

4 Diskussion

4.1 Versuchsaufbau - Praxisversuch vs. Modellversuch

Bei der Überprüfung von Reinigungs- und Desinfektionsverfahren unterscheidet man zwischen einer Wirksamkeitsprüfung und einer Brauchbarkeitsprüfung. Die Wirksamkeitsprüfung beschränkt sich auf eine Untersuchung des mikrobiziden Effektes, während die Brauchbarkeitsprüfung zusätzliche Parameter wie Giftigkeit, Schädlichkeit und korrodierende Wirkung mit einbezieht [126]. Zur Wirksamkeitsprüfung von Reinigungs- und Desinfektionsverfahren stehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung: der Modellversuch und der Praxisversuch.

Beim Praxisversuch sind die natürlich kontaminierten Objekte, wie z. B. am Patienten eingesetzte Hand- und Winkelstücke, von der Art und Menge der Kontamination, der Bakterienflora und der kontaminierten Oberfläche allerdings viel zu heterogen. Die Forderung nach Unabhängigkeit der Prüfungsergebnisse von Ort, Zeit und Person lässt sich im Praxisversuch nicht erfüllen [126]. Aber andererseits muss das Prüfmodell den Anwendungsbedingungen des Mittels in der Praxis so weitgehend wie irgend möglich entsprechen [127]. Aus diesen Gründen wurde in dieser Arbeit zur Überprüfung der Innenreinigung und -desinfektion auf den praxisnahen Modellversuch zurückgegriffen. Zur Überprüfung der Außenreinigung wurde ein Praxisversuch angewendet, da es nicht möglich war, mit einer definierten Bakterienmenge anzuschmutzen.

4.2 Methodendarstellung

4.2.1 Auswahl der Winkelstücke

Mehrere Studien, in denen die Reinigungs- und Desinfektionsleistung eines Gerätes an verschiedenen Modellen von Übertragungsinstrumenten überprüft wurde, haben gezeigt, dass sich nicht alle Übertragungsinstrumente gleich gut aufbereiten lassen [116,117,119]. Die Entscheidung für das in dieser Arbeit verwendete KaVo Winkelstück 20 LN hat mehrere Gründe: Zum einen lässt es sich gut zerlegen und zum anderen wurde in anderen Studien, in denen KaVo-Winkelstücke mit denen anderer Hersteller verglichen wurden, eher ein geringerer Reduktionsfaktor festgestellt. Im Gutachten von BORNEFF-LIPP zur maschinellen Desinfektion von zahnärztlichen Winkelstücken und Turbinen im Miele Reinigungs- und Desinfektionsautomaten G 7781 Dental wurde z. B. beim Winkelstück Sirona ein Reduktionsfaktor von

8,97, beim Winkelstück W&H ein Reduktionsfaktor von 9,09 und beim Winkelstück KaVo ein Reduktionsfaktor von 7,82 erreicht [119].

4.2.2 Auswahl des Prüforganismus

Bei der Auswahl des Prüforganismus liegt der Gedanke nah, dass es stets eine Reinkultur desjenigen Mikroorganismus sein müsste, die in der natürlichen Kontamination enthalten ist. So folgerichtig dies auf den ersten Blick auch zu sein scheint, so sprechen doch viele Gründe für die Wahl eines speziellen Prüforganismus. Es empfiehlt sich, für die Wirksamkeitsprüfung einen Mikroorganismus zu verwenden, der gegenüber dem zu prüfenden Desinfektionsmittel eine höhere Resistenz besitzt als die Mikroorganismen in der natürlichen Kontaminationslösung. Dadurch wird die Sicherheit bei der Anwendung des Desinfektionsmittels in der Praxis dahingehend erhöht, dass möglichst alle bei einer natürlichen Kontamination vorhandenen Mikroorganismen abgetötet werden.

Ein weiteres Kriterium für die Auswahl des Prüforganismus ist, dass angesichts der besonderen Anforderungen des Arbeitsschutzes der Umgang mit ihm möglichst ungefährlich sein soll - er soll möglichst nicht pathogen sein. Zusätzlich soll er sich mit geringem Aufwand an- und fortzüchten lassen und nur geringe Ansprüche an das Nährmedium und die Kultivierungsbedingungen stellen. Die Bakterienkulturen sollen in ihren mikrobiologischen Eigenschaften konstant sein und einen hohen Bakteriengehalt ergeben. Die mit den Mikroorganismen hergestellten Suspensionen sollen möglichst homogen sein und nur vereinzelt fremde Mikroorganismen enthalten. Beim Auftragen und Antrocknen der Bakteriensuspension auf Testobjekte soll die Anzahl der koloniebildenden Einheiten nicht abnehmen und der Prüforganismus soll sich mit einfachen Methoden nachweisen lassen [126]. Gemäß diesen Kriterien wurde der Prüforganismus *E. faecium* ausgewählt. Hinzu kommt, dass *E. faecium* ATCC 6057 bereits von BORNEFF-LIPP [119] oder ZÜHLSDORF et al [128] benutzt wurde. In anderen Studien wurden die Prüforganismen *Staphylococcus aureus* FDA209P [129], *Streptococcus mutans* ATCC25175 [59], *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442, *Candida albicans* ATCC 25618 [120] oder *Streptococcus salivarius* ATCC 13419 [117] im Prüfsystem Schraube / Grießbrei verwendet.

