

Aus dem Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Kontamination wasserführender Leitungen in Dentaleinheiten mit
Mikroorganismen und Möglichkeiten der Entkeimung

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Dr. med. dent. Robert Julian Tschakert
aus Cuxhaven

Mainz, 2021

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

06. Juli 2021

Widmung

Für Lea und Oskar Ferdinand

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Literaturdiskussion	2
2.1 Behandlungseinheiten mit wasserführenden Leitungen	2
2.2 Ursachen und Infektionsquellen der Wasserkontamination	3
2.2.1 Biofilm.....	3
2.2.2 retrograde Keimbewanderung.....	5
2.3 Mikroorganismen und Erreger	5
2.3.1 Bakterien	6
2.3.1.1 Legionellen	6
2.3.1.2 Pseudomonas aeruginosa	8
2.3.1.3 nicht-tuberkulöse Mykobakterien	9
2.3.2 Viren	11
2.3.3 Pilze und Protozoen.....	12
2.4 Dekontaminationsverfahren	13
2.4.1 gesetzliche Rahmenbedingungen und Vorgaben.....	13
2.4.2 Desinfektion	16
2.4.3 chemische Wasserdesinfektion.....	16
2.4.3.1 Wasserstoffperoxid mit Silber- und Phosphatzusatz	16
2.4.3.2 Desinfektionsmittel mit Chlorverbindungen	17
2.4.3.3 Chloramin T und PHMB.....	19
2.4.3.4 Ozon.....	19
2.4.4 physikalische Wasserdesinfektion	20
2.4.4.1 UV-Strahlung	20
2.4.4.2 Anodische Oxidation.....	21
3. Material und Methoden	22
4. Ergebnisse	25
4.1 Deskriptive Analyse und Einteilung der untersuchten Studien	25
4.2 Analyse und Vergleich der Studien zu chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen in Dentaleinheiten und deren Wirksamkeit auf die Wasserdekontamination	28
4.2.1 Wirksamkeit chemischer und physikalischer Desinfektionsmaßnahmen auf die Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten	33
4.2.2 Wirksamkeit chemischer Desinfektionsmaßnahmen auf die Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten	35

4.2.3 Wirksamkeit physikalischer Desinfektionsmaßnahmen auf die Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten	38
4.3 Analyse und Vergleich der Studien zu Biofilmen in Dentaleinheiten	40
4.3.1 Angewendete Untersuchungsmethoden zur Untersuchung von Biofilmen	40
4.3.2 Wirkungserfolg chemischer und physikalischer Desinfektionsmaßnahmen auf die Biofilmreduktion in wasserführenden Leitungen zahnärztlicher Behandlungseinheiten	42
4.3.3 Anzucht, Wachstum und Etablierung von Biofilmen	51
4.4 Analyse und Vergleich der Übersichtsarbeiten	52
5. Diskussion	59
5.1. Wasserdekontamination und Biofilm	60
5.2. Problematik der Wasserdekontamination und Desinfektionsverfahren in zahnärztlichen Behandlungseinheiten	68
5.2.1 chemische Desinfektionsverfahren	70
5.2.2 physikalische Desinfektionsverfahren	77
6. Zusammenfassung	81
7. Literaturverzeichnis	83
Danksagung	99
Tabellarischer Lebenslauf	100

Abkürzungsverzeichnis

ADA	American Dental Association
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V.
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
DGKH	Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DNA	Desoxyribonukleinsäure
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EPS	extrazelluläre polymere Substanzen
HBV	Hepatitis-B-Virus
HCl	Salzsäure
HCV	Hepatitis-C-Virus
HIV	Humanes Immundefizienz-Virus
IfSG	Infektionsschutzgesetz
KBE/ml	Koloniebildende Einheiten je Milliliter
KRINKO	Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am Robert Koch-Institut
MAC	Mycobacterium-avium-Komplex
MRSA	Methicillin-resistenter Staphylococcus aureus
NTM	nicht-tuberkulöse Mykobakterien
PCR	Polymerase-Kettenreaktion
PEG	Polyethylenglycol
PHMB	Polyhexamethylenbiguanid oder Polyhexanid
PVC	Polyvinylchlorid
RNA	Ribonukleinsäure
RKI	Robert Koch-Institut
SB	sodium bicarbonate
SDS	sodium dodecyl sulfate
SLIPS	slippery liquid-infused porous surface
SMB	sodium metaperiodate
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VRE	Vancomycin-resistente Enterokokken

1. Einleitung

Die Kontamination von wasserführenden Leitungen in Dentaleinheiten mit Mikroorganismen stellt nach wie vor ein erhebliches Problem in der medizinischen Hygiene dar. Insbesondere die Infektionsgefahr während ärztlicher und zahnärztlicher Maßnahmen rückt hierbei in den Mittelpunkt. Typischerweise bildet sich innerhalb der wasserführenden Leitungen ein Biofilm, der aus im Wasser gelösten Mineralien, Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukten besteht. Dieser Biofilm ist quasi die Grundlage für die Wasserkontamination und bildet einen geeigneten Nährboden für das Wachstum und den Stoffwechsel der Mikroorganismen. Das Keimspektrum ist in der Regel aus unterschiedlichen Bakterien und weiteren Mikroorganismen gemischt. Insbesondere die Besiedelung mit Legionellen oder Pseudomonaden spielt hinsichtlich einer Infektionsgefahr für Patienten und Behandler eine herausragende Rolle.

Aspekte wie Infektionsschutz und wirksame Maßnahmen der Wasserdesinfektion sowie die Wirtschaftlichkeit dieser sind regelmäßig Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen in der medizinischen Hygiene und stellen die Industrie vor eine schwierige Aufgabe der Problematik entgegenzutreten. Es wurde eine Reihe von Verfahren und Maßnahmen beschrieben. Dazu gehören verschieden Formen der Desinfektion sowie innovative maschinelle Dekontaminationsverfahren. Der Gesetzgeber hat mit dem Infektionsschutzgesetz genaue Vorschriften und Rahmenbedingungen vorgegeben, um eine möglichst hohe Sicherheit bei der Behandlung von Patienten zu gewährleisten.

Ziel dieser Arbeit ist es, die wesentlichen Maßnahmen und Fortschritte der Wasserdekontamination in der Fachliteratur darzustellen und zu vergleichen und hinsichtlich einer möglichen Optimierung der Situation zu untersuchen. Darüber hinaus sollen Richtlinien und Gesetze in die Analyse mit einbezogen werden.

Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit lautet hierbei, ob in der durchzusehenden Literatur Ansätze gefunden werden können, um das Problem der Keimbelastung in Dentaleinheiten effizient und dauerhaft lösen zu können. Es stellte sich die Frage, ob es Studien oder Untersuchungen gab, in denen Maßnahmen oder Verfahren beschrieben wurden, die eine zufriedenstellende Wasserdesinfektion ermöglichen oder die Bildung und Etablierung des Biofilms ausreichend verhindern können.

2. Literaturdiskussion

2.1 Behandlungseinheiten mit wasserführenden Leitungen

Unter einer Behandlungseinheit versteht man normalerweise einen Behandlungsstuhl, auf dem der Patient gelagert werden kann und behandelt wird. In der Regel ist diese Einheit mit einer Behandlungsleuchte, einem Speibecken und einer Bedieneinheit für integrierte Mikromotoren und Ultraschallhandstück ausgestattet. Weitere Bestandteile sind Absaugvorrichtungen für Speichel und Wasser, das während der Behandlung benötigt wird, und eine Multifunktionsspritze, die sowohl Luft als auch Wasser abgeben kann. Maßgeblich kommen diese Behandlungseinheiten als Dentaleinheiten in der Zahnmedizin zum Einsatz. Da während zahnärztlicher Behandlung häufig der Einsatz von Wasser unabdingbar ist, sind die Behandlungseinheiten mit wasserführenden Leitungssystemen ausgestattet.

Auch Behandlungseinheiten, die im Rahmen der HNO-ärztlichen Versorgung zum Einsatz kommen, sind oftmals mit wasserführenden Leitungssystemen ausgestattet. (Lüke et al. 2013)

Das Deutsche Institut für Normung definiert die zahnärztliche Behandlungseinheit als eine Einheit, in der alle Dentalinstrumente und zahnärztliche Ausrüstungsgegenstände miteinander verbunden sind, und es stuft diese als Medizinprodukt der Klasse IIa ein. (DIN 2018)

Behandlungseinheiten sind Medizinprodukte und fallen unter das Medizinproduktgesetz. Das Wasser wird in der Regel in Trinkwasserqualität aus dem öffentlichen Wasserverteilungssystem in die Behandlungseinheit eingespeist. Dabei dürfen die im Rahmen der allgemeinen Anforderung an das Trinkwasser festgelegten Grenzwerte für mikrobiologische Parameter nicht überschritten werden, wobei die Grenzwerte für *Escherichia coli* und Enterokokken je bei 0/100ml liegen. (TrinkwV 2001)

Die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut hat dazu eine Empfehlung herausgegeben, dass Wasser führende zahnärztliche Behandlungseinheiten nur mit Wasser betrieben werden dürfen, die den Voraussetzungen der Trinkwasserverordnung entsprechen. (RKI 2006)

Darüber hinaus gibt es inzwischen die Möglichkeit, Behandlungseinheiten mit einer vom öffentlichen Wassernetz unabhängigen Wasserversorgung zu betreiben. Dieses kann beispielsweise in Form von Bottle-Care-Systemen erfolgen, bei denen die

schlauchgebundenen Instrumente der Dentaleinheit aus Wasserflaschen versorgt werden. (Willeweit 2011)

Die Patienten kommen während der Behandlung mit dem Wasser aus der Behandlungseinheit in Kontakt, das beim Einsatz rotierender Instrumente als Kühlwasser benötigt wird, um Hitzeschäden vorzubeugen. Es wird in Form eines Aerosols abgegeben, das durch die Dentaleinheit vernebelt wird.

So kann beispielsweise bei der Präparation von Zähnen im Rahmen einer prothetischen Versorgung mit feststehendem Zahnersatz eine adäquate Wasserkühlung die thermische Schädigung der Zahnpulpa verhindern und den Erhalt der Zahnvitalität gewährleisten. (Biffar et al. 2011)

2.2 Ursachen und Infektionsquellen der Wasserkontamination

2.2.1 Biofilm

Die zentrale Problematik bei der Dekontamination von Nutzwasser in zahnärztlichen Behandlungseinheiten ist die Organisation von Mikroorganismen in Biofilmen, die sich entweder in den wasserführenden Leitungen der Dentaleinheit selbst oder in den Leitungen und Rohren des versorgenden Wassernetzes gebildet haben. Diese Biofilme bilden quasi die Basis für die fortwährende Wasserkontamination und die damit verbundene Infektionsgefahr für Patient und Behandler.

Grundsätzlich versteht man unter dem Begriff Biofilm eine gemeinschaftliche Anordnung von Mikroorganismen, die an einer Oberfläche haftet, eine dreidimensionale Struktur hat und von einer extrazellulären Matrix umschlossen ist. Die Bestandteile dieser Matrix stammen entweder aus der Umgebung oder von den Mikroben selbst. Sie bilden eine dicke, kontinuierliche, geladene und hydratisierte Schicht. (Marsh und Martin 2003)

In Biofilmen bilden unterschiedliche, kooperierende Mikroorganismen gut organisierte Gemeinschaften, welche sowohl aus Bakterien als auch aus Protozoen, Algen oder Pilzen bestehen können. (Pederson et al. 2002)

Die Matrix eines Biofilms wird von den Mikroorganismen selbst produziert und besteht aus extrazellulären polymeren Substanzen (EPS). Diese sind vorwiegend Polysaccharide, Proteine, Nukleinsäuren und Lipide. Sie tragen maßgeblich zur mechanischen Stabilität des Biofilms bei und sorgen für dessen Haftung an einer Oberfläche. Darüber hinaus wirkt die Matrix durch extrazelluläre Enzyme als externes Verdauungssystem für die Mikroorganismen. Den unmittelbar angrenzenden Zellen

wird so eine vereinfachte Metabolisierung von gelösten, kolloidalen oder festen Biopolymeren ermöglicht. (Flemming und Wingender 2010)

Die Entwicklung von Biofilmen vollzieht sich in aufeinanderfolgenden Phasen. Als Voraussetzung für die mikrobielle Besiedelung einer Oberfläche ist die Ablagerung von im Wasser gelösten Polysacchariden und Proteinen. Diesen Vorgang der Beschichtung nennt man Konditionierung. (Fuchs et al. 2007)

In der ersten Phase kommt es zu einer reversiblen Anheftung der Bakterien an die konditionierte Oberfläche. In Phase zwei binden die Bakterienzellen, vermittelt durch die extrazellulären polymeren Substanzen, irreversibel an die Oberfläche. Dabei verlieren sie ihre Geißeln und Flagellen und somit ihre Beweglichkeit. In der dritten Phase, auch als erste Reifungsphase bezeichnet, nimmt der Biofilm aufgrund von Wachstum und Vermehrung der Bakterien zunehmend seine typische Struktur an, bis in der vierten Phase, der zweiten Reifephase, eine komplexe Biofilm-Architektur organisiert und ausgereift ist. In der letzten Phase kommt es dann nur noch zur Ablösung einzelner Bestandteile oder einzelner Zellen. (Sauer 2003)

Biofilme in Trinkwassersystemen sind üblicherweise circa 100 µm dick. Verursacht die Strömung des fließenden Wassers starke Scherkräfte oder herrscht ein Mangel an Nährstoffen, können sich sehr feste und dünnere Biofilme bilden. (Roeske 2007)

Innerhalb eines solchen Gebildes kommt es auch zu einer funktionellen Differenzierung. Anaerobe Stoffwechselprozesse finden hauptsächlich in den tiefen Schichten statt, während an der Oberfläche der Biofilme maßgeblich eine Oxidation der reduzierten Produkte aus den tiefen Schichten stattfindet. Erreicht der Biofilm eine ausreichende Dicke, sorgen Scherkräfte für den Abtrag der Oberfläche. (Fuchs et al. 2007)

Die beteiligten Mikroorganismen verschaffen sich durch die Organisation in einem Biofilm Vorteile. Diese Symbiose darf dabei aber nicht als reine Ansammlung von unterschiedlichen Mikroorganismen angesehen werden, welche sich ausschließlich aus statischen Gründen organisiert haben, sondern vielmehr als Gemeinschaft in der sich gegenseitig beeinflusst und untereinander kommuniziert wird.

Die Bildung eines Biofilms wird vom Quorum sensing beeinflusst, welches die Expression bestimmter Gene abhängig von der Zelldichte modifiziert. Dabei kommt es zu einer Freisetzung von chemischen Signalmolekülen durch Bakterien, die eine Zell-zu-Zell-Kommunikation sowohl innerhalb als auch zwischen verschiedenen Bakterienarten bewirkt. So werden neben der Biofilmbildung beispielsweise die Virulenz und Motilität von Bakterien reguliert. (Miller und Bassler 2001)

Die Biofilmbildung in Leitungen von Dentaleinheiten führt zu einer Veränderung des Nutzwassers und wirkt sich negativ auf dessen Qualität aus. Neben der Verfärbung und Trübung des Wassers kann es zu Bildung von Geruchsstoffen kommen. Das Wachstum von Biofilmen bewirkt eine Korrosion des Leitungsmaterials und führt zu einem zunehmenden Strömungswiderstand, was wiederum die Fließgeschwindigkeit und die Oberflächenrauigkeit verändert. Weitere Faktoren, die sich günstig auf das Wachstum von Biofilmen auswirken, sind beispielsweise die Wassertemperatur oder lange Ruhezeiten. Dadurch wird eine Umgebung geschaffen, in der sich pathogene Erreger ansiedeln und vermehren können und eine ständige Kontamination des Wassers verursachen können bzw. es zu einer schlagartigen Freisetzung einer erheblichen Bakterienmenge durch Ablösen eines Biofilmes kommen kann. (Thoneick 2010)

2.2.2 Retrograde Keimwanderung

Eine weitere potenzielle Quelle für die Wasserkontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten bildet die Mundflora der behandelten Patienten. Während es sich bei der Wasserverkeimung durch Biofilmbildung in der Dentaleinheit selbst oder im vorgeschalteten Wasserversorgungsnetz um ein Problem des Wasserzulaufs handelt, so ist die Kontamination des Wassers durch die behandelten Patienten aufgrund eines Rücksaugeffektes bedingt. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einer retrograden Kontamination. Durch den Rücklauf von Speichel oder von Kühlwasser aus den verwendeten Winkelstücken kann es zur Keimverschleppung in die wasserführenden Leitungen der Behandlungseinheit und zu einer Infektion der nachfolgenden Patienten oder des behandelnden Personals kommen.

Auch über undichte Ventile oder durch den Rücksaugeffekt an der zahnärztlichen Turbine kann zu einer Verschleppung von Keimen aus der mikrobiellen Flora von Patienten zu einer Kontamination der wasserführenden Leitungen von Dentaleinheiten kommen. (Taube 2011)

2.3 Mikroorganismen und Erreger

In den folgenden Kapiteln geht es um die wichtigsten humanpathogenen Erreger, die im Zusammenhang mit der Wasserverschmutzung in Dentaleinheiten stehen. Diese werden im Wesentlichen in Bakterien, Viren und Pilze unterteilt. Darüber hinaus wurden Verunreinigungen durch Protozoen beschrieben (Singh und Coogan 2005),

die in diesem Zusammenhang sowohl als primäre Krankheitserreger, quasi im Sinne einer Amöbeninfektion, als auch als Wirt für Bakterien fungieren können, in denen sich die bakteriellen Erreger vermehren und Schutz finden.

2.3.1 Bakterien

Die Wasserkontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten und die daraus resultierende Infektionsgefahr ist maßgeblich ein bakteriell bedingtes Problem. Es konnte nachgewiesen werden, dass insbesondere die gramnegativen Erreger Legionellen (Atlas et al. 1995) und Pseudomonaden (Exner et al. 1981), im Mittelpunkt dieser Problematik stehen und in den folgenden Kapiteln genauer beschrieben werden. Immer bedeutender werden Infektionen mit nicht-tuberkulösen Mykobakterien (NTM), die in den vergangenen Jahren weltweit deutlich zugenommen haben. (Schönfeld et al. 2013)

Beispielsweise konnte in einer Studie aus den USA nachgewiesen werden, dass sich die Prävalenz von Lungenerkrankungen bei über 65-Jährigen zwischen 1997 und 2007 mehr als verdoppelt hat. (Adjemian et al. 2012)

2.3.1.1 Legionellen

Legionellen sind gramnegative, bewegliche und stäbchenförmige Bakterien, die strikt aerob wachsen. Von klinischer Relevanz ist insbesondere die Spezies *Legionella pneumophila*, welche maßgeblich für die Erkrankungen an Legionellose verantwortlich ist. Neben dem in der Regel gutartig verlaufenden Pontiac-Fieber verursacht diese Spezies insbesondere für abwehrgeschwächte Menschen gefährliche Legionellen-Pneumonien. (Groß 2009)

Legionellen sind Umweltbakterien aus der Familie der Legionellaceae, wovon heute 57 Spezies mit 76 Serogruppen beschrieben sind. Sie leben natürlicherweise in Süßwasser-Reservoirs wie beispielsweise Seen und Flüsse über die ganze Welt verteilt. Dort leben sie sowohl frei als auch in verschiedenen Einzellern wie zum Beispiel in Amöben. Aufgrund der modernen Installationstechnik mit Klimaanlage, Rückkühlwerken, zirkulierenden Warmwasseranlagen usw. konnten die Legionellen ihre natürlichen aquatischen Standorte verlassen und sich in Haushalten und Kliniken ansiedeln. Dort stellen sie als ursprüngliche Umweltbakterien eine humanpathogene Infektionsgefahr dar. (Lück und Jacobs 2016)

Sie vermehren sich in Biofilmen und intrazellulär in Amöben und anderen ebenfalls im Wasser vorkommenden Protozoen. Sie werden durch die Phagozytose in die Amöben aufgenommen und nutzen jene als Schmarotzer zur Vermehrung in Form von Zellteilung. Aufgrund der Produktion von Enzymen und Toxinen können die Legionellen die Verdauung durch den Wirt umgehen. Aus einem Bakterium können darin bis zu 100 neue Legionellen entstehen. Darüber hinaus bieten die Amöben oder andere Protozoen Schutz vor Umwelteinflüssen wie beispielsweise vor UV-Strahlen oder vor Austrocknung und dienen als Medium für den Transport über weite Strecken. (Bürschgens 2015)

Gefährlich für den Menschen werden diese Keime als Verursacher von Infektionen in unterschiedlichen Ausprägungen, die unter dem Begriff Legionellose zusammengefasst werden können. Darunter ist die Legionellen-Pneumonie die gefährlichste Erkrankung, die auch unter dem Namen Legionärskrankheit geläufig ist. Nach einer Inkubationszeit von 2-10 Tagen beginnt die Erkrankung mit Kopfschmerzen und Fieber. Auch Durchfälle können Teil des Krankheitsbildes sein. Da es sowohl zu Desorientierung und Verwirrtheitszustände als auch zu Lethargie kommt wird eine Beteiligung des zentralen Nervensystems diskutiert. In der Regel sind die Erkrankten älter als 50 Jahre und haben ein geschwächtes Immunsystem. Häufig sind die Patienten Alkoholranke oder Raucher. (Vogt et al. 2013)

Als weitere Risikofaktoren gelten das männliche Geschlecht, eine Immunsuppression, Rückkehr aus Mittelmeerurlauben insbesondere in Spanien, die Nutzung von Whirlpools in der jüngsten Vergangenheit oder Arbeiten an Wasserleitungen. Laborchemisch zeigt sich häufig eine Erhöhung der Kreatinkinase, eine Erhöhung der Transaminasen und eine Hyponatriämie. (Ewig 2015)

Legionellen können als langsam wachsende Erreger auf Spezialnährböden angezüchtet werden. Sie können aus Sputum, Bronchialsputumflüssigkeit oder seltener durch Punktion gewonnen werden. Als Schnelltest gibt es die Möglichkeit eines immunfluoreszenzserologischen Antigennachweises in alveolären Makrophagen oder den Nachweis von DNA im Rachenabstrich durch die Amplifikation mittels PCR. Therapiert wird die Legionellen-Pneumonie antibiotisch mit Makroliden oder Chinolonen. (Brodts und Stille 2012)

Als Mittel der Wahl ist Levofloxacin den Makrolid-Antibiotika vorzuziehen. Die intravenöse Therapie erfolgt mittels täglicher, einmaliger Gabe von 500mg über einen Zeitraum von 14 Tagen. (Uhrhau 2017)

2.3.1.2 Pseudomonas aeruginosa

Pseudomonas aeruginosa ist ein sich obligat aerob vermehrendes, gerades, gramnegatives Stäbchen. Es ist aufgrund seiner polaren Begeißelung beweglich und kann sich von organischen und anorganischen Stoffen ernähren. Die Kohlenhydratverwertung erfolgt ausschließlich oxidativ mittels Oxidase. Eine fermentative Verwertung von Kohlenhydraten ist nicht möglich, weswegen diese Bakterien zu den Non-Fermentern gezählt werden. Sie sind äußerst anpassungsfähige und unempfindliche Erreger und vermehren sich in feuchter Umgebung. *Pseudomonas aeruginosa* steht häufig im Zusammenhang mit nosokomialen Infektionen und verursacht, insbesondere bei abwehrgeschwächten Menschen, eitrige Infektionen. Typische Krankheiten sind Pneumonien, Harnwegsinfektionen, Haut- und Wundinfektionen, insbesondere bei Verbrennungen, Endokarditis und Sepsis. Otitiden, als chronische Form auch als Schwimmerohren bekannt, werden ebenfalls häufig durch sie verursacht. (Miksits und Hahn 2013)

Während des Wachstums verbreitet das Bakterium typischerweise einen süßlichen, nach Lindenblüten duftenden Geruch. In einer Arbeit von MANN konnte nachgewiesen werden, dass dieser Geruchsstoff identische mit ortho-Aminoacetophenon ist. Ziel dieser Arbeit war die Isolation und Ermittlung der Struktur des Geruchstoffes von *Pseudomonas aeruginosa*. Dazu wurden spezielle Extrakte von Bakterienkulturen untersucht und der Stoff ortho-Aminoacetophenon konnte unter UV-Licht in Papierchromatogrammen nachgewiesen und mittels p-Dimethylaminobenzaldehyd chemisch sichtbar gemacht werden. (Mann 1966)

Eine Pseudomonadeninfektion ist das Ergebnis einer Wechselwirkung zwischen erregerspezifischen Virulenzfaktoren und wirtsseitigen Gegebenheiten. Es kommt in der Regel erst dann zu einer Infektion, wenn die normalen Abwehrmechanismen des Wirts beeinträchtigt sind. Dieses ist der Fall, wenn die Integrität von Haut oder Schleimhäuten durch Katheter oder Endotrachealtuben zerstört ist, spezielle physiologische Abwehrmechanismen geschwächt sind, wie beispielsweise bei einer Neutropenie oder einem Komplementmangel, oder bei Erkrankungen wie zum Beispiel AIDS, die zu einer Immunsuppression führen. Zu den erregerspezifischen Virulenzfaktoren von *Pseudomonas aeruginosa* gehören verschiedene Enzyme, Strukturproteine und Toxine. Adhäsine ermöglichen den Erregern Bindebrücken zu Zellen über korrespondierende Rezeptoren herzustellen und erleichtern so eine initiale Kolonisierung des Wirts. Pili, Geißeln, Lipopolysaccharide und Lektine ermöglichen so beispielsweise eine Anheftung an die Epithelzellen der Trachea und des Oropharynx,

sowie eine Anheftung an das Muzin der Atemwege. Die Körperabwehr verstärkt quasi diese Anheftung, indem neutrophile Granulozyten weitere Rezeptoren enzymatisch freilegen. Proteasen lösen Peptide, die das Elastin vernetzen und erleichtern eine Gewebsinvasion und führen zur Zerstörung von Abwehrmechanismen. Zytokine führen zu Porenbildung in den Zellmembranen wodurch es zu Entzündung und Zerstörung von Zellen und Gewebe kommt. *Pseudomonas aeruginosa* bildet Exopolysaccharide und ermöglicht so eine Ausbildung von und eine Organisation in Biofilmen. (Adam et al. 2013)

2.3.1.3 nicht-tuberkulöse Mykobakterien

Nicht-tuberkulöse Mykobakterien sind unbeweglichen, aerobe und gerade oder leicht gekrümmte Stäbchen. Sie gehören zu der Familie der Mycobacteriaceae, wozu auch die Tuberkulosebakterien *M. tuberculosis*, *M. africanum* und *M. bovis* sowie der Erreger der Lepra *M. leprae* gehören. (Gößwald 2004)

Unter NTM versteht man eine Gruppe von Umweltmykobakterien von denen bisher 147 verschiedene Spezies entdeckt worden sind. Sie werden auch als atypische Mykobakterien, opportunistische Mykobakterien und MOTT (Mycobacteria other than tuberculosis) bezeichnet. (Schönfeld et al. 2013)

Charakteristisch für Mykobakterien ist die Säurefestigkeit, die durch den lipidreichen Aufbau ihrer Zellwand bedingt ist. Die Lipide bilden 60 % des Trockengewichtes und bestehen maßgeblich aus Mykolsäuren. Diese lipidreiche Zellwand macht die atypischen Mykobakterien widerstandsfähig und ermöglicht den Erregern auch unter ungünstigen Bedingungen lange überleben zu können. Beispielsweise können sie unter günstigen Bedingungen monatelang infektiös sein. (Hussein 2008)

Bei nicht-tuberkulösen Mykobakterien unterscheidet man zwischen langsam wachsenden und schnell wachsenden Spezies. Benötigen sie mehr als 7 Tage für sichtbares Wachstum, gelten sie als langsam wachsend. Benötigen sie weniger als 7 Tage, werden sie zu den schnell wachsenden Spezies gezählt. Sie kommen ubiquitär in der Umwelt vor. Einige der Arten kommen nur auf bestimmte Standorte begrenzt vor. So ist beispielsweise *M. ulcerans* ausschließlich in Afrika und dem südöstlichen Pazifik verbreitet. (Suerbaum et al. 2016)

Als natürliche Bewohner von Gewässern, Trinkwasser und verschiedenen Böden konnten sie auch in Biofilmen, Staub und Aerosolen nachgewiesen werden. Auch konnten geografische Unterschiede hinsichtlich ihrer Verbreitung aufgezeigt werden.

Zum Beispiel ist *M. malmoense* deutlich weiter in Europa als in den USA verbreitet. (Falkinham 2002)

Atypische Mykobakterien gelten als fakultativ pathogene Erreger und ihre Bezeichnung zielt darauf ab, dass die Erreger bei Krankheiten nachgewiesen werden können, die der Tuberkulose zwar ähneln, aber in atypischer Form ablaufen. Im Vergleich zu Mykobakterien des *M. tuberculosis*-Komplexes vermehren sie sich schneller und haben eine höhere Resistenz gegen Antibiotika. Insbesondere treten sie als Erreger opportunistischer Infektionen bei abwehrgeschwächten Patienten auf. Bei Infizierten mit dem HI-Virus gilt ein disseminierter Befall als AIDS definierende Erkrankung. Dabei können Mykobakterien in Dünndarm, Lunge, Leber, Milz, Lymphknoten, Knochenmark, Gehirn und Blut nachgewiesen werden. (Groß 2009)

Abgesehen von AIDS-Patienten werden disseminierte Infektionen auch bei Immunsuppression und hämatologischen Erkrankungen beobachtet. Generell gilt, dass Infektionen mit nicht-tuberkulösen Mykobakterien bei Patienten mit schwerwiegenden Grunderkrankungen oder schlechtem Allgemeinzustand auftreten. Dort verursachen sie symptomatische, aber auch asymptomatische Krankheitsverläufe. Neben den bereits erwähnten disseminierten Infektionen kommt es in erster Linie zu pulmonalen Erkrankungen. Weiterhin kann es zu Lymphadenitiden kommen. Insbesondere Kinder zwischen dem ersten und fünften Lebensjahr erkranken an einer einseitigen chronischen Lymphadenitis. Darüber hinaus verursachen die NTM Haut- und Weichteilinfektionen. Seltener werden Erkrankungen wie Otitis media, Osteomyelitis, Endokarditis oder ZNS-Infektionen beobachtet. (Forke 2012)

Die Übertragung der atypischen Mykobakterien erfolgt über die Inhalation eines erregerhaltigen Aerosols. Deswegen sind die Lungen der Hauptmanifestationsort für Infektionen. Prädisponierend sind chronische Lungenerkrankungen wie beispielsweise das Lungenemphysem, Bronchiektasen, Lungenfibrosen oder die zystische Fibrose. Auch eine zurückliegende Lungentransplantation gilt als Prädispositionsfaktor. (Gerok et al. 2007)

Zu den häufigsten Vertretern für Infektionen mit atypischen Mykobakterien zählen die Spezies *M. avium* und *M. intracellulare*. Beide Arten lassen sich nur schwer voneinander abgrenzen und werden deshalb auch als *Mycobacterium-avium*-Komplex (MAC) zusammengefasst. (Heizmann et al. 1999)

2.3.2 Viren

Auch Viren können zu einer Kontamination von Wasser in zahnärztlichen Behandlungseinheiten führen. Klinisch und in der Fachliteratur haben diese im Vergleich zu der bakteriellen Kontamination aber eine eher untergeordnete Bedeutung. Häufig wird in Arbeiten und Untersuchungen, die im Zusammenhang mit der Biofilmbildung oder der Wasserkontamination in Dentaleinheiten stehen, die Problematik der Verunreinigung durch Viren nur erwähnt, nicht aber im gleichen Maße untersucht, wie es für eine bakterielle Kontamination der Fall ist. (Barbeau 2000), (Bagga et al. 1984)

Unter dem Aspekt der Infektionsprophylaxe sollten insbesondere Viren eine zentrale Rolle einnehmen, die nach oraler Aufnahme beim Menschen zu Erkrankungen führen können und im Trinkwasser eine hohe Bedeutung als Infektionserreger haben. Dazu gehören beispielsweise Adenoviren, Enteroviren oder Noroviren. (Höll und Niessner 2011) Dieses ist insofern nachvollziehbar, da zahnärztliche Behandlungseinheiten in der Regel mit Trinkwasser gespeist werden.

