

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

Untersuchungen zur Keimbesiedlung von elektrischen Zahnbürsten – ein Vergleich zwischen Schall- und rotierend-oszillierenden Zahnbürsten

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Annina Hage
aus Berlin

Göttingen 2010

Dekan:	Prof. Dr. med. C. Frömmel
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. R. F. Mausberg
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. H. Dunkelberg
3. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. M. Oppermann
Tag der mündlichen Prüfung:	09. November 2010

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	6
2.	Literaturübersicht	8
2.1.	Die natürliche Flora der humanen Mundhöhle	8
2.2.	Fakultativ pathogene Bakterien der Mundhöhle	9
2.2.1.	Die Plaque	9
2.2.2.	Das Bakterium Streptococcus mutans	11
2.2.3.	Das Bakterium Staphylococcus aureus	12
2.3.	Unterschiedliche Zahnbürstentypen	13
2.3.1.	Die klassische Handzahnbürste	13
2.3.2.	Die elektrische Zahnbürste	15
2.3.2.1.	Rotierend-oszillierende Zahnbürsten	16
2.3.2.2.	Schallzahnbürsten	16
2.3.2.2.1.	Auswirkungen von Schallzahnbürsten auf die biologische Funktion von Bakterien	17
2.3.3.	Der Vergleich verschiedener elektrischer Zahnbürsten	19
2.4.	Hygienemaßnahmen	23
2.4.1.	Mundhygiene und Mundgesundheit	23
2.4.2.	Zahnbürstenhygiene	24
2.4.2.1.	Die Zahnbürste als Keimreservoir	24
2.4.2.2.	Aktuelle Empfehlungen zum Zahnbürstenwechsel	26
2.5.	Methoden der Dekontamination von Zahnbürsten	27
2.5.1.	Chlorhexidin zur Keimreduktion	30
3.	Versuchsplanung	32
4.	Material und Methoden	34
4.1.	Material	34
4.1.1.	Bakterienstämme	34
4.1.2.	Zahnbürsten und Zahnbürstenköpfe	34
4.1.2.1.	Braun Oral-B ProfessionalCare 8000	35
4.1.2.2.	Braun Oral-B Sonic Complete	36
4.1.2.3.	Philips Sonicare FlexCare	37
4.1.3.	Sonstige Materialien	38
4.1.3.1.	Herstellung der Brain-Heart-Infusion (BHI)	39
4.1.3.2.	Chlorhexidin (CHX)	39
4.2.	Methoden	39
4.2.1.	Herstellung der Kontaminationslösung	39
4.2.2.	Kontamination der Zahnbürsten und Dekontamination in vier unter- schiedlichen Untersuchungsstadien	40
4.2.3.	Verdünnung der Lösungen der ausgeschüttelten kontaminierten Zahn- bürstenköpfe	43
4.2.4.	Anzucht der beimpften Columbia-Blut-Agarplatten und Auszählung der Bakterien	44
4.2.5.	Erstellen von Exceltabellen und statistische Auswertung	47

5.	Ergebnisse	48
5.1.	Versuche mit dem Bakterium <i>Streptococcus mutans</i>	48
5.1.1.	Ergebnisse der Versuchsphase mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion	48
5.1.1.1.	Einfluss des Untersuchungsstadiums (Funktion AUS).....	48
5.1.1.2.	Einfluss des Zahnbürstentyps (Funktion AUS)	52
5.1.1.3.	Einfluss des Zahnbürstenkopfes (Funktion AUS)	53
5.1.2.	Ergebnisse der Versuchsphase mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion	55
5.1.2.1.	Einfluss des Untersuchungsstadiums (Funktion AN)	55
5.1.2.2.	Einfluss des Zahnbürstentyps (Funktion AN).....	57
5.1.2.3.	Einfluss des Zahnbürstenkopfes (Funktion AN).....	58
5.1.3.	Ergebnisse des Vergleichs der ein- und ausgeschalteten Zahnbürstenfunktion	59
5.1.4.	Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuche mit dem Bakterium <i>Streptococcus mutans</i>	61
5.2.	Versuche mit dem Bakterium <i>Staphylococcus aureus</i>	63
5.2.1.	Ergebnisse der Versuchsphase mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion	63
5.2.1.1.	Einfluss des Untersuchungsstadiums (Funktion AUS).....	63
5.2.1.2.	Einfluss des Zahnbürstentyps (Funktion AUS)	67
5.2.1.3.	Einfluss des Zahnbürstenkopfes (Funktion AUS)	68
5.2.2.	Ergebnisse aus den Versuchen mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion .	70
5.2.2.1.	Einfluss des Untersuchungsstadiums (Funktion AN)	70
5.2.2.2.	Einfluss des Zahnbürstentyps (Funktion AN).....	74
5.2.2.3.	Einfluss des Zahnbürstenkopfes (Funktion AN).....	75
5.2.3.	Ergebnisse des Vergleichs der ein- und ausgeschalteten Zahnbürstenfunktion	77
5.2.4.	Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuche mit dem Bakterium <i>Staphylococcus aureus</i>	78
6.	Diskussion.....	81
6.1.	Studiendesign	81
6.1.1.	Auswahl der Bakterien für die Versuche	82
6.1.2.	Wahl der unterschiedlichen elektrischen Zahnbürsten	84
6.2.	Die Keimbesiedlung von Zahnbürsten und unterschiedliche Dekontaminations-verfahren.....	85
6.2.1.	Effektivität des Abspülens der Zahnbürste mit Wasser.....	87
6.2.2.	Effektivität der Dekontamination der Zahnbürste mit Chlorhexidin	88
6.2.3.	Effektivität der Lufttrocknung des Bürstenkopfes.....	90
6.3.	Vergleich der verschiedenen Zahnbürstentypen bezüglich ihrer Keimbesiedlung	94
6.3.1.	Unterschiede im Keimbesatz bezüglich der Form des Bürstenkopfes	96
6.4.	Schlussfolgerung	97
	Zusammenfassung.....	99
	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis.....	101
	Literaturverzeichnis.....	104

Abkürzungsverzeichnis

ADA	<i>American Dental Association</i>
BHI	<i>Brain Heart Infusion</i>
CHX	Chlorhexidin
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DIN	Deutsche Industrie Norm
DSM	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen, seit 1987 DSMZ (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen)
EPS	Extrazelluläre Polysaccharide
IPS	Intrazelluläre Polysaccharide
KBE	Kolonie-bildende Einheiten
MRSA	Methicillin-resistenter <i>Staphylococcus aureus</i>
NaCl	Natriumchlorid
ORSA	Oxacillin-resistenter <i>Staphylococcus aureus</i>
pH	<i>pondus hydrogenii</i> oder <i>potentia hydrogenii</i> (lat. <i>pondus</i> = Gewicht; lat. <i>potentia</i> = Kraft; lat. <i>hydrogenium</i> = Wasserstoff)
p-Wert	Signifikanzwert
RDA	<i>Radioactive Dentine Abrasion</i>
UV	ultraviolett
WHO	<i>World Health Organization</i>

1. Einleitung

Die elektrischen Zahnbürsten sind in den letzten Jahren durch immer neue medizinische Forschungsergebnisse technisch und funktionell weiterentwickelt worden. Sie bieten dem Verbraucher seit ihrer Einführung in den 60er Jahren neben der klassischen Handzahnbürste nicht nur ein zusätzliches, sondern vermehrt ein alternatives und effektiveres Instrument zur Plaqueentfernung. Es gibt zunehmend Daten, die diese größere Effektivität der elektrischen Zahnbürste gegenüber der Handzahnbürste klar belegen. Das traditionelle und meistverkaufte Gerät zur Zahnreinigung bleibt jedoch derzeit nach wie vor die Handzahnbürste (Tritten und Armitage 1996, Van der Weijden et al. 1998, Williams et al. 2003). Der Bürstenkopf der elektrischen Zahnbürste übt eine konstante und selbständige Bewegung aus, unabhängig von der jeweilig angewandten Putztechnik. Somit reicht schon eine minimale manuelle Geschicklichkeit zur effektiven Nutzung elektrischer Bürsten aus (Driesen et al. 1998).

Die Entwicklung moderner elektrischer Zahnbürsten hat sich auf zwei Technologien konzentriert, zum einen auf die Zahnbürsten mit rotierend-oszillierenden Bürstenköpfen und zum anderen auf die elektrischen mit Schallfrequenz schwingenden Bürsten. Innerhalb dieser unterschiedlichen elektrischen Bürstengruppen existieren bisher nicht eindeutig definierte Effektivitätsunterschiede. Ergebnisse von In-vitro-Studien, die eine Überlegenheit schallaktiver Bürsten belegen (Stanford et al. 1997, Hope und Wilson 2003), wurden durch einen Großteil der In-vivo-Untersuchungen nicht bestätigt (Van der Weijden et al. 1996, Sharma et al. 1998, Dörfer et al. 2001).

Mit dem weltweit zunehmenden Hygiene- und Gesundheitsbewusstsein rückt die Frage, inwieweit die täglich benutzte Zahnbürste ein Reinfektionsreservoir darstellt, immer wieder in den Fokus der Öffentlichkeit. Im Gegensatz zu Einwegartikeln, wie zum Beispiel Zahnseide oder Zahnhölzern, ist eine Zahnbürste über Wochen oder sogar über Monate im Gebrauch. Durch das wiederholte Verwenden der Bürste, kann es auf dem Bürstenkopf zur Anhaftung und zum Wachstum pathogener oraler Keime kommen. Diese können bei erneuter Anwendung der Bürste wieder in die Mundhöhle eingebracht werden und dort eine Reinfektion verursachen. Somit sollte eine Zahnbürste nicht nur auf ihren mechanischen Säuberungseffekt reduziert werden, sondern auch als Milieu für Mikroorganismen gesehen werden. In

zahlreichen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass sich Keime auf Zahnbürsten etablieren (Noga et al. 1976, Svanberg 1978, Glass und Lare 1986, Nies et al. 2008). Nach Glass und Lare könnten kontaminierte Zahnbürsten auch eine Rolle bei einer Übertragung verschiedener Infektionen wie Herpes labiales oder Erkältungskrankheiten spielen. Daher wurde schon 1986 ein monatlicher Wechsel der Zahnbürste empfohlen, um Infektionen vorzubeugen (Glass und Lare 1986). Des Weiteren können Putzverletzungen im Bereich der Mundschleimhäute Eintrittspforten für Krankheitserreger darstellen (Van der Weijden et al. 1994, Danser et al. 1998, He et al. 2001).

Die Keimbesiedlung von Zahnbürsten wird aus hygienischen und potentiell infektiösen Gründen viel diskutiert. Diese Arbeit befasst sich daher mit der Fragestellung der Keimbesiedlung von verschiedenen aktuellen elektrischen Zahnbürsten. Diesbezüglich sollen, am Beispiel von verschiedenen Dekontaminationsmethoden, folgende Fragen geklärt werden:

1. Sollte auf eine tägliche Reinigung der Zahnbürste vermehrte Aufmerksamkeit gelegt werden?
2. Wann oder wie häufig sollte ein Zahnbürstenkopfwechsel aus mikrobiologischer Sicht erfolgen?
3. Wie viele Bakterien können auf der Zahnbürste mit und ohne Dekontaminationsmaßnahmen überleben?
4. Ist bei Erkrankungen eine Dekontamination der Zahnbürste genauso sinnvoll wie die Desinfektion der Mundhöhle?
5. Bestehen signifikante Unterschiede bezüglich der Keimbesiedlung zwischen Schall- und rotierend-oszillierenden Zahnbürsten?
6. Inwieweit spielen unterschiedliche Bürstenkopfformen eine Rolle?

2. Literaturübersicht

2.1. Die natürliche Flora der humanen Mundhöhle

Die Besiedlung der Mundhöhle durch Mikroorganismen beginnt direkt nach der Geburt. In den ersten Lebensstunden sind hauptsächlich Streptokokken nachweisbar. Im Laufe der Zeit entwickelt sich eine immer komplexere Mundflora, insbesondere nach dem Durchbruch der ersten Zähne. Schrittweise entsteht anschließend die Erwachsenen-mundflora (Marsh 2008, Lehmann 1994).

Mit Gesamtkeimzahlen von bis zu 10^9 Millionen Keimen pro ml Speichel stellt die Mundhöhle eines der mikrobiell am dichtesten besiedelten menschlichen Organe dar. Die Mundschleimhaut kann eine ähnlich hohe Keimdichte wie der Dickdarm aufweisen (Mins et al. 2007). Die Mundhöhle hat einen komplexen Aufbau und enthält unterschiedliche Mikrobiotope und ökologische Nischen. Zu diesen gehören die Tonsillarkrypten, die Zunge, die Wangen- und Gaumenschleimhaut, die Gingiva, die Zähne und die Plaque. Diese sind Besiedlungsflächen für Mikroorganismen, die auf Nahrungsreste und Bestandteile des Speichels als Nährstoffe zugreifen können. Trotz der im Speichel vorhandenen Enzyme wie Lysozym und Lactoperoxidase bildet sich dabei eine stabile Mundflora (Brandis et al. 1994, Schlegel und Fuchs 2007). Die humane Mundhöhle bietet außerdem durch ihre Temperatur, Feuchtigkeit und durch die vor mechanischer Reinigung geschützten Zonen ideale Bedingungen für die Vermehrung von Mikroorganismen. Die beim gesunden Menschen vorkommenden Bakterien werden als physiologische Standardflora (*resident flora*) bezeichnet. Diese Keime stehen in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander und sind an der Unterdrückung pathogener Mikroorganismen beteiligt (Horch 2003). Physiologisch ist der Sulcus gingivae mit spezifischer Flüssigkeit (Sulcus fluid) durchströmt, worin sich unter anderem die Bakterien der Mundflora befinden. Hierbei handelt es sich zu circa 75 Prozent um Kokken-Bakterien und zu 16 bis 17 Prozent um unbewegliche stabförmige Bakterien. Nur geringe Anteile der Bakterienflora bestehen aus Spirochäten, fusiformen Stäbchen und beweglichen stäbchen- bzw. fadenförmigen Mikroorganismen (Lehmann KM und Hellwig 2002).

In der physiologischen Flora befinden sich auch fakultativ pathogene Keime, die entzündliche Krankheiten wie zum Beispiel Gingivitiden oder Parodontitiden verursachen können, wenn sich der Gleichgewichtszustand der mikrobiellen Durchgangsflora (*transient flora*) zu Gunsten der pathogenen Keime verschiebt.

Häufig handelt es sich dabei um opportunistische Infektionen, einer Selektion resistenter pathogener Keime oder um einen Wachstumsvorteil der von außen kommenden Erreger (Horch 2003). Bei einer entzündlichen Erkrankung des Parodontiums vermehren sich die Spirochäten und die beweglichen Stäbchen sehr stark, während die Kokken entsprechend abnehmen (Lehmann und Hellwig 2002). Zahlreiche Faktoren beeinflussen die Menge und Zusammensetzung der oralen Keimflora, nicht nur Temperatur, Feuchtigkeit und pH-Wert der Mundhöhle, Speichel, Schleimhaut- und Gebisszustand, sondern auch Mundhygiene, zahnärztliche Versorgung, Ernährungszustand und -gewohnheiten oder der gesundheitliche Allgemeinzustand. Auch individuelle, altersabhängige und tageszeitliche Schwankungen nehmen Einfluss auf die Keimzahlen (Naumann et al. 1989).

2.2. Fakultativ pathogene Bakterien der Mundhöhle

2.2.1. Die Plaque

Speziell an die Lebensbedingungen im Zahnbereich angepasste Mikroorganismen bilden einen die Zahnoberflächen bedeckenden Film, die sogenannte Plaque. In dieser komplexen Masse befinden sich 10^9 Bakterien pro Gramm (Mins et al. 2007). Die Plaque ist ein strukturierter, zäher, weiß-gelblicher Zahnbelag und besteht aus Bakterien, deren Stoffwechselprodukten, und Glykoproteinen des Speichels. Dieser haftet fest an der Zahnoberfläche und den Restaurationen. Es handelt sich um eine dreidimensional organisierte, in eine extrazelluläre Matrix eingebettete, Bakterienpopulation. Diese Art des Zahnbelages ist nicht wegspülbar, sondern muss mechanisch entfernt werden (Rateitschak et al. 1989, Plagmann 1998). Die Reinigung der Glatt- und Kauflächen sollte deshalb mehrmals täglich mit der Zahnbürste erfolgen (Heidemann 1997). Hierfür stehen verschiedene Hilfsmittel wie die klassische Handzahnbürste, die Schall- oder rotierend-oszillierende Bürste zur Verfügung. Die Effektivität der Plaqueentfernung unterscheidet sich hinsichtlich des Zahnbürstentyps und der jeweiligen Putztechnik (Lazarescu et al. 2003, Zimmer et al. 2005).

Auch wenn sich die Plaque durch gründliches Zähneputzen mechanisch beseitigen lässt, bildet sie sich nach wenigen Stunden wieder neu. Zuerst werden die gereinigten Zahnflächen von Glykoproteinen aus dem Speichel überzogen, ein Pellikel bildet sich, an dem schließlich Streptokokken (besonders Streptococcus

mutans und *Streptococcus sobrinus*) haften und sich dort vermehren. Die initiale Bindungsgrundlage für das Biofilmwachstum ist somit gegeben (Rateitschak et al. 1989, Mins et al. 2007). Durch Proliferation und Reifung entwickelt sich der Biofilm zu einer Kolonie, die in der Lage ist, sich bestimmten Umweltbedingungen anzupassen. Der Biofilm gilt als sehr zähe, sessile Lebensform potentiell pathogener Bakterien, der in diesem Verbund ihre negativen Eigenschaften potenzieren kann (Netuschil 2005). Plaque kann durch Einlagerung von Mineralien des Speichels verkalken und wird dann als Zahnstein bezeichnet, der sich nur noch durch professionelle Zahnreinigung suffizient entfernen lässt (Plagmann 1998).

In den Industrieländern sind 80 bis 90 Prozent der humanen Mundhöhlen physiologisch mit *Streptococcus-mutans*-Bakterien besiedelt. Auch andere Bakterien, darunter anaerobe filamentöse Fusobakterien und Aktinomyzeten, sind in der Plaque vorhanden. Werden die Zähne mehrere Tage nicht geputzt, verdickt sich die Plaque und entwickelt ihre volle pathogene Potenz. Die Plaquebakterien wandeln Nahrungszucker in Milchsäure um, die eine lokale Entkalkung der Zähne bewirkt und damit Karies verursacht. Die Bakterien der supragingivalen Plaque produzieren verschiedene Stoffwechselprodukte, durch deren Einwirken das marginale Gewebe zur verstärkten Exsudation und Migration von Leukozyten provoziert wird. Das Saumepithel lockert sich auf und die Bakterien können in das subgingivale Bindegewebe vordringen (Rateitschak et al. 1989, Plagmann 1998, Mins et al. 2007). Die sich nach apikal ausdehnende Plaque ist adhärent (zahnhaftend) und noch weitgehend aus gram-positiven aeroben nicht-motilen Kokken und Stäbchen zusammengesetzt. Durch weitere Proliferation und Besiedlung von gram-negativen Bakterien erfolgen die Ausbreitung nach subgingival und die Bildung einer gingivalen Tasche. Diese Plaque erzeugt schließlich eine Gingivitis (Schröder 1997, Schröder 2000). Wenn die Widerstandskraft der Schleimhaut herabgesetzt ist, können sowohl kommensale als auch pathogene Bakterien leichter eindringen. Wie an allen anderen Körperflächen führen Veränderungen in der Wirtsabwehr schnell dazu, dass sich die Grenze zwischen Normalflora und beginnender Gewebeinvasion verschiebt (Mins et al. 2007).

In der Summe seiner Eigenschaften ist der bakterielle Zahnbelag ein hoch pathogener Biofilm mit einer komplexen Zusammensetzung, der einen wesentlichen Beitrag zu oralen Erkrankungen beiträgt. Die Plaque lässt sich nur mechanisch mit

der Zahnbürste oder mittels professioneller Zahnreinigung effektiv entfernen (Netuschil 2006, Marsh 2008).

2.2.2. Das Bakterium *Streptococcus mutans*

Die natürliche Mundflora besteht vorwiegend aus Streptokokken und bei 80 bis 90 Prozent aller Menschen in Westeuropa und den USA ist die Mundhöhle mit dem Bakterium *Streptococcus mutans* besiedelt (Mins et al. 2007).

Die Gattung der Streptokokken (griech. *streptós* = gewunden, gedreht, *kókkos* = Beere, Kugel) setzt sich aus verschiedenen Arten zusammen, die meist zur natürlichen Flora der menschlichen Schleimhaut und Haut gehören. Die Einteilung beruht auf ihrem Hämolyseverhalten, der Antigenstruktur und dem Sauerstoffbedürfnis. Das *Streptococcus-mutans*-Bakterium gehört zu den Oralstreptokokken. Die Oralstreptokokken sind unter anderem die häufigsten Appendizitis-Erreger, sie sind zu über 50 Prozent Ursache bakterieller Endokarditiden und ein wichtiger Faktor bei der Entstehung von Zahnkaries. Streptokokken sind kugelige bis eierförmige Bakterien, die sich in gewundenen Ketten anordnen. Sie sind unbeweglich, grampositiv, fakultativ anaerob und zur Sporenbildung nicht befähigt (Hof und Dörries 2005).

In epidemiologischen Studien wurde das Bakterium *Streptococcus mutans* als Haupterreger bei der Ätiologie von Schmelzkaries bei Kindern und jungen Erwachsenen, von Wurzelkaries in der älteren Bevölkerung und der „*nursing bottle caries*“ (Nuckelflaschenkaries) bei Kleinkindern nachgewiesen (Hannig 2001, Marsh und Martin 2003). Bei der Entstehung von Karies spielt es eine wichtige Rolle, da es in der Lage ist, die organische Matrix der Plaque aufzubauen oder Mono- und Disaccharide über die Milchsäure abzubauen. Dadurch kommt es zur Säureentkalkung der Hartsubstanzen (Lehmann KM und Hellwig 2002). Um diesen Effekt hervorzurufen sind charakteristische zur Kariogenität beitragende Eigenschaften des *Streptococcus mutans* von Bedeutung. Zum einen die Fähigkeit der Bakterien an der Schmelzoberfläche irreversibel zu adhären und so den Zahn zu kolonisieren. Dies ist die entscheidende Voraussetzung für die Etablierung eines pathogenen Biofilms auf der Zahnoberfläche. Des Weiteren gewährleisten sie einen schnellen Zuckertransport, sobald sie mit anderen Plaque-Bakterien in Konkurrenz stehen. Um die Substrataufnahme zu sichern besitzen sie Transportsysteme mit hoher und niedriger Affinität, die über einen weiten Bereich auch unter extremen

Bedingungen (z.B. niedriger pH-Wert) funktionieren. Außerdem ist das Bakterium zur Säurebildung befähigt, indem ein leistungsfähiger glykolytischer Abbauweg produziert wird, der in der Plaque schnell niedrige pH-Werte hervorruft. Sie besitzen eine Säuretoleranz durch spezifische biochemische Attribute, die ihnen ihr Überleben, Stoffwechsel und Wachstum bei niedrigem pH-Wert ermöglichen. Ansonsten können die *Streptococcus-mutans*-Bakterien extrazelluläre Polysaccharide (EPS) bilden. EPS sind Bestandteil der Plaque-Matrix, die die Anheftung von Zellen festigen und die Säureproduktion räumlich begrenzen. Als weitere Eigenschaft produzieren sie intrazelluläre Polysaccharide (IPS). Durch diese Polysaccharide kann eine Säureproduktion, auch ohne verfügbaren Zucker aus der Nahrung, weiter geführt werden (Hannig 2001, Marsh und Martin 2003).

Auf Nährböden zeigt sich *Streptococcus mutans* als rundliche, konvexe Kolonie mit granulierender Oberfläche. Werden Blutagar-Platten verwendet, bildet der Erreger α -hämolyisierende Eigenschaften.

2.2.3. Das Bakterium *Staphylococcus aureus*

Staphylokokken (griech. *staphylé* = Traube, *kókkos* = Beere, Kugel) sind gram-positive, nicht sporenbildende Kugelbakterien von etwa 1 μm Durchmesser, die sich in allen Ebenen des Raumes teilen können und sich wegen ihrer Unbeweglichkeit in dichten Haufen oder wie Beeren einer Traube anordnen (Hof und Dörries 2005, Schlegel und Fuchs 2007).

Das Bakterium *Staphylococcus aureus* gehört zu den koagulasepositiven Staphylokokken mit einer Reihe von Pathogenitätsfaktoren. Das Bakterium produziert das extrazelluläre Enzym Koagulase und das zellwandständige Enzym Clumpingfaktor, die beide eine Ausfällung von Fibrin bewirken. Gegenüber Umwelteinflüssen wie Austrocknung, Sonneneinstrahlung (UV-Resistenz), Hitze (Temperaturen bis 60°C), pH-Veränderungen und Salzgehalt sind Staphylokokken sehr widerstandsfähig. Bei etwa 30 Prozent aller Menschen besiedelt das *Staphylococcus-aureus*-Bakterium die Haut oder die Schleimhaut, insbesondere im Bereich des Nasenvorhofs, des Kopfhaars, der Achseln und der Rima ani. Es ist somit Teil der ständigen Mikroflora. Die Koagulase-positiven Staphylokokken verursachen unter bestimmten Rahmenbedingungen (z.B. Immunschwäche des

Organismus) Allgemein- und kleine Hautinfektionen (Furunkel, Abszesse) oder auch schwere postoperative Wundinfektionen (Hof und Dörries 2005, Mins et al. 2007).

Eine spezielle Rolle spielen bei dieser Bakterienart Resistenzen gegen Beta-Laktam-Antibiotika und unter anderem auch gegen Beta-Laktamase-feste Antibiotika durch Mutationen des Bakteriums. Oxacillin-resistente *Staphylococci aurei* (ORSA) und besonders Methicillin-resistente *Staphylococcus-aureus*-Stämme (MRSA) können vor allem auf Intensivstationen nosokomiale Epidemien auslösen (Guzmán-Blanco et al. 2009).

Staphylokokken sind gut auf bluthaltigen Agar-Nährböden bei ca. 36°C kultivierbar. Sie kennzeichnen sich durch runde, porzellanweiße oder elfenbeinfarbige, glänzende Kolonien, die von einem Hämolysehof umgeben sind (Hof und Dörries 2005).

2.3. Unterschiedliche Zahnbürstentypen

2.3.1. Die klassische Handzahnbürste

Die Handzahnbürste ist immer noch das am meisten benutzte und wichtigste Hilfsmittel der täglichen Mundhygiene. Zur Reinigung der Glatt- und Kauflächen ist sie etabliert und dient damit der Vorbeugung von Karies und Parodontalerkrankungen (Axelsson 1991, Splieth 2000).

Die deutsche Industrienorm (DIN) definierte 1979 den Aufbau, die Form und die Gestaltung von Handzahnbürsten (DIN 13917, 1988). Eine Vielzahl von Zahnbürsten existiert auf dem Markt, die sich in der Größe des Bürstenkopfes, der Beschaffenheit der Borsten sowie des Griffes unterscheiden. Die grundlegenden Anforderungen an eine optimale Handzahnbürste formulierte C. C. Bass bereits im Jahr 1948 (vgl. Tab. 1).

Gegenwärtig haben sich die Anforderungen an eine Handzahnbürste weiterentwickelt. Um die Effektivität zu erhöhen, wurden zahlreiche Modifikationen wie v-förmig, gestuft, divergierende und gekreuzte Borsten sowie mehrköpfige Bürsten entwickelt. Geblieben ist, die Forderung nach einer Kurzkopfbürste, einem dichten Borstenbesatz (multitufted) und weiche bis mittelharte, abgerundete Kunststoffborsten (Heidemann 1997, Plagmann 1998). Bis heute haben sich die abgerundeten dauerelastischen Kunststoffborsten durchgesetzt, während Naturborsten mit typischen Markkanälen in ihren Haaren einen idealen Nährboden

für Mikroorganismen bilden und mechanisch schnell verschleifen. Diese sind gegenwärtig obsolet (Heidemann 2005).

Der Bürstenkopf mit seinem Borstenfeld sollte kurz sein (2,5 bis 3 cm), damit die schwer zugänglichen distalen Bereiche ohne Kraftbeanspruchungen erreichbar sind. Die Borstenfilamente sind zu einzelnen Büscheln zusammengefasst, welche dicht in drei bis vier Borstenreihen angeordnet sind. Die Erhöhung der Bestückungsdichte (*multitufted*) führt zur Vergrößerung des Zahnflächenkontakts, während die v-förmige, plane, konvexe oder konkave Gestaltung des Borstenfeldes nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Plaqueentfernung hat (Splieth 2000). Noch 1997 empfahl Heidemann die Handzahnbürste als Standard und nannte als Ausnahme für die Benutzung elektrischer Bürsten, körperlich und geistig behinderte Patienten sowie manuell ungeschickte Patienten (Heidemann 1997). Mittlerweile werden jedoch die elektrisch betriebenen Zahnbürsten in der wissenschaftlichen Literatur zunehmend favorisiert (Sicilia et al. 2002).

Tabelle 1:

Anforderungen an eine optimale Handzahnbürste von C.C. Bass aus dem Jahr 1948 (Bass 1948)

Anforderungen an eine Handzahnbürste
Der Handgriff soll einfach und gerade sein.
Die Borstenlänge sollte 10,3 mm betragen.
Die Gesamtlänge der Bürste soll bei 12,25 cm liegen und die Breite des Bürstenkopfes bei 11,1 mm.
Pro Borstenreihe sollen sechs Borstenbüschel verwendet werden, wobei jedes Büschel 80 Nylon-Borsten enthält.
Die Borstenbüschel sollen gleichmäßig angeordnet sein.
Die einzelne Borste soll mit einem Durchmesser von 0,18 mm abgerundet sein.
Das Borstenfeld soll plan sein.
Kinderzahnbürsten sollen entsprechend kleiner dimensioniert sein.

2.3.2. Die elektrische Zahnbürste

Die elektrische Zahnbürste stellt heute eine wissenschaftlich anerkannte Alternative zur Handzahnbürste dar (Robinson PG et al. 2005). Seit ihrer Einführung in den 60er Jahren wurden ihr Design und ihre Funktionsweise kontinuierlich modifiziert und verbessert. Die Zeiten, in denen die elektrischen Zahnbürsten nur für Patienten mit manuellen Defiziten empfohlen wurden, sind vorbei. Patienten mit niedrigem Mundhygienebewusstsein können besonders von ihr profitieren. Allerdings führt die leichtere Handhabung nicht automatisch zur Effektivitätssteigerung gegenüber der manuellen Zahnbürste. Die elektrische Zahnbürste gilt trotz ihrer potenziell größeren Gefahr der Gingivatraumatisierung und Abrasion der Zahnhartsubstanz aufgrund des längeren geleisteten Weges der Borsten in der gleichen Zeit gegenüber der Handzahnbürste als gewebeschonender (Splieth 2000).

Zimmer teilte im Jahre 2000 die elektrischen Zahnbürsten, entsprechend der Bürstenbewegungen, in drei Generationen ein. Die erste Generation zeichnet sich durch einen konventionellen Kopf aus, der schwenkende Bewegungen um die Längsachse des Bürstenkopfes ausführt. Verglichen mit der Handzahnbürste, wird mit dieser aber keine signifikant bessere Zahnreinigung erreicht. Auf dem Markt spielen diese Bürsten heute keine Rolle mehr und sind nur noch vereinzelt erhältlich. Die zweite Generation elektrischer Zahnbürsten besteht aus vielen verschiedenen Modellen, die heute das größte Marktsegment darstellen. Ein runder Kopf, der rotierend-oszillierende Bewegungen unterschiedlicher Geschwindigkeit ausführt, kennzeichnet diese Generation. Die dritte Generation elektrischer Zahnbürsten ist in den 90er Jahren erstmals vorgestellt worden, die so genannte schallaktive Zahnbürste. Hierbei handelt es sich um längliche oder runde Zahnbürstenköpfe, deren Borsten mit einer Frequenz von 250 Hz schwingen (Niemi et al. 1986, Zimmer 2000).

Eine Vielzahl der heute erhältlichen elektrischen Zahnbürsten verfügt zudem über einen eingebauten Timer, der alle 30 Sekunden ein Signal gibt. Dies dient zur systematischen Reinigung aller vier Kieferquadranten mit gleich langen Intervallen und um die empfohlene Putzzeit von zwei Minuten einzuhalten. Eingebaute Drucksensoren bieten eine zusätzliche Sicherheit des Putzvorgangs, um Abrasionen an Hart- und Weichgewebe zu vermeiden. Der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch von Bürstenköpfen für maschinell betriebene Zahnbürsten liegt in Deutschland bei 0,25. Marktanalysen zufolge handelt es sich um einen immer wichtiger werdenden

Teilmarkt, dessen Wachstum vor allem durch neu eingeführte batteriebetriebene Geräte forciert wird (Gruner und Jahr 2002).

