

Diplomarbeit

Entwicklung einer Prüfmethode für Aufbereitungsverfahren für zahnärztliche Hand-/Winkelstücke bzw. Turbinen

eingereicht von

Thomas Kohek

Geb.Dat.: 08.07.1986

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
(Dr. med. dent.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Institut für Hygiene, Mikrobiologie & Umweltmedizin

unter der Anleitung von

Prof. Mag. Dr. Franz F. Reinthaler und Mag. Dr. Tillo Miorini

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Danksagungen

Zunächst möchte ich mich bei Univ. Prof. Mag. Dr. Franz F. Reinthaler und Mag. Dr. Tillo Miorini für die engagierte Betreuung bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern des Instituts für angewandte Hygiene, Graz, im Speziellen deren Leitern Mag. Dr. Tillo Miorini und Dr. Viola Buchrieser für die hervorragende fachliche und organisatorische Unterstützung bei der Umsetzung der praktischen Versuche.

Weiters möchte ich mich recht herzlich bei Niels Buchrieser, Bsc. bedanken, durch dessen Hilfe es möglich wurde die Forschungsergebnisse fotografisch festzuhalten.

Ein ganz besonderes Dankeschön gilt meiner Partnerin Corinna für ihren verständnisvollen Umgang mit der bisweilen doch sehr zeitintensiven Forschungsarbeit und ihrer hilfreichen konstruktiven Kritik.

Zu guter Letzt ein großes Danke an meine Mutter, Dr. Ursula Kohek, die mir während meines gesamten Studiums mit einerseits fachlichem andererseits auch menschlichem Rat zur Seite gestanden ist.

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, zu Beginn die Notwendigkeit der Aufbereitung von zahnärztlichen Hand-/Winkelstücken bzw. Turbinen aufzuzeigen, da es zum momentanen Zeitpunkt kein einheitliches Verfahren zur Überprüfung derselben gibt und auch wenig wissenschaftliche Daten zu diesem Thema vorhanden sind.

Auf Grund dessen setzt sich die Arbeit weiters zum Ziel eine möglichst realitätsnahe Testanschmutzung für die Überprüfung der Reinigungsleistung von Aufbereitungsgeräten zu entwickeln.

Im empirischen Teil der Arbeit wurde zunächst eine Referenz festgelegt gegen welche die verschiedenen Testanschmutzungen überprüft wurden. Als Referenz wurde eine Mischung aus Blut, H₂O und Speichel im Verhältnis 1:1:1 definiert.

Mittels „immersion test rig“ wurde in den Vorversuchen das Verhalten der Referenz studiert und ungeeignete Komponenten ausgeschlossen.

Die Hauptversuche wurden mit der Methode „flow test rig“ durchgeführt.

Nach der optischen Beurteilung folgt die Quantifizierung der Restverschmutzung mit dem Proteintest BCA-Assay.

Um zusätzliche Daten zu erhalten wurde der Proteingehalt in Proben aus dem Praxisbetrieb bestimmt.

Im Zuge der Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Testanschmutzung Blut, Muzin 7,5% (alternative Anmischmethode) im Verhältnis 1:1 als mit der Referenz vergleichbar und daher für die praktische Anwendung geeignet ist.

Abstract

The aim of this paper is to point out the necessity of reprocessing dental handpieces and turbines. At the moment there is no uniform method for testing the reprocessing of units and there are only a few scientific publications on that topic. Furthermore, this paper aims to find a realistic testing soil for the examination of the cleaning performance of processing units.

First of all, it was necessary to define a reference with which the testing soils could be compared. This reference was found in blood, H₂O, and saliva (1:1:1). In the first step, the behaviour of the reference was observed using “Immersion Test Rig”. At the same stage, unusable components were eliminated from further examinations.

The main experiments were carried out with a method called “Flow Test Rig”. The visual evaluation was followed by quantification of the residual contamination by using the protein test BCA-Assay. Samples, collected in a dental office, were examined for their protein content to gain further data.

The result of this paper shows that the testing soil blood-mucin 7.5% (alternative preparation) (ratio 1:1) is comparable to the reference and therefore, it is usable for testing procedures.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| 1. EINLEITUNG | 8 |
| 2. THEORETISCHER TEIL | 10 |
| 2.1. GESETZLICHE GRUNDLAGEN..... | 10 |
| 2.1.1. <i>Praxisalltag</i> | 11 |
| 2.2. EINTEILUNG DER MEDIZINPRODUKTE IN DER ZAHNMEDIZIN:..... | 12 |
| 2.3. INFEKTIONEN IN DER ZAHNARZTPRAXIS..... | 15 |
| 2.3.1. <i>Bakterien</i> | 16 |
| 2.3.2. <i>Viren</i> | 16 |
| 2.3.3. <i>Pilze</i> | 16 |
| 2.3.4. <i>Prionen</i> | 17 |
| 2.4. DIE AUFBEREITUNG VON MEDIZINPRODUKTEN..... | 17 |
| 2.5. DIE ZAHNÄRZTLICHE BEHANDLUNGSEINHEIT..... | 18 |
| 2.6. AUFBAU VON DENTALEN ÜBERTRAGUNGSINSTRUMENTEN..... | 20 |
| 2.6.1. <i>Turbine</i> | 21 |
| 2.6.2. <i>Hand-/Winkelstücke</i> | 21 |
| 2.7. KONTAMINATION..... | 24 |
| 2.7.1. <i>Biofilme</i> | 25 |
| 2.7.2. <i>Rücksaugeffekt</i> | 28 |
| 2.8. AUFBEREITUNGSMÖGLICHKEITEN VON DENTALEN ÜBERTRAGUNGSINSTRUMENTEN..... | 29 |
| 2.8.1. <i>Wartungsvorgaben</i> | 30 |
| 2.8.2. <i>Maschinelle Aufbereitung</i> | 30 |
| 2.8.2.1. RDG mit Adapter für dentale Übertragungsgeräte..... | 31 |
| 2.8.2.2. Assistina®..... | 33 |
| 2.8.2.3. DAC UNIVERSAL®..... | 34 |
| 2.8.2.4. STATMATIC PLUS®..... | 35 |
| 2.8.3. <i>Manuelle Aufbereitung</i> | 36 |
| 3. PRAKTISCHER TEIL | 37 |
| 3.1. PRÜFANSCHMUTZUNG..... | 37 |
| 3.1.1. <i>Blut</i> | 39 |
| 3.1.2. <i>Speichel</i> | 40 |
| 3.1.3. <i>Muzin</i> | 41 |
| 3.1.4. <i>Tragant</i> | 42 |
| 3.1.5. <i>Speichelersatzmittel</i> | 43 |
| 3.2. METHODIK..... | 44 |
| 3.2.1. <i>Vorversuche (Immersion test rig)</i> | 44 |
| 3.2.1.1. Ergebnisse..... | 46 |
| 3.2.2. <i>Hauptversuche (Flow test rig)</i> | 47 |
| 3.2.2.1. Überprüfung der Reinigungsleistung ohne chemischen Reiniger..... | 47 |
| 3.2.2.1.1. Klassische Anmischung von Muzin..... | 49 |
| 3.2.2.1.2. Alternative Anmischung von Muzin..... | 49 |
| 3.2.2.2. Optische Überprüfung auf Restverschmutzung..... | 51 |
| 3.2.2.2.1. Ergebnisse der Hauptversuche ohne Reiniger..... | 52 |
| 3.2.2.2.1.1. Referenz..... | 53 |
| 3.2.2.2.1.2. Speichelersatzmittel..... | 54 |
| 3.2.2.2.1.3. Muzin..... | 54 |
| 3.2.2.3. Überprüfung der Reinigungsleistung mit chemischem Reiniger..... | 56 |
| 3.2.2.3.1. Ergebnisse der Hauptversuche mit Reiniger..... | 59 |
| 3.2.3. <i>Überprüfung der Restverschmutzung durch Proteintest</i> | 61 |
| 3.2.3.1. BCA-Assay:..... | 62 |
| 3.2.3.2. Bestimmung der Ausgangskonzentrationen..... | 65 |
| 3.2.3.3. Restproteinbestimmung..... | 67 |

| | | |
|------------|------------------------------------|-----------|
| 3.2.3.3.1. | Ergebnisse ohne Reiniger | 69 |
| 3.2.3.3.2. | Ergebnisse mit Reiniger | 70 |
| 3.2.4. | <i>Proben aus der Praxis</i> | 71 |
| 4. | CONCLUSIO | 73 |
| 5. | LITERATURVERZEICHNIS | 75 |
| 5.1. | INTERNETQUELLEN | 78 |
| 5.2. | SONSTIGE QUELLEN | 80 |
| 6. | WEITERE VERZEICHNISSE | 81 |
| 6.1. | TABELLENVERZEICHNIS | 81 |
| 6.2. | DIAGRAMMVERZEICHNIS | 81 |
| 6.3. | ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 81 |

1. EINLEITUNG

Das Arbeiten im medizinischen Bereich ist seit jeher eng mit dem Fachgebiet Hygiene verbunden, wobei in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme ihrer Bedeutung durch immer neue Vorschriften, Verordnungen und Empfehlungen zu beobachten war. Schon alleine durch die immer weiter fortschreitende Technisierung der einzelnen Arbeitsschritte und den Trend zu minimal invasiven Eingriffen, werden an das Gebiet der Hygiene ständig neue Herausforderungen gestellt. Ein neues Instrument, welches exzellentes manuelles Arbeiten ermöglicht, bringt nur dann auch für den Patienten den nötigen Vorteil, wenn es auch entsprechend den Vorschriften aufbereitet werden kann und somit keine zusätzliche Infektionsgefahr birgt.

Im zahnmedizinischen Bereich im Speziellen werden an die Beschäftigten durch die Vielzahl an unterschiedlichen Instrumenten, welche bei den verschiedenen Behandlungen zum Einsatz kommen, hohe Anforderungen gestellt. Selbiges gilt für die Wiederaufbereitung.

Zahnärzte im niedergelassenen Bereich sind verpflichtet ihre Vorgehensweisen und Prozesse im Hinblick auf die hygienische Aufbereitung selbst zu kontrollieren. Gerade diese fehlende Überprüfung durch eine außenstehende Instanz macht es notwendig, mittels validierbaren Verfahren sicherzustellen, dass die Aufbereitung der Instrumente *lege artis* funktioniert.

Neben der, durch solche Verfahren, erhöhten Patienten- und Personalsicherheit soll bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass entsprechende Richtlinien und Empfehlungen des Robert-Koch Instituts (RKI) und der Österreichischen Gesellschaft für Sterilgutversorgung (ÖGSV) existieren.

Die Tatsache, dass niedergelassene Zahnärzte keiner außenstehenden Kontrolle unterzogen werden, wie es beispielsweise bei Krankenhäusern der Fall ist, bedeutet nicht, dass sie diese Richtlinien nicht umzusetzen haben, sondern appelliert vielmehr an die Eigenverantwortung jedes einzelnen, zum Wohle der Patienten und des Personals, die in den Richtlinien festgelegten Anforderungen in der eigenen Praxis zu erfüllen.

In der Debatte um die Notwendigkeit einer maschinellen Aufbereitung von zahnärztlichen Hand-/Winkelstücken bzw. Turbinen ist zu bedenken, dass groß angelegte Studien zum

Infektions- und Übertragungsrisiko in der zahnärztlichen Behandlung bisher fehlen. Wie diese Arbeit zeigen wird, ist das Infektionspotential jedoch nicht zu unterschätzen, da zum Beispiel bei Hepatitis B-Viren bereits eine nur geringe Blutmenge für eine Infektion ausreicht und der Rücksog bei zahnärztlichen Übertragungsinstrumenten diese um ein Vielfaches übersteigen kann.¹

Dies veranschaulicht auch ein aktueller Vorfall in den USA, bei welchem über 7000 Patienten eines Zahnarztes in Oklahoma, aufgrund einer suspekten Hepatitis bzw. *HIV* Infektion, auf ein Vorliegen dieser Infektionen untersucht wurden. Bei der Untersuchung wurden in den Praxen des Zahnarztes schwere hygienische Mängel festgestellt. Es wird ein direkter Zusammenhang zwischen den Zahnbehandlungen und den Infektionen vermutet.²

Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einerseits die Notwendigkeit der korrekten Aufbereitung von zahnärztlichen Übertragungsinstrumenten (Hand-/Winkelstücken bzw. Turbinen) aufzuzeigen, sowie im Speziellen eine möglichst die Realität widerspiegelnde Testanschmutzung für die Prüfung der Reinigungsleistung von Aufbereitungsgeräten zu entwickeln.

Um eine Anwendung in der Praxis zu erleichtern, bzw. zu ermöglichen, sollte die Testanschmutzung möglichst einfach herzustellen sowie die Methode möglichst einfach anzuwenden sein.

¹ Siehe Kapitel „Rücksaugeffekt“

² http://www.focus.de/panorama/welt/pfusch-in-zahnarztpraxen-in-den-usa-hygiene-skandal-7000-patienten-muessen-zum-hiv-test_aid_950999.html (Stand 28.04.2013).

2. THEORETISCHER TEIL

2.1. Gesetzliche Grundlagen

Österreichisches Medizinproduktegesetz (BGBl. Nr. 657/1996):

„§93, Abs.1: Reinigung, Desinfektion und Sterilisation von Medizinprodukten in oder für Einrichtungen des Gesundheitswesens sind unbeschadet des § 34 unter Bedachtnahme auf die Art der Medizinprodukte mit solchen Geräten oder Gerätesystemen und geeigneten validierten Verfahren so durchzuführen und im Hinblick auf die Art, Größe und Aufgabenstellung der Einrichtung so zu organisieren, dass der Erfolg dieser Verfahren nachvollziehbar gewährleistet ist und die Sicherheit und Gesundheit von Patienten, Anwendern oder Dritten nicht gefährdet wird.“³

Empfehlungen:

Empfehlung des Fachausschusses Qualität (Ak Qualität) (74), Zentralsterilisation 1/2012:

- Instrumente sind einzustufen abhängig von Konstruktion, Art der Anwendung und nachfolgender Anwendung sowie der möglichen Kontamination z.B. mit Blut und Speichel: „Kritisch B“ nach Empfehlung RKI-/BfArM. Das bedeutet, dass grundsätzlich maschinell aufzubereiten ist d.h. nach jedem Einsatz am Patienten maschinell reinigen, thermisch desinfizieren und verpackt sterilisieren.
- Für die maschinelle Reinigung sollen grundsätzlich RDG (Reinigungs- und Desinfektionsgeräte) mit validierbaren Verfahren (ÖNORM EN ISO 15883-1 und-2) eingesetzt werden. Bei alternativen Systemen müssen auch validierte Verfahren und gleiche Leistungsanforderungen angewendet werden.⁴

Empfehlung des Fachausschusses Qualität (Ak Qualität) (76), Zentralsterilisation 3/2012:

- Hygienische Sicherheit ist nur durch ausreichende Reinigung, Desinfektion und bei Bedarf durch Sterilisation sichergestellt.

³<http://www.jusline.at/index.php?cpid=ba688068a8c8a95352ed951ddb88783e&lawid=149&paid=93&mypa=104> (Stand 28.04.2013).

⁴ Empfehlung des Fachausschusses Qualität (Ak Qualität) (74), Zentralsterilisation 1/2012.

- Konstruktionsbedingt kann es durch enge Kanäle, Getriebe, Spannzangen, Bohrfutter, Verwinkelungen etc. zu Ablagerungen, Verstopfungen und Funktionseinschränkungen kommen. Gründe: Abrieb, Korrosion, Rücksaugeffekt, Ablagerungen aus Wasser, ungeeignete Chemikalien zur Reinigung bzw. Desinfektion.
- Übertragungsinstrumente, die bei allgemeinen, restaurativen oder kieferorthopädischen Behandlungen zum Einsatz kommen, werden in die Gruppe „semikritisch B“ eingestuft → maschinelle oder manuelle Reinigung, Desinfektion.
- Als „kritisch B“ werden Instrumente eingestuft, die für chirurgische, parodontologische und/oder endodontische Behandlungen eingesetzt werden. Hierfür gelten Angaben aus Empfehlung 74 → maschinelle Reinigung, Desinfektion und Sterilisation.
- Alle Medizinprodukte sollten mit validierten Verfahren, unter Berücksichtigung der Herstellerangaben, sowie der vorangegangenen und nachfolgenden Anwendung, vorzugsweise maschinell aufbereitet werden.⁵

2.1.1. Praxisalltag

Eine Untersuchung mittels eines Fragebogens in 331 deutschen Zahnarztpraxen (Standorte: Berlin, Greifswald, Magdeburg), dessen Grundlage eine Empfehlung des Robert-Koch Instituts, Berlin (RKI) (Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention) war, untersuchte inwieweit gesetzliche Grundlagen des Infektionsschutzes und der Unfallverhütung eingehalten werden. Dabei wurden folgende Ergebnisse ermittelt, wobei die von-bis-Werte die regionalen Unterschiede widerspiegeln:

- Einsatz von Wasser aus dem Leitungsnetz zur Kühlung bei oralchirurgischen Eingriffen: 1-56%,
- Innere und äußere Reinigung/Desinfektion von Hand- und Winkelstücken oder konventionelle Aufbereitung mit abschließender offener Dampfsterilisation: 8-26%
- Handstücke für chirurgische Eingriffe in steriler Verpackung bereitgestellt: 29-79%⁶

Die Untersuchung des Gesundheitsamtes Vechta zeigte, dass Hand- und Winkelstücke lediglich ein- bis zweimal täglich hygienisch einwandfrei aufbereitet werden.⁷

⁵ Empfehlung des Fachausschusses Qualität (Ak Qualität) (76), Zentralsterilisation 3/2012.

⁶ Kramer A., Meyer G., Ertzinger S., Kietz K., Schrader O., Martiny H.: Multicenterstudie zur Durchführung ausgewählter Hygienemaßnahmen in 331 Zahnarztpraxen. Hyg Med 2008, 33(3); S. 64-73.

Ein Projekt der Landes Zahnärztekammer Hessen des Stadtgesundheitsamtes Frankfurt an 127 Zahnarztpraxen kam zu dem Ergebnis, dass die Aufbereitung von Hand- und Winkelstücken in 52% durch manuell und nur in 32% maschinell durchgeführt wurde. Je invasiver die Eingriffe, desto höher die Zahl der maschinellen Aufbereitung.⁸

Auch andere Studien zum Hygieneverhalten von Zahnärzten zeigen eine deutliche Diskrepanz zwischen den Vorgaben in Gesetzen und Verordnungen bzw. Empfehlungen und dem tatsächlichen Verhalten in der Praxis.

Als Fazit kann hier also festgehalten werden, dass Theorie und Realität im Hinblick auf die Hygiene in Zahnarztpraxen nach wie vor in vielen Fällen weit auseinander liegen.

2.2. Einteilung der Medizinprodukte in der Zahnmedizin:

Die Medizinprodukte, also alle Instrumente und Gerätschaften die in einer Zahnarztpraxis mit Patienten in Kontakt kommen, werden in 3 Gruppen eingeteilt:

1. Unkritische Medizinprodukte
2. Semikritische Medizinprodukte
3. Kritische Medizinprodukte

Ad 1: Als unkritische Medizinprodukte gelten solche, welche nur mit intakter Haut in Berührung kommen, also zum Beispiel der extraorale Teil des Außenbogens oder die Schiebelehre.

Ad 2: Semikritische Medizinprodukte kommen mit Schleimhaut oder krankhaft veränderter Haut in Berührung. Hier erfolgt eine weitere Unterteilung in semikritisch A und B.

Semikritisch A sind jene, welche keine besonderen Anforderungen an die Aufbereitung stellen, welche also aufgrund Ihrer Form und Beschaffenheit relativ leicht aufzubereiten sind. Als Beispiele wären hier Handinstrumente für konservierende Tätigkeiten wie Heidemann-Spatel oder Kugelstopfer anzuführen.

⁷ Enk M.: Vorgehen des Gesundheitsamtes Vechta bei der infektionshygienischen Überwachung von Arzt- und Zahnarztpraxen. Hygiene und Medizin 2005, 30; S. 207-210.

⁸ Heudorf U.: Hygiene in Zahnarztpraxen – Wege zur Zielerreichung. Hygiene und Medizin 2006, 31; S. 399-405.

Semikritisch B sind hingegen Instrumente, welche besondere Anforderungen an die Aufbereitung stellen, da sie Hohlräume bzw. andere schwer zu reinigende Teile besitzen und daher schwieriger aufzubereiten sind als Instrumente, die Semikritisch A zuzuordnen sind. Beispiele: Rotierende oder oszillierende Instrumente wie Bohrer, Polierer, Bürstchen, aber auch Hand-/Winkelstücke, welche im nicht-chirurgischen Bereich Anwendung finden.

Ad 3: In die Kategorie Kritische Medizinprodukte fallen all jene, welche die Haut oder Schleimhaut durchdringen und dabei Kontakt mit Blut, inneren Geweben oder Organen einschließlich Wunden haben. Auch hier erfolgt wieder die weitere Unterteilung in Kritisch A und Kritisch B, je nachdem ob besondere Anforderungen an die Aufbereitung (Kritisch B) gestellt werden oder nicht (Kritisch A).

Beispiele für Produkte der Gruppe Kritisch A sind: Skalpelle, chirurgische Handinstrumente, Scaler, Küretten, Wurzelkanalinstrumente.

Beispiele für Kritisch B sind: Spritzen und Kanülen, chirurgische rotierende Instrumente wie Knochenfräsen oder Hand-/Winkelstücke.⁹

Die Unterteilung in A oder B ist sinnvoll, da eine erfolgreiche Aufbereitung bei Instrumenten mit komplexem Aufbau wesentlich schwieriger zu erreichen ist, als bei Instrumenten, die ein sehr einfaches Design haben. Aus diesem Grund werden Hand-/Winkelstücke, egal ob sie mit Blut in Berührung kommen oder nicht, stets der Untergruppe B zugerechnet.