Die Anzahl von Studien, die sich primär mit der viralen Dekontamination beschäftigen sind aber überschaubar. ARTINI et al. untersuchten in einer Studie, ob eine Infektion mit Viren über Dentaleinheiten potenziell möglich ist. Dabei wurden an drei Behandlungseinheiten vom gleichen Hersteller Untersuchungen mit zehn Hepatitis-C positiven Patienten durchgeführt. Die Einheiten unterschieden sich hinsichtlich technischer Maßnahmen zur Risikominimierung einer Wasserkontamination. Die konventionelle Behandlungseinheit hatte keine risikominimierende Extraausstattung. In der zweiten Einheit war ein Anti-Reaktionssystem eingebaut, ein System, was verhindert, dass Wasser zurück in die wasserführenden Leitungen fließen kann. Die dritte Einheit war neben dem Anti-Reaktionssystem auch mit einem automatischen Wasserdesinfektionssystem ausgestattet. Ziel dieser Arbeit war es das Wasser der unterschiedlich ausgestatteten Dentaleinheiten auf eine mögliche Dekontamination mit infektiösen Viruspartikeln nach zahnärztlichen Maßnahmen zu überprüfen. Dazu wurde jeder Patient auf allen Einheiten behandelt. Vor und nach der Therapie wurden mehrere Wasserproben von verschiedenen Stellen der Einheiten genommen. Im Labor wurde mit Hilfe der PCR die RNA des Hepatitis C-Virus aus den Wasserproben amplifiziert und nachgewiesen. Es zeigte sich, dass bei der Einheit mit den maximalen Vorkehrungen zur Infektionsprophylaxe keine RNA nachgewiesen werden konnte, während dies in den anderen beiden Einheiten der Fall war. Dieses zeigt, dass grundsätzlich eine Übertragung bzw. Infektion über Dentaleinheiten möglich ist. Die

Studie zeigt aber auch, dass technische Maßnahmen die Infektionsgefahr signifikant herabsetzen bzw. die Wahrscheinlichkeit einer Infektion deutlich reduzieren können. (Artini et al. 2008)

In einer Arbeit von LEWIS et al. wurde zahnärztliches Equipment und zahnärztliche Behandlungseinheiten in Hinsicht auf eine virale Kontamination und eine potenzielle Übertragung von Viren auf andere Patienten nach erneutem Gebrauch der Ausrüstung untersucht. Dazu wurden Patienten zahnärztlich behandelt, die mit dem Humanen Immundefizienz-Virus (HIV) infiziert waren und es wurden Untersuchungen mit Blut von Patienten durchgeführt, die mit dem Hepatitis-B-Virus (HBV) infiziert waren. Darüber hinaus wurden Laboruntersuchungen mit Bakteriophagen durchgeführt, die eine virale Verschmutzung simulieren sollten. Es konnte jeweils die DNA der infektiösen Partikel innerhalb der Ausrüstung und der wasserführenden Leitungen nachgewiesen werden. (Lewis et al. 1992)

Diese Untersuchungen zeigen nachdrücklich, dass auch Viren Ziel einer suffizienten Wasserdesinfektion sein müssen und sowohl in etablierten als auch neuartigen Desinfektionsverfahren berücksichtigt werden müssen.

2.3.3 Pilze und Protozoen

Die Verunreinigung von Wasser in zahnärztlichen Behandlungseinheiten kann auch durch Pilze und Protozoen verursacht werden und komplettiert quasi die Möglichkeiten der mikrobiellen Wasserkontamination. KELSTRUP et al. haben Proben von wasserführenden Dentaleinheiten untersucht und konnten darin die Schimmelpilze Cladosporium und Cephalosporium nachweisen. (Kelstrup et al. 1977)

GÖKSAY et al. untersuchten in einer Studie die Wasserqualität von 59 unterschiedlichen zahnärztlichen Behandlungseinheiten aus zwanzig verschiedenen Zahnarztpraxen und konnten nachweisen, dass in 18 dieser Behandlungseinheiten (30,5 %) Wasserproben mit Pilzen entnommen worden sind. (Göksay et al. 2008)

In einer Studie von JUST und MICHEL wurden über einen Zeitraum von 6 Monaten insgesamt 223 Wasserproben aus 49 verschiedenen zahnärztlichen Behandlungseinheiten entnommen. In 84 % der Proben konnten Pilze nachgewiesen werden. Darüber hinaus wurden in jeder Probe Amöben gefunden. In 8,2 % der Einheiten wurde die Gattung Naegleria und in 12,2 % der Einheiten die Gattung Acanthamoeba nachgewiesen. (Just und Michel 1984)

WEND untersuchte das Vorkommen und die gesundheitliche Bedeutung von freilebenden Amöben im Kühlwasser von Dentaleinheiten. Es konnte nachgewiesen werden, dass 62 % der entnommenen Wasserproben aus fabrikneuen Behandlungseinheiten, die nur wenige Wochen in Betrieb waren, bereits Amöben enthielten. (Wend 1997)

Protozoen müssen im Zusammenhang mit der Kontamination von Wasser aus zwei unterschiedlichen Perspektiven betrachtet werden. Zum einen dienen sie als Wirt für opportunistische bakterielle Krankheitserreger, wie es bereits im Kapitel 2.3.1.1 am Beispiel für Legionellen und Amöben beschrieben wurde, und zum anderen sind sie selbst Verursacher von Infektionen. So liegt beispielsweise der schwerwiegenden, lebensbedrohlichen primären Amöben-Meningoenzephalitis eine Infektion mit *Naegleria fowleri* zugrunde, einer Amöbenart die frei im Boden und im Wasser vorkommt. Chronisch kranke oder immunsupprimierte Patienten sind besonders gefährdet. Der Ausgang der Erkrankung ist meist letal. (von Albert und Fröscher 1991)

2.4 Dekontaminationsverfahren

2.4.1 gesetzliche Rahmenbedingungen und Vorgaben

Das deutsche ‚Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen‘ (Infektionsschutzgesetz, IfSG) überträgt dem Robert Koch-Institut (RKI) die Aufgabe, Strategien und Pläne zu entwickeln, einer Weiterverbreitung von Infektionen entgegenzutreten und mittels epidemiologischer und laborgestützter Analysen Infektionen präventiv zu verhindern. Dazu wurde eine Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut eingerichtet (KRINKO), die Empfehlungen zur Vorbeugung von nosokomialen Infektionen abgibt und sowohl betrieblich-organisatorische als auch baulich-funktionelle Maßnahmen zur Hygiene in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen vorschlägt. (IfSG 2000)

Die vom RKI geforderten Maßnahmen und festgelegten Vorschriften betreffen somit auch den Betrieb von wasserführenden Behandlungseinheiten in Zahnarztpraxen und Kliniken. Ihnen kommt, insbesondere unter dem Aspekt der Infektionsprophylaxe während der Anwendung am Patienten, eine große Bedeutung zu. Das Infektionsschutzgesetz bildet quasi die gesetzliche Grundlage für die Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten und die

Empfehlungen der KRINKO geben die entsprechenden Rahmenbedingungen für geeignete Desinfektionsverfahren und Desinfektionsmaßnahmen vor.

GRÜNEWALD stellt in Ihrer Dissertation fest, dass sowohl von der KRINKO im Jahr 2006 mit der Veröffentlichung der Empfehlung zur „Infektionsprävention in der Zahnheilkunde – Anforderung an die Hygiene“, als auch von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V. (AWMF) mit der Herausgabe der Leitlinie „Hygienische Anforderung an das Wasser in zahnärztlichen Behandlungseinheiten“ im Jahr 2015 gefordert wird, dass die Richtwerte des Wassers in Behandlungseinheiten für zahnärztliche Maßnahmen Trinkwasserqualität haben müssen. Darüber hinaus unterstreicht sie, dass mit der Änderung des IfSG im Jahr 2011 die bisher von der KRINKO als Empfehlung dienenden Richtlinien einen verbindlichen Gesetzescharakter bekommen haben, weil der Gesetzgeber jetzt davon ausgeht, dass der wissenschaftliche Standard auf diesem Gebiet nur eingehalten worden ist, wenn man sich an die Richtlinien gehalten hat. (Grünewald 2016)

Die folgenden Maßnahmen wurden 2006 von der KRINKO empfohlen und sollen einer mikrobiellen Kontamination von Dentaleinheiten entgegenwirken. Sie zielen einzeln oder kombiniert darauf ab, eine Biofilmbildung in den wasserführenden Leitungen zu verhindern oder einer rückwärtsgerichteten Verkeimung durch Blut oder Speichel der Patienten vorzubeugen. Danach hat der Betreiber der Dentaleinheiten sich bei deren Anwendung nach den Vorgaben des Geräteherstellers zu richten und hat sich bei Neuanschaffungen zu informieren, inwiefern die verbauten Materialien das Wachstum von Mikroorganismen hemmen. Darüber hinaus sollten die Hersteller der Behandlungseinheiten nur solche Materialien und Produkte einbauen, die im Vorhinein die Prüfung nach DVGW Arbeitsblatt W 270 bestanden haben. Das Arbeitsblatt W 270 „Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung“ definiert ein Werkstoffprüfverfahren, das das mikrobielle Wachstum auf nicht-metallischen Werkstoffen untersucht, die im Kontakt mit Trinkwasser stehen. Weiterhin fordert die KRINKO regelmäßige Spülungen der Behandlungseinheiten. Zu Beginn eines Arbeitstages sollen diese 2 Minuten lang an allen Entnahmestellen durchgespült werden und nach jeder Patientenbehandlung soll eine Zwischenspülung von mindestens 20 Sekunden erfolgen. Am Ende eines jeden Arbeitstages soll eine abschließende Spülung erfolgen. (RKI 2006)

Die Vorgaben für Gerätehersteller, wie Wasserleitungen und Luftleitungen in zahnärztlichen Behandlungseinheiten gestaltet und verbaut werden müssen, die Anforderungen an das verbaute Material und in welcher Art und Weise das Material

geprüft werden soll bzw. welche Prüfverfahren angewendet werden sollen, hat das Deutsche Institut für Normung e. V. festgelegt. (DIN 2015)

Die Wasserqualität kann durch konstruktionsbedingte Maßnahmen gesichert werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass keine Totstrecken eingebaut und lange Stagnationsstrecken vermieden werden. Wasserleitungen, die nicht genutzt werden, sollten nicht dauerhaft mit Wasser gefüllt sein oder regelmäßig gespült werden, um einer Biofilmbildung entgegenzuwirken. Die Wasserwege sollten möglichst so gestaltet sein, dass eine freie Durchströmung gewährleistet ist. Das bedeutet, dass die Wasserleitungen so installiert werden sollten, dass wenig Umlenkungen vorhanden sind und Übergänge von Leitungen unterschiedlichen Querschnitts möglichst stetig und nicht sprunghaft ineinander übergehen. Die Wasserleitungen sollten einen kleinen Durchmesser aufweisen und so konstruiert sein, dass ein Rückfluss von Flüssigkeiten in die Behandlungseinheit nicht möglich ist. (AWMF 2014)

Laut dem Deutschen Institut für Normung e. V. ist es erforderlich, dass die zahnärztliche Behandlungseinheit physikalisch von der Trinkwasserinstallation getrennt ist. Unter einer Trinkwasserinstallation versteht man das Kalt- und Warmwassersystem für Trinkwasser innerhalb eines Gebäudes. Diese Trennung kann beispielsweise durch einen freien Auslauf erfolgen. (DIN 2011)

Obwohl das Wasser zahnärztlicher Behandlungseinheiten in der Regel direkt aus dem Trinkwassernetz eingespeist wird, gilt es nicht als Trinkwasser, sondern als Betriebswasser. Daher ist auch die Anwendung von Desinfektionsverfahren erlaubt, die nicht auf der Liste der Aufbereitungsmittel und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung 2001 aufgeführt sind. Da das Wasser während der zahnärztlichen Behandlung in den Mund der Patienten gelangt und verschluckt wird, hält es GRÜNEWALD für wünschenswert, dass ausschließlich Desinfektionsverfahren und Desinfektionsmittel zur Anwendung kommen, die auch für die Trinkwasserdesinfektion zugelassen sind. (Grünwald 2016)

Dabei sollen, um das Aufbereitungsziel der Abtötung und Inaktivierung von Krankheitserregern zu erreichen, ausschließlich solche Stoffe zum Einsatz kommen, die toxikologisch unbedenklich sind und einen geringeren Gehalt an Verunreinigungen gegenüber ihren Vergleichsprodukten aufweisen. Darüber hinaus sollten nur Verfahren angewendet werden, welche auf lange Sicht möglichst wenig unerwünschte Nebenprodukte verursachen. (BMG 2002)

2.4.2 Desinfektion

Die Desinfektion ist grundsätzlich als eine Maßnahme definiert, die Mikroorganismen in einer Größenordnung von fünf 10er-Potenzen abtötet. Das bedeutet beispielsweise, dass von 100.000 Mikroorganismen nur maximal eines überlebt. Das während der Desinfektion geltende Prinzip der Keimabtötung wird auch Elimination genannt. (Bergen 2014)

Ferner versteht man darunter eine Maßnahme, die durch Abtötung, Hemmung oder Entfernung von pathogenen Mikroorganismen einen Gegenstand in einen Zustand versetzt, in dem dieser nicht mehr infektiös ist und es durch gezielte Keimreduktion zu der Unterbrechung einer Infektionskette kommt. (Klischies et al. 2008)

Durch den Eingriff in die Struktur und in den Stoffwechsel unerwünschter Mikroorganismen mittels germizider Mittel oder Verfahren werden diese Organismen unabhängig von ihrem Funktionszustand abgetötet oder ihre Vermehrung sowie ihre Übertragbarkeit unterbunden. Die Anforderungen an Desinfektionsmittel lassen sich auf drei wesentliche Kriterien reduzieren: Wirksamkeit bei niedriger Konzentration, Anwendungs- und Anwenderfreundlichkeit und Umweltfreundlichkeit. (Frey und Althaus 2007)

In den folgenden Kapiteln sind gängige Desinfektionsverfahren und Desinfektionsmittel und deren Wirkungsweisen beschrieben, die in Deutschland für die Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten regelmäßig zum Einsatz kommen. Grundsätzlich kann man zwischen chemischer und physikalischer Desinfektion unterscheiden.

2.4.3 chemische Wasserdesinfektion

In den folgenden Kapiteln werden chemische Desinfektionsmittel zur Wasserdekontamination beschrieben, die analog zu der S2k-Empfehlung zur hygienischen Anforderung der AWMF an das Wasser in zahnärztlichen Behandlungseinheiten geeignet sind. Darüber hinaus werden Desinfektionsmittel aufgeführt, die zur Abtötung und Inaktivierung von Krankheitserregern in Trinkwasser zugelassen sind, aber nicht in der S2k-Empfehlung berücksichtigt wurden.

2.4.3.1 Wasserstoffperoxid mit Silber- und Phosphatzusatz

Durch die Elektrolyse angesäuerter Lösungen von Ammoniumsulfat oder mittels Dehydrierung organischer Verbindungen entsteht Wasserstoffperoxid und wird als

Desinfektionsmittel in Form wässriger Lösungen in unterschiedlichen Konzentrationen vertrieben. (Althaus 2007)

Zur industriellen Gewinnung von Wasserstoffperoxid kommt das Anthrachinon-Verfahren zur Anwendung. Dabei wird ein Alkylanthrachinon mit Wasserstoff katalytisch zum Hydrochinon reduziert und schließlich mit Sauerstoff umgesetzt. Das resultierende Hydrochinon wird dann unter Bildung von Wasserstoffperoxid wieder zum Anthrachinon-Derivat oxidiert. (Franck und Stadelhofer 2013)

Wasserstoffperoxid kann unbegrenzt mit Wasser vermischt werden. Es kommt zu einem langsamen Zerfall in Wasser und Sauerstoff. Pro eingesetztem Kilogramm Wasserstoffperoxid werden 0,47 kg Sauerstoff freigesetzt. Durch die Anwesenheit von Katalysatoren, wie beispielsweise Enzyme von Mikroorganismen oder Metallen, kann es zu einem spontan einsetzenden Zerfall kommen. (Roll 2008)

Die desinfizierende Wirkung von Wasserstoffperoxid basiert auf der intermediären Freisetzung atomaren Sauerstoffs, welcher sehr einfach in organische Membranen eindringen kann. In Abhängigkeit der Sauerstoffkonzentration wirkt Wasserstoffperoxid bakteriostatisch, bakterizid und antimykotisch. Darüber hinaus hat es eine inaktivierende Wirkung auf Viren. (Althaus 2007)

Der Zusatz von Silber oder Phosphat zur Wasserstoffperoxid-Lösungen dient der Stabilisierung des Desinfektionsmittels. Die Kombination von Wasserstoff und Silber hat einen synergistischen Effekt auf die Abtötung von Mikroorganismen. Die desinfizierende Wirkung von Silber basiert auf der schädigenden Einwirkung von Silberionen auf Zellen bzw. Mikroorganismen. Man spricht in diesem Zusammenhang von dem oligodynamischen Effekt. Darunter versteht man die bakteriostatische und bakterizide Wirkung, bzw. die schädigende Wirkung auf Zellen, von bestimmten Metallionen, die schon bei kleinster Konzentration auftritt. (Bogensberger et al. 1999)

2.4.3.2 Desinfektionsmittel mit Chlorverbindungen

Zur Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten werden unterschiedliche Desinfektionslösungen mit Chlorverbindungen als Reagenz angewendet. Routinemäßig und mit nachgewiesener Wirksamkeit kommt dabei in erster Linie das Chlorhexidin (CHX) zum Einsatz.

Chlorhexidin ist ein Bisbiguanid mit einem breiten Aktivitätsspektrum gegen Hefen, Pilze und viele grampositive und gramnegative Bakterien. Es wirkt in hohen

Konzentrationen bakterizid, indem es zu einer Beschädigung der Zellmembran führt. (Marsh und Martin 2003)

Als weitere Chlorverbindungen finden im Wesentlichen Chlorgas, Chlordioxid, Calciumhypochlorit und Natriumhypochlorit Verwendung. Diese Mittel wirken schon in geringen Mengen. Dabei ist die Desinfektionswirkung von Chlorverbindungen maßgeblich auf die Wirkung der hypochlorigen Säure zurückzuführen, die bei der Reaktion dieser Desinfektionsmittel mit Wasser entsteht. (Roeske 2007)

Die hypochlorige Säure dissoziiert im Wasser und bildet Hypochlorit-Ionen. Dieses geschieht abhängig vom pH-Wert und der Anteil der Hypochlorit-Ionen steigt mit zunehmenden pH-Wert. Die desinfizierende Wirkung von Hypochlorit-Ionen ist im Vergleich zur hypochlorigen Säure deutlich geringer. Das bedeutet, dass die Desinfektionswirkung von Chlorverbindungen in Wasser mit steigendem pH-Wert abnimmt. Durch die Chlorung von Wasser können frei suspendierte Mikroorganismen einschließlich bakterieller und viraler Krankheitserreger inaktiviert oder abgetötet werden. Bei den zugelassenen Maximaldosierungen ist die Chlorung von Wasser gegenüber Parasiten allerdings wirkungslos. (Rautenberg et al. 2014)

Bei normalen Temperaturen und Druck ist Chlorgas ein giftiges, gelbgrünes Gas und hat einen typischen stechenden Geruch. Durch Abkühlung und Druck wird Chlorgas in eine orangegelbe Flüssigkeit umgewandelt und kann so in Stahlflaschen abgefüllt und zur Wasserdesinfektion verwendet werden. Die Wasserlöslichkeit von Chlorgas ist von der Temperatur und vom Druck des Gases abhängig. Neben Chlorgas wird auch Chlordioxid zur Wasserdesinfektion angewendet. Chlordioxid bildet im Gegensatz zu Chlorgas keine Chloramine mit Ammonium oder anderen Aminoverbindungen. Dieser Effekt des Chlorgases, der sich sowohl negativ auf die Desinfektionswirkung als auch auf den Wassergeschmack auswirkt, ist bei der Anwendung von Chlordioxid nicht gegeben. Darüber hinaus ist die Keimtötungsgeschwindigkeit, anders als beim Chlorgas, nicht vom pH-Wert des Wassers abhängig. (Roeske 2007)

Chlordioxid wirkt stärker bakterizid und ist im Unterschied zu Chlorgas auch gegen Mikroorganismen in Biofilmen wirksam. Viruzide Eigenschaften zeigt es als Flächen- und Instrumentendesinfektionsmittel. (Bodenschatz 2012)

Natriumhypochlorit ist eine stark oxidative Substanz und hat gute viruzide Eigenschaften. Es wirkt sowohl in Suspensionen als auch auf Oberflächen. Bei unbehüllten Viren schädigt es sowohl effektiv das Kapsid als auch die RNA. (Becker und Pfannebecker 2016)

2.4.3.3 Chloramin T und PHMB

Das Chloramin T, chemisch Natrium-N-Chlor-4-Methylbenzolsulfonamid, wird als chlorabspaltende Substanz sowohl zur Wasserdesinfektion als auch zur Flächen-, Geräte- und Wäschedesinfektion verwendet. Auch als Wundantiseptikum findet es seine Anwendung. (Eisenbrand et al. 2014)

Die desinfizierende Wirkung basiert zunächst auf der Abspaltung von wirksamem Hypochlorit und sekundär auf reaktive Folgeprodukte wie Chlor und diversen Sauerstoffradikalen. Das Wirkungsspektrum und die Wirksamkeit sind nicht mit Natriumhypochlorit vergleichbar, da verschiedene Freisetzungsbedingungen für das verfügbare Chlor existieren, die sowohl vom Reaktionsmilieu als auch von Reaktionssubstrat abhängen. Im Vergleich zu Hypochloriten ist die Wirksamkeit geringer und der Wirkungseintritt langsamer, die Wirkung hingegen ist länger anhaltend. (Bodenschatz 2012)

Polyhexanid (PHMB) ist ein kationisches Biguanid und wirkt durch eine Steigerung der Membranpermeabilität gegen Bakterien und Hefepilzen. (Garbe et al. 2005)

Es gehört zur Stoffklasse der polymeren Biguanide und seine chemische Bezeichnung lautet Poly(2,4-diimino-1,3,5-triazaundecamethylenhydrochlorid). Vertrieben wird es in der Regel als zwanzigprozentige Lösung und ist sehr gut wasserlöslich. Das Wirkspektrum von Polyhexanid weist auch eine bakterizide Wirkung gegen antibiotikaresistente Keime wie MRSA und VRE auf. Der Hauptangriffsort von Polyhexanid sind die sauren Phospholipide der Zellmembranen, welche dabei strukturell in der Art verändert werden, dass es zu einer Auflösung der Membranintegrität kommt. (Kampf 2013)

In Kombination wirken Chloramin T und PHMB synergistisch und haben ein breites antimikrobielles Wirkungsspektrum. (AWMF 2014)

2.4.3.4 Ozon

Ozon ist ein starkes Oxidations- und Desinfektionsmittel und wird sowohl zur Wasserdesinfektion als auch zur Aufbereitung von Trinkwasser verwendet. Durch den Einsatz von Ozon wird besonders der oxidative Abbau von organischen Belastungsstoffen im Wasser gesteigert. Deswegen hat Ozon eine sehr gute bakterizide, viruzide und sporizide Wirkung. Darüber hinaus führt es zur Ausflockung von kolloidalen Stoffen im Wasser, was sich zusätzlich positiv auf den Geruch und

Geschmack sowie auf die optischen Eigenschaften des Wassers auswirkt. (Roeske 2007)

Ozon ist ein instabiles Molekül und eine Lagerung über einen längeren Zeitraum ist nicht möglich. Aufgrund der Instabilität hat es im Vergleich zu anderen Desinfektionsmitteln, wie beispielsweise Chlor, keine Depotwirkung im Wasser und verliert relativ schnell seine desinfizierende Wirkung.

Die Herstellung von Ozon erfolgt nach dem Prinzip der stillen elektrischen Entladung. Dabei wird in einem Gasraum zwischen zwei Elektroden, die durch ein Dielektrikum voneinander getrennt sind, ein sauerstoffhaltiges Gas durchgeleitet, während an die Elektroden ein Wechselstrom angelegt wird. Somit kommt es zu einer elektrischen Gasentladung und zur Bildung von Ozon. Die Herstellung benötigt eine Menge Energie, wobei circa 90 % der zugefügten Energie in Wärme umgewandelt wird. Damit diese Wärme nicht sofort wieder zum Zerfall des gewonnenen Ozons führt, muss der Entladungsraum ausreichend gekühlt werden. (Kurzmann 1993)

2.4.4 physikalische Wasserdeseinfektion

2.4.4.1 UV-Strahlung

Eine physikalische Maßnahme zur Wasserdekontamination ist die Anwendung von UV-Strahlung. Grundsätzlich kommt es dabei zu Veränderungen des Erbgutes der Mikroorganismen und zum Verlust der Fähigkeit zur Vermehrung. Darüber hinaus kommt es zur Beschädigung von Reparaturmechanismen der Mikroorganismen, weil Proteinen, Enzymen, Lipiden und Zellmembranen zerstört werden.

Die biologische Wirkung beruht auf der Veränderung der DNA und RNA, da Nukleinsäuren die UV-Strahlen mit einer Wellenlänge von 245-260 nm absorbieren. Dabei kommt es typischerweise zu Schäden in Form von kovalenten Verknüpfungen zweier Pyrimidine oder von Thymin-Resten, was zu einer Strukturveränderung der DNA führt und eine Replikation verhindert. Auch die Reparaturmechanismen der Mikroorganismen können ein Absterben bei dauerhafter UV-Bestrahlung nicht verhindern. Die dezimale Reduktion der Keime ist unter idealen Bedingungen proportional zur eingesetzten UV-Dosis. Die Effektivität der Bestrahlung wird aber durch mehrere Faktoren vermindert. Dazu gehören Verschmutzungen durch Partikel im Wasser, die Organisation der Mikroorganismen in Agglomeraten oder in Biofilmen, UV-Resistenzen der Keime, die Erregerart und die technische Schwierigkeit einer gleichförmigen Bestrahlung. (Sahm et al. 2014)

Die Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung ist bei Bakterien, Viren und Pilzen weitestgehend gleich. Bakteriensporen und Parasiten hingegen sind deutlich widerstandsfähiger. Ein Nachteil der Desinfektion mit UV-Strahlen ist, dass die Desinfektionswirkung ausschließlich am Ort der Bestrahlung wirkt. Die Gefahr einer erneuten Kontamination des Wassers ist im Vergleich zu chemischen Desinfektionsverfahren deutlich höher. Unter technischen Gesichtspunkten ist für eine adäquate Wasserdeshinfektion mit UV-Strahlen eine auf die vorgesehene Durchflussmenge und Wasserbeschaffenheit abgestimmte Bestrahlungsapparatur unerlässlich. Darüber hinaus darf während des Betriebs der Durchfluss der zulässigen Wassermenge nicht überschritten werden und die Mindestbestrahlungsstärke muss eingehalten werden. (Roeske 2007)

Als UV-Strahlenquelle haben sich kalte Quecksilberdampf-Niederdruckstrahler gegenüber Hochdruckstrahlern durchgesetzt. Für die Wasserdeshinfektion sind sie aufgrund ihrer überlegenden Strahlungsleistung und längeren Lebensdauer besser geeignet. (Kramer 2016)

2.4.4.2 Anodische Oxidation

Bei der anodischen Oxidation handelt es sich um ein Verfahren, dass bei einem Elektrolyseprozess zu einer Herstellung von Hypochloriger Säure und Hypochlorit führt. Diese werden unter Stromzufuhr mittels eines Generators aus Natriumchlorid erzeugt und ermöglichen aufgrund ihres hohen Redoxpotentials eine adäquate Wasserdeshinfektion. Üblicherweise erfolgt der Prozess vor Ort, da die Hypochlorige Säure und das Hypochlorit schnell zerfallen. (AWMF 2014)

Bei der anodischen Oxidation entstehen im Wasser aufgrund von Redoxreaktionen freie Radikale, wie beispielsweise Natriumhypochlorit, Wasserstoffperoxid oder Chlordioxid, die zu einer Zerstörung von Biofilmen führen. (Muschinsky 2014)

Die desinfizierende Wirkung ist maßgeblich auf die freien Radikale zurückzuführen, die an der Anode gebildet werden. Als wichtigste Einflussfaktoren auf den Gesamtprozess des Verfahrens gelten der Chloridgehalt des Wassers, die Spannung und Stromstärke an den Elektroden, die Wassertemperatur und die Durchflussgeschwindigkeit des Wassers durch den Elektrodenraum. (Roeske 2007)

3. Material und Methoden

Zur Bearbeitung der Fragestellung der vorliegenden Arbeit wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Dabei wurde versucht, der Forderung BOOTH nachzukommen, für die Durchführung und Dokumentation von systematischen Literaturrecherchen bestimmte Kriterien zu berücksichtigen, die er in seinem STARLITE-Konzept formuliert hat.

Dabei geht es im Wesentlichen darum, ob die Auswahl der Literaturquellen vergleichend, selektiv oder zielgerichtet ist, welche Studiendesigns zugrunde liegen, ob die Recherche elektronisch oder konventionell erfolgt oder über welche Zeitspanne gesucht wird. Darüber hinaus sollen spezifische Faktoren genannt werden, die eine Literaturrecherche gegebenenfalls limitieren. Beispielsweise, ob ausschließlich englischsprachige Literatur verwendet werden soll. Ferner sollen Ein- und Ausschlusskriterien für Literaturquellen festgelegt, die durchsuchten Datenbanken genannt und die verwendeten Suchbegriffe dokumentiert werden. Mit der Einhaltung der genannten Kriterien verspricht sich BOOTH eine Optimierung in der Durchführung von systematischen qualitativen und quantitativen Überprüfungen und eine Verbesserung der Qualität von Methoden zur Identifizierung von Studien für die Aufnahme in systematische Übersichtsarbeiten. (Booth 2006)

In der zugrundeliegenden Analyse wurde versucht die Maßgaben des STARLITE-Konzeptes weitestgehend zu berücksichtigen. Für die systematische Literaturrecherche mussten zunächst die Suchparameter festgelegt werden. Gesucht wurde elektronisch in der Onlinedatenbanken PubMed, über die Suchmaschine für wissenschaftliche Dokumente Google Scholar und über die Online-Dissertationssuche der deutschen Nationalbibliothek. Darüber hinaus wurde das Rechercheportal der Universitätsbibliothek der Johannes Gutenberg-Universität Mainz als Datenquelle hinzugezogen.

Für die Suche in der englischsprachigen Onlinedatenbank PubMed wurden die Schlagworte „dental“, „unit“, „water“ und „disinfection“ verwendet. Die Suche über Google Scholar, über die Online-Dissertationssuche der deutschen Nationalbibliothek und über das Rechercheportal der Universitätsbibliothek der Johannes Gutenberg-Universität Mainz erfolgte mit deutschen Schlagworten. Bei Google Scholar wurde mit den Schlagworten „Behandlungseinheit“, „Desinfektion“, „Zahn“ und „dental“ nach Literatur gesucht. Für die Online-Dissertationssuche der deutschen Nationalbibliothek wurde das Schlagwort „Behandlungseinheit“ gewählt und für die Suche über das

Rechercheportal der Universitätsbibliothek der Johannes Gutenberg-Universität Mainz wurde als Schlagwort „Dentaleinheit“ verwendet.

Der Zeitraum wurde jeweils auf die Jahre 1980 bis 2018 beschränkt, um möglichst neue bzw. aktuelle Daten für die Auswertung zu gewinnen. Lediglich deutschsprachige und englischsprachige Artikel wurden in die Analyse miteinbezogen. Die Onlinerecherche wurde am 30.08.2018 durchgeführt.

Um schlussendlich diejenigen Dokumente und Literaturquellen herauszufiltern, die für eine aussagekräftige Beantwortung der Fragestellung dieser Analyse nötig waren, wurde festgelegt, welche Art von Arbeiten in die Untersuchung miteinbezogen werden sollten. Dazu gehörten Dissertationen, Habilitationen und wissenschaftliche Artikel aus Fachzeitschriften. Es wurden sowohl experimentelle Arbeiten als auch vergleichende Literaturarbeiten in die Analyse miteinbezogen. Für die Selektion wurde nach einem Schema vorgegangen, dass sich maßgeblich an den Vorgaben des PRISMA-Schemas orientiert. PRISMA steht für „Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysen“.

Das PRISMA-Schema hat grundsätzlich das Ziel, eine Vorgehensweise aufzuzeigen, nach der eine strukturierte Auswertung von wissenschaftlichen Artikeln und Forschungsarbeiten vorgenommen werden kann. In erster Linie war es dafür gedacht, Autoren bei der Auswertung von systemischen Reviews und Meta-Analysen zu helfen. Es kann aber auch als Grundlage für die Berichterstattung systemischer Übersichtsarbeiten oder anderer Arten von wissenschaftlichen Arbeiten verwendet werden. Unter einer systematischen Überprüfung verstehen MOHER et al. die Anwendung systematischer Methoden, um relevante Forschungsergebnisse zur Beantwortung einer klar formulierten Frage zu identifizieren, auszuwählen und kritisch zu bewerten. Als Leitfaden skizierten sie dazu ein Flussdiagramm, was im Wesentlichen aus vier Phasen aufgebaut ist, der Identifikation, der Überprüfung oder Vorauswahl, der Eignung und schließlich der definitiven Auswahl von wissenschaftlichen Artikeln. (Moher et al. 2009)

In der Identifikationsphase resultierte aus den vier Suchdurchgängen eine Liste von insgesamt 314 Literaturquellen. Die Suche bei PubMed ergab 104 Treffer. Der Suchvorgang über Google Scholar führte zu 144 Ergebnissen. Bei der Suche nach verwertbaren Literaturquellen über die Online-Dissertationssuche der deutschen Nationalbibliothek und über das Rechercheportal der Universitätsbibliothek der Johannes Gutenberg-Universität Mainz wurden jeweils 33 Ergebnisse gefunden.