Die Bakterienkonzentration der Kontaminationslösung orientiert sich bei einem praxisnahen Modellversuch an der Bakterienkonzentration in der Mundhöhle. Allerdings ist die Bakterienkonzentration der Mundhöhle nicht konstant, sondern hängt von zahlreichen Faktoren wie der Tageszeit, der Mundhygiene und dem zeitlichen Abstand zur letzten Mahlzeit ab [130]. Je nach Autor schwanken die Werte von 10^5 KBE/ml [131] – 10^{10} KBE/ml Speichel [132]. E-

benso wie die Angaben über die Konzentration der KBE/ml Speichel unterscheiden sich die Konzentrationen der in der Literatur verwendeten Konzentrationen in den Testansammlungen: NEUGEBOREN et al, NIESENGARD et al, GUGGENHEIM et al oder MATSUYAMA et al arbeiteten mit einer Konzentration von 10^8 KBE/ml [59,116,133]. BORNEFF-LIPP verwendete eine Konzentration von 10^9 KBE/Prüfkörper [119] und ANDERSEN et al führten Versuche mit einer Konzentration von 10^{10} KBE/ml durch [117]. Da bei der Reinigung eine Reduktion von 2-4 Zehnerpotenzen und bei der Desinfektion von über 5 Zehnerpotenzen erwartet werden kann, wurden in dieser Arbeit – um noch Mikroorganismen nachweisen zu können – zwischen $8,6 \times 10^9$ und $3,4 \times 10^{10}$ KBE/ml eingesetzt.

4.2.3 Organische Belastung

Nachdem erkannt wurde, dass eine Proteinbelastung von Kontaminationslösungen einen Einfluss auf das Reinigungs- und Desinfektionsergebnis hat, wurden Studien durchgeführt, die eine mehr oder weniger starke Proteinbelastung in einem praxisnahen Modellversuch simulierten. GUGGENHEIM et al [116] und BÖßMANN [120] arbeiteten mit einem Zusatz von 5 % Pferdeserum. GRÄF et al erhöhten die Serumkonzentration auf bis zu 20 % [118]. Untersuchungen von CHAN-MYERS und CHU zeigten allerdings, dass Blut bei der Reinigung wesentlich schwieriger zu entfernen ist als Serum [134].

In der Zahnheilkunde werden Winkelstücke bei einer großen Anzahl von therapeutischen Verfahren eingesetzt, bei denen es auch zu einer Gefäßeröffnung und infolge dessen zu einer Blutung kommen kann. In der zahnärztlichen Chirurgie werden Übertragungsinstrumente z. B. zum Abtragen von Knochen verwendet. Bei der Osteotomie eines retinierten Weisheitszahnes - 84 % der 20-jährigen weisen retinierte untere Weisheitszähne auf [135] - muss die Zahnkrone aus dem Knochen freigelegt werden. Aber auch nach einer Extraktion mit Hebel oder Zange kann ein Abtragen scharfer Knochenkanten notwendig sein. Bei einer Wurzelspitzenresektion muss mit einem Winkelstück die Wurzelspitze freipräpariert werden. In der Implantologie wird nach dem Aufklappen der Schleimhaut mit einem Rosenbohrer ein Plateau geschaffen und der Kieferknochen angeraut, damit der Vorbohrer nicht abrutscht. In der Endodontie kann es beim Trepanieren eines Zahnes mit einer irreversiblen Pulpitis beim Abtragen des Pulpa-Daches mit einem rotierenden Instrument zu einer Blutung kommen. Diese Blutung kann so stark sein, dass innerhalb weniger Sekunden die Trepanationsöffnung voller Blut steht. In der Parodontologie werden Winkelstücke zur Politur nach Zahnstein- und Konkremententfernung eingesetzt. Dabei kommt es bei Patienten mit einer Gingivitis - zwischen 35 und 50 % der Erwachsenen leiden an einer Gingivitis [136] – bereits bei Berührung des Zahn-

fleisches zu einer Blutung. Sogar bei prothetischen oder konservierenden Behandlungen wie dem Präparieren eines Zahnes zur Aufnahme einer künstlichen Krone oder der Präparation einer Kavität für eine plastische Füllung kann es bei subgingival gelegenen Präparationsgrenzen zu Blutungen kommen. Diese nicht vollständige Aufzählung von zahnärztlichen Eingriffen, bei denen es zu Blutungen kommen kann zeigt, wie groß die Wahrscheinlichkeit einer Verschmutzung von Winkelstücken mit Blut ist. Dazu kommt, dass das Vorhandensein von Blut einen nachweisbaren Einfluss auf Reinigung und Desinfektion hat. JÜLICH et al verglichen 1990 verschiedene Methoden zur Erfassung der Wirkungsbeeinträchtigung von Desinfektionsmitteln durch Blut. Es wurde dazu der Agar-Diffusionslochtest, der Agarblocktest und der Meerschweinchenhauttest verwendet. Dabei wurde festgestellt, dass bereits 1 % gelöstes Hämoglobin zu einer deutlichen Wirkungseinschränkung führt, die deutlich größer ist als der als Eiweißfehler bekannte Einfluss von Serum oder Plasma [137]. HACHMANN wies 1994 nach, dass mit steigender Blutbelastung eine Abnahme der Desinfektionswirkung einhergeht [121]. SANCHEZ und MACDONALD untersuchten 1995 die Effektivität verschiedener Methoden zur Aufbereitung zahnärztlicher Instrumente und stellten dabei fest, dass keine der untersuchten Methoden – darunter auch Verfahren, die mit Ultraschall oder enzymatischen Reinigern arbeiten – in der Lage war, Blutrückstände vollständig zu entfernen [138]. SPICHER untersuchte 1997/98 den Einfluss von Blut auf die mikrobizide Wirksamkeit von verschiedenen Desinfektionsmitteln. Er stellte dabei fest, dass die Desinfektionsmittel, die Ammoniumverbindungen, Chloramin T und Glutardialdehyd enthalten, am stärksten durch den Zusatz von Blut in ihrer Aktivität eingeschränkt wurden, während bei Formaldehyd, Kresolseifenlösung und Ethanol die Wirksamkeit durch Blutzugabe nur wenig beeinträchtigt wurde [122].

