Einsatz der Zahnbürste wieder erholt hat.

Es ist bislang nicht evident, dass fehlende Dekontaminationsmaßnahmen zu Gesundheitsproblemen führen, denn systematische Untersuchungen bzw. doppelblind randomisierte prospektive Studien zu dieser Frage liegen nicht vor. Es erscheint jedoch rational, dass bis zum Vorliegen entsprechender

Studienergebnisse Risikopatienten, Immunsupprimierte und parodontal erkrankte Personen von der Verwendung einer der oben beschriebenen Dekontaminationsmethoden profitieren – und zwar hinsichtlich eines vorsorgenden Effektes in Bezug auf Re- und Kreuzinfektion. Es ist gerechtfertigt, vom behandelnden Zahnarzt zu fordern, dass er seinen kranken und immunschwachen Patienten bei der Wahl einer geeigneten Dekontaminationsmethode beratend zur Seite steht.

Viele Nutzer tauschen ihre Zahnbürste erst dann aus, wenn augenfällige Mängel an der Bürste sichtbar werden (Glaze und Wade 1986). Nach Empfehlungen einiger Autoren sollten Zahnbürsten jedoch unabhängig von ihrem Zustand vor allem aus hygienischen Gründen alle sechs bis acht Wochen ausgewechselt und durch eine neue Zahnbürste ersetzt werden (Gülzow 1995, Klimm 1997, Müller et al. 1989).

Der Wirkstoff Chlorhexidindigluconat und UV-Licht reduzieren besser die vorhandenen Bakterien auf Zahnbürsten als die reine Lufttrocknung. Die Lagerung der Zahnbürsten ist ein entscheidender Faktor für das Überleben der Bakterien. Die Zahl der Mikroorganismen auf Zahnbürstenborsten, die an der Luft trocknen, ist niedriger als auf Zahnbürsten, die in einem Plastikbeutel aufbewahrt werden (Dayoub et al. 1977, Meier et al. 1996). Verschiedene Autoren beschreiben, dass bakterielle Besiedlung durch Auswaschen der Zahnbürste mit Wasser nach Nutzung und Lufttrocknung reduziert werden kann. Caudry et al. (1995) beschreibt, dass eine feuchte Umgebung bakterielles Wachstum und Kreuzinfektionen fördert.

Einen größeren Einfluss auf die Retention und das Überleben von Mikroorganismen auf Zahnbürsten besitzen die Anordnung und die Verankerung der einzelnen Borstenfilamente auf dem Borstenfeld als die Borstenstruktur selbst. Zu untersuchen ist, ob auch Farbe und Opazität der Zahnbürste eine Rolle bei der Dekontamination mit UV-Licht spielt. Die Dekontaminationswirkung ist bedingt abhängig von der Borstenstärke, der angewandten Methode und der Resistenz des jeweils untersuchten Bakteriums.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse muss bedacht werden, dass trotz einer hohen Eliminationsrate Tausende von Mikroorganismen auf den Borsten der

Zahnbürste überleben trotz Abspülen mit Wasser, Lufttrocknung, Verwendung von CHX oder UV-Licht-Bestrahlung. Eine Dekontamination ist keine Sterilisation. Bakterien überleben sogar häufig Sterilisierungsmaßnahmen, indem sie Endosporine oder Biofilme auf den Zahnbürstenborsten bilden. Bei einer Weiterentwicklung der Methoden müssen diese Schutzmechanismen der Bakterien berücksichtigt werden, indem man zum Beispiel die Glycokalyx des Biofilms verändert (Dufresne und Hirst 2005).

7. Zusammenfassung

Der tägliche Kontakt von Zahnbürsten und Mundhöhle führt zur Anheftung und zum Wachstum unterschiedlicher pathogener Mikroorganismen auf den Borsten. Bei erneuter Anwendung der Zahnbürste werden diese wieder in die Mundhöhle eingebracht. Eine mögliche Folge ist die mikrobielle Re- und Kreuzinfektion. Angesichts der Verkeimung der Zahnbürsten ist die Suche nach effektiven Dekontaminationsmethoden naheliegend- insbesondere bei Risikopatienten, Immunsupprimierten und parodontal erkrankten Menschen.

