

Aus dem Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin
Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin

DISSERTATION

Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei
PMMA-Prüfkörpern

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Katharina von Wallis

aus München

Datum der Promotion: 11.12.2015

Für meine Oma

Vorbemerkung: Im Weiteren wird auf die Angabe der Warenzeichen ® und TM verzichtet. Aus deren Fehlen kann somit nicht geschlossen werden, dass ein Name / Produkt nicht registriert oder anderweitig geschützt ist.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	- 8 -
1 Abstracts	- 9 -
1.1 Deutsches Abstract	- 9 -
1.2 Englisches Abstract.....	- 10 -
2 Einleitung	- 12 -
3 Literaturübersicht	- 14 -
3.1 Wechselwirkungen zwischen herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen und oraler Flora	- 14 -
3.1.1 Veränderungen der oralen Flora durch das Einsetzen herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen.....	- 14 -
3.1.2 Auswirkungen der oralen Flora auf herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen	- 19 -
3.2 Orale Hygiene während der Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen.....	- 20 -
3.3 Mögliche Folgen einer unzureichenden Mund- und Gerätehygiene während der Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen.....	- 21 -
3.3.1 Orale Erkrankungen	- 21 -
3.3.2 Systemische Erkrankungen.....	- 24 -
3.3.3 Weitere Folgen	- 26 -
3.4 Empfohlene Reinigungsmethoden	- 26 -
3.4.1 Mechanische Reinigung	- 27 -
3.4.1.1 Vorteile der mechanischen Reinigung.....	- 28 -
3.4.1.2 Nachteile der mechanischen Reinigung.....	- 28 -

3.4.2	Chemische Reinigung mit Reinigungspulvern oder -tabletten.....	- 29 -
3.4.2.1	Vorteile der chemischen Reinigung.....	- 30 -
3.4.2.2	Nachteile der chemischen Reinigung.....	- 30 -
3.4.3	Weitere in der Literatur beschriebene Reinigungsverfahren	- 32 -
3.4.4	Reinigung in einer Geschirrspülmaschine	- 33 -
3.4.4.1	Theorie zur Geschirrspülmaschine.....	- 33 -
3.4.4.2	Mögliche Wirkungen des Reinigens in einer Geschirrspülmaschine auf PMMA.....	- 34 -
3.5	Weitere Faktoren für die Hygienisierbarkeit von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen.....	- 36 -
4	Zielsetzung.....	- 39 -
5	Materialien und Methoden	- 40 -
5.1	Materialien.....	- 40 -
5.1.1	Orthocryl.....	- 40 -
5.1.2	Spektrophotometer.....	- 41 -
5.1.3	Geschirrspülmaschine.....	- 42 -
5.1.4	Reinigungsmittel für die Geschirrspülmaschine	- 42 -
5.2	Methoden	- 48 -
5.2.1	Vorversuche	- 48 -
5.2.2	Prüfkörperherstellung.....	- 48 -
5.2.2.1	Herstellung der Form für die Prüfkörperplatten	- 49 -
5.2.2.2	Herstellung der Prüfkörperplatten	- 49 -
5.2.2.3	Schleifen und Polieren der Prüfkörperplatten.....	- 51 -
5.2.2.4	Zersägen der Prüfkörperplatten	- 52 -
5.2.3	Färben der Prüfkörper	- 52 -
5.2.4	Grafische Darstellung des Versuchsablaufes.....	- 56 -
5.2.5	Reinigung der Prüfkörper in der Geschirrspülmaschine	- 57 -

5.2.6	Ermittlung der Prüfkörpertrübung	- 59 -
5.2.7	Ermittlung von möglichen Dimensionsveränderungen der Prüfkörper.....	- 59 -
5.3	Statistische Auswertung und grafische Darstellung.....	- 60 -
6	Ergebnisse	- 62 -
6.1	Reinigungsleistung	- 62 -
6.1.1	Vergleich der Reinigungsleistungen zwischen den verschiedenen Geschirrspülprogrammen	- 62 -
6.1.2	Vergleich der Reinigungsleistungen zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln	- 66 -
6.2	Trübung der Prüfkörper	- 68 -
6.2.1	Vergleich der Trübungen der Prüfkörper zwischen den verschiedenen Geschirrspülprogrammen.....	- 68 -
6.2.2	Vergleich der Trübungen der Prüfkörper zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln	- 72 -
6.3	Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Prüfkörpertrübung.....	- 74 -
6.3.1	Vergleich der Reinigungsleistungen unter Berücksichtigung der Prüfkörpertrübungen zwischen den verschiedenen Geschirrspül-programmen....	- 74 -
6.3.2	Vergleich der Reinigungsleistungen unter Berücksichtigung der Prüfkörpertrübungen zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln.....	- 78 -
6.4	Auswirkungen der Reinigung in einer Geschirrspülmaschine auf die Prüfkörperdimension	- 80 -
7	Diskussion	- 81 -
7.1	Diskussion der Fragestellung	- 81 -
7.2	Diskussion der Reinigungsmethodik mithilfe einer Geschirrspülmaschine	- 81 -
7.3	Diskussion der Materialien und Methoden.....	- 83 -
7.3.1	Diskussion der Materialien	- 83 -
7.3.2	Diskussion der Methoden.....	- 85 -