2.3.2.1. Rotierend-oszillierende Zahnbürsten

Die Modelle der zweiten Generation elektrischer Zahnbürsten werden bezüglich ihrer Bewegungsmuster und der Frequenz der ausgeführten Schwingungen unterschieden. Zu diesen rotierend-oszillierende Zahnbürsten zählen verschiedene Geräte von Braun Oral-B (Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus, Kronberg, Deutschland), die Philips Jordan 2-Action Plaque Entferner (Philips GmbH, Hamburg, Deutschland), sowie die Rowenta Dentacontrol Duo (Rowenta GmbH, Offenbach am Main, Deutschland) und viele andere.

Mit Hilfe eines Elektromotors über ein Stangengetriebe werden Vor- und Zurückbewegungen, Auf- und Abschwingbewegungen, Oszillations- oder Rotationsbewegungen ausgeführt. Die üblichen Putzfrequenzen liegen bei 80 bis 150 Oszillationen pro Sekunde. Das Konzept dieser Zahnbürsten orientiert sich am Vorbild einer rotierenden Bürste im zahnärztlichen Winkelstück, die durch direkten Kontakt, Plaque von der Zahnoberfläche entfernt (Van der Weijden et al. 1994, Sicilia et al. 2002, Dentino et al. 2002).

2.3.2.2. Schallzahnbürsten

Die neuste und dritte Generation der elektrischen Bürsten generiert eine dynamische Strömungsaktivität von Flüssigkeiten. Diese kann Plaque effektiv zerstören, noch bevor die Plaque in Kombination mit Schrubbewegungen von der Zahnoberfläche entfernt wird. Es kommt somit neben der mechanischen Plaqueentfernung, durch den Kontakt der Borsten mit der Zahnoberfläche zusätzlich zu Plaqueabrissen, die durch indirekten Kontakt mit den schallbedingten Wirkungen einhergehen (Engel et al. 1993, Stanford et al. 1997). Im oralen Milieu führt die Schallenergie von Zahnbürsten zu dynamischer Aktivität, deren Ausmaß frequenzabhängig ist. Da elektrische Schall-Zahnbürsten mit vergleichsweise niedriger Frequenz arbeiten (250 bis 500 Hz), bilden sie im Gegenteil zu Ultraschallinstrumenten (16.000 bis 20.000 Hz) keine destruktive Kavitation. Um biologisches Gewebe zu schädigen sind sie nicht stark genug. (Walmsley et al. 1988, Laird und Walmsley 1991). Ihre Inserierung in ein Luft-Wasser-Gemisch führt zu schnellen zyklischen Volumenveränderungen

der Gasbläschen und daraus folgenden Strömungsmustern (Hope und Wilson 2003). Diese gehen mit hydrodynamischen Scherkräften einher, welche effektive Mechanismen bei der Entfernung mikrobieller Plaque und aufgelagerten Verschmutzungen von der Zahnoberfläche darstellen. Die Vibrationen, die durch die bis zu 32.000 Borstenbewegungen pro Minute entstehen, gehen vom Griff über den Kopf zu den Borsten und sind so für manche Patienten gewöhnungsbedürftig (Laird und Walmsley 1991, Splieth 2000).

Schallaktive Zahnbürsten können durch hochfrequente Borstenbewegungen auf der Zahnoberfläche Auflagerungen, Plaque und Beläge entfernen. Durch den Schall erzeugte dynamische Flüssigkeitsbewegungen und entstehende Scherkräfte wird eine Reinigung ohne physikalischen Kontakt der Borsten ermöglicht (Lang 2005).

2.3.2.2.1. Auswirkungen von Schallzahnbürsten auf die biologische Funktion von Bakterien

Die biologischen Auswirkungen des Schalls auf Mikroorganismen der Mundflora wurden bereits in zahlreichen Studien erforscht. In-vitro-Studien lassen vermuten, dass die von Schallzahnbürsten erzeugte Schwingungsenergie orale Bakterien in ihrer zellulären Funktion beeinträchtigt und die Fähigkeit zur Plaquebildung gestört wird.

Blanco überprüfte 1997 in einer In-vitro-Studie die Auswirkungen verschiedener Zahnbürsten (Water Pik Sensonic, Braun Oral-B Plak Control, Oral-B Handzahnbürste) auf das Überleben des Bakteriums *Treponema denticola*. Dabei handelt es sich um einen häufig aus aktiven Taschen isolierten Keim mit hohem pathogenem Potenzial für parodontale Erkrankungen. Die schallaktive Water Pik Sensonic (Water Pik Inc., Fort Collins, CO, USA) reduzierte statistisch signifikant die intakten Keime, indem die äußere bakterielle Membran der Spirochäte abgelöst wurde. Nach Expositionszeiten von 45 und 60 Sekunden konnten mikroskopisch nur noch Zelltrümmer nachgewiesen werden. Ähnliche Ergebnisse erzielte Blanco auch mit der rotierenden-oszillierenden Bürste Braun Oral-B Plak Control (Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus Deutschland). Die schallaktive Bürste von Water Pik war dieser jedoch in der Anzahl der zerstörten Keime überlegen. Für die Handzahnbürste wurde hingegen kein Einfluss auf *Treponema denticola* detektiert (Blanco et al. 1997).

MacNeill untersuchte ein Jahr später die Veränderung mikrobiologischer Oberflächenstrukturen und eine fehlende Wirkung auf die Lebensfähigkeit bei schallaktivierten- und rotierenden-oszillierenden Zahnbürsten. Die Wirkung der Oral-B Plaque Remover und die Water Pik Sensonic wurde bezüglich der Lebensfähigkeit von *Actinomyces-viscosus*-Bakterien verglichen. Die elektronenmikroskopische Untersuchung zeigte bei der schallaktivierten Zahnbürste eine Abnahme in der Neigung, Aggregate zu bilden sowie ein Verlust der Fimbrien. Jedoch konnte kein Nachweis auf morphologische Zellschädigung erbracht werden und so schienen letztendlich beide Bürsten keinen Einfluss auf die Lebensfähigkeit der Bakterien zu haben (MacNeill et al. 1998). Die Arbeitsgruppe um McInnes wies dagegen nach, dass Schallenergie die essentielle Anheftung der Bakterien an der Zahnoberfläche für die Plaquebildung und an andere Zellen hemmen kann. Seine Studie erfolgte mit einer schallaktiven Zahnbürste Philips Sonicare an *Actinomyces-viscosus*-Bakterien, die an Speichel getränkten Hydroxylapatit-Plättchen adhäriert vorlagen. Die elektronenmikroskopische Nachuntersuchung ergab Veränderungen von Zelloberflächenkomponenten in Form einer Fimbriendestruktion, die *Actinomyces-viscosus*-Aggregate waren zerstreut und die Anzahl der adhärenen Bakterien sank. Der Grund für die Zerstreung lag in der schallinduzierten Beschädigung der Fimbrien, die für die Vernetzung der Bakterien untereinander und zur Haftung an Oberflächen verantwortlich sind (McInnes et al. 1992). Als weitere Auswirkung des Schalls einer Zahnbürste wurde dessen Einfluss auf die Zellproliferation diskutiert. Es wird vermutet, dass bei Anwendung einer schallaktiven Bürste die Verbesserung klinischer Parameter (gingivaler Blutungsindex, Sondierungstiefe, klinisches Attachment-Level) nicht nur auf Veränderungen des Plaquestoffwechsels, sondern auch auf der Modifizierung zellulärer Komponenten des Parodontiums beruht. O'Beirne untersuchte in seiner Studie zwei Entzündungsmediatoren, Interleukin-1-beta und Interleukin-6, aus dem Sulcus fluid. Die gemessene Konzentration von Interleukin-1-beta in der Zahnfleischtaschenflüssigkeit war in der Gruppe der Schallzahnbürste signifikant niedriger als die Konzentration in der Handzahnbürsten-Gruppe, während die Konzentration für Interleukin-6 in beiden Gruppen abnahm (O'Beirne et al. 1996, Robinson PJ et al. 1997). Das Forschungsteam um Jones erkannte im Jahr 2000, dass Schallenergie in vitro die Zellproliferation beeinflussen kann. An gingivalen Fibroblasten konnte er in Abhängigkeit von den Expositionszeiten zeigen, dass die Schallenergie sowohl einen Anstieg als auch

einen Abfall der Proliferation der Zellen bewirkt. Das Verhalten von Zellkulturen war durch Schallaktive Zahnbürsten beeinflussbar (Jones et al. 2000). Stanford untersuchte in einer In-vitro-Studie die Wirkung von Flüssigkeitsströmungen auf die Plaqueentfernung einer schallaktiven Zahnbürste Philips Sonicare (Philips Deutschland GmbH, Hamburg, Deutschland) im Gegensatz zu einer elektrischen Interplak-Zahnbürste (Conair Corporation, Stamford, CT, USA) mit rotierenden Borstenbüscheln. Von Schmelzplättchen, auf denen vorher in vivo Plaque gezüchtet wurde, entfernte die Sonicare berührungsfrei innerhalb von 10 Sekunden noch in einem Abstand von 3 mm 56,8 Prozent der bakteriellen Beläge. Die zum Vergleich eingesetzte Interplak-Zahnbürste beseitigte unter gleichen Bedingungen keine Plaque (Stanford et al. 1997).

Hope et al. untersuchten in ihrer In-vitro-Studie die dynamische Flüssigkeitsaktivität der Sonicare Plus auf den oralen Biofilm. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die schallaktive Sonicare bei einer Distanz von 2,65 mm mit 73,7 Prozent 20mal mehr Bakterien durch die Flüssigkeitsscherkräfte von einer Zahnoberfläche entfernt als die gleiche Bürste in inaktivem Zustand. Eine nicht angeschaltete Zahnbürste entfernte nur 3,66 Prozent der Bakterien. Hope schlussfolgerte, dass die Flüssigkeitsscherkräfte, die durch die elektrische Zahnbürste erzeugt wurden, über die Länge der Borsten hinausreichten und somit zur Plaqueentfernung beitrugen (Hope und Wilson 2003).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Ergebnisse der Untersuchungen die schallaktive Zahnbürste als ein sicheres Instrument der Mundhygiene ausweisen. Durch Zerstörung äußerer Keimmembranen und Verletzung der Fimbrien, Beeinflussung der Zellproliferation und der Plaque-Entfernung von der Zahnoberfläche scheinen die Schallzahnbürsten in ihrer Effektivität sowohl Handzahnbürsten als auch rotierend-oszillierende Bürsten zu übertreffen.

2.3.3. Der Vergleich verschiedener elektrischer Zahnbürsten

Aufgrund der großen Produktionsvielfalt wurden zahlreiche Vergleichsstudien zwischen den verschiedenen Modellen und Marken elektrischer Zahnbürsten durchgeführt. Die Effektivität der Plaque-Entfernung war bei fast allen Studien das Hauptuntersuchungsthema.

In einer klinischen Studie stellte Van der Weijden zum Beispiel die Schallzahnbürste Sonicare (Philips Deutschland GmbH, Hamburg, Deutschland) und die rotierend-

oszillierende Zahnbürste Oral-B Plak Control (Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus, Deutschland) gegenüber. In einer ersten Gruppe entfernte eine professionelle Fachkraft bei 35 Studenten die in 24 Stunden gewachsene Plaque, in einer zweiten Gruppe putzten die Probanden ihre Zähne nach einer Instruktion selbst. Sowohl im ersten als auch im zweiten Teil der Studie konnte eine Überlegenheit der Oral-B Zahnbürste festgestellt werden. Interessanterweise bevorzugten die Studienteilnehmer, wenn sie die Wahl hatten, die rotierend-oszillierende Oral-B Zahnbürste gegenüber der Schallzahnbürste (Van der Weijden et al. 1996). Das Team um Sharma untersuchte im Jahr 2000 vergleichend die Braun Oral-B 3D Plaque Remover und die Philips Sonicare Plus. Nachdem 67 Probanden diese beiden Bürsten für sechs Wochen verwendeten, kam Sharma zu dem Ergebnis, dass beide Zahnbürsten Beläge signifikant beseitigten und keine Zahnabrasionen oder Verletzungen der Gingiva produziert wurden. Die Braun Oral-B 3D Plaque Remover säuberte dabei die Zähne effektiver als die Sonicare Plus (Sharma et al. 2000). Sechs Jahre später griff Sharma nochmals die Thematik der Plaque Beseitigung in einer Vergleichsstudie auf. In seiner Studie standen drei elektrische Schallzahnbürsten (Philips Sonicare Elite, Oral-B Sonic Complete, Water Pik Sensoric) und eine Handzahnbürste im Vordergrund. Vor dem Putzen mit einer der vier Bürsten, durften die 144 Probanden für 23 bis 25 Stunden die Zähne nicht putzen und es wurde ein Plaque-Index erhoben. Alle vier Zahnbürsten zeigten statistisch signifikante Rückgänge der Plaque. Die Water Pik Sensoric (Water Pik Inc., Fort Collins, CO, USA) Zahnbürste erzielte im Gegensatz zu der Philips Sonicare Elite, Oral-B Sonic Complete und der Handzahnbürste die besten Ergebnisse (Sharma et al. 2006). Im Jahr 2005 wurde eine Studie von Strate et al. veröffentlicht, die die Oral-B ProfessionalCare Serie mit der Philips Sonicare Elite verglichen. Beide Bürsten reduzierten ebenfalls signifikant Plaque nach einem einmaligen Gebrauch, die Oral-B ProfessionalCare Serie zu 88 Prozent und die Sonicare Elite zu 61 Prozent. Die Oral-B ProfessionalCare Serie entfernte jedoch die Plaque von marginal, bukkal, lingual und approximal effektiver als die Sonicare Elite (Strate et al. 2005).

Da aufgelagerte Beläge zu einer Entzündung des Zahnfleisches führen können, wurde in weiteren Studien auch die Gingivitisprävention durch verschiedene Zahnbürsten untersucht. In einer weiteren Studie von Van der Weijden aus dem Jahre 2002 rückte somit neben der Plaquereduktion, die Beseitigung der Gingivitis im

Vergleich unterschiedlicher elektrischer Zahnbürsten in den Vordergrund. Diesmal untersuchte er die Braun Oral-B 3D Excel, die Philips Sonicare und die Philips Sensiflex 2000 hinsichtlich der Plaquekontrolle und der Reduktion experimentell induzierter Gingivitis. Die Ergebnisse zeigten, dass die Braun Oral-B 3D Excel Zahnbürste Gingivitis effektiver beseitigt als die beiden anderen Bürsten. Hinsichtlich des Plaqueindex bestand aber nach vier Wochen kein signifikanter Unterschied (Van der Weijden et al. 2002). Eine Studie die sich ebenso mit dem Gingivitis-Rückgang beschäftigte, war die klinische Vergleichsuntersuchung von Robinson und seiner Arbeitsgruppe. Er untersuchte die Braun Oral-B Plaque Remover und die Sonicare an 54 Parodontalpatienten über sechs Monate. Der Turesky-Plaque-Index und ein Papillen-Blutungs-Index nach Loesche wurden erhoben. Nach sechs Monaten hatte der Gebrauch der Zahnbürsten zu einer Verbesserung der gingivalen Gesundheit und des Plaqueindex geführt. Ein Vergleich zwischen den beiden Zahnbürsten ergab eine Überlegenheit der Philips Sonicare bezüglich der Verbesserung des Gingivazustandes und der approximalen Plaqueentfernung. Für den Turesky-Index insgesamt konnte kein Unterschied gefunden werden (Robinson PJ et al. 1997). Auch die Forschungsgruppe um Isaacs wägte die beiden genannten Zahnbürsten in einer klinischen Untersuchung gegeneinander ab. 62 Probanden wurden in der Studie bezüglich Plaque, Gingivitis und Zahnstein untersucht. Nach sechs Wochen erwies sich die Braun Oral-B Plaque Remover als effektiver in der Bekämpfung von Gingivitis und Zahnstein, bezogen auf die Plaque wurde kein Unterschied gefunden. In einer anschließenden Befragung gaben 65 Prozent der Probanden an, die rotierend-oszillierende Bürste auch zu bevorzugen (Isaacs et al. 1998).

Versteeg et al. stellten die beiden Schallzahnbürsten, Oral-B Sonic Complete und die Philips Sonicare Elite an einer experimentell induzierten Gingivitis gegenüber. Die Probanden hielten die Mundhygiene für 21 Tage im Unterkiefer zurück, so dass sich die experimentell induzierte Gingivitis durch höhere Blutung und vermehrte Plaque äußerte. Anschließend wurde eine Hälfte des Mundes mit einer der beiden Zahnbürsten geputzt. Das Plaque-Vorkommen und die Zu- bzw. Abnahme der Gingivitis wurden am Tag 0, nach 21 Tagen keine Zähne putzen und nach 1, 2 und 4 Wochen, in denen zweimal täglich gesäubert wurde, bewertet. Am Ende der Studie nahm die Blutung signifikant ab. Ein bedeutsamer Unterschied zwischen den beiden Schall-Zahnbürsten konnte dagegen nicht aufgezeigt werden (Versteeg et al. 2005).

Eine etwas andere Studie von Sicilia et al. analysierte unterschiedliche Untersuchungen zum Thema Vergleich von elektrischen Zahnbürsten versus Handzahnbürsten bei parodontalen Therapien. Die Arbeitsgruppe kam zu dem Entschluss, dass in 10 Studien ein größerer Rückgang der Gingivitis bei Benutzung von rotierend-oszillierenden Zahnbürsten zu verzeichnen war. Für die Sonic-Zahnbürsten konnte kein effizienterer Rückgang vermerkt werden (Sicilia et al. 2002). Dieses Ergebnis stimmte mit denen der anderen Studien überein. Ein weiterer Aspekt der Vergleichsstudien von elektrischen Zahnbürsten beinhaltete, Verfärbungen an den Zahnflächen zu beseitigen bzw. vorzubeugen. Schemehorn und Keil, sowie Moran et al. verglichen die Braun Oral-B Plaque Remover, die Philips Sonicare und eine Handzahnbürste in ihrer Fähigkeit, Verfärbungen zu entfernen. Während die In-vitro-Studie von Schemehorn und Keil eine Überlegenheit der Braun gegenüber der Sonicare und der Handzahnbürste ergab (Schemehorn und Keil 1995), waren die Ergebnisse der klinischen Studie von Moran et al. etwas umfassender. Bezogen auf den Mittelwert der verfärbten Fläche für die linguale sowie lingual-approximale Flächen resultierten aus der Benutzung der Braun-Zahnbürste eine signifikante Verbesserung gegenüber der Handzahnbürste. Mit der Sonicare-Zahnbürste war das nicht der Fall. Allerdings gab es hier auch keinen Unterschied zwischen den beiden elektrischen Zahnbürsten (Moran et al. 1995).

Goyal et al. untersuchten die Wirksamkeit der Oral-B ProfessionalCare TM 7000 mit zwei verschiedenen Bürstenköpfen (FlexiSoft, Pro Polisher) und die Philips Sonicare Elite, Plaque und natürlich auftretenden Schmutz auf den Zähnen zu entfernen. Die Oral-B ProfessionalCare 7000 beseitigte mit beiden Köpfen effektiver Plaque und Schmutz als die Philips Sonicare Elite. Auch um Zahnverfärbungen entgegen zu wirken, konnte die rotierend-oszillierende Zahnbürste mit dem Pro Polisher Aufsatz überzeugen (Goyal et al. 2005).

Bei korrekter Anwendung sind elektrische Zahnbürsten sehr gut geeignet die Zahnoberflächen von Plaque zu reinigen. Elektrische Bürsten der zweiten und dritten Generation scheinen sich trotz ihrer unterschiedlichen Wirkungsmechanismen in ihrer Effizienz weniger zu unterscheiden als vermutet. Dennoch erzielten die rotierend-oszillierende Zahnbürsten auf dem Gebiet der Plaque- und Gingivitisreduktion meistens die besseren Ergebnisse.

2.4. Hygienemaßnahmen

2.4.1. Mundhygiene und Mundgesundheit

Die vorbeugende Entfernung von Speiseresten und dentaler Plaque, die an der Zahnoberfläche haftet, sind die wesentlichen Bestandteile der Mundhygiene. Sie sollte die Reinigung der Glattflächen, Kauflächen und der Interdentalräume beinhalten. Aber auch die Ernährung und die Zuführung von Fluoriden beeinflussen die Mundgesundheit (Heidemann 1997). Obwohl Zahnpaste als kosmetisches Mittel definiert ist, weist sie durch den Fluoridzusatz eine arzneimittelartige, hohe kariespräventive Wirksamkeit auf. Der reinigende Effekt wird durch Putzkörper erreicht, die hinsichtlich der Abrasivität einen RDA-Wert (*Radioactive Dentine Abrasion*) von 50 nicht überschreiten sollten. Der Reinigungseffekt wird durch die Zahnpaste zwar unterstützt, hängt aber weniger von der Qualität der Paste als von der Putztechnik ab (Heidemann 2005, Sander C et al. 2005). Zur vollständigen Entfernung der Plaque ist das Erlernen einer effektiven Zahnputztechnik und -systematik durch kontinuierliches Üben im Kindesalter unerlässlich. Somit ist das Erreichen aller Zahnflächen des Gebisses mit einer konsequent trainierten Systematik für die Plaquefreiheit wichtiger als die Form der Zahnbürste oder die Art der Zahnpaste (Heidemann 1997, Heidemann 2005). Im Jahre 2000 postulierte Splieth, dass die Zahnbürste, die vom Patienten richtig und regelmäßig angewendet wird, die beste ist. So sollte die Priorität in der Instruktion und Motivation des Patienten liegen. Die Anwendungshinweise müssen mit den individuellen Voraussetzungen und den konkreten Putzmitteln abgestimmt sein (Splieth 2000).

Im Mittel werden jährlich lediglich zwei Zahnbürsten pro Person verbraucht, somit wird eine Zahnbürste im Durchschnitt sechs Monate benutzt. Der mittlere jährliche Verbrauch von Zahnpaste beträgt 336 ml, das sind lediglich 54 Prozent der empfohlenen jährlichen Mindestmenge von 628 ml. Der Verbrauch von Hilfsmitteln für die Reinigung der Interdentalräume, wie etwa Zahnseide oder Zahnzwischenraumbürsten, ist sehr gering. Der Zahnseidenverbrauch beispielsweise beträgt nur 2,2 Prozent der nach den Empfehlungen der *American Dental Association* (ADA) von 183 m (3,65 Packungen à 50 m) pro Person (American Dental Association 2002) als angemessen erachteten Menge. Interessanterweise liegt dagegen der jährliche Pro-Kopf-Zuckerkonsum im Vergleich dazu mit zirka 33 kg um

50 Prozent über der von der WHO empfohlenen Maximalmenge von 22 kg (Staehele 2004).

Ein positives Mundpflegeverhalten der Bevölkerung ist bei der vierten deutschen Mundgesundheitsstudie aus dem Jahre 2006 sichtbar geworden. Ein naturgesundes Gebiss haben laut dieser Studie 70 Prozent der 12-Jährigen. Erwachsene und Senioren behalten ihre eigenen Zähne immer länger und verbessern somit ihre Lebensqualität. Der regelmäßige Zahnarztbesuch (mindestens einmal pro Jahr) ist in allen Altersgruppen fester Bestandteil des Mundgesundheitsverhaltens. Bei der Untersuchung der Zahnpflegegewohnheiten gaben 74,2 Prozent der Kinder, 73,4 Prozent der Jugendlichen, 72,8 Prozent der Erwachsenen und 60,6 Prozent der Senioren an, zweimal täglich ihre Zähne zu putzen. Mehr als zwei Drittel der Befragten in allen vier Altersgruppen sind dabei der Überzeugung, dass man selbst viel bis sehr viel tun könne, um seine Mundgesundheit zu erhalten (Hoffmann et al. 2006).

2.4.2. Zahnbürstenhygiene

2.4.2.1. Die Zahnbürste als Keimreservoir

Die Zahnbürste kommt mit der Mundflora täglich in Kontakt und ist somit potenzieller Träger zahlloser unterschiedlicher Mikroorganismen. Der Nachweis dieser Keime aus der Mundhöhle und auch ihre Überlebensdauer auf der Zahnbürste waren Gegenstand verschiedener vorangegangener Studien. Es wurde unter anderem untersucht, ob diese Keime bis zur nächsten Anwendung der Zahnbürste überleben. Noga gelang es 1976, an 48,6 Prozent der von ihnen überprüften Bürsten vermehrungsfähige *Candida*-Spezies nachzuweisen (Noga et al. 1976). Als ein entscheidender Faktor hinsichtlich der Überlebensfähigkeit der Keime auf der Zahnbürste wird die Trockenzeit der Bürste bis zum nächsten Einsatz angesehen. Zwei Jahre später wies Svanberg an gebrauchten Zahnbürsten *Streptococcus mutans*-Bakterien nach, die sich jedoch bereits nach 24 Stunden Trocknungszeit auf ein Prozent reduzierten. Hatten die Probanden eine *Streptococcus mutans*-Konzentration von über 10^6 KBE (koloniebildenden Einheiten) pro ml Speichel, so wurden sogar Keime an der Öffnung der Zahnpastatube nachgewiesen (Svanberg 1978). In einer In-vitro-Studie von Bunetel et al. konnte gezeigt werden, dass Kulturen der Bakterien *Porphyromonas gingivalis* und *Streptococcus mutans* und der

Hefepilz *Candida albicans* nach 24 Stunden auf 0,2 bis 2 Prozent ihrer Ausgangszahl reduziert wurden. Die Verwendung verschiedener Zahnbürstentypen hatte dabei einen signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate (Bunetel et al. 2000). Das Herpes-simplex-Virus ist sogar in der Lage, 48 Stunden auf der Zahnbürste zu überleben (Glass und Jensen 1988).

Als Erregerreservoir und somit als Quelle der Reinfektion beschrieb 1981 Marcano die Zahnbürste. Er analysierte die Handzahnbürsten von 57 mit *Candida albicans* infizierten Probanden. Bei 58 Prozent dieser Personen konnte die Anwesenheit des Pilzes auf der Zahnbürste nachgewiesen werden (Marcano 1981). Pathogene und opportunistische Mikroorganismen auf Zahnbürsten belegten auch Glass und Lare neben üblichen Mundhöhlenkeimen. Sie verursachen nicht nur orale Erkrankungen, sondern stehen auch in Verbindung mit speziellen Organinfektionen (Glass und Lare 1986).

Die Frage nach der Keimübertragung im Sinne einer Kreuzkontamination ist heute nicht mehr so aktuell wie zu Zeiten der familiären Gemeinschaftszahnbürste, doch gibt es gegenwärtig immer noch Haushalte, in denen mehrere Personen dieselbe Zahnbürste benutzen. Besonders in Kindergärten ist diese Frage noch aktuell, da Kinder dort möglicherweise spielerisch die Zahnbürsten austauschen. Bei einer Untersuchung in einer Kindertagesstätte in Göteborg konnten 1994 aus 40, der insgesamt 44 untersuchten Zahnbürsten, Streptokokken isoliert werden. Dabei handelte es sich hauptsächlich um *Streptococcus salivarius*, *Streptococcus sanguis* und *Streptococcus mitis*. Bei 38 Prozent der Zahnbürsten konnten Staphylokokken wie *Staphylococcus epidermica* und *Staphylococcus aureus* nachgewiesen werden. Laktobazillen konnten zu 41 Prozent und *Candida*-Spezies zu 32 Prozent gefunden werden. Grundsätzlich können Keime mit der Zahnbürste weitergegeben werden, genauso wie mit Spielzeug oder durch persönlichen Kontakt sowie in Form von Speichel- oder Tröpfcheninfektion (Malmberg et al. 1994). Hinweise auf die Übertragung von HIV auf diesem Weg, gibt es bislang nicht. Die Risikoanalyse des Speichels als potentielles HIV-1-Übertragungs-medium sind in verschiedenen experimentellen Untersuchungen und epidemiologischen Studien untersucht worden. Aber die Benutzung von derselben Zahnbürste durch HIV-1-positive und -negative Personen im gemeinsamen Haushalt führte zur Serokonversion der exponierten Person (Rogers et al. 1990, Koefler et al. 1997).

Im Hinblick auf durchgeführte oder ausgelassene Hygienemaßnahmen (z.B. Trocknung, Abspülung, Desinfektion, etc.) an Zahnbürsten und auf das Reinfektionsrisiko untersuchte Falck im Jahre 1998 114 Patienten, die eine Streptokokken bedingte Pharyngotonsillitis aufwiesen. Er kam jedoch zu der Erkenntnis, dass es keinen Einfluss auf das Risiko der Reinfektion über die Zahnbürste mit oder ohne Hygienemaßnahmen gab (Falck et al. 1998). Nies et al. beschäftigten sich mit der Art der Borstenbesteckung als Rekontaminationsfaktor und in wie weit diese Einfluss auf die Hygienefähigkeit einer Zahnbürste hat. Er belegte, dass die Hygienefähigkeit von Zahnbürsten mit Borstenbündelbesteckung nicht von der Art der Befestigung im Bürstenkörper abhängig ist. Die Retention der Keime scheint vielmehr im engen Abstand der Einzelborsten zueinander begründet zu sein. Alle untersuchten Produkte wiesen das Vielbüschel-Prinzip (*multi-tufted*) mit sehr eng stehenden Borsten in Bündelanordnung auf, bei dem die Mikroorganismen der Mundhöhle ein ausreichend feuchtes Milieu vorfinden, sich dort festsetzen und auch ex ore noch einige Zeit überleben (Nies et al. 2008).

Das Vorhandensein von Mikroorganismen auf Zahnbürsten nach dem Kontakt mit der Mundhöhle konnte vielfach gezeigt werden. Durch ein Benutzen derselben Zahnbürste kann es auf dem Bürstenkopf zur Anhaftung und zum Wachstum pathogener Keime kommen. Bei einer daraufhin wiederholten Verwendung der Bürste können diese Keime erneut in die Mundhöhle eingebracht werden und zu einer Reinfektion führen (Bunetel et al. 2000, Warren DP et al. 2001, Bößmann 2001).

2.4.2.2. Aktuelle Empfehlungen zum Zahnbürstenwechsel

Bei normaler Mundhygiene liegt die Lebensdauer einer Zahnbürste etwa bei zwei bis drei Monaten. Nach circa ein bis zwei Monaten, abhängig vom Putzverhalten, können bereits die Borsten beginnen sich zu verbiegen. Hinzu kommt, dass sich in den Zwischenräumen am Borstenansatz und an den Bürstenschäften mit Erregern durchsetzte Ablagerungen auftreten. Zur Erzielung einer permanent optimalen Putz- und Reinigungswirkung, sollte die Bürste somit alle zwei bis drei Monate ausgetauscht werden (Plagmann 1998, Splieth 2000). Bei der Lebensdauer der Zahnbürste, sollte deutlich herausgestellt werden, dass nur Zahnbürsten, deren Borsten noch aufrecht stehen, einen optimalen Reinigungseffekt erzielen und dem entsprechend als zweckmäßig zu bezeichnen sind (Heidemann 1997).

Nach jedem Gebrauch der Zahnbürste wird angeraten die Bürste gründlich unter fließendem Wasser zu reinigen, abzuschütteln und anschließend so zu lagern, dass sie austrocknen kann (Splieth 2000, Bössmann 2001). Auch empfiehlt sich die alternierende Benutzung von einer Zahnbürste am Morgen und einer Zweiten am Abend. Patienten, die an Infektionen leiden, sollten aus präventiver Sicht ihre Bürste regelmäßig desinfizieren oder austauschen, um eine Wiederaansteckung durch den Gebrauch der Zahnbürste zu vermeiden (Plagmann 1998, Splieth 2000).

2.5. Methoden der Dekontamination von Zahnbürsten

Das Thema der Dekontamination von Zahnbürsten, mit dem sich schon zahlreiche Forschungsteams beschäftigt haben, gewinnt immer wieder an Interesse und Relevanz.

Bereits im Jahre 1976 machte Noga mit seinem Team darauf aufmerksam, der Zahnbürstenhygiene und der Desinfektion der Zahnbürste stärkere Beachtung zu schenken. In mykologischen Untersuchungen von Zahnbürsten fand er heraus, dass 48 Prozent der Bürsten mit dem Hefepilz *Candida albicans* befallen waren. Eine Korrelation zwischen dem Alter der Zahnbürste oder des Aufbewahrungsortes konnte nicht gezogen werden. Noga folgerte somit, dass bei einem Mundhöhlenbefall mit dem Pilz der Candidagruppe, die Zahnbürste des entsprechenden Patienten mitbesiedelt werde und so eine Reinfektion nicht auszuschließen sei (Noga et al. 1976). Daraufhin beschäftigte sich eine Vielzahl von Studien mit der Dekontamination von Zahnbürsten nach dem täglichen Gebrauch. Hierbei wurden verschiedene Desinfektionsmaßnahmen, wie die Verwendung von Mundwässern, von Sprays, Zahnpasten und antibakterielle Borsten oder UV-Desinfektoren untersucht.