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurden zwei orale Bakterienkeime auf Handzahnbürsten mit unterschiedlicher Borstenhärte nach Anwendung vier verschiedener Dekontaminationsmethoden untersucht. Insgesamt 240 Zahnbürsten bildeten die Untersuchungsobjekte, 120 Handzahnbürsten mit mittlerer Borstenhärte und 120 mit harten Borsten. Pro Borstenhärte wurden vier Dekontaminationsmethoden untersucht: 24 -stündige Lufttrocknung, CHX-Lösung, CHX-Spray und der UV-Ofen VIOlight. Nach den jeweiligen Maßnahmen wurden die Zahnbürsten auf die Anzahl der verbliebenen Testkeime Streptococcus mutans und Staphylococcus aureus untersucht. Die Daten wurden statistisch ausgewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Borstenstruktur nur bedingt Auswirkung auf die Retention von Bakterien auf Zahnbürstenborsten hat. Bei Streptococcus mutans spielte die Borstenhärte keinen signifikanten Einfluss. Der UV-Ofen und auch die Dekontaminationsmethoden mit CHX reduzierten effektiv die Mikroorganismen auf den Borsten (mittel / hart), Lufttrocknung alleine erzielte die schlechtesten Ergebnisse. Bei Staphylococcus aureus spielte die Borstenhärte eine signifikante Rolle. Bei Zahnbüsten mit mittlerer Borstenhärte war CHX als Spray die effektivste Dekontaminationsmethode gefolgt von CHX-Lösung und UV-Ofen VIOlight. Den geringsten Einfluss auf die Bakterienbesiedlung hatte die Lufttrocknung. Bei harten Borsten schnitt der UV-Ofen als wirksamste Methode ab, gefolgt vom Wirkstoff CHX (CHX-Lösung als auch CHX-Spray). Die reine Lufttrocknung reduzierte die Anzahl der Bakterien am geringsten. Insgesamt konnte Streptococcus mutans durch die De-

kontaminationsmaßnahmen effektiver reduziert werden als Staphylococcus aureus.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Anwendung einer weiteren Dekontaminationsmethode (Chlorhexidindigluconat und / oder UV-Licht) neben dem Ausspülen und der Lufttrocknung der Zahnbürste einen positiven Einfluss auf die Reduktion der Mikroorganismen auf den Borsten einer Zahnbürste hat.

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlere DMFT-Werte und seine Einzelkomponenten nach Alter 4

Tabelle 2: Vergleich der Daten der DMS III und DMS IV hinsichtlich der Community Periodontal Index (CPI) bei Erwachsenen (35-44 Jahre) und Senioren (65-74 Jahre) ... 4

Tabelle 3: Verteilungen der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“, getrennt nach Bakterium Streptrococcus mutans und Dekontaminationsmethode. 42

Tabelle 4: Paarweise Vergleiche der Dekontaminationsmethoden; Vergleiche mit $p < 0.05 / 6 = 0.0083$ sind statistisch signifikant. 43

Tabelle 5: Verteilungen der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“, getrennt nach Bakterium Stapylococcus aureus, Dekontamionationsmethode und Zahnbürste (mittel). 46

Tabelle 6: Verteilungen der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“, getrennt nach Bakterium Stapylococcus aureus, Dekontamionationsmethode und Zahnbürste (hart). 48

Tabelle 7: Paarweise Vergleiche der Dekontaminationsmethoden, getrennt nach Bakterium und nach Borstenhärte. Vergleiche mit $p < 0.05 / 6 = 0.0083$ sind statistisch signifikant. 50

Tabelle 8: Paarweise Vergleiche der Zahnbürstentypen getrennt nach Dekontaminationsmethode bei Bakterium Staphylococcus aureus. Vergleiche mit $p < 0.05$ sind statistisch signifikant. 51

Tabelle 9: Einfluss des Zahnbürstentyps und der Dekontaminationsmethode auf den Wert „Verdünnung 3/ Kontrolle“. Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse. Effekte mit $p < 0.05$ sind statistisch signifikant. 53