7.4 Diskussion der Ergebnisse	- 89 -
7.4.1 Trübungen der Prüfkörper	- 89 -
7.4.2 Reinigungsleistungen der verschiedenen Reinigungsmittel und Geschirrspülprogramme	- 91 -
7.4.3 Vergleich mit anderen Reinigungsverfahren	- 94 -
7.4.4 Auswirkungen der Reinigung auf das Dimensionsverhalten	- 95 -
7.5 Schlussfolgerungen und Ausblick.....	- 97 -
8 Zusammenfassungen.....	- 99 -
8.1 Zusammenfassung.....	- 99 -
8.2 Summary	- 101 -
9 Literaturverzeichnis	- 104 -
10 Anhang.....	- 115 -
10.1 Ergebnistabelle.....	- 115 -
10.2 Materiallisten	- 116 -
10.2.1 Verbrauchsmaterialien.....	- 116 -
10.2.2 Weitere Geräte	- 118 -
10.2.3 Labormaterialien.....	- 119 -
10.3 Danksagung	- 121 -
10.4 Lebenslauf.....	- 122 -
10.5 Eidesstattliche Erklärung.....	- 123 -
10.6 Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen	- 124 -

Abkürzungsverzeichnis

c	Konzentration
CHX	Chlorhexidin
d	durchlaufene Strecke
E	Extinktion
ϵ	Extinktionskoeffizient
I	Lichtintensität nach der Probe
I_0	Lichtintensität vor der Probe
PMMA	Polymethylmetacrylat
UV	Ultraviolett
Vis	Licht im sichtbaren Bereich (visible light)

Einheiten

$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
$^{\circ}\text{dH}$	Grad deutsche Härte
g	Gramm
h, min, s	Stunden, Minuten, Sekunden
l, ml	Liter, Milliliter
mm, cm	Millimeter, Zentimeter
mmol/l	Millimol pro Liter
pa	Pascal

1 Abstracts

1.1 Deutsches Abstract

Ziel: Ziel dieser In-vitro-Studie war die Untersuchung der Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen.

Materialien und Methoden: Es wurden 140 PMMA-Prüfkörper (Orthocryl^{12, 13}) hergestellt: 20 für die Vorversuche, 10 gefärbte und 10 ungefärbte je Reinigungsmittel (K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver²⁵ und Sodasan Maschinenspülmittel²⁶ mit entsprechendem Klarspüler^{8, 9} und Regeneriersalz^{16, 17}, Somat 10 Spülmaschinentabs²⁷) und Spülprogramm (Kurz-Programm 40 °C, Intensiv-Programm 75 °C).

Nach dem Schleifen und Polieren auf eine Dicke von $1 \pm 0,1$ mm, wurden die Prüfkörper in Anlehnung an das Verfahren von Jagger et al. (2002) mit einer Kombination aus Schwarztee²⁹, 0,2%igem Chlorhexidin¹ und Speichel als Plaqueersatzmittel angefärbt. Die optische Dichte jedes Prüfkörpers wurde mit Hilfe eines Spektrophotometers[†] vor und nach dem Färben und nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine[‡] bei 380 nm bestimmt.

Zusätzlich wurden jeweils 10 Prüfkörper ungefärbt gespült, um die jeweilige durchschnittliche Trübung durch die Reinigung zu ermitteln und von den Werten der maximal zu entfernenden Beläge abzuziehen. Die Reinigungsleistung wurde letztendlich als Prozentsatz der entfernten Beläge im Verhältnis zu den maximal zu entfernenden Belägen angegeben. Die Ergebnisse wurden mit dem Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney-Test auf signifikante Unterschiede untersucht.

Ergebnisse: Generell zeigten alle Prüfkörper nach der Reinigung weniger Beläge. Im Intensiv-Programm war die Reinigungsleistung jeweils signifikant höher. Zwischen den getesteten Reinigungsmitteln kam es nur im Kurz-Programm zu signifikanten Unterschieden; wobei K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver am effektivsten war (Median: 97,65 %). Am schlechtesten reinigte das Sodasan Maschinenspülmittel (Median: 31,35 %). In keinem Fall konnte durch die Reinigung eine klinisch signifikante Dimensionsveränderung an den Prüfkörpern gemessen werden.

Schlussfolgerungen: Die Reinigung von PMMA-Prüfkörpern in der Geschirrspülmaschine führt zu guten Ergebnissen, wobei die Reinigungsleistung vergleichbar zu den in der Literatur angegebenen Werten bei der Verwendung von chemischen Reinigungstabletten ist. Die Reinigungsleistung ist dabei von dem Programm und dem Reinigungsmittel abhängig. Aus hygienischer Sicht ist dieses Verfahren gleichwohl fragwürdig, besonders bei niedrigen Reinigungstemperaturen.

1.2 Englisches Abstract

Aim: In this in-vitro study the cleaning performance of a dishwasher for cleaning removable orthodontic appliances was evaluated.