Für viele Forschungsgruppen schien eine Dekontamination der Zahnbürste mit unterschiedlichsten Mundwässern am praktikabelsten und effektivsten. Aus dem Jahre 1995 stammt eine Studie von Caudry, die zeigen konnte, dass eine vollständige Dekontamination der Zahnbürste von Keimen mit Mundwässern möglich ist. Eine Eliminierung der Bakterien zeigte sich 20 Minuten nach Zahnbürstengebrauch und erfolgter Dekontamination mit Mundwasser (Caudry et al. 1995). Suma Sogi untersuchte die Kontamination von Zahnbürsten zu verschiedenen Zeitpunkten und die Effektivität unterschiedlicher Desinfektionslösungen. In drei Gruppen verwendete er jeweils verschiedene Mundspüllösungen (Chlorhexidin, Wasserstoffperoxid und Dettolin) zur Dekontamination der Zahnbürsten und eine

Kontrollgruppe behandelte die Zahnbürsten nur mit Wasser und Luft-Trocknung. Die Kontrollgruppe wies die höchste Keimbeseidlung auf und so kam Suma Sogi zu dem Fazit, dass es nicht ausreicht nur die Mundhöhle zu pflegen und sauber zu halten. Die Utensilien zur Mundhygiene sollten außerdem zusätzlich nach jedem Gebrauch gereinigt und desinfiziert werden (Suma Sogi et al. 2002). Ein Jahr später stellte Bhat et al. eine weitere Studie vor, in der ebenfalls die mikrobielle Besiedlung von Zahnbürsten und deren Dekontamination mit Mundwässern geprüft wurden. Er verwendete CHX, Natriumhypochlorit und Wasser zur Desinfektion der Zahnbürste. Um eine gute Mundpflege zu erhalten und um Infektionen, die mit Zahnbürsten übertragen werden, zu vermeiden, ist nach Bhat eine Desinfektion der Zahnbürste notwendig und wirkungsvoll. CHX und Natriumhypochlorit konnten die Anzahl der Streptococcus-mutans-Bakterien im Gegensatz zur alleinigen Wasserdeseinfektion deutlich verringern (Bhat et al. 2003). Zu diesen Ergebnissen kam auch das Forschungsteam um Nelson-Filho mit einem ähnlichen Versuchsaufbau. Um die Zahnbürsten effektiv von Streptococcus-mutans-Bakterien zu dekontaminieren, eignen sich 0,12%iges Chlorhexidingluconat und einprozentiges Natriumhypochlorit besser als Wasser (Nelson-Filho et al. 2000). Eine aktuellere Studie von Mehta et al. legte ihren Fokus auf den Umfang der bakteriellen Kontamination nach Gebrauch der Zahnbürste und auf die Effizienz der Dekontamination mit Chlorhexidin und Listerine. Er prüfte zudem, ob mit einer Plastikkappe über dem Bürstenkopf eine Kontamination verhindert werden kann. Es zeigte sich, dass 70 Prozent der täglich benutzen Zahnbürsten mit Bakterien besiedelt sind, was sich auch mit anderen Studien deckt. CHX desinfizierte bei der Studie die Zahnbürsten besser als Listerine. Hingegen konnten bei dem Plastikkappengebrauch vermehrt opportunistische Mikroorganismen wie *Pseudomonas aeruginosa* nachgewiesen werden. Für Mehta erwies sich als mikrobielle Prävention, die Zahnbürste übernacht in 0,2 Prozent Chlorhexidindiguconat einzutauchen, am effektivsten (Mehta et al. 2007). Hinsichtlich aller erwähnten Versuche mit Mundspüllösungen lässt sich sagen, dass Chlorhexidindiguconat die Keime auf den Zahnbürsten am wirkungsvollsten reduziert.

Weitere Studien versuchten durch Sprays statt mit Mundwässern die Zahnbürsten zu dekontaminieren. Diesbezüglich untersuchte Meier 1996 in einer In-vitro-Studie die Effektivität von Cetylpyridiniumchlorid-Spray zur Dekontamination von Zahnbürsten. Er teilte seinen Versuch in zwei Gruppen, in einem Teil wurden die Zahnbürsten Luft getrocknet, in einem Zweiten in Reise-Behältern aufbewahrt. Auf den kontaminierten

und anschließend mit Cetylpyridiniumchlorid besprühten, luftgetrockneten Zahnbürsten, reduzierte sich das *Staphylococcus epidermidis* vollständig und *Candida albicans* zu 94 Prozent. Auf den in Behältern aufbewahrten, mit Cetylpyridiniumchlorid-Spray behandelten Zahnbürsten konnten insgesamt mehr Bakterien nachgewiesen werden. Cetylpyridiniumchlorid-Spray stellt, wenn es an der Luft trocknet, folglich ein praktisches und ökonomisches Mittel zur Dekontamination der Zahnbürste dar (Meier et al. 1996). Sato und sein Forschungsteam prüften in einer In-vivo-Studie 2005, ob sich ein antimikrobielles Chlorhexidin-Spray zur Desinfektion für Zahnbürsten eignet, was sich auch bestätigte (Sato et al. 2005).

Schon 1994 experimentierte Benthin mit der antimikrobiellen Wirksamkeit von Zahnpasten und deren Bestandteilen zur Dekontamination von Zahnbürsten. Er schlussfolgerte, dass Zahnpasten mit Aminfluorid die wünschenswerte Eigenschaft der Hemmung des Bakterienwachstums bei gleichzeitig annehmbarer Biokompatibilität in der Zellkultur aufweisen (Benthin et al. 1994). Auch Quiryne et al. prüften, ob Zahnpasten der Kontamination der Zahnbürste vorbeugen können. In seiner Studie konnte die Keimbesiedlung der Zahnbürsten signifikant mit Zahnpaste reduziert werden. Die Überlebensrate der Bakterien hing mit der Zusammensetzung der Zahnpasten zusammen. Zur Dekontamination eigneten sich Zahnpasten mit Aminfluorid und Zinnfluorid als besten therapeutischen Wirkstoff. Als ein weiteres Untersuchungsziel ging er einer Zahnbürste mit antibakteriell ummantelten Borsten nach. Diese konnten der Bakterienbesiedlung nicht entgegen wirken (Quiryne et al. 2003). Die Arbeitsgruppe um Nelson-Filho beschäftigte sich ein Jahr später mit dem Effekt von Triclosan enthaltenden Zahnpasten zur Dekontamination von Zahnbürsten. Die Anzahl der *Streptococcus mutans*-Bakterien mit denen die Zahnbürsten kontaminiert wurden, konnte in der Gruppe mit der Triclosan enthaltenden Paste auf 40 Prozent signifikant reduziert werden (Nelson-Filho et al. 2004). Efstratiou kam zu einem ähnlichen Ergebnis. Er legte jedoch seinen Fokus auf eine Untersuchung zur Kontamination einer Zahnbürste mit antibakteriellen Eigenschaften. Er fand heraus, dass diese antibakterielle Zahnbürste, die mit Triclosan ummantelte Borstenbüschel trägt, die bakterielle Kontamination nicht limitiert, jedoch der Gebrauch von Triclosan haltiger Zahnpaste die Besiedlung signifikant reduziert (Efstratiou et al. 2007). Es bestätigte sich, dass Zahnpasten zur Keimreduktion beitragen.

Einen anderen Ansatz zur Dekontamination von Zahnbürsten wird in Studien mit UV-Desinfektionsgeräten für Zahnbürsten diskutiert. Glass und Jensen untersuchten im Jahre 1994, die Effektivität eines UV-Desinfektionsgerätes zur Reduzierung der Bakterien-, Hefe- und Virenanzahl auf Zahnbürsten. Mit dem täglichen Einsatz konnte die Bakterienanzahl verringert werden (Glass und Jensen 1994). Auch zwei neuere Studien aus dem Jahre 2008 von Boylan et al. und von Berger et al., die sich mit UV-Desinfektoren für Zahnbürsten beschäftigten, kamen zu diesem Ergebnis. In den Versuchen von Boylan konnte die Bakterienanzahl mit dem VIOlight-UV-Desinfektor (VIOlight Inc., NY, USA) um durchschnittlich 86 Prozent verringert werden. Berger erzielte mit dem VIOlight[®]-Desinfektor ähnliche Werte. Als zweiten UV-Desinfektor verwendete das Forschungsteam von Berger den HIGH DENT[®] (nicht mehr auf dem Markt). Dieser stellte sich gegenüber des VIOlight[®] als noch effektiver heraus (Boylan et al. 2008, Berger et al. 2008).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Mikroorganismen über 24 Stunden zwischen den Borsten der Zahnbürste überleben können und eine Verbesserung der Hygiene durch Dekontamination der Bürste zu einer Reduzierung der Keime führt. Chlorhexidin als Lösung oder Spray verminderte in zahlreichen Studien die Anzahl der Keime am effektivsten. Auch Zahnpasten und UV-Desinfektoren konnten nachweislich eine Abnahme der Mikroorganismen auf den Zahnbürstenköpfen zeigen.

2.5.1. Chlorhexidin zur Keimreduktion

Chlorhexidin (CHX) gehört zu der Gruppe der Biguanide und wird in der Zahnheilkunde meist als Chlorhexidin-Diglukonat-Salz in Mundspüllösungen (Konzentration 0,06% bis 0,2%), in Zahnpasten sowie in Lacken und Gelen verwendet. CHX gilt als Goldstandard unter den intraoralen antibakteriellen Lösungen (Hellwig et al. 2003, Van Rijkom et al. 1996).

Es besitzt eine starke Affinität an negativ geladene Oberflächen der Zähne, der Gingiva, der Mucosa und auch der Plaque, indem seine kationischen Gruppen elektrostatisch binden. So kann die Wirkung des CHX die Spülzeit überwinden und steht als Reservoir zur Verfügung. Daraus lässt sich eine hohe Substantivität ableiten. Die Substantivität eines Medikamentes bezeichnet die beobachtete Verweil- und Wirkungszeit an einem Ort (z.B. Mundhöhle, Sulcus) nach einer therapeutischen Dosis (Hellwig et al. 2003, SchiØTT et al. 1970). Bonesvoll und Gjermo konnten

zeigen, dass noch acht Stunden nach einminütiger Spülung mit 10 ml einer 2,2 mmol/l Chlorhexidinlösung bakteriostatisch wirksame Konzentrationen im Speichel der Testpersonen nachweisbar waren (Bonesvoll und Gjermo 1978). Die Anti-Plaque-Wirksamkeit des CHX wird begründet, indem Bindungsstellen oraler Mikroorganismen an den Zähnen durch die starke Affinität des CHX zu Anionen blockiert wird (Hellwig et al. 2003). Zudem stört diese Bindung das osmotische Gleichgewicht in der Zelle sowie die Organisation der Zellmembran. Es entstehen Mikrolecks die bei hohen Konzentrationen zum Zelltod führen können (Komorowski et al. 2000, Iwami et al. 1995). Viele Studien in den letzten 30 Jahren konnten einen karies- und gingivitis-hemmenden Effekt des Chlorhexidins nachweisen (Maynard et al. 1993, Yates et al. 1993, Jenkins et al. 1993, Zampatti et al. 1994, Van Rijkom et al. 1996, Zaura-Arite und ten Cate 2000, Wyatt und MacEntee 2004). Das Spektrum der auf CHX sensitiven Mikroorganismen erstreckt sich über eine weite Spanne gram-positiver und -negativer Bakterien, wobei anaerobe Stämme sensibler reagieren als aerobe (Lin et al. 2003, Emilson 1977). Bei Langzeitanwendung von Chlorhexidin-Präparaten können verschiedene Nebenwirkungen auftreten. Am häufigsten werden gelbbraune Verfärbungen an Zähnen, Füllungen und Schleimhäuten beobachtet, die aber reversibel sind und durch Zahnpolitur zu beseitigen sind. Des Weiteren können Geschmacksirritationen, Zungen- und Schleimhautbrennen, Epitheldesquamationen und allergische Reaktionen in Erscheinung treten (Hellwig et al. 2003, Schiffner 1995). Aus diesen Gründen rät die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) von einer ungezielten langfristigen Anwendung zum Zwecke der Prävention ab und spricht eine strenge Indikation aus (www.dgzmk.de).

3. Versuchsplanung

Für die Versuche wurden zu Beginn zwei unterschiedliche Bakteriensuspensionen hergestellt: eine mit Streptococcus-mutans-Bakterienstämmen und eine mit Staphylococcus-aureus-Bakterienstämmen.

Danach wurden drei verschiedene elektrische Zahnbürsten, die rotierend-oszillierende Oral-B ProfessionalCare 8000 und zwei Schallzahnbürsten, die Oral-B Sonic Complete und die Philips Sonicare FlexCare in je zwei Phasen kontaminiert. Die Bürstenköpfe wurden hierfür in einer Versuchsphase mit angeschalteter und in einer Weiteren mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion in die jeweilige Bakteriensuspension gehalten.

Nach dieser Kontamination folgte eine Untersuchung in vier unterschiedlichen Untersuchungsstadien. Im ersten Stadium fand die Untersuchung direkt nach der Kontamination statt, im zweiten Stadium wurde die jeweilige Zahnbürste unter fließendem Wasser abgespült, im dritten Stadium wurde die Bürste mit CHX-Lösung dekontaminiert und im vierten Stadium wurden die Daten nach Abspülen unter fließendem Wasser und anschließender Lufttrocknung für 24 Stunden bei Raumtemperatur erhoben.

Um die Bakterien zu ermitteln, die nach den Untersuchungsstadien noch auf den Zahnbürsten hafteten, wurden diese in einer BHI-Lösung ausgeschüttelt, auf Blut-Agarplatten ausgespatelt und bei 36°C bebrütet. Anschließend wurde auf koloniebildene Einheiten untersucht, ausgezählt, die Daten erfasst und statistisch ausgewertet.

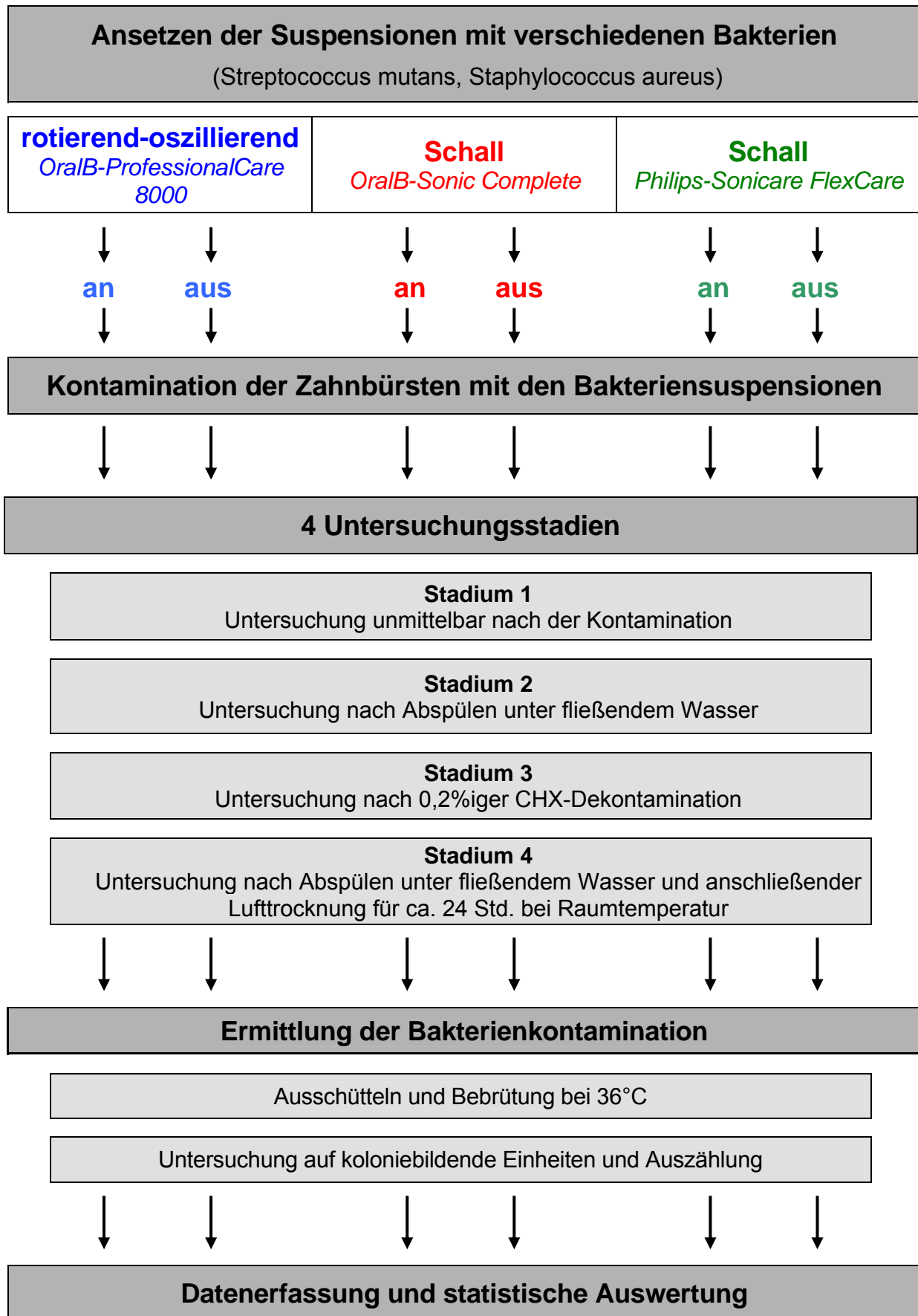


Abbildung 1:
Flussdiagramm zur Versuchsplanung

4. Material und Methoden

4.1. Material

4.1.1. Bakterienstämme

In den Versuchen wurden als Kontaminationskeime das Staphylococcus-aureus-Bakterium des Stammes ATCC 29212 (Institut für Medizinische Mikrobiologie, UMG, Deutschland) und das Streptococcus-mutans-Bakterium mit der DSM-Stammnummer 20532 (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, Braunschweig, Deutschland) verwendet.

4.1.2. Zahnbürsten und Zahnbürstenköpfe

Tabelle 2:

In den Versuchen verwendete elektrische Zahnbürsten.

Zahnbürste	Firma	Modellnummer
Braun Oral-B ProfessionalCare 8000	Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus Deutschland	D19.523.1 (Braun 784791)
Braun Oral-B Sonic Complete DLX	Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus Deutschland	S18.535.3 (Braun 351665)
Philips Sonicare FlexCare	Philips Deutschland GmbH, Hamburg, Deutschland	HX6932/10

Tabelle 3:

Verwendete Zahnbürstenaufsätze.

Zahnbürstenaufsätze	Firma	Büschel-Anzahl	Kopf-form	Modell-nummer
Braun Oral-B FlexiSoft®-Aufsätze	Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus, Deutschland	26	rund	EB 17-8
Braun Oral-B Sonic Complete Aufsteckbürsten	Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus, Deutschland	28	oval	SR18-2
Philips Sonicare FlexCare ProResults-Bürstenaufsätze	Philips Deutschland GmbH, Hamburg, Deutschland	32	oval	HX6014/02

4.1.2.1. Braun Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1)

Die Braun Oral-B ProfessionalCare 8000 (vgl. Tab. 2 und Abb. 2) gehört zur dritten Generation rotierend-oszillierender Zahnbürsten von Oral-B und ist mit einer 3D-Putztechnologie (Vor-, Rück- und Seitwärtsbewegungen) ausgestattet.

Sie besitzt eine stufenlose Geschwindigkeitskontrolle von 5.600 bis 8.800 Seitwärtsbewegungen und 26.000 bis 40.000 Vor- und Rückwärtsbewegungen pro Minute. Der integrierte *Professional Timer* dient der zeitlich koordinierten Zahnreinigung. Er erinnert alle 30 Sekunden mit einem kurzen, stotternden Signal daran, den nächsten Kieferquadranten und somit alle vier Kieferquadranten des Mundes gleich lang zu putzen. Nach zwei Minuten weist ein längeres Signal auf das Ende eines Putzvorganges hin. Bei

zu starkem Druck auf die Zähne und die Gingiva stoppt die Bürste zum Schutz automatisch die hochfrequente Vor- und Rückwärtsbewegung (Sensitive Andruckkontrolle) und lediglich die schnellen Seitwärtsbewegungen werden fortgesetzt. Das veränderte Laufgeräusch weist darauf hin, dass der Druck vermindert werden sollte.

Die ProfessionalCare 8000 kann mit unterschiedlichen Aufsteckbürsten verwendet



Abbildung 3:
Braun Oral-B FlexiSoft®-Aufsatz (Procter & Gamble 2004, S.3)

Büschel (Procter & Gamble 2004).



Abbildung 2:
Braun Oral-B ProfessionalCare 8000 (Procter & Gamble 2004, S.5)

werden. In unseren Versuchen wurden runde Braun Oral-B FlexiSoft®-Aufsätze (vgl. Tab. 3, Abb. 3) mit Bifilament-Borsten aus zwei unterschiedlichen Nylonmaterialien, die sich in Verbindung mit Wasser unterschiedlich ausdehnen, verwendet. Grüne weiche Bifilament-Borsten mit einer Höhe von 0,7 cm und blaue, 1 mm längere Interdental-Borsten, die zur Reinigung der Interdentalräume dienen. Sogenannte Indikator®-Borsten zeigen durch teilweise Entfärbung an, wann die Aufsteckbürste ausgewechselt werden sollte. Der Bürstenkopf trägt mit einem Durchmesser von 1,2 cm 26

4.1.2.2. Braun Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2)

Die Braun Oral-B Sonic Complete (vgl. Tab. 2 und Abb. 4) ist das aktuelle Schall-Zahnbürsten-Modell von Oral-B im Handzahnbürstendesign, mit der die gewohnte Putztechnik einer Handzahnbürste möglich ist. Sie verfügt über drei unterschiedliche Reinigungsstufen. Die Stufe „Clean“, mit 31.000 Rechts-Links-Bewegungen pro Minute, dient zur gründlichen Reinigung von Zähnen und Gingiva, die Stufe „Soft“ ist mit 29.400 Schwingbewegungen für sensiblere Stellen geeignet und die Stufe „Massage“, mit 24.000-33.600 Schwingungen, eignet sich zur sanften Stimulation der Gingiva. Für den Versuchsaufbau wurde die Clean-Stufe verwendet. Der *Professional Timer* der Oral-B Sonic Complete



Abbildung 4: Braun Oral-B Sonic Complete (Procter & Gamble 2005, S.5)

signalisiert in 30-Sekunden-Intervallen den Wechsel zum nächsten Kieferquadranten. Nach zwei Minuten ertönt ein längeres Signal, welches auf das Ende der empfohlenen Putzzeit hinweisen soll. Dieses Zwei-Minuten-Signal wurde in den Versuchen repräsentierend für das Putzzeitende benutzt.

Der Braun Oral-B Sonic Complete Zahnbürstenkopf (vgl. Tab. 3, Abb. 5) ist mit den



Abbildung 5: Braun Oral-B Sonic Complete Aufsteckbürste (Procter & Gamble 2005, S.3)

sogenannten CissCross[®]-Borsten ausgestattet, die unterschiedliche Büschel von 0,9 bis 1,0 cm Höhe besitzen. Die Blauen, längeren Interdental-Borsten sollen die Zahnzwischenräume reinigen, lange Power-Tip[®]-Borsten am Bürstenkopfe helfen bei der Plaque-Entfernung an schwer zugänglichen Zahnflächen und Indicator[®]-Borsten zum Hinweis des Bürstenkopfwechsels. Die weiche Gummirückseite dient dazu Vibrationen zu minimieren. Die Büschelanzahl beträgt 28. Der Bürstenkopf hat eine ovale Form, ist 1,0 cm breit und 2,2 cm lang (Procter & Gamble 2005).

4.1.2.3. Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3)

Die Philips Sonicare FlexCare (vgl. Tab. 2 und Abb. 6) ist die zweite Schallzahnbürste, die in den Versuchen zur Anwendung kam und gehört zur ersten Generation der 900-Serie mit FlexCare-Funktion.

Sie besitzt drei verschiedene Putzmodi („Clean“, „Sensitiv“ und „Massage“) und zwei individuelle Putzeinstellungen („Go Care“ und „Max Care“).

Der Putzmodus „Clean“ dient zur Reinigung der Zähne für zwei Minuten, der Modus „Sensitiv“ ist zur sanften Säuberung von empfindlichem Zahnfleisch und Zähnen gedacht und der Putzmodus „Massage“ ist für eine sanfte Zahnfleischmassage geeignet. Die

Putzeinstellungen „Go Care“ für ein einminütiges Putzen zur schnellen Reinigung und die Einstellung „Max Care“ für einen verlängerten Putzzyklus (drei Minuten) können gewählt werden. Bei dieser Schallzahnbürste wurde in

den Versuchen lediglich der Putzmodus „Clean“ verwendet. Dieser Modus ist mit 31.000 Bürstenkopfbewegungen pro Minute vergleichbar mit der Reinigungsstufe „Clean“ der Braun Oral-B Sonic Complete. Ein *Smarttimer* gewährleistet mit einem Signal in einem Intervall von 30 Sekunden bzw. nach 2 Minuten die Einhaltung der empfohlenen Putzzeit.

Die verwendeten Philips Sonicare FlexCare ProResults-Bürstenaufsätze (vgl. Tab. 3, Abb. 7) in Standardgröße sind oval, haben eine Breite von 1,0 cm, sind 2,2 cm lang und besitzen Nylonborsten in unterschiedlicher Höhe (0,7 bis 1,1 cm). Die insgesamt 32 Büschel zeigen eine großflächigere Anordnung und der Bürstenkopf einen um 10% weiteren Schwingungsradius als das Vorgängermodell Sonicare Elite (Philips 2009).



Abbildung 6: Philips Sonicare FlexCare (Philips 2009, S.1)



Abbildung 7: Philips Sonicare FlexCare ProResults-Bürstenaufsatz (Philips 2009, S. 3)

4.1.3. Sonstige Materialien

Tabelle 4:

Verwendete sonstige Produkte und Materialien.

Produkt	Firma	Bestell-Nr./ Chargen-Nr.
Bacto™ Brain Heart infusion	Becton Dickinson GmbH, Heidelberg, Deutschland	REF: 237500 LOT: 6094228
Brain Heart Infusion (BHI), 10ml Röhrchen	Oxid GmbH, Wesel, Deutschland	LOT: 1012280
Genbox CO ₂	bioMerienx GmbH, Nürtingen, Deutschland	REF: 96126 LOT: 12A07C-23
Columbia Blut- Agarplatten, COS	bioMerienx GmbH, Nürtingen, Deutschland	REF: 43049 LOT: 815619501
Impfeschlingen, 48 Stück, Schlinge blau 10µl, steril	Thermo Fisher Scientific (Nunc GmbH & Co. KG), Langenselbold, Deutschland	REF: 86.1562.050
Pipetten, 5 ml, 20 ml	Sarstedt AG & Co., Nümbrecht, Deutschland	REF: 86.1685.001/ 86.1253.001
Bioshere® Filter Tips, 100µl, 1000µl, Typ Eppendorf/Gilson	Sarstedt AG & Co., Nümbrecht, Deutschland	REF: 70.760212/ 70.762.211 LOT: 8051001/ 7054001
Anaerobier-Topf, 2,5 Liter	Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland	LOT: 1163870001
Röhrchen (steril), Ø 15/16 mm	Institut für Medizinische Mikrobiologie, UMG, Göttingen, Deutschland	
Flaschen (steril), 100 ml, 200 ml, 1000 ml	Institut für Medizinische Mikrobiologie, UMG, Göttingen, Deutschland	
Messzylinder (steril), 250 ml	Institut für Medizinische Mikrobiologie, UMG, Göttingen, Deutschland	
Glaspipetten (steril)	Institut für Medizinische Mikrobiologie, UMG, Göttingen, Deutschland	

4.1.3.1. Herstellung der Brain-Heart-Infusion (BHI)

Die Bacto™-Brain-Heart-Infusion dient der Kultivierung von Mikroorganismen wie Streptokokken, Pneumokokken oder Meningokokken. Nach Herstellungsprotokoll werden 37 g des Basispulvers in einem Liter destillierten Wasser gut durchmischt. Unter häufigem Schütteln wird die Lösung erhitzt und nach vollständiger Auflösung des Pulvers eine Minute gekocht. Anschließend wird es bei 121°C für 15 Minuten im Autoklaven sterilisiert. Der pH-Wert der fertigen Nährlösung beträgt $7,4 \pm 0,2$.

4.1.3.2. Chlorhexidin (CHX)

Tabelle 5:

Verwendete Chlorhexidin-Lösung und deren Zusammensetzung.

Produkt	Firma	Zulassungs-Nr.	Chargen-Nr.
Chlorhexidin-digluconat-Lösung 2%, 50 ml	Engelhard Arzneimittel GmbH & Co. KG, Niederdorfelden, Deutschland	6526446.00.00	05H059A 06L072A
<u>Zusammensetzung:</u> 100 ml Konzentrat enthalten 10,61 g Chlorhexidindigluconat-Lösung 20% (entsprechend 2g Chlorhexidin-bis-[D-gluconat]). <u>Sonstige Bestandteile:</u> Gereinigtes Wasser und Aromastoff.			

Im Versuch wurde entsprechend der Dosieranleitung des Herstellers (vgl. Tab. 5) die Lösung angesetzt und verwendet. Es wurden je 20 Tropfen (1 ml) Chlorhexidin-digluconat-Lösung 2% mit 9 ml destilliertem Wasser zu einer 0,2%igen CHX-Lösung verdünnt.

4.2. Methoden

4.2.1. Herstellung der Kontaminationslösung

Zur Herstellung der bakteriellen Stammlösung (Bakterien-Suspension) wurden in ein 10 ml Brain-Heart-Infusion-(BHI)-Röhrchen je drei Kolonien von einer Blutplattenkultur entweder des Streptococcus-mutans-Bakteriums oder des Staphylococcus-aureus-Bakteriums eingepflegt. Anschließend fand eine Inkubation

von 24 Stunden bei 36°C in einem luftdicht verschließbaren Anaerobier-Topf unter Hinzugabe von CO₂ statt. Um die Kontaminationslösung zu erzeugen, wurden nun 5 ml bzw. 10 ml, je nach Konzentration der gewachsenen Bakterien, von der Stammlösung entnommen und in 800 ml NaCl gegeben. Diese Lösung wurde auf 4 Flaschen á 200 ml aufgeteilt. Damit stand 200 ml Kontaminationslösung für die Versuche jedes der vier Untersuchungsstadien je Bakterium zur Verfügung.

4.2.2. Kontamination der Zahnbürsten und Dekontamination in vier unterschiedlichen Untersuchungsstadien

Die Kontamination der elektrischen Zahnbürsten erfolgte in der angesetzten Bakterien-Suspension. Eine Versuchsreihe wurde mit jeweils vier Zahnbürstenköpfen eines Zahnbürstentyps (Oral-B ProfessionalCare, Oral-B Sonic Complete und Philips Sonicare FlexCare) durchgeführt. Dabei wurde ein Bürstenkopf für jedes der vier Untersuchungsstadien verwendet.

Der Versuch wurde mit angeschalteter oder ausgeschalteter Zahnbürsten-Funktion durchgeführt. Die ausgeschaltete Funktion dient der Kontrolle der Wirkung der elektrischen Zahnbürsten auf die Bakterien. In der ersten Versuchsphase wurden die jeweiligen elektrischen Zahnbürsten entsprechend der vorgegebenen Time-Control-Funktionen des *Professional Timers* der Oral-B Zahnbürsten bzw. des *Smarttimers* der Philips Zahnbürste für zwei Minuten mit angeschalteter Bürstenfunktion in der hergestellten Kontaminationslösung kontaminiert. In der zweiten Phase des Versuchs wurde die jeweilige Zahnbürste mit ausgeschalteter Funktion ebenfalls für zwei Minuten in die Lösung gehalten (vgl. Abb. 8).



Abbildung 8: Kontamination der Zahnbürste (hier: Philips Sonicare FlexCare) in 200 ml Bakteriensuspension.

Nach der Phase der Kontamination erfolgten in vier verschiedenen Untersuchungsstadien das Ausschütteln und die unterschiedliche Dekontamination.

Im Stadium 1 wurde die jeweilige Zahnbürste unmittelbar nach der Kontamination ausgeschüttelt. Dies erfolgte in einer 20 ml BHI-Lösung für zwei Minuten (vgl. Abb. 12).

Im zweiten Stadium wurden die Zahnbürsten nach der Kontamination mit 250 ml destilliertem Wasser abgespült. Anschließend folgte das Ausschütteln der Bürsten für zwei Minuten in 20 ml BHI-Lösung (vgl. Abb. 9 und 12).



Abbildung 9:

Abspülen der Zahnbürste (hier: Philips Sonicare FlexCare) im Untersuchungsstadium 2 unter fließendem destilliertem Wasser (250 ml).

Im Stadium 3 schloss sich nach der Kontamination, eine einminütige Chlorhexidin-Dekontamination an. Danach wurde die jeweilige Zahnbürste zwei Minuten in einer 20 ml BHI-Lösung ausgeschüttelt (vgl. Abb. 10 und 12).