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Strukturformel Chlorhexidindigluconat . **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Abbildung 2: Dr. BEST Flex Plus- Handzahnbürste mittel und hart 25

Abbildung 3: steriler Behälter zur Aufbewahrung der Zahnbürsten während der Luft-trocknung 26

Abbildung 4: CHX-Fertiglösung..... 27

Abbildung 5: CHX-Spray 27

Abbildung 6: UV-Ofen VIOlight 28

Abbildung 7: Staphylococcus aureus 29

Abbildung 8: Streptococcus mutans..... 30

Abbildung 9: Anlegen einer Verdünnungsreihe..... 32

Abbildung 10: Ausstreichen von 0,1 ml Bakteriensuspension auf eine Blut-Agar-Platte..... 33

Abbildung 11: Abspülen der kontaminierten Zahnbürste mit 250 ml destilliertem Wasser.. 33

Abbildung 12: UV-Ofen VIOlight in Betrieb 35

Abbildung 13: Ausschütteln der Bakterien in 20 ml BHI 35

Abbildung 14: beleuchtete Vergrößerungshilfe-..... 38

Abbildung 15: Handzählgerät 38

Abbildung 16: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Steptococcus mutans, getrennt nach Dekontaminationsmethode 41

Abbildung 17: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, Zahnbürste mittel, getrennt nach Dekontaminationsmethode 45

Abbildung 18: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, Zahnbürste hart, getrennt nach Dekontaminationsmethode..... 47

Abbildung 19: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, getrennt nach Dekontaminationsmethode 49

Abbildung 20: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, bei Zahnbürste mittel, getrennt nach Dekontaminationsmethode 52

Abbildung 21: Verteilung der Messwerte „Verdünnung 3 / Kontrolle“ bei Staphylococcus aureus, Zahnbürste hart, getrennt nach Dekontaminationsmethode..... 53

10. Literaturverzeichnis

Allet B, Regulati B, Mühlemann HR (1972): Die Rolle der Griffabwinklung auf die Reinigungskraft einer Zahnbürste. Schweiz Monatsschr Zahnmed 82, 452-460

Arnold M, Trost G (1972): Über die Abhängigkeit des Putzeffektes von verschieden Formen des Bürstenkopfes. Dtsch Stomatol 22, 46-53

Baker PJ, Coburn RA, Genco RJ, Evans RT (1987): Structural determinants of activity of chlorhexidine and alkyl bisbiguanides against the human oral flora. J Dent Res 66, 1099-1106

Bank HL, John J, Schmehl MK, Dratch RJ (1990): Bactericidal effectiveness of modulated UV light. Appl Environ Microbiol 56, 3888-3889

Benthin K, Gerckens B, Krüger W (1994): Vergleichende Untersuchungen zur antimikrobiellen Wirksamkeit von Zahnpasten und Zahnpastenbestandteilen. Dtsch Zahnärztl Z 49, 409

Berchtold MT: Die antibakterielle Wirkung von Nanosilber auf Zahnbürstenborsten. Med. Diss., Ulm 2008

Berger JB, Drukartz MJ, Tenenbaum MD (2008): The efficacy of two UV toothbrush sanitization devices. A pilot study. N Y State Dent J 74, 50-2

Bhat SS, Hegde KS, George RM (2003): Microbial contamination of tooth brushes and their decontamination. J Indian Soc Pedod Prev Dent 21, 108-112

Black GV: Konservierende Zahnheilkunde, Bd.1 Hermann Meusser, Berlin 1914

Bogopolsky S, Hescot P: La brosse à dents: ou l'histoire de la "mal aimée". Ed. CdP, Paris 1995

Bonesvoll P, Gjermo P (1977): A comparison between chlorhexidine and some quaternary ammonium compounds with regard to retention salivary concentration and plaque-inhibiting effect in the human oral cavity after mouth rinses. Arch Oral Biol 23, 289-294

Bößmann HK (2001): Zahnbürsten und ihr mögliches Infektionsrisiko. Zahnärztl Mitt 91, 50