Bei der Auswahl des verwendeten Blutes für eine Testanschmutzung besteht die Möglichkeit, humanes Blut oder tierisches Blut, wie z. B. Schafblut, zu benutzen. Da zahnärztliche Winkelstücke vorwiegend am Menschen und seltener bei Tieren eingesetzt werden, ist die Verwendung von Humanblut im Sinne eines praxisnahen Modellversuches realistischer. Hinzu kommt noch ein finanzieller und praktischer Aspekt: das Humanblut wurde vom Doktoranden kostenlos zur Verfügung gestellt und stand ohne umständliche Bestellverfahren jederzeit zur Verfügung.

4.2.4 Bedeutung der Gerinnungsfähigkeit für die Aufbereitung

Bei der Blutgerinnung werden wasserlösliche Blutbestandteile in wasserunlösliche umgewandelt. Da alle Blutbestandteile zur Erfüllung ihrer Aufgaben zwangsläufig in wasserlöslicher

Form vorliegen, sind die bei der Gerinnung entstehenden unlöslichen Fibrinfasern besonders relevant [139]. Zur Beschmutzung von Prüfkörpern aus Edelstahl verwendete PFEIFFER frisches, gerinnungsfähiges Humanblut. Da die Prüfkörper direkt nach der Blutentnahme verschmutzt wurden, konnte bei PFEIFFER auf gerinnungshemmende Zusätze verzichtet werden. Bei Arbeiten mit einer Blut-Bakterien-Suspension muss dafür Sorge getragen werden, dass zur Vermischung eine ausreichend lange Zeit vorhanden ist, bis die Blutgerinnung einsetzt. Dazu muss der Vorgang der Blutgerinnung durch Anwendung von Antikoagulanzen gehemmt werden. Zu den bekanntesten Antikoagulanzen gehören Heparin und Ca^{2+} -Antagonisten wie z. B. Citrat. Die SPRI-Spezifikation 74202 in Schweden sieht z. B. vor, dass bei Prüfungen chirurgische Instrumente komplett in Ca-reaktiviertes Citrat-Rinderblut eingetaucht werden [140]. Bei den Versuchen in dieser Arbeit wurde – wie auch von ZÜHLSDORF et al [128] – mit Heparin und Protamin gearbeitet. Heparin ist chemisch ein Mucopolysaccharid, das aus sulfatiertem D-Glucosamin und D-Glucuronsäure besteht. Aufgrund seiner zahlreichen negativen Partialladungen ist Heparin in der Lage, mit dem Gerinnungsfaktor Antithrombin III Komplexe zu bilden. Sowohl in vivo als auch in vitro vermag der Heparin-Antithrombin III-Komplex zahlreiche Gerinnungsfaktoren zu hemmen: Thrombin, IXa, Xa, XIIa, wobei die Faktoren Thrombin und Xa am empfindlichsten reagieren. Dabei ist die gerinnungshemmende Wirkung von Heparin an das Vorhandensein von Antithrombin III gebunden [49].

Bei den Versuchen in dieser Arbeit wurde der blutgerinnungshemmende Effekt von Heparin durch den Antagonisten Protamin wieder aufgehoben. Ein zeitlich getrenntes Einfüllen von heparinisierendem Blut und Protamin ist wegen der engen Lumina der Luft- und Wasserkanäle nicht möglich – das Protamin würde die Blut-Bakterien-Suspension aus dem Kanal verdrängen! Zu einer Vermischung und Blutgerinnung würde es zudem nur im Grenzbereich kommen. Protamin muss deshalb vor der Kontamination der Blut-Bakterien-Suspension zugegeben werden.

4.2.5 Weitere Bestandteile der Mundhöhle – Speichel und Plaque

Eine Testanschmutzung ist umso realistischer und die Ergebnisse sind umso aussagekräftiger, je ähnlicher sich die Testanschmutzung und eine mögliche klinische Kontamination in der Praxis sind. Neben Blut und Bakterien befinden sich noch Speichel und Plaque in der Mundhöhle. 1983 wurden von EDWARDSSON et al eine Studie zur Dampfsterilisation bei zahnärztlichen Turbinen durchgeführt; die Turbinen wurden dazu mit einer Speichel-Sporen-Suspension kontaminiert [141]. Auch in einem 1995/1996 veröffentlichtem Gutachten zur Reini-