Erschwerend hinzu kommt, dass die für die Beurteilung der Reinigung so wichtige Sichtprüfung bei dentalen Übertragungsinstrumenten aufgrund des Aufbaus nicht möglich ist. Der Risikogruppe „kritisch C“ werden Medizinprodukte zugeordnet, die prinzipiell kritisch B sind, jedoch zusätzlich (z.B. aufgrund ihrer Thermolabilität) nicht dampfsterilisiert werden können.

⁹[http://www.lzkth.de/LZKTH/resources.nsf/\(\\$UNID\)/02E340965750C3C2C1257219004BDADA/\\$file/Einteilung-Medizinprodukte.pdf](http://www.lzkth.de/LZKTH/resources.nsf/($UNID)/02E340965750C3C2C1257219004BDADA/$file/Einteilung-Medizinprodukte.pdf) (Stand 10.06.2013).

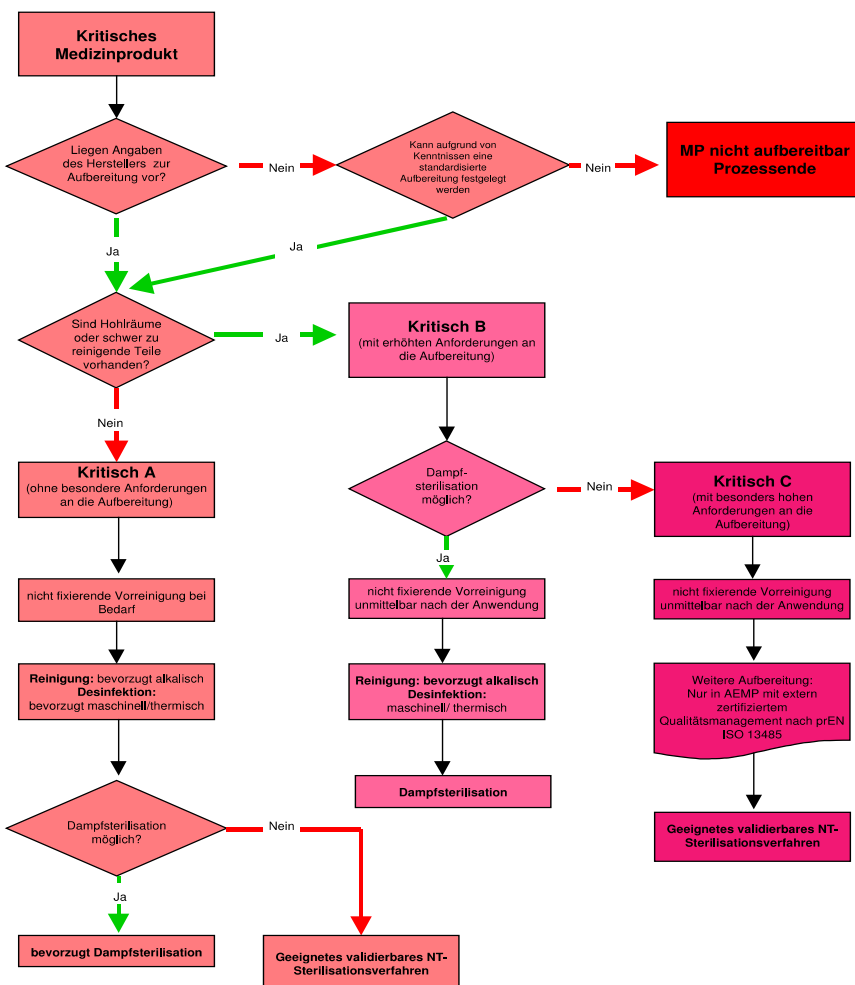
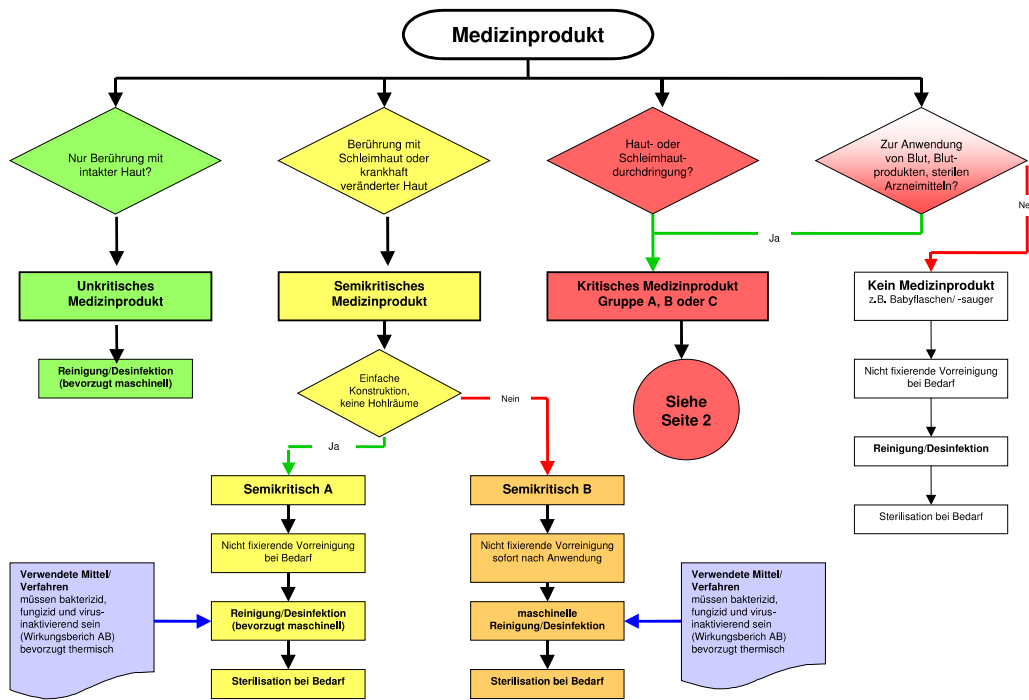


Abbildung 1: Schema der ÖGSV zur Risikoeinteilung der Medizinprodukte¹⁰

¹⁰ http://www.oegsv.com/dl/Risikoeinteilung_MP_neu_farbe.pdf (Stand 11.06.2013).

2.3. Infektionen in der Zahnarztpraxis

Prinzipiell besteht im zahnmedizinischen Bereich die Gefahr der Übertragung von Krankheiten von:

1. Patient auf Behandler bzw. Personal
2. Behandler bzw. Personal auf Patient
3. Patient auf Patient

Erfolgt eine Infektion in einer Einrichtung des Gesundheitswesens, die in kausalem Zusammenhang mit dem Aufenthalt in einer solchen Einrichtung steht, so spricht man von einer nosokomialen Infektion.¹¹

Das Infektionsmodell beinhaltet die Infektionsquelle, den Übertragungsweg sowie das Infektionsziel.¹² Wendet man dieses nun am Beispiel einer Infektion über ein Hand-/Winkelstück an, so ergeben sich folgende Zusammenhänge:

Die Infektionsquelle ist in diesem Fall der Patient, welcher an einer ansteckenden Erkrankung leidet. Als Infektionsweg bezeichnet man das ungenügend aufbereitete Hand-/Winkelstück, bzw. das kontaminierte Kühlwasser, welches sich noch in den Kanälen befindet. Das Infektionsziel ist der nächste Patient, der durch den neuerlichen Gebrauch des kontaminierten Hand-/Winkelstückes möglicherweise infiziert wird. Ob es tatsächlich zu einer Infektion kommt, hängt in weiterer Folge von der Menge sowie Virulenz des Erregers ab, aber auch von Faktoren des Empfängers wie zum Beispiel: Alter, Grundkrankheiten, Abwehrlage etc. So wird die Infektion mit einem hoch virulenten Keim auf einen immunsupprimierten Patienten wesentlich wahrscheinlicher sein, als eine Übertragung eines niedrig virulenten Keimes auf einen gesunden Patienten.

Doch welche Krankheitserreger sind für die Zahnmedizin relevant und wodurch kann tatsächlich eine Infektion über ein Hand-/Winkelstück erfolgen?

Theoretisch können eigentlich alle Arten von Bakterien, Viren oder Pilzen übertragen werden, welche in der Mundhöhle bzw. im Blut vorkommen. Die Zusammensetzung dieser Flora ist abhängig vom: Alter des Patienten, von seinen Hygienefähigkeiten, dem Zustand der Zahnbelegung, von Grunderkrankungen sowie seiner Abwehrlage.

¹¹ Weinmayr, B.; Miorini, T.; Buchrieser, V.: Grundlagen der Hygiene im medizinischen Bereich. In: Reinthaler, F.; Feierl, G. (Hg.): Hygiene, Mikrobiologie und Risikomanagement in der Zahnarztpraxis. Graz, 2004; S. 180.

¹² Ebd.; S. 182.

2.3.1. Bakterien

Laut der Kommission für Krankenhaushygiene des RKI haben in der Zahnmedizin folgende Bakterien als Erreger besondere Bedeutung:

- *Legionella pneumophila* als Erreger der Legionärskrankheit
- *Mycobacterium tuberculosis* als Erreger der Tuberkulose
- Pseudomonaden (besonders *Pseudomonas aeruginosa*): häufige Ursache für nosokomiale Infektionen wie z.B.: Pneumonie oder Harnwegsinfekt.
- Staphylokokken
- Streptokokken¹³

2.3.2. Viren

Auch für Viren, welche hinsichtlich Infektionsprophylaxe eine wesentliche Rolle in der Zahnmedizin spielen, hat das RKI die relevanten zusammengestellt:

- Herpes simplex-Viren (HSV) als Erreger der herpetiformen Erkrankungen wie z.B.: Herpes labialis, Herpes genitalis.
- Hepatitis Viren, wobei hier vor allem das Hepatitis B- sowie das Hepatitis C-Virus von Bedeutung sind. Beide können eine Hepatitis mit variablen Folgeschäden der Leber verursachen.
- das Humane Immundefizienz Virus (HIV): als Erreger der erworbenen Immunschwäche Krankheit (AIDS).
- Viren, welche zu Erkrankungen des Respirationstrakts führen können.¹⁴

2.3.3. Pilze

Die sehr heterogene Gruppe der Pilze lässt sich unterteilen in Sprosspilze (Hefen), Schimmelpilze und Dermatophyten, wobei in der Zahnmedizin den Sprosspilzen mit *Candida sp.* größere Bedeutung zukommt. Nahezu jeder Mensch beherbergt an irgendeiner Stelle seines Körpers Sprosspilze wie z.B.: *Candida albicans*. Damit es aber nicht bei jedem zum

¹³ Mitteilung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut. Infektionsprävention in der Zahnheilkunde – Anforderungen an die Hygiene. Bundesgesundheitsblatt 2006; 49; S. 375-394.

¹⁴ Ebd.

Krankheitsbild der Candidose kommt, sind Faktoren erforderlich, welche die Vermehrung des Pilzes fördern:

- Veränderung der Zusammensetzung der Mundflora durch Antibiotikaeinnahme
- Erkrankungen des Stoffwechsels: z.B.: bei Diabetes mellitus
- Mechanische Irritationen, beispielsweise durch Zahnprothesen
- Hormonelle Schwankungen
- Geänderte Abwehrlage¹⁵

2.3.4. Prionen

Als Prionen (Abkürzung für Proteinaceous infectious particle) bezeichnet man infektiöse Eiweißmoleküle, welche schwerwiegende Erkrankungen wie die Creutzfeld- Jakob Krankheit auslösen können. Die Erkrankung tritt mit einer Inzidenz von 1 pro 1 Million Einwohner und Jahr auf, wobei bisher bei insgesamt 60 Patienten ein iatrogener Übertragungsweg nachgewiesen wurde. Prionproteine sind äußerst resistent gegenüber chemischen und thermischen Einflüssen und somit durch herkömmliche Sterilisation nicht vollständig inaktivierbar.¹⁶

2.4. Die Aufbereitung von Medizinprodukten

Im Prinzip wird der Aufbereitungsprozess von Medizinprodukten in drei Phasen gegliedert:

1. Reinigung
2. Desinfektion
3. Sterilisation

Reinigung bedeutet die Entfernung unerwünschter Substanzen von der Oberfläche des zu reinigenden Gegenstands. Mit dem Schmutz wird auch ein großer Teil der vorhandenen Mikroorganismen entfernt. Eine Reduktion der Keimzahl von 50-90 % ist in der Regel möglich. Durch den Reinigungsvorgang wird den verbliebenen Mikroorganismen der

¹⁵ Grisold, A.; Feierl, G.: Pilze. In: Reinthaler; Feierl, 2004; S. 112-118.

¹⁶ Wiestler, O. D.; Kiessling, M.; Aguzzi, A. et al.: Zentrales Nervensystem. In: Böcker, W.; Denk, H.; Heitz, Ph.: Pathologie. München, 2004; S. 292.

Nährboden entzogen. Optische Sauberkeit des Gegenstands ist Ziel der Reinigung und die Voraussetzung für anschließende Desinfektion bzw. Sterilisation.¹⁷

Als Desinfektion bezeichnet man Vorgänge, die zu einer Abtötung- bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern führen und die Keimzahl so weit reduzieren, dass es im Regelfall zu keiner Infektion mehr kommen kann. Grundsätzlich ist dies sowohl durch chemische (z.B.: Alkohole), als auch physikalische Verfahren (thermische Verfahren) oder auch durch eine Kombination beider (chemothermisch) erreichbar, wobei stets physikalischen Verfahren, aufgrund der besseren Überprüfbarkeit und Robustheit, der Vorzug gegenüber chemischen zu geben ist.¹⁸

Die Sterilisation bezeichnet das Inaktivieren bzw. Abtöten aller auf einem Gegenstand befindlichen Mikroorganismen, inklusive deren Dauerformen (Sporen), sodass die Wahrscheinlichkeit einen vermehrungsfähigen Keim auf dem Objekt zu finden kleiner als 1:1000.000 ist.¹⁹ Dies zu erreichen wird entweder durch Hitze, mittels Heißluftsterilisator, oder über gesättigten Wasserdampf (Dampfsterilisator) sichergestellt. Eine weitere Möglichkeit ist die Strahlensterilisation mittels Gammastrahlen oder energiereiche Elektronen.²⁰

Von wesentlicher Bedeutung ist die Tatsache, dass eine Desinfektion bzw. Sterilisation nur durch vorangegangene Reinigung des Objekts ordnungsgemäß durchführbar ist. Die Reinigung nimmt in diesem System einen hohen Stellenwert ein, da sie die Basis für die weiteren Aufbereitungsschritte darstellt.

2.5. Die zahnärztliche Behandlungseinheit

Um einen Patienten zahnärztlich versorgen zu können, benötigt jeder Zahnarzt eine Behandlungseinheit, im Volksmund auch Zahnarztstuhl genannt.

Diese Einheit besteht aus einer heute meist elektrisch verstellbaren Liege, durch die der Patient von einer aufrecht sitzenden bis zu einer kopfüber liegenden Haltung gelagert werden kann. Erst dadurch wird dem Zahnarzt bzw. seinem Personal ein adäquater Zugang zum jeweiligen Behandlungsgebiet ermöglicht. Direkt vor dem Patienten befindet sich der

¹⁷ Weinmayer, B.; Miorini, T.; Buchrieser, V.: Grundlagen der Reinigung, Desinfektion und Sterilisation. In: Reinthaler; Feierl, 2004; S. 185.

¹⁸ Ebd.

¹⁹ Ebd.

²⁰ Kayser, F.; Böttger, E.: Sterilisation und Desinfektion. In: Kayser, F.; Böttger, E.; Zinkernagel, R. et al.: Medizinische Mikrobiologie. Stuttgart, 2010; S. 55.

sogenannte Schwebetisch, auf dem die benötigten Instrumente abgelegt werden können, welche gerade in Verwendung sind. Auch dieser ist verstellbar und bei neueren Modellen oft mit einem Monitor ausgestattet, der über EDV Patientendaten bzw. Röntgenbilder anzeigen kann. Bei älteren Modellen befindet sich an seiner Stelle häufig noch der Betrachter für analoge Röntgenbilder. Über der Liege befindet sich eine Lampe die auch durch einen verstellbaren Arm in alle mögliche Positionen gebracht werden kann. Links neben der Liege ist ein Speibecken für den Patienten, an dessen Rand eine Halterung für einen Becher zum Ausspülen angebracht ist. Dieses Becken verfügt über eine eigene Spülfunktion.

Bei einer normalen Einheit für Rechtshänder befindet sich der Behandler rechts neben dem Patienten und die Assistenz an der linken Seite. Auf der rechten Seite werden dem Behandler über einen beweglichen Schlitten seine Instrumente zur Verfügung gestellt. All diese sind abnehmbar, um in die Mundhöhle des Patienten zu gelangen und über Schläuche mit der Einheit verbunden. Dazu zählen:

- ein Luft-Wasser Spray, welcher über zwei Tasten mit dem Daumen gesteuert werden kann und zum Abspülen bzw. Trocknen verwendet wird
- ein Ultraschall-Handstück, welches für Ultraschallbehandlungen wie zum Beispiel Zahnsteinentfernungen gebraucht wird
- die Kupplung für Turbinen
- meist 2 Kupplungen für Hand-/Winkelstücke
- häufig auch ein Elektrotomie – Handstück für Blutstillung, Elektrochirurgie etc.

Des Weiteren befindet sich an diesem Schlitten eine Tastatur, über welche sich verschiedene Vorgänge steuern lassen:

- die Lagerungsänderung des Patienten
- die Leuchte ein/auszuschalten bzw. die Lichtstärke zu verändern
- die Leistung des Motors einstellen
- Befüllen des Bechers für den Patienten mit Wasser bzw. Spülung des Speibeckens

An der Assistenzseite, also meist links, befindet sich auch eine schwenkbare Einheit, an welcher die Absauganlage, ein weiterer Luft-Wasser Spray und häufig auch eine Polymerisationslampe befestigt sind.

Für die Absaugung von Flüssigkeiten aus der Mundhöhle stehen sowohl ein starrer großer Sauger sowie ein flexibler kleiner Sauger (sog. Speichelsauger) zur Verfügung, welcher oft

während der Behandlung im Mundwinkel des Patienten eingehängt wird, während aktiv mit dem großen Sauger abgesaugt wird.

Alle beschriebenen Geräte sind betriebsbereit, sobald sie aus ihrer Halterungsvorrichtung herausgenommen werden. Dadurch erkennt die Behandlungseinheit, für welches Gerät sie die Leistung erbringen muss. Am Boden befindet sich ein Pedal, über welches die Hand-Winkelstücke bzw. Turbinen mit einem Fußschalter betrieben werden.

Um eine dentale Behandlungseinheit betreiben zu können, benötigt diese einen Strom-, Druckluft- und Wasseranschluss. In Bezug auf das Wasser empfiehlt es sich, eine Entkeimungsanlage vorzuschalten, um dem Problem der Biofilmbildung entgegenzuwirken.²¹

Die hier beschriebene Variante ist die derzeit in Österreich am weitesten verbreitete, von der Firma Sirona (vormals Siemens) hergestellte Dentaleinheit. Es existieren selbstverständlich diverse Abwandlungen des Aufbaus, sei es spiegelverkehrt für Linkshänder oder reine Prophylaxeeinheiten, welche nur für einen Behandler gebaut sind und viele mehr.

Bei einer von der Firma KaVo entwickelten Einheit sind anstatt des Schlittens an der Seite die Instrumente an ihren Schläuchen über dem Schwebetisch untergebracht (sog. Schwingen). Dies kann bei verschiedenen Behandlern, wenn einer Rechts- der andere aber Linkshänder ist, nützlich sein.

2.6. Aufbau von dentalen Übertragungsinstrumenten

Sowohl Hand-/Winkelstücke als auch Turbinen haben den Sinn, die Leistung des Motors der zahnärztlichen Behandlungseinheit in eine Drehbewegung umzuwandeln und auf Schleifkörper, welche am vorderen Ende des Hand-Winkelstücks bzw. der Turbine eingespannt werden können, zu übertragen.

Die Leistung selbst stammt von einem am Ende eines Schlauchs der Dentaleinheit befestigten Mikromotor, welcher entweder mit Luft oder elektrisch angetrieben werden kann. An diesen Motor werden die Hand-Winkelstücke oder Turbinen aufgesteckt. Die Drehzahl bei elektrisch betriebenen Motoren liegt im Bereich von 1.000 - 40.000 Umdrehungen pro Minute, Luftmikromotoren werden mit einer Drehzahl von 500 - 20.000 Umdrehungen pro Minute betrieben.²² Diese Mikromotoren verfügen auch über eine Lichtquelle, um die aufgesteckten Winkelstücke oder Turbinen mit Licht versorgen zu können.

²¹ Siehe Kapitel "Biofilm"

²²http://www.zmk.unibe.ch/unibe/medizin/zmk/content/e6245/e7920/Motoren,WinkelstckeundihrePflege_ger.pdf (Stand 17.04.2013).

2.6.1. Turbine

Die Leistungsübertragung bei Turbinen erfolgt über einen Luftstrahl aus dem Motor, der durch das Turbinenhandstück an ein am Kopfende befindliches Turbinenrad gelenkt wird, wodurch dieses in Drehbewegung versetzt wird. Diese Drehbewegung wird nun auf ein eingespanntes Instrument übertragen.

Zu den bekanntesten Herstellern in Österreich zählen Sirona, KaVo und W&H.

2.6.2. Hand-/Winkelstücke

Im Gegensatz zur Turbine wird bei einem Hand-/Winkelstück die Leistung direkt durch ein, im Hand- oder Winkelstück befindliches, Getriebe an den Schleifkörper abgegeben.

Der Unterschied zwischen Handstück und Winkelstück bezieht sich auf das vordere Ende, wo Instrumente wie Diamantbohrer oder Fräsen eingespannt werden können. Beim Handstück ist dieser Übergang gerade, beim Winkelstück hingegen abgewinkelt. Dieser Winkel ist vor allem aus Platzgründen bei zahnärztlichen Behandlungen sehr hilfreich, da hierdurch zum Beispiel ein Bohrer senkrecht zur Kaufläche eines Zahnes gehalten werden kann, während das restliche Winkelstück parallel zur Kauebene steht. Erst dadurch wird ein präzises Beschleifen oder Präparieren der Zähne ermöglicht.