Abbildung 10:

Dekontaminieren der Zahnbürste im Untersuchungsstadium 3 für eine Minute in Chlorhexidin.

Im vierten Stadium wurde nach der Kontamination, eine Abspülung mit 250 ml destilliertem Wasser mit anschließender Lufttrocknung für circa 24 Stunden durchgeführt. Der Zahnbürstenkopf wurde für diese Zeit in einer Flasche mit aufgesetztem Deckel bei Raumtemperatur getrocknet. Hinterher wurde die Zahnbürste in 20 ml BHI-Lösung für zwei Minuten ausgeschüttelt (vgl. Abb. 11 und 12).



Abbildung 11:

Lufttrocknung des Zahnbürstenkopfes in einer Flasche mit aufgesetztem Deckel für circa 24 Stunden bei Raumtemperatur im Untersuchungsstadium 4.

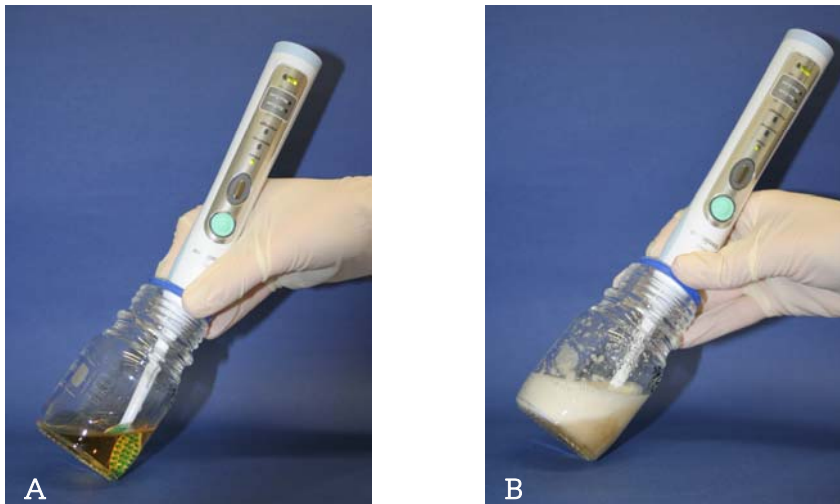


Abbildung 12:

Ausschüttelung der Bakterien in einer BHI-Lösung nach jedem der vier Untersuchungsstadien. A: Eintunken des Bürstenkopfes der elektrischen Zahnbürste (hier: Philips Sonicare FlexCare) in die BHI-Lösung (20 ml). B: Anschalten der Zahnbürste für zwei Minuten, um den Bürstenkopf in der Brain-Heart-Infusion auszusütteln.

4.2.3. Verdünnung der Lösungen der ausgeschüttelten kontaminierten Zahnbürstenköpfe

Zur Keimzählung und Isolierung der Bakterien wurde eine Verdünnung von 10^{-1} bis 10^{-8} gewählt. In durchgeführten Vorversuchen konnte belegt werden, dass durch diese gewählten Verdünnungsstufen erfassbare und übersichtliche Anzahlen an gewachsenen Kolonien entstehen, die später ausgezählt werden konnten.

Aus der BHI-Lösung des jeweilig ausgeschüttelten Bürstenkopfes wurden 0,5 ml pipettiert und in ein mit 4,5 ml BHI-befülltes-Röhrchen gegeben. Dies ergab mit 10^{-1} die erste Verdünnungsstufe (Verdünnung 1). Der Inhalt des 10^{-1} -Röhrchens wurde durch mehrmaliges auf- und abpipettieren durchmischt. Anschließend wurden 0,5 ml entnommen und in ein nächstes Röhrchen mit 4,5 ml BHI gegeben (Verdünnung 2). Der Inhalt der zweiten Verdünnungsstufe wurde ebenfalls gründlich durchmischt. Es folgte in gleichen Schritten die Verdünnungen bis 10^{-8} (Verdünnung 8). Dieses Verfahren wurde für alle kontaminierten Lösungen gleichermaßen durchgeführt. Von der jeweilig verwendeten Ausgangs-Kontaminationslösung wurde ebenfalls eine Verdünnungsreihe bis 10^{-8} angelegt, um die Ausgangskolonien der Versuchsreihe zu ermitteln (vgl. Abb. 13).

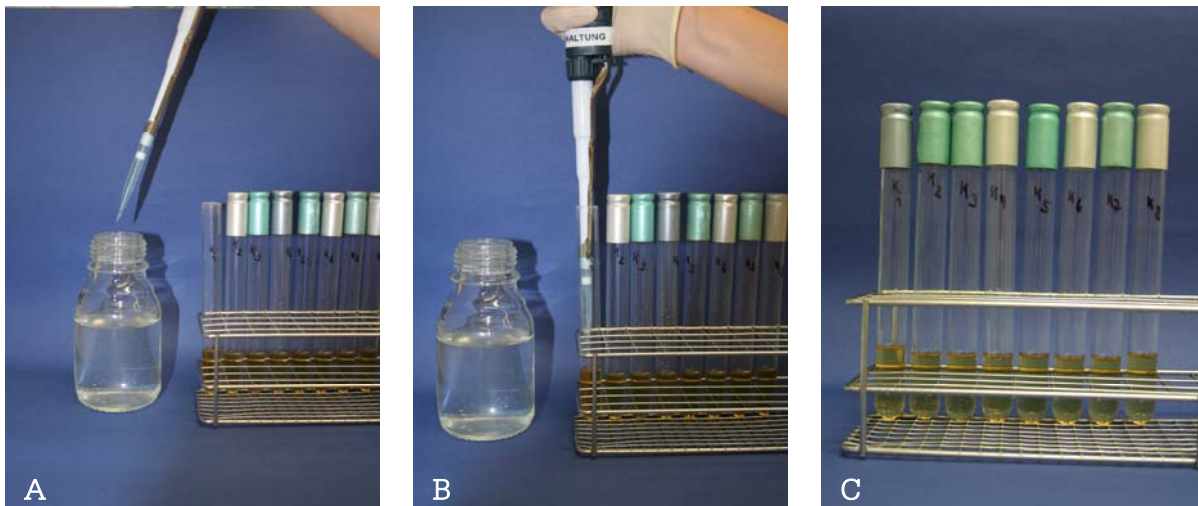


Abbildung 13:

Herstellung von Verdünnungsreihen (hier: aus der Ausgangs-Kontaminationslösung) zur besseren Keimzählung. A: Entnahme von 0,5 ml mit einer Pipette aus der Kontaminationslösung B: Pipettieren der entnommenen Lösung (0,5 ml) in das erste Röhrchen mit 4,5 ml BHI-Lösung. Der Inhalt wird durch mehrmaliges auf- und abpipettieren durchmischt. Anschließend wird aus diesem Röhrchen 0,5 ml entnommen und in das nächste Röhrchen, indem sich wiederum 4,5 ml BHI befinden, pipettiert. C: Resultierende acht Verdünnungsstufen 10^{-1} bis 10^{-8} pro Kontaminations- oder BHI-Lösung.

Aus jedem Röhrchen der resultierenden Verdünnungsreihen wurden anschließend 100 μ l mit einer Eppendorf-Pipette entnommen und Columbia-Blut-Agarplatten

beimpft. Von der unverdünnten BHI-Lösung der ausgeschüttelten Bürste, wurde jeweils ebenfalls 100 μl abpipettiert und auf einer Columbia-Blut-Agarplatte ausplattiert (Verdünnung 0). Mit einer Impfschlinge wurden die Lösungen auf den Agarplatten ausgespatelt (vgl. Abb. 14).

Insgesamt wurden somit neun Platten (Verdünnung 0 bis 8) pro Untersuchungsstadium angelegt. Eine Versuchsreihe beinhaltet die vier Untersuchungsstadien und den jeweiligen Versuch mit der Ausgangs-Kontaminationslösung. Es ergaben sich daraus 45 beimpfte Platten pro Versuchsreihe.

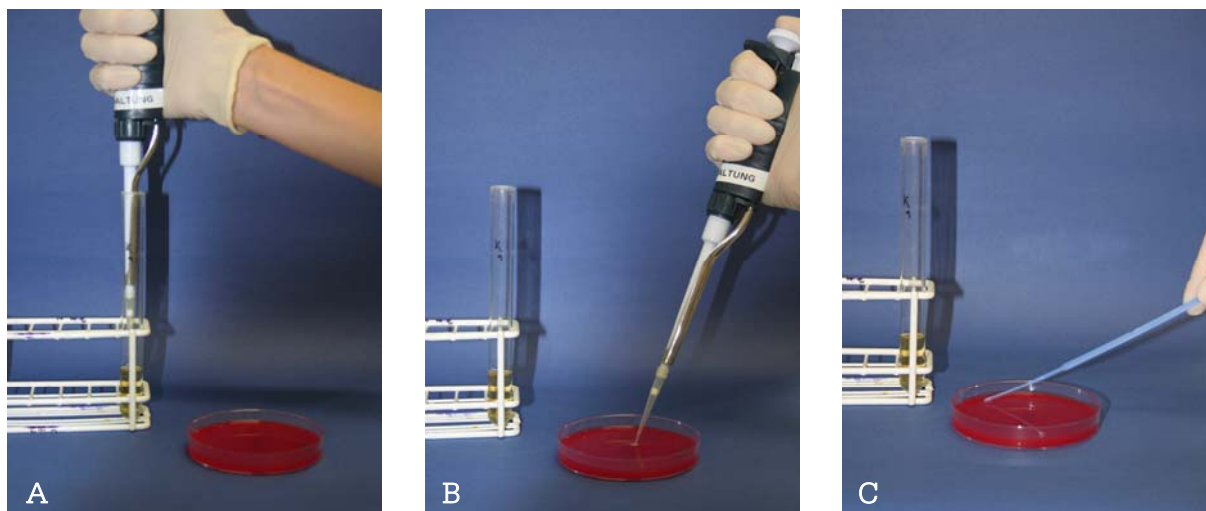


Abbildung 14:

Beimpfung der Blut-Agarplatten. A: Entnahme von 100 μl mit einer Eppendorf-Pipette aus jedem Röhrchen der jeweiligen Verdünnungsstufe. B: Beimpfung einer Blut-Agarplatte mit der entnommenen Lösung. C: Ausspatelung der Lösung mit einer Impfschlinge auf der Agarplatte.

4.2.4. Anzucht der beimpften Columbia-Blut-Agarplatten und Auszählung der Bakterien

Zur Anzuchtung der Bakterienkolonien wurden die beimpften Columbia-Blut-Agarplatten in luftdicht verschließbare Anaerobier-Töpfe unter Hinzugabe von CO_2 bei circa 36°C für 24 Stunden in einem Brutschrank inkubiert (vgl. Abb. 15).



Abbildung 15:

Inkubation der beimpften Columbia-Blut-Agarplatten in verschließbaren Anaerobiertöpfen unter Hinzugabe von CO_2 -Tütchen für 24 Stunden in einem Brutschrank bei 36°C .

Nach 24 Stunden erfolgte die Auszählung der Bakterienkolonien auf den Platten für die jeweiligen Untersuchungsstadien, Zahnbürsten, Funktion je Bakterientyp. Die Columbia-Blut-Agarplatten wurden mit dem bloßen Auge gezählt. Die Verdünnungen 0 bis 3 waren in der Regel nicht auszählbar, da die Bakterienkolonien zu dicht gedrängt und übereinander angewachsen waren (vgl. Abb. 16).



Abbildung 16:

Angewachsene Bakterienkolonien (hier: *Staphylococcus aureus*) aus den verdünnten Lösungen auf Columbia-Blut-Agarplatten nach 24 Stunden Inkubationszeit bei 36°C. A: Bakterienkolonien aus der ausgespatelten Verdünnung-0-Lösung (unverdünnte BHI-Lösung) B: Bakterienkolonien aus der ausgespatelten Lösung der Verdünnung 1 (10^{-1} der Ausgangslösung) C: Bakterienkolonien der Verdünnung-2-Lösung (10^{-2} der Ausgangslösung).

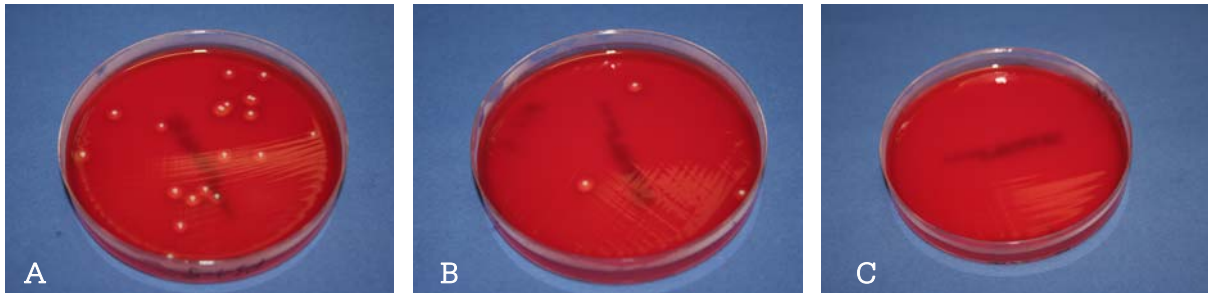
Sobald die Kolonien voneinander abzugrenzen waren (vgl. Abb. 17 und 18), konnten sie ausgezählt werden und in vorbereiteten Tabellen notiert werden. Beim Zählen wurde auf der Rückseite der Columbia-Blut-Agarplatte jede Kolonie mit einem Folienstift markiert, um sicher zu gehen, dass keine Kolonie doppelt notiert wurde.

Auf Nährböden bildet das Bakterium *Streptococcus mutans* rundliche, konvexe Kolonien mit granulierter Oberfläche. Das *Staphylococcus-aureus*-Bakterium charakterisiert sich durch weiß-gelbliche, runde Kolonien, die von einem Hämolysehof umgeben werden. Nach der Auszählung der Bakterienkolonien erfolgte die statistische Auswertung der Daten.



Abbildung 17:

Angewachsene Bakterienkolonien (hier: *Staphylococcus aureus*) aus den verdünnten Lösungen auf Columbia-Blut-Agarplatten nach 24 Stunden Inkubationszeit bei 36°C. A: Bakterienkolonien aus der ausgespatelten Verdünnung-3-Lösung (10^{-3} der Ausgangslösung) B: Bakterienkolonien aus der ausgespatelten Lösung der Verdünnung 4 (10^{-4} der Ausgangslösung) C: Bakterienkolonien der Verdünnung-5-Lösung (10^{-5} der Ausgangslösung).

**Abbildung 18:**

Angewachsene Bakterienkolonien (hier: *Staphylococcus aureus*) aus den verdünnten Lösungen auf Columbia-Blut-Agarplatten nach 24 Stunden Inkubationszeit bei 36°C. A: Bakterienkolonien aus der ausgespatelten Verdünnung-6-Lösung (10^{-6} der Ausgangslösung) B: Bakterienkolonien aus der ausgespatelten Lösung der Verdünnung 7 (10^{-7} der Ausgangslösung) C: Bakterienkolonien der Verdünnung-8-Lösung (10^{-8} der Ausgangslösung).

Neun bis zehn Versuchsdurchführungen wurden für beide Bakterien (*Streptococcus mutans*, *Staphylococcus aureus*) mit jeder der drei Zahnbürsten (Oral-B ProfessionalCare, Oral-B Sonic Complete und Philips Sonicare FlexCare) einzeln und für die zwei Funktionen durchgeführt.

Tabelle 6:

Auflistung der Anzahl der durchgeführten Versuche.

<p>2 Versuchsgruppen (Bakterientypen)</p> <p>x 3 Zahnbürstentypen</p> <p>x 2 Versuchsphasen (Funktion AN/AUS)</p> <p>x 5 Versuche (4 Untersuchungsstadien + Ausgangssuspension)</p> <p>x 10 Versuchsreihen</p>
<p>600 Versuche</p>

4.2.5. Erstellen von Exceltabellen und statistische Auswertung

Die Daten der gezählten Bakterienkolonien wurden in Exceltabellen eingetragen und in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. K. Jung aus der Abteilung für Medizinische Statistik der Georg-August-Universität Göttingen (Leiter: Prof. Dr. E. Brunner) ausgewertet. Alle Analysen wurden mit der frei verfügbaren Software R der Version 2.6 durchgeführt (www.r-project.org). Der Einfluss des Zahnbürstentyps und des Untersuchungsstadiums hinsichtlich des Anteils gefundener Bakterienkolonien wurden mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse untersucht. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $\alpha = 5\%$ festgelegt.

Für die statistische Auswertung wurde die Verdünnungsreihe 3 ausgewählt, da sie in allen vier Stadien eindeutig zählbare Bakterienkolonien aufwies und so als aussagekräftigste Verdünnungsreihe gewertet wurde.

5. Ergebnisse

5.1. Versuche mit dem Bakterium *Streptococcus mutans*

In der Versuchsgruppe des *Streptococcus-mutans*-Bakteriums wurden zwei Versuchsphasen durchgeführt, eine mit ausgeschalteter und eine mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion. Nach der Kontamination erfolgten jeweils in vier Untersuchungsstadien unterschiedliche Dekontaminationsverfahren und das Ausschütteln der Bakterien. Im Untersuchungsstadium 1 wurden die Bakterienkolonien direkt nach der Kontamination ausgezählt. Das zweite Stadium beinhaltete eine Spülung mit destilliertem Wasser, das Stadium 3 die CHX-Dekontamination und das vierte Stadium eine Wasserspülung mit anschließender Lufttrocknung vor dem Ausschütteln.

5.1.1. Ergebnisse der Versuchsphase mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion

5.1.1.1. Einfluss des Untersuchungsstadiums (Funktion AUS)

Bei den Versuchen mit dem Bakterientyp *Streptococcus mutans* und ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion zeigte sich ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Keimbesiedlung hinsichtlich des Untersuchungsstadiums (p -Wert < 0.0001).

Im ersten Untersuchungsstadium, direkt nach der Kontamination, wurden die meisten Bakterienkolonien nachgewiesen. Im Stadium 3, der CHX-Dekontamination, konnten hingegen die wenigsten Kolonien dokumentiert werden (vgl. Abb. 19 und Tab. 7).

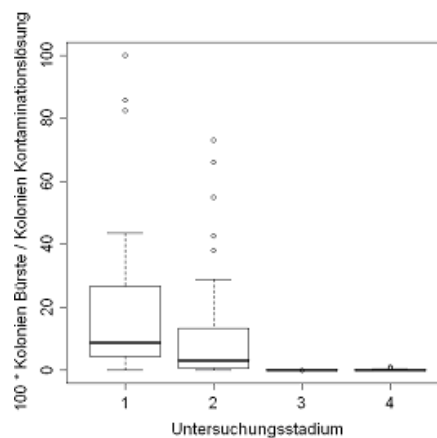


Abbildung 19:

Anteil gefundener *Streptococcus-mutans*-Kolonien bzgl. der Kontaminationslösung bei ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion bezogen auf die Untersuchungsstadien (1: direkt nach der Kontamination, 2: Abspülen mit Wasser, 3: CHX-Dekontamination, 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

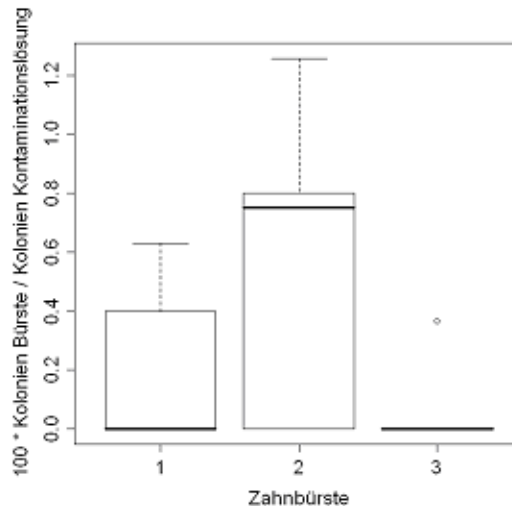
Tabelle 7:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung getrennt nach Untersuchungsstadien der Versuche mit der Bürstenfunktion AUS (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungsstadium	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Streptococcus mutans	1	8.9 (0.0, 100.0)	< 0.0001
	2	3.1 (0.0, 72.9)	
	3	0.0 (0.0, 0.1)	
	4	0.0 (0.0, 1.3)	

Der Median im ersten Untersuchungsstadium lag bei 8,9 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung, maximal konnten 100,0 und minimal 0,0 Bakterienkolonien gezählt werden. Im Untersuchungsstadium 2 wurden die Daten nach Abspülen unter Wasser erhoben. Im Vergleich zum ersten Stadium zeigte sich eine Abnahme der Bakterienkolonien, der Median sank von 8,9 im ersten Untersuchungsstadium auf 3,1 im Untersuchungsstadium 2. Die Spanne reichte von minimal 0,0 bis maximal 72,9 gezählten Kolonien. Das dritte Untersuchungsstadium, die Dekontamination mit CHX, wies mit einem Median von 0,0 Bakterienkolonien die niedrigsten Werte auf. Der minimale Wert lag bei 0,0, der maximale Wert bei 0,1 Bakterienkolonien bezüglich der Kontaminationslösung. Das Stadium, in dem die Daten nach Abspülen mit Wasser und anschließender Lufttrocknung für 24 Stunden erhoben wurden (Untersuchungsstadium 4), zeigte im Vergleich zu den ersten beiden Stadien ebenfalls eine Verringerung der Kolonien. Verglichen mit dem dritten Stadium ist eine minimal höhere Kontamination sichtbar. Der Median im Stadium 4 lag dabei auch bei 0,0, das Maximum jedoch bei 1,3 und das Minimum bei 0,0 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung.

Bei einer nach den vier Untersuchungsstadien getrennten Auswertung war nur im Stadium der Lufttrocknung (Untersuchungsstadium 4) ein statistisch signifikanter Einfluss zwischen den Zahnbürstentypen nachweisbar (vgl. Abb. 20 und Tab. 8).

**Abbildung 20:**

Anteil gefundener Bakterienkolonien (*Streptococcus mutans*) bei den verschiedenen verwendeten Zahnbürstentypen im Untersuchungsstadium 4 mit der Zahnbürstenfunktion AUS (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Tabelle 8:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach den vier Untersuchungsstadien und den drei Zahnbürstentypen während der Versuchsphase mit ausgeschalteter Funktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden, Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungsstadium	Zahnbürste	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Streptococcus mutans	1	1	26.7 (0.0, 113.8)	0.40
		2	25.6 (0.0, 101.5)	
		3	4.9 (2.0, 23.4)	
	2	1	13.3 (0.0, 54.9)	0.14
		2	14.9 (0.0, 72.9)	
		3	1.1 (0.4, 4.4)	
	3	1	0.0 (0.0, 0.0)	0.47
		2	0.0 (0.0, 0.0)	
		3	0.0 (0.0, 0.1)	
	4	1	0.0 (0.0, 0.6)	< 0.0001
		2	0.8 (0.0, 1.3)	
		3	0.0 (0.0, 0.4)	

Bei der Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) und der Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) lag der Median bei 0,0 Kolonien bezüglich der

Kontaminationslösung. Bei der Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2) war der Median mit 0,8 Kolonien etwas erhöht. Der Minimum-Wert lag bei allen drei Zahnbürsten bei 0,0. Der Maximum-Wert ist für die Zahnbürstentypen different. Er lag bei der Sonicare FlexCare bei 0,4, bei der ProfessionalCare 8000 bei 0,6 und bei der Sonic Complete bei 1,3. Der Anteil an gefundenen Bakterienkolonien auf den beiden Schallzahnbürsten (Zahnbürste 2 und 3) untereinander verglichen wies eine große Spanne auf. Auf der Oral-B Sonic Complete wurden die meisten und auf der Philips Sonicare FlexCare die wenigsten Bakterienkolonien dokumentiert. Wurden die Daten rein deskriptiv betrachtet, so konnten bei allen drei Zahnbürstentypen die meisten Bakterien im Stadium 1 und 2 und die wenigsten in Stadium 3 und 4 belegt werden. Im Stadium 3 (CHX-Dekontamination) wurde bei allen drei Zahnbürsten mit einem Median von 0,0 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung die geringste Anzahl des Bakteriums *Streptococcus mutans* nachgewiesen.

In einem Vergleich der Untersuchungsstadien untereinander konnte bei allen Paarvergleichen signifikante Unterschiede festgestellt werden. Das Stadium 1 verglichen mit dem Stadium 2 (p-Wert = 0,02), dem Stadium 3 (p-Wert < 0,0001) und dem Stadium 4 (p-Wert = 0,0003) waren signifikant unterschiedlich. Sowie die Vergleiche zwischen dem Stadium 2 und dem Stadium 3 (p-Wert < 0,0001), dem Stadium 2 und dem Stadium 4 (p-Wert = 0,0013) und dem Stadium 3 und dem Stadium 4 (p-Wert = 0,0008) zeigten ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede (vgl. Tab. 9).

Tabelle 9:

Paarvergleiche der Untersuchungsstadien mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

Bakterium	Vergleich der Untersuchungsstadien	p-Wert
Streptococcus mutans	1 vs. 2	< 0.02
	1 vs. 3	< 0.0001
	1 vs. 4	< 0.0003
	2 vs. 3	< 0.0001
	2 vs. 4	< 0.0013
	3 vs. 4	< 0.0008

5.1.1.2. Einfluss des Zahnbürstentyps (Funktion AUS)

Hinsichtlich des Zahnbürstentyps war in der Versuchsgruppe des Bakteriums *Streptococcus mutans* mit ausgeschalteter Bürstenfunktion ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Zahnbürstenkontamination (p -Wert = 0.0030) erkennbar (vgl. Abb. 21 und Tab. 10).

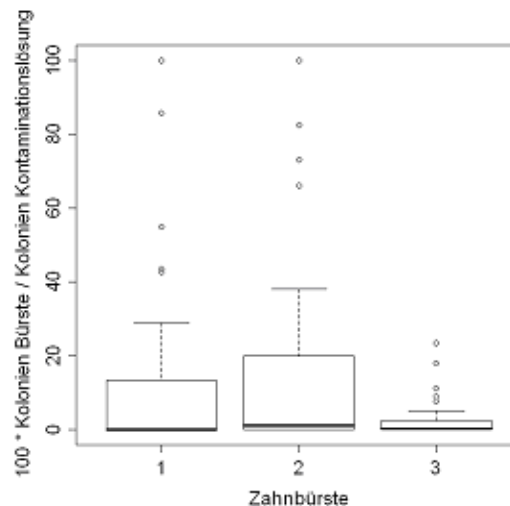


Abbildung 21:

Anteil gefundener *Streptococcus-mutans*-Kolonien bzgl. der Kontaminationslösung in Bezug auf die verschiedenen verwendeten Zahnbürstentypen mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Tabelle 10:

Verteilung der Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach Zahnbürstentyp und ausgeschalteter Bürstenfunktion (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Der p -Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Zahnbürstentyp	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p -Wert
<i>Streptococcus mutans</i>	1	0.0 (0.0, 100.0)	0.0030
	2	1.3 (0.0, 100.0)	
	3	0.4 (0.0, 23.4)	

Die rotierend-oszillierende Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) wies die geringsten Kolonien auf. Ihr Minimum und ihr Median an gefundenen Kolonien auf der Bürste in Bezug auf die Kontaminationslösung lagen bei 0,0. Das Maximum bei 100,0. Auf der Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) konnten zwar maximal

weniger Kolonien (23,4) nachgewiesen werden, der Median lag jedoch mit 0,4 Bakterienkolonien auf der Bürste bezüglich der Kontaminationslösung höher. Das Minimum hatte einen Wert von 0,0 Kolonien. Auf der Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2) wurden die meisten Streptococcus-mutans-Bakterien mit einem Median von 1,3 Kolonien auf der Bürste entdeckt. Hier zeigten sich ein Minimum von 0,0 Kolonien und ein Maximum von 100,0 bezüglich der Kontaminationslösung.

Bei einem paarweisen Vergleich für die Anteile gefundener Kolonien auf den drei Zahnbürstentypen konnten signifikante Unterschiede gezeigt werden (vgl. Tab. 11).

Tabelle 11:

Paarweiser Vergleich bezüglich der Anteile gefundener Bakterienkolonien der drei Zahnbürstentypen. Die Vergleiche beziehen sich auf Untersuchungsstadium 4 in der Versuchsphase mit der Funktion AUS (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Bakterium	Vergleich der Zahnbürstentypen	p-Wert
Streptococcus mutans	1 vs. 2	0.0017
	1 vs. 3	0.0014
	2 vs. 3	0.0005

Da nur im Untersuchungsstadium 4 (Abspülen mit anschließender 24-stündiger Lufttrocknung) ein signifikanter Einfluss erkennbar war, wurden die Daten der drei Zahnbürsten nur aus diesem Stadium miteinander verglichen. Explizit waren bei dem Bakterium Streptococcus mutans alle Zahnbürstentypen paarweise signifikant verschieden: Zahnbürste 1 und Zahnbürste 2 (p-Wert = 0,0017), Zahnbürste 1 und Zahnbürste 3 (p-Wert = 0,0014), sowie Zahnbürste 2 und Zahnbürste 3 (p-Wert = 0,0005).

5.1.1.3. Einfluss des Zahnbürstenkopfes (Funktion AUS)

Hinsichtlich der Bürstenkopfform war kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den ovalen und runden Bürstenköpfen bei den Versuchen mit dem Bakterium Streptococcus mutans in der Versuchsphase mit ausgeschalteter Funktion zu erkennen (p-Wert >0,05). Die rotierend-oszillierende Oral-B ProfessionalCare 8000 ist mit einem runden Kopf, die beiden Schallzahnbürsten (Oral-B Sonic

Complete und Philips Sonicare FlexCare) sind mit einem ovalen Bürstenkopf ausgestattet (vgl. Tab. 12).

Werden die Werte jedoch deskriptiv betrachtet, konnten in den ersten beiden Untersuchungsstadien bei der runden Kopfform mehr Bakterien nachgewiesen werden als bei der ovalen Kopfform. Im Stadium direkt nach der Kontamination (Untersuchungsstadium 1) lag der Median für den runden Kopf bei 26,7 und bei dem ovalen Kopf bei 7,6 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung. Nach Abspülen der Zahnbürste mit Wasser (Untersuchungsstadium 2) war ein Median von 13,3 Kolonien bei der runden Kopfform und von 1,3 Kolonien bei der ovalen zu erkennen. In den Stadien 3 und 4 wurde ein Median bei beiden Köpfen von jeweils 0,0 Kolonien dokumentiert. Es waren keine statistischen Unterschiede zwischen den Zahnbürstenköpfen in diesen vier Stadien zu erkennen.

Tabelle 12:

Vergleiche der Anteile gefundener Bakterienkolonien zwischen den Zahnbürsten mit rundem und ovalem Bürstenkopf und ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

Bakterium	Untersuchungsstadium	Kopfform	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Streptococcus mutans	1	rund oval	26.7 (0.0, 113.8) 7.6 (0.0, 101.5)	0.21
	2	rund oval	13.3 (0.0, 54.9) 1.3 (0.0, 72.9)	0.12
	3	rund oval	0.0 (0.0, 0.0) 0.0 (0.0, 0.1)	0.84
	4	rund oval	0.0 (0.0, 0.6) 0.0 (0.0, 1.3)	0.57

5.1.2. Ergebnisse der Versuchsphase mit angeschalteter Zahnbürsten-funktion

5.1.2.1. Einfluss des Untersuchungsstadiums (Funktion AN)

Ein statistisch signifikanter Einfluss des Untersuchungsstadiums auf die Bürstenkontamination ergab sich in der Versuchsgruppe des Bakteriums *Streptococcus mutans* mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion mit einem p-Wert von < 0.0001 (vgl. Abb. 22 und Tab. 13).

In dem ersten Untersuchungsstadium, unmittelbar nach der Kontamination, wurden die meisten *Streptococcus-mutans*-Bakterien mit einem Median von 7,1 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung gefunden. Das Minimum lag bei 2,4 und das Maximum bei 15,0 Kolonien. Der Median sank im zweiten Untersuchungsstadium, in dem die Daten nach Abspülen unter fließendem Wasser erhoben wurden, auf 2,6 Kolonien. Bei der Untersuchung nach CHX-Dekontamination (Untersuchungsstadium 3) konnten im Mittel keine Kolonien mehr nachgewiesen werden. Der Median betrug 0,0 Kolonien des Bakteriums *Streptococcus mutans*. Maximal wurden noch 0,5 Kolonien entdeckt. Auch im Untersuchungsstadium 4, in dem die Daten nach Abspülen der Bürsten unter fließendem Wasser und anschließender 24-Stunden-Lufttrocknung bei Raumtemperatur festgehalten wurden, konnten tendenziell keine Bakterienkolonien dokumentiert werden (Median = 0,0). Die maximale Anzahl an Bakterienkolonien, die erfasst werden konnte, stieg jedoch auf 1,0.