Materials and methods: 140 acrylic resin specimens (Orthocryl^{12, 13}) were produced according to manufacturer's instructions: 20 for the pre-tests, 10 stained and 10 unstained for each dishwashing detergent (K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver²⁵ and Sodasan Maschinenspülmittel²⁶ with corresponding rinse agent^{8, 9} and dishwasher salt^{16, 17}, Somat 10 Spülmaschinentabs²⁷) and each cleaning programme (short programme, 40 °C; intensive programme, 75 °C).

Subsequent to sanding and polishing the specimens to a thickness of 1 ± 0.1 mm, they were stained in accordance to the method of Jagger et al. (2002) with a combination of black-tea solution²⁹, 0.2 % chlorhexidine¹ and saliva as a plaque-substitute. The optical density of each specimen was determined before and after staining and after cleaning in the dishwasher^e. All measurements were done, using a spectrophotometer^t at 380 nm, the absorption maximum of the stains.

In addition, in each series 10 unstained specimens were used in order to determine the average opacity caused by the cleaning as such, which was subtracted from the values measured for the stained specimens. The cleaning performance was expressed as a percentage of removed tea-chlorhexidine-salvia-stains (absorption) in relation to the total stain (absorption). The results were analysed for significant differences, using the Kruskal-Wallis- and Mann-Whitney-test.

Results: All specimens showed less tea-chlorhexidine-saliva-stains after the cleaning. The cleaning performance was always significantly higher using the intensive programme. Only the short programme yielded significant differences for the tested detergents with K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver being the most effective (median: 97.65 %). Sodasan Maschinenspülmittel was the by far least effective product (median: 31.35 %). No clinically relevant dimensional changes were measured after the cleaning in any case.

Conclusions: The study shows that the cleaning of acrylic resin specimens in a dishwasher yielded good results. The cleaning performance of this method is comparable to the results of chemical cleaning tablets mentioned in literature. The cleaning performance depends on the programme and the dishwashing detergent. Nevertheless, from a hygienic point of view this method may be questionable, in particular when using low temperatures.

2 Einleitung

In der Kieferorthopädie werden herausnehmbare Apparaturen aus Polymethylmethacrylat (PMMA) sowohl während der aktiven Behandlungsphase als auch in der sich daran anschließenden Retentionsphase eingesetzt. Des Weiteren wird PMMA zum Beispiel für Operationssplints bei Umstellungsosteotomien oder für Schienen bei craniomandibulären Dysfunktionen verwendet.

Bei einer längeren Tragezeit kommt es durch diese herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen zu verschiedenen, meist auf die Dauer der Behandlung begrenzten, Veränderungen in der Mundhöhle des Trägers. Unter anderem verändert sich die Zusammensetzung der oralen Plaque. Außerdem kommt es zu einer vermehrten Plaquebildung und zu einer anderen Verteilung der Plaque in der Mundhöhle der Patienten [1, 5, 6, 11, 35, 63, 84, 90, 96, 112, 117]. Durch die erhöhte Prävalenz an oralen Mikroorganismen insgesamt und vor allem an bestimmten Mikroorganismen steigt das Risiko für die Entstehung von lokalen Erkrankungen, wie vor allem Karies und Parodontitis. Auch das Risiko für die Entstehung von systemischen Erkrankungen, wie zum Beispiel einer Pneumonie oder einer Endokarditis, steigt [25, 67, 74, 76, 91, 95, 113, 125].

Die stärkste Keimbesiedelung in diesem Zusammenhang weist häufig die Apparatur selbst auf. Daher kommt ihrer Reinigung, neben einer gründlichen Mundhygiene, eine besondere Bedeutung zu [34].

Das von in Deutschland tätigen Kieferorthopäden am häufigsten empfohlene Verfahren zur Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen ist das mechanische Reinigen mit einer Zahnbürste. Diese Methode wird von 99,8 % der Kieferorthopäden empfohlen. Es empfehlen aber auch immerhin 3,6 % der Kieferorthopäden in Deutschland die Reinigung in Geschirrspülmaschinen [34]. Bislang existiert jedoch keinerlei Untersuchung zur Reinigung von kieferorthopädischen Apparaturen in Geschirrspülmaschinen.

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, die Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in Geschirrspülmaschinen zu untersuchen und Aussagen über die Effektivität dieser Methode zu treffen. Es sollen dabei zwei verschiedene Spülprogramme und drei verschiedene Reinigungsmittel für Geschirrspülmaschinen

getestet und miteinander verglichen werden. Des Weiteren soll kontrolliert werden, ob es durch die Reinigung in einer Geschirrspülmaschine zu starken Dimensionsveränderungen kommt.

3 Literaturübersicht

Die Zahl der Studien zu den mikrobiologischen Auswirkungen einer Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen und zur Reinigung dieser Apparaturen ist relativ gering. Deshalb wurden teilweise Analogieschlüsse aus Studien mit herausnehmbarem Zahnersatz gezogen [10, 15-17, 20, 22, 25, 26, 41, 50, 54, 55, 57, 61, 71, 74, 82, 101, 110, 114, 115, 121, 122]. Diese Übertragung wurde von Eichenauer et al. auf Grund der ähnlichen untersuchten Werkstoffe sowie der vergleichbaren mikrobiologischen Situation als gerechtfertigt betrachtet [34].