Aus den 314 ermittelten Ergebnissen wurden analog zum PRISMA-Schema zunächst diejenigen gestrichen, die bereits anhand der Durchsicht des Abstracts keinen thematischen Zusammenhang mit der vorliegenden Untersuchung hatten. Dieses waren insgesamt 183 wissenschaftliche Artikel. Danach wurden diejenigen Arbeiten und Artikel aussortiert, die doppelt oder mehrfach aufgeführt wurden. Dies betraf weitere 13 Suchergebnisse. Ein bereits veröffentlichter Artikel wurde zurückgezogen und wurde ebenfalls aus der Analyse ausgeschlossen. Daraus resultierte eine Liste von 117 wissenschaftlichen Arbeiten und Artikeln, von denen alle in der Eignungsphase nach dem PRISMA-Schema für die zugrundeliegende Arbeit im Volltext analysiert und ausgewertet werden mussten. Im Zuge dieser Volltextanalyse wurden zwölf weitere Artikel von der Untersuchung ausgeschlossen. Elf waren inhaltlich unpassend bzw. unzureichend und einer war in italienischer Sprache verfasst. Schlussendlich waren es 105 wissenschaftliche Arbeiten, die in die Auswertung miteinbezogen wurden.

Als Arbeitsgrundlage wurde mit Microsoft Excel eine Tabelle erstellt und die eingeschlossenen Arbeiten vier unterschiedlichen Gruppen zugeordnet. Diese Zuordnung war von inhaltlichen Kriterien der einzelnen Artikel abhängig. Ging es thematisch um chemische bzw. physikalische Wasserdekontaminationsmaßnahmen, so kam es zu einer Zuordnung in die erste bzw. die zweite Gruppe. Thematisierte die untersuchte Arbeit die Biofilmproblematik, so wurde sie in die dritte Gruppe eingeordnet. Handelte es sich um eine Übersichtsarbeit, dann erfolgte die Zuordnung in die letzte Gruppe. Dabei war auch eine Mehrfachzuordnungen möglich. Wichtig ist festzuhalten, dass eine Zuordnung zu einer der ersten beiden Gruppen nur dann erfolgte, wenn die entsprechende Desinfektionsmaßnahme auch hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Wasserdekontamination untersucht wurde. Wurden Desinfektionsmaßnahmen zwar eingesetzt aber nur deren Wirkung auf den Biofilm untersucht, erfolgte die Zuordnung lediglich zu der dritten Gruppe.

4. Ergebnisse

4.1 Deskriptive Analyse und Einteilung der untersuchten Studien

Die Tabelle 1 zeigt die Auflistung der 105 in die Analyse eingeschlossenen wissenschaftlichen Artikel. Wie bereits im Kapitel 3 Material und Methoden erwähnt wurden die Arbeiten inhaltlich vier verschiedenen Gruppen zugeordnet. Die erste Gruppe beinhaltet die Studien, in denen es thematisch um die Anwendung chemischer Desinfektionsmaßnahmen geht. Diese Gruppe war mit 69 Zuordnungen die größte Gruppe. In die zweite Gruppe wurden Studien eingeteilt, die sich inhaltlich mit physikalischen Desinfektionsmaßnahmen auseinandersetzen. Insgesamt konnten ihr 39 Arbeiten zugeordnet werden. Die Auswertung der Arbeiten aus Gruppe 1 und Gruppe 2 wird Gegenstand der Kapitel 4.2.1 bis 4.2.3 sein. In die dritte Gruppe wurden die Arbeiten eingeordnet, die sich grundsätzlich mit der Problematik von Biofilmen befassen. Insgesamt waren das 25 wissenschaftliche Artikel. Dabei ging es sowohl um die Biofilmetablierung als auch um Möglichkeiten und Maßnahmen der Beseitigung oder auch um besondere Untersuchungsverfahren. In den Kapitel 4.3.1 bis 4.3.3 wird diese Thematik abgehandelt. Der vierten Gruppe wurden alle Übersichtsarbeiten zugeordnet. Insgesamt waren das 14 Artikel, auf die in Kapitel 4.4 genauer eingegangen wird. Ein Teil der einbezogenen Artikel wurde mehrfach zugeordnet. 34 wurden zwei Gruppen, 4 Arbeiten sogar drei Gruppen zugeordnet. Dieses liegt überwiegend daran, dass in vielen Versuchen, sowohl chemische als auch physikalische Desinfektionsmaßnahmen gemeinsam zur Anwendung kamen.

Darüber hinaus wurde untersucht, welche Nachweismethoden in den jeweiligen experimentellen Arbeiten zur Anwendung kamen. Im Wesentlichen existieren zwei Ansatzpunkte, um den Erfolg von Dekontaminationsverfahren in Versuchen überprüfen zu können. Entweder bedient man sich einer mikrobiologischen Untersuchung des Wassers und vergleicht die Keimbelastung vor und nach einer erfolgten Desinfektionsmaßnahme oder man untersucht das Vorhandensein oder die Veränderung von Biofilmen in den wasserführenden Leitungen. Wurde die Verkeimung des Wassers untersucht, kamen maßgeblich mikrobiologische Untersuchungsmethoden zum Einsatz, die grundsätzlich eine Anzucht von Keimen beinhaltete und eine Auszählung dieser nach sich zog. Diese Verfahrensart wurde in 83 Arbeiten angewendet.

Wissenschaftlicher Artikel	chemische Desinfektion	physikalische Desinfektion	Biofilm	Übersichtsarbeit
(Pankhurst et al. 2017)				x
(Yoon und Lee 2017)			x	
(Sedlata Juraskova et al. 2017)	x	x		
(Gitipour et al. 2017)			x	
(Offner et al. 2016)	x	x		
(Pawar et al. 2016)	x	x		
(Costa et al. 2016b)	x	x		
(Watanabe et al. 2016)		x		
(Patel et al. 2016)	x			
(Costa et al. 2016a)			x	
(Grünewald 2016)	x	x		
(Göttlich-Fligg 2016)				x
(Petti et al. 2015)	x			
(Hikal et al. 2015)	x			
(Lizon et al. 2016)	x			
(Bowen et al. 2015)	x	x		
(Boyle et al. 2015)	x			
(Fujita et al. 2015)		x		
(Leoni et al. 2015)	x			
(Berger 2015)	x	x		
(Steichen 2015)	x	x		
(Dallolio et al. 2014)	x		x	
(Barbot et al. 2014)	x			
(zur Mühlen 2014)	x	x		
(Will 2014)				x
(Muschinsky 2014)	x			
(Sennewald 2014)	x	x		
(Pareek et al. 2013)	x			
(Hassan et al. 2012)	x			
(Kramer et al. 2012b)	x	x		
(Puttaiah et al. 2012)	x	x	x	
(Linke 2012)	x	x	x	
(Kramer et al. 2012c)	x	x		
(Kramer et al. 2012a)	x	x		
(Abdallah und Khalil 2011)	x	x		
(Taube 2011)		x		
(Demond 2011)		x		
(Neumann 2011)	x	x		
(Orru et al. 2010)	x		x	
(Brands 2010)		x		
(Becker und Becker 2010)				x
(Percival et al. 2009)	x		x	
(Gawande et al. 2008)			x	
(Ma'ayeh et al. 2008)		x		
(Jatzwauk et al. 2008)				x
(Walker und Marsh 2007)				x
(O'Donnell et al. 2007)	x		x	
(Szymanska 2006a) a	x		x	
(Chate 2006)	x	x		
(Szymanska 2006b) b			x	
(Bremer 2006)	x			
(Schel et al. 2006)	x		x	
(O'Donnell et al. 2006)	x		x	
(Kraut 2006)	x	x		
(Sennhenn-Kirchner et al. 2006)		x		
(Szymanska 2005)	x			
(Yabune et al. 2005)			x	
(Martin und Gallagher 2005)	x			

(Walker et al. 2004)	x			
(Kohno et al. 2004)		x		
(Montebugnoli et al. 2004)	x	x	x	
(Soibelman 2004)	x	x		
(Böhme 2004)		x		
(Larsen und Fiehn 2003)	x			
(Berlutti et al. 2003)		x		
(Epstein et al. 2002)	x			
(Tuttlebee et al. 2002)	x		x	
(al Shorman et al. 2002)				x
(Fiehn und Larsen 2002)	x	x		
(Pederson et al. 2002)				x
(Filippi 2002)	x			
(Bierhenke et al. 2001)	x			
(Meiller et al. 2001)	x		x	
(Filippi 2001)	x	x		
(Meiller et al. 2000)	x		x	
(Mills 2000)				x
(Amin-Sharifi et al. 2000)		x		
(Jorgensen et al. 1999)	x	x	x	
(Meiller et al. 1999)	x		x	
(Blume 1998)	x			
(Barbeau und Nadeau 1997)				x
(Murdoch-Kinch et al. 1997)			x	
(Filippi 1997)	x			
(Wend 1997)	x			
(Himbert 1997)	x			
(Williams et al. 1996)				x
(Peters und McGaw 1996)				x
(Nickel 1995)				x
(Williams et al. 1995)	x		x	
(Weihe 1995)	x			
(Brandt 1994)	x			
(Handel 1994)	x			
(Samaranayake 1993)				x
(Väth 1993)	x			
(Hösl 1992)		x		
(Douglas und Rothwell 1991)	x			
(Pankhurst et al. 1990)	x	x		
(Urbani et al. 1990)	x			
(Liebe 1990)	x		x	
(Becker 1988)	x			
(Hein 1985)	x			
(Bagga et al. 1984)		x		
(Schwitzer 1983)	x			
(Exner et al. 1982)			x	
(Kurth 1980)		x		

Tabelle 1: Auflistung der in die Untersuchung eingeschlossenen wissenschaftlichen Arbeiten und Einteilung in vier Hauptgruppen

4.2 Analyse und Vergleich der Studien zu chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen in Dentaleinheiten und deren Wirksamkeit auf die Wasserdekontamination

In diesem Kapitel werden die wissenschaftlichen Artikel analysiert, in denen die Wirkung von Desinfektionsverfahren auf die Wasserdekontamination untersucht wurde. Unterschieden wird dabei zwischen chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen. Auf die Arbeiten mit Maßnahmen, die Einfluss auf den Biofilm der wasserführenden Leitungen haben, wird in Kapitel 4.3. genauer eingegangen werden. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die angewendeten Maßnahmen und deren Wirksamkeit den miteinbezogenen Studien gegenübergestellt. Die Wirksamkeit der Maßnahmen muss immer für die entsprechende Studie isoliert betrachtet werden. Der Vergleich der Studien untereinander war aufgrund folgender Gründe nicht möglich: Zum einen wurden keine einheitlichen Verfahren und Untersuchungsmethoden angewendet und zum anderen waren die Studiendesigns und Zielvoraussetzungen absolut heterogen. Als Beispiel sei hier der unterschiedliche Grenzwert für die Trinkwasserqualität genannt, der in europäischen Ländern (100 KBE/ml) deutlich geringer ist als in Nordamerika (500 KBE/ml). Davon abweichend setzt die American Dental Association (ADA) ihren Grenzwert bei 200 KBE/ml. Ob die angewendeten Maßnahmen wirksam waren oder nicht oder auch nur teilweise, richtet sich in der vorliegenden Untersuchung immer nach den speziellen Anforderungen bzw. Zielwerten, die für jede einzelne Studie festgelegt bzw. bestimmt worden sind.

Die eingesetzten Desinfektionsmaßnahmen wiederholten sich zwar häufig, allerdings wurden sie unterschiedlich lange, in verschiedenen Kombinationen oder in unterschiedlichen Konzentrationen eingesetzt, sodass ein Vergleich der Studien untereinander schwierig war. Darüber hinaus fanden die Untersuchungen an zahnärztlichen Einheiten statt, die sich sowohl in der Konstruktionsart als auch vom Betriebsalter unterschieden.

In Tabelle 2 werden zunächst die Artikel aufgelistet, in denen sowohl chemische als auch physikalische Maßnahmen zur Anwendung kamen. Dann folgen die Studien, in denen ausschließlich chemische Dekontaminationsverfahren untersucht wurden und schlussendlich diejenigen, in denen nur physikalische Maßnahmen überprüft wurden.

Artikel	Desinfektionsmaßnahme		Wirksamkeit auf Wasser
	chemisch	physikalisch	
(Sedlata Juraskova et al. 2017)	Stabimed [®] (Cocospropylendiamin)	Spülen der Leitungen	ja
(Offner et al. 2016)	Calbenium [®] (EDTA und quartäres Ammonium); Sterispray [®] (EDTA und Chloramin T)	Mikrofilter; anodische Oxidation; Spülen der Leitungen	ja
(Pawar et al. 2016)	H ₂ O ₂ ; CHX; Ethanol; Listerine [®] ; Natriumperborat und EDTA	Spülen der Leitungen	ja
(Costa et al. 2016b)	Calbenium [®] (EDTA und quartäres Ammonium); Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	Spülen der Leitungen	nein
(Grünwald 2016)	Dentosept PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Chlordioxid	anodische Oxidation	teilweise
(Bowen et al. 2015)	ICX [®] (Natriumpercarbonat und Silbernitrat); Citrisil [®] (Silberionen)	Spülen der Leitungen	ja
(Berger 2015)	Dentosept P [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	Mikrofilter Germlyser [®]	nein
(Steichen 2015)	quartäres Ammonium	Comprex [®] -Verfahren	ja
(zur Mühlen 2014)	Alpron [®] (PHMB, EDTA und Chloramin T)	Spülen der Leitungen	ja
(Sennwald 2014)	Dentosept PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	Mikrofilter Germlyser [®]	ja
(Kramer et al. 2012b)	PotoClean [®] (Natriumhypochlorit, Ozon und H ₂ O ₂)	anodische Oxidation	ja
(Puttaiah et al. 2012)	Tetraacetylenylendiamin; Chlordioxid	Spülen der Leitungen	ja
(Linke 2012)	Chlordioxid; Natriumhypochlorit	anodische Oxidation	ja
(Kramer et al. 2012c)	Carela [®] Hydro-Des (H ₂ O ₂ , Natrium-Hydrogensulfat, Schweflige Säure); Carela [®] (Natriumhydroxid)	anodische Oxidation	teilweise
(Kramer et al. 2012a)	H ₂ O ₂	Spülen der Leitungen	ja
(Abdallah und Khalil 2011)	Chlor	Spülen der Leitungen	ja
(Neumann 2011)	H ₂ O ₂	Mikrofilter Germlyser [®]	nein
(Chate 2006)	EDTA und H ₂ O ₂ ; Bio 2000 [®] (Ethanol und CHX)	Spülen der Leitungen	ja
(Kraut 2006)	Dentosept P [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	Mikrofilter Medisart 2000 [®]	teilweise
(Montebugnoli et al. 2004)	Peroxyessigsäure	Spülen der Leitungen	teilweise
(Soibelman 2004)	Dentosept PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	Spülen der Leitungen	nein
(Fiehn und Larsen 2002)	Natriumhypochlorit	Trocknung der Leitungen	nein
(Filippi 2001)	H ₂ O ₂ und Silberionen; Ozon	Spülen der Leitungen	teilweise
(Jorgensen et al. 1999)	Salzsäure und Natriumhypochlorit	Spülen der Leitungen; Trocknungen der Leitungen	ja
(Pankhurst et al. 1990)	Chlor	Mikrofilter	nein
(Patel et al. 2016)	Natriumpercarbonat;	-	ja

	Chlordioxid		
(Petti et al. 2015)	H ₂ O ₂ und Silberionen	-	ja
(Hikal et al. 2015)	Ozon	-	ja
(Lizon et al. 2016)	Dialox [®] (Peroxyessigsäure, H ₂ O ₂ und Essigsäure); Alpron [®] /Bilpron [®] (PHMB, EDTA und Chloramin T)	-	teilweise
(Boyle et al. 2015)	Orotol plus [®] (quartäres Ammonium)	-	teilweise
(Leoni et al. 2015)	Rely+On Peracilyse [®] (Peroxyessigsäure und H ₂ O ₂); ICX [®] (Natriumpercarbonat und Silbernitrat); Calbenium [®] (EDTA und quartäres Ammonium); H ₂ O ₂	-	teilweise
(Dallolio et al. 2014)	H ₂ O ₂ ; PeraSafe [®] (Peroxyessigsäure und H ₂ O ₂); Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Osmosteril Attila [®] (Chlordioxid)	-	ja
(Barbot et al. 2014)	Chlor; H ₂ O ₂ ; Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	nein
(Muschinsky 2014)	Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Dentosept P [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	nein
(Pareek et al. 2013)	Aloe Vera; H ₂ O ₂ ; Natriumhypochlorit	-	ja
(Hassan et al. 2012)	im Text nicht erwähnt	-	nein
(Orri et al. 2010)	H ₂ O ₂	-	ja
(Percival et al. 2009)	EDTA	-	ja
(O'Donnell et al. 2007)	Planosil [®] und Planosil forte [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Szymanska 2006a)	H ₂ O ₂	-	ja
(Schel et al. 2006)	Alpron [®] (PHMB, EDTA und Chloramin T); BioBlue [®] (Ethanol, CHX); Dentosept P [®] ; Oxygenal 6 [®] ; Sanosil [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Sterilex Ultra [®] (H ₂ O ₂); Ster4Spray [®] (Natriumperborat, EDTA)	-	teilweise
(O'Donnell et al. 2006)	Planosil [®] und Planosil forte [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Szymanska 2005)	Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Walker et al. 2004)	Aqua dest.; H ₂ O ₂	-	ja
(Larsen und Fiehn 2003)	Sterilex Ultra [®] (H ₂ O ₂); Natriumhypochlorit	-	nein
(Epstein et al. 2002)	CHX	-	ja
(Tuttlebee et al. 2002)	Sterilex Ultra [®] (H ₂ O ₂) und Sanosil [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Filippi 2002)	Dentosept PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Ozon	-	teilweise
(Bierhenke et al. 2001)	Alpron [®] (PHMB, EDTA und Chloramin T); Dentosept P [®] und PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Meiller et al. 2001)	Natriumhypochlorit; Cavicide [®] (Alkohol und quartäres Ammonium); Glutaraldehyd;	-	ja

	Listerine [®] (Alkohol); Peridex [®] (CHX)		
(Meiller et al. 2000)	Listerine [®] (Alkohol)	-	ja
(Meiller et al. 1999)	Natriumhypochlorit; Glutaraldehyd; Isopropanol	-	ja
(Blume 1998)	H ₂ O ₂	-	nein
(Filippi 1997)	Dentosept PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Ozon	-	teilweise
(Wend 1997)	Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	nein
(Himbert 1997)	Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	nein
(Williams et al. 1995)	Natriumhypochlorit	-	nein
(Weihe 1995)	Dentosept P [®] und PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Brandt 1994)	H ₂ O ₂	-	ja
(Handel 1994)	H ₂ O ₂	-	nein
(Väth 1993)	Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Dentosept P [®] und PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	teilweise
(Douglas und Rothwell 1991)	Glutaraldehyd	-	teilweise
(Urbani et al. 1990)	Glutaraldehyd	-	ja
(Liebe 1990)	Dentosept P [®] und PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Becker 1988)	CHX	-	ja
(Hein 1985)	CHX	-	nein
(Schwitzer 1983)	Silberionen	-	ja
(Watanabe et al. 2016)	-	Spülen der Leitungen	ja
(Fujita et al. 2015)	-	anodische Oxidation; Spülen der Leitungen	ja
(Tauben 2011)	-	anodische Oxidation	nein
(Demond 2011)	-	anodische Oxidation	nein
(Brands 2010)	-	anodische Oxidation	ja
(Ma'ayeh et al. 2008)	-	Spülen der Leitungen	ja
(Bremer 2006)	-	Sterilox [®] (anodische Oxidation)	ja
(Sennhenn-Kirchner et al. 2006)	-	Mikrofilter Germlyser [®]	ja
(Martin und Gallagher 2005)	-	Sterilox [®] (anodische Oxidation)	ja
(Kohn et al. 2004)	-	anodische Oxidation	ja
(Böhme 2004)	-	Spülen der Leitungen; UV-Desinfektionsanlage	ja
(Berlutti et al. 2003)	-	Rückschlagventil	nein
(Amin-Sharifi et al. 2000)	-	Mikrofilter N66 Posidyne [®]	ja
(Hösl 1992)	-	Spülen der Leitungen	ja
(Bagga et al. 1984)	-	Rückschlagventil	ja
(Kurth 1980)	-	Mikrofilter	ja

Tabelle 2: Studien zur Untersuchung der Wirksamkeit der Wasserdekontamination von chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen

In Tabelle 2 zeigt sich, dass in 25 untersuchten Arbeiten sowohl chemische als auch physikalische Maßnahmen für die Wasserdekontamination zur Anwendung kamen. In 42 Arbeiten wurden ausschließlich chemische Dekontaminationsverfahren untersucht und in 16 wurden nur physikalische Maßnahmen überprüft. Darüber hinaus ist der Tabelle zu entnehmen, dass in 51 untersuchten Arbeiten die Desinfektionsmaßnahmen wirksam und in 19 Arbeiten nicht wirksam waren. Bei 13 Artikeln waren die untersuchten Maßnahmen nur teilweise wirksam.

Eine teilweise Wirksamkeit lag zum Beispiel dann vor, wenn es zur Anwendung mehrere Desinfektionsmittel kam und diese miteinander verglichen wurden, die Zielvorgaben der Untersuchung aber nicht mit jeder eingesetzten Substanz erreicht werden konnten. Dieses wird anhand der Untersuchung von GRÜNEWALD im Folgenden exemplarisch dargestellt.

GRÜNEWALD testete unter praxisnahen Bedingungen drei Desinfektionsverfahren, wobei die mit Dentosept PL[®] standardmäßig durchgeführte Desinfektion als Referenzverfahren galt. An Dentaleinheiten, die über eine anodische Oxidation oder mittels Chlordioxid desinfiziert wurden, konnte keine zuverlässig durchgängige Koloniezahl von ≤ 100 KBE/ml erreicht werden. Im Gegensatz dazu konnte an den mit Dentosept PL[®] betriebenen zahnärztlichen Behandlungseinheiten ein nach KRINKO-Empfehlungen entsprechendes Ergebnis aufgezeigt werden und somit die Wirksamkeit dieser chemischen Dekontaminationsmaßnahme nachgewiesen werden. (Grünwald 2016)

In 40 Arbeiten, und somit am häufigsten, wurden chemische Desinfektionsmittel auf der Basis von Wasserstoffperoxid untersucht, entweder als alleiniger Wirkstoff oder in Kombination. Dann geschah dies meistens in Form von Silberionen (27). Am zweithäufigsten, in 32 Arbeiten, wurden Mittel auf Chlorbasis untersucht. Dazu gehörten Lösungen aus Natriumhypochlorid (9), Chlorhexidin (7), Chloramin T (5), Chlordioxid (5), Chlor (3) und Benzalkoniumchlorid (3). EDTA wurde in neun, Peroxyessigsäure in vier und Glutaraldehyd in vier Arbeiten eingesetzt. Sowohl mit Desinfektionsmitteln auf Alkoholbasis als auch auf der Basis von quartären Ammoniumverbindungen wurden jeweils sechs, mit Ozon fünf und mit PHMB vier Untersuchungen durchgeführt. Im Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 wird genauer auf die Wirkung dieser Desinfektionsmittel in den einzelnen Untersuchungen eingegangen.

Die häufigste physikalische Desinfektionsmaßnahme war das Durchspülen der Leitungen. Es wurde in 19 Arbeiten angewendet. Die anodische Oxidation war Gegenstand von 12 Artikeln und in neun Arbeiten kamen Filter zur Anwendung.

Rückschlagventile und Trocknungen von wasserführenden Leitungen wurden jeweils in zwei, die UV-Desinfektion und das Comprex[®]-Verfahren jeweils in einer Arbeit untersucht. Die Wirkungsweise des Comprex[®]-Verfahrens wird in Kapitel 4.2.1 näher beschrieben werden.

4.2.1 Wirksamkeit chemischer und physikalischer Desinfektionsmaßnahmen auf die Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten

In diesem Kapitel geht um die analysierten wissenschaftlichen Arbeiten, in den sowohl chemische als auch physikalische Desinfektionsmaßnahmen zur Anwendung kamen. Wie man der Tabelle 2 entnehmen kann handelt es sich dabei um 25 Artikel. In 14 waren die Desinfektionsmaßnahmen wirksam, in sechs nicht wirksam und in fünf teilweise wirksam.

In der überwiegenden Zahl der analysierten Artikel zeigte sich, dass die Kombination von chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahme wirksam und somit für die Anwendung in zahnärztlichen Behandlungseinheiten geeignet waren. Es zeigte sich, dass die Anwendungskombinationen hierbei sehr heterogen vertreten waren, sodass nicht ermittelt werden konnte, welche Kombinationsart die beste Wirksamkeit zeigte und am besten geeignet ist.

Es zeigte sich aber, dass einzelne Maßnahmen erst in Kombination wirksam wurden, während sie bei alleiniger Anwendung nicht suffizient das Wasser dekontaminieren konnten.

SENNEWALD zeigte in seiner Studie, dass bei alleiniger Anwendung des Desinfektionsmittel Dentosept PL[®] und der vom Hersteller empfohlenen zweiwöchentlichen Intensiventkeimung in 36 % der untersuchten Wasserproben die RKI-Richtwerte für Legionellen im Kühl- und Betriebswasser zahnärztlicher Behandlungseinheiten überschritten wurden. Da er die Verträglichkeit des Wassers für den Patienten als limitierenden Faktor sah, konnten die chemischen Maßnahme nicht unbedenklich weiter gesteigert werden, sodass er das Hinzuziehen einer physikalischen Maßnahme als zwingend erforderlich einschätzte. In der Studie untersuchte er, ob unter Weiterführung der Desinfektion mit Dentosept PL[®] eine Installation des endständigen Membranfilters Germlyser[®] zu der erforderlichen Trinkwasserqualität führt. Es konnte nachgewiesen werden, dass mit dieser Maßnahme die RKI-Richtwerte für den Studienzeitraum von sechs Monaten eingehalten werden konnten. (Sennewald 2014)

In seiner Dissertation untersuchte STEICHEN an mit *E. faecium* kontaminiertem Schafblut verschmutzten Testschläuchen die Wirksamkeit des Complex-Verfahrens® zunächst ohne und dann mit Einsatz eines zusätzlichen chemischen Desinfektionsmittels auf der Basis von quartären Ammoniumverbindungen. Die alleinige Anwendung dieses physikalischen Desinfektionsverfahrens führte dazu, dass alle Prüfkörper noch keimbelastet waren. Eine Keimfreiheit der Prüfkörper konnte erst dann hergestellt werden, nachdem das Complex-Verfahren® mit der chemischen Desinfektionsmaßnahme kombiniert wurde. Das Complex-Verfahren® wurde von der Firma Hammann GmbH entwickelt und funktioniert durch die impulsartige Zugabe von Luftpolstern in das Betriebswasser. Die Luft bewegt sich gemeinsam mit dem Wasser über den gesamten Querschnitt durch die Wasserleitungen. Die reinigende Wirkung erfolgt an der Grenzfläche von Luft und Wasser unmittelbar an der Leitungswand, an der es durch turbulente Verwirbelung und lokaler Kavitationserscheinung zur Ablösung des Biofilms kommt. (Steichen 2015)

In sechs wissenschaftlichen Arbeiten war die Kombination von chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen nicht wirksam. Die Gründe dafür waren verschieden. So zeigte sich beispielsweise zwar eine Verminderung der Wasserverkeimung nach Kombination der Desinfektionsmaßnahmen, aber dieses führte schlussendlich nicht dazu, dass die erwünschten Zielwerte erreicht wurden.

So konnte in der Untersuchung von BERGER zwar gezeigt werden, dass die Wasserqualität nach Anwendung von Filtern verbessert werden konnte, die Grenze von 100 KBE/ml aber überwiegend nicht unterschritten wurde. Unterschiede zeigten sich in dieser Studie insbesondere bei unterschiedlich alten Dentaleinheiten. Dabei stellte er fest, dass die Qualität des Wassers für jüngere Einheiten signifikant besser war als für die älteren Einheiten. (Berger 2015)

Auch SOIBELMANN konnte in seiner Dissertation zwar aufzeigen, dass eine Kombination von chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen zu einer verbesserten Wasserqualität führt, die Maßnahmen in seiner Studie aber nicht ausreichend wirksam waren und der RKI-konforme Zielwert nicht erreicht wurde. Er untersuchte den Einfluss des Durchspülens der Leitungen auf die Betriebswasserqualität in zahnärztlichen Behandlungseinheiten, in denen eine kontinuierliche chemische Desinfektion mit Dentosept PL® durchgeführt wurde. (Soibelman 2004)

In der Analyse von FIEHN und LARSEN wurde die Wirksamkeit der Trocknung von Leitungen als physikalische Dekontaminationsmaßnahme untersucht und die Ergebnisse mit der Wirksamkeit von Natriumhypochlorit verglichen. Es zeigte sich,

dass durch die physikalische Maßnahme keine Wirkung erzielt werden konnte. Die Anwendung von Natriumhypochlorit in der zweiten Gruppe zeigte sich zwar deutlich wirksamer, konnte aber nicht den Grenzwert von 200 KBE/ml, wie er von der ADA gefordert wird, erreichen. (Fiehn und Larsen 2002)

Bei fünf der wissenschaftlichen Artikel, in denen sowohl chemische als auch physikalische Desinfektionsmaßnahmen zur Anwendung kamen, zeigte sich, dass die Maßnahmen teilweise wirksam waren. Das bedeutet, dass entweder eine Dekontaminationsart allein nicht wirksam war und erst nach kombinierter Anwendung ihre Wirksamkeit entfalten konnte oder dass beispielsweise mehrere Desinfektionsmaßnahmen zur Anwendung kamen und miteinander verglichen wurden, wovon nur ein Teil erfolgreich hinsichtlich der Dekontaminationswirkung war.

FILIPPI untersuchte Wasserproben aus zahnärztlichen Behandlungseinheiten, in denen das Betriebswasser über das Wochenende stagnierte. Dabei verglich er die Wirksamkeit von zwei unterschiedlichen Desinfektionsmitteln, eines auf der Basis von Wasserstoffperoxid und Silberionen und eines mit Ozon als desinfizierender Wirkstoff. In beiden Fällen lag die Keimbelastung der entnommenen Wasserproben über dem Grenzwert von 100 KBE/ml. Erst nach dem Durchspülen der Leitungen konnte die erforderliche Wasserqualität erreicht werden. (Filippi 2001)

In ihrer Dissertation untersuchte KRAUT die Dekontaminationswirksamkeit von Mikrofiltern mit und ohne zusätzlicher chemischer Wasserdesinfektion mit Dentosept P[®]. Sie konnte feststellen, dass die Wasserfiltration als alleinige physikalische Maßnahme nicht wirksam war. Erst in Kombination mit Dentosept P[®] konnte eine adäquate Wirksamkeit erreicht werden. Darüber hinaus unterstrich sie die Notwendigkeit eines detaillierten Reinigungs- und Desinfektionsplanes, der sowohl eine Permanentdesinfektion als auch eine regelmäßige Sanierung der wasserführenden Leitungen beinhaltete. (Kraut 2006)

4.2.2 Wirksamkeit chemischer Desinfektionsmaßnahmen auf die Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit denjenigen Untersuchungen, in denen ausschließlich chemische Wasserdesinfektionsmaßnahmen zur Dekontamination von zahnärztlichen Behandlungseinheiten zur Anwendung kamen. Insgesamt waren das 42 Studien. Dabei zeigte sich, dass die Maßnahmen in 24 Untersuchungen wirksam waren und die jeweils vorausgesetzten Zielwerte erreicht wurden. In zehn Arbeiten

waren die Desinfektionsmaßnahmen nicht wirksam, während sie in acht Untersuchungen teilweise wirksam waren. Der Vergleich der Studien untereinander erwies sich auch hier als schwierig. Die Gründe waren unter anderem die völlig unterschiedlichen Versuchsanordnungen, die verschiedenen eingesetzten Desinfektionsmittel, die sich sowohl im Wirkstoff als auch in den Konzentrationen unterschieden, und die voneinander abweichenden Grenz- bzw. Zielwerte.

Aufgrund dieser Heterogenität konnte nicht festgestellt werden, ob ein bestimmtes Desinfektionsmittel anderen hinsichtlich der Wirksamkeit überlegen war. Am häufigsten wurden Desinfektionsmittel auf der Basis von Wasserstoffperoxid eingesetzt und untersucht. Dieses war in 27 der 42 Untersuchungen der Fall. Oftmals auch als Kombinationspräparat, beispielsweise mit Silber. Davon konnte in 14 Arbeiten eine ausreichende Wirksamkeit nachgewiesen werden.