Ein Winkelstück besteht grundsätzlich aus einem Schaftteil und einem Kopfteil. An einem Ende des Schafts wird über eine Kupplung der Mikromotor angesteckt, am anderen Ende befindet sich der Kopf. Dieser beinhaltet die Düsen für den Kühlspray, das Licht und die Spannzange, über welche die Instrumente im Winkelstück eingespannt werden können. Die Aufnahme und Entnahme von Instrumenten wie z.B. Bohrer erfolgt über einen Druckknopf am oberen Kopfende, durch den die Spannzange auf und zugemacht werden kann.

Handstücke hingegen finden einerseits für die Korrektur prothetischer Arbeiten wie zum Beispiel dem Entfernen von Druckstellen oder Bearbeitung von Provisorien Anwendung, andererseits werden sie aber auch im oralchirurgischen Bereich bei Zahnoperationen wie Weisheitszahnentfernungen sowie Wurzelspitzenresektionen eingesetzt.

Bei den Winkelstücken sorgt ein eingebautes Getriebe für eine Über- oder Untersetzung der Motorleistung, um einen Drehzahlbereich von 500-160.000 U/min abzudecken.

Es werden folgende Drehzahlbereiche unterschieden:

- Höchsttourige: 120.000-400.000 Umdrehungen pro Minute
- Hochtourige: 45.000-120.000 Umdrehungen pro Minute
- Mitteltourige: 4.500-45.000 Umdrehungen pro Minute
- Niedrigtourige: 500-4.500 Umdrehungen pro Minute.²³

Der höchsttourige Bereich wird nur von Turbinen erreicht, während die anderen Drehzahlbereiche durch farblich unterschiedlich markierte Winkelstücke abgedeckt werden. Diese Markierungen können sich am Kopfteil in Form eines Punktes (z.B. Sirona) oder aber am Schaft durch farbige Ringe dargestellt (z.B. KaVo, Sirona) befinden.

- Rot: Übersetzung der Motorleistung von 1:5
- Blau: 1:1, die Leistung des Motors wird direkt auf das Instrument am Winkelstück übertragen.
- Grün: Untersetzung der Motorleistung von 6:1²⁴



Abbildung 2: Übertragungsinstrumente der Firma Sirona

²³ Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln, 2009; S. 160.

²⁴ <http://www.sirona.com/de/produkte/instrumente/t1-classic/?tab=31> (Stand 17.04.2013).

Diese Unterscheidung findet in der Praxis dahingehend Anwendung, als nicht jeder Arbeitsschritt einer Zahnbehandlung mit einem Instrument in einem Drehzahlbereich durchführbar ist. So wird für die Primärpräparation eines Zahnes, wo viel harte Zahnschmelz und Dentin durchdrungen werden muss, ein hoher Drehzahlbereich nötig sein, also entweder ein rot markiertes Winkelstück oder eine Turbine. Bei der Kariesentfernung selbst findet die Arbeit in bereits weicher, zerstörter Zahnschmelz statt. Daher ist hier für ein zahnschonendes und präzises Arbeiten eine niedrige Drehzahl von Vorteil, wie sie beim grün markierten Winkelstück vorliegt. Für die Sekundärpräparation, wie zum Beispiel Finieren von Schmelzrändern mit Arkansassteinchen kann das blau markierte Winkelstück zum Einsatz kommen, wobei aber häufig nur rote und grüne Winkelstücke verwendet werden.²⁵

Neben der Leistung des Motors und der Lichtübertragung muss auch Wasser und Luft von der Einheit in die Winkelstücke geleitet werden, um eine ausreichende Kühlung des eingespannten Instruments sicherzustellen. Sonst könnte es zu thermischen Schäden der Pulpa durch die Reibungswärme des Instruments am Zahn kommen. Dies kann zum Absterben derselben und somit zu einer Devitalisation des Zahnes mit der Konsequenz einer Wurzelbehandlung führen (sogenanntes Beschleiftrauma).²⁶

Diese Kühlung erfolgt bei den klassischen Winkelstücken meist über 2 innerhalb des Gehäuses verlaufende Metallkanälchen mit einer Länge von ca. 70 mm und einem Durchmesser von ca. 0,7 mm (vgl. Abb.3.; 8,9).²⁷

Einer dieser Kanäle führt Wasser, der andere Luft, wobei sich beide am Ende vereinigen und über drei Spraydüsen ein Luft-Wasser Gemisch an die Instrumentenspitze abgeben. Bei chirurgischen Handstücken erfolgt die Kühlung oft durch einen außen am Schaft befindlichen Wasserkanal.

²⁵ Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln, 2009; S. 159.

²⁶ Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln, 2009; S. 160.

²⁷ Simonis, A.: Turbinen, Hand- und Winkelstücke: Vertrauen in die Automatik. Zahnarzt Wirtschaft Praxis, o.O., 2000; S. 81-82.

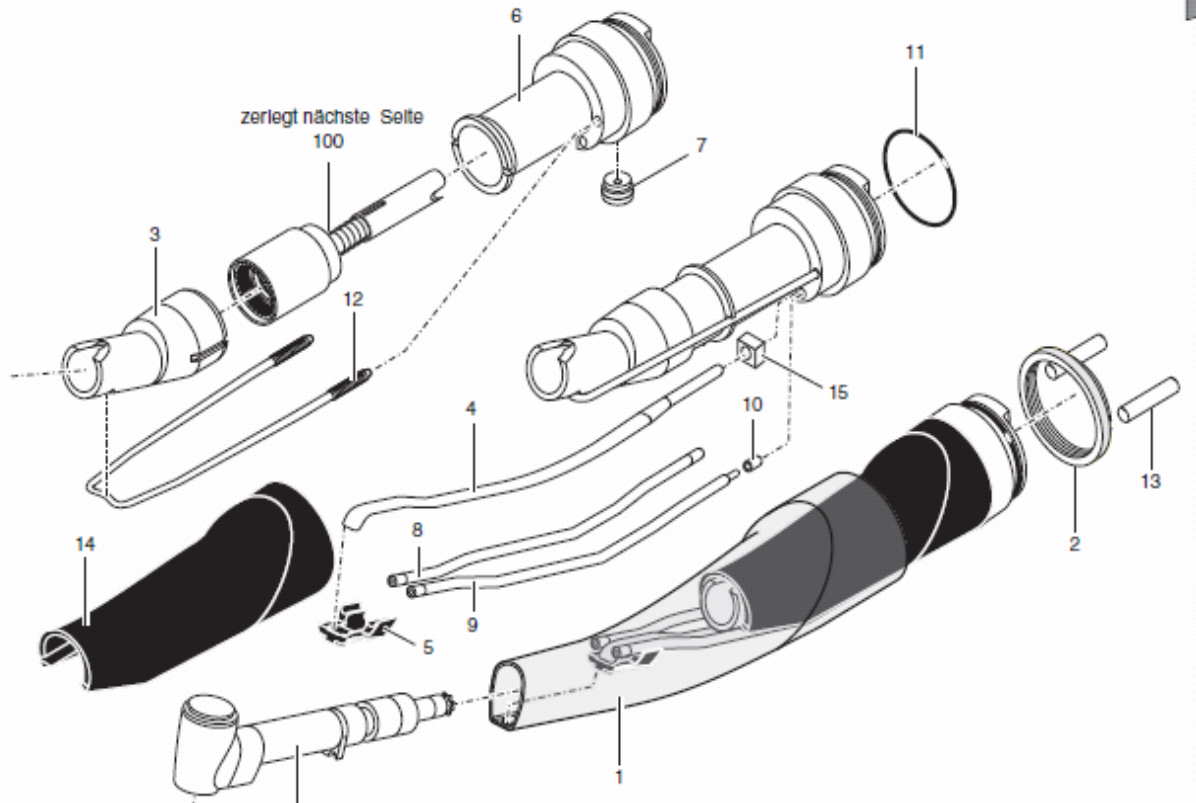


Abbildung 3: Aufbau eines T1 Winkelstücks der Firma Sirona²⁸

Der Betrieb der Instrumente in Hand-/Winkelstücken bzw. Turbinen wird über ein Fußpedal gesteuert, an dem wie bei einem Gaspedal die Geschwindigkeit variiert werden kann. Eine weitere Einstellungsmöglichkeit erhält der Behandler durch Tasten an der Behandlungseinheit, an denen meist in Prozentzahlen die Leistung limitiert werden kann.

2.7. Kontamination

Die Kontamination der Außenflächen bei einer Behandlung stellt an die Aufbereitung normalerweise keine hohen Anforderungen, da die Übertragungsinstrumente meist eine glatte Oberfläche mit wenigen Nischen aufweisen. Manche Hersteller setzen aufgrund der besseren Ergonomie auf geriffelte Griffflächen, welche natürlich schwieriger aufzubereiten sind als glatte.

²⁸ Zur Verfügung gestellt durch Kropf, Jürgen, Henry Schein Dental Austria GmbH.

Das weitaus größere Problem stellt die Kontamination der inneren Flächen, also Luft- und Wasserkanälchen sowie Getriebe dar, da hier eine erfolgreiche Aufbereitung aufgrund der kleinen Durchmesser sowie des komplexen Aufbaus nur sehr schwer zu erreichen ist.

Doch wie kommt es überhaupt zu dieser inneren Kontamination der Übertragungsinstrumente?

Einerseits kann dies über das Kühlwasser aus der Dentaleinheit erfolgen, welches vom normalen Wassernetz gespeist wird und in der Dentaleinheit erwärmt werden muss, da zu kaltes Wasser zu schmerzhaften Reaktionen auf vitalen Zähnen führen würde. Durch die Tatsache, dass Wasser vom Tank der Einheit über einen Gummischlauch zum Mikromotor geführt wird, besteht hier die Gefahr der Verkeimung des Wassers durch Biofilmbildung. Andererseits können Krankheitserreger aus der Mundhöhle des Patienten über den sogenannten Rücksaugeffekt in die Kanälchen des Hand-/Winkelstücks bzw. der Turbine rückgesaugt werden.²⁹

2.7.1. Biofilme

Ein Biofilm ist ein mikrobieller Verband an soliden Oberflächen, der überall dort auftritt, wo genügend Feuchtigkeit herrscht. Er besteht primär aus Bakterien, welche oft in einer komplexen Art und Weise zusammenleben. Die meisten Biofilme sind heterogen aufgebaut und von einer Polysaccharidschicht, der sogenannten Glycocalyx, umgeben. Diese schützt den Biofilm vor Austrocknung, chemischen Einflüssen sowie Attacken des Immunsystems, wenn sich der Biofilm in lebenden Organismen befindet. Ein für die Zahnmedizin wichtiges Beispiel eines Biofilms ist der Zahnbelag, Plaque.

Die Gründe, warum Biofilme in einer Dentaleinheit entstehen, obwohl sie von hygienisch unbedenklichem Trinkwasser gespeist werden, sind:

1. Die Oberflächenkolonisation von Bakterien wird durch die Beschaffenheit der Materialien (z.B. Polyurethan) in den Dentaleinheiten begünstigt. Aus dem Trinkwasser setzen sich Mineralien wie Calcium-Carbonat an der Oberfläche ab, an welchen dann Bakterien haften können und so die Biofilmbildung in Gang setzen.

²⁹ Siehe Kapitel "Rücksaugeffekt"

2. Durch laminare Strömungen kommt es an den inneren Oberflächen der Leitungen durch Friktion zu einer Verlangsamung der Strömung, sodass sich Biofilme dort leichter bilden können.
3. Je kleiner der Durchmesser einer wasserführenden Leitung wird, desto größer wird bei selbem Volumen die Oberfläche für die Biofilmanhaftung. Deshalb ist das Risiko der Biofilmbildung in einer Dentaleinheit mit sehr engen Durchmessern wesentlich größer als im herkömmlichen Leitungsnetz mit seinen sehr großen Durchmessern.

Die Bakterien für diesen Biofilm können nun einerseits aus dem Leitungsnetz stammen, also vorwiegend gram-negative Wasser-Bakterien (in erster Linie Pseudomonaden), welche auch in einwandfreiem Trinkwasser, noch unter dem zulässigen Grenzwert, vorkommen.³⁰

Andererseits findet eine Kontamination auch aus der Mundhöhle von Patienten durch einen Rücksog aus den dentalen Übertragungsinstrumenten während der Behandlung statt.³¹

Dass dies sowohl für Patienten als auch für das Behandlungsteam eine Gefahr darstellt, wurde von Reinthaler et al. in einer Studie 1988 nachgewiesen. Anhand von Antikörperseroprävalenzen gegen *Legionella pneumophila* bei 107 Zahnärzten, Assistentinnen sowie Zahntechnikern wurde gezeigt, dass die berufliche Exposition zu einem erhöhten Antikörpernachweis gegenüber den Kontrollgruppen führt. 34% des zahnärztlichen Personals zeigten eine positive Reaktion auf *L. pneumophila* Antigen SG1-SG6, während nur 5% Prozent der Kontrollgruppe eine positive Reaktion zeigten. Die höchste Prävalenz hatten die Zahnärzte, gefolgt von den Assistentinnen und den Technikern. Dies zeigt eine deutliche Korrelation der Patientenkontakte an Dentaleinheiten mit einer erhöhten Exposition von Krankheitserregern, was jedoch nicht gleichbedeutend mit einer Infektion sein muss.³²

Ein weiterer potentieller Erreger, welcher über Biofilme in den Leitungen der Dentaleinheit übertragen werden kann, ist das gramnegative Bakterium *Pseudomonas aeruginosa*. Darüberhinaus stellen eventuell auch die Anwesenheit von Pilzen und Protozoen ein mögliches Gesundheitsrisiko dar.

³⁰ Mills, S. E. et al.: The dental unit waterline controversy: Defusing the myths, defining the Solution. The Journal of the American Dental Association, o.O., 2000; 131; S. 1427-1441.

³¹ Bagga, B. S. R.; Murphy, R. A.; Anderson, J.W.; Punwani, I.: Contamination of dental unit cooling water with oral microorganisms and its prevention. The Journal of the American Dental Association, o.O., 1984; 109; S. 712-16.

³² Reinthaler, F. F.; Mascher, F.; Stünzner, D.: Serological examinations for antibodies against Legionella species in dental personnel. Journal of Dental Research, o.O., 1988; 67; S. 942-3.

Im Jahr 1990 kam es zu einem Zivilrechtsprozess gegen einen Hersteller von Dentaleinheiten aufgrund der Klage eines Patienten, welcher eine bakterielle Endokarditis mit der Konsequenz einer künstlichen Herzklappe erlitt. Es wurde der selbe Bakterienstamm im Patienten und in der Dentaleinheit seines Zahnarztes nachgewiesen. Die Parteien einigten sich schließlich außergerichtlich durch Zahlung einer nicht veröffentlichten Summe.³³

Da es keinen Sinn macht, für jeden Patienten ein steriles, verpacktes Winkelstück zu verwenden, wenn dieses bei Beginn der Behandlung sofort durch Mikroorganismen aus der Dentaleinheit verunreinigt wird, muss auch der Lösung dieses Problems große Bedeutung beigemessen werden.

Einer durch das Center for Disease Control, Atlanta, USA bereits 1993 veröffentlichten Empfehlung zur Folge werden Zahnärzte angehalten, in ihren Einheiten Antirückfluss-Ventile zu installieren, um die Kontamination von Seiten der Mundhöhle zu vermeiden. Weiters wird empfohlen, die wasserführenden Systeme nach Patientenkontakt für 20-30 Sekunden zu spülen. Bei Eingriffen mit zu erwartender Durchdringung von Knochen soll nur steriles Wasser zur Kühlung verwendet werden.³⁴

Neben diesen beiden Maßnahmen zur Reduktion der Biofilmbildung gibt es noch eine Reihe anderer Ansätze, wie zum Beispiel unabhängige Wasserreservoirs, welche - getrennt vom Wasserleitungsnetz - ein mikrobiologisch einwandfreies Wasser für die Behandlungseinheit zur Verfügung stellen und bei einigen Herstellern mittlerweile zur Standardaustattung der Einheiten zählen. Eine weitere Möglichkeit, der Mikroorganismen im Wasser Herr zu werden, ist die Zugabe von chemischen Stoffen, welche die Bakterien abtöten bzw. inaktivieren. Solche Zusätze können entweder kontinuierlich oder zeitlich begrenzt zum Wasser beigemischt werden.

Bei zeitlich begrenztem Vorgehen wird in gewissen Zeitintervallen beispielsweise ein Desinfektionsmittel auf Chlorid-Basis in die wasserführenden Systeme appliziert und für einen definierten Zeitraum dort belassen, um einwirken zu können. Danach wird er entfernt und birgt bei der nächsten Behandlung keine Gefahr für den Patienten. Als Nachteile dieses Vorgehens wäre zu nennen, dass es zu einer neuerlichen Verkeimung zwischen den einzelnen Desinfektionsvorgängen kommen kann, sowie die gesundheitliche Gefährdung des Personals

³³ Mills, S. E. et al.: The dental unit waterline controversy: Defusing the myths, defining the Solution. The Journal of the American Dental Association, o.O., 2000; 131; S. 1427-1441.

³⁴ Centers for Disease Control and Prevention. Recommended infection control practices for dentistry, 1993. MMWR 1993; 42(No. RR-8); S. 1-12.

beim Hantieren mit solchen Präparaten. Erfolgt eine kontinuierliche Abgabe an das Wasser, besteht hingegen die Gefahr der gesundheitlichen Beeinträchtigung von Personal und Patient sowie der Inkompatibilität mit zahlreichen zahnärztlichen Werkstoffen wie Füllungsmaterialien und Dentinhaftungsmitteln durch die chemischen Rückstände im Wassersystem. Eine weitere Möglichkeit ist die Filtration des Wassers vor Eintritt in die Dentaleinheit, wobei hier häufig nur die Bakterien filtriert werden, jedoch Mineralien, organische Komponenten sowie Endotoxine erhalten bleiben können. Andere Ansätze beschreiben die Verwendung von sterilem Wasser aus Flaschen bzw. das Autoklavieren von Wasser oder die Behandlung von Leitungswasser durch UV-Strahlen (UVGI, ultraviolett germicidal irradiation).³⁵

Welches Verfahren er auch immer verwendet, der Zahnarzt ist grundsätzlich verpflichtet, seine wasserführenden Systeme in regelmäßigen Abständen zu überprüfen und die Qualität seines bereitgestellten Wassers sicher zu stellen.

2.7.2. Rücksaugeffekt

Beim hochtourigen Betrieb von Hand-/Winkelstücken bzw. Turbinen entsteht beim Stoppen des Instruments ein temporärer Unterdruck im Bereich der Köhlspraydüsen, wodurch potentiell kontaminierte Flüssigkeit eingesaugt wird.³⁶

Um ein lästiges Nachtropfen von Kühlwasser aus dem Winkelstück nach dem Abstoppen des Betriebs zu vermeiden, wurde teilweise ein sogenanntes Rücksaugventil eingebaut. Dieses sorgt für einen kurzfristigen Unterdruck im wasserführenden Kanal, wodurch es zu einem verstärkten Rückfluss von kontaminierter Flüssigkeit kommen kann.³⁷

Über die rückgesaugte Menge existieren unterschiedliche Angaben in der Literatur. Gräf und Vollmuth stellten bei ihren Untersuchungen 1977 eine Verkeimung in den ersten 6 ml des Sprays bei Übertragungsinstrumenten ohne Rücksaugventil fest. Bei solchen mit einem Rücksaugventil kamen die Autoren auf eine Verkeimung der ersten 10 ml des Köhlsprays. Dies wurde durch eine Testanschmutzung mittels *E. coli*-Suspension sowohl in vitro im Becherglas, durch Eintauchen der laufenden Übertragungsinstrumente mit anschließendem

³⁵ Mills, S. E. et al.: The dental unit waterline controversy: Defusing the myths, defining the Solution. The Journal of the American Dental Association, o.O., 2000; 131; S. 1427-1441. vgl. weiters: Roberts, H. W. et al.: Dental unit waterline agent's effect on dentin bond strength. JADA 131; S. 179-183.

³⁶ Michels, W.; Schulz-Fincke, D.: Kontamination und Aufbereitung zahnärztlicher Übertragungsinstrumente sowie rotierender Instrumente. Aseptica, März/April 2009, Gütersloh.

³⁷ Gräf, W.; Vollmuth, G.: Die konstruktionsbedingte Keimübertragung durch Inneninfektion von Dentalturbinen. Zentralblatt Bakteriologie, o.O., Dezember 1977.

Stopp, als auch in vivo in der menschlichen Mundhöhle durch eine Mundspülung der *E. coli*-Suspension mit anschließender Kavitätenpräparation nachgewiesen.³⁸ Nach Wagner besteht die Möglichkeit der Kontamination aufgrund des Rücksaugeffekts bis zu 36 cm, was auch eine Verunreinigung des zuführenden Schlauchsystems bedeutet.³⁹

Eine einfache Möglichkeit den Rücksaugeffekt eines Hand-/Winkelstücks bzw. Turbine optisch nachzuweisen ist das Eintauchen des laufenden Instruments mit anschließendem Stopp in ein Becherglas mit Wasser und Lebensmittelfarbe. Wird das Übertragungsinstrument, nach Reinigung der Außenflächen, auf einer mit weißem Zellstoff unterlegten Fläche erneut gestartet ist eine deutliche Verfärbung des Zellstoffs entsprechend der Lebensmittelfarbe erkennbar. Das beweist, dass es zuvor zu einer Kontamination der Innenflächen durch das gefärbte Wasser gekommen ist.⁴⁰

Auch Shpuntoff et al. beschäftigten sich 1993 mit dem Rücksaugeffekt an Winkelstücken und Turbinen und konnten eine Innenkontamination nachweisen. Sie verwendeten zur Veranschaulichung der Sogwirkung eine Kerzenflamme, die unter ein laufendes Turbinenhandstück (ohne Wasserspray) gestellt wurde. Es war nun ersichtlich, dass sich die Kerzenflamme in Richtung der Kanälchenausgänge bewegte. Das bedeutet, dass es auch ohne Wasser und bei laufendem Betrieb zu einer Sogwirkung und einer damit verbundenen Kontamination der Innenflächen kommen kann.⁴¹

2.8. Aufbereitungsmöglichkeiten von dentalen Übertragungsinstrumenten

Aus Gründen des Patientenschutzes, aber auch des Personalschutzes, ist der Aufbereitung von Übertragungsgeräten ein hoher Stellenwert zuzuschreiben. Wie im Kapitel „Rechtliche Grundlagen“ dargelegt, ist für die Aufbereitung von Hand-/Winkelstücken bzw. Turbinen ein maschinelles Verfahren vorzuziehen. Und auch ein Blick auf die gängige Praxis zeigt, dass diese Art der Aufbereitung im Vormarsch ist.