gungs- und Desinfektionsleistung des KaVo Life time 2210 verwendete NILSSON eine Testanschmutzung, die 65% Speichel enthielt [142]. Die Verwendung von Speichel ist im Rahmen eines praxisnahen Modellversuchs gerechtfertigt; die drei großen Speicheldrüsen Glandula parotidea, Glandula sublingualis und Glandula submandibularis produzieren 1–2 l Speichel pro Tag und neben Wasser enthält Speichel auch Substanzen, die einen Einfluss auf die Reinigung oder Desinfektion ausüben können, wie z. B. die Kationen K^+ , Na^+ und Ca^+ , die Anionen Cl^- , PO_4^{3-} und HCO_3^- , die Enzyme Lysozym und Alphaamylase sowie Immunglobuline, Aprotinin und Muzine [20]. Allerdings ist die Zusammensetzung des Speichels stärkeren Schwankungen unterworfen als die Zusammensetzung des Blutes. Zusätzlich ist im Speichel keine konstante Menge von Mikroorganismen enthalten. Aus diesen Gründen wurde auf einen Speichelzusatz zur Testanschmutzung verzichtet. Bei den Zahnbelägen unterscheidet man unter anderem zwischen Speiseresten, Materia alba und Plaque. Bei der Plaque handelt es sich um einen Biofilm bestehend aus Speiseresten, Bakterien und einer interzellulären Matrix. Plaque kann durch Speichelbestandteile mineralisieren – mineralisierte Plaque wird Zahnstein genannt. Je nach Lage unterscheidet man supragingivalen Zahnstein oder subgingivalen Zahnstein, der auch Konkremete genannt wird. Die Entstehung von Plaque ist ein länger dauernder Entwicklungsprozess, der sich in mehreren Schritten vollzieht: Auf einer gereinigten, belagfreien Zahnoberfläche adsorbiert zunächst ein unstrukturierter, azellulärer Film, der als sekundäres Zahnoberhäutchen oder „acquired pellicle“ bezeichnet wird. Dieser Film weist eine Dicke von 0,1 – 1 μm auf und besteht vor allem aus Proteinen des Speichels. Aufgrund ihrer Eigenladungen können diese an die Kalzium- und Phosphatgruppen des Apatits der Zahnhartsubstanzen elektrostatisch binden. An diese Membran können sich selektiv innerhalb weniger Stunden zuerst grampositive Kokken (*Streptococcus sanguis*) und Actinomyceten anlagern. Im Laufe der Zeit folgen weitere Streptokokken, Aktinomyceten und Veilonellen [60].

In Studien zur Ermittlung der Effektivität von Zahnputztechniken oder elektrischen Zahnbürsten wurde Plaque mit einer Mischung aus wasserlöslichen Farben imitiert [143,144]. HAAS wies 1994 nach, dass diese künstliche Plaque am sandgestrahlten Kunststoffzahn eine vergleichbare Adhäsion wie Plaque am natürlichen Zahn besitzt [145]. In den hier durchgeführten Versuchen zur Überprüfung der Reinigung und Desinfektion mit dem Turbocid wurde auf eine Imitation von Plaque mit wasserlöslichen Farben verzichtet. Der Grund dafür liegt darin, dass die Verbindung zwischen Zahn und Plaque einen Entwicklungsprozess voraussetzt, der während einer durchschnittlichen Behandlungsdauer von 20 Minuten pro Patient nicht realistisch ist. Plaque hat damit keine Bedeutung für die Aufbereitung zahnärztlicher Winkelstücke.

4.2.6 Methoden der Innenkontamination

1972 veröffentlichten NEUGEBOREN et al eine Studie über die Desinfektion von zahnärztlichen Winkelstücken. Es wird darin beschrieben, dass der Arbeitskopf des Winkelstückes durch Eintauchen von 30 Sekunden in eine zwei Tage alte Bakterien-Suspension, die etwa 10^8 KBE/ml enthielt, kontaminiert wurde. Zusätzlich wurde mit einer Pasteur-Pipette Bakterien-Suspension in den Schaft des Bohrkopfes eingebracht [133]. HAUMANN kontaminierte 1993 zahnärztliche Winkelstücke durch Eintauchen der Bohrköpfe in eine Bakteriensuspension für 10 Sekunden [129]. BÖßMANN beschreibt 1993 eine Innenkontamination des Getriebes oder des Wasserkanals, indem mit einem Spezialadapter jeweils 1 ml Kontaminationslösung mit Hilfe einer Spritze ohne Kanüle eingebracht wurde [120]. Von BORNEFF-LIPP wird 1999 ein Verfahren verwendet, bei dem ebenfalls je 0,1 ml in die Spray-Luft/Spray-Wasser Kanäle direkt – ohne Adapter - mit einer Kanüle appliziert wurde [119]. Aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche wurde in der vorgelegten Arbeit ebenfalls mit einer direkten Methode gearbeitet.

4.2.7 Methoden der Außenkontamination

Bei der Kontamination der Außenflächen von zahnärztlichen Übertragungsinstrumenten werden in der Literatur verschiedene Methoden beschrieben. BÖßMANN und GRÄF beschreiben ein Eintauchen der Winkelstücke in ein Bakterienbad [118,120]. Bei dieser Methode hätte – da mit frischem Eigenblut gearbeitet wurde – eine unverhältnismäßig hohe Menge an Blut entnommen werden müssen. Von GUGGENHEIM et al wurde ein Sprühverfahren verwendet, um die Außenflächen von zahnärztlichen Hand- und Winkelstücken zu kontaminieren [116]. Allerdings tritt bei einem Sprühverfahren bei konvexen Oberflächen das Problem auf, dass die auf der Oberfläche des Winkelstückes befindliche Menge an Mikroorganismen nicht immer konstant ist. Zum anderen führt das Turbocid nur eine Desinfektion der Außenflächen - aber keine Reinigung - durch. Mit dem Turbocid ist deshalb keine vollautomatische Aufbereitung der Außenflächen zahnärztlicher Winkelstücke möglich, da eine Vorreinigung per Hand notwendig ist. In den Abbildungen 4-1 und 4-2 ist deutlich zu erkennen, dass durch das Besprühen mit Alkohol keine Reinigung erfolgte. Da die Reinigung aber eine Voraussetzung für eine effektive Desinfektion darstellt, wurde auf eine Kontamination der Außenfläche verzichtet.