PETTI et al. untersuchten die Desinfektionswirkung von Wasserstoffperoxid und Silberionen an Betriebswasser einer kontaminierten Dentaleinheiten, das aus einer Test-Turbine entnommen wurde, und verglichen dieses mit dem Wasser aus einer nicht desinfizierten unbehandelten Kontroll-Turbine. Dabei konnten sie feststellen, dass bei Anwendung der chemischen Desinfektionsmittel die bakterielle Wasserbelastung unter den Grenzwert von 100 KBE/ml gesenkt werden konnte und die des unbehandelten Wassers weit über dem Grenzwert für die Trinkwasserqualität lag. (Petti et al. 2015)

Teil der Untersuchung von O'DONNELL et al. war, die Desinfektionswirkung von Planosil® und Planosil forte® über 21 Monate zu testen. Beide Produkte sind auf der Basis von Wasserstoffperoxid und Silberionen hergestellt. Die gemeinsame regelmäßige Anwendung führte zu einer dauerhaften Verminderung der bakteriellen Wasserbelastung unter die Grenze der von der ADA geforderten 200 KBE/ml. (O'Donnell et al. 2007)

In zehn wissenschaftlichen Untersuchungen zeigten die eingesetzten chemischen Desinfektionsmaßnahmen keine Wirksamkeit bzw. konnten die festgelegten Zielwerte für die Maximalbelastung des Wassers nicht herbeiführen. Die Ursachen dafür waren vielfältig und konnten meist nicht zufriedenstellend begründet werden. Faktoren wie Alter der Behandlungseinheiten, zu kurze Desinfektionszeiten, unzureichende Anwendungsintervalle sowie ein unterschiedliches Patienten Klientel können die Wasserdekontamination negativ beeinflussen.

Beispielsweise konnte in einer Untersuchung von LARSEN und FIEHN an älteren zahnärztlichen Behandlungseinheiten gezeigt werden, dass die Wasserdesinfektion

weder mit Sterilex Ultra[®], einem Desinfektionsmittel auf der Basis von Wasserstoffperoxid, noch mit Natriumhypochlorit wirksam war. Das Ziel, die Anzahl der koloniebildenden Einheiten von Bakterien pro Milliliter gemäß den Europäischen Normen für Wasser zu senken, wurde nicht erreicht. Weder eine tägliche noch eine verlängerte Anwendung der Desinfektionsmittel führte zum erwünschten Erfolg. (Larsen und Fiehn 2003)

HASSAN et al. führten eine Studie zum Ausmaß der Wasserkontamination von Hämodialysegeräten und Dentaleinheiten mit Amöben durch. Sie verglichen die Wasserbelastung vor und einen Tag nach der chemischen Desinfektion. Das verwendete Desinfektionsmittel wurde im Text nicht genannt. Es zeigte sich, dass die Desinfektionsmaßnahme in beiden Gerätetypen nicht wirksam war. 47,6 % der zahnärztlichen Behandlungseinheiten waren vor der Desinfektion und 42,1 % danach kontaminiert. Auffällig war, dass chirurgische Behandlungseinheiten mit 72,7 % am häufigsten kontaminiert waren. (Hassan et al. 2012)

Acht der analysierten Artikel, in denen ausschließlich chemische Desinfektionsmaßnahmen zur Anwendung kamen, zeigten, dass die eingesetzten Maßnahmen teilweise wirksam waren. Das bedeutet, dass in diesen Fällen mehrere Desinfektionsmittel miteinander verglichen wurden oder in unterschiedlichen Konzentrationen, wobei eines der untersuchten Reagenzien oder eine der Konzentrationen im Gegensatz zu den übrigen Mitteln wirksam waren, während die anderen keine ausreichende Wirksamkeit zeigten.

So untersuchte VÄTH in ihrer Dissertation die bakterielle Dekontamination an 24 zahnärztlichen Behandlungseinheiten und die Wirkung der chemischen Wasserdesinfektionsmittel Oxygenal[®], Dentosept PL[®] und Dentosept P[®]. In dieser Untersuchung wurden Oxygenal[®] und Dentosept PL[®] als Dauerdesinfektionsmittel eingesetzt und Dentosept P[®] zur Intensiventkeimung als Stoßdesinfektionsmittel verwendet. VÄTH stellte fest, dass der alleinige Einsatz der niedrigdosierten Dauerdesinfektionsmittel nicht ausreichte, um Trinkwasserqualität zu erzielen und somit keine Wirksamkeit zeigte. In denjenigen Dentaleinheiten, in denen zusätzlich regelmäßig eine Stoßdesinfektion mit Dentosept P[®] durchgeführt wurde, konnte eine Trinkwasserqualität erzielt werden. Die Autorin schlussfolgerte, dass die Dauerdesinfektionsmittel Oxygenal[®] und Dentosept PL[®] bei regelmäßiger Intensivdesinfektion einen Keimaufbau verhindern können. (Väth 1993)

DOUGLAS und ROTHWELL führten Dekontaminationsversuche von Wasser in Dentaleinheiten durch, die mit einem Desinfektionsspülsystem auf der Basis von

Glutaraldehyd ausgestattet waren. Es wurde dessen Wirkung auf Bakterien der Gattung Moraxella und Pseudomonas untersucht sowie die Wirksamkeit gegenüber Sporen des Bacillus megaterium. Dabei stellten sie fest, dass Glutaraldehyd nur teilweise wirksam war. Während die Bakterien erfolgreich abgetötet werden konnten, waren die Sporen nicht wirksam zu eliminieren. (Douglas und Rothwell 1991)

Insgesamt kann festgehalten werden, dass bei der Analyse der experimentellen Arbeiten, in denen es ausschließlich zur Anwendung von chemischen Desinfektionsmaßnahmen kam, kein einheitliches Ergebnis resultierte. Zwar zeigte sich, dass die chemischen Desinfektionsmaßnahmen überwiegend wirksam waren, allerdings in einigen Untersuchungen die Wirksamkeit nur teilweise oder sogar nicht nachgewiesen werden konnte.

4.2.3 Wirksamkeit physikalischer Desinfektionsmaßnahmen auf die Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten

In diesem Kapitel geht es um die Analyse von wissenschaftlichen Arbeiten, in denen ausschließlich physikalische Dekontaminationsverfahren für das Betriebswasser in Dentaleinheiten angewendet wurden. Insgesamt werden 16 Untersuchungen dieser Gruppe zugeordnet. Es zeigte sich, dass sich die eingesetzten Desinfektionsmaßnahmen in 13 Arbeiten als wirksam erwiesen, und dass in drei Studien keine Wirksamkeit nachgewiesen werden konnte. Es konnte festgestellt werden, dass insgesamt fünf verschiedene physikalische Desinfektionsarten zur Anwendung kamen, die anodische Oxidation, das Durchspülen der Leitungen, Filtersysteme, die UV-Desinfektion und als konstruktionsbedingte Maßnahme das Rückschlagventil. In 14 dieser Untersuchungen wurde jeweils nur eine dieser Maßnahmen angewendet, lediglich in zwei Studien kamen mehrere gemeinsam zur Anwendung. Am häufigsten, insgesamt in sieben Fällen, wurde die Wasserdesinfektion nach dem Prinzip der anodischen Oxidation untersucht. In fünf Arbeiten und damit am zweithäufigsten das Durchspülen der Leitungen. Ein Mikrofiltersystem war Gegenstand von drei, das Rückschlagventil von zwei Untersuchungen und die UV-Desinfektion kam lediglich einmal zur Anwendung. Analog zu den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 gestaltete sich der Vergleich der Studien miteinander als schwierig. Auch hier lagen die Gründe in der Heterogenität der jeweiligen Voraussetzungen, sei es das Alter der Dentaleinheiten, die Qualität des

eingespeisten Wassers, unterschiedliche Versuchsanordnungen oder uneinheitliche Zielwerte.

Die eingesetzten physikalischen Desinfektionsmaßnahmen waren überwiegend wirksam. Sowohl diejenigen, die allein zum Einsatz kamen, als auch diejenigen, die kombiniert eingesetzt wurden. Die Analyse ergab, dass sowohl das Durchspülen der Leitungen als auch der Einsatz von Mikrofiltern in allen Untersuchungen, in denen sie zum Einsatz kamen, wirksam waren. Die UV-Desinfektion wurde zwar nur in einer Studie untersucht, konnte dort aber Ihre Wirksamkeit nachweisen.

In einer Studie von BÖHME wurde die Wasserqualität an einer HNO-Modell-Einheit untersucht, in der das Betriebswasser durch Spülung der Leitungen mit Frischwasser und mit einer UV-Entkeimungsanlage als physikalische Maßnahmen dekontaminiert wurde. Dabei zeigte sich, dass diese Kombination den Zielwert von 100 KBE/ml nach fünfminütiger Verwendung der UV-Desinfektion erreichte. Es konnte somit eine Wirksamkeit der UV-Entkeimungsanlage gegenüber frei zirkulierenden Keimen aufgezeigt werden. Im Gegensatz zur Wirkung auf das Betriebswasser zeigte die UV-Anlage keinen Einfluss auf den in den Leitungen enthaltenen Biofilm. Bei genauer Betrachtung ist dieses aber ein konstruktionsbedingtes Problem, da das Wasser durch die Entkeimungsanlage fließt und das UV-Licht nicht unmittelbar auf die Wasserleitungen und somit auf den Biofilm einwirken kann. (Böhme 2004)

AMIN-SHARIFI et al. untersuchten die Dekontamination von Wasser in HNO-Behandlungseinheiten durch den Einsatz von Membranfiltern und konnten deren Wirksamkeit nachweisen. Dabei verwendeten sie Mikrofilter aus Nylonmembranen (Posidyne®) mit einer hohen Konzentration quartärer Ammoniumgruppen, die über die gesamte Membranstruktur verteilt liegen. Die Autoren betonten, dass eine vierwöchentliche Autoklavierung der Filteranlage nötig ist und der regelmäßige Austausch der Filter halbjährig zwingend erforderlich ist, wenn eine adäquate Wasserqualität dauerhaft gewährleistet bleiben soll. (Amin-Sharifi et al. 2000)

Die untersuchten wissenschaftlichen Arbeiten, in denen als physikalische Desinfektionsmaßnahme die anodische Oxidation und Rückschlagventile untersucht wurden, zeigten unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Wirkung auf eine Wasserdekontamination.

Beispielsweise konnten BAGGA et al. in ihrer Untersuchung an zwei Dentaleinheiten mit und ohne die Verwendung von Rückschlagventilen eine deutliche Verringerung der Keimbelastung des Wassers nachweisen. (Bagga et al. 1984)

BERLUTTI et al. hingegen überprüften die Effizienz von Retraktionsventilen an 54 Dentaleinheiten und stellten fest, dass diese nicht wirksam waren. Dazu wurde das Betriebswasser mit Probesuspensionen mit *Bacillus clausii* kontaminiert und Wasserproben entnommen. In 85,2 % konnten Kolonien der bakteriellen Probesuspension nachgewiesen werden. (Berlutti et al. 2003)

In diesem Kapitel fiel auf, dass bei der Analyse der wissenschaftlichen Arbeiten, in denen ausschließlich physikalische Desinfektionsmaßnahmen angewendet wurden, kein einheitliches Ergebnis vorlag. Eine Wirksamkeit der Maßnahme konnte allerdings deutlich häufiger beobachtet werden.

4.3 Analyse und Vergleich der Studien zu Biofilmen in Dentaleinheiten

In diesem Kapitel geht es um die Analyse und Auswertung der wissenschaftlichen Artikel, die in die dritte Gruppe eingeordnet wurden und die sich mit dem Problem der Biofilme in zahnärztlichen Behandlungseinheiten auseinandersetzen. Insgesamt handelt es sich dabei um 25 Arbeiten. Davon wurde in 22 Arbeiten im Wesentlichen das Vorhandensein oder die Veränderung von Biofilmen in den wasserführenden Leitungen unter dem Einfluss von Desinfektionsmaßnahmen untersucht. In den verbleibenden drei Artikeln der dritten Gruppe wurden keine Desinfektionsverfahren untersucht, sondern hier lag das Hauptaugenmerk auf der Anzucht, dem Wachstum und der Etablierung von Biofilmen, beispielsweise an Leitungen aus unterschiedlichen Materialien.

4.3.1 Angewendete Methoden zur Untersuchung von Biofilmen

In den in dieser Untersuchung analysierten Arbeiten kamen unterschiedliche Methoden zur Untersuchung von Biofilmen und dessen Veränderung zur Anwendung. Dazu gehören vor allem elektronenmikroskopische Untersuchungen. So sind die Transmissionselektronenmikroskopie (Gitipour et al. 2017) und die Rasterelektronenmikroskopie probate Methoden zur Visualisierung, Analyse und Messung von Biofilmen. (Meiller et al. 2001); (Jorgensen et al. 1999); (Liebe 1990)

In einer Arbeit zur Wirkung von Nanosilber als Wasserdesinfektionsmittel und dessen Wirkung auf einen Biofilm in einer simulierten Dentaleinheit nutzten GITIPOUR et al. die Transmissionselektronenmikroskopie und die Rasterelektronenmikroskopie. Dabei konnte sowohl die Ausgangslage als auch das Wachstum der Biofilme demonstriert werden. Darüber hinaus konnte der Kontakt zwischen dem Biofilm und den

Nanopartikeln als auch die Transformation bzw. die chemische Umwandlung des Nanosilbers nachvollzogen werden. (Gitipour et al. 2017)

YABUNE et al. verglichen die Biofilmbildung in zwei Dentaleinheiten mit jeweils unterschiedlichen wasserführenden Leitungen. Ziel war es nachzuweisen, ob Schläuche, die mit Polyvinylidenfluorid beschichtet waren, die Anhaftung von Bakterien hemmen und somit Wasserleitungen aus reinem Polyurethan überlegen sind. Die Bakterienadhärenz an der Oberfläche der Schläuche wurde mit einem Rasterelektronenmikroskop untersucht. (Yabune et al. 2005)

MONTEBUGNOLI et al. führten rasterelektronenmikroskopische Probenanalysen von Wasserleitungen zu Versuchsbeginn und nach chemischer Wasserdekontamination mit Peroxyessigsäure (0,26 %) als Desinfektionsmittel durch, um die Anwesenheit bzw. die Abwesenheit von Biofilmen zu ermitteln. Anhand der Rasterelektronenmikroskopie wurden folgende Kriterien untersucht: die Ausdehnung des Biofilms in Prozent der untersuchten Oberfläche, die Matrixdicke in μm und die Anzahl von sichtbaren Bakterien pro $500 \mu\text{m}^2$. (Montebugnoli et al. 2004)

Ein weiteres Mittel zur Untersuchung von Biofilmen, das in der ausgewählten Literatur zur Anwendung kam, war die Fluoreszenzabbildung. Hierbei werden in der Regel bestimmte Erreger mittels der Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung sichtbar gemacht und können dann untersucht werden. (Costa et al. 2016b); (Linke 2012)

In einer Studie von COSTA et al. wurde die Wirksamkeit von drei unterschiedlichen Wasserdesinfektionsmitteln untersucht. Dazu wurde ein Modell entwickelt, in dem sich Biofilme bildeten, die sowohl *Pseudomonas aeruginosa*, Pilze als auch Amöben enthielten. Teil dieser Arbeit war die Biofilmdickenmessung unter Zuhilfenahme der Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung. Anhand der spezifischen Fluoreszenz-Markierung von *Pseudomonas aeruginosa* konnten Biofilme mikroskopisch dargestellt und ihre Dicke vor und nach der Anwendung der Wasserdesinfektionsmittel berechnet werden. *Pseudomonas aeruginosa* wurde dabei als Indikator für polymikrobielle Biofilme verwendet, weil die Autoren in eigenen Vorstudien die allgegenwärtige Anwesenheit dieses Bakteriums in Biofilmen durch rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen nachgewiesen hatten. (Costa et al. 2016b)

In einer Arbeit von YOON und LEE wurden Biofilme auf Polyurethanschläuchen in einem CDC-Biofilmreaktor angezüchtet, um die Biofilmbildung in Dentaleinheiten zu simulieren. Zur Auswertung nutzten sie ebenfalls die Fluoreszenzabbildung. Nach Anzucht und chemischer Vorbehandlung der Biofilme wurden die Zellen fluoreszierend angefärbt und mit einem konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop hinsichtlich der

Biofilmdicke und des Verteilungsmuster der Bakterien untersucht. Lebende Zellen fluoreszierten grün, abgestorbene Zellen rot. (Yoon und Lee 2017)

Eine andere Möglichkeit zur Untersuchung von Biofilmen bieten Verfahren, in denen die Biofilme selbst oder Bestandteile von diesem angefärbt werden. Diese Untersuchungsart war ebenfalls Gegenstand in den wissenschaftlichen Artikeln, die für diese Analyse ausgewertet wurden.

So nutzen GAWANDE et al. beispielsweise für die Untersuchung von Biofilmen das Verfahren der Absorptionmessung nach Anfärbung mit Kristallviolett, einem violetten Triphenylmethanfarbstoff. Durch Messen der Extinktion der mit Kristallviolett angefärbten Biofilme bei 630 nm konnte das Wachstum der Biofilme bzw. die Wirkung von Desinfektionsmaßnahmen untersucht werden. (Gawande et al. 2008)

In einer Studie von SZYMANSKA wurden Biofilme von 25 zahnärztlichen Behandlungseinheiten in Hinsicht auf Ihre Zusammensetzung und Konzentration unter dem Einfluss einer chemischen Desinfektionsmaßnahme untersucht. Dabei kamen mikrobiologische Untersuchungsmethoden und biochemische Test zur Anwendung. Als Farbstoff diente hier Tetrazolium Violett. (Szymanska 2006b)

4.3.2 Wirkungserfolg chemischer und physikalischer Desinfektionsmaßnahmen auf die Biofilmreduktion in wasserführenden Leitungen zahnärztlicher Behandlungseinheiten

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeiten dargestellt, die die Wirkung von chemischen Desinfektionsmaßnahmen auf Biofilme untersuchten. Von den insgesamt 105 in die Literaturanalyse eingeschlossenen Artikeln befassten sich 22 mit der zugrundeliegenden Problematik der Biofilmreduktion bzw. Biofilmmodifikation mittels chemischer oder physikalischer Desinfektionsmaßnahmen. In der Tabelle 3 werden diese wissenschaftlichen Arbeiten den eingesetzten Desinfektionsmaßnahmen gegenübergestellt. In der letzten Spalte der Tabelle wird dargestellt, ob es zu einem wirksamen Einfluss der Desinfektionsverfahren auf den Biofilm und somit zu einer Veränderung des Biofilms kam.

Autoren	chemische Desinfektionsmaßnahmen	physikalische Desinfektionsmaßnahmen	Wirksamkeit auf Biofilm
(Gitipour et al. 2017)	Silber-Nanopartikel	-	ja
(Costa et al. 2016a)	Calbenium [®] (EDTA und quartäres Ammonium); Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Sterispray [®] (EDTA und Chloramin T)	-	ja
(Dallolio et al. 2014)	H ₂ O ₂ ; PeraSafe [®] (Peroxyessigsäure und H ₂ O ₂); Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Osmosteril Attila [®] (Chlordioxid)	-	ja
(Linke 2012)	Chlordioxid; Natriumhypochlorit	anodische Oxidation	ja
(Puttaiah et al. 2012)	Tetraacetylenylendiamin; Chlordioxid	Spülen der Leitungen	ja
(Orru et al. 2010)	H ₂ O ₂	-	ja
(Percival et al. 2009)	EDTA	-	ja
(Gawande et al. 2008)	Natriumhydrogencarbonat; Natriumperiodat; Natriumlaurylsulfat; Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen); Sterilex Ultra [®] (H ₂ O ₂); PeraSafe [®] (Peroxyessigsäure und H ₂ O ₂)	-	ja
(O'Donnell et al. 2007)	Planosil [®] und Planosil forte [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Szymanska 2006a) a	H ₂ O ₂	-	ja
(Szymanska 2006b) b	Oxygenal 6 [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Schel et al. 2006)	Alpron [®] (PHMB, EDTA und Chloramin T); BioBlue [®] (Ethanol, CHX); Sanosil [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(O'Donnell et al. 2006)	Planosil [®] und Planosil forte [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Montebugnoli et al. 2004)	Peroxyessigsäure	Spülen der Leitungen	ja
(Tuttlebee et al. 2002)	Sterilex Ultra [®] (H ₂ O ₂) und Sanosil [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja
(Meiller et al. 2001)	Natriumhypochlorit; Cavicide [®] (Alkohol und quartäres Ammonium); Glutaraldehyd; Listerine [®] (Alkohol); Peridex [®] (CHX)	-	ja
(Meiller et al. 2000)	Listerine [®] (Alkohol)	-	ja
(Jorgensen et al. 1999)	Salzsäure und Natriumhypochlorit	Spülen der Leitungen; Trocknungen der Leitungen	ja
(Meiller et al. 1999)	Natriumhypochlorit; Glutaraldehyd; Isopropanol	-	ja
(Murdoch-Kinch et al. 1997)	Natriumhypochlorit	Mikrofilter; Spülen der Leitungen	ja
(Williams et al. 1995)	Natriumhypochlorit	-	nein
(Liebe 1990)	Dentosept P [®] und PL [®] (H ₂ O ₂ und Silberionen)	-	ja

Tabelle 3: Wirksamkeit chemischer und physikalischer Desinfektionsmittel auf den Biofilm in wasserführenden Leitungen zahnärztlicher Behandlungseinheiten

Tabelle 3 zeigt, dass in 21 der 22 Arbeiten eine Wirksamkeit der Desinfektionsmaßnahmen auf die Biofilme nachgewiesen werden konnte. Nur in einer Untersuchung konnte keine Wirksamkeit des eingesetzten Desinfektionsmittels nachgewiesen werden. WILLIAMS et al. konnten in ihrer Arbeit keine positive Wirkung von Natriumhypochlorit auf den Biofilm beobachten.

Sie überprüften die Wasserdekontamination und Biofilmbildung an neu installierten Dentaleinheiten im Baltimore College für zahnärztliche Chirurgie von dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme bis sechs Monate danach. Trotz der Anwendung von Natriumhypochlorit als Dekontaminationsmittel konnte er anhand von Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop eine bakterielle Besiedelung und Biofilmbildung in den neuen zahnärztlichen Behandlungseinheiten aufzeigen. Die Verunreinigung erfolgte aus den hauseigenen Wasserleitungen. Die REM-Untersuchungen zeigten die schrittweise Biofilmbildung in den entnommenen Schlauchproben. Aus anfänglich einzelnen Zellen und Mikrokolonien nach ein bis zwei Wochen entwickelte sich nach sechs Monaten ein reifer Biofilm aus dichten Populationen von Mikrokolonien. (Williams et al. 1995)

Die nachgewiesene Wirksamkeit der Desinfektionsmittel zeigte sich abhängig vom Design der eingeschlossenen Untersuchungen anhand unterschiedlicher Kriterien und Zielgrößen. So wurde unter anderem die Dicke des Biofilms, die Hemmung des Biofilmwachstums oder das Ausmaß der bedeckten Oberfläche als messbare Größe bewertet. Darüber hinaus wurde die Bakterienanzahl in den Biofilmen als Messgröße herangezogen. Ferner konnte beobachtet werden, dass es auch zu einer Veränderung des eingesetzten Desinfektionsmittels kommen kann, was wiederum Einfluss auf die Wirkungseffizienz des Reagenzes hat.

In der Arbeit von GITIPOUR et al. wurde die Wechselwirkungen zwischen einem Nanosilberdesinfektionsmittel und der Biofilmentwicklung in Dentaleinheiten überwacht. In einem Modell zur Simulation von Wasserleitungen in Dentaleinheiten konnte unter einem kontinuierlichen Fluss von Leitungswasser die Bildung von Biofilmen nachgewiesen und die Adsorption von Nanosilberpartikeln auf Biofilmoberflächen demonstriert werden. Untersuchungen mit dem Transmissions- und dem Rasterelektronenmikroskop konnten sowohl das Auftreten eines positiven Desinfektionsprozesses auf den Biofilm aufzeigen, als auch die physikochemischen Veränderungen der eingesetzten Nanosilberpartikel während des Desinfektionsprozesses nachweisen. (Gitipour et al. 2017)

Die jeweils unterschiedlichen Designs und Versuchsabläufe führten dazu, dass sich ein Vergleich der eingeschlossenen Studien miteinander als sehr schwierig erwies. Es wurden nicht nur unterschiedliche Desinfektionsmittel eingesetzt, sondern auch unterschiedliche Messverfahren. Auch die Qualität der untersuchten Biofilme oder ob die untersuchten wasserführenden Leitungen neu waren oder sich bereits in Betrieb befanden, war unterschiedlich. In einigen Untersuchungen wurden verschiedene Desinfektionsmittel miteinander verglichen, in anderen Studien das gleiche Mittel in unterschiedlichen Dosierungen oder nach verschiedenen Anwendungsprotokollen.

COSTA et al. zeigten in ihrer Untersuchung, dass Oxygenal 6[®] (Wasserstoffperoxid und Silberionen), Calbenium[®] (EDTA und quartäres Ammonium) und Sterispray[®] (EDTA und Chloramin T) die Bildung von Biofilmen reduzieren konnten oder in der Lage waren, bereits gebildeten Biofilm zu reduzieren. Hinsichtlich der Wirksamkeit auf bereits gebildeten Biofilm zeigte sich Calbenium[®] am effektivsten. Darüber hinaus wurde die Aktivität von Calbenium[®] an einem Biofilm untersucht, der erst eine Woche alt war. Dazu wurden drei Gruppen gebildet. In der Kontrollgruppe wurde keine Wasserdesinfektion durchgeführt, in der zweiten Gruppe kam es zu einer Exposition des Wassers von 15 Minuten mit Calbenium[®] und in der dritten Gruppe wurde eine kontinuierliche Desinfektion mit Calbenium[®] durchgeführt. Dann wurde die Biofilmdicke und das Fluoreszenzvolumen von *P. aeruginosa*, stellvertretend für den ganzen Biofilm, gemessen und verglichen. Dabei zeigte sich, dass die kontinuierliche Behandlung mit Calbenium[®] am effektivsten war und sowohl Biofilmdicke als auch das Fluoreszenzvolumen signifikant geringer waren. (Costa et al. 2016b)

In der Arbeit von GAWANDE et al. wurde die Biofilm-Inhibitionsaktivität in vitro von Natriumhydrogencarbonat (SB), Natriumperiodat (SMP) und Natriumlaurylsulfat (SDS) alleine und in Kombination untersucht. Insbesondere wurde die Wachstumshemmung von *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *A. naeslundii* und *C. albicans*, welche alle mit Biofilmen in wasserführenden Leitungen von Dentaleinheiten assoziiert sind, genauer betrachtet. Die Kombination von Natriumhydrogencarbonat, Natriumperiodat und Natriumlaurylsulfat zeigte eine Hemmwirkung auf das Wachstum sowie die Bildung von Biofilmen sowohl bei gramnegativen und grampositiven Bakterien, als auch bei Hefe. Signifikant war der Hemmeffekt aber nur auf die Bildung des Biofilms von *P. aeruginosa*. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Kombination der drei Substanzen hinsichtlich der Auflösung von Biofilmen deutlich effektiver war als jeweils das einzelne Mittel bei alleiniger Anwendung. Beim Vergleich des Auflösungspotentials auf einen Biofilm zeigte sich die Kombination aus Natriumhydrogencarbonat, Natriumperiodat

und Natriumlaurylsulfat gegenüber kommerziellen Produkten wie Oxygenal 6[®], Sterilex Ultra[®] und PeraSafe[®] überlegen. Beim Vergleich der kommerziellen Produkte zeigte sich in dieser Studie, dass Oxygenal 6[®] den beiden anderen Mittel in Hinsicht auf die Gesamtzahl von lebensfähigen *P. aeruginosae* im Biofilm unterlegen war. (Gawande et al. 2008)

Ein Teil der in dieser Analyse eingeschlossenen Untersuchungen legte das Hauptaugenmerk nicht auf die strukturelle Beschaffenheit der Biofilme, wie beispielsweise die Dicke der Biofilmmatrix, sondern auf die Desinfektionswirkung gegen Bakterien, die den Biofilm besiedeln oder Teil von diesem sind. Es konnte beispielsweise gezeigt werden, dass eine Maßnahme zur Dekontamination der zahnärztlichen Behandlungseinheiten auf andersartige Mikroorganismen unterschiedlich Auswirkungen haben konnte.

SZYMANSKA untersuchte die Wirkung von Oxygenal 6[®], einer Desinfektionslösung aus 6 % Wasserstoffperoxid und Silberionen, auf die Konzentration und Zusammensetzung der aeroben und der fakultativ anaerobe Mikroflora von Biofilmen aus Proben von Schlauchfragmenten von 25 zahnärztlichen Behandlungseinheiten. Dabei konnte sie sowohl eine quantitative als auch eine qualitative Veränderung der Biofilme nachweisen. Vor der Desinfektion lag die durchschnittliche Konzentration der Gesamtkeimzahl in allen Proben bei 236.316 KBE/ml. Die Familie der Pseudomonadaceae war am häufigsten vertreten. Nach der Desinfektion betrug die durchschnittliche Konzentration 42,8 KBE/ml. Es zeigte sich eine signifikante Abnahme von gramnegativen Bakterien, Pseudomonadaceae und grampositiven Kokken. Aktinomyceten konnten nach der Desinfektionsmaßnahme nicht mehr nachgewiesen werden. (Szymanska 2006b)

In den analysierten wissenschaftlichen Artikeln wurden nicht nur die Ergebnisse von Messungen zu Beginn und zum Ende der Untersuchungen dargestellt, sondern auch Ergebnisse im zeitlichen Verlauf, sodass die Wirkung der Reagenzien besser beurteilt werden konnte. Darüber hinaus wurden auch Dentaleinheiten unterschiedlichen Alters eingesetzt und mit einander verglichen. Das führt zwangsweise dazu, dass eine Behandlungseinheit, die bereits eine längere Zeit in der Patientenversorgung zum Einsatz gekommen ist, schon einen etablierten Biofilm zu Versuchsbeginn hatte. Das konnte zur Folge haben, dass die eingesetzten Desinfektionsmittel längere Einwirkzeiten benötigen oder der etablierte Biofilm widerstandsfähiger war.

In einer Studie von MONTEBUGNOLI et al. wurde die Wirkung von Peroxyessigsäure (0,26 %) auf die mikrobielle Wasserverkeimung und auf Biofilmbesiedelung in

zahnärztlichen Behandlungseinheiten untersucht. Zur Beurteilung der Biofilmkontrolle wurden neun zahnärztliche Einheiten 30 Tage lang zur Behandlung von Patienten eingesetzt und zwischen den Behandlungen regelmäßig mit Peroxyessigsäure desinfiziert und gespült. Fünf der Dentaleinheiten waren fabrikneu und vier, in denen sich bereits ein Biofilm etabliert hatte, unterschiedlich lange in Gebrauch (2, 3, 24 und 48 Monate). Zu Beginn und am Ende des Untersuchungszeitraumes wurden Schlauchproben entnommen und mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht und hinsichtlich der prozentualen Bedeckung der Innenfläche, der Dicke der Biofilmmatrix und der Bakterienzahl im Biofilm verglichen. In den fabrikneuen Behandlungseinheiten konnte nach 30 Tagen keine Biofilmbildung beobachtet werden. In den Einheiten, die bereits 24 und 48 Monate in Gebrauch waren, konnte ein Rückgang der prozentualen Besiedelung der Innenfläche beobachtet werden. Keine Veränderung zeigte sich hier bei den beiden Einheiten, die 2 und 3 Monate verwendet wurden. Eine Verminderung der Biofilmdicke zeigte sich lediglich in den Einheiten mit 2- und 24- monatigem Einsatz. Ein deutlicher Rückgang der Bakterienzahl in den Biofilmen konnte in jeder der Einheiten nachgewiesen werden. (Montebugnoli et al. 2004)

Untersuchungen, die auf die Oberflächenbesiedelung der Schläuche mit Biofilmen abzielten, konnten grundsätzlich eine positive Auswirkung der Desinfektionsmittel nachweisen. Einige Arbeiten zeigten als Ergebnis, dass der Biofilm komplett entfernt wurde und im Elektronenmikroskop nicht mehr dargestellt werden konnte.