Boylan R, Li Y, Simeonova L, Sherwin G, Kreismann J, Craig RG, Ship JA, McCutcheon JA (2008): Reduction in bacterial contamination of toothbrushes using the Violight ultraviolet light activated toothbrush sanitizer. Am J Dent 21, 313-317

Bunetel L, Trikot-Doleux S, Bonnaure-Mallett M (2000): In vitro evaluation of the retention of three species of pathogenic microorganisms. Oral Microbiol Immunol 15, 313

Bureau Veritas (2005): Technical Report #(5105)174-0184, 1-2

Caudry SD, Klitorinos A, Chan EC (1995): Contamination toothbrushes and their disinfection. J Can Dent Assoc 61, 511-516

Chong MP, Beech DR (1983): Characteristics of toothbrushes. Aust Dent J 28, 202-211

Clarkson BH, Krell D, Wefel JS, Crall J, Feagin FF (1987): In vitro caries-like lesion production by Streptococcus mutans and Actinomyces viscosus using sucrose and starch. J Dent Res 66, 795-798

Cobb CM (1920): Toothbrush as a cause of repeated infections of the mouth. Boston Med Surg J 183, 263-64

Conner-Kerr TA, Sullivan PK, Gaillard J, Franklin ME, Jones RM (1988) : The effects of ultraviolet radiation on antibiotic-resistant bacteria in vitro. Ostomy Wound Manage 44, 50-56

Coogan MM, Motlekar HB (1996): Salivary and plaque acids in cariesactive and caries free subjects. J Dent Assoc S Afr 51, 823-827

Davies G, Francis J, Martin AR, Rose FL, Swain G (1954): 1:6-di-4'chlorophenyldiguanidohexan (hibitane); laboratory investigation of a new antibacterial agent of high potency. Br J Pharmacol 9, 192-196

Dayoub MB, Rusilko D, Gross A (1977): Microbial contamination of toothbrushes. J Dent Res 56, 706

De Soet JJ, De Graaff J (1998): Microbiology of carious lesions. Dent Update 25, 319-324

DGZMK: www.dgzmk.de/patienten/patienteninformation/haeusliche-prophylaxemaßnahmen.html (Stand: 15.1.2011)

DIN 13917-2: Zahnheilkunde; Härte der Bürstenbereichs bei Zahnbürsten (ISO 8627:1987), Beuth-Verlag, Berlin 1979

Dörfer C, Staehle HJ (1998): Aktuelle Aspekte der Interdentalraumreinigung. Oralprophylaxe 20, 1-5

Dufresne E, Hirst B (2005): A comparison of the Effectiveness of Toothbrush Sanitizing Methods, Gustavus Adolpus College

Emilson CG (1981): Effect of chlorhexidine gel treatment on streptococcus mutans population in human saliva and dental plaque. Scand J Dent Res 89, 239-246

Emilson CG, Krasse, B, Rölla, G (1976): The effect of some bis-biguanides onexperimental dental caries in the hamster. Caries Res 10, 352-362

EN 28627: Deutsche Fassung der DIN 13917-2, Beuth-Verlag, Berlin 1990

Fanning EA, Henning FR (1967): Toothbrush design and its relation to oral health. Aust Dent J 12, 464- 467

Fauchard P: Le chirurgien dentiste. Paris 1728

Fejerskov O (1997): Concepts of dental caries and their consequences for understanding the disease. Community Dent. Oral Epidemiol 25, 5-12

Finkelstein P, Grossmann E (1984): The clinical quantitative assessment of the mechanical cleaning efficiency of toothbrushes. Clin Prev Dent 6, 7-12

Fitzgerald RJ, Keyes PH (1960): Demonstration of the etiologic role of streptococci inexperimental caries in the hamster. J Am Dent Assoc 61, 9-19

Floetra L, Gjermo P, Roella G and Waerhaug J (1971): Side effects of chlorhexidine mouth washes. Scand J Dent Res 79, 119-125