4.2.8 Antrockenzeit

Einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg der Reinigung hat der Grad der Antrocknung. In einem praxisnahen Modellversuch orientiert sich die Antrockenzeit an der zahnärztlichen

Praxis. Je nach Organisation des Praxisablaufs wird in der zahnärztlichen Praxis der Zeitpunkt zwischen dem Ende der Patientenbehandlung und dem Beginn der Aufbereitung sicherlich schwanken. Betrachtet man die in der Literatur beschriebenen Antrockenzeiten in den Versuchen, so reichen diese von 5 Minuten – 90 Minuten.

NEUGEBOREN et al führten Versuche mit einer Antrockenzeit von 5 Minuten durch [133]. GUGGENHEIM et al geben eine Antrockenzeit von 30-40 Minuten an [116] und BÖßMANN arbeitete mit einer Antrockenzeit von 30 Minuten [120]. HAUMANN gibt eine Antrockenzeit von 90 Minuten an [129] und bei BORNEFF-LIPP erfolgte eine einstündige Trocknung [119]. GRÄF et al veröffentlichten, dass es bei der Überprüfung der Desinfektion unerheblich war, ob bei den Versuchen eine Antrockenzeit von 4 oder 24 Stunden gewählt wurde [118]. Da eine Antrockenzeit von einer Stunde in der zahnärztlichen Praxis realistisch ist und etwa im Mittel der oben angegebenen Zeiten liegt, wurde für die Versuche dieser Arbeit eine Antrockenzeit von einer Stunde gewählt.

4.2.9 Temperatur während der Antrockenzeit

Neben der Antrockenzeit unterscheidet sich auch die Temperatur während der Antrockenphase bei den verschiedenen Studien zur Überprüfung der Reinigungs- und Desinfektionsleistung. Die Literaturangaben reichen von Zimmertemperatur [116,119,120,133] bis zu einem 90-minütigen Trocknen in einem Heißluftofen [129]. Allerdings veröffentlichten ORZECHOWSKI et al im Jahr 2000 eine Studie, in der sie unter anderem untersuchten, welchen Einfluss die Temperatur während der Antrockenphase auf die Reinigung hat. Es wurde die Proteinmenge aus verschmutzten Winkelstücken zurückgewonnen, die bei Raumtemperatur, bei 35 °C und bei 50 °C inkubiert wurden. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den zurückgewonnenen Proteinmengen festgestellt werden [40]. Aus diesem Grund und aufgrund der Tatsache, dass die meisten anderen Versuche zur Reinigungs- und Desinfektionsleistung mit einer Antrocknung bei Zimmertemperatur erfolgten, wurde für die Versuche in dieser Arbeit ebenfalls Zimmertemperatur gewählt.

4.2.10 Rückgewinnung

Zur Rückgewinnung der Mikroorganismen aus den Luft- und Wasserkanälen müssen die Kanäle gespült werden. Dazu gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten: ein indirektes Spülen mit einem speziellen Adapter [120] oder ein direktes Spülen der Kanäle mit Endodontie Kanülen. Da bei den Vorversuchen allerdings festgestellt wurde, dass bei der indirekten Methode mit Adapter aus dem zuerst gespülten Kanal etwa eine Zehnerpotenz mehr Mikroorganismen als

aus dem zweiten gespülten Kanal zurückgewonnen werden konnte, wurden für die hier beschriebenen Versuche die einzelnen Kanäle direkt – ohne die Verwendung eines Adapters – gespült. Zusätzlich können die Winkelstücke mit einer bauschigen Zahnseide (Superfloss) gereinigt und die Mikroorganismen aus der Zahnseide anschließend in einer Flüssigkeit eluiert werden [109]. Um Kanäle mit Zahnseide zu reinigen ist es notwendig, die sich verjüngenden Kanalansfangs- und Endteile zu Entfernen. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten. Zum einen können die Anfangs- und Endteile mit einem Seitenschneider abgetrennt werden. Dabei kam es allerdings zu einer Veränderung des Lumens, so dass das Einfädeln von Zahnseide kaum noch möglich war. Zum anderen können die Anfangs- und Endteile mit einer rotierenden Trennscheibe entfernt werden. Das hat den Vorteil, dass sich die geometrische Form nicht verändert. Allerdings kommt es beim Abtrennen zu einer starken Hitzeentwicklung bis hin zum Glühen, so dass die Bakterien thermisch geschädigt werden. Da mit der Methode „Spülen der Kanäle mit Enthemmerkombination“ eine ausreichende, gut nachweisbare und kaum schwankende Menge Bakterien zurückgewonnen werden konnte, wurde auf das Durchziehen von Zahnseide verzichtet.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

4.3.1 Ergebnisse der Vorversuche

Bei den Vorversuchen 1-3 (technischen Überprüfung des Turbocids) fiel auf, dass es keine Schwankungen bei den Parametern „Dauer der einzelnen Aufbereitungsphasen“ und „Druck“ gab (Tab 4-1). Allerdings war die Einwirkzeit nach der externen Desinfektion bei jedem Durchlauf mit 51 s um 9 s kürzer als im Service-Handbuch angegeben. Es wurde deshalb beim Vorversuch 4 an einem anderen Turbocid die Dauer der einzelnen Aufbereitungsphasen gemessen (Tab 4-7). Dabei konnten ebenfalls Abweichungen von den im Service-Handbuch angegebenen Werten festgestellt werden; die Phase „Ölen“ dauerte anstatt 96 s 129 s. Es sollte deshalb vom Hersteller verstärkt darauf geachtet werden, dass die Dauer der einzelnen Aufbereitungsphasen den im Service-Handbuch angegebenen Werten entspricht.