TUTTLEBEE et al. untersuchten an 20 zahnärztlichen Behandlungseinheiten der Zahnklinik in Dublin die Wirksamkeit von Sterilex Ultra® (Wasserstoffperoxid) und Sanosil® (Wasserstoffperoxid und Silberionen) als Wasserdesinfektionsmittel und untersuchte anhand von elektronenmikroskopischen Analysen den Effekt der beiden Mittel auf die Biofilme der wasserführenden Leitungen. Dazu wurden zwei Zentimeter lange Proben der Wasserleitungsschläuche entnommen. Vor dem Einsatz der Desinfektionsmittel war auf der inneren Oberfläche reichlich Biofilm zu erkennen, nach dem Einsatz war der Biofilm praktisch von der inneren Oberfläche beseitigt worden und konnte im Elektronenmikroskop nicht mehr dargestellt werden. Die Analyse ergab, dass beide Desinfektionsmittel den Biofilm in den zahnärztlichen Behandlungseinheiten deutlich reduzierten und diesbezüglich gleichermaßen wirksam waren. (Tuttlebee et al. 2002)

In einer Untersuchung von MEILLER et al. wurden sechs handelsübliche Desinfektionsmittel miteinander verglichen. Es wurde untersucht, wie ihre Wirkung hinsichtlich der Desinfektion von Wasser in zahnärztlichen Behandlungseinheiten und

auf etablierte Biofilme in den wasserführenden Leitungen ist. Dazu wurden im Labor mikrobiologische Tests mit angezüchteten Kulturen aus dem Wasser und den Biofilmen durchgeführt und Schlauchproben aus den Dentaleinheiten mit dem Rasterelektronenmikroskop vor und nach der Desinfektion untersucht und miteinander verglichen. Eingesetzt wurde eine Natriumhypochlorit-Lösung, Cavicide® (Lösung mit Alkohol und quartärem Ammonium), eine Glutaraldehyd-Lösung, Listerine Antiseptic® (Alkohol-Lösung), Peridex® (CHX-Lösung) und Sterilex Ultra®. Alle getesteten Wirkstoffe zeigten eine antimikrobielle Wirksamkeit, da die Kultursergebnisse sowohl für die Biofilmproben als auch für die Abwasserproben nach der Desinfektion negativ waren. Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung zeigte, dass lediglich die Natriumhypochlorit-Lösung und Sterilex Ultra® eine Entfernung der Biofilmmatrix bewirken konnten. Die Behandlungen mit Cavicide®, der Glutaraldehyd-Lösung, Listerine Antiseptic® und Peridex® führten zu keiner nennenswerten Elimination des Biofilms. (Meiller et al. 2001)

Andere Studien zeigten als Resultat zwar eine deutliche Reduktion des Biofilms, konnten aber nachweisen, dass die Biofilmmatrix nicht vollständig entfernt werden konnte.

In der Zahnklinik der Universität von Maryland untersuchten MEILLER et al. an zahnärztlichen Behandlungseinheiten die Desinfektionswirkung von Listerine Antiseptic®, einer Desinfektionslösung auf Alkoholbasis, auf das Behandlungswasser und die Wirkung auf den Biofilm in den wasserführenden Leitungen. Dazu wurden Kulturen von Abwasser- und Biofilmproben gezüchtet und untersucht sowie Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop vor und nach den Desinfektionsmaßnahmen verglichen. Nach einer 18-stündigen Behandlung mit Listerine Antiseptic® konnten weder aus Abwasserproben noch aus Biofilmproben Kulturen angezüchtet werden. Wiederholte Desinfektionen über Nacht hemmten das Wiederauftreten lebensfähiger Bakterien im Abwasser und in Biofilmen, konnten aber die Biofilmmatrix aus den Leitungen der Dentaleinheiten nicht vollständig entfernen. Neue Schläuche, die vor der Verwendung und dann täglich mit Listerine Antiseptic® behandelt wurden, entwickelten während der Studie keinen durch Rasterelektronenmikroskopie nachweisbaren Biofilm. Eine wiederholte Mehrfachbehandlung mit Listerine Antiseptic® führt zwar nicht zur vollständigen Zerstörung der Biofilmmatrix, kann aber die Besiedelung der Wasserleitungen mit lebensfähigen Bakterien hemmen. (Meiller et al. 2000)

MEILLER et al. untersuchten Abschnitte von wasserführenden Leitungen aus 11 zahnärztlichen Behandlungseinheiten in der Zahnklinik der Universität von Maryland vor und nach Desinfektionsmaßnahmen mit Natriumhypochlorit, Glutaraldehyd und Alkohol. In den Schläuchen der Dentaleinheiten, die mindestens zwei Jahren in Betrieb waren, hatte sich bereits ein ausgereifter Biofilm etabliert. Es wurden mikrobiologischen Untersuchungen durchgeführt und der Biofilm innerhalb der Schläuche mit einem Rasterelektronenmikroskop untersucht und verglichen. Zu Beginn der Untersuchung und vor Anwendung der Desinfektionsmaßnahmen konnte mit dem Rasterelektronenmikroskop typische Bilder von reifen Biofilmen mit dichter Matrix und einer Vielzahl von besiedelnden Mikroorganismen dargestellt werden. Nach der Desinfektion mit Natriumhypochlorit, Glutaraldehyd oder Alkohol konnte jeweils nachgewiesen werden, dass die Proben der Biofilme frei von Bakterien waren. Desinfektionsmaßnahmen mit Glutaraldehyd zeigten sich in der Studie denen mit Natriumhypochlorit oder Alkohol als unterlegen. Anhand der elektronenmikroskopischen Untersuchungen konnte aber auch gezeigt werden, dass eine proteinhaltige Biofilmmatrix auch nach der Anwendung der verschiedenen Desinfektionsmittel an der Schlauchoberfläche zurückblieb. Diese Biofilmmatrix konnte selbst durch wiederholte Behandlungen über Nacht und am Wochenende nicht entfernt werden. (Meiller et al. 1999)

Ein Teil der Untersuchung von LIEBE befasste sich mit der Biofilmbesiedelung von Schlauchsystemen in Dentaleinheiten. Dazu wurden Einheiten mit neuen Schlauchsystemen mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht und solche, die bereits acht Jahre in Betrieb waren. Dazu entnahm er Schlauchproben aus unterschiedlichen Bereichen der zahnärztlichen Behandlungseinheiten. Die Untersuchung führte er vor und nach der Behandlung mit Dentosept P[®] und Dentosept PL[®] durch, zwei Desinfektionsmittel mit Wasserstoffperoxid und Silber als Reagenzien. Er konnte nachweisen, dass es bei neuen Schläuchen bereits nach vier Wochen ohne Wasserdesinfektion zur Ausbildung von extrazellulären polymeren Substanzen und zu einer Besiedelung der Schlauchsysteme kommt. Diese Wandbesiedelung kann bei permanenter Desinfektion vermieden werden. Bei den alten zahnärztlichen Einheiten mit bereits besiedelten Schläuchen konnte nur eine Auflockerung des Biofilms, aber keine deutliche Reduktion der Belagstärke erreicht werden. (Liebe 1990)

Schwierig erscheint die Bewertung der Ergebnisse von der Wirksamkeit chemischer Desinfektionsmittel, wenn zusätzliche weitere Maßnahmen zur Anwendung kamen,

wie zum Beispiel Filtersysteme oder Spülungen von Wasserleitungen. Auch der Einsatz von Säure ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

In der Arbeit von JORGENSEN et al. wurde an 15 Dentaleinheiten untersucht, wie die Wirkung von Natriumhypochlorit als Wasserdesinfektionsmittel ist und welche Auswirkungen die Anwendung des Mittels auf den Biofilm in den Leitungen der Dentaleinheiten hat. Zusätzlich wurden zu Beginn der Untersuchung die Wasserleitungen der Behandlungseinheiten einmalig mit einer HCl-Lösung behandelt. Vor und nach der Einführung des Desinfektionsprotokolls mit Natriumhypochlorit wurde mit dem Rasterelektronenmikroskop der Biofilm auf der Innenfläche der Schläuche dargestellt. Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung vor dem Einsatz von HCl und Natriumhypochlorit zeigte ein deutliches Vorhandensein eines Biofilms auf der inneren Oberfläche der Wasserleitung. Die Untersuchung nach der Desinfektion ergab, dass nur sehr wenig bakterieller Biofilm auf der inneren Oberfläche vorhanden war. Es konnte somit eine Verringerung der Biofilmmenge nach Durchführung des Desinfektionsprotokolls aufgezeigt werden. Der Autor ist der Meinung, dass die Säurebehandlung entweder die Glykokalyx des Biofilms verändert und somit anfälliger für das Desinfektionsmittel macht oder dass die Säure zu einer allgemeinen unspezifischen Reduktion der Biofilmmasse führt. (Jorgensen et al. 1999)

MURDOCH-KINCH et al. untersuchten in ihrer Studie die Biofilmbildung in Schlauchsystemen von Dentaleinheiten an der zahnärztlichen Klinik der Universität von Detroit. Dabei wurden drei neue Einheiten einer alten Einheit gegenübergestellt. Die Behandlungseinheiten waren unterschiedlich ausgestattet. Teilweise wurden Mikrofilter verwendet, teilweise waren sie an einem unabhängigen Wasserversorgungssystem mit destilliertem Wasser angeschlossen oder wurden durch das öffentliche Wassernetz mit Frischwasser versorgt. Die Einheiten wurden regelmäßig gespült und zum Teil mit Natriumhypochlorit desinfiziert. Es zeigte sich, dass die Einhaltung der vom Hersteller empfohlenen Protokolle zum täglichen Spülen der Leitungen am Ende eines Arbeitstages und dem regelmäßigen Einsatz von Natriumhypochlorit die Biofilmbildung und das mikrobielle Wachstum in der wässrigen Umgebung erheblich verzögern konnte. Die Kombination einer separaten Wasserversorgung mit destilliertem Wasser und die Platzierung und der regelmäßige Wechsel von Mikrofiltern zeigte in der Analyse mit dem Rasterelektronenmikroskop eine weitere Verringerung des mikrobiellen Gehalts und der Biofilmbildung in den Wasserleitungen. (Murdoch-Kinch et al. 1997)

Berücksichtigt werden musste auch die Tatsache, dass der Einsatz von Desinfektionsmaßnahmen nicht ausschließlich zur Biofilm- oder Wasserdekontamination beitragen muss, sondern auch dazu führen kann, dass sich unter der Behandlung resistente Keime bilden können und dadurch ein widerstandsfähigerer Biofilm resultieren kann. Insbesondere bei falscher Handhabung der vom Hersteller vorgegeben Empfehlungen und Anwendungshinweise.

In seiner Dissertation untersuchte LINKE, welchen Einfluss Desinfektionsmittel haben können, wenn sie wiederholt oder dauerhaft in zu geringen Dosen angewendet werden, und ob dieses dazu führt, dass neuaufwachsende Populationen der Biofilme widerstandsfähiger werden können. Eingesetzt wurden Chlordioxid, freies Chlor aus dem Verfahren der elektrochemischen Aktivierung und Natriumhypochlorit. Einerseits konnte die Wirksamkeit aller eingesetzten Desinfektionsmittel auf die Reduktion von koloniebildenden Einheiten nachgewiesen werden. Andererseits konnte aufgezeigt werden, dass der falsche Einsatz von Desinfektionsmitteln zur Anzucht von widerstandsfähigeren Biofilmen führen kann, weil die persistierenden Stämme durch Selektion zunehmend widerstandsfähiger werden können. (Linke 2012)

4.3.3 Anzucht, Wachstum und Etablierung von Biofilmen

Dieses Kapitel behandelt die Ergebnisse der verbleibenden drei Arbeiten der dritten Gruppe in denen nicht der Einfluss von Desinfektionsmaßnahmen auf den Biofilm zum zentralen Thema gemacht wurde, sondern in denen das Hauptaugenmerk auf die Anzucht und das Wachstum von Biofilmen (Yoon und Lee 2017) und deren Etablierung in Leitungen aus unterschiedlichen Materialien (Yabune et al. 2005) und (Exner et al. 1982) gelegt wurde. Einer Wasserkontamination geht in der Regel die Bildung von Biofilmen voraus. Diese ist beispielsweise abhängig von Faktoren wie Strömungsgeschwindigkeit in der Leitung, Bakterienspezies, Wassertemperatur, Oberflächenbeschaffenheit und Material der Wasserleitungen. Um Biofilme untersuchen zu können und die Ergebnisse mit anderen wissenschaftlichen Arbeiten besser vergleichen zu können, wäre grundsätzlich ein standardisiertes und reproduzierbares Verfahren zur Biofilmanzucht wünschenswert.

Diesen Gedanken haben YOON und LEE in einer Studie aufgegriffen, in der sie die Bildung und Zusammensetzung von Biofilmen aus wasserführenden Leitungen von zahnärztlichen Behandlungseinheiten untersuchen. Dazu entwickelten sie ein Verfahren, dass unter der Zuhilfenahme eines CDC-Biofilmreaktors ein leicht

reproduzierbares Modell für die Anzucht von Biofilmen hervorbrachte. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass dieses Labormodell als Grundlage für die Entwicklung neuer bakterieller Bekämpfungsmethoden tauglich sei. (Yoon und Lee 2017)

Die Arbeiten von YABUNE et al. und EXNER et al. beschäftigen sich mit der Etablierung von Biofilmen auf unterschiedlichen Oberflächen von Wasserleitungen.

EXNER et al. verglichen anhand von rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen die Biofilmmatrix in Polyethylen- und Silikonschläuchen einer zahnärztlichen Behandlungseinheit, die mit *Pseudomonas aeruginosa* kontaminiert war. Sie stellten fest, dass die Bakterien im Silikonschlauch in einer sehr dichten Hülle eingebettet waren und führten die unterschiedliche Besiedelung beider Schläuche auf die verschiedenen Materialeigenschaften zurück. (Exner et al. 1982)

Beim Vergleich zwischen Polyurethanschläuchen und solchen, die mit Polyvinylidenfluorid beschichtet waren, zeigten YABUNE et al., dass die beschichteten Schläuche hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen eine Biofilmbildung überlegen sind. Dieses konnte sowohl mit dem Rasterelektronenmikroskop als auch anhand von Wasserproben und deren Keimbelastung nachgewiesen werden. Die Autoren führten das Ergebnis maßgeblich auf die geringere Oberflächenenergie des beschichteten Schlauches zurück und sahen diese als wichtigste Komponente, die zur Hemmung der Biofilmbildung beisteuerte. (Yabune et al. 2005)

Die Eigenschaften der zu besiedelnden Oberfläche tragen maßgeblich zum Ausmaß der Biofilmbildung und zum Tempo der Besiedelung bei. Dazu zählen neben der chemischen Zusammensetzung und Oberflächenstruktur des Materials auch dessen Oberflächenladung und Oberflächenenergie.

Inwieweit das Material der wasserführenden Leitung hydrophob ist, ist ebenfalls von Bedeutung. (Busscher et al. 1995)

4.4 Analyse und Vergleich der Übersichtsarbeiten

Die Gruppe der Übersichtsarbeiten besteht aus 14 wissenschaftlichen Arbeiten, die sich im Grundsatz mit der ganzen Thematik der Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten beschäftigen. Dabei geht es in der Regel sowohl um das Zustandekommen der Wasserkontamination als auch um die Möglichkeiten der Wasserdekontamination. Der älteste Artikel in dieser Gruppe wurde 1993 (Samaranayake 1993), der jüngste Artikel 2017 (Pankhurst et al. 2017) veröffentlicht.

Einig sind sich die Autoren über die Notwendigkeit der Wasserdekontamination. Die zentrale Ursache ist die Biofilmetablierung in den wasserführenden Leitungen der Dentaleinheiten.

Die abfließenden Mikroorganismen aus den zahnärztlichen Behandlungseinheiten kommen im Wesentlichen aus den Biofilmen der luminalen Oberflächen der wasserführenden Leitungen. (Pankhurst et al. 2017)

Die Entwicklung von Biofilmen in wasserführenden Systemen ist multifaktoriell bedingt. Sehr häufige Ursachen ihrer Entstehung sind die geringen Fließgeschwindigkeiten in der Behandlungseinheit und längere Stagnationszeiten, beispielsweise nachts und am Wochenende. In diesen Zeiten wird der Behandlungseinheit dann kein Wasser entnommen, was das Anhaften von Bakterien an den Leitungswänden begünstigt. Wird das Kühlwasser für die Hand und Winkelstücke auch noch zugunsten des Patientenkomforts erwärmt, etablieren sich die Biofilme besonders schnell. (Göttlich-Fligg 2016)

Zahnärztliche Behandlungseinheiten verfügen über ein integriertes System von Wasserleitungen mit kleinen Durchmessern, die häufig aus Kunststoffschläuchen bestehen. Gerade dieses Material ist äußerst empfindlich für die Ausbildung von Biofilmen. (Becker und Becker 2010)

Die zweite maßgebliche Komponente hinsichtlich der Wasserdekontamination ist die retrograde Verschmutzung durch den Reflux von Mikroorganismen aus dem Mund des Patienten in die zahnärztliche Behandlungseinheit. Auch hier herrscht eine einheitliche Meinung unter den Autoren.

Flüssigkeiten aus dem Patientenmund bilden eine Kontaminationsquelle für zahnärztliche Behandlungseinheiten, wenn beispielsweise das Anti-Rücksaugventil defekt ist und Mikroorganismen über das Handstück oder die Turbine in die wasserführenden Leitungen gelangen können. (al Shorman et al. 2002)

Von Kontamination kann man auch sprechen, wenn orale Mikroorganismen in die Wasserleitungen der Dentaleinheit zurückgesaugt werden, weil beispielsweise das Rückschlagventil defekt ist oder sogar fehlt. (Barbeau und Nadeau 1997)

Das Zurücksaugen von Patientenflüssigkeiten in die Wasserleitungen führt unweigerlich zu einer Kontamination des Wassers mit Mikroben, die die Mundflora repräsentieren. Einige dieser Organismen können Biofilmbildner sein, die sich dann in zahnärztlichen Behandlungseinheiten etablieren und das Nutzwasser verschmutzen können, selbst wenn die Leitungen noch nie am öffentlichen Wassernetz angeschlossen waren. (Williams et al. 1996)

Die Analyse der Übersichtsarbeiten ergab eine Reihe von Empfehlungen und Maßnahmen, die nach Auffassung der Autoren einer Wasserkontamination entgegenwirken können und auf mehreren Ebenen ansetzen bzw. unterschiedliche Aspekte betreffen. Dazu gehören die Wasserqualität des in die Dentaleinheit eingespeisten Wassers, Verhaltensmaßnahmen, technische Voraussetzungen und Abläufe vor, nach und während des Behandlungsbetriebs, physikalische und chemische Desinfektionsmaßnahmen sowie die Forderung nach regelmäßigen Kontrollen. In Gänze sollen diese Faktoren dazu beitragen, eine sichere und verlässliche Wasserqualität für zahnärztliche Behandlungen gewährleisten zu können und einer Infektion von Behandler und Patienten durch keimbelastetes Wasser vorzubeugen.

Einheitlich erscheint die Forderung nach der Verwendung von Wasser mit Trinkwasserqualität. Geringe Unterschiede bestehen hier allerdings zwischen dem europäischen und nordamerikanischen Kontinent. In Europa ist eine Keimbelastung von maximal 100 KBE/ml vorgesehen, während in den USA eine Grenze von 500 KBE/ml erlaubt ist. Die American Dental Association fordert einen Grenzwert von 200 KBE/ml und somit eine Qualität, die über der von Trinkwasser liegt. (al Shorman et al. 2002)

Das Nutzwasser aus der zahnärztlichen Behandlungseinheit wird von den Patienten sowohl verschluckt als auch inhaliert, weswegen diese beiden Faktoren bei der Festlegung von mikrobiologischen Grenzwerten berücksichtigt werden müssen. (Pankhurst et al. 2017)

Bei der inhaltlichen Auswertung der Übersichtsarbeiten fiel auf, dass sich gewisse Verhaltensmaßnahmen und Abläufe förderlich auf die Wasserqualität auswirken. Auch technische Bauelemente zeigen einen deutlich positiven Einfluss. Insbesondere das Spülen der Leitungen führt zu einer starken Verminderung der mikrobiologischen Belastung des Wassers. Durch lange Stagnationszeiten, beispielsweise früh am Morgen, nach einem Wochenende oder nach einem Urlaub, kommt es zu einer erhöhten Keimkonzentration in den wasserführenden Leitungen. Die fehlende Strömung und eine zusätzliche Erwärmung des stehenden Wassers fördern die Biofilmetablierung und auch das Wachstum der Mikroorganismen. Darum ist es notwendig, die Behandlungseinheiten morgens mit Wasser durchzuspülen, um somit die angesammelten Keime aus den Leitungen auszuwaschen. Auch zwischen zwei Patientenbehandlungen ist ein Durchspülen der Leitungen mit Wasser sinnvoll, auch

wenn die Stagnationszeit hier keine wesentliche Rolle spielt, sondern eher eine Keimübertragung vom vorherigen auf den nächsten Patienten verhindert werden soll. BECKER und BECKER empfehlen eine circa zwei Minuten lange morgendliche Spülung ohne aufgesetzte Übertragungsinstrumente und nach jedem Patienten eine circa 20 Sekunden lange Durchspülung der Wasserwege der am Patienten benutzten Instrumente, ohne die aufgesetzten Übertragungsinstrumenten vorher abzunehmen. Erst nach der Spülung sollen die Übertragungsinstrumente zur Aufbereitung entfernt werden. Des Weiteren fordern sie, dass nach jeder Behandlung, in der Blut, Speichel oder Aerosol abgesaugt werden, die am Patienten benutzten Saugschläuche für zehn Sekunden durchgespült werden und täglich eine abendliche Spülung der Absaugschläuche mit circa einem Liter Wasser durchgeführt wird. (Becker und Becker 2010)

Der Keimgehalt in zahnärztlichen Behandlungseinheiten kann durch über mehrere Minuten fließendes Wasser erheblich verringert werden. Das Ausmaß der Reduzierung und die verstrichene Zeit bis zur erneuten Kontamination variiert ja nach Gerät oder Wasseranschluss. (Peters und McGaw 1996)

Zur täglichen Spülung der wasserführenden Leitungen in Dentaleinheiten ist das Abfließen des Wassers an jedem Wasserauslass über einen Zeitraum von 2 Minuten eine zwar simple, aber dennoch zeitaufwendige Methode, die Wasserkontamination mit Bakterien zu verringern. Um dieses in der Praxis besser umsetzen zu können, ist die Anwendung eines Spülprotokolls hilfreich, in dem die tägliche Durchführung der Spülung protokolliert werden kann. (Jatzwauk et al. 2008)

Die Wirksamkeit einer mechanischen Spülung als alleinige Maßnahme zur Kontrolle von mikrobiell verunreinigtem Wasser in Dentaleinheiten ist in der wissenschaftlichen Literatur nicht eindeutig belegt. Es führt zwar zu einer vorübergehenden Verminderung von gelösten Mikroorganismen, hat aber keine vorhersehbare Wirkung auf fest anhaftenden Biofilm. Es zeigte sich, dass aus einem Biofilm gelöste bakterielle Aggregate zu einer Verunreinigung des Wassers für eine nachfolgende Behandlung führen kann. Andererseits kann durch Spülen der Behandlungseinheit über mehrere Sekunden verschlepptes Material entfernt werden, das während der Behandlung des vorherigen Patienten aus dem Patientenmund in das Wassersystem gelangt ist. (Mills 2000)

Technische Mindestanforderungen an die Konstruktion von zahnärztlichen Behandlungseinheiten und von wasserführenden Leitungen bilden eine weitere Ebene bzw. stellen einen weiteren Teilaspekt dar, die zu einer Verbesserung der

Wasserqualität beitragen und im Prinzip einer Wasserdekontamination prophylaktisch entgegenwirken sollen. So ist es vorteilhaft, wenn Wasserleitungen keine Stagnations- und Totstrecken aufweisen, in denen das Wasser unnötig lange stehen kann und wenn die Leitungen einen möglichst geringen Durchmesser besitzen. Darüber hinaus sollte das Material für wasserführenden Leitungen so gewählt werden, dass eine bakterielle Besiedelung und die Ausbildung von Biofilmen von vornherein nur erschwert möglich ist. Dieses ist zum Beispiel bei glatten Leitungsinnenflächen oder für Gummi- und Kunststoffschläuche, die nicht oder kaum porös werden, der Fall. Weitere technische Möglichkeiten sind der Einbau von freien Fallstrecken, die eine stromaufwärtsgerichteten Verkeimung unterbinden sollen und die Verwendung von Filtersystemen oder Rückschlagventilen.

Alle Dentaleinheiten sollten mit Rückschlagventilen ausgestattet sein, um ein Zurücksaugen von Verunreinigungen zu verhindern. Wenn die Behandlungseinheit direkt Wasser aus dem öffentlichen Wassernetz bezieht, sollte das Gerät mit einer freien Fallstrecke ausgestattet sein. Es ist jedoch bekannt, dass die Rückschlagventile zu einem Ausgangspunkt für Biofilmbildung und sehr ineffizient werden können, wenn sie nicht regelmäßig gewartet und ersetzt werden. Rückschlagventile befinden sich auch in den zahnärztlichen Handstücken und Turbinen. Sie verhindern das erneute Absaugen von mit der Mundflora des Patienten kontaminierter Flüssigkeit in die Wasserleitung. Die routinemäßige Dekontaminierung und die regelmäßige Wartung der Handstücke tragen zur Aufrechterhaltung der Integrität der Rückschlagventile bei. (Pankhurst et al. 2017)

Die Verwendung von Filtersystemen wird von den Autoren der Übersichtsartikel als Möglichkeit der Keimreduktion im Wasser genannt. Allerdings wird unterstrichen, dass ein regelmäßiger Austausch wichtig ist und eine regelmäßige Überprüfung der Wasserqualität erfolgen sollte. Einfluss auf die Biofilmbildung oder desinfizierende Wirkung im Wasser haben die Filtersysteme nicht.

Die Mikrofiltration stellt eine weitere physikalische Barriere für den Ausfluss von Mikroorganismen in Wasser von zahnärztlichen Behandlungseinheiten dar. (Williams et al. 1996)

Es können Filter zwischen der wasserführenden Leitung und dem zahnärztlichen Handstück installiert werden. Diese haben zwar keinen Einfluss auf die Biofilme im Wasser, sie können aber Mikroorganismen zurückhalten, bevor das Wasser an den Patienten abgegeben wird. (Pankhurst et al. 2017)

Filter werden in der Zahnmedizin möglichst nah vor den Winkelstücken oder Turbinen in das Schlauchsystem eingebaut, um die aus den Biofilmen in das Wasser austretenden Mikroorganismen aufzuhalten. Einfluss auf den in den Schläuchen und Leitungen enthaltenen Biofilmen haben sie nicht. Solche Filter müssen täglich bis wöchentlich gewechselt werden, sonst kommt es bei längeren Standzeiten zur Besiedelung von Mikroorganismen mit der Konsequenz, dass hinter den Filtern höhere Bakterienzahlen auftreten als davor. (Will 2014)

Abschließend wurden in diesem Kapitel die 14 Übersichtsarbeiten in Hinsicht auf Aussagen und Ergebnissen zu chemischen Desinfektionsverfahren analysiert. Dabei sollte untersucht werden, welche Agenzien am häufigsten empfohlen oder beschrieben wurden. Ferner sollte herausgefunden werden, ob sich bestimmte Desinfektionsmittel als besonders wirksam herauskristallisiert haben. Darüber hinaus wurde untersucht, ob es neben den bereits untersuchten Filtersystemen weitere physikalische Desinfektionsverfahren gibt, die in den Übersichtsarbeiten ihre Berücksichtigung fanden.

Am häufigsten wurden Desinfektionsmittellösungen mit Wasserstoffperoxid aufgeführt. In 10 der 14 Übersichtsartikel wurden als dekontaminierendes Agens entweder ausschließlich Wasserstoffperoxid (al Shorman et al. 2002); (Williams et al. 1996); (Peters und McGaw 1996) oder in Verbindung mit Silberionen (Walker und Marsh 2007); (Jatzwauk et al. 2008) beschrieben. Analog dazu wurden Peroxid-Lösungen von Alkalimetallen, wie Natrium- oder Kaliumperoxid, in diesem Zusammenhang erwähnt. (Mills 2000); (Pankhurst et al. 2017) Die zweithäufigste Erwähnung, in 9 der 14 Artikel, fanden Desinfektionsmittel auf Chlorbasis. (Nickel 1995); (Pankhurst et al. 2017) Dazu zählen insbesondere Chlorhexidin-Lösungen (Pederson et al. 2002); (Samaranayake 1993) und Hypochlorit-Lösungen (Pankhurst et al. 2017); (al Shorman et al. 2002), aber auch Chloramin T (Mills 2000) und Chlordioxid. (Walker und Marsh 2007) Wasserdesinfektionsmittel auf der Basis von Iod wurden in 8 Artikel und somit am dritthäufigsten beschrieben. (Peters und McGaw 1996); (Göttlich-Fligg 2016) Weitere aufgeführte Mittel sind auf Alkoholen basierende Desinfektionslösungen (al Shorman et al. 2002), Lösungen auf der Basis von Zitronensäure (Mills 2000), Essigsäure oder Peroxyessigsäure (Walker und Marsh 2007), Desinfektionsmittel mit Ozon (Pederson et al. 2002), Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) (Pankhurst et al. 2017), Glutaraldehyd (Williams et al. 1996), Brom (Nickel 1995) oder quartäre Ammoniumverbindungen (Pankhurst et al. 2017) sowie silberhaltige Produkte. (Jatzwauk et al. 2008) In 3 der 14 Überblickarbeiten gehen die Autoren nicht genauer

auf chemische Wasserdesinfektionsmittel ein. Während sowohl BECKER und BECKER als auch BARBEAU und NADEAU zwar die chemische Wasserdesinfektion grundsätzlich thematisieren, ohne aber explizit bestimmte Agenzien oder Desinfektionsmittel zu nennen, behandelt WILL in seinem Übersichtsartikel schwerpunktmäßig das Thema Filtration und die Anwendung sterilen Wassers, ohne überhaupt das Thema der chemischen Wasserdesinfektion zu benennen. (Becker und Becker 2010); (Barbeau und Nadeau 1997); (Will 2014)

Als physikalisches Wasserdesinfektionsverfahren wurde von den Autoren maßgeblich die Bestrahlung mit UV-Licht und die anodische Oxidation thematisiert. Insgesamt 5 der 14 bzw. 2 der 14 Übersichtsartikel nannten diese Art der Dekontaminationsmöglichkeit. (Göttlich-Fligg 2016); (Pankhurst et al. 2017)

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die chemische Wasserdesinfektion in den Übersichtsartikeln weitaus umfangreicher beschrieben und thematisiert wurde als die physikalischen Methoden. Inwieweit dieses Ergebnis eine Aussage über eine mögliche Überlegenheit der Wirksamkeit oder eine bessere Effizienz chemischer Methoden zulässt kann damit aber nicht beantwortet werden.

5. Diskussion

In der zugrunde liegenden Analyse konnte zunächst festgesellt werden, dass es grundsätzlich zwei Ansatzpunkte für eine Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten gibt. Entweder versucht man, gezielt die Keimbelastung des Betriebswassers zu beeinflussen oder führt Maßnahmen durch, die den Biofilm in den wasserführenden Leitungen beeinflussen bzw. entfernen, um so indirekt eine verminderte mikrobielle Wasserbelastung zu erzielen. Zur Überprüfung eines Wirkungserfolges können im Wesentlichen zwei Ansatzpunkte verfolgt werden. Die Bestimmung der Keimbelastung des Betriebswassers anhand mikrobiologischer Untersuchungen oder die Überprüfung des Biofilms hinsichtlich einer strukturellen oder qualitativen Veränderung vor und nach einer Desinfektionsmaßnahme. Die mikrobiologische Analyse des Wassers war Gegenstand von 83 Studien (vgl. Kapitel 4.2) und die Untersuchung des Biofilms wurde in 22 Arbeiten (vgl. Kapitel 4.3) durchgeführt. Es konnte jeweils festgestellt werden, dass im überwiegenden Teil der analysierten wissenschaftlichen Artikel die verwendeten Dekontaminationsverfahren wirksam bzw. wenigstens teilweise wirksam waren. Allerdings konnte auch anhand der Literaturlauswertung kein Desinfektionsverfahren ermittelt werden, dass isoliert eine verlässliche und reproduzierbare Dekontamination des Betriebswassers von zahnärztlichen Behandlungseinheiten dauerhaft gewährleisten kann. Deswegen sollte umso mehr auf einen multimodalen Ansatz zurückgegriffen werden, dass den Einsatz von chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen, regelmäßigen Kontrollen der Wasserqualität, routinemäßige Umsetzung von Hygieneplänen und optimierte Betriebsabläufe beinhaltet. Darüber hinaus ist auf eine adäquate und kontinuierliche Personalschulung sowie auf eine regelmäßige Wartung und Modernisierung zu achten.