Gerckens B, Eisinger G, Schwed A, Benthin K, Krüger W (1992): Vergleichende Untersuchungen von Zahnpasten und Zahnpasten-Bestandteilen in biologischen Systemen. Oral Prophyl 14, 20-25

Glass RT (1992): Toothbrush types and retention of microorganisms: how to choose a biologically sound toothbrush. J Okla Dent Assoc 82, 26-28

Glass RT, Jensen HG (1988): More on contaminated toothbrushes: a viral story. Quintessence Int 19, 713-716

Glass RT, Jensen HG (1989): Further findings on contaminated toothbrushes. The virus problem. Quintessence 40, 749-55

Glass RT, Jensen HG (1994): The effectiveness of a u-v toothbrush sanitizing device in reducing the number of bacteria, yeasts and viruses on toothbrushes. J Okla Dent Assoc 84, 24-8

Glass RT, Lare RR (1986): Toothbrush contamination: a potential health risk? Quintessence Int 17, 39-42

Glass RT, Martin M, Peters L (1989): Transmission of disease in dogs by toothbrushing. Quintess Int 20, 819-824

Glass RT, Shapiro S (1993): Oral inflammatory diseases and the toothbrush: a review of fifty-nine cases. Okla Dent Assoc J 83, 28-32

Glaze PM, Wade AB (1986): Toothbrush age and wear as it relates to plaque control. J Clin Periodont 18, 52-56

Golding PS (1982): The modern toothbrush, a short history of tooth cleansing. Dent Health 21, 10-15

Groß U: Kurzlehrbuch Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2006

Gülzow HJ: Methoden und Hilfsmittel für die tägliche Mundhygiene. In: Peters S (Hrsg): Prophylaxe: Ein Leitfaden für die zahnärztliche Praxis. Quintessenz, Berlin 1978, 71-92

Gülzow HJ: Präventive Zahnheilkunde Grundlagen und Möglichkeiten der Karies- und Gingivitisprophylaxe. Hanser, München 1995

Gülzow HJ (1996): Stellenwert und Bedeutung von Zahnpflegemitteln im Rahmen einer altersgerechten Oralprophylaxe. Oralprophylaxe 18, 108

Gunst D: Psychologische Aspekte bei der Auswahl von Handzahnbürsten für Erwachsene. Med. Diss. Mainz 1999

Gustafsson BE (1954): The Vipeholm dental caries study: survey of the literature on carbohydrates and dental caries. Acta Odontol Scand 11, 207-231

Hage A: Untersuchung zur Keimbesiedlung von elektrischen Zahnbürsten – ein Vergleich zwischen Schall- und rotierend-oszillierenden Zahnbürsten. Med. Diss., Göttingen 2010

Haider T, Sommer R, Knasmüller S, Eckl P, Pribil W, Cabaj A, Knudi M (2002): Genotoxic response of Austrian groundwater samples treated under standardized UV (254 nm) – disinfection conditions in a combination of three bioassays. Water Res 36, 25-32

Hannig M (2001): Neues zum Thema Immunisierung gegen Karies. Zahnarztl Mitt 10, 28

Hartlmaier KM (1954): Zahn- und Mundbürsten. Zahnarztl Mitt 44, 592

Heidemann D: Kariologie und Füllungstherapie. 4. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München 1999

Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. 4. Aufl., Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München 2007

Herrmann G (1991): Working psychology aspects of dental activities. Quintessenz 42, 975-980

Hollist NO (1981): The technique and use of chewing stick. Odontostomal Trop 4, 171

Holloway DJ, Teagle F (1976): The relationship between oral cleanliness and caries increment. J Dent Res (Spec. Iss. D), 106-112

Holzinger W: Prophylaxefibel, Carl Hanser Verlag, München - Wien 1990

Jenkinson H: 'Jailbreak' bacteria can trigger heart disease, mündlicher Vortrag auf der Herbst-Sitzung der Society for General Microbiology an der Universität von Nottingham, Vereinigtes Königreich am 06.09.2010

Jones CG (1997): Chlorhexidine: is it still the gold standard? In: Addy M, Moran JM (eds.): Toothpaste, mouth rinse and other topical remedies in periodontics. Periodontol 2000 15, 55-62