Bei der Bestimmung des Verbrauchs an Wasser und Turbocidol aus den Vorratsgefäßen fiel in den Vorversuchen 1-3 auf, dass pro Arbeitszyklus der Volumenverbrauch von Wasser und Turbocidol aus den Vorratsgefäßen starken Schwankungen unterworfen war, während die aufgefangene Menge am Abflussbehälter relativ konstant war. Beim Betrachten der Vorversuche fällt auf, dass die Ergebnisse der Vorversuche 1-3 eine größere Streuung aufweisen als die Ergebnisse von Vorversuch 5 (alle vier Ansätze belegt). Bei der Wiederholung von Vor-

versuch 2 ist z. B. beim Verbrauch an Turbocidol eine Standardabweichung von 6,1 g feststellbar; beim Vorversuch 5 ist nur eine Standardabweichung von 0,3 g vorhanden. Es ist deshalb anzunehmen, dass die Unregelmäßigkeiten in der Flüssigkeitszufuhr durch ein internes Reservoir im Schlauchsystem ausgeglichen werden. Es ist optisch auch zu erkennen, dass der Flüssigkeitsspiegel im Vorrats-Schlauch stark schwankt. Damit kein Reinigungs- und Desinfektionsvorgang mit zu wenig Turbocidol stattfindet, befindet sich ein Füllstandsensor am Vorratsschlauch; sinkt der Flüssigkeitsspiegel im Schlauchsystem unter den Füllstandsensor, so ist es nicht möglich, dass Turbocid in Betrieb zu setzen. Andere Ursachen für eine fehlerhafte oder unzureichende Verteilung von Fluiden wären ein verstopfter Filter, ein schadhaftes Schlauchsystem oder ein defektes Magnetventil. Bei einer gründlichen Inspektion konnten aber weder Verunreinigungen im Filtersystem noch undichte Stellen entdeckt werden. Das Schlauchsystem wies keine geknickten oder verschmutzten oder gar verstopften Stellen auf. Außerdem würden o. g. Fehler auch zu einer veränderten Flüssigkeitsmenge im Abflussbehälter führen – diese wies allerdings kaum Schwankungen auf, genauso wenig wie die Flüssigkeitsmengen, die direkt unterhalb der Ansätze für Hand- und Winkelstücke aufgefangen wurden (Vorversuch 5). Es kann daraus gefolgert werden, dass die im Vorversuch 5 verwendete Methode zur Bestimmung des Volumenverbrauchs, trotz Schwierigkeiten beim Einfangen des dampfförmigen Turbocidols, geeigneter ist.

Zudem fällt auf, dass die verbrauchte Masse an Flüssigkeiten zwischen der Messreihe „nur Ansatz 1 belegt“ und der Wert berechnet aus „alle vier Ansätze belegt“ dividiert durch 4 nicht gleich ist. Beim Ablauf „nur Ansatz 1 belegt“ (Tabelle 4-1) wurden 17,2 g und bei der Wiederholung (Tabelle 4-2) 16,9 g gemessen. Beim Versuchsdurchlauf mit allen vier Ansätzen belegt wurden 55,0 g gemessen Tabelle (4-7). Teilt man die 55,0 g durch die Anzahl der Ansätze – in diesem Fall vier – erhält man 13,8 g, also wesentlich weniger als bei den Versuchen mit nur einem belegten Ansatz. Eine Erklärung dafür kann sein, dass aus nicht belegten und nicht aktivierten Ansätzen ebenfalls Flüssigkeiten tropfen. Allerdings waren beim Auffangversuch keine höheren Volumina bei Ansatz 1 feststellbar und auch beim Hauptversuch waren keine auffälligen Unterschiede bei der Aufbereitung zwischen den Winkelstücken, die an Ansatz 1, 2 oder 3 befestigt waren.

Desweiteren wurde in den Vorversuchen überprüft, ob die geringe Reinigungs- und Desinfektionsleistung in den Hauptversuchen auf die längeren Standzeiten, in denen das Gerät sich nicht in Betrieb befand, zurückzuführen ist. Dazu wurde vor den Hauptversuchen 4 und 5 noch dreimal der Verbrauch an Wasser und Turbocidol bestimmt. Die Ergebnisse dieser Ver-

suche unterscheiden sich allerdings nicht von denen, die bei der technischen Überprüfung zu Beginn der Hauptversuche in den Vorversuchen gewonnenen wurden.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlußfolgert werden, dass die langen Standzeiten, in denen sich das Turbocid nicht im Betrieb befand, keinen Einfluß auf die Aufbereitung zahnärztlicher Winkelstücke hat.