Auch BRANDS sieht neben der Wichtigkeit einer kontinuierlichen Desinfektion die Notwendigkeit der Ausarbeitung und Umsetzung von Hygieneprotokollen und Spülplänen als Teil eines umfassenden, multimodalen Konzeptes. Nur so sei es umsetzbar, die Wasserqualität gemäß den Vorgaben des RKI zu erreichen und das Gesundheitsrisiko für die Patienten durch das Betriebswasser der Dentaleinheiten möglichst gering zu halten. (Brands 2010)

Das RKI empfiehlt eine Reihe von Maßnahmen und Rahmenbedingungen für ein umfassendes Konzept, der mikrobiellen Kontamination von wasserführenden Leitungen in zahnärztlichen Behandlungseinheiten entgegenzuwirken. Dazu gehört

neben dem Einsatz von nachgewiesenen wirksamen und praxistauglichen Desinfektionsmaßnahmen die Berücksichtigung von Herstellerangaben zur Kontrolle relevanter Parameter. Für den Fall einer Nachrüstung mit einer Desinfektionsanlage sollte eine Biofilmbeseitigung aus der Dentaleinheit durchgeführt werden. Grundsätzlich empfiehlt das RKI zu Beginn eines Arbeitstages ein Durchspülen der Wasserleitungen, mindestens zwei Minuten lang, ohne aufgesetzte Handinstrumente. Zwischen zwei Patientenbehandlungen sollte die zahnärztliche Einheit mindestens 20 Sekunden durchgespült werden. Darüber hinaus sollten in neuen Behandlungseinheiten nur Materialien verbaut werden, die über einen entsprechenden Nachweis verfügen, dass sie das Wachstum von Mikroorganismen nicht unterstützen. Hinzu kommt die Empfehlung für regelmäßige Kontrollen der mikrobiologischen Qualität des Wassers durch zertifizierte Labore. Diese Kontrollen beinhalten die Bestimmung der Gesamtkoloniezahl und die Wasserbelastung durch Legionellen. Die Entnahme des Wassers für die Laboruntersuchungen sollte von geschultem Personal durchgeführt werden. (RKI 2006)

PIETSCH et al. empfehlen darüber hinaus, dass das Wasser von zahnärztlichen Behandlungseinheiten auch regelmäßig auf eine Kontamination mit *Pseudomonas aeruginosa* untersucht werden sollte. Des Weiteren halten sie es für unzureichend, Wasserproben nur an einer Stelle der Dentaleinheit zu entnehmen, und dass der Untersucher die Stelle auch selbst, quasi willkürlich, aussuchen kann. (Pietsch et al. 2006)

5.1. Wasserdekontamination und Biofilm

Im folgenden Kapitel wird die Problematik der Wasserdekontamination in zahnärztlichen Behandlungseinheiten bewertet und diskutiert. Dabei geht es um mögliche Ursachen, unterschiedliche Grenzdosen, konstruktions- und infrastrukturell bedingte Voraussetzungen sowie Lösungsansätze bspw. in Form von multimodalen Desinfektionsplänen und Strategien.

Eine Kontamination des Betriebswassers kann grundsätzlich mehrere Ursachen haben und ist nicht ausschließlich auf die Biofilme in den zahnärztlichen Behandlungseinheiten zurückzuführen. Die Qualität des Trinkwassers, das in der Regel aus dem öffentlichen Wassernetz eingespeist wird, kann bereits eine erhöhte mikrobielle Belastung aufweisen. Ursächlich dafür können Biofilme in den Rohren der

öffentlichen Wasserversorgung sein, Verunreinigungen oder technische Defekte im Wasserwerk aber auch Baustellen am Versorgungsnetz.

Sowohl KRAUT als auch HIMBERT stellen in ihren Dissertationen nachvollziehbar fest, dass eine erhöhte Keimbelastung des Betriebswassers zahnärztlicher Behandlungseinheiten bereits über das in die Einheiten eingespeiste Trinkwasser verursacht sein kann und beim Verlassen des öffentlichen Wassernetzes den geltenden Richtwert bereits überschritten hat. (Kraut 2006) (Himbert 1997)

SOIBELMANN untersuchte in seiner Dissertation, inwieweit die stagnationsbedingte Wasserkontamination durch Ablassen des Wassers vor einer zahnärztlichen Behandlung aus der Behandlungseinheit beeinflussbar ist. Er führte dazu regelmäßige mikrobiologische Kontrollen des Wassers durch. Dabei fiel ihm an zwei Tagen eine unverhältnismäßig hohe Keimbelastung auf, die deutlich über den Mittelwerten der anderen Untersuchungstage lag. Ursächlich dafür waren Straßenarbeiten vor dem Praxisgebäude, bei denen wiederholt die Wasserzuleitung unterbrochen wurde. Dieses führte zu vermehrten Turbulenzen im Leitungssystem und damit verbunden eine vermehrte Ablösung von Biofilm, der schlussendlich in die zuführenden Leitungen eingeschwemmt wurde. (Soibermann 2004)

Neben Bauarbeiten können auch Rohrbrüche zu einer erhöhten mikrobiellen Belastung des Trinkwassers führen. Der Rohrbruch kann zu einem Leck im Trinkwassernetz des Versorgers führen, durch das Verunreinigungen ins Wasser gelangen können. (Lüke et al. 2013)

Auch bei Reparaturen und Wartungsarbeiten an der Behandlungseinheit kann das Wasser direkt kontaminiert werden. Dabei können die Techniker selbst, aber auch verunreinigte Werkzeuge oder Ersatzteile, ursächlich sein. Ebenso ist die vermehrte Mobilisation des Biofilms durch die handwerkliche Maßnahme denkbar.

DEMOND empfiehlt deswegen, für solche Instandsetzungsmaßnahmen, eine gründliche Händedesinfektion und das Tragen von keimarmen Einmalhandschuhen durch die Installateure. (Demond 2011)

Die Qualität des Betriebswassers ist sowohl von der Gebäudeinfrastruktur als auch von der Konstruktionsart und dem Alter der zahnärztlichen Behandlungseinheiten abhängig. Insbesondere der Verlauf und die Durchmesser der Wasserleitungen können hierbei eine entscheidende Rolle spielen. In alten Gebäuden verlaufen die Warm- und Kaltwasserleitungen häufig unmittelbar nebeneinander. Das führt zu einer unerwünschten Erwärmung der Kaltwasserleitung und schafft dadurch ein besseres Milieu für die Vermehrung von Mikroorganismen. Darüber hinaus stellt sich hinsichtlich

der Keimvermehrung ein oftmals zu großes Totraumvolumen im Leitungssystem als weiteres Problem dar. Dieses kann entweder durch zu große Leitungen oder aufgrund von endständigen Rohren oder Stichleitungen bedingt sein. Es resultiert eine Stagnation des Wassers mit einem zu geringeren Wasseraustausch, was einerseits die Bakterienansammlung und mikrobielle Vermehrung fördert und andererseits die Biofilmbildung begünstigt.

Konträr dazu sei der Einbau von zu langen Rohren mit zu engem Durchmesser aber ebenfalls unvorteilhaft, weil dadurch eine geringe Wassermenge über eine zu große Oberfläche fließen muss. (Kisteman et al. 2011) (Berger 2015)

Sinnvolle Ansätze, um einer Stagnation des Wassers konstruktionsbedingt entgegen zu wirken, wären beispielsweise der Einbau von tottraumfreien Rohrleitungssystemen oder eine optimale Anpassung von Rohrdurchmesser und Rohrlänge in Bezug auf den tatsächlichen Wasserbedarf. Ferner ist darauf zu achten, bei Neubauten die Warm- und Kaltwasserleitungen räumlich getrennt voneinander zu installieren bzw. adäquat zu isolieren. Inwieweit eine nachträgliche Isolierung von parallel verlaufenden Wasserleitungen möglich ist, ist primär eine baurechtliche und wirtschaftliche Frage.

Die Stagnation des Betriebswassers ist weniger ein konstruktionsbedingtes, sondern in erster Linie ein zeitliches Problem. Kommt es zum Stillstand im Leitungssystem, führt dieses zur Wassererwärmung und bietet den Bakterien optimale Bedingungen zur Vermehrung. Darüber hinaus kommt es zu einer erhöhten Kontaktzeit von Wasser und in den Leitungen befindlicher Biofilm. Besonders lange Stagnationszeiten wie Wochenenden oder Urlaubszeiten führen zu einem massiven Anstieg der mikrobiellen Belastung. Fallen diese Stagnationszeiten auch noch in die Sommermonate, bspw. aufgrund betrieblicher Sommerferien einer Zahnarztpraxis, verschärfen die Außentemperaturen zusätzlich das Problem. Aber auch der nächtliche Stillstand des Wassers während einer normalen Arbeitswoche führt zu einer Keimvermehrung im Wasser bis zum nächsten Morgen.

Die Keimzahlbestimmung nach Stagnation am Wochenende in einer Untersuchung von KRAUT zeigte, dass der zuvor stets eingehaltene Grenzwert von 100 KBE/ml zu Wochenbeginn in der Mehrzahl der Proben überschritten wurde. Darüber hinaus ergab die qualitative mikrobiologische Untersuchung, dass sich in den Proben Legionellen befanden. (Kraut 2006)

Die Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene empfiehlt zur Prävention und Kontrolle von Wasser-assoziierten *Pseudomonas aeruginosa*-Infektionen, dass als Grundprinzip, um eine Besiedelung von wasserführenden Systemen mit

Pseudomonas aeruginosa zu verhindern, die Wasserstagnation vermieden oder auf ein Minimum reduziert wird. Insbesondere in Risikobereichen ist eine regelmäßige wiederholte Wasserentnahme unter Zuhilfenahme eines Spülplans zu gewährleisten. Darüber hinaus sollte die obere Temperaturgrenze für kaltes Trinkwasser und die untere Temperaturgrenze für erwärmtes Trinkwasser eingehalten werden. Betriebswässer in medizinischen Systemen, insbesondere Kühlwässer von Dentaleinheiten und Spülwässer von HNO-ärztlichen Einheiten sollten vor Behandlungsbeginn, zwischen zwei Patienten und nach langen Stagnationszeiten über eine Minute ausgespült werden, damit die enthaltenden Mikroorganismen und Biofilmpaquas ausgespült werden. (DGKH 2016)

Weitere Diskussionspunkte stellen auch die Auswirkung der unterschiedlichen Bauarten bzw. der unterschiedlichen Hersteller von Dentaleinheiten auf die Wasserverkeimung dar. Bei der Herstellung der verschiedenen Behandlungseinheiten werden unterschiedlich Baupläne, Verarbeitungsschritte und Materialien eingesetzt, was dazu führen kann, dass die Behandlungseinheit des einen Herstellers der des anderen Fabrikanten bspw. hinsichtlich einer Vermeidung der Biofilmetablierung überlegen ist. Dadurch können im Vergleich bessere Werte der Qualität des Betriebswassers erzielt werden.

NEUMANN untersuchte in seiner Arbeit die Filterleistung von endständigen Membranfiltern an zwei modernen zahnärztlichen Behandlungseinheiten der Firmen KaVo® und Sirona®. Ziel war es, ein Betriebswasser gemäß den RKI-Richtlinien mit einer Gesamtbelastung von maximal 100 KBE/ml zu erreichen. Unter Zuhilfenahme der Filter konnte in beiden Dentaleinheiten für eine Woche hygienisch einwandfreies Wasser nachgewiesen werden. Die dreimonatige, vom Hersteller postulierte Standzeit der Filter konnte allerdings nicht erreicht werden. Bei der Gegenüberstellung beider Dentaleinheiten fiel auf, dass die Einheit der Firma KaVo® am Ende des Untersuchungsintervalls eine signifikant stärkere Wasserkontamination aufwies als die Einheit der Firma Sirona®. Während sich die Bakterienzahlen in der ersten Woche noch annähernd gleich entwickelten, zeigten die Wasserproben aus der KaVo®-Einheit nach zwei Wochen bereits eine circa fünffach höhere bakterielle Verunreinigung als die aus der Sirona®-Einheit. (Neumann 2011)

Grundsätzlich ist eine Biofilmbildung in jeder wasserführenden Leitung, unabhängig davon ob sie aus Metall oder Kunststoff besteht, möglich. Dabei ist sie sowohl vom Material als auch von der Oberflächenbeschaffenheit der Wasserleitung abhängig. Zu den Einflussfaktoren einer Oberfläche auf die Etablierung des Biofilms

gehören ihre chemische Zusammensetzung, die Oberflächenenergie und Oberflächenladung, die Hydrophobizität sowie die Porosität und Rauigkeit des Materials. Diese Faktoren determinierten sowohl die Biofilmstruktur als auch die Geschwindigkeit der Oberflächenbesiedelung. (Martienssen 2001)

FLETCHER und LOEB untersuchten die Anheftung von Pseudomonaden an mehreren Oberflächen aus unterschiedlichen Materialien. Dabei wurde die Anzahl der Bakterien, die sich an der Oberfläche anlagerten, in Relation zur Oberflächenladung und Hydrophobizität der verschiedenen Materialien gesetzt. Die meisten Bakterien hafteten an hydrophoben Kunststoffen mit geringer oder keiner Oberflächenladung an. Dazu gehörten beispielweise Teflon, Polystyrol oder Polyethylen. An hydrophilen Metallen wie Platin oder Germanium lagerten sich deutlich weniger Bakterien an. Am wenigsten wurden hydrophile, negativ geladene Substanzen wie Glas oder oxidierte Kunststoffe besiedelt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass sowohl elektrostatische als auch hydrophobe Wechselwirkungen an der Anlagerung an Oberflächen bzw. an der Biofilmbildung beteiligt sind. (Fletcher und Loeb 1979)

Die Etablierung von Biofilmen in zahnärztlichen Behandlungseinheiten findet in erster Linie in den Silikonschläuchen statt, die zur Verbindung von Behandlungseinheit und Arbeitsinstrumenten wie Turbine oder Winkelstück vorgesehen sind. Nach MUSCHINSKY wäre das ein geeigneter Ansatzpunkt, einer Biofilmbildung entgegenwirken zu können. Da das derzeit eingebaute Schlauchmaterial der Dentaleinheiten in der Regel nicht in der Lage ist, Desinfektions- bzw. Sterilisationsvorgänge mit großer Hitzeentwicklung zu tolerieren, sollten diese Silikonschläuche austauschbar sein. Es könnten dann in regelmäßigen Abständen alle wasserführenden Schläuche ausgewechselt werden. (Muschinsky 2014)

Wasserleitungen aus Kunststoff können dem Biofilm darüber hinaus als Nährstoffquelle dienen, da sie Zusatzstoffe wie Weichmacher, Fettsäuren und Lösungsmittel enthalten, welche den Mikroorganismen des Biofilms als leicht abbaubare Kohlenstoffquelle dienen. (Röder 2011)

Wenn Kunststoffleitungen Nährstoffe freisetzen, die dem Biofilm als Kohlenstoffquelle dienen, so liegt die Überlegung nahe, wachstumshemmende oder antimikrobielle Substanzen in die Oberfläche von Wasserleitung einzuarbeiten, die im zeitlichen Verlauf kontinuierlich abgegeben werden. Im Umkehrschluss könnte man so, anstatt die Biofilmetablierung zu fördern, diese hemmend beeinflussen. Auch WILLIAMS et al. halten diese Idee für ein attraktives Konzept. Als Voraussetzung dafür müsse eine dauerhafte ausreichende antimikrobielle Aktivität an der Grenze zwischen Wasser und

Leitungsoberfläche erzielt werden, sodass die Bakterien sich nicht an die Oberfläche anheften können. Eine solche Oberfläche konnte bisher für kein gängiges Wasserleitungsmaterial entwickelt werden, weder für Leitungen aus Edelstahl noch für Kunststoffleitungen wie bspw. PVC oder Polyurethan. Der Einbau von Bioziden in Polymere für die Herstellung von Materialien für Verweilkatheter und Drainageschläuche zu medizinischen Anwendungen ist hingegen bereits etabliert. Allerdings sind hier, anders als bei Wasserleitungen, nur kurzfristige Anforderungen an die Verfügbarkeit von Bioziden erforderlich. Für wasserführende Leitungen in Dentaleinheiten müsste die Verfügbarkeit mindestens mehrere Monate gewährleistet sein, um häufige Leitungswechsel zu vermeiden. Ansonsten wäre der Einsatz solcher Materialien schon aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu realisieren. (Williams et al. 1996)

Um eine Oberfläche von Wasserleitungen dahingehend zu modifizieren, dass eine Biofilmetablierung erst gar nicht möglich ist bzw. verhindert wird, gibt es unterschiedliche Ansätze. Die meisten Strategien basieren auf der Freisetzung von antimikrobiellen Substanzen. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von chemischen Oberflächengruppen, die eine Proteinadsorption hemmen und somit die Bakterienadhäsion stören.

EPSTEIN et al. führten Versuche mit dynamischen Oberflächen, sogenannte SLIPS (slippery liquid-infused porous surface), durch. Zur Herstellung dieser SLIPS wurde Schmierflüssigkeit auf eine poröse Teflonmembran mit einer durchschnittlichen Porengröße von circa 200 nm gegeben. Die bewegliche Oberflächenstruktur kann die permanenten Wechselwirkungen zwischen Bakterien und Leitungsoberfläche hemmen und so die biologische Adhäsion signifikant stören. Damit konnte über einen Zeitraum von sieben Tagen verhindern, dass sich 96-99% aller gängigen bakteriellen Biofilme an die Leitungsoberfläche anlagern. Im Vergleich zum Goldstandard - durch Polyethylenglycol (PEG) modifizierte Oberflächen - konnte er ein 35fach besseres Ergebnis erzielen. Das Fehlen einer Biofilmaftung wurde nicht durch eine Zytotoxizität der SLIPS-Flüssigkeit verursacht, sondern durch die außergewöhnliche Beweglichkeit an der rutschigen Grenzfläche. Drei Kriterien sollten nach EPSTEIN et al. für die SLIPS vorausgesetzt sein. Die chemische Affinität zwischen der Schmierflüssigkeit und dem Feststoff sollte höher sein als die zwischen der Umgebungsflüssigkeit und dem Feststoff. Die Oberfläche des Feststoffes sollte angeraut werden, um somit eine größere Mikroretention für die Schmierflüssigkeit zu erreichen und die Schmierflüssigkeit sollte sich möglichst weitgehend nicht mit der

Umgebungsflüssigkeit vermischen können. Die Autoren erwähnen explizit, dass die Versuche mit einer Fließgeschwindigkeit von circa 1 cm / s durchgeführt wurden und somit die Gegebenheiten, die in Wasserrohren vorherrschen, nicht realitätsgetreu widerspiegeln, da hier die Strömungsgeschwindigkeiten um ein Vielfaches höher sind. Trotzdem bewerten sie ihre Ergebnisse als über den heutigen Stand der Technik hinausgehend und sehen diese als Basis für weitere vielversprechend Anwendungsmöglichkeiten zur Lösung der Biofilmproblematik. (Epstein et al. 2012)

THONEICK untersuchte in seiner Dissertation das Wachstum von Biofilmen in Abhängigkeit von Temperatur und Leitungsmaterial. Dazu simulierte er praxisnahe Bedingungen anhand einer Testapparatur mit Leitungen aus Kupfer, PVC, Gummi und Verbundrohr, eine Leitung aus Kunststoff und Metallfolie. Die entstandene Biofilmmasse wurde mittels kulturellen Nachweises und der Luminometrie beurteilt. Dabei konnte THONEICK beobachten, dass sich auf jedem untersuchten Material ein Biofilm bildete. Allerdings war das Wachstum von Biofilmen auf Kupfer und dem Verbundrohr am geringsten ausgeprägt. Gummi und PVC hingegen förderten ein Biofilmwachstum. (Thoneick 2010)

Ein weiterer Einflussfaktor, der eine Biofilmbildung und somit eine Wasserdekontamination begünstigt, ist das Betriebsalter der zur zahnärztlichen Versorgung verwendeten Behandlungseinheiten.

BARBEN et al. führten stichprobenartig eine Wasseruntersuchung in 40 Zahnarztpraxen in der Region St. Gallen in der Schweiz durch. Insgesamt wurden 76 zahnärztliche Behandlungseinheiten in die Studie miteingeschlossen. Die Wasserentnahme erfolgte jeweils zweimal. Erstens am Montagmorgen vor Behandlungsbeginn und zweitens nach mindestens zweistündigem Gebrauch. Die Dentaleinheiten waren von verschiedenen Herstellern und unterschiedlich lange im Einsatz. 24 davon waren weniger als fünf Jahre alt, 20 seit fünf bis zehn Jahren und 32 länger als zehn Jahre in Gebrauch. Es konnte festgestellt werden, dass die Überschreitung des vorgegebenen Grenzwertes von 300 KBE/ml signifikant häufiger war, desto länger die zahnärztlichen Behandlungseinheiten in Gebrauch waren. Dieses war sowohl für die erste als auch für die zweite Probe der Fall. Darüber hinaus konnten in älteren Einheiten signifikant mehr Legionellen und Pseudomonaden gefunden werden als in jüngeren Einheiten, die unter fünf Jahre verwendet wurden. In einer zusätzlichen multivariaten Analyse, in der die möglichen Einflussfaktoren Alter der Dentaleinheit, Hersteller und Entnahmeort berücksichtigt wurden, zeigte sich, dass das Alter signifikant mit der erhöhten Wasserverkeimung assoziierte war. Als Begründung für den Anstieg der bakteriellen

Wasserverkeimung mit zunehmendem Betriebsalter der zahnärztlichen Behandlungseinheiten wurde die fortwährende Biofilmlagerung genannt. (Barben et al. 2009)

Auch RICHTER beschäftigte sich in seiner Dissertation mit der Wasserkontamination von zahnärztlichen Behandlungseinheiten und untersuchte unter anderem die Gesamtkeimzahl in Abhängigkeit vom Alter der Einheiten. Dazu sammelte er in 13 Zahnarztpraxen in Nordrhein-Westfalen insgesamt 276 Wasserproben. Dabei zeigten sich widersprüchliche Ergebnisse. Einerseits konnte er aufzeigen, dass neue Einheiten (< 2 Jahre: 36,7 %) öfter als ältere Einheiten (2-5 Jahre: 15% und 5-10 Jahre: 5,6 %) geringere Keimzahlen von 10^3 KBE/ml aufwiesen. Andererseits hatten die neuen Einheiten mittelwertig (< 2 Jahre: 109.790 KBE/ml) mit Abstand die höchste Gesamtkeimzahl im Vergleich zu den älteren Einheiten (2-5 Jahre: 17.940 KBE/ml und 5-10 Jahre: 25.622 KBE/ml). Der Autor unterstrich aber, dass die neuen Einheiten zum Teil für Prophylaxemaßnahmen erworben wurden und nur selten zur Anwendung kamen. (Richter 2003)

Resümierend kann festgehalten werden, dass die Problematik der Biofilmbildung in zahnärztlichen Behandlungseinheiten multifaktoriell bedingt ist und als solche auch auf mehreren Ebenen entgegnet werden sollte. Neben Alter der Einheit, verbautes Leitungsmaterial und unterschiedliche Hersteller sind insbesondere lange Stagnationszeiten mit einer Biofilmbildung assoziiert. Deswegen sind neben chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen auch regelmäßige Wartungen durch fachkundiges Personal und gut strukturierte Hygienepläne notwendig. Auch regelmäßige Kontrolluntersuchungen in Form von Wasserproben sollten regelmäßig durchgeführt werden. Darüber lässt sich auch diskutieren, ob man für Dentaleinheiten eine zeitlich begrenzte Anwendung fordern sollte. Dieses würde allerdings erhebliche Kosten verursachen. Deswegen wären regelmäßige Kontrollen auch aus wirtschaftlicher Sicht zu bevorzugen. Ein regelmäßiger Austausch von Leitungen ist in dieser Hinsicht schon praktikabler, wenn Grenzwerte dauerhaft überschritten werden und Desinfektionsmaßnahmen nicht den erwünschten Erfolg mit sich bringen. Auch moderne Ansätze sollten weiterverfolgt werden, insbesondere Untersuchungen mit neuen Materialien für Wasserleitungen mit modifizierten Oberflächen zeigen vielversprechende Ergebnisse.

5.2. Problematik der Wasserdekontamination und Desinfektionsverfahren in zahnärztlichen Behandlungseinheiten

In der vorliegenden Untersuchung wurden wissenschaftliche Arbeiten analysiert, die sich neben der Biofilmprobatik ebenso mit Maßnahmen der Wasserdekontamination befassten. Grundsätzlich wurden die untersuchten Desinfektionsverfahren in chemische und physikalische Maßnahmen unterteilt. In der Literatur zeigte sich eine Fülle von Veröffentlichungen zu diesem Thema, was eine systematische Literaturrecherche erforderlich machte, um ein repräsentatives überschaubares Maß an wissenschaftlichen Artikeln zur Auswertung zu erhalten. Die Verwendung des STARLITE-Prinzips und die weitere Differenzierung anhand des PRISAM-Schemas ermöglichte eine übersichtliche und nachvollziehbare Literaturlauswahl, sodass schlussendlich 105 Arbeiten der Analyse zugeführt werden konnten. Diese Arbeiten wiederum wurden thematisch in vier Hauptgruppen gegliedert, um die Literaturlauswahl und den Vergleich ähnlicher Arbeiten untereinander ermöglichen zu können (vgl. Kapitel 3). Es zeigte sich, dass trotz der sorgfältigen Auswahl ein relativ heterogenes Bild der eingeschlossenen Arbeiten vorlag. Wünschenswert wäre gewesen, gerade in Hinsicht auf den Vergleich von Desinfektionsmaßnahmen untereinander, dass gleiche oder wenigstens ähnliche Versuchsvoraussetzungen jeweils vorgelegen hätten. Dieses war aufgrund vielfältiger Gründe nicht gegeben. Zum einen sind diesbezüglich lokale Gründe anzuführen. Es wurden Studien aus mehreren Ländern miteinbezogen, sodass allein schon die Grundvoraussetzung in der öffentlichen Wasserversorgung nicht einheitlich war. Dieses liegt sowohl an unterschiedlich definierten Grenzwerten für Trinkwasserqualität oder auch an der unterschiedlichen Gesetzgebung in den verschiedenen Ländern. So kann es beispielsweise sein, dass die Chlorung von Trinkwasser in anderen Staaten häufiger durchgeführt wird als in Deutschland oder aber, dass die maximale Chlorkonzentration für Trinkwasser höher ist als der in Deutschland geltende Wert. Der Vergleich von Wasser, das aus den öffentlichen Netzen an die Zahnarztpraxen bzw. an den Endverbraucher abgegeben wird, kann sich allein unter diesem Gesichtspunkt als schwierig erweisen. Neben örtlichen Gegebenheiten führen auch zeitliche Gründe zu einer erschwerten Vergleichsmöglichkeit der analysierten Studien, da der Untersuchungszeitraum von 1980 bis 2018 insgesamt 38 Jahre umfasst. In dieser Zeit änderten sich sowohl Untersuchungsmethoden als auch Studiendesigns, neue Erkenntnisse sind hinzugekommen und immer modernere Verfahren wurden entwickelt.

Einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Wasserqualität von Dentaleinheiten hat das Verhalten der an dem Prozess der zahnärztlichen Versorgung beteiligter Personen. Dazu gehören in erster Linie Zahnärzte und zahnärztliches Fachpersonal. Insbesondere das Wissen um die Problematik der Wasserdekontamination aber auch die Einstellung und Ausbildung des Personals und der praktizierenden Zahnärzte sind wichtige Punkte. Letztere sind als Praxisinhaber für die Wasserqualität und somit für die Sicherheit und Gesundheit der Patienten und Mitarbeiter verantwortlich und müssen umso mehr mit der Materie vertraut sein und sich regelmäßig fortbilden. Entscheidend ist, dass die Praxisbetreiber ein Bewusstsein dafür entwickelt haben, dass über das Wasser grundsätzlich Erreger von einem Patienten auf einen anderen Patienten übertragen werden können und Hygienemaßnahmen wie eine adäquate Wasserdesinfektion und regelmäßige Kontrolluntersuchungen des Betriebswassers unabdingbar sind.

In einer Studie von BURKE et al. wurde die grundsätzliche Einstellung irischer Zahnärzte in Hinsicht auf das Problem der Wasserdekontamination und deren Risikobewertung untersucht und mit der Einstellung weiterer europäischer Zahnärzte verglichen. Dazu wurde ein Fragebogen von Zahnärzten aus Irland, Deutschland, Dänemark, Griechenland, Spanien, Großbritannien und der Niederlande beantwortet. Erfragt wurde unter anderem, wie sie die potenzielle Gefahr von mikrobiell verunreinigtem Betriebswasser einschätzen und ob eine grundsätzliche Bereitschaft zu einer Beratung für eine ordnungsgemäße Wartung ihrer Dentaleinheiten besteht. Es zeigte sich, dass die Mehrheit der Befragten über die Wasserqualität ihrer Behandlungseinheiten besorgt waren und dass sie regelmäßige mikrobiologische Kontrolluntersuchungen des Wassers und Ratschläge zur Desinfektion und Reinigung begrüßen würden. Die Ergebnisse waren in den anderen untersuchten europäischen Ländern weitgehend ähnlich. (Burke et al. 2005)

Positiv auf die Problematik der Wasserverkeimung dürfte sich eine fortwährende Forschung, regelmäßige Hygienefortbildungen von Praxisinhabern und Fachpersonal sowie regelmäßige Optimierungen von Leitlinien oder Empfehlungen von Fachgesellschaften und Experten auswirken.

In einer Untersuchung von HÜBNER et al. sollte die Weiterentwicklung des Hygienestatus zur Infektionsprävention in der Zahnheilkunde seit dem Jahr 2002 analysiert werden. Dies erfolgte anhand eines Fragebogens und eines persönlichen Interviews in 35 Zahnarztpraxen in Greifswald. Ein Teil der Untersuchung befasste sich auch mit der Problematik der Wasserverkeimung. Als Ergebnis zeigte sich, dass in 77

% der Praxen Wasserfilter zur Anwendung kamen und dass in allen Praxen die Wasserleitungen regelmäßig nach jeder Behandlung mindestens zwei Minuten lang gespült wurden. Es konnte aber auch festgestellt werden, dass lediglich in 6 % der Zahnarztpraxen jährliche mikrobiologische Kontrollen stattfanden. Insgesamt zogen die Autoren ein positives Fazit, weil sich die Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe und die Ausstattung der Praxen mit Hygienetechnik von 2002 bis 2009 überwiegend verbesserte. (Hübner et al. 2012)

5.2.1 chemische Desinfektionsverfahren

Der Einsatz von chemischen Desinfektionsmitteln zur Dekontamination von zahnärztlichen Behandlungseinheiten ist weltweit ein probates und routinemäßig eingesetztes Instrument, um Infektionen von Patienten während zahnärztlichen Behandlungen oder Prophylaxemaßnahmen zu vermeiden. Die Notwendigkeit, Patienten vor mikrobieller Verkeimung zu schützen, ist unstrittig und allgemein anerkannt. Eine Fülle von verschiedenen Desinfektionsmitteln ist auf dem Markt erhältlich. Die Wirkung der einzelnen Mittel wurde in einer Vielzahl von Versuchen untersucht. Allein in der zugrunde liegenden Analyse wurden 69 wissenschaftliche Arbeiten miteingeschlossen, die sich ausschließlich oder mindestens zum Teil damit befassen (vgl. Kapitel 4.1). Die Analyse zeigte, dass der Einsatz von chemischen Desinfektionsmitteln in zahnärztlichen Behandlungseinheiten überwiegend wirksam war. Sowohl in Kombination mit physikalischen Maßnahmen als auch bei alleiniger Anwendung (vgl. Kapitel 4.2.1 und Kapitel 4.2.2). Das bedeutet, dass grundsätzlich eine wirksame chemische Desinfektion von Betriebswasser für die Nutzung in der Zahnarztpraxis möglich ist. Die vorliegende Untersuchung schließt aber ebenfalls wissenschaftliche Arbeiten ein, in denen die chemische Desinfektion oder auch in Kombination mit physikalischen Maßnahmen keine ausreichende Wirkung erzielte. Das führt zu dem Schluss, dass Desinfektionsmaßnahmen allein nicht ausreichend für eine zuverlässige Wasserdekontamination sein können. Beim Vergleich der verschiedenen Desinfektionsmittel miteinander konnte keines herausstechen bzw. konnte nicht eruiert werden, ob eines an Wirksamkeit den anderen Desinfektionsmitteln überlegen war. Somit kann auf der Basis der vorliegenden Arbeit keine Empfehlung für den Einsatz eines bestimmten Desinfektionsmittels oder einer speziellen Kombination aus zwei oder mehreren Mitteln gegeben werden. Der Einsatz chemischer Desinfektionsverfahren führt zu Problemen und Risiken, die im Folgenden

diskutiert werden. Dazu gehören Risiken für Patienten wie beispielsweise Allergien, Reizungen der Haut und Schleimhäute und Kanzerogenität bestimmter Mittel, grundsätzliche Fragen zur Haltbarkeit und Wirtschaftlichkeit sowie die Bildung von Resistenzen.

Patienten, die während zahnärztlichen Behandlungen mit chemisch desinfiziertem Betriebswasser in Kontakt kommen, sollen durch diese Maßnahme vor Infektionen geschützt werden. Die protektive Intention kann sich zum Beispiel bei Allergien gegen das Desinfektionsmittel umkehren und zur Gefährdung für den Patienten werden. Die marktüblichen Präparate zeigen diesbezüglich ein hohes Maß an Sicherheit und allergische Reaktionen bis hin zu anaphylaktischen Notfällen scheinen auch in der Literatur äußerst selten beschrieben zu sein. Es stehen hierbei eher Hautreizungen und Verätzungen von Schleimhäuten im Vordergrund, die allerdings dosisabhängig auftreten. Trotzdem ist zu beachten, dass ein allergenes Potential von eingesetzten Desinfektionsmitteln durchaus bekannt ist. Insbesondere Chlorhexidin aber auch Iod-Verbindungen spielen hierbei eine Rolle.