3.1 Wechselwirkungen zwischen herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen und oraler Flora

3.1.1 Veränderungen der oralen Flora durch das Einsetzen herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen

In der menschlichen Mundhöhle wurden über 500 verschiedene Mikroorganismen nachgewiesen [124]. Ihre Gesamtzahl liegt bei mehreren hundert Milliarden, kann aber bei ungenügender Mundhygiene auch bis zu einer Billion reichen [67, 76]. Die Mikroorganismen können dabei entweder frei schwimmend als planktonische Phase oder in Form eines an einer Oberfläche gebundenen Biofilms, der so genannten Plaque, vorkommen. Bei Plaque handelt es sich um eine strukturierte Gemeinschaft von Mikroorganismen, die in einer selbst produzierten Polymermatrix eingebettet sind und an einer inerten oder lebenden Fläche haften. Weitere Komponenten sind Speichelbestandteile und Nahrungsreste [24].

Einige der in der Mundhöhle vorkommenden Mikroorganismen, wie zum Beispiel *Streptococcus mitis*, sind nützlich für die Gesundheit des Menschen. Andere, wie zum Beispiel *Actinobacillus actinomycetemcomitans* oder *Streptococcus mutans*, sind schädlich [47].

Normalerweise befinden sich die verschiedenen Mikroorganismen untereinander und mit dem Mensch als Wirt in einem ökologischen Gleichgewicht. Durch unterschiedliche Einflüsse kann es aber zu einer Verschiebung dieses Gleichgewichts und damit zu einem gesundheitsschädlichen Zustand kommen [124]. Es können unter anderem Karies, Parodontitis und/oder Stomatitis entstehen [118].

Herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen stellen einen solchen möglichen Einflussfaktor auf das Gleichgewicht der oralen Flora dar. Durch das Einbringen einer solchen Apparatur kommt es zu verschiedenen Veränderungen in der Mundhöhle des Patienten. Unter anderem verändert sich die Zusammensetzung der oralen Mikroorganismen. Dabei kommt es insgesamt zu einer Zunahme der opportunistischen Keime [63, 90]. Besonders hoch ist die Zunahme der gramnegativen Bakterien an den mit Halte- und Bewegungselementen versehenen Zähnen. Hier steigt der Anteil gramnegativer Bakterien von 38 % bei Patienten ohne kieferorthopädische Apparatur auf 83 % [90]. Die Prävalenz verschiedener spezifischer Arten, wie *Actinobacillus actinomycetemcomitans*, *Campylobacter rectus*, *Eikenella corrodens*, *Neisseriaceae*, Spirochäten, *Streptococcus mutans* und *Lactobacillus species*, nehmen ebenfalls zu [11, 84, 90, 96, 112]. Abbildung 1 zeigt die veränderte Prävalenz verschiedener Keime durch das Einsetzen einer herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur.