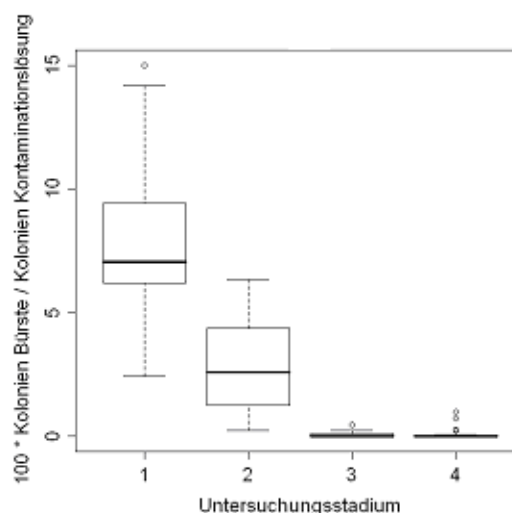


Abbildung 22:

Anteil gefundener *Streptococcus-mutans*-Kolonien bzgl. der Kontaminationslösung bei angeschalteter Zahnbürstenfunktion in Bezug auf die verschiedenen Untersuchungsstadien (1: direkt nach der Kontamination, 2: Abspülen mit Wasser, 3: CHX-Dekontamination, 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

Tabelle 13:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach Untersuchungsstadium und angeschalteter Bürstenfunktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungsstadium	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Streptococcus mutans	1	7.1 (2.4, 15.0)	< 0.0001
	2	2.6 (0.2, 6.3)	
	3	0.0 (0.0, 0.5)	
	4	0.0 (0.0, 1.0)	

Bei einer Untersuchung getrennt nach den vier Stadien, zeigte sich bei den Versuchen mit dem Bakterium Streptococcus mutans in keinem der Untersuchungsstadien ein statistisch signifikanter Einfluss der Zahnbürsten (vgl. Tab. 14).

Tabelle 14:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung mit angeschalteter Bürstenfunktion, getrennt nach den vier Untersuchungsstadien und den drei Zahnbürstentypen (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden, Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungsstadium	Zahnbürste	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert	
Streptococcus mutans	1	1	6.2 (2.4, 14.2)	0.83	
		2	7.1 (2.9, 15.0)		
		3	8.4 (6.6, 12.6)		
	2	1	1	1.5 (0.4, 4.6)	0.51
			2	2.0 (0.2, 6.3)	
			3	4.0 (2.6, 6.3)	
	3	1	1	0.0 (0.0, 0.3)	0.13
			2	0.0 (0.0, 0.5)	
			3	0.1 (0.0, 0.2)	
	4	1	1	0.0 (0.0, 1.0)	0.88
			2	0.0 (0.0, 0.0)	
			3	0.0 (0.0, 0.1)	

Deskriptiv konnte im ersten Stadium, direkt nach der Kontamination, die größte Anzahl an Bakterien nachgewiesen werden. Die Bakterienanzahl nahm im zweiten Stadium, der Abspülung mit Wasser, leicht ab. Die wenigsten Bakterien wurden im dritten Stadium, der CHX-Dekontamination, und im vierten Stadium, der 24-Stunden-Lufttrocknung dokumentiert.

In einem Paarvergleich der Untersuchungsstadien 1 bis 4 untereinander zeigte sich fast durchgehend, mit der einzigen Ausnahme in dem Vergleich der Stadien 3 und 4, ein signifikanter Unterschied mit einem Varianzfaktor von jeweils $< 0,0001$. Der p-Wert des nicht signifikanten Unterschiedes beträgt 0,72 (vgl. Tabl. 15).

Tabelle 15:

Paarvergleiche der Untersuchungsstadien mit der Zahnbürstenfunktion AN (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

Bakterium	Vergleich der Untersuchungsstadien	p-Wert
Streptococcus mutans	1 vs. 2	< 0.0001
	1 vs. 3	< 0.0001
	1 vs. 4	< 0.0001
	2 vs. 3	< 0.0001
	2 vs. 4	< 0.0001
	3 vs. 4	< 0.72

5.1.2.2. Einfluss des Zahnbürstentyps (Funktion AN)

Bei den Versuchen mit dem Bakterium Streptococcus mutans und angeschalteter Zahnbürstenfunktion waren keine statistischen Signifikanzen hinsichtlich des Einflusses zwischen den unterschiedlichen Zahnbürstentypen (Oral-B ProfessionalCare 8000, Oral-B Sonic Complete und Philips Sonicare FlexCare) feststellbar (vgl. Tab. 16 und Abb. 23).

Bei einer deskriptiven Betrachtung konnten bei der Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2) mit einem Median von 0,5 Kolonien die wenigsten Bakterienkolonien nachgewiesen werden, gefolgt von der Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) mit einem Median von 0,6 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung. Der Median

der Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) mit 1,4 Bakterienkolonien lag hier am höchsten.

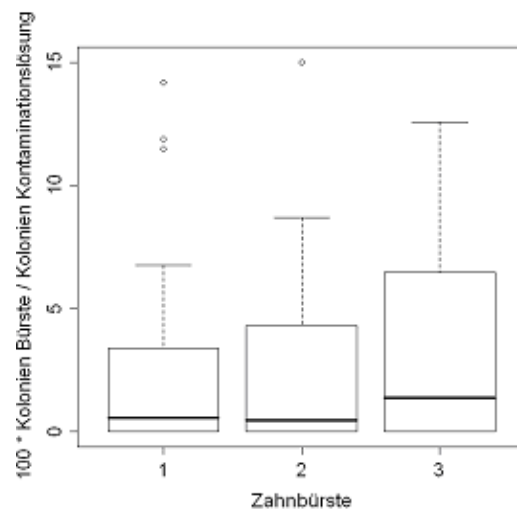


Abbildung 23:

Anteil gefundener Streptococcus-mutans-Kolonien bzgl. der Kontaminationslösung bei den verschiedenen verwendeten Zahnbürstentypen mit der Zahnbürstenfunktion AN (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Tabelle 16:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach Zahnbürstentyp mit angeschalteter Funktion (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Zahnbürstentyp	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Streptococcus mutans	1	0.6 (0.0, 14.2)	0.1092
	2	0.5 (0.0, 15.0)	
	3	1.4 (0.0, 12.6)	

5.1.2.3. Einfluss des Zahnbürstenkopfes (Funktion AN)

Im Vergleich der beiden Kopfformen (oval oder rund) zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede in den jeweiligen Untersuchungsstadien bezüglich der Versuche mit dem Bakterium Streptococcus mutans und angeschalteter Bürstenfunktion (vgl. Tabl. 17). Deskriptiv konnten bei den ersten beiden Stadien etwas mehr Bakterienkolonien auf den ovalen Zahnbürstenköpfen als auf den runden Köpfen nachgewiesen werden. Im Stadium direkt nach der Kontamination (Untersuchungsstadium 1) lag der Median für den runden Kopf bei 6,2 und für den ovalen Bürstenkopf bei 7,2 Kolonien. Sobald die Bürste mit Wasser abgespült wurde

(Untersuchungsstadium 2) ist die Spanne zwischen den beiden Bürstenköpfen noch etwas größer. Der Median für die ovalen Köpfe betrug 3,6 und für die runden Zahnbürstenköpfe bei 1,5 Bakterienkolonien. Im dritten und vierten Stadium waren kaum noch Kolonien zu zählen, so dass sich keine Unterscheidung der Bürstenköpfe feststellen lässt.

Tabelle 17:

Vergleiche der Anteile gefundener Bakterienkolonien zwischen den Zahnbürsten mit rundem und ovalem Bürstenkopf mit der Zahnbürstenfunktion AN (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

Bakterium	Untersuchungsstadium	Kopfform	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Streptococcus mutans	1	rund oval	6.2 (2.4, 14.2) 7.2 (2.9, 15.0)	0.53
	2	rund oval	1.5 (0.4, 4.6) 3.6 (0.2, 6.3)	0.25
	3	rund oval	0.0 (0.0, 0.3) 0.0 (0.0, 0.5)	0.06
	4	rund oval	0.0 (0.0, 1.0) 0.0 (0.0, 0.1)	0.98

5.1.3. Ergebnisse des Vergleichs der ein- und ausgeschalteten Zahnbürstenfunktion

Mit einer dreifachen Varianzanalyse wurde überprüft, ob die Funktion (AN oder AUS) einen signifikanten Einfluss auf die Kontamination hat. Statistisch konnte kein signifikanter Effekt hinsichtlich der unterschiedlichen Zahnbürstenfunktion festgestellt werden (vgl. Tab. 18)

Der singuläre Effekt des Untersuchungsstadiums und des Zahnbürstentyps war bei den Versuchen mit dem Bakterium Streptococcus mutans signifikant. Der p-Wert lag hinsichtlich des Untersuchungsstadiums bei $< 0,0001$ und bezüglich der Zahnbürstentypen bei 0,02. Die Funktion, sprich eine an- oder ausgeschaltete Zahnbürste, wies bei Bakterium Streptococcus mutans keinen signifikanten Effekt

auf. Wird jedoch die Wechselwirkung zweier Effekte untersucht, konnte ein signifikanter Einfluss zwischen Untersuchungsstadium und Zahnbürstentyp (p -Wert = 0,006), zwischen Untersuchungsstadium und Funktion (p -Wert = 0,002) und zwischen Zahnbürstentyp und Funktion gezeigt werden (p -Wert = 0,0002). Sobald alle drei Faktoren, Untersuchungsstadium, Zahnbürstentyp und Funktion in Wechselwirkung gebracht wurden, zeigte sich wiederum kein signifikanter Effekt bei den Versuchen mit dem Bakterium *Streptococcus mutans* (vgl. Tab. 18).

Tabelle 18:

Wechselwirkungen zwischen den einzelnen und kombinierten Effekten bei den Versuchen mit dem Bakterium *Streptococcus mutans*.

Bakterium	Effekt	p-Wert
Streptococcus mutans	Untersuchungsstadium	< 0.0001
	Zahnbürstentyp	< 0.02
	Funktion	< 0.07
	Untersuchungsstadium * Zahnbürstentyp	< 0.006
	Untersuchungsstadium * Funktion	< 0.002
	Zahnbürstentyp * Funktion	< 0.0002
	Untersuchungsstadium * Zahnbürstentyp * Funktion	< 0.7

5.1.4. Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuche mit dem Bakterium *Streptococcus mutans*

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei den Versuchen mit dem Bakterium *Streptococcus mutans* und mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion der Einfluss des Untersuchungsstadiums auf die Kontamination statistisch signifikant war. Im Untersuchungsstadium direkt nach der Kontamination (Stadium 1) wurden die meisten Bakterienkolonien nachgewiesen, gefolgt vom zweiten Untersuchungsstadium, in dem die Daten nach Abspülen der Zahnbürste unter Wasser erhoben wurden. In den Untersuchungsstadien drei (CHX-Dekontamination) und vier (Abspülen mit Wasser und anschließender Lufttrocknung) konnten die wenigsten Bakterien gefunden werden, wobei die Anzahl der dokumentierten Bakterien im Untersuchungsstadium der CHX-Dekontamination am geringsten war. Wurden die Untersuchungsstadien eins bis vier getrennt von einander ausgewertet, konnte ein statistisch signifikanter Einfluss zwischen den Zahnbürsten jedoch nur im Untersuchungsstadium vier bestätigt werden. Hinsichtlich des Zahnbürstentyps zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Einfluss in Bezug auf die Bakterienbesiedlung. In dieser Auswertung waren auf der rotierend-oszillierenden Zahnbürste Oral-B ProfessionalCare 8000 die wenigsten Bakterienkolonien zu dokumentieren. Auf der Schallzahnbürste Sonic Complete von Oral-B konnten wieder die meisten Bakterien ermittelt werden. Bei einem paarweisen Vergleich der drei Zahnbürstentypen untereinander konnten statistisch signifikante Unterschiede gezeigt werden. Bezüglich der Zahnbürstenkopfform waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden ovalen Bürstenköpfen der Schallzahnbürsten und dem runden Kopf der rotierend-oszillierenden Zahnbürste zu erkennen. Deskriptiv waren auf dem runden Bürstenkopf mehr *Streptococcus-mutans*-Bakterienkolonien als auf dem ovalen Kopf nachweisbar.

Bei den Versuchen mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion, zeigte sich nur hinsichtlich des Untersuchungsstadiums ein signifikanter Einfluss bezüglich der Kontamination. Wie schon bei den Versuchen mit ausgeschalteter Funktion, wurden im ersten Untersuchungsstadium, direkt nach der Kontamination die meisten und im Stadium der CHX-Dekontamination (Untersuchungsstadium 3) und im Stadium der Abspülung mit Wasser und anschließender Lufttrocknung (Untersuchungsstadium 4) die wenigsten Bakterien gezählt. Getrennt nach den Untersuchungsstadien ausgewertet, konnte in keinem der vier Untersuchungsstadien ein signifikanter Einfluss

der Zahnbürsten aufgezeigt werden. Auch in Bezug auf den Einfluss des Zahnbürstentyps konnte keine Signifikanz belegt werden. Deskriptiv wurden jedoch auf der Oral-B Sonic Complete die wenigsten und auf der Philips Sonicare FlexCare die meisten Kolonien des Bakteriums *Streptococcus mutans* nachgewiesen. Die Bürstenkopfform zeigte, wie schon bei den Versuchen mit ausgeschalteter Funktion, keinen signifikanten Unterschied in den jeweiligen Untersuchungsstadien. Auf den beiden ovalen Zahnbürstenköpfen wurden deskriptiv etwas mehr Bakterien als auf dem runden Kopf dokumentiert. Ein signifikanter Einfluss der Bürstenfunktion auf die Kontamination konnte nicht nachgewiesen werden (vgl. Tab. 19).

Tabelle 19:

Zusammenfassung der Ergebnisse für die Versuchsgruppe des Bakteriums *Streptococcus mutans* und der Vergleich der Versuchsphasen mit an- und ausgeschalteter Bürstenfunktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Luft-trocknung für 24 Stunden, Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

		Bakterium <i>Streptococcus mutans</i>	
Zahnbürsten- Funktion		AUS	AN
Untersuchungs- stadien	statistischer Einfluss	signifikant	signifikant
	Bakterienanzahl deskriptiv	3 < 4 < 2 < 1	4 < 3 < 2 < 1
Zahn- bürstentypen	statistischer Einfluss	signifikant	nicht signifikant
	Bakterienanzahl deskriptiv	1 < 3 < 2	2 < 1 < 3
Zahn- büstenköpfe	statistischer Einfluss	nicht signifikant	nicht signifikant
	Bakterienanzahl deskriptiv	oval < rund	rund < oval

5.2. Versuche mit dem Bakterium Staphylococcus aureus

Die Versuche mit dem Bakterium Staphylococcus aureus wurden mit aus- und angeschalteter Bürstenfunktion durchgeführt. Auch in dieser Versuchsgruppe wurde die Keimbesiedlung von Zahnbürsten in vier Untersuchungsstadien untersucht. Im ersten Untersuchungsstadium wurden die Bürstenköpfe direkt nach der Kontamination ausgeschüttelt. Im zweiten Stadium erfolgte eine Spülung mit destilliertem Wasser, das dritte Stadium beinhaltete eine CHX-Dekontamination und im vierten Stadium wurde eine Lufttrocknung nach dem Abspülen mit Wasser durchgeführt.

5.2.1. Ergebnisse der Versuchsphase mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion

5.2.1.1. Einfluss des Untersuchungsstadiums (Funktion AUS)

In der Versuchsgruppe des Bakteriums Staphylococcus aureus zeigte sich bei ausgeschalteter Bürstenfunktion ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Bakterienbesiedlung hinsichtlich des Untersuchungsstadium (p -Wert < 0.0001). Im ersten Untersuchungsstadium, direkt nach der Kontamination, wurden wie bei dem Bakterium Streptococcus mutans, die meisten Bakterienkolonien nachgewiesen. Im Stadium der CHX-Dekontamination (Untersuchungsstadium 3) konnten ebenfalls die wenigsten Kolonien dokumentiert werden. Der Median im ersten Untersuchungsstadium lag bei 18,9 Bakterienkolonien bezüglich der Kontaminationslösung. Die maximale Anzahl lag bei 50,0 Kolonien, die minimale Anzahl hatte einen Wert von 2,2 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung. Im Untersuchungsstadium 2 wurden die Daten nach Abspülen unter Wasser erhoben. Es zeigte sich eine Abnahme im Vergleich zum Stadium 1. Hier sank der Median von 18,9 Kolonien im ersten Stadium auf 7,6 im zweiten Stadium. Das dritte Untersuchungsstadium, die Dekontamination mit CHX, wies mit einem Median von 0,3 die niedrigsten Werte gefundener Bakterienkolonien auf der Bürste auf. Zwischen 0,0 und 7,0 Kolonien des Bakteriums Staphylococcus aureus konnten auf der Bürste gefunden werden. Das Stadium der Abspülung mit Wasser und anschließender 24-stündiger Lufttrocknung (Untersuchungsstadium 4) zeigte im Vergleich zu den ersten beiden Stadien eine Verringerung der Kolonien, im Vergleich zum dritten Stadium eine höhere Bakterienanzahl. Der Median lag bei 0,9 Kolonien, das Maximum bei 71,4

und das Minimum bei 0,0 gefundenen Bakterienkolonien bezüglich der Kontaminationslösung (vgl. Abb. 24 und Tab. 20).

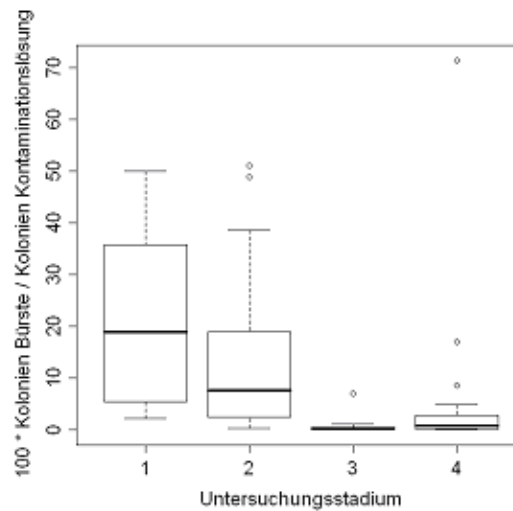


Abbildung 24:

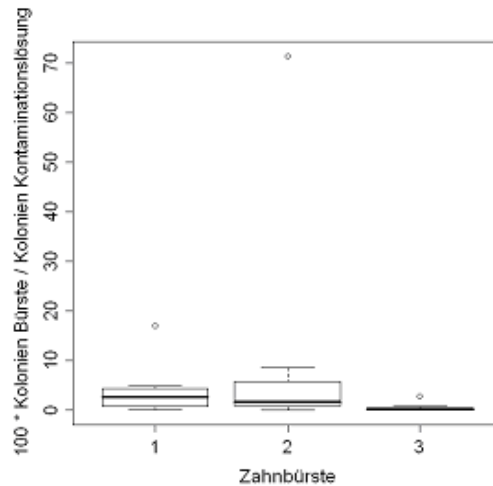
Anteil gefundener *Staphylococcus-aureus*-Kolonien bzgl. der Kontaminationslösung bei den verschiedenen Untersuchungsstadien mit der Zahnbürstenfunktion AUS (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Luft-trocknung für 24 Stunden).

Tabelle 20:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach Untersuchungsstadium mit ausgeschalteter Funktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungsstadium	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
<i>Staphylococcus aureus</i>	1	18.9 (2.2, 50.0)	< 0.0001
	2	7.6 (0.4, 51.1)	
	3	0.3 (0.0, 7.0)	
	4	0.9 (0.0, 71.4)	

Bei einer nach den vier Untersuchungsstadien getrennten Auswertung zeigte sich bei den Versuchen mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* ebenfalls nur im Untersuchungsstadium der Abspülung unter Wasser und anschließender Lufttrocknung für 24 Stunden (Stadium 4) mit einem p-Wert von 0,0155 ein statistisch signifikanter Einfluss zwischen den Zahnbürstentypen (vgl. Abb. 25 und Tab. 21).

**Abbildung 25:**

Anteil gefundener Bakterienkolonien (*Staphylococcus aureus*) bei den verschiedenen verwendeten Zahnbürstentypen im Untersuchungsstadium 4 mit der Zahnbürstenfunktion AUS (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Bemerke Ausreißer bei 70 (Zahnbürste 2).

Tabelle 21:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach den vier Untersuchungsstadien und den drei Zahnbürstentypen mit ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und Lufttrocknung für 24 Stunden, Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungsstadium	Zahnbürste	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
<i>Staphylococcus aureus</i>	1	1	22.4 (3.7, 50.0)	0.83
		2	29.4 (3.4, 40.0)	
		3	13.9 (2.2, 36.6)	
	2	1	20.0 (3.2, 51.1)	0.45
		2	9.6 (2.2, 38.6)	
		3	2.0 (0.4, 19.0)	
	3	1	0.2 (0.0, 0.9)	0.57
		2	0.3 (0.0, 0.9)	
		3	0.3 (0.0, 0.6)	
	4	1	2.7 (0.2, 17.0)	0.0155
		2	1.7 (0.1, 71.4)	
		3	0.2 (0.0, 2.9)	

Bei der Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) lag der maximale Wert bei 17,0 Kolonien auf der Bürste bezüglich der Kontaminationslösung. Der minimale Wert lag bei 0,2 und der Median bei 2,7. Bei der Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2) war die Spanne zwischen dem Minimum (0,1 Kolonien) und dem Maximum (71,4 Kolonien) am größten, jedoch lag der Median mit 1,7 Bakterienkolonien niedriger als bei der Oral-B ProfessionalCare 8000. Bei der Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) wurden die wenigsten Kolonien bei einem Median von 0,2 nachgewiesen. Das Maximum lag bei 2,9 und das Minimum bei 0,0 Bakterienkolonien. Unter deskriptiver Fokussierung ließen sich im ersten Stadium die meisten Bakterienkolonien, gefolgt vom zweiten Stadium nachweisen. Im dritten und vierten Untersuchungsstadium konnten die wenigsten Bakterien gezählt werden, wobei im vierten etwas mehr Kolonien nachweisbar waren.

Bei einem Vergleich der Untersuchungsstadien untereinander konnten statistisch signifikante Unterschiede bei fast allen Paarvergleichen festgestellt werden. Bei einem Vergleich der Untersuchungsstadien 1 und 3, der Stadien 1 und 4, der Stadien 2 und 3 und der Stadien 2 und 4 konnte jeweils ein p-Wert von $< 0,0001$ errechnet werden. Der p-Wert der Varianzanalyse betrug 0,03 in dem Vergleich zwischen dem Stadium 3 und dem Stadium 4. Nur im Vergleich des ersten Stadiums mit dem zweiten Untersuchungsstadium konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (vgl. Tab. 22).

Tabelle 22:

Paarvergleiche der Untersuchungsstadien in der Versuchsphase mit der Bürstenfunktion AUS (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

Bakterium	Vergleich der Untersuchungsstadien	p-Wert
Staphylococcus aureus	1 vs. 2	< 0.06
	1 vs. 3	< 0.0001
	1 vs. 4	< 0.0001
	2 vs. 3	< 0.0001
	2 vs. 4	< 0.0001
	3 vs. 4	< 0.03

5.2.1.2. Einfluss des Zahnbürstentyps (Funktion AUS)

Bei den Versuchen mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* und ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion war statistisch kein signifikanter Einfluss des Zahnbürstentyps in Bezug auf die Kontamination sichtbar (p -Wert = 0,0897). Deskriptiv betrachtet zeigte die Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) den niedrigsten Bakterienbesatz. Auf der Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) wurden mit einem Median von 4,4 Kolonien und auf der Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2) mit einem Median von 4,0 Bakterien-kolonien mehr Bakterien dokumentiert als auf der Philips Sonicare FlexCare (1,2 Kolonien). Die Minima lagen für alle Bürsten bei 0,0 Kolonien, die Maxima unterscheiden sich wie folgt: erste Zahnbürste 51,1 Kolonien, zweite Zahnbürste 71,4 und dritte Zahnbürste 36,6 Kolonien (vgl. Abb. 26 und Tab. 23).

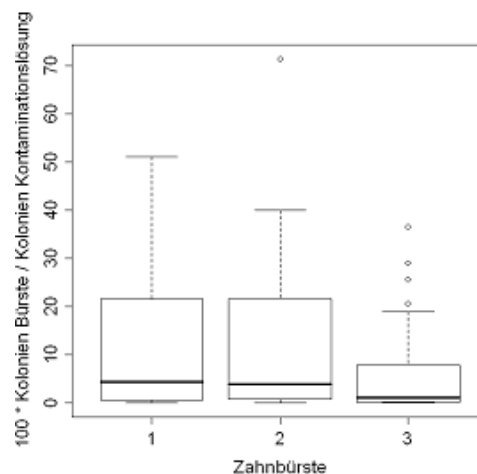


Abbildung 26:

Anteil gefundener *Staphylococcus-aureus*-Kolonien bzgl. der Kontaminationslösung bei den verschiedenen verwendeten Zahnbürstentypen mit der Zahnbürstenfunktion AUS (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Tabelle 23:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach Zahnbürstentypen mit ausgeschalteter Funktion (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Der p -Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Zahnbürsten-Typ	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p -Wert
<i>Staphylococcus aureus</i>	1	4.4 (0.0, 51.1)	0.0897
	2	4.0 (0.0, 71.4)	
	3	1.2 (0.0, 36.6)	

Bei einem paarweisen Vergleich für die Anteile gefundener Kolonien an den drei Zahnbürstentypen konnten jedoch statistische signifikante Unterschiede gezeigt werden (vgl. Tab. 24).

Da in den Untersuchungsstadien 1, 2 und 3 bei der nach Stadien getrennten Auswertung, kein signifikanter Einfluss dokumentiert werden konnte, lag der Fokus für diesen paarweisen Vergleich nur auf dem Untersuchungsstadium vier. Bei dem Bakterium *Staphylococcus aureus* unterschieden sich im Untersuchungsstadium 4 (Abspülung mit folgender 24-stündiger Lufttrocknung) die ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) und die Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) (p -Wert = 0,02) sowie die Sonic Complete (Zahnbürste 2) und Sonicare FlexCare (p -Wert = 0,01) signifikant. Bei einem Vergleich zwischen den beiden Oral-B Zahnbürsten (ProfessionalCare 8000; Sonic Complete) konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Tabelle 24:

Paarweiser Vergleich bezüglich der Anteile gefundener Bakterienkolonien der drei Zahnbürstentypen mit ausgeschalteter Bürstenfunktion. Die Vergleiche beziehen sich auf Untersuchungsstadium 4. (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Bakterium	Vergleich der Zahnbürstentypen	p-Wert
Staphylococcus aureus	1 vs. 2	0.61
	1 vs. 3	0.02
	2 vs. 3	0.01

5.2.1.3. Einfluss des Zahnbürstenkopfes (Funktion AUS)

Hinsichtlich der Bürstenkopfform war kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den ovalen und runden Bürstenköpfen zu erkennen (p -Wert > 0,05). In allen vier Untersuchungsstadien konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Zahnbürstenkontamination nachgewiesen werden (vgl. Tab. 25).

Bei einer deskriptiven Anschauung konnten auf dem ovalen Bürstenkopf weniger Bakterienkolonien dokumentiert werden als auf dem runden Kopf. Einen ovalen Zahnbürstenkopf hatten die beiden Schallzahnbürsten (Oral-B Sonic Complete und Philips Sonicare FlexCare), einen runden Kopf hatte die Oral-B ProfessionalCare 8000. In den Stadien 1, 2 und 4 lag jeweils der Median des ovalen

Zahnbürstenkopfes niedriger als der Median der runden Kopfform. Nur im dritten Stadium lag der Median des ovalen Kopfes (0,3 Kolonien) etwas höher als bei dem runden Zahnbürstenkopf (0,2 Kolonien).

Tabelle 25:

Vergleiche der Anteile gefundener Bakterienkolonien zwischen den Zahnbürsten mit rundem und ovalem Bürstenkopf in der Versuchsphase mit Funktion AUS (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungsstadium	Kopfform	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Staphylococcus aureus	1	rund oval	22.4 (3.7, 50.0) 18.6 (2.2, 40.0)	0.66
	2	rund oval	20.0 (3.2, 51.1) 5.0 (0.4, 38.6)	0.66
	3	rund oval	0.2 (0.0, 0.9) 0.3 (0.0, 7.0)	0.41
	4	rund oval	2.7 (0.2, 17.0) 0.7 (0.0, 71.4)	0.74

5.2.2. Ergebnisse aus den Versuchen mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion

5.2.2.1. Einfluss des Untersuchungsstadiums (Funktion AN)

Werden die vier Untersuchungsstadien betrachtet, war bei den Versuchen mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* und angeschalteter Bürstenfunktion ein statistisch signifikanter Einfluss bezüglich der Bakterienbesiedlung zu erkennen (p -Wert < 0.0001) (vgl. Abb. 27 und Tab. 26).

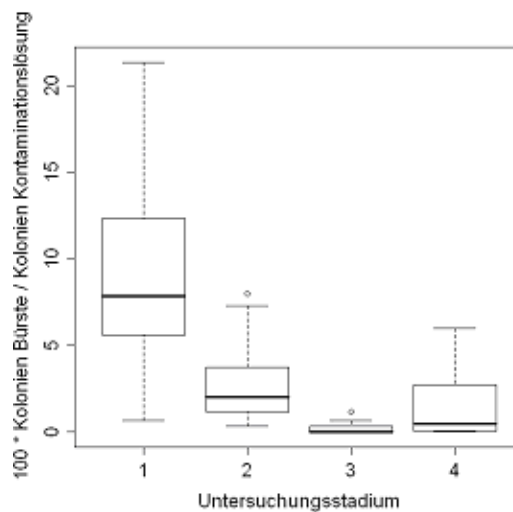


Abbildung 27:

Anteil gefundener *Staphylococcus-aureus*-Kolonien bzgl. der Kontaminationslösung bei den verschiedenen Untersuchungsstadien mit der Zahnbürstenfunktion AN (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Luft-trocknung für 24 Stunden).

Im ersten Untersuchungsstadium, unmittelbar nach der Kontamination konnten maximal 21,4, minimal 0,7 und ein Median von 7,8 Bakterienkolonien bezüglich der Kontaminationslösung nachgewiesen werden. Der Median sank im zweiten Untersuchungsstadium, in dem die Daten nach Abspülen unter fließendem Wasser erhoben wurden, auf 2,0 Kolonien. Bei der Untersuchung nach CHX-Dekontamination (Untersuchungsstadium 3) konnten annähernd keine Kolonien mehr dokumentiert werden. Maximal konnten noch 1,2 Kolonien des Bakteriums *Staphylococcus aureus* gezählt werden. Im Untersuchungsstadium 4 wurden die Zahnbürsten nach Abspülen unter fließendem Wasser und anschließend für 24 Stunden bei Raumtemperatur luft-getrocknet und es zeigte sich wieder ein leicht erhöhter Median von 0,5 Bakterienkolonien bezüglich der Kontaminationslösung. Das Maximum lag hier bei 6,0 und das Minimum bei 0,0 Bakterienkolonien. Somit wurden

in den Untersuchungs-stadien 3 und 4 die wenigsten Staphylococcus-aureus-Kolonien gefunden (vgl. Abb. 27 und Tab. 26).

Tabelle 26:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach Untersuchungsstadien mit angeschalteter Funktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungsstadium	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Staphylococcus aureus	1	7.8 (0.7, 21.4)	< 0.0001
	2	2.0 (0.4, 8.0)	
	3	0.0 (0.0, 1.2)	
	4	0.5 (0.0, 6.0)	

In einer nach Untersuchungsstadien getrennten Auswertung ließ sich in Bezug auf die Bürstenkontamination ein statistisch signifikanter Einfluss der Zahnbürsten nur im Untersuchungsstadium 3, der CHX-Dekontamination, mit einem Varianzfaktor von 0,006 und im Untersuchungsstadium 4, der Lufttrocknung, mit einem p-Wert < 0,0001 nachweisen (vgl. Abb. 28 und Tab. 27).

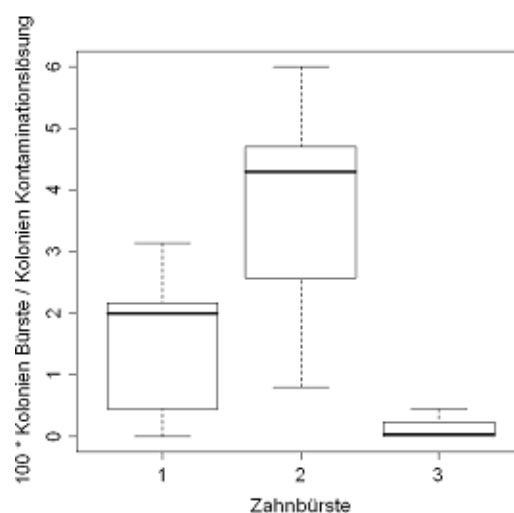


Abbildung 28:

Anteil gefundener Bakterienkolonien (Staphylococcus aureus) bei den verschiedenen verwendeten Zahnbürstentypen im Untersuchungsstadium 4 mit der Zahnbürstenfunktion AN (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Im dritten Untersuchungsstadium lag der Median bei der Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) und der Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2) bei 0,0. Bei der Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) befand er sich bei 0,2 Bakterienkolonien bezüglich der Kontaminationslösung. Die Minimum-Werte lagen für alle drei Bürsten bei 0,0. Das Maximum betrug für die Oral-B ProfessionalCare 8000 1,2, für die Oral-B Sonic Complete 0,0 und für die Philips Sonicare FlexCare 0,6 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung. In diesem Stadium wies die Zahnbürste zwei die wenigsten und die Zahnbürste drei die meisten Bakterienkolonien auf (vgl. Tab. 27).