Chlorhexidin wird in erster Linie als Haut und Schleimhautantiseptikum, bspw. vor chirurgischen Eingriffen, eingesetzt und ist seit vielen Jahren im klinischen Einsatz. Darüber hinaus wird es auch zur Wunddesinfektion angewendet. Anaphylaktische Reaktionen auf Chlorhexidin sind sehr selten.

Die FDA veröffentlichte im Jahr 2017 einen Bericht über das Risiko von Chlorhexidin und warnt vor einer Zunahme von Zwischenfällen und Komplikationen. In einer retrospektiven Analyse konnten weltweit insgesamt 43 Fälle identifiziert werden, in denen es zu anaphylaktischen Reaktionen nach topischer Anwendung von CHX kam. Mehr als die Hälfte aller Fälle trat nach 2010 auf. In 26 Fällen kam es zu einem lebensbedrohlichen und in zwei Fällen zu einem letalen Verlauf. (FDA 2017)

NAKONECHNA et al. beschrieben sechs Patientenfälle, in denen anaphylaktische Reaktionen während einer Operation auftraten, die auf den Kontakt mit Chlorhexidin zurückgeführt wurden. Eine genauere Untersuchung ergab, dass alle ein erhöhtes spezifisches IgE gegen diese Substanz aufwiesen und dass fünf der Patienten bereits im Vorhinein eine Reaktion nach Exposition mit Chlorhexidin zeigten. Bei vier der Patienten zeigte der daraufhin durchgeführte Pricktest ein positives Ergebnis. Die Autoren halten es für sehr wahrscheinlich, dass erstens die erfasste Häufigkeit solcher Komplikationen statistisch unterrepräsentiert ist und es zweitens zu einer deutlichen Zunahme dieser Ereignisse kommen wird. Sie empfehlen, dass Patienten, bei denen

während einer Narkose und Operation solche Reaktionen auftreten, routinemäßig einer Allergiediagnostik auf Chlorhexidin zugeführt werden. (Nakonechna et al. 2014) In einer ähnlichen Fallserie aus Dänemark von GARVEY et al. werden vier Patientenfälle beschrieben, bei denen es zu einer anaphylaktischen Reaktion während einer Narkose gekommen ist und diese mit dem unmittelbaren Kontakt zu Chlorhexidin in Verbindung gebracht wird. Bei allen Patienten kam es circa 20-40 Minuten nach Operationsbeginn zu ersten Symptomen. Bei der genaueren Analyse fiel auf, dass alle vier Patienten bereits vorher Reaktionen wie Juckreiz und Hautauschlag nach der Anwendung von Chlorhexidin hatten. Auch ein anschließender Hauttest fiel bei diesen Patienten positiv aus. GARVEY et al. gehen davon aus, dass das Risiko auf eine Sensibilisierung höher ist, wenn Chlorhexidin auf verletzter Haut und Schleimhautoberfläche angewendet wird, wie es insbesondere bei chirurgischen Eingriffen der Fall ist. (Garvey et al. 2001) Sicherlich ist bei routinemäßigen zahnärztlichen Behandlungen die Gefahr einer Exposition von verletzter Haut oder Schleimhaut geringer als bei invasiven Maßnahmen oder operativen Interventionen, sodass eine anaphylaktische Reaktion hierbei seltener auftreten dürfte. Allerdings sollten lokale Symptome wie Juckreiz oder Urtikaria in Zusammenhang mit einer Verwendung von Chlorhexidin registriert, dokumentiert und mit dem Patienten besprochen werden, um das Risiko auf eine künftige potenziell lebensbedrohliche Situation zu verringern und im Falle dessen besser vorbereitet zu sein. Darüber hinaus sollte in Betracht gezogen werden, diagnostisch eine Allergie auszuschließen oder auf die Anwendung von Chlorhexidin bei solchen Patienten ganz zu verzichten.

Größer stellt sich das Risiko bei dentoalveolären Operationen oder chirurgischen Eingriffen aus dem Fachgebiet der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie oder der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde dar, da es hier oftmals zu routinemäßiger prä- und postoperativer Anwendung von Chlorhexidin-Präparaten kommt, sei es als Wundantiseptikum oder als Mundspüllösung zur Keimreduktion in der Mundhöhle. Auch in Form von Gel kommt CHX als lokaltherapeutische Maßnahme in der Mundhöhle zum Einsatz.

KOCH und WOLLINA beschrieben in einem Fallbericht eine allergische Reaktion von einem Patienten, zu der es während eines dentoalveolären Eingriffs kam. Aufgrund eines Abszesses mit dentalem Focus wurde der Patient im August 2012 behandelt. Der Abszess wurde eröffnet und gespült und ein 1%iges CHX-Desinfektionsgel als antiseptische Maßnahme in die Mundhöhle eingebracht. Daraufhin traten bei dem Patienten Juckreiz, Taubheitsgefühl, Artikulationsprobleme und ein generalisiertes

Exanthem auf. Der Zustand des Patienten normalisierte sich nach vier Stunden wieder. Zwei Monate später wurde bei einem urologischen Eingriff ein CHX-haltiges Gleitgel verwendet. Erneut kam es zu der gleichen Symptomatik, diesmal aber mit einem fulminanten Verlauf und zusätzlich zu Kreislaufstörungen, Atemnot und gastrointestinalen Symptomen. (Koch und Wollina 2014)

In wieweit eine Gefahr durch CHX-haltige Wasserdesinfektionsmittel ausgeht, wurde bisher nicht ausreichend untersucht. In der Literatur ist bislang kein Fall beschrieben, bei dem es zu einem lebensbedrohlichen Zwischenfall aufgrund einer anaphylaktischen Reaktion nach Kontakt mit einem solchen Desinfektionsmittel gekommen ist. Möglich erscheint, dass Symptome lokaler Reaktionen, die während zahnärztlicher Behandlungen auftreten, oftmals nicht auf einen Kontakt mit Chlorhexidin zurückgeführt werden und somit übersehen werden. Das kann dadurch begründet sein, dass CHX schon sehr lange im Einsatz ist und von den praktisch Tätigen als sehr sicheres Desinfektionsmittel angesehen wird oder dass bei Auftreten solcher Symptome zunächst andere Faktoren als Auslöser, wie beispielsweise Stress oder physikalische Irritationen, vermutet werden. Wünschenswert wären diesbezüglich Studien, die dieses Problem untersuchen und Behandler für diese Thematik sensibilisieren.

Auch Iod und seine Derivate können unerwünschte Reaktionen verursachen. Hier stehen aber zunächst irritative Effekte im Vordergrund. Bei oraler Aufnahme kann ein bitterer und metallischer Geschmack auftreten. Darüber hinaus können Verätzungen zu einer Gastritis oder Ösophagitis führen und die Inhalation von Dämpfen kann Ödeme von Lunge und Glottis zur Folge haben. Hohe Dosen können aber auch mit einem Kreislaufstillstand einhergehen. Durch IgE-Antikörper vermittelte anaphylaktische Reaktionen wurden insbesondere nach topischer Anwendung auf Haut und Schleimhäuten und bei der Wunddesinfektion beschrieben. (Bircher 2006)

Die beim Einsatz als Wasserdesinfektionsmittel im Betriebswasser von zahnärztlichen Behandlungseinheiten erreichte Konzentration liegt weit unter der Konzentration, die zu Schleimhautreizungen und Verätzungen führen kann. Allergische Reaktionen sind im Zusammenhang mit einer Wasserdekontamination in der Literatur bisher nicht beschrieben worden. Die Thematik bietet aber Potenzial für weiterführende Untersuchungen.

Aufgrund der Tatsache, dass Patienten bei zahnärztlichen Eingriffen mit dem Betriebswasser der Behandlungseinheit in Kontakt kommen, sei es zum Mundspülen oder zur Kühlung bei Arbeiten mit rotierenden Instrumenten, sind sie einer Exposition

mit dem Desinfektionsmittel im Wasser ausgesetzt. Aus diesem Grund kann die Konzentration des Desinfektionsmittels nicht beliebig gesteigert werden, sondern es muss aus Gründen der Toxizität die Höchstdosis eingehalten werden, um Verletzungen der Patienten, insbesondere Reizungen der Haut und Schleimhaut, vorzubeugen.

KRAUT argumentiert in diesem Zusammenhang, dass die Anwendung chemischer Desinfektionsmittel in ihrer Wirkung umstritten sei, da es häufig zu einer unzureichenden Keimreduktion kommt und Nebenwirkungen an Haut und Schleimhäuten nicht auszuschließen sind. Dieses sei insbesondere für die Anwendung von schleimhautreizenden Substanzen wie Aldehyden, Oxidantien und Halogenen der Fall. (Kraut 2006)

Während eine zu hohe Dosierung von Desinfektionsmittel gesundheitliche Folgen für die behandelten Patienten haben kann, führt eine Wasserdeseinfektion mit zu geringen Konzentrationen zu anderen Problemen. Neben einer insuffizienten Desinfektionswirkung auf die Keime im Wasser steht hierbei deren Resistenzentwicklung im Mittelpunkt, die unter Umständen zu einer Verschärfung der Dekontamination von Behandlungseinheiten führen kann und dann quasi eine kontraproduktive Maßnahme darstellt.

Voraussetzung für eine suffiziente chemische Desinfektionsmaßnahme ist der korrekte Einsatz des Mittels. Mikroorganismen können sich an ein Desinfektionsmittel anpassen und eine Resistenz entwickeln, wenn dieses über einen längeren Zeitraum unterdosiert angewendet wird. (Heim 2003)

SCHULTE führte im Rahmen ihrer Dissertation Untersuchungen zur Langzeitanwendungen von Bioziden gegenüber Biofilmen durch und thematisierte die Resistenzbildung der Bakterien im Wasser. In einem Biofilmreaktor wurden 14 Tage alte Reinkulturbiofilme mit H_2O_2 sowie H_2O_2 mit Silberionen behandelt. Danach konnten zunächst keine Kolonien mehr mit mikrobiologischen Untersuchungsmethoden nachgewiesen werden. Trotzdem bildete sich, nach erneuter Zufuhr eines sterilen Nährmediums, ein Biofilm. Die stationäre Wachstumsphase war sogar auf einem höheren Niveau als vor der ersten Biozidbehandlung. Die Autorin begründet das Ergebnis mit der hohen Resistenz von Biofilmbakterien und dadurch, dass viele abgetötete Bakterien im Biofilmreaktor verblieben und als Substrat für die überlebenden resistenten Bakterien dienten. Das führte dazu, dass der Biofilm auf ein höheres Niveau als zuvor anwachsen konnte. Ferner schlussfolgerte SCHULTE, dass entweder eine Selektion von H_2O_2 -resistenten Bakterien stattgefunden habe oder dass

eine Adaptation der Bakterien an die H₂O₂-reiche Umgebung erfolgt sei. Insbesondere die Katalaseaktivität, ein wichtiger Resistenzfaktor gegenüber H₂O₂, steht hier im Mittelpunkt. Sie vermutet, dass Bakterien mit geringer Katalaseaktivität inaktiviert wurden und sich Bakterien mit einer hohen Katalaseaktivität selektiv vermehrten. (Schulte 2003)

Um einer Resistenzentwicklung entgegenzuwirken ist es deswegen notwendig die Desinfektionsmittel in der Form und Dosierung anzuwenden, wie es vom Hersteller empfohlen wird. Das garantiert eine optimale Wirkung für das entsprechende Mittel und trägt damit zur Patientensicherheit bei. Auch die Haltbarkeit und Lagerungsbedingungen der unterschiedlichen Produkte sollte beachtet werden, damit das Wirkungspotential nicht durch falsches oder zu langes Lagern verloren geht. Auch in dieser Hinsicht sollte den Empfehlungen der Hersteller Folge geleistet werden.

ROSSI-FEDELE et al. führten eine Studie zu der Haltbarkeit von Sterilox[®] durch. Dabei handelt es sich um ein superoxidiertes Wasser mit dem Hauptbestandteil Hypochlorsäure, das mittels elektrochemischer Aktivierung hergestellt wird. Diese Haltbarkeitsstudie verfolgte das Ziel, die Lagerbedingungen auf die Stabilität von Sterilox[®] zu verstehen. Insbesondere sollte die Exposition mit dem Sonnenlicht und der Luftkontakt mit dem Desinfektionsmittel untersucht werden. Dazu testeten sie frisch zubereitete elektrochemische Lösungen auf die Chlorkonzentration und füllten diese in transparente Kunststoffflaschen ab. Danach bildeten sie zwei Gruppen. Die Flaschen aus der ersten Gruppe waren in einem lichtundurchlässigen Schrank vollständig vor dem Sonnenlicht geschützt. Die Flaschen aus der zweiten Gruppe waren dem Sonnenlicht direkt ausgesetzt. Zusätzlich unterschieden sich Lösungen innerhalb der Gruppen in der Füllmenge, sodass sie jeweils einem unterschiedlichen Luftvolumen ausgesetzt waren. Die Chlorkonzentration in den Lösungen wurde solange gemessen, bis sie bei Null angekommen war oder die 13. Woche erreicht wurde. Anhand eines multiplen linearen Regressionsmodells konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nachgewiesen werden. Im Gegensatz zur Sonnenlichtexposition hatte der Kontakt zur Luft keinen Einfluss auf die Haltbarkeit von Sterilox[®]. Der mittlere Chlorverlust pro Tag war bei den lichtexponierten Lösungen mehr als doppelt so hoch. (Rossi-Fedele et al. 2011)

Diese Untersuchung zeigt, dass Lagerungsbedingungen Einfluss auf die Haltbarkeit und schlussendlich auf die Wirksamkeit von chemischen Desinfektionsmitteln haben können. Deswegen muss im klinischen Alltag auf eine fachgerechte und zuverlässige Lagerung geachtet werden.

Abschließend geht es in diesem Kapitel um die Kanzerogenität von chemischen Desinfektionsmitteln. Dabei wird insbesondere auf die Trihalogenmethane eingegangen, ein karzinogenes Nebenprodukt der Wasseraufbereitung und der Desinfektion von Wasser, das typischerweise während der Chlorung von Wasser mit Chlor oder Hypochlorit entsteht. Dabei kommt es durch die Chlorverbindungen zur Reaktion mit organischen Substanzen, bspw. aus einem Biofilm in einer Wasserleitung, und schließlich zur Bildung von Trihalogenmethanen.

Im Wesentlichen kommt es zur Ausbildung von vier Substanzen, dem Chloroform, dem Bromdichlormethan, dem Dibromchlormethan und dem Bromoform. Hinsichtlich ihrer Toxizität unterscheiden sie sich deutlich. Der Grenzwert im Trinkwasser für die Summe dieser vier Substanzen ist in Deutschland 0,05 mg/L. Bei diesen geringen Konzentrationen sind für die Gesundheit der Bevölkerung in erster Linie die karzinogenen Eigenschaften bedeutsam. (TrinkwV 2001)

Wichtig ist, dass durch Desinfektionsmaßnahmen mit Chlorverbindungen in den zahnärztlichen Praxen nicht unnötig hohe Konzentrationen von Trihalogenmethanen erreicht werden, um das Risiko für den Patienten möglichst gering zu halten. Entscheidend und unausweichlich sind auch hier regelmäßige und zuverlässige Überprüfungen, sodass die Grenzwerte bei der Verwendung von chlorhaltigen Desinfektionsmitteln kontinuierlich eingehalten werden und für den Fall einer anhaltenden Überschreitung, rechtzeitig auf ein anderes Desinfektionsmittel ausgewichen werden kann.

Auch MILLS sieht in der Verwendung von chloriertem Behandlungswasser in Gegenwart von Biofilmen oder Biofilmresten und die dadurch resultierenden potenziell krebserregenden Trihalogenmethane ein erhöhtes Risiko für den Patienten und die Behandler. Er empfiehlt die Anwendung von intermittierenden Protokollen, um das Expositionsrisiko für Personal und Patienten zu minimieren. (Mills 2000)

Dass eine wirksame Anwendung von chlorhaltigen Desinfektionsmitteln wie Natriumhypochlorit zur Wasserdekontamination möglich ist, ohne dass die Grenzwerte für Trihalogenmethane überschritten werden, wurde in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen. Beispielsweise untersuchten KARPAY et al. die Wirksamkeit einer kombinierten intermittierenden und kontinuierlichen Wasserdesinfektion mit Natriumhypochlorit zur Verbesserung der Wasserqualität von Dentaleinheiten in einer klinischen Umgebung. Dabei wurde sowohl die bakterielle Kontamination des abfließenden Wassers als auch die Konzentration von Trihalogenmethanen analysiert. Es zeigte sich, dass die mikrobielle Belastung dauerhaft unter den Maßgaben der ADA

lag und dass zwar Trihalogenmethane nachgewiesen wurden, deren Konzentration aber die Grenzwerte der United States Environmental Protection Agency (USEPA) nicht überschritten. Der Einsatz dieses chlorhaltigen Desinfektionsmittels stellte sich somit als unproblematisch dar. (Karpay et al. 1999)

5.2.2 physikalische Desinfektionsverfahren

Physikalische Desinfektionsmaßnahmen werden routinemäßig zur Dekontamination von Betriebswasser von Dentaleinheiten angewendet. Die zugrundeliegende Analyse zeigt, dass die eingesetzten Maßnahmen überwiegend wirksam sind und zu einer Verminderung der mikrobiellen Wasserbelastung führen können, sei es in isolierter Anwendung oder in Kombination mit chemischen Desinfektionsmaßnahmen (vgl. Kapitel 4.2.1 und Kapitel 4.2.3). Analog zu den Maßnahmen der chemischen Dekontaminationsverfahren führt die physikalische Desinfektion ebenfalls allein nicht immer verlässlich zu den erwünschten Ergebnissen, sondern sollte auch innerhalb eines multimodalen Konzeptes zum Einsatz kommen. Dieses sollte neben der Kombination mit chemischen Maßnahmen regelmäßige Kontrollen des Wassers und einen entsprechenden effektiven Hygieneplan beinhalten. Typischerweise kommen neben dem Durchspülen der Leitungen, verschiedenen Filtersystemen und auf Strahlen basierende Maßnahmen auch elektrochemische Verfahren zur Anwendung, die hierbei eine Sonderstellung einnehmen, weil sie in der Regel ein Reagenz erzeugen, das chemisch auf die Mikroben einwirkt. Auch die Anwendung von Hitze ist grundsätzlich eine weitere Möglichkeit der physikalischen Wasserdekontamination. Darüber hinaus können auch technische oder bauliche Voraussetzungen, wie bspw. die Ausstattung der zahnärztlichen Einheiten mit Rückschlagventilen, im weitesten Sinne zu den physikalischen Maßnahmen gezählt werden.

Im Folgenden sollen spezifische Problematiken zu den physikalischen Maßnahmen benannt und diskutiert werden. Ferner werden Techniken angesprochen, die grundsätzlich für eine Wasserdekontamination angewendet werden können, aber meist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten in der zahnmedizinischen Praxis nicht zur Anwendung kommen.

Der Einsatz von Filtersystemen bietet eine physikalische Barriere innerhalb des Schlauchsystems einer Dentaleinheit, welches das Wasser passieren muss und es dort durch die Filterwirkung zu einer Verminderung der mikrobiellen Belastung des Wassers kommt. Entscheidend ist, dass die Filter regelmäßig gewechselt werden, weil

es zwangsläufig zu einer mikrobiologischen Besiedelung der Filtersysteme kommt. Wird diese Tatsache nicht beachtet, kann es sogar so weit kommen, dass das Wasser nach der Filterstation mikrobiell höher belastet ist als stromaufwärts. Die ursprüngliche Intention zur Wasserdekontamination wirkt sich dann kontraproduktiv aus. Darüber hinaus ist die Wirkung ausschließlich auf diejenigen Abschnitte des Schlauchsystems beschränkt, die vor dem Filter liegen. Daraus ergibt sich, dass Filtersysteme als alleinige Dekontaminationsmaßnahmen in der Regel nicht geeignet sind, sondern ihre Anwendung in einem kombinierten Lösungsansatz haben sollten.

NEUMANN fordert neben einer kombinierten Anwendung, dass die Filter möglichst weit hinten im Schlauchsystem eingebracht werden, um eine kurze Kontaminationsstrecke zu erreichen. Er hält eine zusätzliche regelmäßige Dekontamination der Wasserleitungen, insbesondere der distalen Abschnitte für erforderlich. Darüber hinaus fiel ihm während seiner Untersuchung auf, dass es um ein Vielfaches schneller zu einer mikrobiellen Besiedelung der eingesetzten Mikrofilter kam und dadurch die vom Hersteller angegebene Nutzungsdauer massiv reduziert wurde. (Neumann 2011) Daraus lässt sich schließen, dass es trotzdem zu einer Zunahme der Wasserkontamination kommen kann, auch wenn die Herstellerangaben eingehalten werden und deswegen eine gewisse Sicherheit angenommen wird. Dieses zeigt umso mehr, warum ein multimodales Konzept der Wasserdesinfektion mit einer regelmäßigen mikrobiologischen Überprüfung der Wasserqualität erforderlich und sinnvoll ist.

Ein weiterer Aspekt im Zusammenhang mit der Anwendung von Filtersystemen ist die unerwünschte Tatsache, dass auch Desinfektionsmittel aus dem Wasser gefiltert werden und zusätzlich eingesetzte chemische Desinfektionsmaßnahmen dadurch an Wirkung verlieren können.

NICKEL berichtet, dass Kohlefilter, die zur Verminderung von Legionellen in zahnärztlichen Behandlungseinheiten zum Einsatz kommen, auch Chlor aus dem Wasser filtern. (Nickel 1995)

Das Ausmaß dieses unerwünschten Nebeneffektes dürfte aber nicht besonders groß sein. Inwieweit Desinfektionsmittel durch den zusätzlichen Einsatz von Filtern in ihrer Wirkung reduziert werden, bietet aber einen Ansatz für weitere Untersuchungen zu dieser Thematik.

Für den klinischen Alltag ist die Verwendung von Filtern zwar einfach zu realisieren, der häufige Wechsel der Mikrofilter, der aufgrund der schnellen mikrobiellen

Besiedelung unausweichlich ist, verursacht aber einen erhöhten Arbeitsaufwand und zusätzliche Kosten.

SENNHENN-KIRCHNER et al. sehen eine Möglichkeit zur deutlichen Reduzierung der Kosten, die jährlich durch den regelmäßigen Austausch der Filter in den Dentaleinheiten entstehen. Sie halten die zusätzliche Installation von Filtern im Bereich des Zuflusses der Behandlungseinheiten für sinnvoll, um Verunreinigungen aus dem öffentlichen Wasserversorgungsnetz zu verringern. Dadurch könnte vermieden werden, dass die Filter in den wasserführenden Leitungen der Dentaleinheit vorzeitig verschlammen, wodurch eine längere Anwendungsdauer dieser Filter erreicht werden kann. (Sennhenn-Kirchner et al. 2006)

Zukünftig können weitere Techniken und Möglichkeiten für eine Wasserdekontamination in der zahnärztlichen Praxis realisiert werden. Im Moment können diese noch nicht zur Anwendung kommen, da sie entweder zu teuer sind oder zu viel Platz einnehmen würden. Als Vorbild könnten auch technische Lösungen dienen, die bereits in der Trinkwasseraufbereitung zur Anwendung kommen. Es wäre der Einbau eines Durchlaufzirkulationssystems in der zahnärztlichen Behandlungseinheit denkbar, sodass das Wasser in den Wasserleitungen ständig in Bewegung gehalten werden kann. Dies würde längere Stagnationszeiten verhindern und somit einer Biofilmbildung entgegenwirken können. MUSCHINSKY berichtet von der Installation eines Durchlaufzirkulationssystems in den Trinkwasserleitungen der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätsmedizin Göttingen und schlägt eine Erweiterung um eine dezentrale Trinkwassererwärmung vor. Dadurch könnte die Biofilmbildung und die Vermehrung von Mikroorganismen, anders als bei einer zentralen Erwärmung des Wassers mit einem lagen und verzweigten Leitungssystem, deutlich reduziert werden. (Muschinsky 2014)

Inwieweit dieses Konzept für die einzelne Dentaleinheit umsetzbar ist oder für eine Zahnarztpraxis realisierbar, bleibt offen. Zunächst müsste geklärt werden, ob es sowohl aus ökonomischer Sicht als auch unter bautechnischen Aspekten überhaupt umsetzbar ist. Gleiches dürfte auch für eine Betriebswassererhitzung direkt in der zahnärztlichen Behandlungseinheit gelten. Neben dem erhöhten Aufwand für Heizkosten müssten auch andere Materialien in den Behandlungseinheiten verbaut werden, die den erhöhten thermischen Anforderungen standhalten können. Auch das würde zu höheren Kosten führen. Trotzdem besteht in der Betriebswassererhitzung grundsätzlich eine weitere Möglichkeit der Wasserkontamination entgegenzuwirken. In der S2k-Empfehlung zur hygienischen Anforderung an das Wasser in

zahnärztlichen Behandlungseinheiten der AWMF heißt es dazu, dass eine zweimal tägliche periodische Anwendung von Rundspülungen mit mindestens 70° C heißem Wasser innerhalb der Behandlungseinheit erfolgen müsse. Ferner seien weitere Untersuchungen zur Beständigkeit der Leitungsmaterialien und zur Dauer der Hitzeeinwirkung erforderlich. (AWMF 2014)

Insgesamt werden mit den gängigen Desinfektionsmaßnahmen gute Ergebnisse erzielt. Es gibt aber Indikationen, bei denen die Anforderungen an die mikrobiologische Wasserqualität besonders hoch sein müssen und deswegen auf keimfreie Lösungen zurückgegriffen werden muss. Insbesondere hinsichtlich einer Infektion mit Problemkeimen bei immunsupprimierten Patienten ist dieses wichtig. So sollten bei diesen Patienten, aber auch bei Patienten mit Mukoviszidose keimfreie Medien zur Wasserkühlung bei zahnärztlichen Eingriffen zur Anwendung kommen und keimfreie Einmalschläuche eingesetzt werden. Dieses gilt auch, unabhängig von den Patienten, für oralchirurgische Eingriffe mit primärem Wundverschluss wie es bspw. bei Implantationen, Sinuslift-Operationen und Transplantationen von Knochen- oder Bindegewebe der Fall ist. (Göttlich-Fligg 2016)

6. Zusammenfassung

Die mikrobielle Kontamination von wasserführenden Leitungen in zahnärztlichen Behandlungseinheiten und die daraus resultierende Infektionsgefahr für Patienten und Behandler ist nach wie vor ein großes Problem in der medizinischen Hygiene. Ursächlich für die Wasserverkeimung ist in der Regel die Ausbildung von Biofilmen in den Wasserleitungen oder die retrograde Verschleppung von Patientenkeimen in die Dentaleinheit. Es sind eine Reihe von chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen beschrieben, die zur Lösung dieses Problems im klinischen Alltag zum Einsatz kommen.

Ziel dieser Arbeit war es, mittels einer systematischen Literatursuche zu untersuchen, ob eine Optimierung der aktuellen Situation möglich ist und ob dadurch das Problem der mikrobiellen Wasserbelastung in Dentaleinheiten effizient und dauerhaft gelöst werden kann. Dazu wurde für die Durchführung und Dokumentation der Recherche nach dem STARLITE-Konzept vorgegangen. Die Literatursuche geschah über PubMed, Google Scholar, die deutsche Nationalbibliothek und über das Rechercheportal der Universitätsbibliothek der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und erbrachte 314 Ergebnisse. Diese wurden analog zum PRISMA-Schema weiter selektiert und präziser eingegrenzt, sodass schlussendlich 105 Untersuchungen in die Auswertung miteinbezogen wurden. Es folgte die inhaltliche Einordnung in vier Gruppen, wobei eine Mehrfachzuordnung möglich war. Wissenschaftliche Arbeiten, die sich thematisch mit chemischen bzw. physikalischen Wasserdekontaminationsmaßnahmen auseinandersetzten, wurden in Gruppe eins (n=69) bzw. zwei (n=39) eingeordnet, Arbeiten, die sich mit der Biofilmprobatik beschäftigten in Gruppe drei (n=25) und Übersichtsartikel in Gruppe vier (n=14).

Danach wurde mittels einer Volltextanalyse untersucht, ob die Desinfektionsverfahren hinsichtlich einer Wasserdekontamination wirksam, teilweise wirksam oder nicht wirksam waren oder eine Auswirkung auf den Biofilm hatten. Abschließend wurde die Gruppe der Übersichtsartikel analysiert und verglichen.

Die Analyse ergab, dass die eingesetzten Desinfektionsmaßnahmen hinsichtlich der Wasserdekontamination überwiegend wirksam bzw. wenigstens teilweise wirksam waren. Insgesamt wurde in 51 Publikationen die Wirksamkeit nachgewiesen, in 13 Arbeiten waren die Maßnahmen teilweise wirksam und in 19 Arbeiten nicht wirksam. Die Analyse hinsichtlich einer Wirksamkeit der Desinfektionsmaßnahmen auf den Biofilm

fiel in 21 von 22 Artikeln positiv aus. Lediglich in einer Arbeit konnte keine Wirksamkeit aufgezeigt werden.

Am häufigsten wurden Versuche mit Desinfektionsmitteln auf der Basis von H_2O_2 (n=40) und auf Chlorbasis (n=32) durchgeführt. Die häufigsten physikalischen Maßnahmen waren das Durchspülen der Leitungen (n=19) und die anodische Oxidation (n=12).

Es konnte anhand der Literaturlauswertung kein Desinfektionsverfahren ermittelt werden, dass isoliert eine verlässliche und reproduzierbare Dekontamination des Betriebswassers von zahnärztlichen Behandlungseinheiten dauerhaft gewährleisten kann. Darüber hinaus konnte anhand der vorliegenden Untersuchung keine Maßnahme ermittelt werden, die anderen Verfahren überlegen ist. Die Analyse der Übersichtsartikel zeigte zwar, dass die chemische Wasserdeshnfektion weitaus umfangreicher thematisiert wurde als die physikalischen Methoden, aber als Ergebnis konnte keine Aussage daraus abgeleitet werden, die eine Überlegenheit bestimmter Desinfektionsmaßnahmen in Hinsicht auf die Wirksamkeit aufzeigte.

Daraus erschließt sich, dass ein multimodaler Ansatz verfolgt werden sollte, der den Einsatz von chemischen und physikalischen Desinfektionsmaßnahmen, regelmäßigen mikrobiologischen Kontrollen der Wasserqualität, routinemäßige Umsetzung von Hygieneplänen und optimierte Betriebsabläufe beinhaltet. Des Weiteren muss auf eine adäquate und kontinuierliche Personalschulung sowie auf eine regelmäßige Wartung und Modernisierung der zahnärztlichen Behandlungseinheiten und Desinfektionsanlagen geachtet werden.

7. Literaturverzeichnis

- Abdallah, S. A. and A. I. Khalil (2011). "Impact of cleaning regimes on dental water unit contamination." J Water Health **9**(4): S. 647-652.
- Adam, D., et al. (2013). Die Infektiologie. Berlin, Springer-Verlag.
- Adjemian, J., et al. (2012). "Prevalence of nontuberculous mycobacterial lung disease in U.S. Medicare beneficiaries." Am J Respir Crit Care Med **185**: S. 881-886.
- al Shorman, H., et al. (2002). "Management of dental unit water lines." Dent Update **29**(6): S. 292-298.
- Althaus, F. R. (2007). Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin: 131 Tabellen. Stuttgart Enke Verlag.
- Amin-Sharifi, D. A., et al. (2000). "Reduktion der Keimbelastung in HNO-Behandlungseinheiten durch Membranfilter?" HNO **48**(1): S. 54-58.
- Artini, M., et al. (2008). "Specific Anti Cross-Infection Measures may Help to Prevent Viral Contamination of Dental Unit Waterlines: a Pilot Study." Infection **36**: S. 467-471.
- Atlas, R. M., et al. (1995). "Legionella contamination of dental-unit waters." Appl Environ Microbiol **61**(4): S. 1208-1213.
- AWMF (2014). Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften. S2k-Empfehlung: Hygienische Anforderungen an das Wasser in zahnärztlichen Behandlungseinheiten.
- Bagga, B. S. R., et al. (1984). "Contamination of dental unit cooling water with oral microorganisms and its prevention." The Journal of the American Dental Association **109**(5): S. 712-716.
- Barbeau, J. (2000). "Waterborne biofilms and dentistry: The changing face of infection control." J Can Dent Assoc **66**: S. 539-541.
- Barbeau, J. and C. Nadeau (1997). "Dental unit waterline microbiology: a cautionary tale." J Can Dent Assoc **63**(10): S. 775-779.
- Barben, J., et al. (2009). "Wasserqualität in zahnärztlichen Behandlungseinheiten." Schweiz Monatsschr Zahnmed **119**(10/2009): S. 976-985.