4.3.2 Ergebnisse der Hauptversuche

Bei den Hauptversuchen wurde die Restkontamination von 14 Luft- und Wasserkanälen nach einer Aufbereitung im Turbocid untersucht. Beim Hauptversuch 1 wurde dabei nach einmaliger Aufbereitung im Turbocid bei den Wasserkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 3,5 und bei den Luftkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 2,2 erreicht. Diese Ergebnisse unterscheiden sich allerdings von den Ergebnissen von GUGGENHEIM et al [116] oder von BÖßMANN [120]. Aufgrund der vorangegangenen technischen Überprüfung ist jedoch sichergestellt, dass das verwendete Turbocid zumindest während der Phasen der inneren Reinigung und Desinfektion konstant funktioniert. Der Grund für die schlechtere Reinigung und Desinfektion bei dieser Studie muss daher vor allem an der Testanschmutzung liegen. Wenn man die Ergebnisse von BÖßMANN oder von GUGGENHEIM et al betrachtet, erreichte das Gerät bei einer Serumkonzentration von 5 % einen Reduktionsfaktor von etwa 5. Bei den eigenen Versuchen mit einer zusätzlichen Kontamination mit Humanblut wurde lediglich nur ein Reduktionsfaktor von 3,5 bei den Wasserkanälen und 2,2 bei den Luftkanälen erreicht. Dies entspricht allerdings in etwa der Beeinflussung von Blut, wie sie in Versuchen von HACHMANN, von SPICHER oder von JÜLICH et al nachgewiesen wurden [121,126,137]. Auch zeigte sich bei Versuchen von BÖßMANN und RÜDEBUSCH, dass die Desinfektion mit chemischen Mitteln und Verfahren teilweise nur durch drastische Verlängerung der Einwirkungszeit über eine Stunde hinaus gesichert ist und aldehydfreie Desinfektionsmittel Schwächen aufweisen, wenn die Prüforganismen in Begleitsubstanzen wie Blut eingebettet sind [146].

Beim Hauptversuch 2 wurde untersucht, ob nach einer zweimaligen Aufbereitung im Turbocid ein höherer Reduktionsfaktor erreicht werden kann. Bei den Wasserkanälen wurde ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 4,0 und bei den Luftkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 4,1 erreicht. Vergleicht man die Ergebnisse von Hauptversuch 1 (einmalige Aufbereitung) mit den Ergebnissen von Hauptversuch 2 (zweimalige Aufbereitung), ist zu erkennen, dass durch einen zweiten Aufbereitungsvorgang ein höherer Reduktionsfaktor erreicht werden kann. Um auszuschließen, dass die Ergebnisse zufallsbedingt sind, wurde mit

Hilfe des T-Tests die Irrtumswahrscheinlichkeit getrennt für die Luft- und Wasserkanäle berechnet. Bei den Wasserkanälen wurde ein p-Wert von 0,032 und bei den Luftkanälen ein p-Wert von 0,001 erreicht. Da ein p-Wert $< 0,05$ als signifikant gilt, ist ein signifikanter Unterschied zwischen einer einmaligen und einer zweimaligen Aufbereitung sowohl bei den Wasserkanälen als auch bei den Luftkanälen festzustellen. Jedoch reicht dieser höhere Reduktionsfaktor praktisch noch nicht aus. Eine mögliche Ursache dafür, dass mit einer zweimaligen Aufbereitung im Turbocid keine ausreichende Bakterienreduktion erreicht wurde, kann an der fixierenden Wirkung von Alkohol liegen [147].

Bei den Hauptversuchen 3 und 4 wurde nur die Reinigung alleine untersucht. Es wurde dabei beim Hauptversuch 3 nach einer einmaligen Reinigung ohne Desinfektion bei den Wasserkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 2,1 und bei den Luftkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 2,4 erreicht. Im Hauptversuch 4 wurde untersucht, ob nach einer viermaligen Reinigung ohne Desinfektion im Turbocid ein höherer Reduktionsfaktor erreicht werden kann. Es wurde dabei bei den Wasserkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 2,2 und bei den Luftkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 2,5 erreicht. Mit Hilfe des T-Tests wurde beim statistischen Vergleich der Ergebnisse von Hauptversuch 3 (einmalige Reinigung) mit den Ergebnissen von Hauptversuch 4 (viermalige Reinigung) für die Wasserkanäle ein p-Wert von 0,191 und für die Luftkanäle ein p-Wert von 0,450 berechnet. Es ist somit kein signifikanter Unterschied feststellbar.

Beim Hauptversuch 5 wurde nach einer einmaligen Reinigung und viermaligen Desinfektion im Turbocid bei den Wasserkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 4,2 und bei den Luftkanälen ein durchschnittlicher Reduktionsfaktor von 4,0 Luftkanälen erreicht. Mit Hilfe des T-Testes wurden die Ergebnisse von Hauptversuch 5 mit den Ergebnissen von Hauptversuch 1 (einmalige Aufbereitung) getrennt für die einzelnen Kanaltypen verglichen. Bei den Wasserkanälen betrug der p-Wert 0,000 und bei den Luftkanälen ebenfalls 0,000. Es ist somit ein signifikanter Unterschied festzustellen.

Die statistische Auswertung hat gezeigt, dass eine zweifache Aufbereitung oder eine einmalige Reinigung mit anschließender vierfacher Desinfektion einen signifikant besseren Aufbereitungserfolg bringt. Von der Firma Micro-Mega sollte versucht werden, dass Gerät in diese Richtung weiterzuentwickeln, so dass auch bei einer „worst-case Situation“ – wie bei einer Anschmutzung mit gerinnungsfähigem Blut – ein Reduktionsfaktor von fünf erreicht werden kann.