³⁸ Ebd.

³⁹ Wagner, B.: Hygiene. Sicherheit und Image für die Praxis. ZMK, 9/1999.

⁴⁰ Lewis, D. L.; Boe, R. K.: Cross-infection risks associated with current procedures for using high-speed dental handpieces. *Journal of Clinical Microbiology*, Februar 1992, 30(2); S. 401.

⁴¹ Shpuntoff, H.; Shpuntoff, R. L.: High-speed dental handpieces and spread of airborne infections. *N Y State Dent J*. Jänner 1993; 59(1); S. 21-23.

2.8.1. Wartungsvorgaben

Die Wartung von Hand-/Winkelstücken bzw. Turbinen umfasst generell vier Punkte:

1. Reinigung⁴²
2. Desinfektion⁴³
3. Sterilisation⁴⁴
4. Pflege⁴⁵

Zu beachten ist, dass es hierbei natürlich vom Hersteller abhängige Unterschiede in den genauen Durchführungsanweisungen gibt. Generell wird jedoch eine Tauchdesinfektion von Hand-/ Winkelstücken bzw. Turbinen als für die Geräte ungeeignet bezeichnet.

2.8.2. Maschinelle Aufbereitung

Wie bereits erwähnt, ist die maschinelle Aufbereitung der zahnärztlichen Übertragungsgeräte einer manuellen vorzuziehen.

Um diese für die Zahnarztpraxis sinnvoll zu machen, sollte das zur Aufbereitung angeschaffte Gerät möglichst alle vier Schritte der Wartungsvorgaben für Hand-/Winkelstücke und Turbinen durchführen.⁴⁶ Weiters ist es notwendig, dass das Gerät die volle Leistung in einer für die Praxis realistischen Zeitspanne absolviert und keine für den Menschen toxischen Komponenten verwendet werden. Auch die Validierbarkeit der Verfahren und die Dokumentationsmöglichkeiten sollten berücksichtigt werden. Schlussendlich sind auch die Bedienerfreundlichkeit und die Materialverträglichkeit zu beachten. Zu guter Letzt stellen auch die Anschaffungs- bzw. Erhaltungskosten als wirtschaftlicher Faktor ein wesentliches Kriterium dar.

⁴² Siehe Kapitel *“Die Aufbereitung“*

⁴³ Ebd.

⁴⁴ Ebd.

⁴⁵ Vgl. z.B.: *Wartungsplan für Turbinen, Hand- und Winkelstücke*, Sirona. The Dental Company, 2003.; <http://td.sirona.com/pdf/5958579.pdf> (Stand 24.04.2013).

⁴⁶ Siehe Unterkapitel *“Wartungsvorgaben“*

Die meistverbreiteten Aufbereitungsgeräte für Hand-/Winkelstücke bzw. Turbinen in Österreich sind:

- Reinigungs- und/oder Desinfektionsgeräte mit Adapter für dentale Übertragungsgeräte (z.B. Miele Thermodesinfektor)
- Assistina® – W&H
- DAC UNIVERSAL® – Sirona
- STATMATIC PLUS® – SciCAN

2.8.2.1. RDG⁴⁷ mit Adapter für dentale Übertragungsgeräte⁴⁸



Abbildung 4: Thermo-Desinfektor® G 7831⁴⁹



Abbildung 5: E 919 Modul-Einsatz für 10 Hand- und Winkelstücke⁵⁰

⁴⁷ Reinigungs- und Desinfektionsgerät

⁴⁸ Auf Grund der großen Vielfalt an Herstellern wurde symbolisch ein Gerät von Miele zum Vergleich herangezogen.

⁴⁹ http://www.miele-professional.de/de/prof/produkt/41_6185.htm (Stand 24.04.2013).

Hersteller: Miele

Benötigte Anschlüsse:

- Netzspannung
- Wasseranschluss

Zyklusdauer Minimum: uneinheitlich

Ladungsmenge: 11 Steckplätze

Kompatibilität: alle gängigen Modelle⁵¹

| | |
|-----------------|---|
| Reinigung: | |
| • Innen | + |
| • Außen | + |
| Desinfektion | + |
| Sterilisation | - |
| Pflege | - |
| Validierbarkeit | + |

Tabelle 1: RDG

⁵⁰ http://www.miele-professional.de/de/prof/produkt/40_18559.htm (Stand 24.04.2013).

⁵¹ Vgl. http://www.miele-professional.de/de/prof/produkt/101_346.htm (Stand 24.04.2013).

2.8.2.2. Assistina®



Abbildung 6: Assistina® 3x3⁵²

Hersteller: W&H

Benötigte Anschlüsse:

- Druckluftanschluss
- Netzspannung

Zyklusdauer Minimum: 6 Minuten

Ladungsmenge: 3 Steckplätze

Kompatibilität: alle gängigen Modelle⁵³

| | |
|-----------------|---|
| Reinigung: | |
| • Innen | + |
| • Außen | + |
| Desinfektion | - |
| Sterilisation | - |
| Pflege | + |
| Validierbarkeit | - |

Tabelle 2: Assistina® 3x3

⁵² http://www.wh.com/de_global/dental-produkte/sterilisation-hygiene-pflege/aufbereitungsgeraete/assistina/#assistina_301_plus (Stand 24.04.2013).

⁵³ Vgl.: Gebrauchsanweisung Assistina, W&H, Bürmoos, 2012.

2.8.2.3. DAC UNIVERSAL®



Abbildung 7: DAC UNIVERSAL®⁵⁴

Hersteller: Sirona

Benötigte Anschlüsse:

- Druckluftanschluss
- Netzspannung

Zyklusdauer Minimum: 16 Minuten

Ladungsmenge: 6 Steckplätze

Kompatibilität: alle gängigen Modelle⁵⁵

| | |
|-----------------|---|
| Reinigung: | |
| • Innen | + |
| • Außen | + |
| Desinfektion | - |
| Sterilisation | + |
| Pflege | + |
| Validierbarkeit | ? |

Tabelle 3: DAC Universal®

⁵⁴ <http://www.sirona.com/de/produkte/hygiensysteme/dac-universal/?tab=86> (Stand 24.04.2013).

⁵⁵ Vgl: <http://www.sirona.com/de/produkte/hygiensysteme/dac-universal/> (Stand 24.04.2013).

2.8.2.4. STATMATIC PLUS®



Abbildung 8: STATMATIC PLUS®⁵⁶

Hersteller: SciCAN

Benötigte Anschlüsse:

- Druckluftanschluss
- Netzspannung

Zyklusdauer Minimum: 3,3 Minuten

Ladungsmenge: 3 Adapter

Kompatibilität: alle gängigen Modelle⁵⁷

| | |
|-----------------|---|
| Reinigung: | |
| • Innen | + |
| • Außen | - |
| Desinfektion | - |
| Sterilisation | - |
| Pflege | + |
| Validierbarkeit | ? |

Tabelle 4: Statmatic Plus®

⁵⁶ <http://www.scican.de.com/index.cfm?PAGEPATH=&ID=36334> (Stand 24.04.2013).

⁵⁷ Vgl. <http://www.scican.de.com/index.cfm?PAGEPATH=&ID=36334> (Stand 24.04.2013).

2.8.3. Manuelle Aufbereitung

Auf Grund der weiten Verbreitung in der Praxis soll an dieser Stelle auch die manuelle Aufbereitung, auch wenn diese prinzipiell nicht zu empfehlen ist, kurz beschrieben werden.

Nach dem Einsatz von Hand-/Winkelstücken bzw. Turbinen und vor Patientenwechsel wird das dentale Übertragungsgerät für mindestens 30 Sekunden durchgespült.⁵⁸ Danach erfolgt die Außenreinigung mittels Wischdesinfektion. Für die Innenreinigung gibt es zum Beispiel Spraysysteme, die in der Regel aus drei Schritten bestehen, diese sind Reinigung, Desinfektion und Trocknung.⁵⁹

Je nach Herstellerangaben erfolgt die Pflege, zum Beispiel mit einem Ölspray.

⁵⁸ Siehe Kapitel "*Rechtliche Grundlagen*"

⁵⁹ Vgl. z.B.: http://www.alpro-dental.de/index.php?m=dpage_content:modul&pnr=250&PHPSESSID=058fb6a3726944d91e5d562ad0e3f113&child=&submenu_child=&subsubmenu_child=&child=13&submenu_child=3 (Stand 24.04.2013).

3. PRAKTISCHER TEIL

Zielsetzung:

Die praktischen Untersuchungen die zu dieser Arbeit geführt haben, hatten das Ziel aufgrund der im vorherigen Teil bereits ausführlich beschriebenen Problematik eine adäquate Methode zur Überprüfung der Reinigungsleistung von Aufbereitungsprozessen von zahnärztlichen Übertragungsinstrumenten zu finden.

Es spielten verschiedene Komponenten eine wichtige Rolle. Einerseits die Auswahl der geeigneten Prüfanschmutzung, sowie ein passendes Medium zum Aufbringen derselben. Weiters musste eine geeignete Simulation der Reinigungsgeräte unter standardisierten Bedingungen gefunden werden, um die verschiedenen Prüfanschmutzungen auch vergleichen zu können. Abschließend mussten die Ergebnisse auch objektivier- und quantifizierbar sein bzw. gemacht werden.

Sämtliche praktische Versuche dieser Arbeit wurden am Institut für angewandte Hygiene, Graz durchgeführt.

3.1. Prüfanschmutzung

Einen äußerst bedeutenden Teil bei der Entwicklung einer Prüfmethode stellt die Prüfanschmutzung, durch welche die Reinigungsleistung der unterschiedlichen Maschinen quantifizierbar gemacht werden soll, dar. Die Anschmutzung muss folgende Kriterien erfüllen:

- Möglichst realitätsnahes Verhalten (Ablöseverhalten vom Träger)
- Herstellung unter standardisierten Bedingungen
- Optische Überprüfbarkeit auf Restverschmutzung
- Reproduzierbarkeit
- Quantifizierbarkeit
- Anwenderfreundlichkeit
- gute Lagerungsfähigkeit

Um einen Überblick über bereits existierende Prüfanschmutzungen zu bekommen erfolgte eine Durchsicht der verwendeten Anschmutzungen, bei welcher sich folgende Zusammensetzungen für die Überprüfung der Reinigung dentaler Übertragungsinstrumente zeigten:

- Rinderserumalbumin (BSA)⁶⁰
- Suspension von *Enterococcus faecium* ATCC 6057⁶¹
- koagulationsfähiges Humanblut, mit *Enterococcus faecium* versetzt⁶²
- *Geobacillus stearothermophilus* ATCC 7953
- *Bacillus atrophaeus* ATCC 9372⁶³
- 0,5% Mucin- Lösung mit koagulationsfähigem Blut gemischt⁶⁴

Einige der oben genannten Anschmutzungen wurden in Arbeiten eingesetzt, die nicht nur die Reinigung, sondern auch die Desinfektions- und Sterilisationsleistung untersuchten. Für diese Studien ergab sich ein anderes Anforderungsprofil für die Zusammensetzung, da für die ausschließliche Untersuchung der Reinigungsleistung das Ablöseverhalten vom Objektträger mit und ohne Zugabe von chemischen Reinigungsmitteln die entscheidende Rolle spielte. Weiters wurde aufgrund der Anwenderfreundlichkeit bzw. möglicher Infektionsgefahr versucht, auf lebende Organismen als Prüfanschmutzung weitestgehend zu verzichten.

Wie bereits ausgeführt, ist bei dentalen Übertragungsinstrumenten aufgrund des Rücksaugens von Flüssigkeit beim Stoppen des Betriebs mit einer Kontamination der Innenflächen zu rechnen. Da diese Kontamination aus der Mundhöhle des Patienten stammt, besteht diese hauptsächlich aus Speichel, Blut sowie Wasser durch den Spray der Kühlung. Das Verhältnis dieser einzelnen Variablen ist äußerst heterogen, wobei in den Untersuchungen zu dieser Arbeit ein Verhältnis von 1:1:1 angenommen wurde, wohl wissend, dass es sich hierbei um eine Art „Worst-Case“ Szenario handelt, da der Wasseranteil in den meisten Fällen wohl um einiges höher ist. Doch da es sich um eine Prüfmethode handelt, soll sich die Anschmutzung

⁶⁰ Michels, W.; Schulz-Fincke, D.: Kontamination und Aufbereitung zahnärztlicher Übertragungsinstrumente sowie rotierender Instrumente. In: Aseptica, März/April 2009, Gütersloh.

⁶¹ Dürr, M.; Dummert, M.; Schulz-Fincke, D. et al.: Maschinelle thermische Aufbereitung von zahnärztlichen Übertragungsinstrumenten; Automated thermal reprocessing of dental turbines and hand- and anglepieces. Hyg Med 2008; 33 [3]; S. 74-79.

⁶² Simmonis, A.; Raab, D.; Martiny, H.: Aufbereitung zahnärztlicher Winkelstücke - Studie zur Wirksamkeit des Reinigungs- und Desinfektionsgerätes Turbocid®. Hygiene und Medizin 2008, 33(3); S. 80.

⁶³ Horna, S.: Experimentelle Untersuchungen zur thermischen Desinfektion von zahnärztlichen Übertragungsinstrumenten. Dresden, 2007 (Diplomarbeit); S. 20.

⁶⁴ Laut Gespräch mit Simon, Paul Gerhard, Simicon GmbH im März 2013.

an den schwierigsten Bedingungen orientieren, um auch für diesen Fall eine sichere Überprüfung zu garantieren.

Ziel des weiteren Vorgehens war es nun, das Verhalten eben dieser als Referenz ausgewählten Anschmutzung durch standardisiert einsetzbare Materialien zu ersetzen, welche sich möglichst ident verhalten.

3.1.1. Blut

Um die Komponente Blut in den Untersuchungen zu repräsentieren, wurde unter standardisierten Bedingungen gewonnenes heparinisiertes Schafblut der Firma Acila ausgewählt. Dieses stammt von einer überwachten Schafherde und wird einmal wöchentlich abgenommen und gekühlt versandt. Bei adäquater Lagerung ist die Verwendung für wissenschaftliche Zwecke bis 14 Tage nach Abnahme möglich.

Durch die Zugabe von Heparin wird das Blut ungerinnbar gemacht. Heparin bindet an Antithrombin III, einen körpereigenen Antagonisten der Gerinnungsfaktoren VII, XII, XI, X sowie Thrombin (II). Antithrombin III wird durch Heparin dahingehend unterstützt, dass es die Reaktionen um ein vielfaches schneller ablaufen lässt. Dadurch kommt es zu keiner Thrombinbildung, welche Voraussetzung zur Bildung von Fibrin ist, welches wiederum durch Vernetzung zu einer stabilisierten Koagulation führt, die damit ausbleibt. Dieser Effekt wird in der Medizin zur Thromboseprophylaxe zum Beispiel nach Operationen mittels parenteraler Verabreichung niedermolekularer Heparine genutzt.⁶⁵ Der Vorteil der Antikoagulation mittels Heparinen gegenüber oralen Antikoagulantien, wie zum Beispiel Phenprocoumon (Marcoumar®), besteht in der schnellen Antagonisierbarkeit der Wirkung mittels Protamin. Dieses gilt pharmakologisch als Antidot zu Heparin und sorgt für die Aufhebung der gerinnungshemmenden Wirkung binnen Minuten. Dies kann bei durch Heparin induzierten Blutungen bzw. prä- oder intraoperativ lebensrettend sein.⁶⁶

Bei den in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurde das heparinisierte Schafblut unmittelbar vor der Anwendung durch Zugabe von Protamin-Sulfat wieder koagulationsfähig gemacht. Dies ist für die Simulation der Umstände in der Praxis von Bedeutung.

⁶⁵ Silbernagl, S.: Blutstillung (Hämostase) und ihre Störungen. In: Silbernagl, S.; Lang, F.: Taschenatlas der Pathophysiologie. Stuttgart, 2005; S. 60-64.

⁶⁶ Lüllmann, H.; Mohr, K.; Hein, L.: Taschenatlas der Pharmakologie. Stuttgart, 2008; S. 146.

3.1.2. Speichel

Der Speichel (lat. *Saliva*) ist eine zum größten Teil von den drei paarigen Speicheldrüsen Glandula Parotis, Glandula submandibularis, Glandula sublingualis sowie von tausenden akzessorischen Drüsen der Mundhöhlenschleimhaut sezernierte Flüssigkeit mit folgenden Funktionen:

1. Spülfunktion für die Mundhöhle
2. Puffersystem von sauren bzw. basischen Stoffen
3. Remineralisation der Zahnhartsubstanz durch Fluorid, Kalzium, Phosphat
4. Beschichtung der Schleimhautoberfläche durch Muzin und Glykoproteine
5. Antibakterielle Funktionen durch Antikörper und Enzyme
6. Aufspaltung von Nahrungsbestandteilen durch Enzyme

Insgesamt wird pro Tag eine Menge von ca. 700 ml sezerniert, wobei große Schwankungen im Laufe des Tages auftreten. So wird z.B. vor und während der Nahrungsaufnahme der Speichelfluss gesteigert. Bei zahlreichen Erkrankungen bzw. bei Einnahme von bestimmten Medikamenten kann es zu einer verminderten Speichelsekretion kommen, was man als Oligosialie bzw. bei Mundtrockenheit als Xerostomie bezeichnet.

Die Zusammensetzung der einzelnen Bestandteile des Speichels ist sehr variabel, wobei er zu 99% aus Wasser sowie aus organischen und anorganischen Substanzen besteht. Zu den anorganischen zählen unter anderem Fluorid, Natrium, Kalium, Hydrogenkarbonat und Chlorid. Den organischen Bestandteilen sind zahlreiche Proteine wie Muzin, Glykoproteine, Enzyme, Kohlenhydrate, Lipide und Vitamine zuzurechnen. Frisch sezernierter Speichel ist als Abkömmling des Plasmas steril und wird erst bei Kontakt mit der Mundhöhle durch Bakterien kontaminiert. Durch die vorhandenen Bakterien im Speichel kann auf die Mundflora eines Patienten Rückschluss gezogen werden, was praktische Anwendung in diversen Kariesrisikotests findet. Makromolekulare Glykoproteine wie Muzin oder Statherin sind unter anderem für die Viskosität des Speichels verantwortlich.⁶⁷

Dass es sich bei Speichel um eine hoch komplex und sehr variabel zusammengesetzte Flüssigkeit handelt zeigt sich auch in der Tatsache, dass es äußerst schwierig ist bei

⁶⁷ Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln, 2009; S. 25-28.

Xerostomie mittels künstlich hergestelltem Speichel zufriedenstellende Ergebnisse zu erreichen. Doch gerade die Komponente Speichel war für die Prüfanschmutzung in dieser Arbeit von großer Bedeutung, da sowohl das Blut als auch das Kühlwasser unter standardisierten Bedingungen einsetzbar sind, nicht aber der Speichel.

Es wurde also nach einem Stoff gesucht, der sich in Bezug auf sein Ablöseverhalten und die optische Restverschmutzung möglichst ähnlich verhält wie Speichel. Daher wurden zur näheren Untersuchung Muzin, Tragant sowie ein Speichelersatzmaterial (Glandosane®) ausgewählt.

3.1.3. Muzin

Unter Muzinen versteht man großmolekulare Glykoproteine, welche von Zellen, zum Beispiel Becherzellen sezerniert werden und zu einer schleimigen Auskleidung der Oberfläche führen. Sie kommen an den Oberflächen des Respirations-, Gastrointestinal- und Urogenitaltrakts sowohl beim Menschen als auch bei Tieren vor. Ihre Funktion ist der Schutz der Oberfläche vor Austrocknung sowie gegen physikalische und chemische Reize, und die Passage von Substanzen durch den jeweiligen Trakt zu erleichtern.⁶⁸

Bestehend aus einem Proteinfaden, an welchem bis zu 200 Oligosaccharidketten hängen können, ist allen Muzinen ein anionisches Verhalten gemein. Insgesamt sind beim Menschen 17 verschiedene Muzingene bekannt, welche nach dem Zeitpunkt ihrer Entdeckung durchnummeriert sind. MUC1 und MUC4 sind sogenannte membrangebundene Muzine während MUC2, MUC5AC, MUC5B und MUC7 zu den sezernierten Muzinen gezählt werden. Diese liegen vernetzt über Disulfidbrücken als große Molekülaggregate vor und können über eine Netzbildung Wasser binden, was die Bildung eines zähflüssigen Schleims zur Folge hat.⁶⁹

Im menschlichen Speichel kommen Muzine in zwei unterschiedlichen Arten vor:

1. MG1-Muzine mit einer Molekularmasse von 1000 kDa.
2. MG2-Muzine mit einer Molekularmasse von 200 kDa.

⁶⁸ Perez-Vilar, J.; Hill, R. L.: The Structure and Assembly of Secreted Mucins. *Journal of Biological Chemistry*, 1999, 274(45); S. 31751–31754.

⁶⁹ Paulsen, F., Lüllmann-Rauch, R.: Taschenlehrbuch Histologie. Stuttgart, 2012; S. 112-113.

MG1-Muzine werden über das MUC5B-Gen kodiert und besitzen einen Kohlenhydratanteil von über 80%. Sie sind durch ihre hohe Wasserbindungsfähigkeit für die Gleitfähigkeit des Speisebreis verantwortlich und dienen dem Schutz der epithelialen Oberfläche der Mundhöhle. Eine weitere Funktion ist die Bildung eines viskoelastischen Gels, welches den Zahnschmelz überzieht (sog. Pellikel). Dies trägt wesentlich zum Schutz der Zahnhartsubstanz gegen bakterielle Besiedelung bei. Im Wesentlichen sind die MG1-Muzine für die Viskosität des Speichels verantwortlich, welche 10-20 mal höher ist als jene von Blutplasma.