Barbot, V., et al. (2014). "Efficacy of dental unit disinfectants against *Candida* spp. and *Hartmannella vermiformis*." Pathog Dis **70**(3): S. 289-296.

Becker, H. (1988). Untersuchung zur Problematik der Keimbesiedelung wasserführender Aggregate in der zahnärztlichen Behandlungseinheit: Ein neues Verfahren. Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen: S. 191.

Becker, J. and R. Becker (2010). "Hygiene in der Zahnmedizin." Der Freie Zahnarzt **54**(12): S. 51-60.

Becker, P. D. B. and J. Pfannebecker (2016). Lebensmittelassoziierte Viren. Hamburg, Behr's Verlag.

Bergen, P. (2014). Basiswissen Krankenhaushygiene: Hygienegrundlagen für Gesundheitsberufe. Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Company KG.

Berger, S. (2015). Praxistest eines endständigen Membranfilters für zahnärztliche Behandlungseinheiten unter verschiedenen geräteseitigen Ausgangsbedingungen. Institut für Hygiene der Medizinischen Fakultät. Halle, Martin-Luther-Universität S. 75.

Berlutti, F., et al. (2003). "Efficacy of anti-retraction devices in preventing bacterial contamination of dental unit water lines." J Dent **31**(2): S. 105-110.

Bierhenke, R., et al. (2001). "Verhinderung der Keimbesiedelung des Kühlwassersystems in zahnärztlichen Behandlungseinheiten." Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift **2**: S. 118-121.

Biffar, R., et al. (2011). Zahnärztliche Prothetik, Thieme.

Bircher, A. J. (2006). "Überempfindlichkeit auf Jod: Rien ne va plus?" Akt Dermatol **32**(01/02): S. 44-49.

Blume, M. (1998). Keimbelastung zahnärztlicher Behandlungseinheiten verschiedener Bauart in einer klinischen Einrichtung. Leipzig, Universität Leipzig: S. 86.

BMG (2002). "Bundesministerium für Gesundheit " Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz **45**: S. 827-845.

Bodenschatz, W. (2012). Kompaktwissen Desinfektion: Das Handbuch für Ausbildung und Praxis. Hamburg, Behr's Verlag.

Bogensberger, S., et al. (1999). Roche Lexikon Medizin. München, Urban & Fischer.

- Böhme, U.-B. (2004). Untersuchungen zur Wirksamkeit der UV-Desinfektion im mikrobiell besiedelten wasserführenden System von HNO-Behandlungseinheiten. Medizinische Fakultät. Leipzig, Universität Leipzig: S. 65.
- Booth, A. (2006). "Brimful of STARLITE": toward standards for reporting literature searches." Journal of the Medical Library Association **94**(4): S. 421-e205.
- Bowen, C. G., et al. (2015). "Effectiveness of a Dental Unit Waterline Treatment Protocol With A-Dec ICX and Citrisil Disinfectants." Mil Med **180**(10): S. 1098-1104.
- Boyle, M. A., et al. (2015). "Overcoming the problem of residual microbial contamination in dental suction units left by conventional disinfection using novel single component suction handpieces in combination with automated flood disinfection." J Dent **43**(10): S. 1268-1279.
- Brands, K. (2010). Untersuchungen zur Verminderung der mikrobiellen Besiedlung von wasserführenden Systemen dentaler Behandlungseinheiten durch Desinfektion mit Chlor. Institut für Hygiene Münster, Westfälische Wilhelms-Universität Münster S. 66.
- Brandt, J. (1994). Untersuchung zur Erstbesiedlung des Kühlwassers zahnärztlicher Behandlungseinheiten sowie Entkeimung durch Einsatz von Wasserstoffperoxid Klinik f. Zahnerhaltung und Parodontologie. Kiel, Christian-Albrechts-Universität: S. 57.
- Bremer, P. (2006). "Disinfection of dental unit water lines." N Z Dent J **102**: S. 18-19.
- Brod, H. R. and W. Stille (2012). Antibiotika-Therapie: Klinik und Praxis der antiinfektiösen Behandlung, Schattauer.
- Burke, F. M., et al. (2005). "Attitudes of Irish and European dentists to water quality of dental unit water systems." Journal of the Irish Dental Association **51**(3): S. 119-125.
- Bürschgens, A. (2015). Legionellen in Trinkwasser-Installationen: Gefährdungsanalyse und Sanierung. Berlin, Beuth Verlag GmbH.
- Busscher, H. J., et al. (1995). "Initial microbial adhesion is a determinant for the strength of biofilm adhesion." FEMS Microbiol Lett **128**(3): S. 229-234.
- Chate, R. A. (2006). "An audit improves the quality of water within the dental unit water lines of three separate facilities of a United Kingdom NHS Trust." Br Dent J **201**(9): S. 565-569.

Costa, D., et al. (2016a). "Efficacy of dental unit waterlines disinfectants on a polymicrobial biofilm." Water Res **91**: S. 38-44.

Costa, D., et al. (2016b). "Occurrence and diversity of both bacterial and fungal communities in dental unit waterlines subjected to disinfectants." Pathog Dis **74**(7).

Dallolio, L., et al. (2014). "Effect of different disinfection protocols on microbial and biofilm contamination of dental unit waterlines in community dental practices." Int J Environ Res Public Health **11**(2): S.2064-2076.

Demond, K. (2011). Untersuchung der Effektivität des Acti-Des-blue-Verfahrens zur Sanierung des kontaminierten Wasserreservoirs von Zahnarztstühlen. Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Universitätsmedizin. Greifswald, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald: S. 89.

DGKH (2016). Gesundheitliche Bedeutung, Prävention und Kontrolle Wasserassoziiertes Pseudomonas aeruginosa- Infektionen. Wiesbaden, mhp-Verlag GmbH.

DIN, e. V. (2011). DIN EN 1717:2011-08: Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasserinstallationen und allgemeine Anforderungen an Sicherungseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen. Berlin, Beuth-Verlag.

DIN, e. V. (2015). DIN EN ISO 7494-2:2015-08: Zahnheilkunde - Zahnärztliche Behandlungsgeräte - Teil 2: Luft-, Wasser-, Absaugungs- und Abwassersysteme (ISO 7494-2:2015). Berlin, Beuth-Verlag.

DIN, e. V. (2018). DIN EN ISO 7494-1:2018-10. Zahnheilkunde – Zahnärztliche Behandlungseinheiten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren. Berlin, Beuth-Verlag.

Douglas, C. W. and P. S. Rothwell (1991). "Evaluation of a dental unit with a built-in decontamination system." Quintessence Int **22**(9): S. 721-726.

Eisenbrand, G., et al. (2014). RÖMPP Lexikon Lebensmittelchemie, 2. Auflage, 2006. Stuttgart, Thieme Verlag.

Epstein, A. K., et al. (2012). "Liquid-infused structured surfaces with exceptional anti-biofouling performance." Proceedings of the National Academy of Sciences **109**(33): S. 13182-13187.

- Epstein, J. B., et al. (2002). "The effect of a disinfectant/coolant irrigant on microbes isolated from dental unit water lines." Spec Care Dentist **22**(4): S. 137-141.
- Ewig, S. (2015). Ambulant erworbene Pneumonie, Springer Berlin Heidelberg.
- Exner, M., et al. (1981). "Zahnärztliche Einheiten als Kontaminationsquellen für Pseudomonas aeruginosa." Dtsch Zahnärztl(36): S. 819-824.
- Exner, M., et al. (1982). "Rasterelektronenoptische Darstellung der Wandbesiedlung wasserführender Kunststoffschläuche." Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg B **176**(5-6): S. 425-434.
- Falkinham, J. O. (2002). "Nontuberculous mycobacteria in the environment." Clinics in Chest Medicine **23**(3): S. 529-551.
- FDA, F. a. D. A. (2017). "FDA warns about rare but serious allergic reactions with the skin antiseptic chlorhexidine gluconate." Drug Safety Communication: S. 4.
- Fiehn, N. E. and T. Larsen (2002). "The effect of drying dental unit waterline biofilms on the bacterial load of dental unit water." Int Dent J **52**(4): S. 251-254.
- Filippi, A. (1997). "Ozone is the most effective disinfectant for dental treatment units: Results after 8 years of comparison." Ozone: Science & Engineering **19**: S. 527-532.
- Filippi, A. (2001). "Research Note: Water Contamination In Conventional and in Ozone Disinfected Dental Treatment Units after A Prolonged Period of Time Between Treatment." Ozone: Science & Engineering **23**(3): S. 255-258.
- Filippi, A. (2002). "Water Disinfection of Dental Units using Ozone – Microbiological Results after 11 Years and Technical Problems." Ozone: Science & Engineering **24**(6): S. 479-483.
- Flemming, H.-C. and J. Wingender (2010). "The biofilm matrix." Nat Rev Micro **8**(9): S. 623-633.
- Fletcher, M. and G. I. Loeb (1979). "Influence of substratum characteristics on the attachment of a marine pseudomonad to solid surfaces." Appl Environ Microbiol **37**(1): S. 67-72.
- Forke, A. (2012). Sind atypische Mykobakterien im Trinkwasser eine Gefahr für neutropene Patienten? Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene. Ulm, Universtitätsklinikum Ulm: S. 78.

- Franck, H. G. and J. W. Stadelhofer (2013). Industrielle Aromatenchemie: Rohstoffe · Verfahren · Produkte. Berlin, Springer Verlag.
- Frey, H. H. and F. R. Althaus (2007). Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin: 131 Tabellen, Enke.
- Fuchs, G., et al. (2007). Allgemeine Mikrobiologie. Stuttgart, Thieme.
- Fujita, M., et al. (2015). "Monitoring the decontamination efficacy of the novel Poseidon-S disinfectant system in dental unit water lines." J Microbiol Immunol Infect **50**(3): S. 270-276.
- Garbe, C., et al. (2005). Interdisziplinäre Leitlinien zur Diagnostik und Behandlung von Hauttumoren. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Garvey, L. H., et al. (2001). "Anaphylactic reactions in anaesthetised patients – four cases of chlorhexidine allergy." Acta Anaesthesiologica Scandinavica **45**(10): S. 1290-1294.
- Gawande, P. V., et al. (2008). "Antibiofilm activity of sodium bicarbonate, sodium metaperiodate and SDS combination against dental unit waterline-associated bacteria and yeast." J Appl Microbiol **105**(4): S. 986-992.
- Gerok, W., et al. (2007). Die Innere Medizin: Referenzwerk für den Facharzt. Stuttgart, Schattauer Verlag.
- Gitipour, A., et al. (2017). "Nanosilver as a disinfectant in dental unit waterlines: Assessment of the physicochemical transformations of the AgNPs." Chemosphere **173**: S. 245-252.
- Göksay, D., et al. (2008). "Microbial contamination of dental unit waterlines in Istanbul, Turkey." Environmental Monitoring and Assessment **147**(1): S. 265-269.
- Gößwald, A. (2004). Klinik, Diagnostik, Therapie und Verlauf pulmonaler Infektionen durch nichttuberkulöse Mykobakterien bei HIV-negativen Patienten in Berlin 1986 - 1998. Charité - University Medicine Berlin. Berlin, FU Berlin: S. 114.
- Göttlich-Fligg, E. (2016). "Hygiene in der Zahnarztpraxis – Infektionsquelle Behandlungseinheit?" Zahnmedizin up2date **10**(06): S. 515-533.
- Groß, U. (2009). Kurzlehrbuch Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

Grünewald, F. D. (2016). Wirksamkeit verschiedener Desinfektionsmittel in den wasserführenden Leitungen von zahnärztlichen Behandlungseinheiten. Medizinischen Fakultät. Berlin, Charité - Universitätsmedizin Berlin.

Handel, G. (1994). Zur Problematik der Kontamination zahnärztlicher Behandlungseinheiten mit *Pseudomonas aeruginosa* insbesondere für Mukoviszidose-Patienten. Abteilung für Allgemeine Hygiene und Umwelthygiene. Tübingen, Eberhard-Karls-Universität Tübingen: S. 52.

Hassan, A., et al. (2012). "Acanthamoeba contamination of hemodialysis and dental units in Alexandria, Egypt: a neglected potential source of infection." J Infect Public Health **5**(4): S. 304-310.

Heim, J. (2003). Hygiene in der zahnärztlichen Praxis: ein Lehrbuch für zahnmedizinische Fachangestellte in Ausbildung und Beruf. Hannover, Schlütersche GmbH & Co.

Hein, P. (1985). Die mikrobiologische Besiedlung zahnmedizinischer Einheiten und Möglichkeiten ihrer Beeinflussung. Hygiene-Institut. Mainz, Johannes Gutenberg-Universität Mainz: S. 66.

Heizmann, W. R., et al. (1999). Kurzlehrbuch medizinische Mikrobiologie und Immunologie. Stuttgart, Schattauer-Verlag.

Hikal, W., et al. (2015). "Evaluation of Ozone Application in Dental Unit Water Lines Contaminated with Pathogenic *Acanthamoeba*." Iran J Parasitol **10**(3): S. 410-419.

Himbert, A. A. H. (1997). Vorkommen und gesundheitliche Bedeutung von Bakterien im Kühlwasser zahnärztlicher Behandlungseinheiten. Institut für Hygiene. Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: S. 76.

Höll, K. and R. Niessner (2011). Wasser: Nutzung im Kreislauf: Hygiene, Analyse und Bewertung. Berlin, De Gruyter.

Hösl, J. (1992). Untersuchung zum Hygienierisiko durch mikrobielle Kontamination zahnärztlicher Behandlungseinheit und Winkelstücke Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Regensburg, Universität Regensburg: S. 65.

Hübner, N.-O., et al. (2012). "Impact of the "Guidelines for infection prevention in dentistry" (2006) GMS Krankenhhyg Interdiszip **7**(1): S. 1-6.

- Hussein, Z. (2008). Nachweis atypischer Mykobakterien im Leitungswasser mittels quantitativer PCR und Kultur. Open Access Repository der Universität Ulm. Ulm.
- IfSG (2000). "Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz) vom 20. Juli 2000 (BGBl. I S. 1045), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2615) geändert worden ist."
- Jatzwauk, L., et al. (2008). "Praxishygiene: Aktuelle Anforderungen und ihre Umsetzung." Zahnmedizin up2date **2**(03): S. 227-243.
- Jorgensen, M. G., et al. (1999). "Disinfection and monitoring of dental unit waterlines." Gen Dent **47**(2): S. 152-156.
- Just, H.-M. and R. Michel (1984). "Infektionsgefährdung durch Bakterien, Pilze und Amöben in Kühl- und Spülwasser zahnärztlicher Einheiten " Dtsch Zahnärztl Z **39**: S. 60-64.
- Kampf, G. (2013). Hände-Hygiene im Gesundheitswesen. Berlin, Springer-Verlag.
- Karpay, R. I., et al. (1999). "Combining periodic and continuous sodium hypochlorite treatment to control biofilms in dental unit water systems." The Journal of the American Dental Association **130**(7): S. 957-965.
- Kelstrup, J., et al. (1977). "Microbial aggregate contamination of water lines in dental equipment and its control." Acta Pathol Microbiol Scand (B) **85**(3): S. 177-183.
- Kisteman, T., et al. (2011). "Hygienisch-mikrobiologische Probleme wasserführender Bedienungselemente von Dentaleinheiten" HygMed **36**(5): S. 191-197.
- Klischies, R., et al. (2008). Hygiene und medizinische Mikrobiologie: Lehrbuch für Pflegeberufe ; mit 62 Tabellen, Schattauer.
- Koch, A. and U. Wollina (2014). "Chlorhexidine allergy." Allergo journal international **23**(3): S. 84-86.
- Kohno, S., et al. (2004). "Bactericidal effects of acidic electrolyzed water on the dental unit waterline." Jpn J Infect Dis **57**(2): S. 52-54.
- Kramer, A. (2016). Krankenhaus- und Praxishygiene: Hygienemanagement und Infektionsprävention in medizinischen und sozialen Einrichtungen. München, Elsevier Health Sciences Germany.

- Kramer, A., et al. (2012a). "Purge- and intensive-purge decontamination of dental units contaminated with biofilm." GMS Krankenhhyg Interdiszip **7**(1): Doc11.
- Kramer, A., et al. (2012b). "Evaluation of the PotoClean((R)) decontamination technology for reprocessing of water supply lines in dental units during routine work." GMS Krankenhhyg Interdiszip **7**(1): Doc10.
- Kramer, A., et al. (2012c). "Comparison of the ActiDes-Blue and CARELA HYDRO-DES technology for the sanitation of contaminated cooling water systems in dental units." GMS Krankenhhyg Interdiszip **7**(1): Doc09.
- Kraut, W. (2006). Erprobung verschiedener Verfahren zur Reduktion der Keimzahl im Kühl- und Betriebswasser zahnärztlicher Behandlungseinheiten. Institut für Hygiene. Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: S. 77.
- Kurth, M. (1980). Untersuchungen zum Einsatz von Filtern an zahnärztlichen Behandlungseinheiten. Abteilung Hygiene und Mikrobiologie. Lübeck, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: S. 60.
- Kurzmann, G. E. (1993). Ozonanwendung in der Wasseraufbereitung: Geschichte - Herstellung - Eigenschaften - Technologien - Reaktionen - Korrosion und Korrosionsschutz. Ehningen, expert-Verlag.
- Larsen, T. and N. E. Fiehn (2003). "The effect of Sterilex Ultra for disinfection of dental unit waterlines." Int Dent J **53**(4): S. 249-254.
- Leoni, E., et al. (2015). "Impact of a risk management plan on Legionella contamination of dental unit water." Int J Environ Res Public Health **12**(3): S. 2344-2358.
- Lewis, D. L., et al. (1992). "Cross-contamination potential with dental equipment." The Lancet **340**(8830): S. 1252-1254.
- Liebe, E. (1990). Untersuchung an wasserführenden Schlauchsystemen zahnärztlicher Behandlungseinheiten zur Überprüfung der Wirksamkeit eines Desinfektionsmittels auf Wasserstoffperoxid-Basis. Institut für Umwelt- und Krankenhaushygiene. Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen: S. 73.
- Linke, S. (2012). Untersuchungen zur erhöhten Toleranz von biofilmassoziierten Mikroorganismen und die Ausbildung von vbnc-Zuständen bei Pseudomonas aeruginosa gegenüber chlorabspaltenden Verbindungen Naturwissenschaftlichen Fakultät. Bonn, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn: S. 154.

- Lizon, J., et al. (2016). "Microbial control of dental unit water: Feedback on different disinfection methods experience." Am J Infect Control **44**(2): S. 247-249.
- Lück, C. and E. Jacobs (2016). Legionellen. Heidelberg, Springer Verlag.
- Lüke, P., et al. (2013). Trinkwassersicherheit in Klinik, Praxis und Pflege: Rechtspflichten - Risikofaktoren - Strategien, Behr's Verlag.
- Ma'ayeh, S. Y., et al. (2008). "Legionella pneumophila contamination of a dental unit water line system in a dental teaching centre." Int J Dent Hyg **6**(1): S. 48-55.
- Mann, S. (1966). "Über den Geruchsstoff von Pseudomonas aeruginosa." Archiv für Mikrobiologie **54**(2): S. 184-190.
- Marsh, P. and M. V. Martin (2003). Orale Mikrobiologie. Stuttgart, Thieme Verlag.
- Martienssen, M. (2001). Leistungen immobilisierter Mikroorganismen bei der Eliminierung von Umweltschadstoffen. Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät - Halle, Martin-Luther-Universität Halle - Wittenberg S. 201.
- Martin, M. V. and M. A. Gallagher (2005). "An investigation of the efficacy of super-oxidised (Optident/Sterilox) water for the disinfection of dental unit water lines." Br Dent J **198**(6): S. 353-354.
- Meiller, T. F., et al. (1999). "Dental unit waterlines: biofilms, disinfection and recurrence." J Am Dent Assoc **130**(1): S. 65-72.
- Meiller, T. F., et al. (2000). "Disinfection of dental unit waterlines with an oral antiseptic." J Clin Dent **11**(1): S. 11-15.
- Meiller, T. F., et al. (2001). "Laboratory evaluation of anti-biofilm agents for use in dental unit waterlines." J Clin Dent **12**(4): S. 97-103.
- Miksits, K. and H. Hahn (2013). Basiswissen Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie. Berlin, Springer-Verlag.
- Miller, M. B. and B. L. Bassler (2001). "Quorum Sensing in Bacteria." Annual Review of Microbiology **55**(1): S. 165-199.
- Mills, S. E. (2000). "The dental unit waterline controversy: defusing the myths, defining the solutions." J Am Dent Assoc **131**(10): S. 1427-1441.

- Moher, D., et al. (2009). "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement." PLoS Medicine **6**(7): e1000097.
- Montebugnoli, L., et al. (2004). "A between-patient disinfection method to control water line contamination and biofilm inside dental units." J Hosp Infect **56**(4): S. 297-304.
- Murdoch-Kinch, C. A., et al. (1997). "Comparison of dental water quality management procedures." J Am Dent Assoc **128**(9): S. 1235-1243.
- Muschinsky, N. (2014). Problematik der Keimbelastung wasserführender Dentaleinheiten in der Universitätsmedizin Göttingen unter besonderer Berücksichtigung von Legionella pneumophila - Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Keimreduzierung. Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Medizinischen Fakultät. Göttingen, Georg-August-Universität zu Göttingen: S. 155.
- Nakonechna, A., et al. (2014). "Immediate hypersensitivity to chlorhexidine is increasingly recognised in the United Kingdom." Allergol Immunopathol (Madr) **42**(1): S. 44-49.
- Neumann, T. (2011). Der endständige Einweg-Membranfilter Germlyser® ENT als Alternative zur chemischen Wasseraufbereitung in Dentaleinheiten - Eine vergleichende Untersuchung der Qualität des Betriebswassers zahnärztlicher Funktionseinheiten. Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Medizinischen Fakultät. Greifswald, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald: S. 79.
- Nickel, J. (1995). "Microbiological contamination of dental unit water lines." J Okla Dent Assoc **86**(2): S. 52-54.
- O'Donnell, M. J., et al. (2006). "A novel automated waterline cleaning system that facilitates effective and consistent control of microbial biofilm contamination of dental chair unit waterlines: a one-year study." J Dent **34**(9): S. 648-661.
- O'Donnell, M. J., et al. (2007). "Optimisation of the long-term efficacy of dental chair waterline disinfection by the identification and rectification of factors associated with waterline disinfection failure." J Dent **35**(5): S. 438-451.
- Offner, D., et al. (2016). "Contamination of dental unit waterlines: assessment of three continuous water disinfection systems." BDJ Open **2**: 16007.

- Orru, G., et al. (2010). "Evaluation of antimicrobial-antibiofilm activity of a hydrogen peroxide decontaminating system used in dental unit water lines." Open Dent J **4**: S. 140-146.
- Pankhurst, C. L., et al. (1990). The efficacy of chlorination and filtration in the control and eradication of Legionella from dental chair water systems. J Hosp Infect **16**: S. 9.
- Pankhurst, C. L., et al. (2017). "Dental Unit Water Lines and their Disinfection and Management: A Review." Dent Update **44**(4): S. 284-285.
- Pareek, S., et al. (2013). "Disinfection of dental unit water line using aloe vera: in vitro study." Int J Dent **2013**: S. 618962.
- Patel, M., et al. (2016). "The efficacy of disinfectants in the decontamination of dental unit water lines: an in vitro laboratory study." BDJ Open **2**: S. 16003.
- Pawar, A., et al. (2016). "Breaking the Chain of Infection: Dental Unit Water Quality Control." J Clin Diagn Res **10**(7): S. 80-84.
- Pederson, E. D., et al. (2002). "Waterline biofilm and the dental treatment facility: a review." Gen Dent **50**(2): 190-195; S. 196-197.
- Percival, R. S., et al. (2009). "Control of microbial contamination in dental unit water systems using tetra-sodium EDTA." J Appl Microbiol **107**(4): S. 1081-1088.
- Peters, E. and W. T. McGaw (1996). "Dental unit water contamination." J Can Dent Assoc **62**(6): S. 492-495.
- Petti, S., et al. (2015). "Dental unit water treatment with hydrogen peroxide and monovalent silver ions artificially contaminated with freshly isolated pathogens." Ann Ig **27**(6): S. 789-798.
- Pietsch, M., et al. (2006). "Nachweis von Pseudomonas aeruginosa im Wasser von Dentaleinheiten." Aseptica **12**(2): S. 11-13.
- Puttaiah, R., et al. (2012). "Evaluation of an automated dental unit water system's contamination control protocol." J Contemp Dent Pract **13**(1): S. 1-10.
- Rautenberg, J., et al. (2014). Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Richter, C. (2003). Autochthone aquatische Mikroflora im Kühlwasser zahnärztlicher Einheiten - eine Bestandsaufnahme im niedergelassenen Bereich Institut für Hygiene, Düsseldorf, Heinrich-Heine Universität Düsseldorf: S. 72.
- RKI (2006). "Infektionsprävention in der Zahnheilkunde - Anforderungen an die Hygiene. Mitteilung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut." Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz **49**(4): S. 375-394.
- Röder, R. (2011). Biofilmpopulationen in der häuslichen Trinkwasserinstallation: Untersuchung der Auswirkung von eingesetzten Materialien und Desinfektionsmaßnahmen. Fakultät III - Prozesswissenschaften. Berlin, Technischen Universität Berlin: S. 130.
- Roeske, W. (2007). Trinkwasserdesinfektion: Grundlagen, Verfahren, Anlagen, Geräte, Mikrobiologie, Chlorung, Ozonung, UV-Bestrahlung, Membranfiltration, Qualitätssicherung, Oldenbourg Industrieverlag.
- Roll, J. (2008). Entsorgungstechnik: Chemie und Verfahren. Weinheim, John Wiley.
- Rossi-Fedele, G., et al. (2011). "Some factors influencing the stability of Sterilox((R)), a super-oxidised water." Br Dent J **210**(12): S. 23.
- Sahm, H., et al. (2014). Industrielle Mikrobiologie. Berlin, Springer-Verlag Berlin
- Samaranayake, L. (1993). "Handpiece and water line decontamination and HIV transmission: a critique." Dent Update **20**(2): S. 53-54.
- Sauer, K. (2003). "The genomics and proteomics of biofilm formation." Genome Biology **4**(6): S. 1-5.
- Schel, A. J., et al. (2006). "Comparison of the efficacies of disinfectants to control microbial contamination in dental unit water systems in general dental practices across the European Union." Appl Environ Microbiol **72**(2): S. 1380-1387.
- Schönfeld, N., et al. (2013). "Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie nichttuberkulöser Mykobakteriosen des Deutschen Zentralkomitees zur Bekämpfung der Tuberkulose (DZK) und der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP)." Pneumologie **67**(11): S. 605-633.

Schulte, S. (2003). Wirksamkeit von Wasserstoffperoxid gegenüber Biofilmen. Fakultät für Naturwissenschaften der Universität Duisburg-Essen. Duisburg, S. 203.

Schwitzer, R. (1983). "Kontinuierliche Entkeimung des Wassers der zahnärztlichen Behandlungseinheit." SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd **93**(3): S. 163-172.

Sedlata Juraskova, E., et al. (2017). "Legionella spp. in dental unit waterlines." Bratisl Lek Listy **118**(5): S. 310-314.

Sennewald, R. M. (2014). Erprobung eines endständigen Membranfilters zur Reduktion der bakteriellen Kontamination im Kühl- und Betriebswasser zahnärztlicher Behandlungseinheiten. Institut für Hygiene der Medizinischen Fakultät. Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: S. 71.

Sennhenn-Kirchner, S., et al. (2006). "Mikrofiltration von Kühlwasser zahnärztlicher Behandlungseinheiten – ein Weg zum keimfreien Aerosol." Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift **7**: S. 364-368.

Singh, T. and M. M. Coogan (2005). "Isolation of pathogenic Legionella species and legionella-laden amoebae in dental unit waterlines." Journal of Hospital Infection **61**(3): S. 257-262.

Soibelman, M. (2004). Untersuchung zur Verminderung der mikrobiellen Kontamination in den wasserführenden Leitungen einer zahnärztlichen Behandlungseinheit. Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene Mainz, Johannes Gutenberg-Universität Mainz: S. 46.

Steichen, M. M. J. (2015). Validierung des Comprex-Verfahrens zur Reinigung schlauchführender zahnärztlicher Behandlungseinheiten. Wirksamkeitsprüfung des Comprex-Verfahrens gegen mikrobiell belastete PTFE-Schläuche. Medizinische Fakultät. Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn: S. 95.

Suerbaum, S., et al. (2016). Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie. Berlin, Springer-Verlag Berlin.

Szymanska, J. (2005). "Endotoxin level as a potential marker of concentration of Gram-negative bacteria in water effluent from dental units and in dental aerosols." Ann Agric Environ Med **12**(2): S. 229-232.

Szymanska, J. (2006a). "Antifungal efficacy of hydrogen peroxide in dental unit waterline disinfection." Ann Agric Environ Med **13**(2): S. 313-317.

Szymanska, J. (2006b). "Bacterial decontamination of DUWL biofilm using Oxygenal 6." Ann Agric Environ Med **13**(1): S. 163-167.

Taube, L.-D. (2011). Überprüfung eines neuen Verfahrens zur Dekontamination des wasserführenden Systems von Zahnarzteinheiten im laufenden Betrieb Institut für Hygiene und Umweltmedizin Greifswald, Ernst-Moritz-Arndt Universität: S. 76.

Thoneick, E. M. A. (2010). Untersuchungen zum Wachstum von Mikroorganismen in Trinkwasseranlagen in Abhängigkeit von Temperatur und Leitungsmaterial. Institut für Hygiene. Münster, Universitätsklinikum Münster: S. 66.

TrinkwV (2001). Die Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459). B. f. Gesundheit.

Tuttlebee, C. M., et al. (2002). "Effective control of dental chair unit waterline biofilm and marked reduction of bacterial contamination of output water using two peroxide-based disinfectants." J Hosp Infect **52**(3): S. 192-205.

Uhrhau, C. (2017). Intensivmedizinische Basics: Eine Einführung für Studium - Fachpflege- Facharzt-Weiterbildung. Norderstedt, Books on Demand.

Urbani, G., et al. (1990). "Disinfection and sterilization in dentistry. Use of potentiated glutaraldehyde (DIBA-GLAXO) in the water systems of dentistry units: analysis of microbiological activity, physico-chemical compatibility and residues in washing water." Clin Trials J **27**(1): S. 20-29.

Väth, I. (1993). Untersuchung zur bakteriellen Kontamination zahnärztlicher Behandlungseinheiten unter besonderer Berücksichtigung von *Pseudomonas Aeruginosa*. Institut für Hygiene und Mikrobiologie. Würzburg, Bayerische Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg: S. 67.

Vogt, K., et al. (2013). Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer Berlin.

von Albert, H. H. and W. Fröscher (1991). Neurologie mit Repetitorium. Berlin, De Gruyter.

Walker, J. T. and P. D. Marsh (2007). "Microbial biofilm formation in DUWS and their control using disinfectants." J Dent **35**(9): S. 721-730.

Walker, R. J., et al. (2004). "An investigation of the microbial contamination of dental unit air and water lines." Int Dent J **54**(6): S. 438-444.

- Watanabe, A., et al. (2016). "Monitoring of bacterial contamination of dental unit water lines using adenosine triphosphate bioluminescence." J Hosp Infect **94**(4): S. 393-396.
- Weihe, S. (1995). Wasserstoffperoxid als Mittel zur kontinuierlichen Dekontamination dentaler Behandlungseinheiten. Fakultät Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Witten, Universität Witten/Herdecke: S. 111.
- Wend, K. (1997). Vorkommen und gesundheitliche Bedeutung freilebender Amöben (FLA) im Kühlwasser zahnärztlicher Behandlungseinheiten. Medizinische Fakultät Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Will, G. (2014). "Überlegungen zur zahnärztlichen Wasserhygiene." ZWP Spezial **4/2014**: S. 24-26.
- Willeweit, H. (2011). "Keimquelle Wasser: Hygiene in der Praxisplanung." Dentalzeitung **2010**(5): S. 22-24.
- Williams, H. N., et al. (1995). "Bacterial contamination of the water supply in newly installed dental units." Quintessence Int **26**(5): S. 331-337.
- Williams, J. F., et al. (1996). "Microbial contamination of dental unit waterlines: current preventive measures and emerging options." Compend Contin Educ Dent **17**(7): S. 691-694.
- Yabune, T., et al. (2005). "Inhibitory effect of PVDF tubes on biofilm formation in dental unit waterlines." Dent Mater **21**(8): S. 780-786.
- Yoon, H. Y. and S. Y. Lee (2017). "Establishing a laboratory model of dental unit waterlines bacterial biofilms using a CDC biofilm reactor." Biofouling **33**: S. 917-926.
- zur Mühlen, V. (2014). Vergleich der mikrobiologischen Wasserqualität von zahnärztlichen Behandlungsstühlen und Arbeitsplätzen mit Phantomkopf. Institut für Technische Hygiene Berlin, Charité – Universitätsmedizin Berlin: S. 80.

Danksagung

Tabellarischer Lebenslauf