Überraschend ist das Ergebnis, dass bei einer viermaligen Reinigung kein erkennbar höherer Reduktionsfaktor erreicht wird als bei einer einmaligen Reinigung. Eine mögliche Erklärung

dafür ist, dass die Testanschmutzung bei der ersten Reinigung zwar zu einem Teil herausgespült wird, dass aber der Rest der Testanschmutzung durch den hohen Druck fest an die Innenwände der Wasser- und Luftkanäle gedrückt wird. Es besteht die Möglichkeit, dass dadurch das Kanallumen stärker verringert wird und demzufolge gemäß dem Gesetz von Bernoulli der Druck weiter abnimmt. Infolgedessen kann noch weniger Testanschmutzung gelöst werden. Es sollte deshalb in weiteren Arbeiten untersucht werden, ob ein einleitendes Spülen mit weniger Druck die Testanschmutzung besser von den Kanalwänden lösen kann. Im Gegensatz dazu lässt sich mit einer viermaligen Desinfektion ein signifikant höherer Reduktionsfaktor als bei einer einmaligen Desinfektion erreichen. Da der Druck bei Desinfektionsphase mit 5 bar genauso groß ist wie bei der Reinigungsphase, kann dieses Ergebnis entweder durch ein besseres Lösungsvermögen des Desinfektionsmittels erklärt werden oder dadurch, dass mehr Desinfektionsmittel länger einwirkt. Bestandteile der Testanschmutzung, besonders das gerinnungsfähige Humanblut, besitzt die Eigenschaft, Desinfektionsmittel in ihrer Aktivität zu hemmen bzw. zu inaktivieren. Dadurch, dass mit mehr Desinfektionsmittel gespült wird, wird das inaktivierte Desinfektionsmittel verdrängt und noch wirksames Desinfektionsmittel kann auf die Mikroorganismen einwirken. Allerdings lässt sich durch eine viermalige Wiederholung des Desinfektionsvorganges keine höhere Bakterienreduktion erreichen. Ein Grund dafür könnte sein, dass durch das Desinfizieren zwar die sich an der Oberfläche befindlichen Bakterien inaktiviert werden, aber im Kanal verbleiben. Für die restlichen Bakterien stellen die inaktivierten Bakterien eine Art Schutzschicht dar, von der die Bakterien vor einer Desinfektionsmittelwirkung geschützt werden. Ein möglicher Lösungsansatz für dieses Problem könnte die Verwendung eines Desinfektionsmittels mit einem besseren Penetrationsvermögen sein. Ein anderer Lösungsansatz besteht darin, den Biofilm durch Ultraschall aufzulockern. Allerdings würde dadurch der Preis für das Reinigungs- und Desinfektionsgerät stark erhöht werden.

Im Gegensatz zu den Versuchen von SCHÖNHERR [109] oder von DREYER und HAUMAN [148] ist bei den Ergebnissen dieser Arbeit nicht bei allen Hauptversuchen bei den Wasserkanälen ein signifikant höherer Reduktionsfaktor feststellbar. Lediglich beim Hauptversuch 1 wurde ein p -Wert $< 0,05$ erreicht. Dies kann damit zusammenhängen, dass ein eventuell konstruktionsbedingter Unterschied sich auch auf die Rückgewinnung bei der zur Kontrolle nicht aufbereiteten Winkelstücke auswirkt.

4.4 Vergleich des Turbocid mit anderen Geräten zur maschinellen Aufbereitung von zahnärztlichen Winkelstücken

In dieser Arbeit wurde mit einer Testansmutzung, die neben Mikroorganismen zusätzlich gerinnungsfähiges Blut enthielt, gearbeitet. Da das Vorhandensein von Blut den Aufbereitungsprozess beeinflussen kann [121,126,134,137], sind die Ergebnisse dieser Arbeit nicht mit den Ergebnissen von Studien vergleichbar, in denen lediglich mit einer mikrobiellen oder einer Serumbelastung gearbeitet wurde. Es gibt bis jetzt keine Veröffentlichung, in der mit Hilfe einer Blut-Bakteriensuspension mikrobiologisch die Effektivität eines Gerätes zur Aufbereitung zahnärztlicher Winkelstücke untersucht wurde.

Untersuchungen von SCHÖNHERR konnten jedoch mit Hilfe der ortho-Phthaldialdehyd-Methode (OPA-Methode) zeigen, dass die Reinigungsleistung von zwei bauartverschiedenen Reinigungs- und Desinfektionsgeräten unterschiedlich sind. Es wurden dazu insgesamt 60 zahnärztliche Winkelstücke mit gerinnungsfähigem Blut verschmutzt und nach einer Stunde Antrockenzeit jeweils 30 im Lifetime (KaVo, Biberach) und 30 im Sirona-Hygienecenter (Siemens AG, Bensheim) aufbereitet. Im Anschluss wurde durch Bestimmung der Extinktion mit Hilfe der modifizierten OPA-Methode die Restkontamination der Luft- und Wasserkanäle bestimmt. Es waren bei den im Lifetime aufbereiteten Winkelstücken signifikant ($p=0,00$) geringere Restkontaminationen festzustellen [109]. Die Ergebnisse von SCHÖNHERR zeigen, dass die OPA-Methode geeignet ist, noch Blutreste an aufbereiteten Winkelstücken nachzuweisen [109].

In dieser Arbeit wurde jedoch eine neue Methode eingeführt, da bereits mikrobiologische Untersuchungen zur Reinigungs- und Desinfektionsleistung des Turbocids existierten [116,120]. Durch die Verwendung einer mikrobiologischen Testansmutzung kann ein Reduktionsfaktor bestimmt werden, der mit dem Reduktionsfaktor anderer Arbeiten verglichen werden kann. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass gerinnungsfähiges Blut sehr schwer zu entfernen ist und dass nach der Reinigung zurückgebliebene Blutreste die Desinfektion und damit den berechneten Reduktionsfaktor beeinflussen. Während bei GUGGENHEIM et al oder BÖBMANN beim Turbocid ein Reduktionsfaktor über 5 festgestellt wurde [116,120], konnte in dieser Arbeit nur ein Reduktionsfaktor unter 5 festgestellt werden.