Kanchanakamol U, Srisilapanan P, Umpriwan R, Konmalai A (1993): Dental plaque removal in adults using a newly developed concept 45° toothbrush. Int Dent J 43, 116-120

Keltjens HMAM, Schaeken MJM, van der Hoeven JS (1987): Microbial aspects of preventive regimes in patients with overdentures. J Dent Res 66, 1579-1582

Keyes PH (1962): Recent advances in dental caries research. Bacteriology. Bacteriological findings and biological implications. Int Dent J 12, 443

Klimm W: Kariologie: Ein Leitfaden für Studierende und Zahnärzte. Carl Hanser Verlag, München - Wien 1997

Kolahi J, Soolari A (2006): Rinsing with Chlorhexidine gluconate solution after brushing and flossing teeth: A systematic review of effectiveness. Quintessenz Int 37, 605-612

König KG: Karies und Kariesprophylaxe. Goldmann Verlag, München 1971

König KG (1974): The role of the dentist in prevention of dental disease. Int Dent J 24 (4), 443-447

König KG: Karies und Parodontopathien, Ätiologie und Pathogenese. Georg Thieme Verlag, Stuttgart / New York 1987

Kötschke HJ, Crimmann W (1963): Beitrag zur zweckmäßigen Mundpflege. Dtsch Stomatol 13, 533

Kozai K, Iwai T, Miura K (1989): Residual contamination of toothbrushes by microorganism. ASDC J Dent Child 56, 201-4

Kramer E, Holzinger W: Prophylaxefibel Grundlagen der Zahngesundheitsvorsorge. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln / München 1999

Krasse B: Die Quintessenz des Kariesrisikos. Quintessenz Verlag Berlin 1986

Krasse B (1989): Specific microorganisms and dental caries in children.Pediatrician. 16, 156-160

Kristoffersson K, Bratthall D (1982): Transient reduction of Streptococcus mutans interdentally by chlorhexidine gel. Scand J Dent Res 90,417-422

Löe H, Schiøtt CR (1970): The effect of mouthrinses and topical application of chlorhexidine on the development of dental plaques and gingivitis in man. J Periodontol Res 5, 79-83

Lorenz HKP (1976): Neenbaumrindenextrakt bei entzündlichen Mundschleimhauterkrankungen. Zahnärztl Prax 27, 186

Maltz M, Zickert I, Krasse B (1981): Effect of intensive treatment with chlorhexidine on number of streptococcus mutans in saliva. Scand J Dent Res 89, 445-449

Maier I, Nickl V (2005): Erhöhte Arbeitssicherheit durch UVC-Desinfektion in der Kryomikrotomie. GIT Labor-Fachzeitschrift 12, 1016-1017

Marsh PD, Martin M (2003): Orale Mikrobiologie. 1. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2003

Marthaler TM (1992): Heutiger Stand und Ausblick in der Kariesprophylaxe. Dtsch. Zahnärztl Z 47, 724-729

Mehta A, Sequeira PS, Bhat G (2007): Bacterial contamination and decontamination of toothbrushes after use. N Y State Dent J 73, 20-22

Meier S, Collier C, Scaletta MG, Stephens J, Kimbrough R, Kettering JD (1996): An in vitro investigation of the efficacy of CPC for use in toothbrush decontamination. J Dent Hyg 70, 161-165

Menaker L: The biologic basis of dental caries. Harper & Row, New York 1980

Micheelis W, Schiffner U: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ Materialreihe Band 31). Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2006

Mins C, Dockrell HM, Goering RV, Roitt I, Wakelin D, Zuckerman M : Medizinische Mikrobiologie - Infektiologie mit Virologie und Immunologie, 2. Aufl. Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München 2007

Müller HP, Lange DE, Müller RF (1989): Actinobacillus actinomycetemcomitans contamination of toothbrushes from patients harbouring the organism. J Clin Periodontol 16, 388-390

Navneet G, Kaur S (1996): A study of tooth brush contamination at different time intervals and comparative effectiveness of various disinfecting solution in reducing toothbrush contamination. J Indian Soc Pedo Prev Dent 14(1),10-13