Die Muzine vom Typ MG2 hingegen werden vom MUC7-Gen kodiert, sind durch kürzere Kohlenhydratketten gekennzeichnet und haben durch Bindung und Agglutination von Mikroorganismen antibakterielle Eigenschaften.⁷⁰

Es gibt zu jedem menschlichen Muzin auch ein entsprechendes Pendant im Tierreich was in der Wissenschaft Anwendung findet. Zum Beispiel Muzine von Schweinen, Rindern, Ratten, Mäusen, Hasen oder Fröschen. Bei porcinen Muzinen, also vom Schwein stammenden, werden sowohl submaxilläre als auch gastrische Muzine eingesetzt.⁷¹

In Untersuchungen von Vissink et. al. 1986 zeigte sich eine gute Vergleichbarkeit von bovinem submaxillärem Muzin sowie Muzinen aus Schweinemägen mit menschlichem Speichel bezüglich der Viskosität, der Befeuchtung der Mukosa und des Zahnschmelzes.⁷²

Aus diesem Grund werden Muzine auch bei der Produktion von Speichelersatzmaterialien gerne verwendet.

Daher wurde entschieden, für die Prüfanschmutzung Muzin aus Schweinemagen als Ersatz des menschlichen Speichels näher zu untersuchen.

3.1.4. Tragant

Unter Tragant wird ein Stoff verstanden, welcher von *Astragalus gummifer* und anderen zu Astragalus gehörigen Strauchpflanzen gewonnen wird und unter Einfluss von Wasser bereits bei geringen Konzentrationen eine hochvisköse Lösung ergibt. Tragant besteht zum größten Teil aus Polysacchariden, Proteoglykanen, Stärke und einem variablen Wasseranteil von 10-

⁷⁰ Reitemeier, B.; Schwenzer, N.; Ehrenfeld, M.: Einführung in die Zahnmedizin. Stuttgart, 2006; S. 125-126.

⁷¹ Perez-Vilar, J.; Hill, R. L.: The Structure and Assembly of Secreted Mucins. Journal of Biological Chemistry, 1999, 274(45); S. 31751–31754.

⁷² Vissink, A.; DeJong, H.; Busscher, H.; Arends, J.; Gravenmade, E.: Wetting properties of human saliva and saliva substitutes. J Dent res 65, 1986; S. 1121-1124.

15%. Anwendung findet Tragant in erster Linie als Bindemittel bei der Erzeugung pharmazeutischer Produkte und Zahnpasten sowie in Pulverform als Haftmittel für Zahnprothesen. Weiters wird es in der Medizin in steriler Form als Gleitmittel für Katheter eingesetzt. Früher war Tragant in der Nahrungsmittel-, Reinigungsmittel- und Textilindustrie weit verbreitet, doch wurde es in der Zwischenzeit von preiswerteren und leichter herstellbaren Alternativen weitgehend abgelöst.⁷³

Auch Tragant wurde in den praktischen Untersuchungen dieser Arbeit als möglicher Kandidat für einen Speichelersatz näher betrachtet.

3.1.5. Speichelersatzmittel

Wie bereits im Kapitel „Speichel“ näher erläutert, kann es durch Einnahme diverser Medikamente sowie durch bestimmte Erkrankungen zu einer verminderten Speichelproduktion kommen.

Eine Möglichkeit zur objektiven Messung der Speichelsekretion ist die Speichelfließrate unter stimulierten Bedingungen. Der Patient wird aufgefordert, nach Kauen auf einem Paraffinblock zur Stimulation, seinen Speichel innerhalb der nächsten fünf Minuten in einem Gefäß aufzufangen. Werte von über 5 ml innerhalb dieses Zeitraums werden als Normwert angesehen, ab unter 3,5 ml/5 min spricht man von Oligosialie.⁷⁴

Aufgrund dieser Problematik kann es für den betroffenen Patienten durchaus hilfreich sein auf ein künstliches Speichelersatzmittel zurück zu greifen.

Die Anforderungen an ein ideales Speichelersatzmittel sind die dauerhafte Benetzbarkeit der Mukosa und der Zähne, antibakterielle Eigenschaften, remineralisierende Wirkung auf die Zahnhartsubstanz, biologische Verträglichkeit sowie ein akzeptabler Geschmack. Vor der Einführung des ersten Speichelersatzmittels, Glandosane® 1972 waren lediglich Mundspüllösungen zur Linderung der Beschwerden im Einsatz. Die derzeit am Markt erhältlichen Mittel haben folgende Stoffe als Basis:

- Carboxymethylcellulose (CMC): *Glandosane®*, *Artisial®*, *VA-Oralube®*, *Luborant®*
- Hydroxyethylcellulose (HEC): *biotène®*, *Oralbalance®*

⁷³ Hänsel, R.; Sticher, O.: Pharmakognosie – Phytopharmazie. Berlin, 2009; S. 520-522.

⁷⁴ Hellwege, K. D.: Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe, Ein Leitfaden für die Individualprohylaxe, Gruppenprophylaxe und initiale Parodontaltherapie. Stuttgart, 2003; S. 75.

- Leinsamenöl: *Salinum*®
- Sorbitol: *Oralube*®
- Muzin: *Saliva medac*®, *Saliva Orthana*®

Darüberhinaus werden den Ersatzmitteln noch anorganische Zusätze (Mineralien), Enzyme sowie Geschmacksstoffe zugesetzt.⁷⁵

Prinzipiell ist anzumerken, dass aufgrund der außerordentlichen Komplexität des Speichels in Zusammensetzung und Funktion, es zwar bei sehr vielen Patienten zu einer deutlichen Minderung der Beschwerden durch Einsatz eines Ersatzmittels kommt, diese jedoch nicht alle Funktionen des menschlichen Speichels vollständig zu ersetzen vermögen. Weitere Kritikpunkte sind die hohen Kosten bei langfristigem Einsatz sowie der als störend empfundene Eigengeschmack der Substanzen.⁷⁶

Aufgrund der großen Vielfalt der erhältlichen Präparate wurde für die Versuche dieser Arbeit ein Speichelersatzmittel der Wirkstoffgruppe Carboxymethylcellulose (*Glandosane*®) ausgewählt, um Prüfanschmutzungen aus möglichst verschiedenen Bereichen zu untersuchen.

3.2. Methodik

3.2.1. Vorversuche (Immersion test rig)

Ziel der Vorversuche war es, einerseits zu sehen, wie sich die als Referenz festgelegte Mischung aus Blut, Wasser und Speichel (1:1:1) sowie deren Einzelkomponenten im Hinblick auf Haftungs- und Lösungseigenschaften unter Reinigungsbedingungen verhalten und andererseits das Verhalten der als Ersatzmaterialien ausgewählten Produkte zu untersuchen.

⁷⁵ Meyer-Lueckel, H.; Kielbassa, A.: Die Verwendung von Speichelersatzmitteln bei Patienten mit Xerostomie. Schweiz Monatsschr. Zahnmed. 112(10), 2002; S. 1037- 1058.

⁷⁶ Lockhart, P. B.: Oral complication of radiation therapy. In: Peterson, D. E.; Elias, E. G.; Sonis, S. T. (Eds.): Head and neck management of the cancer patient. Boston, 1991; S. 429– 449.

Testkomponenten:

- Heparinisiertes, standardisiertes Schafblut (Fa. Acila)
- Protaminsulfat (Fa. Acila)
- Aqua dest
- Speichelprobe (gepoolt)
- Muzin aus Schweinemagen Typ II (Firma.Sigma)
- Tragant (Gum Tragacanth)

Als Versuchsbedingungen wurden festgelegt:

- Raumtemperatur: ~23 °C
- Luftfeuchtigkeit: ~60 %

Herstellung der Testindikatoren:

1. Heparinisiertes Schafblut wird laut Beschreibung mit Protaminsulfat wieder koagulierungsfähig gemacht (5 ml Blut : 0,075 ml Protaminsulfat)
2. Muzin wird laut Beschreibung in der gewünschten Konzentration hergestellt
3. Tragant wird laut Beschreibung hergestellt
4. Gewünschte Kombination wird in einem sterilen Becherglas mittels einer Einmalspritze gemischt
5. 100 µl der jeweiligen Kombination werden auf einen Metallindikator (groß) aufgebracht und mittels Rakel auf dem Indikatorplättchen verteilt
6. Eintrocknung auf dem Indikator für 60 min.

Versuchsaufbau Immersion test rig⁷⁷:

Ein Glaskolben mit der Füllmenge 1 Liter wird mit Aqua dest befüllt und auf einem beheizbaren Magnetprüfer auf 37 °C bzw. 45 °C (+/- 2 °C) erhitzt. Diese Temperatur wird ständig mittels Thermometer überprüft und gehalten. Mit dem Magnetprüfer wird nun eine mechanische Wirkung produziert, welche sich einstellen und halten lässt.

⁷⁷ Köhnlein, J.; Glasmacher, R.; Heide, V. et al.: Ringversuch zur Standardisierung einer praxisrelevanten Prüfanschmutzung zur vergleichenden quantitativen Bewertung der Reinigung in Anlehnung an EN ISO 15883. Zentral Sterilisation 2008; 16 (6): 424-435.

vgl. weiters: Köhnlein, J.; Glasmacher, R.; Heide, V. et al.: Ringversuch zur Standardisierung einer praxisrelevanten Prüfanschmutzung zur vergleichenden quantitativen Bewertung der Reinigung in Anlehnung an EN ISO 15883 – Versuchsbeschreibung. Zentral Sterilisation, 2009; 17 (6): 410-415.

Die Indikatoren wurden einzeln mit einer Klemme in den Kolben eingebracht, wobei sich der Indikator nicht direkt im vom Magnetrührer erzeugten Strudel befinden sollte.

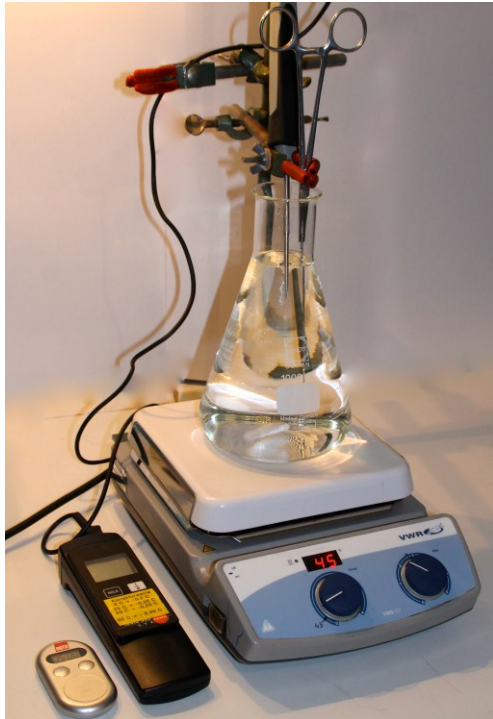


Abbildung 9: Immersion test rig

Im ersten Schritt der Tests wurde per Stoppuhr festgehalten, wie viel Zeit die jeweiligen Indikatoren benötigten, um optisch als sauber zu gelten, wobei 5 min als Zeitlimit festgelegt wurde.

3.2.1.1. Ergebnisse

Getestete Kombinationen:

- Blut + gepoolter Speichel 1:1 (1 ml:1 ml)
- Mucin 8 % + Blut 1:1
- Mucin 12,5 % + Blut 1:1
- Tragant + Blut

Diese ersten Tests zeigten, dass Tragant schwierig bis gar nicht vollständig mit dieser Methode zu entfernen war und kaum reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden konnten.

Muzin hingegen wies eine ähnlichere Beschaffenheit zum Blut-Speichel-Gemisch auf. Dieses löste sich zwar im Gegensatz zu Muzin auch nach 5 min nicht vollständig, jedoch kamen die Ergebnisse bezogen auf die optische Beschaffenheit von Muzin näher als Tragant.

Daraus resultierte der Entschluss, für die weiterführenden Tests Tragant auszuschließen.

Da es bei den hier verwendeten Muzin-Lösungen auch zu deutlichen Unterschieden im Vergleich zum Speichel-Blut Gemisch kam, musste die zu verwendende Konzentration von Muzin in den weiterführenden Tests der Hauptversuche ermittelt werden.

Eine weitere Besonderheit, die bereits in den Vorversuchen auffiel, waren die unterschiedlichen Koagulationszeiten des Blutes in den einzelnen Mischungen.

So koagulierte Blut alleine nach ca. 13-15 min, jedoch in Verbindung mit Speichel bereits nach 8-12 min. Bei Mischungen, welche Muzin enthielten, war auffällig, dass es zu keinerlei Koagulation kam. Durch Tragant wurde die Koagulationszeit nicht wesentlich verändert.

Da aber in Bezug auf die Anschmutzung eine Eintrocknung des Gemischs erwünscht ist, stellt die ausbleibende Koagulation von muzinhaltigen Lösungen kein Problem dar. Im Gegenteil, es wird damit verhindert, dass es zur Bildung einzelner Koagel kommt, welche das Reinigungsergebnis verzerren können.

3.2.2. Hauptversuche (Flow test rig)

3.2.2.1. Überprüfung der Reinigungsleistung ohne chemischen Reiniger

In den Experimenten der Hauptversuche wurden nun die Eigenschaften von Muzin in verschiedenen Konzentrationen im Vergleich mit dem Blut-Speichel-Wassergemisch sowie mit einem Speichelerersatzmaterial genauer untersucht, um der Anforderung, eine möglichst realitätsnahe Prüfanschmutzung zu erhalten, näher zu kommen.

Dazu wurden die angeschmutzten Testindikatoren in einem die Reinigungsgeräte imitierenden Versuchsaufbau, einem sogenannten „Flow test rig“, zunächst mit reinem VE-Wasser (ohne Zusatz eines chemischen Reinigers) unter standardisierten Bedingungen auf ihr Verhalten überprüft.⁷⁸

⁷⁸ Vgl. Vortrag: Buchrieser, N.; Buchrieser, V.; Freundlinger, T. et al.: Reinigungsindikatoren und Reiniger für RDG-E im Vergleich. ÖGSV-FAPW.

Verwendete Testkomponenten:

- Heparinisiertes, standardisiertes Schafblut (Fa. Acila)
- Protaminsulfat (Fa. Acila)
- Aqua dest
- gepoolte Speichelproben

Als zu testende Materialien wurden ausgewählt:

- Mucin aus Schweinemagen Typ II (Fa. Sigma)
- Speichelersatz (Glandosane®, Fa. Stada)



Abbildung 10: Testkomponenten der Vor- und Hauptversuche

Als Versuchsbedingungen wurden festgelegt:

Raumtemperatur: ~23 °C

Luftfeuchtigkeit: ~60 %

Herstellung der Testindikatoren:

1. Heparinisiertes Schafblut wird laut Beschreibung mit Protaminsulfat wieder koagulierungsfähig gemacht.
2. Mucin wird laut Beschreibung in der gewünschten Konzentration hergestellt
3. Gewünschte Kombination wird in einem sterilen Becherglas angemischt
4. 25 µl bzw. 35 µl der jeweiligen Kombination werden auf einen Metallindikator (klein) aufgebracht und mittels Rakel auf dem Indikatorplättchen verteilt
5. Eintrocknung auf dem Indikator für eine Stunde



Abbildung 11: Metallindikator

3.2.2.1.1. Klassische Anmischung von Muzin

Das in Pulverform vorliegende Muzin aus Schweinemagen wird laut Herstellerangaben gewogen und in einem sterilen Gefäß händisch in Aqua dest in Lösung gebracht.

Das in dieser Form gelöste Muzin stellte sich in der praktischen Handhabung jedoch aus zweierlei Gründen problematisch dar. Einerseits lässt sich Muzin bei Raumtemperatur trotz sorgfältigen Einrührens nicht vollständig in Aqua dest lösen. Dies kann zu einer unerwünschten Klümpchenbildung und somit zu einer Verfälschung der Testergebnisse aufgrund der erschwerten Reinigung beitragen. Andererseits führte ab einer Konzentration von 8 % die zunehmende Viskosität der Lösung zu einer Problematik hinsichtlich der Applikation von 25 µl auf den Indikator. Aus diesem Grund musste für diese Konzentrationen eine Menge von 35 µl auf die Indikatoren aufgetragen werden.

Um diese Probleme zu umgehen, wurde zusätzlich eine alternative Anmischmethode getestet.

3.2.2.1.2. Alternative Anmischung von Muzin⁷⁹

Die laut Beschreibung benötigte Menge für die jeweilige Konzentration an Muzin wird gewogen und auf dem Magnetrührer in lauwarmes (35-40 °C) Aqua dest in einem Becherglas eingerührt. Wenn sich das Pulver durch rühren nicht weiter lösen lässt, wird das Becherglas in einen Sterilisator gestellt. Es wird ein Programm eingestellt, welches 125 °C für 15 Minuten hält. Nach Programmende wird die Muzinlösung unter Einsatz eines Magnetrührers auf Raumtemperatur abgekühlt. Danach wird gleich verfahren wie mit der klassischen Anmischung.

Durch das Sterilisieren der Mischung und das anschließende Abkühlen ist das Blut-Mucingemisch nicht so zähflüssig und somit einfacher und gleichmäßiger auftragbar. Weiters wird durch diese Vorgehensweise die Klümpchenbildung verhindert.

⁷⁹ Laut Gespräch mit Simon, Paul Gerhard, Simicon GmbH im März 2013.

Versuchsaufbau Flow test rig (siehe Abb.12):

5 Liter VE-Wasser werden in einem Kochtopf erhitzt, mittels Thermometer ständig kontrolliert und auf derselben Temperatur gehalten. Die Temperatur des Wassers soll am Auslass konstant 45 °C (+/-2 °C) betragen.

Durch Silikonschläuche und ein Ausgleichsgefäß wird das erhitzte Wasser mittels elektrisch betriebener Schlauchpumpe mit konstant 0,7 bar in die Testkammer geleitet. Am Ende dieser Testkammer befindet sich der Auslass. Die Durchflussrate unter den hier vorliegenden Bedingungen betrug konstant 400 ml/min.

Die getrockneten Indikatoren werden mit der Klemme in die Testkammer eingebracht.

Sobald die Testkammer wieder an das Pumpensystem angeschlossen ist wird die Zeitnehmung gestartet. Durch die Transparenz der Testkammer ist eine ständige optische Überprüfung des Indikators möglich.

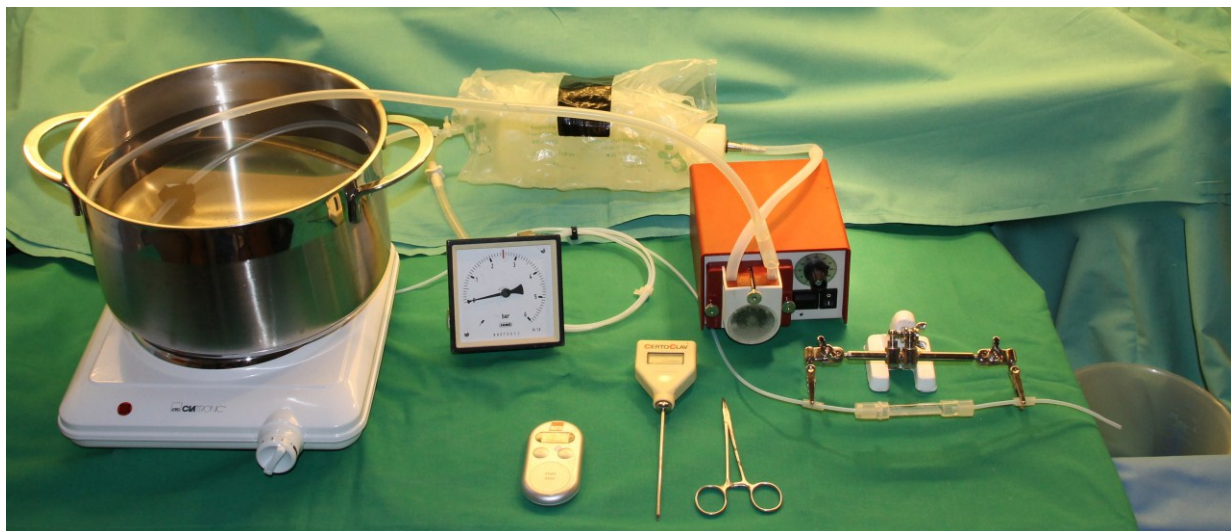


Abbildung 12: Flow test rig

Im Gegensatz zu den Vorversuchen im Becherglas wurden nun fixe Zeitintervalle eingeführt, die sich an gängigen Reinigungszeiten der Aufbereitungsmaschinen orientieren.

Zu Anfang wurden die Indikatoren nach 2 Minuten, 5 Minuten und 10 Minuten überprüft. Nachdem die Ergebnisse miteinander korrelierten, wurde das Zeitintervall für die folgenden Tests auf 5 Minuten bzw. 10 Minuten, aus ebengenannten Gründen, festgelegt.

Nach Ablauf des Intervalls wurde die Pumpe gestoppt, der Indikator mittels Klemme aus der Testkammer entnommen und zur Trocknung auf Papier gelegt. Nach Trocknung aller Indikatoren einer Charge wurde die optische Überprüfung durchgeführt.

Die Tests wurden prinzipiell für jede Anschmutzung sechsmal wiederholt, wenn jedoch aus den ersten drei Versuchsreihen klar ersichtlich war, dass die jeweilige Anschmutzung die Anforderungen nicht annähernd zu erfüllen vermochte, wurde bereits nach 3 Wiederholungen gestoppt.

3.2.2.2. Optische Überprüfung auf Restverschmutzung

Um eine schnelle optische Überprüfung der getesteten Indikatoren unter objektivierbaren Bedingungen durchführbar zu machen, musste ein einheitliches Bewertungsschema (Score) erstellt werden.