Tabelle 27:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung, getrennt nach den vier Untersuchungsstadien und den drei Zahnürstentypen mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden, Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Untersuchungs-stadium	Zahn-bürste	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Staphylococcus aureus	1	1	8.4 (0.7, 21.4)	0.22
		2	5.7 (1.0, 13.4)	
		3	8.0 (5.0, 15.3)	
	2	1	2.0 (0.6, 7.3)	0.06
		2	3.1 (0.4, 8.0)	
		3	1.7 (0.6, 6.9)	
	3	1	0.0 (0.0, 1.2)	0.006
		2	0.0 (0.0, 0.0)	
		3	0.2 (0.0, 0.6)	
	4	1	2.0 (0.0, 3.1)	< 0.0001
		2	4.3 (0.8, 6.0)	
		3	0.0 (0.0, 0.4)	

Im vierten Untersuchungsstadium, in dem die Zahnbürste abgespült und für 24 Stunden luftgetrocknet wurde, lag der Median für die Oral-B ProfessionalCare 8000 bei 2,0, das Minimum bei 0,0 und das Maximum bei 3,1 Bakterienkolonien. Der Median der Oral-B Sonic Complete zeigte mit 4,3 Kolonien einen höheren Wert als bei der Oral-B ProfessionalCare 8000 auf. Für diese Bürste waren minimal 0,8 und

maximal 6,0 Kolonien gezählt worden. Bei der Philips Sonicare FlexCare konnten zwischen 0,0 und 0,4 Bakterienkolonien nachgewiesen werden. Der Median beträgt 0,0. Im Stadium vier konnten auf der Zahnbürste 2 die meisten und auf der Bürste 3 die wenigsten Kolonien festgestellt werden, der Anteil an gefundenen Bakterienkolonien auf der Zahnbürste 1 lag dazwischen. In einer deskriptiven Betrachtung der ersten beiden Stadien war die Bakterienverteilung, die dokumentiert wurde, für jede Zahnbürste sehr unterschiedlich. Im ersten Stadium, direkt nach der Kontamination, wurden auf der ersten die meisten und auf der zweiten Bürste die wenigsten Kolonien gefunden. Im zweiten Stadium als die Zahnbürste mit Wasser abgespült wurde, konnte auf der dritten die wenigsten und auf der zweiten die meisten Bakterienkolonien nachgewiesen werden. Die Abweichungen zwischen den drei Zahnbürsten sind jedoch gering (vgl. Tab. 27).

In einem Paarvergleich der Untersuchungsstadien 1 bis 4 untereinander zeigte sich bei fast allen Vergleichen ein statistisch signifikanter Unterschied mit einem Varianzfaktor von jeweils $< 0,0001$. Eine Ausnahme bestand nur in dem Vergleich der Untersuchungsstadien 2 und 4, hier war kein signifikanter Unterschied feststellbar (vgl. Tab. 28).

Tabelle 28:

Paarvergleiche der Untersuchungsstadien in der Versuchsphase mit Funktion AN (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, Untersuchungsstadium 2: Abspülen mit Wasser, Untersuchungsstadium 3: CHX-Dekontamination, Untersuchungsstadium 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

Bakterium	Vergleich der Untersuchungsstadien	p-Wert
Staphylococcus aureus	1 vs. 2	< 0.0001
	1 vs. 3	< 0.0001
	1 vs. 4	< 0.0001
	2 vs. 3	< 0.0001
	2 vs. 4	< 0.13
	3 vs. 4	< 0.0001

5.2.2.2. Einfluss des Zahnbürstentyps (Funktion AN)

Hinsichtlich der drei Bürstentypen Oral-B ProfessionalCare 8000, Oral-B Sonic Complete und Philips Sonicare FlexCare zeigte sich bei den Versuchen mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* und angeschalteter Bürstenfunktion ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Zahnbürstenkontamination (p -Wert = 0.0062).

Auf der Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2) wurden mit einem Median von 3,3 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung am meisten Bakterien gefunden. Die Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) wies mit einem Median von 0,6 Kolonien die wenigsten Kolonien auf. Auf der rotierend-oszillierenden Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) konnten 2,0 Kolonien bezüglich der Kontaminationslösung gezählt werden. Das Minimum der Kolonien lag bei allen drei Zahnbürsten bei 0,0. Die Maxima unterscheiden sich wie folgt: Sie befanden sich für die Zahnbürste 1 bei 21,4, für die Zahnbürste 2 bei 13,4 und für die dritte Bürste bei 15,3 (vgl. Abb. 29 und Tab. 29).

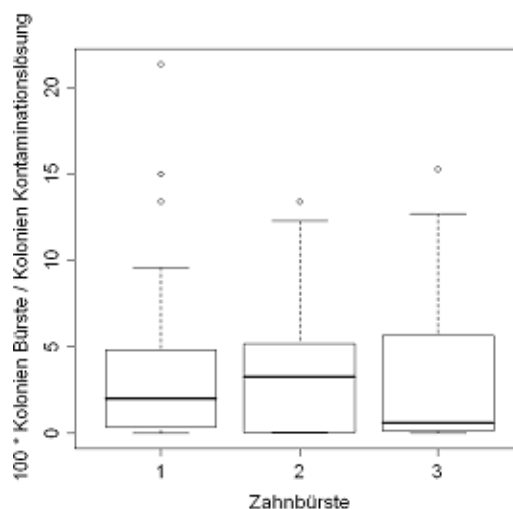


Abbildung 29:

Anteil gefundener *Staphylococcus*-Kolonien bzgl. der Kontaminationslösung bei den verschiedenen verwendeten Zahnbürstentypen mit der Zahnbürstenfunktion AN (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Tabelle 29:

Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. der Kontaminationslösung mit angeschalteter Bürstenfunktion, getrennt nach Zahnbürstentypen (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Der p-Wert zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse.

Bakterium	Zahnbürstentyp	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
Staphylococcus aureus	1	2.0 (0.0, 21.4)	0.0062
	2	3.3 (0.0, 13.4)	
	3	0.6 (0.0, 15.3)	

Bei einem jeweils paarweisen Vergleich der drei Zahnbürsten bezüglich der Anteile gefundener Bakterienkolonien waren statistisch signifikante Werte zu verzeichnen. Die Vergleiche bezogen sich auf das Stadium der Lufttrocknung für 24 Stunden (Untersuchungsstadium 4). Explizit zeigten sich nur signifikante Unterschiede mit der Philips Sonicare FlexCare im Vergleich zur Oral-B Sonic Complete (p-Wert = 0,001) und zur Oral-B ProfessionalCare 8000 (p-Wert = 0,008). Werden die beiden Oral-B Zahnbürsten, Sonic Complete und ProfessionalCare 8000 miteinander in Vergleich gesetzt, wurde kein signifikanter Unterschied deutlich (p-Wert = 0,64) (vgl. Tab. 30).

Tabelle 30:

Paarweiser Vergleich bezüglich der Anteile gefundener Bakterienkolonien der drei Zahnbürstentypen mit der Zahnbürstenfunktion AN (Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare). Die Vergleiche beziehen sich auf das Untersuchungsstadium 4.

Bakterium	Vergleich der Zahnbürstentypen	p-Wert
Staphylococcus aureus	1 vs. 2	0.64
	1 vs. 3	0.008
	2 vs. 3	0.001

5.2.2.3. Einfluss des Zahnbürstenkopfes (Funktion AN)

Die ovale oder runde Bürstenkopfform zeigte in den jeweiligen Untersuchungsstadien keine statistisch signifikanten Einflüsse bezüglich der Kontamination mit dem

Bakterium *Staphylococcus aureus* in den Versuchen mit angeschalteter Bürstenfunktion.

Bei einer deskriptiven Sichtweise der Daten wies die ovale Kopfform etwas weniger Bakterienkolonien im Stadium 1 bis 4 auf. Der Median lag im ersten Stadium, direkt nach der Kontamination der Bürste für den runden Bürstenkopf bei 8,4 und für den ovalen Kopf bei 7,3 Kolonien. Im zweiten Untersuchungsstadium nach Abspülen der Zahnbürste mit Wasser hatte der Median einen Wert von 2,0 für den runden Kopf und einen Wert von 1,8 für den ovalen. Sobald die Bürste mit CHX dekontaminiert wurde (Stadium 3) waren keine Bakterienkolonien mehr nachweisbar, der Median betrug jeweils 0,0. Im letzten Untersuchungsstadium, in dem die Zahnbürste abgespült und anschließend für 24 Stunden luftgetrocknet wurde, war der Median wieder erhöht auf 2,0 für den runden Kopf und 0,3 für den ovalen Zahnbürstenkopf (vgl. Tab. 31).

Tabelle 31:

Vergleiche für die Anteile gefundener Bakterienkolonien zwischen den Zahnbürsten mit rundem und ovalem Bürstenkopf mit angeschalteter Funktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, 2: Abspülen mit Wasser, 3: CHX-Dekontamination, 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden).

Bakterium	Untersuchungsstadium	Kopf-form	Anteil der Kolonien, Median (Min, Max)	p-Wert
<i>Staphylococcus aureus</i>	1	rund oval	8.4 (0.7, 21.4) 7.3 (1.0, 15.3)	0.11
	2	rund oval	2.0 (0.6, 7.3) 1.8 (0.4, 8.0)	0.45
	3	rund oval	0.0 (0.0, 1.2) 0.0 (0.0, 0.6)	0.13
	4	rund oval	2.0 (0.0, 3.1) 0.3 (0.0, 6.0)	0.06

5.2.3. Ergebnisse des Vergleichs der ein- und ausgeschalteten Zahnbürstenfunktion

Um einen signifikanten Einfluss der ein- oder ausgeschalteten Zahnbürste (Funktion AN oder AUS) auf die Kontamination zu prüfen, wurde eine dreifache Varianzanalyse durchgeführt. Hierbei konnte kein signifikanter Effekt hinsichtlich der Zahnbürstenfunktion festgestellt werden (vgl. Tab. 32).

Tabelle 32:

Wechselwirkungen zwischen den einzelnen und kombinierten Effekten bei dem Bakterium *Staphylococcus aureus*.

Bakterium	Effekt	p-Wert
<i>Staphylococcus aureus</i>	Untersuchungsstadium	< 0.0001
	Zahnbürstentyp	< 0.0004
	Funktion	< 0.3
	Untersuchungsstadium * Zahnbürstentyp	< 0.0001
	Untersuchungsstadium * Funktion	< 0.03
	Zahnbürstentyp * Funktion	< 0.3
	Untersuchungsstadium * Zahnbürstentyp * Funktion	< 0.2

Sobald der Effekt des Untersuchungsstadiums und des Zahnbürstentyps allein untersucht wurde, zeigte sich bei den Versuchen mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* ein signifikanter Einfluss. Für das Untersuchungsstadium betrug der Varianzfaktor $< 0,0001$, für den Effekt des Zahnbürstentyps lag der p-Wert bei $0,0004$. Die Funktion AN oder AUS wies keinen signifikanten Effekt auf. Bei der Untersuchung der Wechselwirkung zweier Effekte konnte hingegen eine Signifikanz zwischen Untersuchungsstadium und Zahnbürstentyp (p-Wert $< 0,0001$) und zwischen Untersuchungsstadium und Funktion (p-Wert = $0,03$) gezeigt werden. Der Effekt zwischen Zahnbürstentyp und Funktion war bei dem Bakterium *Staphylococcus aureus* nicht signifikant. Werden alle drei Faktoren Untersuchungsstadium, Zahnbürstentyp und Funktion in Wechselwirkung gebracht, war wiederum keine Signifikanz zu erkennen.

5.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuche mit dem Bakterium Staphylococcus aureus

Bei den Versuchen mit dem Bakterium Staphylococcus aureus und ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion konnte, wie bei den Untersuchungen mit dem Bakterium Streptococcus mutans, ein statistisch signifikanter Einfluss hinsichtlich des Untersuchungsstadiums gezeigt werden. Hier wurde im dritten Untersuchungsstadium, der CHX-Dekontamination und im vierten Untersuchungsstadium, der Wasserabspülung mit anschließender Lufttrocknung, ebenfalls die geringste Anzahl an Bakterienkolonien nachgewiesen. Im ersten Untersuchungsstadium, direkt nach der Kontamination wurden die meisten Bakterien gezählt. Nach einer getrennten Auswertung der vier Untersuchungsstadien zeigte sich nur im vierten Untersuchungsstadium ein signifikanter Einfluss der Zahnbürsten. Anders als bei den Versuchen mit dem Bakterium Streptococcus mutans, wurden in den Untersuchungen mit dem Bakterium Staphylococcus aureus auf der Oral-B ProfessionalCare 8000 die meisten Kolonien dokumentiert. Die wenigsten Bakterienkolonien konnten erneut auf der Schallzahnbürste Sonicare FlexCare von Philips gefunden werden. Hinsichtlich des Zahnbürstentyps konnte bei ausgeschalteter Funktion kein signifikanter Einfluss festgestellt werden. Bei einer deskriptiven Anschauung zeigte die Philips Sonicare FlexCare den niedrigsten und die Oral-B ProfessionalCare 8000 den höchsten Bakterienbesatz. Der paarweise Vergleich der drei Zahnbürsten zeigte dennoch einen signifikanten Unterschied bei fast allen Bürstenpaaren. Der Einfluss der Bürstenkopfform, oval oder rund, war ebenfalls nicht signifikant, wobei deskriptiv weniger Kolonien auf den beiden ovalen Köpfen der Schallzahnbürsten verglichen mit dem runden Kopf der rotierend-oszillierenden Zahnbürste nachgewiesen wurde.

In den Versuchen mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion ist bei Betrachtung des Untersuchungsstadiums ebenfalls ein signifikanter Einfluss hinsichtlich der Kontamination zu verzeichnen. Die geringste Bakterienanzahl ist in den Untersuchungsstadien 3 und 4 zu erkennen. Die meisten Bakterien wurden auch hier direkt nach der Kontamination (Untersuchungsstadium 1) dokumentiert. In der nach Untersuchungsstadien getrennten Auswertung zeigte sich im Untersuchungsstadium der Wasserabspülung mit anschließender Lufttrocknung für 24 Stunden (Untersuchungsstadium 4) ebenso ein signifikanter Einfluss. Jedoch konnte bei dieser getrennten Auswertung nach Stadien auch im dritten Untersuchungsstadium,

der CHX-Dekontamination, ein signifikanter Einfluss festgestellt werden. Auf den drei Zahnbürsten konnten fast keine Bakterienkolonien mehr dokumentiert werden. Bei dem Paarvergleich der Untersuchungsstadien untereinander zeigte sich zwischen fast allen Stadien ein signifikanter Unterschied. Bei den Untersuchungen hinsichtlich des Zahnbürstentyps konnte im Gegensatz zur ausgeschalteten Funktion und zu den Versuchen mit dem Bakterium *Streptococcus mutans* ein signifikanter Einfluss belegt werden. Die Schallzahnbürste Sonicare FlexCare von Philips wies die geringste nachgewiesene Bakterienanzahl auf. Die meisten *Staphylococcus aureus*-Kolonien wurden auf der Schallzahnbürste Sonic Complete von Oral-B gefunden. Auch die paarweisen Vergleiche der Zahnbürstentypen zeigten bezüglich der Philips Sonicare FlexCare einen signifikanten Unterschied. Der Einfluss des Zahnbürstenkopfes erwies auch bei angeschalteter Bürstenfunktion keine Signifikanz. Deskriptiv veranschaulicht schnitten die ovalen Köpfe jedoch, wie schon bei den anderen Versuchen, mit wenigen nachgewiesenen Bakterienkolonien, etwas besser ab. Ob die Zahnbürste ein- oder ausgeschaltet verwendet wurde, zeigte auch bei den Versuchen mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* keinen signifikanten Einfluss (vgl. Tab. 33).

Tabelle 33:

Zusammenfassung der Ergebnisse für die Versuchsgruppe des Bakteriums *Staphylococcus aureus* und der Vergleich der Versuchsphasen mit an- und ausgeschalteter Bürstenfunktion (Untersuchungsstadium 1: direkt nach der Kontamination, 2: Abspülen mit Wasser, 3: CHX-Dekontamination, 4: Abspülen mit Wasser und anschließende Lufttrocknung für 24 Stunden, Zahnbürste 1: Oral-B ProfessionalCare 8000, Zahnbürste 2: Oral-B Sonic Complete, Zahnbürste 3: Philips Sonicare FlexCare).

Bakterium Staphylococcus aureus			
Zahn- bürstenfunktion		AUS	AN
Untersuchungs- stadien	statistischer Einfluss	signifikant	signifikant
	Bakterienanzahl deskriptiv	3 < 4 < 2 < 1	3 < 4 < 2 < 1
Zahn- bürstentypen	statistischer Einfluss	nicht signifikant	signifikant
	Bakterienanzahl deskriptiv	3 < 2 < 1	3 < 1 < 2
Zahn- büstenköpfe	statistischer Einfluss	nicht signifikant	nicht signifikant
	Bakterienanzahl deskriptiv	oval < rund	oval < rund

6. Diskussion

6.1. Studiendesign

Hinsichtlich des wachsenden Hygienebewusstseins in der Zahnpflege werden eine mögliche Keimbesiedlung von Zahnbürsten und eine daraus resultierende Infektionsgefahr in aktuellen wissenschaftlichen Studien vermehrt thematisiert (Bunetel et al. 2000, Bößmann 2001, Warren DP et al. 2001). Auch ist derzeit fraglich, inwiefern eine Zahnbürstenkontamination durch neuere Zahnbürstengenerationen beeinflusst werden kann. Letztendlich konnte bisher nicht vollständig geklärt und nachgewiesen werden, ob Schallzahnbürsten, verglichen mit rotierend-oszillierenden Bürsten, bezüglich der Keimreduktion effektiver sind und ob die Form des Zahnbürstenkopfes die Keimbesiedlung beeinflusst (Busscher et al. 2003).

Aus diesem Grund befasst sich diese Arbeit mit der Keimbesiedlung von verschiedenen aktuellen Modellen elektrischer Zahnbürsten und deren Dekontamination. Für unsere Fragestellungen erwies sich das Konzept einer In-vitro-Studie als ideal, da wesentliche Einflussgrößen für die Versuche wie zum Beispiel Bakterientypen, Zahnbürstentypen, Kontaminationszeiten und Keimkonzentrationen festgesetzt werden konnten. Dekontaminationsverfahren wurden somit kontrolliert, standardisiert und reproduzierbar eingesetzt. In vivo beeinflussende Faktoren wie verwendete Zahnpasten, Mundwasser, individuelle Putzgewohnheiten, spezifische Speichelzusammensetzung oder Fremdkontamination durch Aerosole und Lagerung der Bürstenköpfe konnten dagegen ausgeschlossen werden. Andererseits sind Erkenntnisse aus In-vitro-Studien nicht immer direkt auf Vorgänge und Situationen am Patienten zu übertragen. Es sollten anschließende Untersuchungen am Patienten durchgeführt werden, um unsere Ergebnisse zu untermauern.

In unserer Studie wurden Schallzahnbürsten und rotierend-oszillierende Zahnbürsten mikrobiologisch untersucht und verglichen. Die Versuche wurden in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Bakterien und zwei Phasen mit ein- und ausgeschalteter Bürstenfunktion eingeteilt. Die unterschiedlichen Versuchsphasen dienten dazu, den Nutzen und die Wirksamkeit der Schall- bzw. rotierend-oszillierenden Funktion auf die Keimbesiedlung objektivierbar zu machen. Die ausgeschaltete Funktion stellte somit die Kontrollgruppe dar, womit auf eine Handzahnbürste verzichtet werden konnte. Das erste Untersuchungsstadium diente zum Nachweis einer Keimbesiedlung der Zahnbürsten, um speziell die Beeinflussung der jeweiligen

Funktion zu beurteilen. Eine Keimreduktion auf den Zahnbürstenköpfen sollte erreicht werden indem die wichtigsten und verbreitetsten Dekontaminationsmethoden, wie Wasserabspülung, CHX und Lufttrocknung gezielt in unseren Versuchen verglichen wurden. Ziel war es somit, möglichst kostengünstige, anwenderfreundliche und effektive Verfahren zur Dekontamination zu ermitteln.

Alle erhobenen Daten wurden zur sicheren Datenauswertung in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Medizinische Statistik der Georg-August-Universität Göttingen (Leiter: Prof. Dr. E. Brunner) bearbeitet.

6.1.1. Auswahl der Bakterien für die Versuche

Die Mundhöhle gehört zu den am dichtesten besiedelten Organen des Menschen mit bis zu 10^9 Millionen Keimen pro Milliliter Speichel. Die Mundflora zeigt in vivo eine sehr große Varianz und Vielfalt hinsichtlich der verschiedenen Keimarten (Mins et al. 2007). Die Zusammensetzung der Bakterien, Viren und Pilze variiert individuell von Person zu Person (Rateitschak et al. 1989, Lehmann 1994, Caudry et al. 1995, Taji und Rogers 1998) und stellt somit keinen konstanten oder vergleichbaren Parameter dar. Deshalb ist die Wahl einzelner Keimarten erforderlich, um die Komplexität zu reduzieren und Versuche reproduzierbar zu machen.

Des Weiteren stehen Keime beim gesunden Menschen in einem ausgewogenen Verhältnis und sind primär meist nicht pathogen (Horch 2003). Mikroorganismen können sich jedoch als Plaque organisieren, deren Qualität wesentlich von der Nahrung und dem Alter des Patienten, sowie der letzten Zahnreinigung und von deren Ansiedlungsort (Zahnoberfläche, marginale Gingiva, prothetischer Zahnersatz) abhängen und so unter anderem Karies verursachen (Naumann et al. 1983, Mins et al. 2007). Es gibt in der Mikroflora spezifische Keime bzw. Leitbakterien, die Erkrankungen bevorzugt hervorrufen können.

Einer der wichtigsten fakultativ humanpathogenen Vertreter der oralen Streptokokken ist das Streptococcus-mutans-Bakterium. Deshalb wählten wir dieses Bakterium für eine Versuchsgruppe unserer Studie. Seit Mitte der 60er Jahre gilt der Einfluss des Streptococcus mutans auf eine Kariesinitiation und -progression als bewiesen (Orland et al. 1954, Fitzgerald und Keyes 1960). In der Zahnmedizin gilt diese Bakterienart als Haupterreger von Schmelzkaries bei Kindern und Erwachsenen und von Wurzelkaries bei der älteren Bevölkerung. Streptococcus mutans besiedelt in den Industrieländern bei 80 bis 90 Prozent der Menschen die Mundhöhle (Hannig

2001, Marsh und Martin 2003, Mins et al. 2007). In bereits veröffentlichten Studien zur Kontamination von Zahnbürsten wurde es in vivo auf kontaminierten Zahnbürsten nachgewiesen und auch in In-vitro-Versuchen verwendet (Malmberg et al. 1994, Taji und Rogers 1998, Bunetel et al. 2000, Sato et al. 2004, Nelson-Filho et al. 2006, Nascimento et al. 2008). Dies verdeutlicht die Relevanz des Keimes für die Zahnmedizin und daneben bietet seine Verwendung in unseren Versuchen eine sehr gute Vergleichbarkeit mit anderen Studien. Wir verwendeten das *Streptococcus-mutans*-Bakterium mit der DSM-Stamm-Nummer 20532 (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, Braunschweig, Deutschland), das etabliert und bereits mehrfach genutzt wurde.

Für die zweite Versuchsgruppe verwendeten wir das gram-positive Bakterium *Staphylococcus aureus*, da es eine Reihe von Virulenzfaktoren aufweist und als pathogener Erreger des Nasenrachenraumes mit zunehmender Frequenz in der Bevölkerung vertreten ist. Bei ungefähr 30 Prozent aller Menschen befindet sich das *Staphylococcus-aureus*-Bakterium permanent auf der Haut, bei weiteren 30 Prozent ist die Haut passager besiedelt (Hof und Dorries 2005, Fuchs et al. 2007). Diese Bakterienart wurde zu dem wiederholt auf Zahnbürsten mit täglicher Verwendung nachgewiesen. Durch Finger- und Hautkontakt beim Anfeuchten vor oder Auswaschen der Borsten nach Zahnbürstengebrauch kann eine Zahnbürste mit *Staphylokokkus-aureus*-Bakterien kontaminiert werden (Kozai et al. 1989, Glass und Lare 1986, Taji und Rogers 1998, Bößmann 2001, Himratul-Aznita und Fathilah 2006, Mehta et al. 2007). Ein weiterer Vorteil ist, dass sich diese *Staphylokokken*-Art gut anzüchten lässt und mit einfachen Methoden zu kultivieren und anschließend mikrobiologisch zu identifizieren ist. Auch war ein etablierter *Staphylococcus-aureus*-Stamm ATCC 29212 für unsere Versuche vorhanden (Institut für Medizinische Mikrobiologie, UMG, Göttingen, Deutschland).

Es bestand die Überlegung den Hefepilz *Candida albicans* in das Untersuchungsspektrum zu integrieren, da dieser Bestandteil einiger Studien zur Keimbesiedlung von Zahnbürsten ist (Noga et al. 1976, Marcano 1981, Bunetel et al. 2000). Die Handhabung des Pilzes ist jedoch im Labor durch eine vergleichsweise langsame Vermehrungsgeschwindigkeit erschwert und auch seine geringere Pathogenität sprach letztendlich dagegen (Hof und Dörries 2005). Auch weitere Bakterienarten der Mundhöhle, wie zum Beispiel das *Fusobacterium nucleatum*,

lassen sich nur mit aufwändigen oder teuren Verfahren, wie einen DNS-Sondentest, nachweisen und wurden deshalb nicht in unsere Studie aufgenommen.

6.1.2. Wahl der unterschiedlichen elektrischen Zahnbürsten

Elektrische Zahnbürsten gewinnen zunehmend an Bedeutung, Akzeptanz und auch an Marktanteilen, verglichen mit den altbekannten Handzahnbürsten. Die Handzahnbürste stellt zwar immer noch eine kostengünstigere Alternative da, jedoch sind die neueren elektrischen Bürsten ihr in vielen Bereichen nachweislich überlegen. Zum einen wird die Putztechnik automatisiert, zum anderen wird die Compliance des Patienten erhöht und die Überlegenheit in der Effektivität der Zahnreinigung ist in mehreren Studien untersucht und belegt worden (Warren PR et al. 2000, Lang 2005, Verma und Bhat 2004, Hahn von Dorsche und Scholtes 2009). Insbesondere sind Bürsten mit rotierend-oszillierender Bewegungscharakteristik den Handzahnbürsten bezüglich der Plaqueentfernung und Gingivitisreduktion in Kurz- und Langzeitstudien überlegen, ohne dass ein erhöhtes Traumatisierungsrisiko besteht (Warren PR et al. 2002, Sicilia et al. 2002, Niedermann 2003, Robinson PG et al. 2005). Wir entschieden uns daher für einen Vergleich verschiedener aktueller elektrischer Zahnbürsten.

Drei Generationen elektrischer Zahnbürsten werden derzeit unterschieden, wobei es sich bei den gebräuchlichen Bürsten entweder um die zweite Generation, die rotierend-oszillierenden Zahnbürsten, oder um Schallzahnbürsten, die dritte Generation, handelt. Die Bürsten der zweiten Generation besitzen aktuell die größten Marktanteile (Zimmer 2000). Innerhalb dieser Generation steht eine Vielzahl von Modellen unterschiedlicher Hersteller zur Verfügung. Oral-B (Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus, Deutschland) ist auf dem Zahnbürstenmarkt weltweit mit einer breiten Produktpalette führend. Die rotierend-oszillierende Bürste ProfessionalCare 8000 zeigte sich in vielen Untersuchungsstudien zahlreichen Vergleichszahnbürsten überlegen (Van der Weijden 1996, Sharma et al. 2000, Strate et al. 2005) und war deshalb Gegenstand unserer Untersuchungen. Neuere Studien belegen, dass Schallzahnbürsten ebenfalls gute Ergebnisse im Vergleich zu manuellen Bürsten und sogar auch zu konventionellen elektrischen Zahnbürsten aufweisen (Tritten und Armitage 1996, Zimmer 2000, Hope und Wilson 2003). Die Schallzahnbürsten drängen zudem immer mehr auf den Markt und erlangen als neuste Generation der elektrischen Zahnbürsten immer mehr Aufmerksamkeit. Sie

generieren eine dynamische Strömungsaktivität von Flüssigkeiten, die eine Reinigung ohne physikalischen Borstenkontakt ermöglicht (Busscher et al. 2003, Lang 2005). Schwingungsenergien von Schallzahnbürsten beeinflussen die zelluläre Funktion oraler Bakterien und ihre Fähigkeit zur Plaquebildung wird gestört, wie einige Studien belegen. Die äußere bakterielle Membran wird abgelöst (Blanco et al. 1997), ein Verlust und die Destruktion von Fimbrien, die für die Haftung an Oberflächen und für die Vernetzung der Bakterien untereinander wichtig sind, konnte gezeigt werden (MacNeill et al. 1998, McInnes et al. 1992). Auch die Beeinflussung der Zellproliferation konnte nachweislich durch Schallenergien belegt werden (O'Beirne et al. 1996, Jones et al. 2000). Für unsere In-vitro-Versuche entschieden wir uns deshalb für zwei Schallzahnbürsten neben einer rotierend-oszillierenden Bürste, um den möglichen Vorteil bezüglich der Dekontamination durch die Schallfunktion zu überprüfen. Für unsere Versuche verwendeten wir das Schallzahnbürstenmodell vom Zahnbürstenmarktführer Oral-B, die Sonic Complete. Zudem diente sie einem direkten Vergleich zu der rotierend-oszillierenden Zahnbürste ProfessionalCare 8000 des gleichen Herstellers. Als zweite Schallzahnbürste verwendeten wir die Philips Sonicare FlexCare (Philips Deutschland GmbH, Hamburg, Deutschland), die Nachfolgebürste der Sonicare Elite bzw. Sonicare Advance, die zu den frühesten Modellen der sogenannten Sonic Putztechnologien gehört und ebenfalls schon mehrfach Gegenstand von Vergleichsstudien war (Tritten und Armitage 1996, Stanford et al. 1997, Moritis et al. 2002, Sander FM et al. 2005).

6.2. Die Keimbesiedlung von Zahnbürsten und unterschiedliche Dekontaminationsverfahren

In der Literatur wurde schon vielfach darauf hingewiesen, dass diverse Mikroorganismen auf verwendeten Zahnbürsten überleben können, nachdem sie mit der Mundflora in Kontakt getreten sind. Die Zahnbürste ist potentieller Träger unterschiedlichster Keime (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 in unseren Versuchen konnten wir eine massive Kontamination der Zahnbürstenköpfe nachweisen. Die Zahnbürstenköpfe wurden dafür im Rahmen des ersten Untersuchungsstadiums direkt nach Kontamination mit der Bakterien-

Suspension untersucht. Unsere Ergebnisse zeigen für beide Bakterien starke Kontaminationen der drei Zahnbürstentypen. Es konnten weniger Bakterienkolonien auf den Zahnbürstenköpfen aus den Versuchen mit angeschalteter Bürstenfunktion nachgewiesen werden als auf den Köpfen der Versuche mit ausgeschalteter Funktion. Dieses deutet eine effektivere Wirkung der Zahnbürstenfunktion auf die Haftung der Bakterien an und zwischen den Borstenfilamenten der Bürstenköpfe an. Im statistischen Mittel konnten in den Versuchen mit ausgeschalteter Funktion 8,9 Bakterienkolonien vom Bakterientyp *Streptococcus mutans* und 18,9 Kolonien des *Staphylococcus-aureus*-Bakteriums auf den Bürstenköpfen nachgewiesen werden (vgl. Tab. 7 und 21). Dagegen konnten in den Versuchen mit angeschalteter Zahnbürstenfunktion mittlere Verteilungen von nur 7,1 Kolonien des *Streptococcus mutans* und 7,8 Kolonien des *Staphylococcus aureus* gezählt werden (vgl. Tab. 13 und 27). In einer dreifachen Varianzanalyse, in der die Funktion alleine untersucht wurde, konnte jedoch kein signifikanter Einfluss gezeigt werden (vgl. Tab. 18).