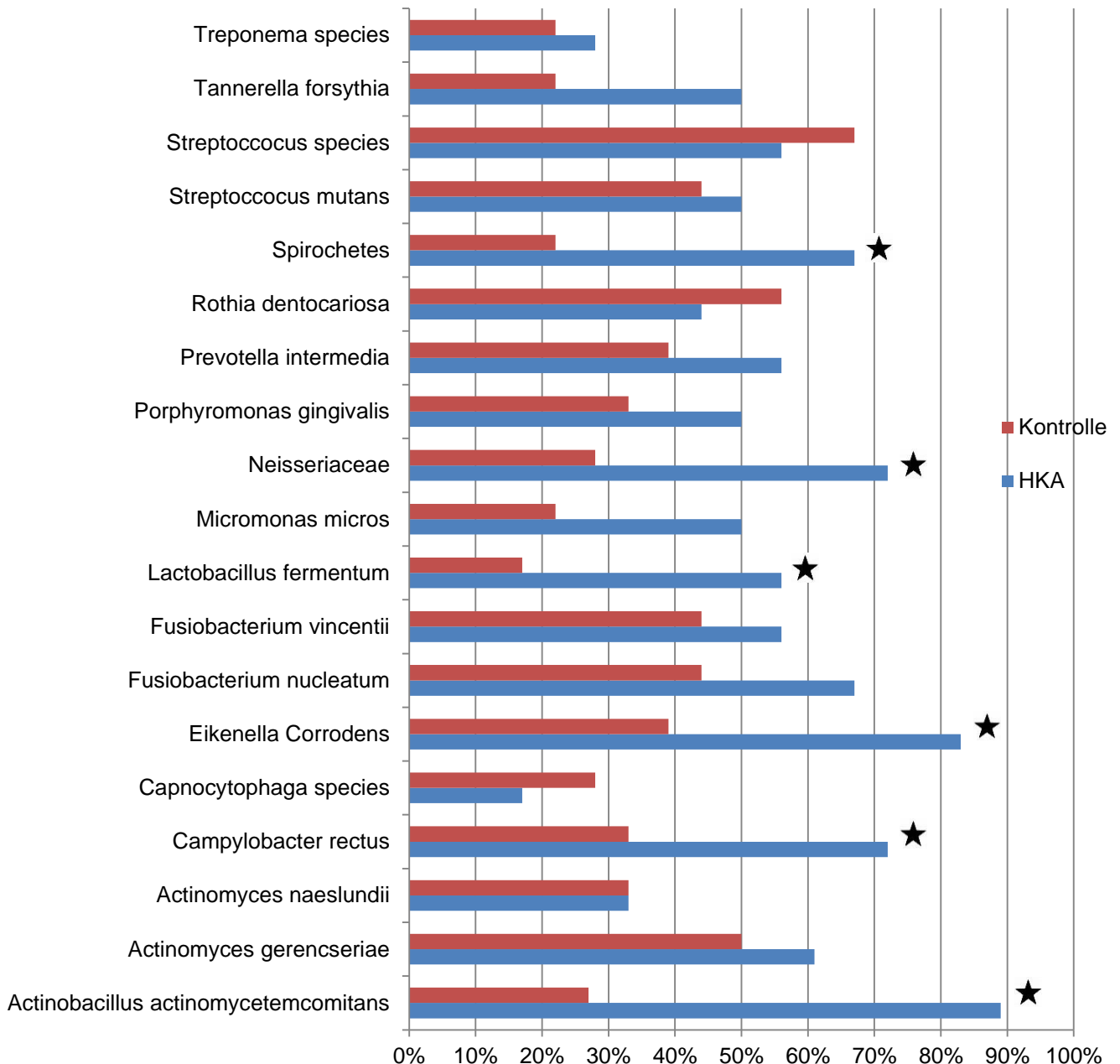


Abbildung 1: Häufigkeit der untersuchten Bakterien bei Patienten mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe nach Rego et al. [90]; ★ : signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen der Gruppe mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen und der Kontrollgruppe

Des Weiteren kommt es durch die Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen zu einem Anstieg der Plaqueindices [6, 81, 90]. Dabei zeigt sich eine positive Korrelation zur Dauer der Behandlung [6]. Auch das Plaqueverteilungsmuster verändert sich während der Behandlung. So kommt es im

Vergleich zu Patienten ohne kieferorthopädische Apparatur insbesondere an den Palatinalflächen der Zähne zu einem deutlichen Anstieg der Plaquewerte [1, 5]. Vermutlich schützt die herausnehmbare kieferorthopädische Apparatur die Plaque vor einer Entfernung durch die Zunge oder Wange [48].

Die Candidaprävalenz verändert sich nach dem Einsetzen einer herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur ebenfalls. Es kommt zunächst in der gesamten Mundhöhle zu einem signifikanten Anstieg der Candidaprävalenz [1, 5]. Im weiteren Verlauf beobachtet man ein Absinken der Prävalenz bis auf den Wert vor Beginn der Behandlung [5]. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass es nach dem Einbringen der kieferorthopädischen Apparatur zunächst zu einem In-Gang-Setzen der Haftungsprozesse der Candida kommt. Dabei produziert Candida Adhäsionen, die es den Pilzen erlauben, an verschiedenen Oberflächen anzuhaften. Andere Co-Faktoren dieses Prävalenzanstieges sind der protektive Effekt der Kunststoffplatte, die Anhaftung von Speiseresten, der veränderte pH-Wert und die Zugänglichkeit zu kleinen Gewebeabrasionen [117]. Nach einiger Zeit zeigt sich jedoch, verursacht durch immunologische Effekte und eine eventuelle Verbesserung der Mundhygiene, die oben beschriebene Rückkehr der Candidaprävalenz auf den Ausgangswert [5].

Ob es im Zusammenhang mit dem durchschnittlichen Candida-Anstieg während einer Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen auch zu einer Candida-Besiedelung von bis dahin Candida-freien Patienten kommen kann, ist nicht eindeutig belegt. So kamen Addy et al. zu dem Ergebnis, dass dies nicht vorkommt. In ihrer Querschnittsstudie unterschied sich die Häufigkeit von Candida-Trägern unter Probanden mit herausnehmbaren Apparaturen nicht signifikant von der Candida-Häufigkeit bei Probanden ohne herausnehmbare Apparaturen. Sie liegt bei den Probanden mit kieferorthopädischen Apparaturen bei 51 % [1]. Arendorf und Addy hingegen kamen in ihrer Langzeitstudie zu dem Ergebnis, dass es während einer Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen durchaus bei zuvor Candida-freien Patienten zu einer Candida-Infektion kommen kann. Von ihren 33 Probanden wurden während der Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen dreizehn von Nicht-Trägern zu Trägern von Candida. Allerdings war die Candida-Besiedelung meistens auf die Zeit der Behandlung beschränkt. Nach Beendigung der kieferorthopädischen Therapie kam es bei zehn der dreizehn neu mit Candida infizierten Probanden wieder zu einer Rückkehr zum

Nicht-Trägerstatus. Zusätzlich wurden nach der Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen zwei der ursprünglichen Candida-Träger zu Nicht-Trägern von Candida [5]. Mögliche Faktoren, die diese unterschiedlichen Ergebnisse erklären können, sind die unterschiedlichen Längen der Studien und die gewählte Methode zur Analyse der Proben [48].