Ziel dieses Scoresystems war es, das Ausmaß optisch sichtbarer Restverschmutzungen an den Indikatoren in einem numerischen Schema (0-4) zu erfassen:






| Score | Beschreibung | Beispielbild |
|-------|---|--|
| 0 | Makroskopisch keine Restverschmutzung erkennbar |  |
| 1 | Vereinzelte farblose Beläge erkennbar |  |
| 2 | Konfluierende farblose Beläge erkennbar |  |
| 3 | Homogener farbloser Belag an gesamter angeschmutzter Oberfläche erkennbar |  |
| 4 | Rötlich gefärbte Restverschmutzungen, Hinweis auf Hämoglobinreste |  |

Tabelle 5: Bewertungsschema für Sichtprüfung

Mit Hilfe dieser Skala war es möglich, die einzelnen Indikatoren sowohl optisch zu bewerten als auch konkreten Zahlenwerten zuzuordnen. Diese Zahlenwerte wurden für jede getestete Anschmutzung erfasst und das arithmetische Mittel errechnet. Um eine statistische Signifikanz zu erhalten war es notwendig, von jeder Anschmutzung mindestens sechs Indikatoren herzustellen, zu reinigen und zu bewerten.

Durch die nun vorliegenden Mittelwerte wurde es möglich, die einzelnen Testanschmutzungen mit der Referenzanschmutzung sowohl qualitativ als auch quantitativ in Relation zu setzen.

3.2.2.2.1. Ergebnisse der Hauptversuche ohne Reiniger

In der unten angeführten Tabelle sind alle untersuchten Anmischungen für die Ermittlung der zur Referenz möglichst ähnlichen Testanschmutzung mit den jeweiligen Mittelwerten des Scoresystems dargestellt.

| Anmischung | Verhältnis | Score-Mittelwert | Reinigungszeit (min) |
|--|------------|------------------|----------------------|
| Blut | unverdünnt | 1,75 | 5 |
| Blut + Aqua dest | 1:1 | 1,5 | 5 |
| Blut + Aqua dest | 1:2 | 1,61 | 5 |
| Blut + Aqua dest | 1:3 | 0,34 | 5 |
| Speichel | unverdünnt | 1 | 5 |
| Blut + Speichel | 1:1 | 3 | 5 |
| Blut + Speichel + Aqua dest | 1:1:1 | 3 | 10 |
| Blut + Glandosane® | 1:1 | 1,34 | 5 |
| Muzin klassische Anmischung: | | | |
| Blut + Aqua dest + Muzin 8 % (entspricht Blut + Muzin 4 % 1:1) | 1:1:1 | 1,34 | 5 |
| Blut + Muzin 0,5 % | 1:1 | 0,63 | 5 |
| Blut + Muzin 0,5 % | 1:4 | 0 | 5 |
| Blut + Muzin 10 % | 1:1 | 3,34 | 5 |
| Blut + Muzin 15 % | 1:1 | 3,34 | 5 |
| Blut + Muzin 20 % | 1:1 | 3 | 5 |
| Muzin alternative Anmischung: | | | |
| Blut + Muzin 1 % | 1:1 | 1,17 | 10 |
| Blut + Muzin 2,5 % | 1:1 | 1 | 10 |
| Blut + Muzin 5 % | 1:1 | 3 | 10 |
| Blut + Muzin 7,5 % | 1:1 | 3,31 | 10 |
| Blut + Muzin 10 % | 1:1 | 3,67 | 10 |

Tabelle 6: Ergebnisse ohne Reiniger

3.2.2.2.1.1. Referenz

Bei der aus Blut, Speichel und Aqua dest im Verhältnis 1:1:1 bestehenden Referenz zeigte sich nach einer Reinigungszeit von 10 min. ein gut reproduzierbarer, farbloser Belag als Restverschmutzung, welcher sich auf der gesamten angeschmutzten Fläche in einer homogenen Schicht darstellte. Daher wurden die Testindikatoren der Referenz durchwegs mit dem Wert 3 des Scoresystems beurteilt.

Um nun die für diese Restverschmutzung verantwortlichen Komponenten zu ermitteln wurden sowohl Blut als auch Speichel unabhängig voneinander der Testmethode zugeführt.

Die Testanschmutzung, welche nur Blut enthielt, erreichte bereits nach 5 min Reinigungszeit mit einem Mittelwert von 1,75 einen deutlich niedrigeren Wert als die Referenz, woraus geschlossen werden kann, dass Blut alleine nicht für die Haftfähigkeit der Referenz ausschlaggebend ist. Es zeigten sich zwar auch farblose Restrückstände auf den Indikatoren, jedoch waren diese in Menge und Homogenität nicht mit jenen der Referenz vergleichbar. Bei zunehmender Verdünnung des Blutes mit Aqua dest. im Verhältnis 1:1, 1:2 und 1:3 zeigte sich erst bei einer Verdünnung von 1:3 eine signifikante Abnahme des Score-Mittelwertes auf 0,34.

Die Untersuchungen mit reinem Speichel ergaben nach 5 min. Reinigungszeit eine mit Mittelwert 1 bewertete, noch geringere Restverschmutzung als unverdünntes Blut. Dies legt nahe, dass zum Erreichen des Referenzergebnisses sowohl die Blut- als auch die Speichelkomponente eine wichtige Rolle spielen.

Weiters wurde nun Blut und Speichel im Verhältnis 1:1 gemischt, um den Einfluß der Verdünnung durch Aqua dest. in der Referenz zu ermitteln. Hierbei zeigte sich gegenüber der Referenz keine wesentliche Veränderung der Restverschmutzung, woraus der Schluss gezogen wurde, dass die Verdünnung durch Aqua dest. in der Konzentration der Referenz kaum Einfluss auf das Verhalten hat. Der Grund, warum der Referenzanschmutzung dennoch Aqua dest. beigemischt wurde, ist in der Anforderung, auch das Kühlwasser in der Anschmutzung zu repräsentieren, begründet.

Da nun feststand, dass die Verwendung von Blut alleine für die Testanschmutzung nicht ausreichend war, musste die komplexe Speichelkomponente durch die oben beschriebenen Präparate ersetzt werden.

3.2.2.2.1.2. *Speichelersatzmittel*

Um das Verhalten von Speichelersatzmittel zu untersuchen, wurde das auf Carboxymethylcellulose-Basis hergestellte Präparat Glandosane® (Fa. Sata) im Verhältnis 1:1 mit Blut gemischt.

Bereits nach 5 Minuten Reinigung zeigte sich ein Verhalten, welches sich deutlich von der Referenz unterschied. Die Restverschmutzung der Oberfläche zeigte starke Ähnlichkeiten zu unverdünntem Blut, was sich auch in einem Score-Mittelwert von 1,34 widerspiegelte. Da Glandosane® sich offenbar nicht als Ersatz für Speichel unter den hier vorliegenden Testbedingungen eignet wurde es von weiteren Untersuchungen ausgeschlossen.

3.2.2.2.1.3. *Muzin*

Für die Untersuchungen dieser Arbeit wurde Muzin aus Schweinemagen Typ II der Firma Sigma verwendet. Im Gegensatz zu den Speichelersatzmaterialien, welche teilweise auch auf Muzin-Basis hergestellt sind, ist diese Darreichungsform, aufgrund der Möglichkeit, Proben in verschiedenen Konzentrationen frisch anmischen zu können, für wissenschaftliche Untersuchungen brauchbarer. Ein weiterer Vorteil ist das Vorliegen des reinen Muzins in Pulverform ohne andere Zusätze, wie etwa in den fertigen Speichelersatzpräparaten.

Zu Beginn der Hauptversuche wurden die aus den Vorversuchen erhaltenen Informationen in Bezug auf Muzin dahingehend weiterverfolgt, dass nun das Verhalten von Muzin in zunehmender Konzentration in Verbindung mit Blut untersucht wurde.

Vergleiche von Muzin 0,5 % und Blut im Verhältnis 1:1 und 4:1 zeigten ein viel zu leichtes Ablösen bei sehr geringer Restverschmutzung (Mittelwert 0,625 bzw. 0). Nun wurde die Konzentration auf 4 % angehoben und zu gleichen Teilen mit Blut gemischt, was sich in einer zwar erhöhten Restverschmutzung niederschlug, welche mit mittelwertig 1,18 verzeichnet wurde, aber immer noch deutlich zu niedrig ausfiel.

Im nächsten Schritt wurde die Konzentration auf 10, 15 bzw. 20 % erhöht, wobei sich das bereits aus den Vorversuchen bekannte Problem der hohen Viskosität der nach der klassischen Anmischmethode zubereiteten Muzinlösungen erneut zeigte. Wie bereits oben beschrieben, mussten daher 35 µl statt 25 µl auf die Indikatoren aufgetragen werden. Die Restverschmutzung stieg in diesen Konzentrationen in etwa auf das Niveau der Referenz an, doch zeigten sich Klümpchen auf der Oberfläche der Indikatoren nach dem

Reinigungsvorgang, welche nicht mit der homogenen Schicht der Referenzanschmutzung vergleichbar waren.

Aufgrund dieser Problematik musste die Anmischung des Muzinpulvers neu überdacht werden, was zur oben beschriebenen alternativen Anmischmethode führte. Diese ist zwar wesentlich zeitintensiver, da das Autoklavieren und erneute Abkühlen auf Raumtemperatur viel Zeit benötigt, doch ist es damit möglich, sowohl 25 µl auf die Indikatoren zu applizieren als auch homogene Schichten ohne Klümpchen zu erzeugen.

Da in dieser Form angemischtes Muzin eine geringere Viskosität aufweist, war davon auszugehen, dass es sich auch im Ablöseverhalten anders verhält als klassisch angemischtes Muzin. Daher wurden Konzentrationen von 1 %, 2,5 %, 5 % sowie 10 % erneut im Verhältnis von 1:1 mit Blut untersucht. Hierbei zeigte sich ein erwartungsgemäß mit zunehmender Konzentration ansteigender Restverschmutzungs-Mittelwert, welcher ab 5 % in den Bereich der Referenz (Mittelwert 3) kam. Die 10-prozentige Konzentration wies hingegen bereits ein zu hohes Restverschmutzungsverhalten auf, da häufig Hämoglobinreste auf den Testplättchen festzustellen waren und die Oberfläche stärker als in der Referenz belegt war. Die Testanschmutzung der Konzentration 5 % wies hingegen eine etwas zu schwach ausgeprägte Restverschmutzung auf, da in diesem Fall die Oberfläche zwar homogen belegt war, jedoch etwas zarter war als die Referenz.

Aus diesem Grunde wurde eine Testanschmutzung mit der Konzentration 7,5 % überprüft, welche mit Mittelwert 3,31 zwar etwas höher lag als die Referenz, dieser aber im Ablöseverhalten und Beschaffenheit der Oberfläche sehr nahe kam (siehe Abb. 13).

Um alle Eventualitäten abdecken zu können muss die Prüfanschmutzung auch das Worst-Case-Szenario berücksichtigen.

In diesem Fall stellt der etwas höhere Mittelwert sowie das gelegentliche Auftreten von Hämoglobinresten sicher, dass eben dieser schlimmste aller möglichen Fälle miteinbezogen werden kann.

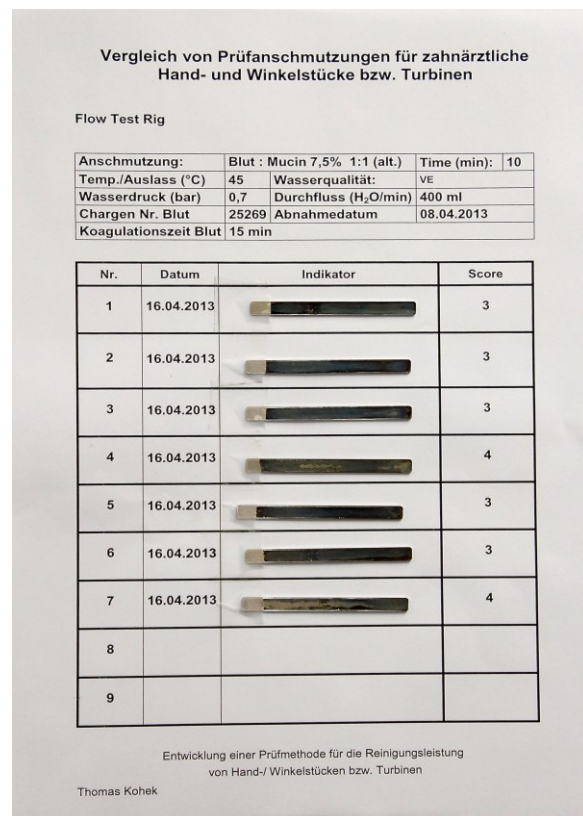
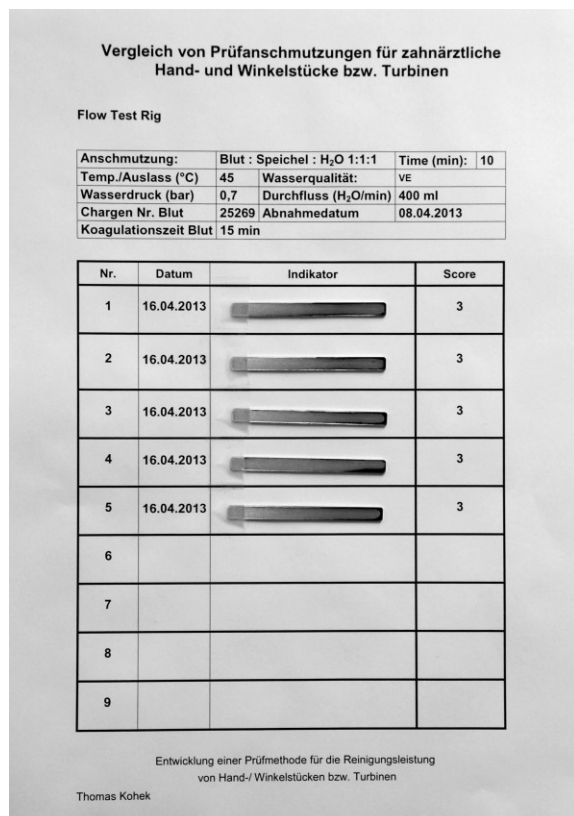


Abbildung 13: Referenz (links) und Testanschmutzung Muzin 7,5 % + Blut 1:1 (rechts)

Die bisherigen Untersuchungen wurden allesamt unter Reinigungsbedingungen mit reinem VE-Wasser ohne Zusatz von chemischen Reinigern durchgeführt. Da nun bereits brauchbare Prüfanschmutzungen vorlagen musste im nächsten Schritt überprüft werden, wie sich diese in Verbindung mit einem chemischen Reiniger verhalten bzw. ob das Verhalten mit dem der Referenz vergleichbar ist.

3.2.2.3. Überprüfung der Reinigungsleistung mit chemischem Reiniger

Zur Überprüfung des Reinigungsverhaltens mit dem Zusatz eines chemischen Reinigers wurde im Prinzip der selbe Versuchsaufbau (Flow test rig) wie bei den Versuchen ohne Reiniger angewandt. Da für eine adäquate Reinigungsleistung auch der chemische Reiniger von entscheidender Bedeutung ist, das Ziel dieser Arbeit jedoch nicht die Überprüfung verschiedener Reiniger war, wurde auf ein Präparat zurückgegriffen, welches sich im alltäglichen Gebrauch als bewährt herausgestellt hat.

Aus diesen Gründen wurde für die Untersuchungen der Reiniger Neodisher® MediClean forte der Firma Dr. Weigert ausgewählt, welcher Kalilauge und Tenside enthält. Die

Reinigungswirkung beruht auf einer alkalischen, enzymatischen Basis, wodurch es zur Lösung von Proteinen mit gleichzeitiger Verhinderung der Wiederanlagerung derselben kommen soll.⁸⁰

Verwendete Testkomponenten:

- Heparinisiertes, standardisiertes Schafblut (Fa. Acila)
- Protaminsulfat (Fa. Acila)
- Aqua dest
- gepoolte Speichelproben
- Neodisher® MediClean forte (Fa. Dr. Weigert)



Abbildung 14: Neodisher® MediClean forte (Dr. Weigert)

Als zu testendes Material wurde ausgewählt:

- Muzin aus Schweinemagen Typ II (Fa. Sigma)

Als Versuchsbedingungen wurden festgelegt:

Raumtemperatur: ~23 °C

Luftfeuchtigkeit: ~60 %

⁸⁰ [http://www.drweigert.com/web/web-D.nsf/P2_D%20\(P\)%20D1015_Miele-Weigert.pdf](http://www.drweigert.com/web/web-D.nsf/P2_D%20(P)%20D1015_Miele-Weigert.pdf) (Stand 23.04.2013).

Herstellung der Testindikatoren:

1. Heparinisiertes Schafblut wird laut Beschreibung mit Protaminsulfat wieder koagulierungsfähig gemacht
2. Muzin wird laut Beschreibung in der gewünschten Konzentration hergestellt
3. Gewünschte Kombination wird in einem sterilen Becherglas angemischt
4. 25 µl bzw. 35 µl der jeweiligen Kombination wird auf einen Metallindikator (klein) aufgebracht und mittels Rakel auf dem Indikatorplättchen verteilt
5. Eintrocknung auf dem Indikator für eine Stunde

Versuchsaufbau:

Der Grundaufbau ist der derselbe wie bei den Versuchen mit dem Flow test rig ohne Reiniger. Statt des reinen VE-Wassers werden 5 Liter einer 0,5 % Reinigungslösung mit dem Reiniger Neodisher® MediClean forte hergestellt. Um diese Reinigungslösung herzustellen, wird VE Wasser verwendet und der Reiniger laut Beschreibung zugefügt.

Damit die Reinigungslösung konstant 0,5 % beträgt wird mittels einer am Auslass fixierten Rückleitung über einen angesteckten Schlauch ein geschlossener Kreislauf hergestellt. Die Temperatur der Reinigungslösung soll am Rückfluss in den Behälter konstant 45 °C (+/- 2 °C) betragen.

Auch hier wurden fixe Zeitintervalle eingeführt, welche sich nach den gängigen Reinigungszeiten der Aufbereitungsmaschinen richten.

Zu Anfang wurden die Indikatoren nach 2 Minuten, 5 Minuten und 10 Minuten überprüft. Nachdem die Ergebnisse miteinander korrelierten, wurde das Zeitintervall für die folgenden Tests auf 10 Minuten, aus ebengenannten Gründen, festgelegt.

3.2.2.3.1. Ergebnisse der Hauptversuche mit Reiniger:

| Anmischung | Verhältnis | Score-Mittelwert | Reinigungszeit (min) |
|-------------------------------------|------------|------------------|-------------------------|
| Blut | unverdünnt | 0 | 10 |
| Blut + Speichel | 1:1 | 1, 0, 0 | 2, 5, 10 |
| Blut + Speichel + Aqua dest | 1:1:1 | 0 | 10 |
| Muzin klassische Anmischung | | | |
| Blut + Muzin 10 % | 1:1 | 0, 0, 0 | 2, 5, 10 |
| Blut + Muzin 15 % | 1:1 | 0, 0, 0 | 2, 5, 10 |
| Muzin alternative Anmischung | | | |
| Blut + Muzin 2,5 % | 1:1 | 0 | 10 |
| Blut + Muzin 5 % | 1:1 | 0 | 10 |
| Blut + Muzin 7,5 % | 1:1 | 0 | 10 |

Tabelle 7: Ergebnisse mit Reiniger

Es wurden sowohl Blut unverdünnt als auch Blut und Speichel im Verhältnis von 1:1 sowie die Referenz aus Blut, Speichel und Aqua dest der Testmethode zugeführt, wobei sich eine nahezu völlige optische Sauberkeit der Indikatoren zeigte. Lediglich nach 2 min Reinigungszeit von Blut und Speichel 1:1 waren optisch geringe Rückstände feststellbar, welche nach 5 bzw. 10 min aber völlig verschwanden.

Im Anschluss daran wurde Muzin nach der klassischen Anmischmethode in den Konzentrationen 10 % bzw. 15 % untersucht. Auch hier wurde in beiden Fällen bereits nach 2 min im Testbetrieb eine optische Sauberkeit erreicht.

Als Letztes wurde Muzin nach der alternativen Anmischmethode der Reinigungslösung zugeführt. Hierbei wurde für die Konzentrationen 2,5 %, 5 % und 7,5 % bei einer Reinigungszeit von 10 Minuten, welche den Zyklen der gängigen Geräte entspricht, keine optischen Restverschmutzungen nachgewiesen.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde zum einen gezeigt, dass es durch die Zugabe des Reinigers zu einer deutlichen Verbesserung der Reinigungsleistung kommt. Zum anderen wurde, in Verbindung mit den Versuchen ohne Zugabe von Reiniger, der Schluss gezogen, dass sich die Testanschmutzung Muzin 7,5 %, angemischt nach der alternativen Methode, zu gleichen Teilen mit Blut vermischt, in Summe am ähnlichsten zur Referenz verhält. Die geringfügig höhere Restverschmutzung bei den Versuchen ohne Reiniger stellte in den Versuchen nach Reinigerzugabe kein Problem dar.

Dennoch muss an dieser Stelle deutlich gemacht werden, dass es sich bisher um reine optische Überprüfungen gehandelt hat, in welchen die Menge der Restverschmutzung nicht eindeutig ermittelt wurde.

Trotzdem wird der Sichtprüfung für die Reinigungsleistung ein hoher Stellenwert beigemessen, da wie bereits eingangs erläutert, die optische Sauberkeit als Voraussetzung einer nachfolgenden Desinfektion bzw. Sterilisation gilt und die optische Kontrolle nicht zuletzt auch in der Praxis einen hohen Stellenwert einnimmt.

3.2.3. Überprüfung der Restverschmutzung durch Proteintest

Um die in den Versuchen aufgebrauchte bzw. verbliebene Kontamination der Indikatoren zu quantifizieren, ist ein Nachweis des Proteingehalts notwendig. Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen laborchemischen Methoden, welche sich zum Proteinnachweis eignen.

Einerseits existieren Möglichkeiten, Proteine nach ihrer Zusammensetzung bzw. nach ihrer Reinheit zu bestimmen, wofür elektrophoretische sowie chromatographische Verfahren Anwendung finden.