Um die anhaftenden Bakterien auszählen zu können wurde nach der Kontamination in der Bakteriensuspension der Bürstenkopf in einer Nährlösung ausgeschüttelt. Durch dieses Ausschütteln wurde der Großteil der Keime, jedoch nicht nachweislich die gesamte auf der Bürste haftenden Bakterienanzahl, in die BHI-Lösung überführt. Die Versuche wurden deshalb mehrfach wiederholt, so dass sichere statistische Tendenzen herausgestellt werden konnten.

Die Keimbesiedlung von Zahnbürsten ist aus hygienischen und infektionsprophylaktischen Gründen interessant und um mögliche Reinfektionen zu verhindern bzw. zu verringern, sind geeignete Dekontaminationsverfahren unerlässlich (Bunetel et al. 2000, Warren DP et al. 2001, Bößmann 2001). Die Idee und Notwendigkeit der Dekontamination von Zahnbürsten kam nicht erst im 21. Jahrhundert auf, eine der ersten Desinfektionsmethoden von Zahnbürsten wurde schon 1920 mit einer Spülung aus Alkohol durchgeführt (Cobb 1920). Etwas später wurden Methoden zur Gesundheitspflege und Trocknung von Zahnbürsten mit Sonnenlicht und Tafelsalz angewandt (Kaufmann 1929). Andere Verfahren mit antimikrobiellen Sprays, speziellen Öfen und Spülmaschinen für kontaminierte Zahnbürsten, Ultraviolettes Licht und chemisch ummantelte Borsten wurden in weiteren Studien untersucht, die ein großes Interesse auf diesem Gebiet aufzeigen (Glass und Jensen 1994, Meier et al. 1996, Zolnowski-Casey 1998, Sato et al. 2004, Efstratiou et al. 2007). Die Frage

nach einer effektiven Methode zur Keimreduktion ist sets aktuell und noch nicht abschließend beantwortet.

Deshalb wurden in der vorliegenden In-vitro-Studie drei verschiedene Dekontaminationsstadien geprüft, die einen sichtlichen Einfluss auf die Keimbesiedlung ausüben. Die verwendeten Dekontaminationen mit Wasser, Chlorhexidin und Lufttrocknung sind aktuell etablierte, gut verfügbare und nach Studienlage effektive Methoden zur Keimreduktion von Zahnbürstenköpfen. Bei den Versuchen beider Bakterien konnte ein signifikanter Einfluss des jeweiligen Dekontaminationsstadiums auf die Kontamination der drei untersuchten Zahnbürsten gezeigt werden (vgl. Tab. 7, Tab. 13, Tab. 21 und Tab. 28).

6.2.1. Effektivität des Abspülens der Zahnbürste mit Wasser

Nach jedem Zahnbürstengebrauch wird angeraten, die Bürste gründlich unter fließendem Wasser zu reinigen und diese am Waschbeckenrand abzuschütteln (Splieth 2000, Bößmann 2001). Auch nach einer Empfehlung der DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde) sollte die Zahnbürste nach ihrem Einsatz unter fließendem Wasser sorgfältig gereinigt und hygienisch einwandfrei, trocken gelagert werden (Staehe et al. 2007). Um der heimischen Patientensituation und den Empfehlungen möglichst zu entsprechen, wurde dieses Dekontaminationsverfahren im Untersuchungsstadium 2 und 4 simuliert. In unseren Versuchen verwendeten wir destilliertes Wasser, da die Kontamination mit zusätzlichen Keimen oder beeinflussenden Faktoren, die im Leitungswasser vorhanden sein könnten, vermieden werden sollte. Eine standardisierte Menge von 250 Millilitern destilliertem Wasser wurde über die jeweilige Zahnbürste gegeben. Der Druck des Wassers aus dem ausschüttenden Messzylinder entspricht hierbei nicht dem kontinuierlichen Druck des Wasserstrahls aus einem häuslichen Wasserhahn. Diese Größe wurde jedoch angesichts der Fremdkontamination in unseren Versuchen vernachlässigt.

Mit der Wasserabspülung der Zahnbürstenköpfe konnte eine Verringerung der Bakterienanzahl gezeigt werden. In den Versuchen mit dem Bakterium *Streptococcus mutans* wurden nur noch 2,6 Kolonien und 2,0 Kolonien des *Staphylococcus-aureus*-Bakteriums im Median nachgewiesen. Somit sankt die Bakterienanzahl des *Streptococcus mutans* im statistischen Mittel von 7,1 vor, auf 2,6 nach der Abspülung mit Wasser. Die Bakterienkolonien reduzierten sich in den

Versuchen mit dem Bakterium *Staphylokokkus aureus* von 7,8 auf 2,0 (vgl. Tab. 13 und 27). Eine vollständige Keimfreiheit konnte jedoch nicht erzielt werden.

Bereits in einer Studie von Kozai im Jahr 1989 ließ sich die Anzahl der anhaftenden Mikroorganismen durch Ausspülen der benutzten Zahnbürste um mehr als die Hälfte reduzieren. Eine vollständige Entfernung aller Keime war nicht zu erreichen (Kozai et al. 1989). Bhat, der in seinen Versuchen ebenfalls Zahnbürsten mit Wasser dekontaminierte, konnte eine Reduktion der Anzahl der *Streptococcus-mutans*-Bakterien um 30 Prozent zeigen (Bhat et al. 2003). Eine Dekontamination mit Wasser wird in den vorhandenen Studien häufig als Kontrollgruppe genutzt und mit anderen Desinfektionsmitteln verglichen (Sato et al. 2004, Nelson-Filho et al. 2006), wie auch in unserer Studie.

Eine Dekontamination mit Wasser ist die günstigste und einfachste Möglichkeit die Zahnbürste mit nicht großem Aufwand von einem gewissen Anteil an Mikroorganismen zu bereinigen. Dennoch ist eine Fremdkontamination in der häuslichen Situation durch das Leitungssystem nicht auszuschließen. Um eine vollständige Freiheit von Keime zu erreichen, sollten noch weitere Maßnahmen zur Dekontamination der Zahnbürste getroffen werden.

6.2.2. Effektivität der Dekontamination der Zahnbürste mit Chlorhexidin

Das in der vorliegenden Studie als Mundspüllösung verwendete Chlorhexidin (CHX) gilt als Goldstandard unter den intraoralen antibakteriellen Lösungen, da es eine Gingivitis- und karieshemmende Wirkung ausübt (Hellwig et al. 2003, Lin et al. 2003, Wyatt und MacEntee 2004, Arweiler und Ilse 2007). Es wirkt bakterizid und weist ein großes Wirkspektrum, von gram-positiven und -negativen Bakterien sowie fakultativ anaeroben und aeroben Bakterien, auf (Lin et al. 2003). Die beiden Testkeime *Streptokokktus mutans* und *Staphylococcus aureus* liegen in diesem Wirkungsspektrum und reagierten sehr sensibel auf die Dekontamination mit Chlorhexidin. CHX ist nicht rezeptpflichtig, somit gut verfügbar, und nicht toxisch (Suma Sogi et al. 2002). In vielen Studien und Untersuchungen wurde CHX für die Dekontaminationen von Zahnbürsten getestet und als beste Desinfektion der Bürste dargestellt (Suma Sogi et al. 2002, Bhat et al. 2003, Nelson-Filho et al. 2000, Sato et al. 2005, Mehta et al. 2007). Auch die DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde) empfiehlt CHX in bestimmten Indikationsstellungen und

sieht es im Vergleich zu anderen Mitteln zur chemischen Plaquerreduktion wie Metallionen, Fluoriden, phenolischen Substanzen, Sanguinarin und Ammoniumverbindungen als am wirkungsvollsten. Bei verschiedensten Indikationen, wie prä- und postoperativ Anwendung, während Kieferorthopädischer Behandlung, Schwangerschaft, bei Kieferbruch-Schienen oder Parodontal-Sanierungen kann CHX gezielt therapeutisch eingesetzt werden (Schiffner 1995). Es kann sogar bei Bedarf das mechanische Zähneputzen als sogenannte chemische Zahnbürste kurzzeitig ersetzen (Arweiler und Ilse 2007). Da gewisse Nebenwirkungen, wie Geschmacksirritationen, Verfärbungen an Zähnen und Schleimhäuten bekannt sind, sollte eine Überprüfung der jeweiligen Indikation erfolgen.

In Spüllösungen wird CHX überwiegend in Konzentrationen von 0,12% bis 0,2% eingesetzt. Wir verwendeten in der vorliegenden Studie eine 0,2%-CHX Lösung. Weitere Studien belegen, dass auch niedriger dosiertes CHX (0,06%) ähnliche Wirkungen mit einem geringeren Auftreten an Nebenwirkungen aufweist, um eine Unterstützung der täglichen Mundhygiene zum Schutz vor Gingivitis und Parodontitis zu erreichen (Arweiler und Ilse 2007, Quirynen et al. 2005). Höher dosierte 0,1 bis 0,2%ige CHX-Lösungen dienen jedoch zur gezielten Reduktion der Keimzahl (Hoffmann et al. 2001), die auch in unseren Versuchen von Bedeutung waren. Da die Nebenwirkungen bei der Dekontamination der Zahnbürste nur eine geringfügige Rolle spielen, sprach nichts gegen das Verwenden einer 0,2%-dosierten CHX-Lösung. Noch nicht wissenschaftlich geklärt ist, ob eine Dekontamination mit Chlorhexidin möglicherweise den Kunststoff der Borstenfilamente schädigt oder porös werden lässt, wodurch diese wiederum prädisponierend für die Haftung und somit für eine bakterielle Besiedlung sein könnte.

Die positive Studienlage, sowie die nachgewiesene Wirkung von CHX und Empfehlungsrichtlinien waren für uns ausschlaggebend ein Dekontaminationsverfahren mit Chlorhexidin für unsere Versuchsreihen zu übernehmen. Die Wirkung der CHX-Dekontamination wurde im Untersuchungsstadium 3 bei allen drei elektrischen Zahnbürsten untersucht. In diesem Untersuchungsstadium wurde in beiden Versuchsgruppen (Versuche mit dem Bakterium *Streptococcus mutans* und dem Bakterium *Staphylococcus aureus*) die wenigsten Keime, verglichen mit den anderen Dekontaminationsmethoden, nachgewiesen. Es konnten sogar annähernd keine Bakterien-Kolonien mehr dokumentiert werden und der Median für *Streptococcus mutans* und *Staphylococcus aureus* lag bei 0,0 Bakterien-Kolonien

(vgl. Tab. 13 und 27). Es erwies sich demzufolge als die effektivste der drei untersuchten Dekontaminationsverfahren.

Unser Ergebnis findet Bestätigung in vorangegangenen Studien. In einer Studie von Yokosuka wurden 1989 die einzelnen Filamente der Zahnbürstenbüschel mit Chlorhexidin ummantelt und mit herkömmlichen Büscheln in Bezug auf die antibakterielle Aktivität untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die CHX-ummantelten Filamente die bakterielle Belastung reduzierte (Yokosuka et al. 1989). Suido konnte dies mit Chlorhexidin-ummantelnd Interdentalbürsten wiederholen (Suido et al. 1998). Bhat untersuchte 2003 die mikrobielle Kontamination von Zahnbürsten. Er konnte durch eine Dekontamination mit Chlorhexidin-Lösung die Besiedlung mit *Streptococcus-mutans*-Bakterien zu 100 Prozent reduzieren (Bhat et al. 2003). Mehta konnte daraufhin nachweisen, dass eine Aufbewahrung der Zahnbürste über Nacht in einer 0,2% Chlorhexidin-Glukonat-Lösung die bakterielle Kontamination ebenfalls effektiv vermindert (Mehta et al. 2007). Al-Talib verglich die einfache Lufttrocknung und 1% Hypochlorid-Lösung mit 0,2% Chlorhexidin als Desinfektionsmethode für kontaminierte Zahnbürsten von gesunden Studenten und kam auch zu dem Ergebnis, dass CHX die beste Dekontaminations-Methode darstellt (Al-Talib et al. 2008). Nelson-Filho verglich die beiden Lösungen bereits 2000, er verwendete jedoch eine niedriger konzentrierte 0,12%ige CHX-Lösung, die sich dennoch als genauso effektiv erwies. In einer aktuelleren Studie von ihm, zeigte er, dass auch ein 0,12%-CHX-Spray eine 100 prozentige Wirksamkeit gegen das Bakterium *Streptococcus mutans* aufweist (Nelson-Filho et al. 2000, Nelson-Filho et al. 2006).

Die aufgeführten Studien belegen ein vielfältiges Einsatzgebiet des Chlorhexidin, in denen ausnahmslos eine effektive Reduzierung von Mikroorganismen gezeigt werden konnte. Unsere Studie bestätigt ebenfalls diese Ergebnisse und erzielt einen erneuten Beweis für eine erfolgreiche Dekontamination von Zahnbürsten mit Chlorhexidin.

6.2.3. Effektivität der Lufttrocknung des Bürstenkopfes

Eine trockene Lagerung der Zahnbürste nach dem Abspülen mit Wasser ist die verbreitetste Methode, um eine relative Keimreduktion der Borsten nach dem Gebrauch zu erreichen. Die Retention der Mikroorganismen wird sowohl durch das

Ausmaß, als auch durch die Zeit des Reinigungsgeschehens wesentlich beeinflusst (Kozai et al. 1989, Nelson-Filho et al. 2000).

In einer Studie aus dem Jahre 2007 stellt Mehta fest, dass vermehrt opportunistische Mikroorganismen auf den Borsten nachzuweisen sind, wenn die Zahnbürste keine Möglichkeit hat auszutrocknen. Er zeigte dieses Phänomen an kontaminierten Zahnbürsten, die er anschließend mit Plastikkappen ausstattete (Mehta et al. 2007). Auch Bunetel vermerkte, dass in Behältnissen für Bürstenköpfe, wie sie an den Stationen elektrischer Zahnbürsten häufig integriert sind, sich die Anzahl der überlebenden Mikroorganismen erhöhen kann (Bunetel et al. 2000). Die Trocknung des Zahnbürstenkopfes ist durch Aufbewahrungsbehältnisse erschwert und es resultiert ein lang anhaltendes feuchtes Milieu. Kozai konnte das Bakterium *Streptococcus mutans* noch nach sechs Stunden Trocknungszeit auf seinen untersuchten Zahnbürsten nachweisen. Die Feuchtigkeit zwischen den Borstenfilamenten bot Mikroorganismen ausreichend Möglichkeiten sich festzusetzen und längere Zeit im überlebensfähigen Zustand zu verbleiben (Kozai et al. 1989).

Nach einem Reinigen unter fließendem Wasser und anschließendem Ausschütteln des Zahnbürstenkopfes wird daher eine Trocknung empfohlen. Der Bürstenkopf sollte stehend oder waagrecht mit den Borsten nach oben aufbewahrt werden und nicht in abgeschlossenen oder luftdichten Behältnissen gelagert werden (Splieth 2000, Bößmann 2001). Das vierte Untersuchungsstadium unserer Studie soll diese Empfehlungen und Studienergebnissen nachahmen.

Eine Großzahl von Autoren hält eine zweimalige Zahnreinigung am Tag für angemessen. Dementsprechend gaben über 70 Prozent der Erwachsenen an, sich zwei Mal am Tag die Zähne zu putzen, abgesehen von individuellen Zeitabständen (Staehele et al. 2007, Heidemann 2005, Hoffmann et al. 2006). Daraus wäre eine Trocknung der Zahnbürste für etwa 12 Stunden, bei nur einer Zahnbürste im Gebrauch, abzuleiten. Individuelle Unterschiede der Zeitabstände zwischen dem morgendlichen und abendlichen Zähneputzen sind jedoch schwierig zu standardisieren und in In-vitro-Studien umzusetzen. Einige Studien empfehlen eine alternierende Benutzung von je einer Zahnbürste für morgens und abends, dieses würde einer Trocknung für 24 Stunden entsprechen (Plagmann 1998, Bößmann 2001). Zwei Studien von Svanberg und Bunetel belegten die Anwesenheit von *Streptococcus-mutans*-Bakterien auf Zahnbürstenköpfen auch noch nach einer Trocknungszeit von 24 Stunden, obwohl diese mikroaerophilen Organismen eine

niedrigere Überlebensrate in der Luft aufweisen. Jedoch ist ihre Keimzahl um 99 Prozent reduziert (Svanberg 1978, Bunetel et al. 2000). Dies gab uns Anlass eine Trocknung für einen Tag in unseren Versuchen zu übernehmen.

Eine grundsätzliche Möglichkeit der Fremdkontamination ist bei der Bürstenlagerung für 24 Stunden in Versuchen gegeben. Schon andere Autoren, wie Al-Talib, erkannten, dass die Gefahr einer Fremdkontamination während der Trocknungsphase besteht und rieten dazu die Zahnbürste nicht in der Nähe von Waschbecken und Toilette aufzubewahren. Aerosole können eine erhöhte Kontamination mit Mikroorganismen zur Folge haben (Al-Talib et al. 2008). In der vorliegenden Studie wurden daher ausschließlich sterile Materialien verwendet und die jeweiligen Zahnbürstenköpfe wurden direkt aus der Verpackung entnommen und nur einmal verwendet. Traten dennoch Kontaminationen mit weiteren, nicht erwünschten Keimen auf, wurden diese Versuche aus der Auswertung genommen und es folgte eine Wiederholung der jeweiligen Versuchsreihe. Um weiterhin die Besiedlung mit fremden Keimen bei der Trocknung zu vermeiden, wurde der Bürstenkopf in einer Glasflasche mit aufgesetztem aber nicht zugeschraubtem Deckel abgedeckt. Der Bürstenkopf wurde dabei aufrecht gelagert. Jedoch ist es möglich, dass dadurch eine vollständige Austrocknung verglichen mit einer Trocknung im Freien verzögert geschied. Eine Verwahrung unter verschiedenen Luftfeuchtigkeiten und Umgebungstemperaturen können ebenfalls Auswirkungen auf die Überlebensfähigkeit der Keime haben (Glass 1992). Die Flasche mit dem enthaltenen Bürstenkopf wurde im Untersuchungsraum bei normaler Zimmertemperatur aufbewahrt. Geringfügige Schwankungen, die in jedem Zimmer vorhanden sind, waren möglich, dürften jedoch keinen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse ausgeübt haben und den Gegebenheiten der Patientensituation Zuhause entsprechen.

In unseren Versuchen der Dekontamination mittels einer Abspülung mit destilliertem Wasser und anschließender Lufttrocknung für 24 Stunden, konnten in beiden Bakteriengruppen annähernd keine Mikroorganismen mehr nachgewiesen werden. Bei dem Bakterium *Streptococcus mutans* wurden im Median 0,0 und bei dem Bakterium *Staphylococcus aureus* 0,5 Bakterienkolonien dokumentiert (vgl. Tab. 13 und 27). Insgesamt war die Keimreduktion weniger effektiv als bei der CHX-Dekontamination, die Anzahl der Keime lag dabei aber nur geringfügig höher.

Ähnliche Ergebnisse sind in der Literatur wieder zu finden, die diese Ergebnisse untermauern. Wetzel untersuchte die Keimbesiedlung von Zahnbürsten zu unterschiedlichen Trocknungszeiten (0 Std., 2 Std. und 8 Std.) nach einem einmaligen Putzen. Die Keimzahl nahm während dieser drei Zeiten ab, eine Keimfreiheit war jedoch ebenfalls nicht zu erzielen. Für ihn lag die Problematik in der Retention der überlebensfähigen Keime auf den Zahnbürstenköpfen in der Anordnung der Borsten auf dem Besteckungsfeld begründet. Die einzelnen Filamente sind zu Büscheln zusammengefasst (*multi-tufted*) und somit im engen Abstand zueinander im Borstenkopf angeordnet (Wetzel et al. 2005). Allein durch die Anordnung ist die Trocknung der einzelnen Filamente erschwert. Die noch vorhandenen Restkeime nach 24 Stunden Trocknungszeit in unseren Versuchen könnten durch dieses *multi-tufted* Prinzip und die dadurch erschwerte Austrocknung erklärt werden. Goldsmith et al. untersuchte neue und benutzte Zahnbürsten, die mit *Streptococcus mutans* kontaminiert waren, nach 0 Stunden, 8 Stunden und 24 Stunden Lufttrocknung. Die Keimzahl nahm mit der Zeit kontinuierlich ab, wobei erstaunlicherweise auf den benutzten Zahnbürsten weniger *Streptococcus-mutans*-Bakterien nachgewiesen wurde als auf den neuen Zahnbürsten. Eine Keimfreiheit wurde auch nach 24 Stunden nicht vollständig erzielt (Goldsmith et al. 2007). Warren und seine Forschungsgruppe konnten ebenfalls zeigen, dass die Anzahl der anhaftenden Keime einer Zahnbürste nach 24-stündiger Lufttrocknung sehr viel geringer waren als nach 8 Stunden an der Luft (Warren DP et al. 2001). So auch in einer Studie zu unterschiedlichen Dekontaminationsverfahren von Suma Sogi, in der die Zahnbürste mit Wasser abgespült wurde und anschließend an der Luft getrocknet wurde. Die Zahnbürsten wurden nach unterschiedlichen Intervallen (0 Std., 24 Std., 48 Std., 7 Tage, 14 Tage und 28 Tage) untersucht. Nach 24 Stunden, so wie in unserer Studie konnte Sogi allerdings noch 50 Prozent der Bakterien nachweisen (Suma Sogi et al. 2002).

Zusammenfassend ist eine drastische Reduktion der anhaftenden Keime in Abhängigkeit vom Zeitintervall der Trocknung durchgängig zu beobachten. Die Lufttrocknung bestätigt sich, nach einem gründlichen Abspülen mit Wasser und einem anschließendem Ausschütteln, als effektive, gut verfügbare und kostengünstige Dekontaminationsmethode.

6.3. Vergleich der verschiedenen Zahnbürstentypen bezüglich ihrer Keimbesiedlung

Einige Studien postulieren bekanntlich, dass Schallzahnbürsten den rotierend-oszillierenden Zahnbürsten durch ihre Technologie in der Reduktion von Keimen und in ihrer Reinigungswirkung überlegen sind. Die meisten Vergleichsstudien untersuchten dabei primär die Effektivität der Putzleistung, die Kontamination von Bürstenköpfen war meist weniger Gegenstand der Untersuchungen (Stanford et al. 1997, Hope und Wilson 2003). In unserer Studie wurde deshalb explizit die Keimbesiedlung elektrischer Zahnbürsten und die Wirkung ihrer Funktion, Schall und rotierend-oszillierend, untersucht. Wir konnten allerdings keinen eindeutigen statistisch signifikanten Einfluss des Zahnbürstentyps und der Bürstenfunktion auf die Kontamination durch die Bakterien *Streptococcus mutans* und *Staphylococcus aureus* nachgeweisen.

In den Untersuchungen mit den *Streptococcus-mutans*-Bakterien konnte bei ausgeschalteter Zahnbürstenfunktion ein signifikanter Einfluss hinsichtlich des Bürstentyps gezeigt werden, während bei angeschalteter Funktion keine Signifikanz nachgewiesen werden konnte. Die Untersuchungen mit den *Staphylococcus-aureus*-Bakterien lieferten umgekehrte Ergebnisse. Hier waren die Versuche mit ausgeschalteter Funktion nicht signifikant, die Versuche mit angeschalteter Bürstenfunktion wiesen dagegen einen signifikanten Einfluss auf. Deskriptiv zeigten sich ebenfalls sehr unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Keimbesiedelung und der Kolonienzahl auf den verschiedenen Zahnbürstentypen. In den Versuchen mit dem Bakterium *Streptococcus mutans* konnten die wenigsten Kolonien einerseits auf der Oral-B ProfessionalCare 8000 (Zahnbürste 1) mit ausgeschalteter Funktion, andererseits auf der Oral-B Sonic Complete (Zahnbürste 2) mit angeschalteter Funktion dokumentiert werden. In der Versuchsgruppe des Bakterium *Staphylococcus aureus* erwies sich hingegen die Philips Sonicare FlexCare (Zahnbürste 3) in beiden Versuchsphasen (AN und AUS) als die Bürste mit den wenigsten Bakterienkolonien (vgl. Tab 19 und Tab. 33).

In einem Vergleich der beiden Schallzahnbürsten, bei denen die Schwingungen pro Minute jeweils 31.000 betragen und die Anzahl der Borstenbüschel, sowie die Form des Bürstenkopfes nahezu identisch waren, zeigte sich somit eine unterschiedlich starke und teilweise konträre Keimbesiedlung. Daraus folgerten wir, dass die dynamischen Flüssigkeitsbewegungen der Schallzahnbürsten keinen wesentlichen

Einfluss auf die Kontamination der jeweiligen Zahnbürste ausübten. Ein eindeutiger Vorteil durch eine der beiden Zahnbüstentechnologien, bezogen auf die Bürstenkontamination, konnte aus diesen Daten nicht gezeigt werden.

In einer Studie von Busscher konnte die Philips Sonicare in einem durchgehenden Medium das Bakterium *Streptococcus mutans* von einer Distanz von 6 mm noch entfernen. Somit können eventuell auch Bereiche des Zahnes durch den Schall erreicht werden (z.B. approximal), die mit herkömmlichen Bürsten nicht zugänglich sind. Die Studie von Busscher beinhaltet jedoch nur Untersuchungen, in denen die mechanische Säuberung von Mikroorganismen bzw. Plaque mit elektrischen Zahnbürsten betrachtet wurde (Busscher et al. 2003). In einer Studie von Jones konnte nachgewiesen werden, dass die Schallenergie der Philips Sonicare in Abhängigkeit von der Expositionszeit sowohl einen Anstieg, als auch einen Abfall der Zellproliferation von Fibroblasten bewirken kann. Dieses lässt eine Beeinflussung des Verhaltens von Zellkulturen durch Schallenergie nur annehmen (Jones et al. 2000). Blanco konnte *in vitro* zeigen, dass Schallaktivität Keime zerstören kann. Dennoch ist fraglich, inwiefern sie *in vivo* Einfluss ausübt, da die Ausprägung der Strömungen im Mundmilieu stark abgeschwächt gegenüber der von *In-vitro*-Modellen ist (Khambay und Walmsley 1995, Blanco et al. 1997). Schließlich befindet sich die Zahnbürste in einem sehr speziellen Medium, das keine Flüssigkeit, sondern einen vergleichsweise viskösen Schaum aus Zahnpasta und Speichel darstellt. Weitere Vorteile der Schalltechnologie, wie die Beeinflussung pathogener Mikroorganismen, konnten sogar auch in abgeschwächter Form für rotierend-oszillierende Bürsten nachgewiesen werden (Blanco et al. 1997, Haffajee et al. 2001).

Zu überprüfen bleibt, warum die Bakterien unterschiedlich an den Zahnbürstentypen hafteten. Die Borstenfilamente der Zahnbürstenaufsätze bestehen heute in der Regel aus Kunststoffen. Die Struktur, Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit von diesen Kunststoffen bietet günstige Voraussetzungen für eine Ansiedlung von Mikroorganismen. Durch Verarbeitungsfehler entstandene Porositäten und Vakuolen erhöhen die Quellfähigkeit des Kunststoffes und stellen feuchte Kammern dar, die bei ausreichender Nahrungszufuhr das Wachstum von Mikroorganismen fördern (Engelhardt 1973). Die Beschaffenheit der Kunststoffoberfläche kann eine bedeutende werkstoffbedingte Voraussetzung für die mikrobiologischen Besiedlung darstellen und könnte Einfluß auf die Haftung der Bakterien an den

Borstenfilamenten nehmen. Anschließende Studien sollten das Haftungsverhalten von Bakterien an Zahnbürstenoberflächen untersuchen.

Schlussfolgernd besitzen derzeitige elektrische Zahnbürstentypen wenig Einfluss auf die Keimbesiedlung von Zahnbürstenköpfen. Relevant und effizient zur Keimreduktion ist dagegen die Dekontamination mit unterschiedlichen Methoden, wie CHX oder Wasserabspülung und Lufttrocknung.

6.3.1. Unterschiede im Keimbesatz bezüglich der Form des Bürstenkopfes

Mikroorganismen können generell auf dem gesamten Zahnbürstenkopf nachgewiesen werden. Sie befinden sich sowohl an den Enden der Borsten, als auch zwischen den Filamenten und auf dem Besteckungsfeld. Qualitativ scheinen die Konzentrationen laut Glass in allen drei Bereichen gleich hoch zu sein, ohne die Anzahl der Filamente pro Büschel direkt mit einzubeziehen (Glass 2004).

Die Dichte der Borstenbüschel hat nachweislich Einfluss auf die Putzeffektivität der Zahnbürsten. In einer Studie von Pretara-Spanedda entfernen Zahnbürsten mit einer höheren Borstendichte signifikant mehr Plaque als Zahnbürsten mit weiteren Abständen zwischen den Borstenbüscheln, da die Erhöhung der Besteckungsdichte zu einer Vergrößerung des Zahnflächenkontaktes führt (Pretara-Spanedda et al. 1989, Splieth 2000). Laut aktueller Empfehlungen muss eine kurze Kopfform und die nötige Benutzerfreundlichkeit mit der Forderung nach möglichst dichter Borstenbesteckung und hoher Borstenanzahl in Einklang gebracht werden (Heidemann 1997, Plagmann 1998, Pretara-Spanedda et al. 1989). Allerdings wird bei diesen Empfehlungen die potentielle Affinität der Keimretention dichtstehender Filamente vernachlässigt. Glass und Jensen untersuchten die Zusammenhänge zwischen der Anzahl der einzelnen Filamente in einem Borstenbüschel und der Zahl der daran haftenden Herpesviren. Die Haftung der Viren wurde durch Borstenbüschel, die aus einer großen Anzahl von Filamenten bestanden, begünstigt (Glass und Jensen 1988). Die Retention von Keimen scheint auch nach neueren Studien im engen Abstand der Einzelborsten begründet zu sein. Sehr engstehende Filamente in der Bündelanordnung weisen für die Mikroorganismen ein ausreichend feuchtes Milieu auf, um sich dort festzusetzen, ex ore einige Zeit zu überleben und eine Reinfektion zu ermöglichen (Wetzel et al. 2005, Nies et al. 2008). Glass empfahl 2004 die Zahnbürsten mit kleinem Kopf mit der geringsten Anzahl an Filamenten pro

Büschel und die geringste Anzahl an Büscheln pro Zahnbürste mit durchsichtigen Borsten, um das Infektionsrisiko der Zahnbürste gering zu halten (Glass 2004). Eine günstige Hygienefähigkeit bzw. geringe Keimbesiedlung könnte demnach nur darin bestehen, die Filamente einzeln, ohne Kontakt untereinander, auf dem Bürstenkopf anzuordnen. Dazu müsste jedoch das empfohlene Multi-tufted-Prinzip mit seiner büschelweisen Anordnung auf dem Bürstenkopf aufgegeben werden, was für die Plaqueentfernung jedoch nachweislich unerlässlich ist.

Die in unserer Studie verwendeten Zahnbürstenköpfe wiesen sowohl einen Kurzkopf, als auch einen dichten Büschelbesatz (*multi-tufted*) auf. Sie hatten jedoch unterschiedliche Kopfformen (oval oder rund). Die beiden Schallzahnbürsten besaßen einen ovalen Bürstenkopf, die Oral-B Sonic Complete war mit 28 Borstenbüscheln und Philips Sonicare mit 32 Borstenbüscheln versehen. Die rotierend-osziellierende Oral-B ProfessionalCare 8000 war mit einem runden Kopf, der 26 Büschel trug, bestückt. Diese Abweichungen in der Kopfform und die ungleiche Anzahl der Borstenbüschel, gab uns Anlass einen Unterschied in der Keimbesiedlung zu überprüfen.

Wir konnten in unserer In-vitro-Studie jedoch in beiden Bakteriengruppen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bürstenkopfformen bezüglich der mikrobiellen Adhärenz zeigen. In der Versuchsgruppe des *Streptococcus mutans* dokumentierten wir bei ausgeschalteter Bürstenfunktion tendenziell weniger Kolonien in den Versuchen mit ovalem Bürstenkopf. Während bei angeschalteter Funktion der runde Zahnbürstenkopf mit weniger nachgewiesenen Keimen besser abschnitt. In den Versuchen mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* konnten hingegen in beiden Versuchsphasen (Funktion AUS und AN) von den ovalen Bürstenköpfen weniger Keime ausgeschüttelt werden (vgl. Tab. 19 und 33). Statistisch konnte kein Unterschied herausgestellt werden. In allen vier Untersuchungsstadien war kein eindeutiger Vorteil des ovalen oder des runden Bürstenkopfes feststellbar. Die unterschiedliche Büschelanzahl der Zahnbürstenköpfe auf runden oder ovalen Besteckungsfeldern, hat somit keinen wesentlichen Einfluss auf die Kontamination der Zahnbürsten.