Des Weiteren verändert sich durch das Einsetzen einer herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur die Funktion der Speicheldrüsen. Laut Eschler sind die Speicheldrüsen grundsätzlich in den Funktionskreis des „Kausystems“ eingeschaltet und reagieren demzufolge auf Veränderungen in diesem System. Das Einbringen eines kieferorthopädischen Gerätes stellt einen möglichen Einflussfaktor dar. Dabei kommt es vor allem auf die Art des Gerätes an, wie sich die Zusammensetzung und Menge des Speichels ändern. So kommt es zwar sowohl bei aktiven Platten als auch bei Aktivatoren zu einem Anstieg der Speichelmenge, dieser Anstieg ist aber bei Probanden mit funktionskieferorthopädischem Gerät wesentlich größer. In diesem Fall steigt die Speichelmenge auf den doppelten bis vierfachen Wert an. Die Erklärung hierfür liegt in den unterschiedlichen Wirkungsweisen der beiden Gerätetypen. Während es beim Aktivator durch die Umstellung des Unterkiefers über den Dehnungsreflex zu einem verstärkten Einfluss auf die Speicheldrüsen kommt, bleibt dieser Einfluss bei den Einzelkieferapparaturen aus, da der Unterkiefer hier nicht verstellt wird [35].

Durch die veränderte Sekretionsmenge ändert sich auch die Zusammensetzung des Speichels. Es kommt zu einem Anstieg des Natrium-, einem Absinken des Kalium- und einer sehr geringen Verminderung des Calcium-Gehaltes [35].

Außerdem kommt es während einer kieferorthopädischen Behandlung mit herausnehmbaren Apparaturen zu einem signifikanten Absinken des durchschnittlichen Speichel pH-Wertes von 7,36 vor der Behandlung auf 6,89 während der Behandlung. Jedoch kehrt der Wert nach der Behandlung wieder auf den Ausgangswert zurück [5].

Diese Veränderungen in der Zusammensetzung der oralen Flora, der Plaquemenge und –verteilung, der Candidaprävalenz, des pH-Wertes, der Speichelmenge und –zusammensetzung können bei einer langfristigen Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen insgesamt negative Auswirkungen vor allem auf das Risiko neuer kariöser Läsionen und parodontaler Erkrankungen haben. Patienten sollten deshalb während einer Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen

Apparaturen in regelmäßigen Zeitintervallen einbestellt werden. Dabei sollte die Mundhygiene kontrolliert und der Patient bei Bedarf zu einer Verbesserung der eigenen Hygienemaßnahmen motiviert werden [112].

3.1.2 Auswirkungen der oralen Flora auf herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen

Neben der Beeinflussung der oralen Flora durch die herausnehmbare kieferorthopädische Apparatur kommt es umgekehrt auch zu einer Beeinflussung des kieferorthopädischen Gerätes durch die orale Flora.

Nach dem Einbringen einer Kunststoffapparatur in den Mund eines Patienten zeigt sich auf der Oberfläche relativ schnell die Bildung einer Plaque [24, 118]. Die Retention von Bakterienzellen ist dabei bei allen Oberflächenbeschaffenheiten der Apparatur erheblich [109]. Bei der Bildung von Plaque auf herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen kommt es vermutlich zu ähnlichen Prozessen wie bei der Plaquebildung auf einer Prothese. Nach dem Einsetzen in den Patientenmund entsteht schnell eine dünne Schicht aus Glykoproteinen. Diese dünne Schicht wird anschließend von verschiedenen Mikroorganismen aus der Mundhöhle, anfänglich vor allem Kokken, besiedelt [16, 33, 109]. Durch Teilungsvorgänge und Akkumulation weiterer Mikroorganismen wächst die Plaque. Diese auf der Kunststoffoberfläche entstandene Plaque kann dann durch die Einlagerung von Mineralien kalzifizieren oder sich durch die Einlagerung von Farbstoffen aus Getränken, Essen oder Zigarettenrauch verfärben [22, 50]. Insgesamt kommt es auf herausnehmbaren Apparaturen im Vergleich zu festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen häufiger zur Bildung von Zahnstein [123].

Die Plaque ist dabei in ihrer Zusammensetzung sehr variabel und ähnelt in struktureller und mikrobiologischer Hinsicht einer initialen dentalen Plaque. Sie besteht überwiegend aus grampositiven Streptokokken. Vereinzelt finden sich grampositive und –negative Stäbchen. Auf herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen wurden Keime identifiziert, die mit parodontalen Erkrankungen assoziiert werden, wie zum Beispiel *Abiotrophia defectiva*, TM7, *Leptotrichia* und *Capnocytophaga*. Einige Arten finden sich

dabei sogar in höheren Zahlen auf der Apparatur als im Speichel oder auf den hinteren Bereichen der Zunge [90]. Neben den verschiedenen Bakterien kommt es zusätzlich zu einer Anhaftung von verschiedenen Candida-Spezies, wie zum Beispiel Candida albicans oder Candida tropicalis, auf der Acryloberfläche [16, 98, 110].

Eine besonders starke Bildung von Belägen findet sich im Gaumenbereich der Oberkieferplatten. Der Grund dafür ist, dass die Grenzfläche zwischen Gaumenmukosa und dem Kunststoff der kieferorthopädischen Platte eine ideale Umgebung für das Wachstum von Mikroorganismen bildet. Das liegt unter anderem daran, dass sich die Mikroorganismen hier der Selbstreinigung durch Zunge und Wangen entziehen [48], es hier besonders viele Unregelmäßigkeiten im Kunststoff gibt, an denen die Mikroorganismen gut haften können, und die Temperatur im Mund von ungefähr 37 °C günstig für das Mikroorganismenwachstum ist [61].