Weiters ist es möglich das Molekulargewicht von Proteinen mittels Elektrophorese, Gelfiltration, Ultrazentrifugation oder Massenspektrometrie zu bestimmen.

Für die Untersuchungen dieser Arbeit entscheidend ist jedoch die Mengen- bzw. Konzentrationsbestimmung von Proteinen. Hierfür stehen prinzipiell folgende Verfahren zur Verfügung:

- Biuret-Assay
- Lowry-Assay
- BCA-Methode
- Bradford-Assay

Biuret-, Lowry- und BCA-Assay beruhen im Wesentlichen auf einer Reaktion von Cu^{2+} mit verschiedenen Peptiden durch welche es zu einer Verbindung kommt, die eine violette Färbung aufweist.

Die Biuret – Methode liegt mit ihrer Nachweisgrenze im mg-Bereich, für diese Untersuchungen zu hoch, während sowohl die Lowry- als auch die BCA-Methode im μg -Bereich liegen. Da jedoch der Lowry-Assay mehr Zeit in Anspruch nimmt und störanfälliger in der Durchführung ist, wurde hier auf die BCA-Methode zurückgegriffen.⁸¹

⁸¹ Pingoud, A.; Urbanke, C.: Arbeitsmethoden der Biochemie. Berlin, 1997; S. 149-152.

3.2.3.1. BCA-Assay:

Die Abkürzung BCA steht für Bicinchoninsäure, welche als Na-Biconchinat nach Reduktion von Cu^{2+} zu Cu^+ mit diesem zu einer selektiven Komplexbildung mit typischer Farbgebung führt. Dies geschieht nach Inkubation über einen definierten Zeitraum mit anschließender photometrischer Analyse bei 562 nm.⁸²

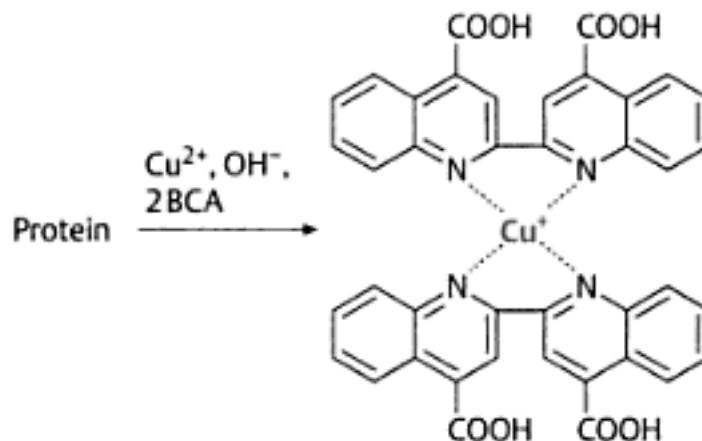


Abbildung 15: BCA-Reaktion (Quelle: Richter, Kallenhoff Buch)

Für die Proteinbestimmung in dieser Arbeit wurde der BCA-Assay der Firma Thermo Scientific (Pierce Biotechnology) ausgewählt.

In einem ersten Schritt erfolgt die Präparation eines Proteinstandards. Hierfür wird eine bekannte Menge von bovinem Serum Albumin (BSA) einer Verdünnungsreihe zugeführt, inkubiert und anschließend im Photometer eine Standardkurve der bekannten Konzentrationen erstellt. Mit Hilfe dieser Standardkurve werden nun die Proben mit den unbekannt Konzentrationen ermittelt.

Für die Tests standen zwei Protokolle der Standarderstellung zur Verfügung.

Bei der ersten, dem sogenannten Standard Protocol wurde eine Menge von 300 μl BSA, was einer Konzentration von 2.000 μg entspricht, nun schrittweise mit Aqua dest verdünnt bis zu einer Konzentration von 25 μg im letzten Standard. Daraus ergeben sich die Nachweisgrenzen von diesem Protokoll von 25 – 2.000 $\mu\text{g/ml}$.

⁸² Richter, G.; Kaldenhoff, R.: Praktische Biochemie, Grundlagen und Techniken. Stuttgart, 2003; S. 198.

| Standard | Verdünnung (µl) | BSA (µl) | BSA Konzentration µg/ml |
|----------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| A | 0 | 300 aus Ampulle | 2.000 |
| B | 325 | 325 aus Ampulle | 1.000 |
| C | 325 | 325 aus B | 500 |
| D | 325 | 325 aus C | 250 |
| E | 325 | 325 aus D | 125 |
| F | 400 | 100 aus E | 25 |
| 0 | 400 | 0 | 0 |

Tabelle 8: Standard Protocol

Standard Protocol

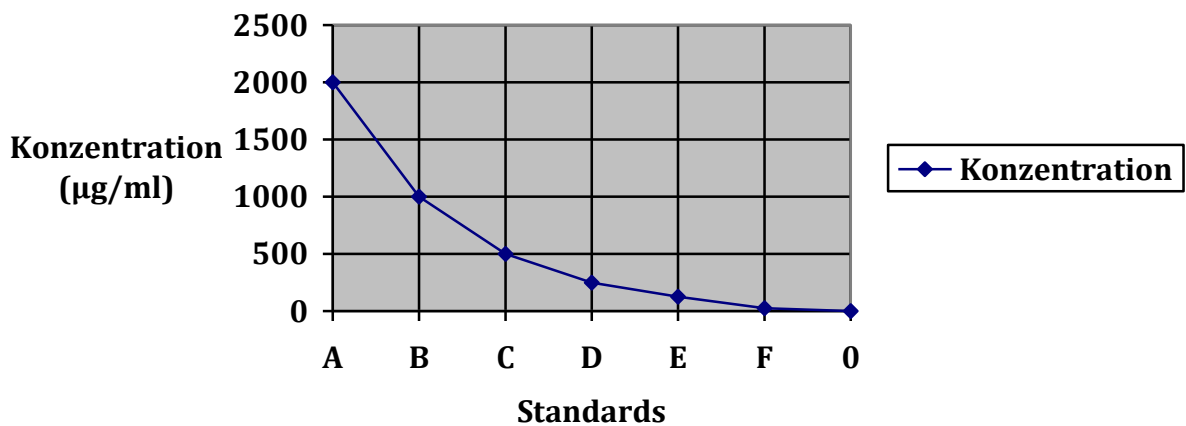


Diagramm 1: Standard Protocol

Um die untere Nachweisbarkeitsgrenze abzusenken wird das sogenannte Enhanced Protocol verwendet, bei welchem die Verdünnungsreihe mit 100 µl BSA, was einer Konzentration von 250 µg/ml entspricht, begonnen wird und bis 5 µg/ml verdünnt wird. Demnach liegt die Nachweisgrenze für das Enhanced Protocol bei 5 – 250 µg/ml.

| Standard | Verdünnung (µl) | BSA (µl) | BSA Konzentration (µg/ml) |
|----------|-----------------|-----------------|---------------------------|
| A | 700 | 100 aus Ampulle | 250 |
| B | 400 | 400 aus A | 125 |
| C | 450 | 300 aus B | 50 |
| D | 400 | 400 aus C | 25 |
| E | 400 | 100 aus D | 5 |
| 0 | 400 | 0 | 0 |

Tabelle 9: Enhanced Protocol

Enhanced Protocol

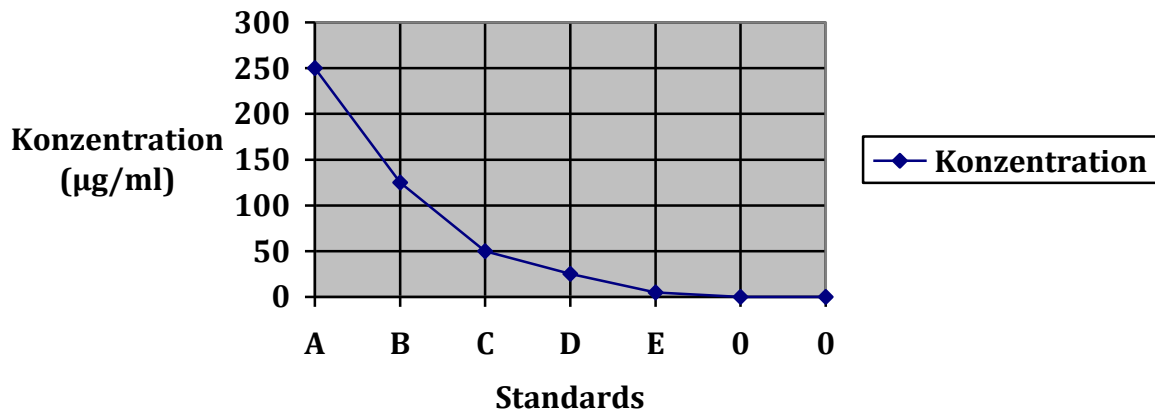


Diagramm 2: Enhanced Protocol

Diese Standards sowie die zu testenden Proben mussten nun mit einer Arbeitslösung, bestehend aus 50 Teilen Reagenz A und einem Teil Reagenz B gemischt werden um die Reaktion zu starten. Es wurden 0,1 ml Probe bzw. Standard mit 2 ml der Arbeitslösung vermengt und anschließend bei 37 °C für 30 min (Standard Protocol) bzw. bei 60 °C für 30 min (Enhanced Protocol) inkubiert.

Nach Ablauf dieser Zeit wurden die Proben bzw. Standards in Küvetten übertragen und unverzüglich photometrisch bei 562 nm ausgewertet (Photometer: Shimadzu UV-1602), wobei der jeweilige 0-Standard im hinteren Steckplatz des Photometers zum Nullabgleich belassen wurde.

3.2.3.2. Bestimmung der Ausgangskonzentrationen

Im ersten Schritt der Bestimmung des Proteingehalts der Testansammlungen bzw. Referenz musste zunächst der Ausgangswert bestimmt werden, welcher auf den Indikatoren vor der Reinigung aufgebracht wird.

Dazu wurden die Komponenten zunächst einzeln und danach in ihrer jeweiligen Kombination überprüft, um herausfinden zu können, welche Komponente welchen Anteil an der schließlich applizierten Menge hat.

| Komponente (100 µl) | Verdünnung (Aqua dest) | Proteinmenge (µg/ml) | ergibt im Mittel in 25 µl (µg/ml) |
|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Speichel | unverdünnt | 1643,31 | 474,14 |
| | 1:10 | 214,98 | |
| Muzin 7,5 % alt. | 1:10 | 1520,94 | 4040,28 |
| | 1:100 | 171,91 | |
| | 1:100 | 148,93 | |
| | 1:100 | 173,51 | |
| Blut (Serum) | 1:100 | 850,21 | 21363,25 |
| | 1:100 | 851,67 | |
| | 1:100 | 861,71 | |

Tabelle 10: Ausgangsproteingehalt der Einzelkomponenten

Um zu den Ergebnissen der oben angeführten Tabelle zu gelangen, musste herausgefunden werden, in wie weit man die einzelnen Komponenten mit Aqua dest verdünnen musste, um in den messbaren Bereich des hier verwendeten Standard Protocols (20 – 2.000 µg/ml) zu gelangen.

Bei 100 µl unverdünntem Speichel war es genauso möglich in diesen Bereich zu gelangen wie bei einer Verdünnung von 1:10. Nach Abzug des Verdünnungsfaktors wurden die Werte durch 4 dividiert, um auf die in den Versuchen aufgebrauchten 25 µl zu kommen. Dieser lag bei Speichel im Mittel bei 474,14 µg/ml.

Für die Bestimmung der Ausgangskonzentration von 100 µl Muzin 7,5 %, angemischt nach der alternativen Methode, war eine Verdünnung um 1:10 bzw 1:100 notwendig, da die unverdünnte Lösung über der Nachweisgrenze lag. Hierbei wurde ein Mittelwert des Proteingehalts von 4040,28 µg/ml in 25 µl ermittelt.

Die letzte Einzelkomponente, Blut, musste aufgrund ihrer starken Färbung, welche zu Verfälschungen in der photometrischen Auswertung führen würde, zunächst zentrifugiert werden um das farblose Serum für die Bestimmung zu gewinnen. Nach anschließender Verdünnung auf 1:100 mit Aqua dest konnte auch hier der Proteingehalt bestimmt werden. Dieser betrug im Mittel 21.363,25 µg/ml.

| Anmischung | Menge (µl) | Verdünnung (Aqua dest) | Proteinmenge (µg/ml) | ergibt im Mittel in 25 µl (µg/ml) |
|--------------------------------------|------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Blut : Speichel : Aqua dest 1:1:1 | 100 | 1:100 | 545,25 | 13.926,50 |
| | 100 | 1:100 | 554,42 | |
| | 25 | 1:100 | 138,45 | |
| | 25 | 1:100 | 143,69 | |
| Blut : Muzin 7,5 % alt. 1:1 | 100 | 1:100 | 972,86 | 23.444,75 |
| | 100 | 1:100 | 844,25 | |
| | 25 | 1:100 | 256,74 | |
| | 25 | 1:100 | 226,77 | |

Tabelle 11: Ausgangsproteingehalt

Im weiteren Verlauf wurde nun der Proteingehalt der Referenz und der ausgewählten Testansammlung bestehend aus Blut und Muzin 7,5 % (alternative Methode) photometrisch ermittelt. Für beide Mischungen musste zunächst eine Verdünnung von 1:100 mit Aqua dest vorgenommen werden.

Dabei wurde für die Referenz im Mittel ein Protein - Ausgangswert von 13.926,5 µg/ml bestimmt, während dieser für die Testansammlung mit 23.444,75 µg/ml um den Faktor 1,68 höher lag als die Referenz.

Aufgrund der Verdünnung auf 1:100 wurde hierbei auf ein Zentrifugieren des Blutes verzichtet, da die getesteten Anmischungen eine nur noch sehr geringe Verfärbung durch das Blut aufwiesen, durch welche keine Verfälschung des Ergebnisses zu erwarten war. Das heparinisierte Schafblut wurde für diese Untersuchungen nicht mit Protaminsulfat versetzt, da es hierdurch zu einer unerwünschten Koagulation kommen würde, was die photometrische Proteinbestimmung unmöglich macht.

Die Ausgangsmengen der beiden Anreicherungen direkt vom Indikator rückzugewinnen und zu quantifizieren wurde zwar auch im Rahmen der Restproteinbestimmung⁸³ versucht, führte jedoch aufgrund der Nachweisgrenze von 2.000 µg/ml zu keinem brauchbaren Ergebnis, da die Konzentrationen stets über dieser Nachweisgrenze lagen.

3.2.3.3. Restproteinbestimmung

Um nun die verbliebene Menge an Protein von den Indikatoren nach erfolgter Reinigung zu bestimmen, musste auf eine Methode zurückgegriffen werden, mit der es möglich war, diese Restverschmutzung unter standardisierten Bedingungen wieder von den Indikatorplättchen abzulösen.

Dazu wurden Standardreihen sowohl für das Standard Protocol als auch für das Enhanced Protocol vorbereitet. Für jede Probe (Indikator) mussten fünfmal 2 ml Arbeitslösung bereitgestellt werden.

Das zu testende Indikatorplättchen wurde während der Rückgewinnung in einer sterilen Petrischale aufbewahrt, um Verunreinigungen zu vermeiden. Im nächsten Schritt wurde mit einem, zuvor in die Arbeitslösung getauchten, proteinfreien Abstrichtupfer (Alpha Swab with long handle, Fa. Basan Reinraumtechnik) unter moderatem Druck einmal parallel und viermal quer zur Indikatorlängsachse über die gesamte Fläche gestrichen, wobei der Swab vor jedem Durchgang gewendet wurde. Danach wurde derselbe in das Röhrchen mit der Arbeitslösung verbracht und es erfolgte eine Durchmischung am Rüttler für ca. 5 Sekunden. Dieser Schritt wurde bei demselben Indikator noch viermal wiederholt, sodass pro Indikator fünf Einzelproben zu ermitteln waren. Aus der Summe dieser Proben wurde der Restproteingehalt berechnet.

⁸³ Vgl. Kapitel "Restproteinbestimmung"

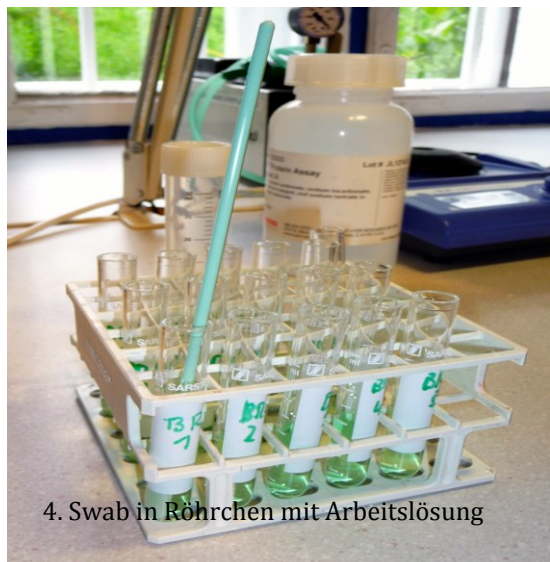
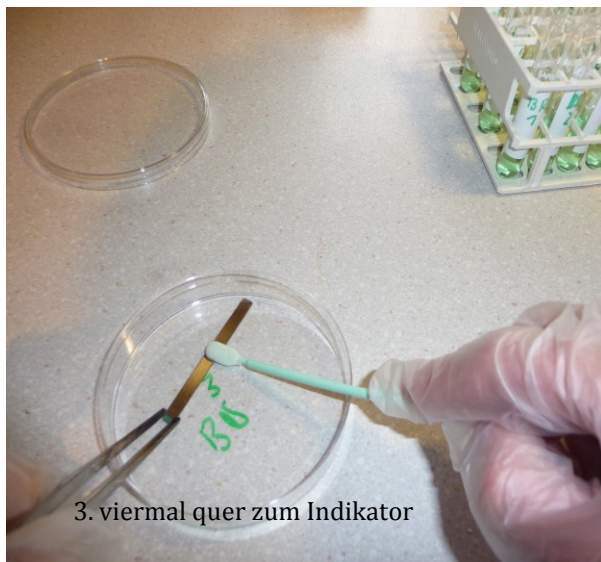
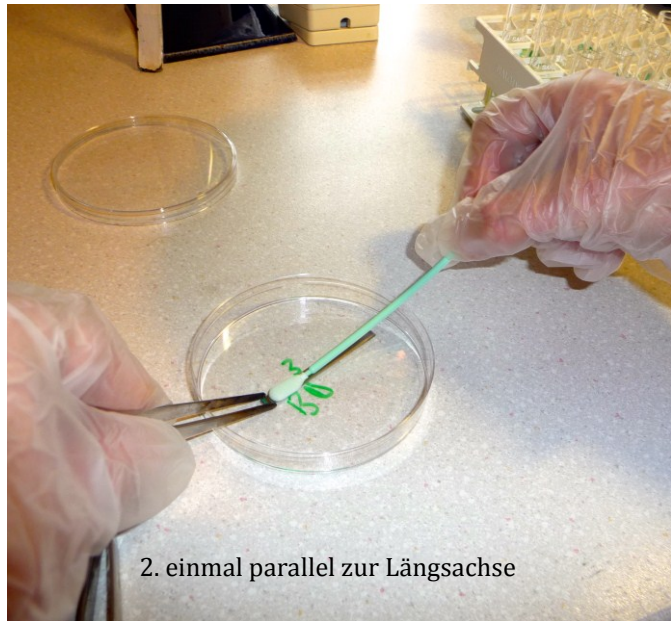


Abbildung 16: Rückgewinnung

Da in der jeweils ersten Probe die größte Proteinmenge vermutet wurde, erfolgte die Zuteilung der ersten Probe zum Standard Protocol, während die anderen vier im Enhanced Protocol ausgewertet wurden.

3.2.3.3.1. Ergebnisse ohne Reiniger

| Blut : Speichel : Aqua dest 1:1:1 | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Probe 1 (µg/ml) | Probe 2 (µg/ml) | Probe 3 (µg/ml) | Probe 4 (µg/ml) | Probe 5 (µg/ml) | Gesamt (µg/ml) |
| 850,21 | 88,05 | 25 | 12,61 | 16,10 | 991,97 |
| 731,49 | 58,54 | 18,93 | 14,15 | 11,45 | 834,56 |
| 458,98 | 220,8 | 198,15 | 53,26 | 46,28 | 977,47 |
| Mittelwert Gesamt (µg/ml) | | | | | 934,67 |
| Blut : Muzin 7,5 % alt. 1:1 | | | | | |
| 777,61 | 116,64 | 28,16 | 19,51 | 21,55 | 963,47 |
| 1.806,26 | 36,26 | 13,53 | 8,83 | 5,17 | 1.870,05 |
| 1.232,14 | 23,79 | 9,08 | 5,63 | 7,17 | 1.277,81 |
| 978,68 | 26,79 | 14,73 | 10,16 | < 5 | 1.030,36 |
| 619,02 | 17,93 | 5,34 | < 5 | < 5 | 642,29 |
| Mittelwert Gesamt (µg/ml) | | | | | 1.156,80 |

Tabelle 12: Ergebnisse ohne Reiniger

Die Ergebnisse der Restproteinbestimmungen nach Reinigung ohne Zugabe von Reiniger zeigen einerseits eine gut reproduzierbare Restverschmutzung an den Indikatoren der Referenz, bei welchen im Mittel eine Restproteinmenge von 934,67 µg/ml nachgewiesen werden konnte. An den Indikatoren der ausgewählten Testanschmutzung lag der Mittelwert mit 1.156,80 µg/ml in einem vergleichbaren Bereich, jedoch war die Abweichung der einzelnen Indikatoren untereinander mit einer Spanne von 642,29 µg/ml – 1.870,05 µg/ml um einiges höher als in der Referenz.

Zieht man nun die mittleren Ausgangsproteinmengen für die beiden Anschmutzungen heran, so ergibt sich für die Referenz eine Reduktion der Proteinmenge um 93,3 % während jene für die Testanschmutzung bei 96,3 % liegt.