6.4. Schlussfolgerung

Die Zahnbürste kommt in der Regel zweimal am Tag mit der Mundflora in Kontakt und ist somit potentieller Träger von Mikroorganismen. Eine dichte Besteckung der

Filamentbüschel (*multi-tufted*), die aufgrund einer besseren Plaquebeseitigung empfohlen wird, erschwert allerdings die Trocknung des Bürstenkopfes und stellt für Keime ein ideales feuchtes Milieu dar. Nur mittels einer Dekontamination kann diesem entgegen gewirkt werden. Bei gesunden Menschen mit intaktem Immunsystem ist alleine keine unmittelbare Gefahr einer Infektion durch diese Keimbesiedlung gegeben, dennoch sollte die Zahnbürste weitgehend keimfrei gehalten werden. Geeignete Dekontaminationsverfahren sollten deshalb fester Bestandteil der täglichen Hygienemaßnahmen sein.

In unserer Versuchen lies sich ohne angewendete Dekontaminationsverfahren eine massive Bakterienkontamination auf den untersuchten Zahnbürsten nachweisen. Wurden die Bürsten hingegen mit 0,2%iger CHX-Lösung desinfiziert oder mit destilliertem Wasser abgespült und anschließend für 24 Stunden an der Luft getrocknet, konnten fast keine Mikroorganismen auf den Zahnbürsten überleben. CHX-Lösung eignet sich hervorragend als Desinfektionsverfahren, wie unserer Studie beweist. Ein Vorteil der 24-stündigen Lufttrocknung nach Wasserabspülung ist indessen ihre gute Verfügbarkeit und die geringen Kosten. Durch eine Benutzung von zwei oder mehr Zahnbürstenköpfen, je nach individueller Putzfrequenz, kann auch mit diesem Verfahren eine suffiziente Keimreduktion erreicht werden.

In Bezug auf die Haftung von *Streptococcus-mutans*- und *Staphylococcus-aureus*-Bakterien am Zahnbürstenkopf konnten wir in unserer Studie keinen signifikanten Unterschied zwischen Schall- und rotierend-oszillierenden Bürsten (Oral-B ProfessionalCare 8000, Oral-B Sonic Complete und Philips Sonicare FlexCare) erkennen. Auch bezüglich der Kopfform (rund oder oval) und ihrer unterschiedlichen Anzahl an Borstenfilamenten ist kein eindeutiger Unterschied festgestellt worden. Hinsichtlich der Keimbesiedlung spielt die Zahnbürstenkopfform somit keine ausschlaggebende Rolle.

Die aktuellen Technologien elektrischer Zahnbürsten, ob Schall oder rotierend-oszillierend, haben keinen entscheidenden Einfluss auf die Haftung von Mikroorganismen an und zwischen den Borstenfilamenten. Eine tägliche Dekontamination der Zahnbürste ist aber nach den Ergebnissen unserer Studie unerlässlich.

Zusammenfassung

Hintergrund

Die elektrische Zahnbürste gilt heute als anerkannte Alternative zur Handzahnbürste. Die Zahnbürste kommt mehrmals täglich mit der Mundflora in Kontakt und ist somit potenzieller Träger verschiedenster Mikroorganismen, die eine Reinfektion verursachen können. Aus hygienischer Sicht sind Zahnbürsten ein Keimreservoir und sollten nicht auf ihren mechanischen Säuberungseffekt reduziert werden. Diese Studie beschäftigt sich deshalb mit der Keimbesiedlung von elektrischen Zahnbürsten verschiedener Technologien und verschiedener Dekontaminationsverfahren.

Methode

In einer In-vitro-Studie kontaminierten wir drei unterschiedliche elektrische Zahnbürsten (Oral-B ProfessionalCare 8000, Oral-B Sonic Complete und Philips Sonicare FlexCare) mit zwei etablierten Leitkeimen (*Streptococcus mutans* und *Staphylococcus aureus*). Drei verschiedene Dekontaminationsmethoden wurden anschließend untersucht. Die Versuche wurden jeweils mit an- und ausgeschalteter Bürstenfunktion durchgeführt, so konnte die Wirkung der Funktion auf die Keimbesiedlung geprüft werden. Die Daten wurden statistisch ausgewertet.

Ergebnisse

Es konnte hinsichtlich des Untersuchungsstadiums (Wasserabspülung, CHX-Dekontamination und Wasserabspülung plus Lufttrocknung) in beiden Bakteriengruppen ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Zahnbürstenkontamination nachgewiesen werden. Der Einfluss des Zahnbürstentyps konnte hingegen keine klare statistische Signifikanz belegen. Die Funktion der Zahnbürsten, Schall bzw. rotierend-oszillierend konnte ebenfalls keinen eindeutigen Effekt nachweisen. Auch unterschiedliche Kopfformen erwiesen sich als nicht signifikant hinsichtlich der Keimbesiedlung von Zahnbürsten.

Schlussfolgerung

Zahnbürsten stellen ein nachgewiesenes Keimreservoir dar und sollten nach jeder Anwendung bestmöglichst gereinigt werden. Als suffiziente Methode stellte sich eine

Wasserabspülung mit anschließender 24-stündiger Lufttrocknung heraus. Die besten Ergebnisse zeigte die Dekontamination mit einer 0,2%igen CHX-Lösung. Hinsichtlich der Keimbesiedlung der Bürstenköpfe konnte kein eindeutiger Vorteil zwischen Schall- und rotierend-oszillierenden Technologien belegt werden. Auch die Kopfform (oval oder rund) scheint einen untergeordneten Einfluss auf die Kontamination zu nehmen.

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an eine optimale Handzahnbürste von C.C. Bass aus dem Jahr 1948.....	14
Tabelle 2: In den Versuchen verwendete elektrische Zahnbürsten	34
Tabelle 3: Verwendete Zahnbürstenaufsätze der elektrischen Zahnbürsten	34
Tabelle 4: Verwendete sonstige Produkte und Materialien	38
Tabelle 5: Verwendete Chlorhexidin-Lösung und deren Zusammensetzung.....	39
Tabelle 6: Auflistung der Anzahl der durchgeführten Versuche	46
Tabelle 7: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien.....	49
Tabelle 8: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien und Zahnbürstentypen	50
Tabelle 9: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Paarvergleiche der Untersuchungsstadien	51
Tabelle 10: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen	52
Tabelle 11: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Paarvergleiche der Zahnbürstentypen.....	53
Tabelle 12: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. rundem und ovalem Bürstenkopf.....	54
Tabelle 13: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien.....	56
Tabelle 14: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien und Zahnbürstentypen	56
Tabelle 15: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AN - Paarvergleiche der Untersuchungsstadien	57
Tabelle 16: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen	58
Tabelle 17: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. rundem und ovalem Bürstenkopf.....	59
Tabelle 18: Streptococcus mutans - Wechselwirkung zwischen einzelnen und kombinierten Effekten	60
Tabelle 19: Streptococcus mutans - Zusammenfassung	62
Tabelle 20: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien.....	64
Tabelle 21: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien und Zahnbürstentypen	65
Tabelle 22: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Paarvergleiche der Untersuchungsstadien	66
Tabelle 23: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen	67
Tabelle 24: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Paarvergleiche der Zahnbürstentypen.....	68
Tabelle 25: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl. rundem und ovalem Bürstenkopf.....	69
Tabelle 26: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien.....	71

Tabelle 27: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien und Zahnbürstentypen	72
Tabelle 28: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Paarvergleiche der Untersuchungsstadien	73
Tabelle 29: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen	75
Tabelle 30: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Paarvergleiche der Zahnbürstentypen.....	75
Tabelle 31: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien bzgl.. rundem und ovalem Bürstenkopf.....	76
Tabelle 32: Staphylococcus aureus – Wechselwirkung zwischen einzelnen und kombinierten Effekten.....	77
Tabelle 33: Staphylococcus aureus - Zusammenfassung.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flussdiagramm zur Versuchsplanung.....	33
Abbildung 2: Braun Oral-B ProfessionalCare 8000, S.5	34
Abbildung 3: Braun Oral-B FlexiSoft®-Aufsatz, S.3.....	34
Abbildung 4: Braun Oral-B Sonic Complete, S.5	35
Abbildung 5: Braun Oral-B Sonic Complete Aufsteckbürste, S.3.....	35
Abbildung 6: Philips Sonicare FlexCare, S.1	36
Abbildung 7: Philips Sonicare FlexCare ProResults-Bürstenaufsatz, S.3.....	36
Abbildung 8: Kontamination der Zahnbürste in 200 ml Bakteriensuspension.	40
Abbildung 9: Untersuchungsstadium 2 - Abspülung unter fließendem destilliertem Wasser (250 ml).	41
Abbildung 10: Untersuchungsstadium3 - Dekontamination mit Chlorhexidin.....	41
Abbildung 11: Lufttrocknung des Zahnbürstenkopfes.....	42
Abbildung 12: Ausschüttelung der Bakterien in einer BHI-Lösung nach jedem der Untersuchungsstadien. A: Eintunken des Bürstenkopfes der elektrischen Zahnbürste in die BHI-Lösung. B: Anschalten der Zahnbürste für zwei Minuten	42
Abbildung 13: Herstellung von Verdünnungsreihen. A: Entnahme von 0,5 ml mit einer Pipette . B: Pipettieren in das erste Röhrchen. C: Resultierende acht Verdünnungsstufen	43
Abbildung 14: Beimpfung der Blut-Agar-Platten. A: Entnahme von 100 µl aus der jeweiligen Verdünnungsstufe. B: Beimpfung einer Columbia-Blut-Agarplatte. C: Ausgespatelung der Lösung mit einer Impfschlinge	44
Abbildung 15: Inkubation der Columbia-Blut-Agarpatten in verschließbaren Anaerobiertöpfen.	44
Abbildung 16: Angewachsene Bakterienkolonien aus den verdünnten Lösungen. A: Verdünnung 0. B: Verdünnung 1. C: Verdünnung 2.....	45
Abbildung 17: Angewachsene Bakterienkolonien aus den verdünnten Lösungen. A: Verdünnung 3. B: Verdünnung 4. C: Verdünnung 5.....	45
Abbildung 18: Angewachsene Bakterienkolonien aus den verdünnten Lösungen. A: Verdünnung 6. B: Verdünnung 7. C: Verdünnung 8.....	46
Abbildung 19: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien.....	48

Abbildung 20: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen im Untersuchungsstadium 4	50
Abbildung 21: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen:	52
Abbildung 22: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien.....	55
Abbildung 23: Streptococcus mutans und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen	58
Abbildung 24: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien.....	64
Abbildung 25: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen im Untersuchungsstadium 4	65
Abbildung 26: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AUS - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen	67
Abbildung 27: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Untersuchungsstadien.....	70
Abbildung 28: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen im Untersuchungsstadium 4	71
Abbildung 29: Staphylococcus aureus und Bürstenfunktion AN - Anteile gefundener Bakterienkolonien getrennt nach Zahnbürstentypen	74

Literaturverzeichnis

Al-Talib RA, Alnaimi RJ, Mustafa EA (2008): The Microbial Contamination of Toothbrushes and Their Disinfection by Antimicrobial Solution. *Al-Rafidain Dent J* 8, 144–150

American Dental Association (2002): Cleaning your teeth and gums (oral hygiene). www.ada.org/public/faq/cleaning.html

Arweiler NB, Ilse A (2007): Niedrig dosierte Chlorhexidinpräparate. *Oralprophyl Kinderzahnheilkd* 29, 16-21

Axelsson P, Lindhe J, Nystrom B (1991): On the prevention of caries and parodontal disease. Report of a 15 year longitudinal study in adults. *J Clin Periodontol* 18, 182-189

Bass CC (1948): The optimum characteristics of toothbrushes for personal oral hygiene. *Dent Items Interest* 70, 697-718

Benthin K, Gerckens W, Krüger W (1994): Vergleichende Untersuchung zur antimikrobiellen Wirksamkeit von Zahnpasten und Zahnpastenbestandteilen. *DZZ* 49, 409-411

Berger JK, Drukartz MJ, Tenenbaum MD (2008): The efficacy of two UV toothbrush sanitization devices. *NY Dent J* 74, 50-52

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

Blanco VL, Cobb CM, Williams KB, Manch-Citron JN (1997): In vitro effect of the Sensonic toothbrush on *Treponema denticola*. *J Clin Periodontol* 24, 318-323

Bonesvoll P, Gjermo P (1978): A comparison between chlorhexidine and some quaternary ammonium compounds with regard to retention, salivary concentration and plaque-inhibiting effect in the human mouth after mouth rinses. *Arch Oral Biol* 23, 289-294

Bößmann HK (2001): Zahnbürsten und ihr mögliches Infektionsrisiko. *ZM* 22, 52

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

Brandis H, Köhler W, Eggers HJ, Pulverer G: Lehrbuch der Medizinischen Mikrobiologie. 7. Auflage; Gustav Fischer, Stuttgart 1994, 181-185

Bunetel L, Tricot-Dolenx S, Agnani G, Bounnaure-Mallet M (2000): In vitro evaluation of the retention of three species of pathogenic microorganisms by three different types of toothbrush. *Oral Microbiol Immunol* 15, 313-316

Busscher HJ, Rustema-Abbing M, Bruinsma GM, de Jager M, Gottenbos B, van der Mei HC (2003): Non-contact removal of coadhering and non-coadhering bacterial pairs from pellicle surfaces by sonic brushing and de novo adhesion. *Eur J Oral Sci* 111, 459–464.

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

Cobb CM (1920): Toothbrush as a cause of repeated infections of the mouth. *Boston Med Surg J* 183, 263-264

Danser MM, Timmerman MF, Ijzerman Y, Bulthuis H, Van der Velden U, Van der Weijden GA (1998): Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing. *J Clin Periodontol* 25, 701-706

Dentino AR, Derderian G, Wolf MA, Cugini MA, Johnson R, Van Swol RL, King D, Marks P, Warren P (2002): Six-month comparison of powered versus manual toothbrushing for safety and efficacy in the absence of professional instruction in mechanical plaque control. *J Periodontol* 73, 770-778

DIN 13917, Normausschuss Dental, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1988

Dörfer CE, Berbig B, von Bethlenfalvy ER, Staehle HJ, Pioch T (2001): A clinical study to compare the efficacy of 2 electric toothbrushes in plaque removal. *J Clin Periodontol* 28, 987-994

Driesen GM, Warren PR, Hilfinger P (1998): Cleaning efficacy of a new electric toothbrush. *Am J Dent* 11, 7-11

Efstratiou M, Papaioannou W, Nakou M, Ktenas E, Vrotsos IA, Panis V (2007): Contamination of a toothbrush with antibacterial properties by oral microorganisms. *J Dent* 35, 331-337

Emilson CG (1977): Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine. *Scand J Dent Res* 85, 255-258

Engel D, Nessly M, Morton T, Martin R (1993): Safety of a new electronic toothbrush. *J Periodontol* 64, 941-946

Engelhardt JP (1973): Resistance of dental plastic materials to microorganisms. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 83, 656-659

Falck G, Kjellander J, Schwan A (1998): Recurrence rate of streptococcal pharyngitis related to hygienic measures. *Scand J Prim Health Care* 16, 8-12

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

Fuchs S, Pané-Farré J, Kohler C, Hecker M, Engelmann S (2007): Anaerobic Gene Expression in *Staphylococcus aureus*. *J Bacteriol* 189, 4275-4289

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 (2004): Infection of Dental Implements and Appliances Part 1: The Toothbrush. *Dent Today* 23, 123-127

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

Glass RT, Jensen HG (1994): The effectiveness of the u-v toothbrush sanitizing device in reducing the number of bacteria, yeasts and viruses on toothbrushes. *J Okla Dent Assoc* 84, 24-28

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

Goldsmith RN, Shey Z, Houpt MI, Fine D, Schreiner H, Greenberg B (2007): Toothbrush bristle wear and adherence of Streptococcus mutans. Pediatr Dent 29, 243-247

Goyal CR, Sharma NC, Qagish JG, Cugini MA, Thompson MC, Warren PR (2005): Efficacy of a novel brush head in the comparison of two power toothbrushes on removal of plaque and naturally occurring extrinsic stain. J Dent 33, 37-43

Gruner und Jahr AG (2002): Marktanalyse - Märkte + Tendenzen – Mundhygiene. GJ 11, 1-4

Guzmán-Blanco M, Mejía C, Isturiz R, Alvarez C, Bavestrello L, Gotuzzo E, Labarca J, Luna CM, Rodríguez-Noriega E, Salles MJ, Zurita J, Seas C (2009): Epidemiology of meticillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) in Latin America. Int J Antimicrob Agents 34, 304-308

Haffajee AD, Smith C, Torresyap G, Thompson M, Guerrero D, Socransky SS (2001): Efficacy of manual and powered toothbrushes (II). Effect on microbiological parameters. J Clin Periodontol 28, 947-954

Hahn von Dorsche S, Scholtes H (2009): Effekte der elektrischen Zahnbürste. ZM 99, 100-104

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

He T, Carpinello L, Baker R, Knippenberg S, Das A, Winston L, McClanahan S (2001): Safety of three toothbrushes. Am J Dent 14, 123-126

Heidemann D: Parodontologie. Praxis der Zahnheilkunde. Band 4, 3. Auflage; Urban& Schwarzenberg, München 1997, 149-151

Heidemann D: Check-up und Prävention. Band 1, 4. Auflage; Urban&Fischer Verlag, München 2005, 285-289

Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnheilkunde, 3. Auflage, Urban&Fischer Verlag, München 2003, 457-458

Himratul-Aznita WH, Fathilah AR (2006): The Potential Use of Chlorhexidine (CHX) and Hexetidine-containing Mouth Rinse in Maintaining Toothbrush Sterility. *J Med Sci* 6, 59-62

Hof H, Dörries R: Medizinische Mikrobiologie. 3. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2005, 297-318

Hoffmann T, Bruhn G, Richter S, Netuschil L, Brex M (2001): Clinical controlled study on plaque and gingivitis reduction under long-term use of low-dose chlorhexidine solutions in a population exhibiting good oral hygiene. *Clin Oral Invest* 5, 89–95

Hoffmann T, John M, Kerschbaum T, Micheelis W: Vierte deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ) im Auftrag von Bundeszahnärztekammer und Kassenzahnärztlicher Bundesvereinigung, Köln 2006

Hope CK, Wilson M (2003): Effects of dynamic fluid activity from an electric toothbrush on in vitro oral biofilms. *J Clin Periodontol* 30, 624-629

Horch HH: Zahnärztliche Chirurgie. Praxis der Zahnheilkunde. Band 9, 4. Auflage; Urban&Fischer Verlag, München 2003

Isaacs RL, Beiswanger BB, Rosenfield ST, Crawford JL, Mau MS, Eckert GJ, Warren PR (1998): A crossover clinical investigation of the safety and efficacy of a new oscillation/rotating electric toothbrush and a high frequency toothbrush. *Am J Dent* 11, 7-12

Iwami Y, Schachtele CF, Yamada T (1995): Mechanism of inhibition of glycolysis in *Streptococcus mutans* NCIB 11723 by chlorhexidine. *Oral Microbiol Immunol* 10, 360-364

Jones H, Feth L, Rumpf D, Hefti A, Mariotti A (2000): Acoustic energy affects human gingival fibroblast proliferation but leaves protein production unchanged. *J Clin Periodontol* 27, 832-838

- Kaufmann JH (1929): A study of toothbrush II. *Dental Cosmos* 71, 132-140
- Khambay BS, Walmsley AD (1995): An in vitro evaluation of electric toothbrushes. *Quintessence Int* 26, 841-848
- Koefler G, Moschén I, Tschachler E, Strohal R (1997): Die Bedeutung von HIV-1 in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 107, 879-887
- Komorowski R, Grad H, Wu XY, Friedman S (2000): Antimicrobial substantivity of chlorhexidine-treated bovine root dentin. *J Endod* 26, 315-317
- Kozai K, Iwai T, Miura K (1989): Residual contamination of toothbrushes by microorganismen. *ASCD J Dent Child* 56, 201-204
- Laird WR, Walmsley AD (1991): Ultrasound in dentistry. Part 1: Biophysical interactions. *J Dent* 19, 14-17
- Lang H (2005): (Schall-)Zahnbürsten. *DZZ* 60, 371-372
- Lazarescu D, Bocaneala S, Illiescu A, De Boever JA (2003): Efficacy of plaque removal and learning effect of a powered and a manual toothbrush. *J Clin Periodontol* 30, 726-731
- Lehmann KM, Hellwig E: Zahnärztliche Propädeutik. 9. Auflage; Urban & Fischer Verlag, München 2002, 41-43
- Lehmann R: Ökologie der Mundhöhle; Grundlagen der Vorsorge. 2. Auflage; Thieme Verlag Stuttgart 1994, 16-25
- Lin S, Zuckermann O, Weiss EI, Mazor Y, Fuss Z (2003): Antibacterial efficacy of a new chlorhexidine slow release device to disinfect dentinal tubules. *J Endod* 29, 416-418
- MacNeill S, Walters DM, Dey A, Glaros AG, Cobb CM (1998): Sonic and mechanical toothbrushes. An in vitro study showing altered microbial surface structures but lack of effect on viability. *J Clin Periodontol* 25, 988-993
- Malmberg E, Birhed D, Norvenius G, Noren JG, Dahlen G (1994): Microorganisms on toothbrushes at day-care centers. *Acta Odontol Scand* 52, 94

Marcano C (1981): Toothbrush contamination in the ecology of *Candida albicans*. *Mycopathologia* 74, 135

Marsh PD (2008): Das mikrobielle Milieu der Mundhöhle und seine Bedeutung für die orale und die allgemeine Gesundheit. *Prophyl Dial* 1, 4-7

Marsh PD, Martin M: *Orale Mikrobiologie*. 1. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2003, 95-121

Maynard JH, Jenkins SM, Moran J, Addy M, Newcombe RG, Wade WG (1993): A 6-month home usage trial of a 1% chlorhexidine toothpaste (II). Effects on the oral microflora. *J Clin Periodontol* 20, 207-211

McInnes C, Engel D, Moncla BJ, Martin RW (1992): Reduction in adherence of *Actinomyces viscosus* after exposure to low-frequency acoustic energy. *Oral Microbol Immunol* 7, 171-176

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

Mins C, Dockrell HM, Goering RV, Roitt I, Wakelin D, Zuckerman M: *Medizinische Mikrobiologie - Infektiologie mit Virologie und Immunologie*, 2. Auflage; Elsevier Verlag, München 2007

Moran JM, Addy M, Newcombe RG (1995): A comparative study of stain removal with two electric toothbrushes and a manual brush. *J Clin Dent* 6, 188-193

Moritis K, Delaurenti M, Johnson MR, Berg J, Boghosian AA (2002): Comparison of the Sonicare Elite and a manual toothbrush in the elevation of plaque reduction. *Am J Dent* 15, 23-25

Nascimento AP, Faria G, Watanabe E, Ito IY (2008): Efficacy of mouthrinse spray in inhibiting cariogenic biofilm formation on toothbrush bristles. *Brazilian Journal Oral Science* 7, 1489-1492

Naumann G, Schmidt J, Friemel H: Medizinische Mikrobiologie und Immunologie für Stomatologen. Barth Verlag, Leipzig 1989

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

Nelson-Filho P, Isper AR, Assed S, Faria G, Ito IY (2004): Effect of triclosan dentifrice on toothbrush contamination. *Pediatr Dent* 26, 11-16

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

Netuschil L: Der Biofilm, dentale Plaque-Antibakterielle Beeinflussung, Strukturaussage und Modellentwicklung auf Basis von Vitalfluoreszenzuntersuchungen. *Rer. Nat. Habil. Schr. Jena* 2005

Netuschil L (2006): Die dentale Plaque - ein Paradebiofilm. *Plaquencare* 2, 6-8

Niederman R (2003): Manual versus powered toothbrushes. *J Am Dent Assoc* 134, 1240-1244

Niemi ML, Ainamo J, Etemadzadeh H (1986): Gingival abrasion and plaque removal with manual versus electric toothbrushing. *J Clin Periodontol* 13, 709-713

Nies SM, Kröger T, Ansari F, Schaumburg C, Wetzel W-E (2008): Keimbefestigung 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

O'Beirne G, Johnson RH, Person GR, Spektor MD (1996): Efficacy of a sonic toothbrush on inflammation and probing depth in adult periodontitis. *J Periodontol* 67, 900-908

Orland FJ, Blayney JR, Harrison RW, Reyniers JA, Trexler PC, Wagner M, Gordon HA, Luckey TD (1954): Use of the germfree animal technic in the study of

experimental dental caries. I. Basic observations on rats reared free of all microorganisms. *J Dent Res* 33, 147-174

Philips Deutschland GmbH: Gebrauchsanweisung Philips Sonicare FlexCare; Hamburg 2009

Plagmann HC: Lehrbuch der Parodontologie. 1. Auflage; Carl Hanser Verlag, München 1998

Pretara-Spanedda P, Grossmann E, Curro FA, Generallo C (1989): Toothbrush bristle density: relationship to plaque removal. *Am J Dent* 2, 345-348

Procter & Gamble Service GmbH: Gebrauchsanweisung Braun Oral-B ProfessionalCare; Schwalbach am Taunus 2004

Procter & Gamble Service GmbH: Gebrauchsanweisung Braun Oral-B Sonic Complete; Schwalbach am Taunus 2005

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

Quirynen M, Soers C, Desnyder M, Dekeyser C, Pauwels M, van Steenberghe DA (2005): 0.05% cetyl pyridinium chloride/0.05% chlorhexidine mouth rinse during maintenance phase after initial periodontal therapy. *J Clin Periodontol* 32, 390–400

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

Robinson PG, Deacon SA, Deery C, Heanue M, Walmsley AD, Worthington HV, Glenny AM, Shaw WC (2005): Manual versus powered toothbrushing for oral health. *Cochrane Database Syst Rev* 2

Robinson PJ, Maddalozzo D, Breslin S (1997): A six-month clinical comparison of the efficacy of the Sonicare and the Braun Oral-B electric toothbrushes on improving periodontal health in adult periodontitis patients. *J Clin Dent* 8, 4-9

Rogers MF, White CR, Sanders R, Schable C, Ksell TE, Wasserman RL, Bellanti JA, Peters S M, Wray BB (1990): Lack of transmission of human immunodeficiency virus from infected children to their household contacts. *Pediatrics* 85, 210–214

Sander C, Sander FM, Wiethoff H, Sander FG (2005): Abrasionswerte im Vergleich. *ZM* 95, 44-50

Sander FM, Sander C, Sander FG (2005): Sonic Zahnbürsten - ein Vergleich. *ZM* 95, 28-33

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

Sato S, Pedrazzi V, Guimaraes Lara EH, Panzeri H, Ferreira de Albuquerque R Jr, Ito IY (2005): Antimicrobial spray for toothbrush disinfection: an in vivo evaluation. *Quintessence Int* 36, 812-816

Schemenhorn BR, Keil JC (1995): The effect of an oscillating/rotating electric toothbrush and a sonic toothbrush on removal of stain from enamel surfaces. *J Clin Dent* 6, 194-197

Schiffner U (1995): Mechanische und chemische Plaquerreduktion. *DZZ* 50, 863-869

Schiøtt CR, Løe H, Jensen SB, Kilian M, Davies RM, Glavind K (1970): The effect of chlorhexidine mouthrinses on the human oral flora. *J Periodontal Res* 5, 84-89

Schlegel HG, Fuchs G: *Allgemeine Mikrobiologie*. 8. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2007

Schröder HE: *Pathologie oraler Strukturen: Zähne, Pulpa, Parodont*. 3. Auflage; Karger-Verlag, Basel 1997

Schröder HE: *Orale Strukturbiologie*. 5. Auflage; Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 2000

Sharma NC, Galustians HJ, Qaqish J, Cugini M (1998): A comparison of two electric toothbrushes with respect to plaque removal and subject preference. *Am J Dent* 11, 29-33

Sharma NC, Galustians HJ, Qagish J, Cugini M Warren PR (2000): A Comparison of the Braun Oral-B 3D plaque remover and the Sonicare plus electric toothbrush in removing naturally occurring extrinsic staining. *Am J Dent* 13, 17-20

Sharma NC, Lyle DM, Qagish JG, Galustians J (2006): Evaluation of the plaque removal efficacy of three power toothbrushes. *J Int Acad Periodontol* 8, 83-88

Sicilia A, Arregui I, Gallego M, Cabezas B, Cuesta S (2002): A systematic review of powered vs. manual toothbrushes in periodontal cause-related therapy. *J Clin Periodontol* 29, 39–54

Splieth C: Professionelle Prävention, Zahnärztliche Prophylaxe für alle Altersgruppen. 1. Auflage; Quintessenz Verlag, Berlin 2000, 95-100

Staehe HJ (2004): Das aktive Mundgesundheitsverhalten in Deutschland und in der Schweiz. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114, 1236-1251

Staehe HJ, Schiffner U, Dörfer CE (2007): Häusliche mechanische Zahn- und Mundpflege. Stellungnahme der DGZMK. *ZM* 97, 64-69

Stanford CM, Srikantha R, Wu CD (1997): Efficacy of the Sonicare toothbrush fluid dynamic action on removal of human supragingival plaque. *J Clin Dent* 8, 10-14

Strate J, Cugini MA, Warren PR, Qagish JG, Galustians HJ, Sharma NC (2005): A Comparison of the plaque removal efficacy of two power toothbrushes: Oral-B Professional Care Series versus Sonicare Elite. *Int Dent J* 55, 151-156

Suido H, Offenbacher S, Arnold RR (1998): A clinical study of bacterial contamination of chlorhexidine-coated filaments of an interdental brush. *J Clin Dent* 9, 105-109

Suma Sogi HP, Subbareddy VV, Shashi Kiran ND (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, 81-85

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

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

Van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E (1994): The long term effect of an oscillating/rotating toothbrush on gingivitis. An 8 month clinical study. *J Clin Periodontol* 21, 86-90

Van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Snoek CM, Van der Velden U (1996): Comparison of an oscillating/rotating electric toothbrush and sonic toothbrush in plaque-removing ability. *J Clin Periodontol* 23, 407-411

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

Van der Weijden GA, Timmerman MF, Piscaer M, IJzerman Y, Van der Velden U (2002): A clinical comparison of three powered toothbrushes. *J Clin Periodontol* 29, 1042-1047

Van Rijkom HM, Truin GJ, van't Hof MA (1996): A meta-analysis of clinical studies on the caries-inhibiting effect of chlorhexidine treatment. *J Dent Res* 75, 790-795

Verma S, Bhat KM (2004): Acceptability of powered toothbrushes for elderly individuals. *J Public Health Dent* 64, 115-117

Versteeg PA, Timmerman MF, Rosema NAM, Warren PR, Van der Velden U, Van der Weijden GA (2005): Sonic-powered toothbrushes and reversal of experimental gingivitis. *J Clin Periodontol* 32, 1236-1241

Walmsley AD, Laird WRE, Williams AR (1988): Dental plaque removal by cavitation activity during ultrasonic scaling. *J Clin Periodontol* 15, 539-543

Warren DP, Goldschmidt MC, Thomson MB, Adlerstorthz K, Keene HJ (2001): The effects of toothpastes on the residual microbial contamination of toothbrushes. *J Am Dent Assoc* 132, 1241

Warren PR, Jacobs D, Low MA, Charter BV, King DW (2002): A clinical investigation into the effect of toothbrush wear on efficacy. *J Clin Dent* 13, 119-124

Warren PR, Ray TS, Cugini M, Charter BV (2000): A practice-based study of a power toothbrush: Assessment of effectiveness and acceptance. *J Am Dent Assoc* 131, 389-394

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, 758-765

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

Wyatt CCL, MacEntee MI (2004): Caries management for institutionalized elders using fluoride and chlorhexidine mouthrinses. *Community Dent Oral Epidemiol* 32, 322-328

Yates R, Jenkins S, Newcombe R, Wade W, Moran J, Addy M (1993): A 6-month home usage trial of a 1% chlorhexidine toothpaste (I). Effects on plaque, gingivitis, calculus and toothstaining. *J Clin Periodontol* 20, 130-138

Yokosuka N, Tanaka T, Ebisudani K, Iwai T (1989): Studies on bacterial contamination of chlorhexidine coated filaments of the toothbrush. *J Jpn Assoc Periodontal* 31, 960-969

Zampatti O, Roques C, Michel G (1994): An in vitro mouth model to test antiplaque agents: preliminary studies using a toothpaste containing chlorhexidine. *Caries Res* 28, 35-42

Zaura-Arite E, ten Cate JM (2000): Effects of fluoride- and chlorhexidine-containing varnishes on plaque composition and on demineralization of dentinal grooves in situ. *Eur J Oral Sci* 108, 154-161

Zimmer S: Kariesprophylaxe als multifaktorielle Präventionsstrategie. Med. Habil. Schr. Berlin 2000

Zimmer S, Stauss J, Bizhang M, Krage T, Raab WHM, Barthel C (2005): Efficacy of the Cybersonic in comparison with the Braun 3D Excel and a manual toothbrush. *J Clin Periodontol* 32, 360-363

Zolnowski-Casey M (1998): An infection control procedure that is the patients responsibility. *J Am Assoc* 129, 616-617