Es kommt aber nicht nur zu einer Besiedelung der Oberfläche des Kunststoffes, sondern auch zu einem Eindringen von Mikroorganismen in das Innere des Kunststoffes [77]. Die Mikroorganismen sind scheinbar in der Lage, Teile des Materials zu verstoffwechseln und sich so in die inneren Bereiche des Kunststoffes vorzubewegen. Dafür sprechen auch die auf der Oberfläche des Kunststoffes gefundenen Oberflächenläsionen [78].

Es wird deutlich, wie wichtig eine regelmäßige und gründliche Reinigung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen ist, um die sich auf der Oberfläche des Kunststoffes bildende Plaque sicher zu entfernen.

3.2 Orale Hygiene während der Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen

Hygienische orale Verhältnisse sind während einer kieferorthopädischen Behandlung besonders wichtig, da orthodontische Zahnbewegungen grundsätzlich nur bei gesunden oralen Verhältnissen durchgeführt werden sollten [105]. Die Mundhygiene während einer kieferorthopädischen Behandlung ist trotz individueller Mundhygieneunterweisungen und unabhängig von der Art des Gerätes oftmals nicht befriedigend.

Eine Ausnahme dazu bilden nur erwachsene Patienten bei der Behandlung mit herausnehmbaren Apparaturen, die ein hohes Mundhygieneniveau aufweisen [105, 123].

Zur oralen Hygiene gehört während der kieferorthopädischen Behandlung aber nicht nur eine entsprechende Mundhygiene, sondern auch die entsprechende Reinigung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen. Diese ist besonders wichtig, da die kieferorthopädischen Apparaturen häufig selbst die höchste Keimbesiedelung aufweisen [34]. Bei ihrer Reinigung stellen die vielen zusätzlichen Retentionsnischen für mikrobielle Plaque im Bereich aktiver und passiver Hilfsteile besondere Anforderungen an das jeweilige Reinigungsverfahren [30].

3.3 Mögliche Folgen einer unzureichenden Mund- und Gerätehygiene während der Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen

Durch eine unzureichende Mund- und Gerätehygiene und die damit verbundene hohe Prävalenz intraoraler Mikroorganismen kann es zu einem erhöhten Risiko für verschiedene Erkrankungen kommen. Dabei kann es sich sowohl um orale Erkrankungen als auch um systemische Erkrankungen an anderer Stelle handeln.

3.3.1 Orale Erkrankungen

Die Mundgesundheit ist ein wichtiger Bestandteil der allgemeinen Gesundheit und trägt wesentlich zu einem Gefühl des Wohlbefindens der Patienten bei [25]. Die erhöhte Keimbesiedelung bei Patienten während ihrer kieferorthopädischen Behandlung, insbesondere bei einer unzureichenden Mundhygiene und Reinigung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur, birgt vor allem das Risiko parodontaler Erkrankungen, von Karies und Stomatitis, aber auch von Halitosis [22, 30, 96, 118].

Die Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen führt zu einer Verschlechterung der parodontalen Verhältnisse. So kam es bei Pender zu einer signifikanten Erhöhung der Gingivaindices [81]. Auch Arikan et al. [6] sowie Rego und Mitarbeiter [90] beobachteten während der Behandlung einen signifikanten Anstieg der Gingivaindices und der Taschentiefen. Andere Studien kommen jedoch zu dem Ergebnis, dass die Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen keine nachteiligen Effekte auf die parodontalen Verhältnisse der Patienten hat [19, 84, 89, 105]. Eine mögliche Erklärung für diese unterschiedlichen Versuchsergebnisse ist, dass das Einbringen einer herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur bei einer bereits vor der Behandlung ungenügenden Mundhygiene wenig beziehungsweise keinen weiteren Einfluss auf die parodontale Situation hat [105]. Das Einbringen in gesunde parodontale Verhältnisse dagegen kann zu einer signifikanten Verschlechterung führen. Auch der unterschiedlich lange Untersuchungszeitraum kann eine Rolle spielen. Eine weitere mögliche Erklärung für die verschiedenen Ergebnisse sind eventuell unterschiedlich exakte Messmethoden. So kam es bei Steinhardt zwar zu signifikant höheren Messwerten bei der Sulkustiefe während der Behandlung, allerdings lag die Mittelwertdifferenz dabei bei lediglich 0,14 mm bei der Verwendung einer parodontalen Sonde mit einer Messskala von 1 mm, sodass diese Ergebnisse zurückhaltend zu beurteilen sind [105].

Darüber hinaus spielt die Auswahl der Probanden eine wichtige Rolle. Bei zur Mundhygiene motivierten Patienten kommt es zu keiner oder einer wesentlich geringeren Verschlechterung der parodontalen Verhältnisse als bei Probanden, die weniger für die Mundhygiene motiviert sind [84]. Allgemein gilt, dass die parodontalen Verhältnisse mit dem Mundhygiene-Status korrelieren. Das heißt, je schlechter die Mundhygiene ist, desto ausgeprägter ist die parodontale Entzündung [9]. Es ist somit sogar möglich, dass es während der Behandlung mit einer herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur zu einer Verbesserung der parodontalen Situation kommt, wenn gleichzeitig die Mundhygiene entsprechend verbessert wird [58, 105].