Weiters wurde, wie bereits weiter oben erwähnt, versucht mit dieser Methode auch die Ausgangsproteinmenge der Indikatoren zu ermitteln um anhand der bekannten aufgetragenen Menge auf die Rückgewinnungsrate dieser Methode zu schließen. Dies war jedoch aufgrund

der Nachweisgrenze von 2.000 µg/ml nicht möglich, da die ersten Proben stets über diesem Wert lagen.

Im Anschluß daran wurde das Restprotein der zuvor mit Neodisher® MediClean forte gereinigten Testindikatoren bestimmt. Es konnte hierbei sowohl für die Referenz als auch für die Testanschmutzung eine deutliche Reduktion der Proteinmenge, im Vergleich zur Reinigung mit reinem VE-Wasser, nachgewiesen werden.

3.2.3.3.2. Ergebnisse mit Reiniger

| Blut : Speichel : Aqua dest 1:1:1 | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Probe 1 (µg/ml) | Probe 2 (µg/ml) | Probe 3 (µg/ml) | Probe 4 (µg/ml) | Probe 5 (µg/ml) | Gesamt (µg/ml) |
| 24,54 | 20,59 | 15,11 | 13,36 | 10,95 | 84,55 |
| 18,02 | 13,28 | 17,43 | 7,79 | 10,29 | 66,81 |
| 17,64 | 13,28 | 11,74 | 12,45 | 25,71 | 80,82 |
| Mittelwert Gesamt (µg/ml) | | | | | 77,39 |
| Blut : Muzin 7,5 % alt. 1:1 | | | | | |
| 29,94 | 12,95 | 10,16 | 8,25 | 7,04 | 68,34 |
| 31,78 | 12,95 | 14,40 | 12,65 | 8,75 | 80,53 |
| 20,76 | 29,65 | <5 | <5 | 5,88 | 56,29 |
| 19,43 | 8,75 | <5 | <5 | <5 | 28,18 |
| Mittelwert Gesamt (µg/ml) | | | | | 58,34 |

Tabelle 13: Ergebnisse mit Reiniger

Wie der obigen Tabelle zu entnehmen ist, beträgt der Restproteingehalt bei der Referenz im Mittel 77,39 µg/ml, was einer Reduktion um 99,44 % des Ausgangswerts bzw. einer Reduktion um 91,72 % im Vergleich zur Reinigung mit reinem VE-Wasser entspricht.

Die Restproteinmengen liegen für die ausgewählte Anschmutzung mit mittelwertig 58,34 µg/ml nach Zugabe des Reinigers sogar ein wenig tiefer als die der Referenz. Auch hier wurde mit 99,75 % Reduktion im Vergleich des Ausgangswerts bzw. 94,96 % bezogen auf die Restproteinmenge ohne Zugabe von Reiniger eine deutliche Steigerung der Reinigungsleistung erreicht.

3.2.4. Proben aus der Praxis

Parallel zu den Versuchen im Labor wurden auch in einer Grazer Zahnarztpraxis Proben von Winkelstücken unmittelbar nach der Behandlung am Patienten abgenommen.

Hierfür wurde das benutzte Winkelstück vor der Reinigung nochmals in Betrieb genommen und die ersten 1,5 ml des Kühlsprays in einem sterilen Becher aufgefangen. Es wurde daraufhin die Art der Behandlung und das Winkelstück notiert, wobei vermehrt rot markierte Winkelstücke zum Einsatz kamen. Da in der untersuchten Praxis weder ein grünes Winkelstück noch eine Turbine Anwendung finden, konnte für diese auch kein Proteinwert ermittelt werden.

Im Anschluß erfolgte die Proteinbestimmung nach derselben photometrischen Methode welche bereits bei den Testindikatoren Anwendung fand.

| Winkelstück | Behandlung | Proteinmenge (µg/ml) |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|
| rot | Füllungswechsel | 957,01 |
| | Füllungswechsel | 852,69 |
| | Füllungswechsel | 1.278,99 |
| | Füllungswechsel | 1.360,96 |
| | Füllung | 395,83 |
| | Füllung | 445,45 |
| | Füllung | 531,72 |
| | Füllung | < 5 |
| | Füllung | < 5 |
| | Füllung | < 5 |
| | Füllung | 1.543,34 |
| | Füllung | 1.062,95 |
| | Füllung | < 5 |
| | Füllung | < 5 |
| | Füllung | < 5 |
| | Füllung | < 5 |
| | Füllungspolitur | 1.163,79 |
| | Kronenpräparation | 1.412,31 |

| | | |
|------|------------------------------|--------|
| | Trepanation | < 5 |
| | Trepanation | < 5 |
| blau | professionelle Zahnreinigung | 353,78 |
| | professionelle Zahnreinigung | 133,16 |
| | professionelle Zahnreinigung | 30,635 |
| | professionelle Zahnreinigung | 138,77 |
| | professionelle Zahnreinigung | 59,67 |
| | professionelle Zahnreinigung | 6,21 |
| | professionelle Zahnreinigung | 11,82 |
| | Aufbaupräparation | 693,51 |
| | Füllung | < 5 |
| | Aufbaupräparation | 7,54 |

Tabelle 14: Proteinmenge der Proben aus dem Praxisbetrieb

Wie aus den vorliegenden Ergebnissen ersichtlich, unterliegen die Werte sowohl für die gewonnene Proteinmenge aus dem roten wie auch aus dem blauen Winkelstück einem großen Schwankungsbereich. Der ermittelte Maximalwert bei Behandlungen mit dem roten Winkelstück liegt bei 1.543,34 µg/ml, während dieser beim blauen Winkelstück bei 693,51 µg/ml liegt.

Auffällig ist weiters, dass bei Behandlungen mit dem roten Winkelstück öfter die untere Nachweisgrenze unterschritten wurde (9/20) als in solchen mit dem blauen Winkelstück (1/10). Jedoch war die Proteinmenge, sofern sie nachweisbar war, beim roten Winkelstück höher als beim blauen.

Aufgrund der geringen Menge an Werten (n = 30) konnte hier jedoch keine statistische Signifikanz ermittelt werden bzw. auf die für die Kontamination verantwortlichen Parameter geschlossen werden. Um Aussagen über die Relevanz der unterschiedlichen Behandlungen auf den Proteingehalt treffen zu können, ist ebenso eine größere Menge an Proben notwendig, was jedoch in einer gesonderten Fragestellung zu ermitteln wäre.

Letztere Untersuchung versteht sich vielmehr als Orientierung und Zusatzinformation, welche Maximalwerte in einer Praxis im Routinebetrieb in etwa erreicht werden können.

4. CONCLUSIO

Wie im theoretischen Teil ausführlich abgehandelt, kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass eine dringende Notwendigkeit für die adäquate Aufbereitung von dentalen Übertragungsinstrumenten besteht.

Einerseits aufgrund der Tatsache, dass es während der Behandlung zu einer nachweisbaren Kontamination der Innenflächen der Instrumente kommt, andererseits ist die Aufbereitung dieser, aufgrund des komplexen Aufbaus sowie der engen Kanäle, nur mit dafür geeigneten Verfahren möglich.

Um solche Verfahren auf ihre Qualität hin überprüfen zu können, ist es notwendig eine geeignete Prüfmethode anzuwenden. Aufgrund der in vorangegangenen Arbeiten zu diesem Thema sehr unterschiedlichen bzw. inadäquaten Methoden zur Überprüfung sollte eine eigene Methode mit der dazugehörigen Prüfanschmutzung entwickelt werden.

Bei der Suche nach der geeigneten Anschmutzung wurde zunächst eine Referenz aus Blut, Speichel und Aqua dest. im Verhältnis 1:1:1 definiert, gegen welche dann unterschiedliche künstliche Anschmutzungen getestet wurden. Hierbei zeigte sich einerseits, dass weder Blut alleine noch Speichel-Ersatzmaterialien wie Tragant oder Glandosane® im Verhalten gegenüber dem Reinigungsvorgang, mit der Referenz in ausreichendem Maße vergleichbar sind.

Im praktischen Forschungsteil konnte schließlich festgestellt werden, dass Muzin aus Schweinemagen Typ II in einer Konzentration von 7,5 %, 1:1 gemischt mit Blut, ein durchaus vergleichbares Erscheinungsbild sowohl in Bezug auf das Ablöseverhalten, welches durch eine transparente Prüfkammer während des gesamten Reinigungsvorgangs überprüft werden konnte, als auch in puncto optisch sichtbarer Restverschmutzung, welche durch ein zuvor festgelegtes Bewertungsschema quantifiziert wurde, aufweist.

Auch durch die Untersuchung der tatsächlichen Restverschmutzung mittels Proteintest konnte der entwickelten Testanschmutzung bestätigt werden, dass sie reproduzierbare Werte herbeiführt und mit der Referenz vergleichbar ist.

Somit kann die Testanschmutzung Blut + Muzin 7,5% (alternative Anmischmethode) im Verhältnis 1:1 als den in der Arbeit definierten Kriterien entsprechend bewertet und aus diesem Grund für die praktische Anwendung empfohlen werden.

Wie aus der Fragestellung hervorgeht, besteht der nächste notwendige Schritt zu einer praktikablen Prüfmethodik darin, einen adäquaten Prüfkörper zu entwickeln. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass diese - auf die Ergebnisse dieser Arbeit - aufbauenden Forschungsarbeiten bereits in Zusammenarbeit mit dem Institut für angewandte Hygiene, Graz, in Planung sind.

Weiters zeigte sich im Zuge der Arbeit die Notwendigkeit der Quantifizierung der Innenkontamination von dentalen Übertragungsinstrumenten im praxisüblichen Betrieb, sowie der Feststellung der dafür ausschlaggebenden Parameter.

Abschließend kann gesagt werden, dass sich diese Arbeit als Grundlagenforschung versteht. Auf Grund der Komplexität des Forschungsfeldes und der derzeit noch spärlich vorhandenen empirischen Daten soll diese Arbeit den Beginn von wissenschaftlichen Untersuchungen auf diesem Gebiet markieren. Als Ziel dieser soll, mit der Einführung eines einheitlichen Prüfverfahrens für Reinigungsvorgänge von dentalen Übertragungsinstrumenten, eine Verbesserung der derzeit üblichen Standards erreicht werden.

5. Literaturverzeichnis

Bagga, B. S. R.; Murphy, R. A.; Anderson, J. W.; Punwani, I.: Contamination of dental unit cooling water with oral microorganisms and its prevention. The Journal of the American Dental Association, o.O., 1984;109.

Böcker, W.; Denk, H.; Heitz, Ph.: Pathologie. München, 2004.

Centers for Disease Control and Prevention. Recommended infection control practices for dentistry, 1993. MMWR 1993; 42(No. RR-8).

Dürr, M.; Dummert, M.; Schulz-Fincke, D.: Maschinelle thermische Aufbereitung von zahnärztlichen Übertragungsinstrumenten; Automated thermal reprocessing of dental turbines and hand- and anglepieces. Hyg Med 2008; 33 [3].

Empfehlung des Fachausschusses Qualität (Ak Qualität) (74), Zentralsterilisation 1/2012.

Empfehlung des Fachausschusses Qualität (Ak Qualität) (76), Zentralsterilisation 3/2012.

Enk, M.: Vorgehen des Gesundheitsamtes Vechta bei der infektiionshygienischen Überwachung von Arzt- und Zahnarztpraxen. Hygiene und Medizin 2005, 30.

Gebrauchsanweisung Assistina, W&H, Bürmoos, 2012.

Gräf, W.; Vollmuth, G.: Die konstruktionsbedingte Keimübertragung durch Inneninfektion von Dentalturbinen. In: Zentralblatt Bakteriologie, o.O., Dezember 1977.

Hänsel, R.; Sticher, O.: Pharmakognosie – Phytopharmazie. Berlin, 2009.

Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln, 2009.

Hellwege, K. D.: Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe, Ein Leitfaden für die Individualprohylaxe, Gruppenprophylaxe und initiale Parodontaltherapie. Stuttgart, 2003.

Heudorf, U.: Hygiene in Zahnarztpraxen – Wege zur Zielerreichung. Hygiene und Medizin 2006, 31.

Horna, S.: Experimentelle Untersuchungen zur thermischen Desinfektion von zahnärztlichen Übertragungsinstrumenten. Dresden, 2007.

Kayser, F.; Böttger, E.; Zinkernagel, R. et al.: Medizinische Mikrobiologie. Stuttgart, 2010.

Köhnlein, J.; Glasmacher, R.; Heide, V. et al.: Ringversuch zur Standardisierung einer praxisrelevanten Prüfanschmutzung zur vergleichenden quantitativen Bewertung der Reinigung in Anlehnung an EN ISO 15883. Zentral Sterilisation 2008; 16 (6).

Köhnlein, J.; Glasmacher, R.; Heide, V. et al.: Ringversuch zur Standardisierung einer praxisrelevanten Prüfanschmutzung zur vergleichenden quantitativen Bewertung der Reinigung in Anlehnung an EN ISO 15883 – Versuchsbeschreibung. Zentral Sterilisation, 2009; 17 (6).

Kramer, A.; Meyer, G.; Ertzinger, S.; Kietz, K.; Schrader, O.; Martiny, H.: Multicenterstudie zur Durchführung ausgewählter Hygienemaßnahmen in 331 Zahnarztpraxen. Hyg Med 2008, 33(3).

Lewis, D. L.; Boe, R. K.: Cross-infection risks associated with current procedures for using high-speed dental handpieces. Journal of Clinical Microbiology, Februar 1992, 30(2).

Lüllmann, H.; Mohr, K.; Hein, L.: Taschenatlas der Pharmakologie. Stuttgart, 2008.

Meyer-Lueckel, H.; Kielbassa, A.: Die Verwendung von Speichelersatzmitteln bei Patienten mit Xerostomie. Schweiz Monatsschr. Zahnmed. 112(10), 2002.

Michels, W.; Schulz-Fincke, D.: Kontamination und Aufbereitung zahnärztlicher Übertragungsinstrumente sowie rotierender Instrumente. *Aseptica*, März/April 2009, Gütersloh.

Mills, S. E. et al.: The dental unit waterline controversy: Defusing the myths, defining the Solution. *The Journal of the American Dental Association*, o.O., 2000.

Mitteilung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut. Infektionsprävention in der Zahnheilkunde – Anforderungen an die Hygiene. *Bundesgesundheitsblatt* 2006; 49.

Paulsen, F., Lüllmann-Rauch, R.: Taschenlehrbuch Histologie. Stuttgart, 2012.

Perez-Vilar, J.; Hill, R. L.: The Structure and Assembly of Secreted Mucins. *Journal of Biological Chemistry*, 1999, 274(45).

Peterson, D. E.; Elias, E. G.; Sonis, S. T. (Eds.): Head and neck management of the cancer patient. Boston, 1991.

Pingoud, A.; Urbanke, C.: Arbeitsmethoden der Biochemie. Berlin, 1997.

Reinthal, F.; Feierl, G. (Hg.): Hygiene, Mikrobiologie und Risikomanagement in der Zahnarztpraxis. Graz, 2004.

Reinthal, F. F.; Mascher, F.; Stünzner, D.: Serological examinations for antibodies against *Legionella* species in dental personnel. *Journal of Dental Research*, o.O., 1988; 67.

Reitemeier, B.; Schwenzer, N.; Ehrenfeld, M.: Einführung in die Zahnmedizin. Stuttgart, 2006.

Richter, G.; Kaldenhoff, R.: Praktische Biochemie, Grundlagen und Techniken. Stuttgart, 2003.

Roberts, H. W. et al.: Dental unit waterline agents' effect on dentin bond strength. JADA 131.

Shpuntoff, H.; Shpuntoff, R. L.: High-speed dental handpieces and spread of airborne infections. N Y State Dent J. Jänner 1993; 59(1).

Silbernagl, S.; Lang, F.: Taschenatlas der Pathophysiologie. Stuttgart, 2005.

Simmonis, A.; Raab, D.; Martiny, H.: Aufbereitung zahnärztlicher Winkelstücke – Studie zur Wirksamkeit des Reinigungs- und Desinfektionsgerätes Turbocid®. Hygiene und Medizin 2008, 33(3).

Simonis, A.: Turbinen, Hand- und Winkelstücke: Vertrauen in die Automatik. Zahnarzt Wirtschaft Praxis, o.O., 2000.

Vissink, A.; DeJong, H.; Busscher, H.; Arends, J.; Gravenmade, E.: Wetting properties of human saliva and saliva substitutes. J Dent res 65, 1986.

Wagner, B.: Hygiene. Sicherheit und Image für die Praxis. ZMK, 9/1999.

Wartungsplan für Turbinen, Hand- und Winkelstücke, Sirona. The Dental Company, 2003.

5.1. Internetquellen

http://www.alpro-dental.de/index.php?m=dpage_content:modul&pnr=250&PHPSESSID=058fb6a3726944d91e5d562ad0e3f113&child=&submenu_child=&subsubmenu_child=&child=13&submenu_child=3

[http://www.drweigert.com/web/web-D.nsf/P2_D%20\(P\)%20D1015_Miele-Weigert.pdf](http://www.drweigert.com/web/web-D.nsf/P2_D%20(P)%20D1015_Miele-Weigert.pdf)

http://www.focus.de/panorama/welt/pfusch-in-zahnarztpraxen-in-den-usa-hygiene-skandal-7000-patienten-muessen-zum-hiv-test_aid_950999.html

<http://www.jusline.at/index.php?cpid=ba688068a8c8a95352ed951ddb88783e&lawid=149&paid=93&mvpa=104>

[http://www.lzkth.de/LZKTH/resources.nsf/\(\\$UNID\)/02E340965750C3C2C1257219004BDA DA/\\$file/Einteilung-Medizinprodukte.pdf](http://www.lzkth.de/LZKTH/resources.nsf/($UNID)/02E340965750C3C2C1257219004BDA DA/$file/Einteilung-Medizinprodukte.pdf)

http://www.miele-professional.de/de/prof/produkt/40_18559.htm

http://www.miele-professional.de/de/prof/produkt/41_6185.htm

http://www.miele-professional.de/de/prof/produkt/101_346.htm

http://www.oegsv.com/dl/Risikoeinteilung_MP_neu_farbe.pdf

<http://www.scican.de.com/index.cfm?PAGEPATH=&ID=36334>

<http://td.sirona.com/pdf/5958579.pdf>

<http://www.sirona.com/de/produkte/hygienesysteme/dac-universal/?tab=86>

<http://www.sirona.com/de/produkte/hygienesysteme/dac-universal/>

<http://www.sirona.com/de/produkte/instrumente/t1-classic/?tab=31>

http://www.wh.com/de_global/dental-produkte/sterilisation-hygiene-pflege/aufbereitungsgeraete/assistina/#assistina_301_plus

http://www.zmk.unibe.ch/unibe/medizin/zmk/content/e6245/e7920/Motoren,Winkelstckeund ihrePflege_ger.pdf

5.2. Sonstige Quellen

Vortrag, gehalten anlässlich der internationalen Konferenz des wfhs in Sao Paulo, Brasilien 2010: Buchrieser, N; Buchrieser, V; Freundlinger, T. et al.: Reinigungsindikatoren und Reiniger für RDG-E im Vergleich.

Gespräch mit Simon, Paul Gerhard, Simicon GmbH im März 2013.

6. WEITERE VERZEICHNISSE

6.1. Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| <i>Tabelle 1: RDG</i> | 32 |
| <i>Tabelle 2: Assistina® 3x3</i> | 33 |
| <i>Tabelle 3: DAC Universal®</i> | 34 |
| <i>Tabelle 4: Statmatic Plus®</i> | 35 |
| <i>Tabelle 5: Bewertungsschema für Sichtprüfung</i> | 51 |
| <i>Tabelle 6: Ergebnisse ohne Reiniger</i> | 52 |
| <i>Tabelle 7: Ergebnisse mit Reiniger</i> | 59 |
| <i>Tabelle 8: Standard Protocol</i> | 63 |
| <i>Tabelle 9: Enhanced Protocol</i> | 64 |
| <i>Tabelle 10: Ausgangsproteingehalt der Einzelkomponenten</i> | 65 |
| <i>Tabelle 11: Ausgangsproteingehalt</i> | 66 |
| <i>Tabelle 12: Ergebnisse ohne Reiniger</i> | 69 |
| <i>Tabelle 13: Ergebnisse mit Reiniger</i> | 70 |
| <i>Tabelle 14: Proteinmenge der Proben aus dem Praxisbetrieb</i> | 72 |

6.2. Diagrammverzeichnis

| | |
|--|----|
| <i>Diagramm 1: Standard Protocol</i> | 63 |
| <i>Diagramm 2: Enhanced Protocol</i> | 64 |

6.3. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| <i>Abbildung 1: Schema der ÖGSV zur Risikoeinteilung der Medizinprodukte</i> | 14 |
| <i>Abbildung 2: Übertragungsinstrumente der Firma Sirona</i> | 22 |
| <i>Abbildung 3: Aufbau eines T1 Winkelstücks der Firma Sirona</i> | 24 |
| <i>Abbildung 4: Thermo-Desinfektor® G 7831</i> | 31 |
| <i>Abbildung 5: E 919 Modul-Einsatz für 10 Hand- und Winkelstücke</i> | 31 |
| <i>Abbildung 6: Assistina® 3x3</i> | 33 |
| <i>Abbildung 7: DAC UNIVERSAL®</i> | 34 |
| <i>Abbildung 8: STATMATIC PLUS®</i> | 35 |
| <i>Abbildung 9: Immersion test rig</i> | 46 |
| <i>Abbildung 10: Testkomponenten der Vor- und Hauptversuche</i> | 48 |
| <i>Abbildung 11: Metallindikator</i> | 49 |
| <i>Abbildung 12: Flow test rig</i> | 50 |
| <i>Abbildung 13: Referenz (links) und Testanschmutzung Muzin 7,5 % + Blut 1:1 (rechts)</i> | 56 |
| <i>Abbildung 14: Neodisher® MediClean forte (Dr. Weigert)</i> | 57 |
| <i>Abbildung 15: BCA-Reaktion (Quelle: Richter, Kallenhoff Buch)</i> | 62 |
| <i>Abbildung 16: Rückgewinnung</i> | 68 |