Nelson-Filho P, Macari S, Faria G, Assed S, Ito IY (2000): Mirobial contamination of toothbrushes and their deconatination. Pediatr Dent 22, 381-384

Nelson-Filho P, Isper AR, Assed S, Faria G, Ito IY (2004): Effect of Triclosan on toothbrush contamination. Pediatr Dent 26, 11

Nelson-Filho P, Faria G, da Silva RA, Rossi MA, Ito IY (2006): Evaluation of the contamination and disinfection methods of toothbrushes used by 24- to 48-month-old children. J Dent Child 73, 152-158

Newbrun E (1989): Dental research: problems, progress, and prognosis. J Dent Res 68, 1377-1378

Nies SM, Kröger T, Ansari F, Schaumburg C, Wetzel W-E (2008): Keimbesiedlung an Zahnbürsten mit unterschiedlichen Borstenbündelbesteckungen. Oralprophyl Kinderzahnheilkd 30, 54-60

Noga K, Lange DE, Alai-Omid W (1976): Mykologische Untersuchungen an Zahnbürsten. DZZ 31, 396-398

Orland FJ, Blayney JR, Harrison RW, Reyniers JA, Trexler PC, Wagner M, GordonHA, Luckey TD (1954): Use of the germfree animal technic in the study of experimental dental caries. I. Basic observations on rats reared free of allmicroorganisms. J Dent Res 33, 147-174

ØGaard B, Seppä L, RØlla G (1994): Relationship between oral hygiene and approximal caries in 15-year-old Norwegians. Caries Res 28, 297-300

Pieper K (2001): Epidemiologische Begleituntersuchung zur Gruppenprophylaxe 2000. Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege

Plagmann HC: Lehrbuch der Parodontologie. Carl Hanser Verlag, München 1998

Pschyrembel W: Pschyrembel 2012 Klinisches Wörterbuch, 263. Aufl., De Gruyter, Berlin 2011

Quirynen M, De Soete M, Pauwels M, Gizani S, Van Meerbeek B, van Steenberghe D (2003): Can Toothpaste or a toothbrush with antibacterial tufts prevent toothbrush contamination? J Periodontol 74, 312-322

Ramfjord H, Ash RC: Perodontology and Peridontics. W. B. Saunders, Philadelphia 1979

Rateitschak KH, Rateitschak-Plüss EM, Wolf HF: Parodontologie. Farbatlanten der Zahnmedizin, Band 1; 2. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1989

Riethe P (1974): Die Quintessenz der Mundhygiene. Quintessenz J, 67-69

Riethe P: Kariesprophylaxe und konservierende Therapie. Farbatlanten der Zahnmedizin, Band 6; 2. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1994

Sanderink RBA, Bernhardt H, Knoke M, Meyer J, Weber C, Weiger R: Curriculum. Orale Mikrobiologie und Immunologie. Quintessenz Verlag, Berlin 2004

Sandham HJ, Brown J, Phillips HI, Chan KH (1988): A preliminary report on long term elimination of detectable mutans streptococci in man. J Dent Res 67, 9-14

Sato S, Ito IY, Guimaraes Lara EH, Panzeri H (2004): Bacterial survival rate on toothbrushes and their decontamination with antimicrobial solutions. J App Oral Sci 12, 99-103

Sauerwein E (1962): Taktat über die Zahnbürste. Dtsch Zahnärztl Z 17, 121- 134

Saxer UP (1991): Bacterial Plaque and oral disease: influence of mouthwash. Quintessenz J 21, 67

Schaeken MJM, de Jong MH, Franken HCM, van der Hoeven JS (1986): Effects of highly concentrated stannous fluoride and chlorhexidine regimes on human dental plaque flora. J Dent Res 65, 57-61

Schaeken MJM, de Haan P (1989): Effects of sustained release chlorhexidine acetate on the human dental plaque flora. J Dent Res 68, 119-123

Schenk R (1988): Kombinationspräparate pflanzlicher Herkunft als Adjuvantien der Mundschleimhautabwehr. Zahnärztl Prax 39, 290

Schiøtt CR, Löe H (1972): The sensitivity of oral streptococci to chlorhexidine. J Periodontal Res 7, 192-194

Schmitt S (2010): Die Zahnbürste feiert 60. Geburtstag; Zwischen Rosshaar und Schweineborsten. DFZ 9, 48-50

Schwarz F, Herten M, Sager M, Bieling K, Sculean A, Becker J (2007): Comparison of naturally occuring and ligature-induced peri-implantitis bone defects in humans and dogs. Clin Oral impl Res 18, 161-170

Simon K (2006): Bürste von nobler Herkunft. ZMK 22, 326-329

Sogi SH, Subbareddy VV, Kiran SN (2002): Contamination of toothbrush at different time intervals and effectiveness of various disinfecting solutions in reducing the contamination of toothbrush. J Indian Soc Pedod Prev Dent 20, 81-5

Speert PT, Wannamaker LW (1980): Susceptibility of group A streptococci to oleic acid and ultraviolet light. Comparison of strains from throat and skin. J Lab Clin Med 96, 252-257

Spets-Happonen S, Markkanen H, Pollanen L, Kauppinen T, Luoma H (1985): Salivary streptococcus mutans count and gingivitis in children after rinsing 88 with a chlorhexidine-fluoride solution with and without strontium. Scand J Dent Res 93, 329-335

Städler P (1990): Fluoridprophylaxe bei Kindern. Z Stomatol 87, 481–492

Stanley A, Wilson M, Newman HN (1989): The in vitro effects of chlorhexidine on subgingival plaque bacteria. J Clin Periodontol 16, 259-264

Svanberg M (1978): Contaminations of toothpaste and toothbrush by Streptococcus mutans. Scand J Res 86, 412-414

Taji SS, Rogers AH (1998): ADRF trebitsch scholarship. The microbial contamination of toothbrushes. A pilot study. Aust Dent J 43, 128-130

Tierno PM (2004): Summery Report: Efficacy of Violight

Tritten CB, Armitage GC (1996): Comparison of a sonic and manual toothbrush for efficacy in supragingival plaque removal and reduction of gingivitis. J Clin Periodontol 23, 641-648

Türp J (1989): Tooth cleansing woods- oldest toothbrushes in the world. Quintessence Int 40, 937-948

Van der Weijden GA, Timmerman MF, Piscaer M, Ijzerman Y, Warren PR, van der Velden UA (1998): A comparison of the efficacy of a novel electric toothbrush and a manual toothbrush in the treatment of gingivitis. Am J Dent 11, 23-28

Verran J, Leathy-Gilmartin AA (1996): Investigations into the microbial contamination of toothbrushes. Microbios 345, 231-8

Warren DP, Goldschmidt MC, Thompson MB, Adler-Storthz K, Keene HJ (2001): The effects of toothpastes on the residual microbial contamination of toothbrushes. J Am Dent Assoc 132, 1241-1245

Welk A: Möglichkeiten der effektiven häuslichen Mundhygiene. In: Splieth, Ch. (ed.): Professionelle Prävention. Quintessenz Verlag, Berlin 2000

Wetterau J (2007): Umweltfreundliche Trinkwasser-Reinigung mit UV. Heraeus Holding GmbH

Wetzel WE, Schaumburg C, Ansari F, Kroeger T, Sziegoleit A (2005): Microbial contamination of toothbrushes with different principles of filament anchoring. J Am Dent Assoc 136, 758-65

Williams K, Haun J, Dockter K, Ferrante A, Bartizek RD, Biesbrock AR (2003): Plaque removal efficacy of a prototype power toothbrush compared to a positive control manual toothbrush. Am J Dent 16, 223-227

Zickert I, Emilson CG, Krasse B (1987): Microbial conditions and caries increment 2 years after discontinuation of controlled antimicrobial measures in Swedish teenagers. Community Dent Oral Epidemiol 15, 241-244

Zuhrt R (1959): Die Zahnbürste. Dtsch Stomatol 9, 457