Des Weiteren scheint während der Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen das Kariesrisiko der Patienten zu steigen. Streptococcus mutans wird allgemein eine herausragende Rolle bei der Entstehung von Karies zugeschrieben [47]. Bei kieferorthopädischen Patienten steigt sowohl im Speichel als auch im Zahnbelag die Mutans-Streptokokken-Zahl an [11, 96]. Diese Zunahme der

Streptococcus-mutans-Zahlen ist allerdings wesentlich geringer als bei der Behandlung mit festsitzenden kieferorthopädischen Geräten. Bei Schlagenhaut et al. kommt es lediglich zu einer statistisch nicht signifikanten Zunahme [96]. Es ändert sich nur die Anzahl und nicht das Verteilungsmuster der verschiedenen Serotypen von Mutans-Streptokokken. Die Serotypen c und f sind dabei die häufigsten [11].

Es kann allerdings nicht nur durch Karies zu einer Demineralisierung der Zähne kommen, sondern daneben ist es auch möglich, dass es durch die Plaque, die sich auf herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen bildet, und/oder durch Candida zu einem Absinken des pH-Wertes und somit direkt zu einer Demineralisation an den Zähnen kommt [74].

Auch das Stomatitisrisiko der Patienten steigt während einer Behandlung mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen [30, 40]. Ursächlich hierfür ist vermutlich die vermehrte Plaqueanlagerung während der Behandlung. Denn Plaque ist die wahrscheinlich wichtigste Ursache der Stomatitis [22, 25, 74, 118]. Zusätzlich können mechanisch-traumatische Schleimhautüberlastung, Candida-Infektionen und selten Allergien auf einen Bestandteil der kieferorthopädischen Apparaturen bei der Entstehung eine Rolle spielen [16, 20, 23, 60, 111, 116].

Unter bestimmten Bedingungen besteht zusätzlich die Gefahr einer oralen Candidiasis. Die komplexe Pathogenese der oralen Candidiasis umfasst eine Vielzahl von Patienten- und Candidafaktoren. Einer der wichtigsten Faktoren ist die immunologische Kompetenz des Patienten. Nur wenn die Immunabwehr des Patienten untergraben wird, kann es zu einer Candidaüberwucherung, dem Eindringen in das orale Gewebe und damit zu einer Candidiasis kommen. Deshalb ist das Risiko, alleine durch die Zunahme der Candidaprävalenz an einer oralen Candidiasis zu erkranken, bei einem immunkompetenten Patienten als sehr gering einzustufen. Wenn jedoch weitere lokale oder systemische Faktoren, wie zum Beispiel eine verminderte Speichelflussrate oder eine antibiotische Behandlung, bestehen, ist das Risiko einer Candidiasis deutlich höher [48].

Eine weitere mögliche Gefahr einer unzureichenden Mund- und Gerätehygiene besteht in der Reinfektion von Patienten mit zum Beispiel Candida. Dabei kann es insbesondere bei immungeschwächten Patienten durch das erneute Einsetzen einer unzureichend

gereinigten herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur zu einem Wiederauftreten einer zuvor ausgeheilten Erkrankung kommen [15, 54].

3.3.2 Systemische Erkrankungen

Neben den möglichen oralen Erkrankungen, die durch eine unzureichende orale Hygiene entstehen können, sind auch Erkrankungen an anderen Lokalisationen möglich. Diese sind zwar selten, können aber dramatische Folgen haben.

Zu den in der Literatur beschriebenen Erkrankungen, die durch orale Bakterien ausgelöst werden können, zählt unter anderem die Pneumonie [25, 74, 76, 95, 125]. Zu einer bakteriellen Pneumonie kann es kommen, wenn Keime der oropharyngealen Flora in die unteren Atemwege aspiriert werden. 50 % der gesunden Erwachsenen atmen während des Schlafens oropharyngeale Keime ein. Bei Personen mit Erkrankungen wie zum Beispiel Epilepsie können es sogar noch mehr sein. Selbst bei gesunden Patienten finden sich unter den Mikroorganismen der oralen Flora potentielle Erreger für Atemwegserkrankungen, wie zum Beispiel *Klebsiella pneumoniae* und *Pseudomonas aeruginosa*. Besonders gefährdet scheinen Patienten mit einer schlechten Mundhygiene und/oder Parodontitis zu sein. Denn auch Spezies, wie zum Beispiel *Actinobacillus actinomycetemcomitans* oder *Porphyromonas gingivalis*, die mit parodontalen Erkrankungen assoziiert werden, können bei Aspiration zu einer Pneumonie führen [95]. Eine tatsächliche Gefahr an einer Pneumonie zu erkranken liegt vor, wenn die körpereigenen Abwehrmechanismen nicht in der Lage sind, die durch Aspiration eingedrungenen Bakterien zu beseitigen. Dann können sich die Bakterien in der Lunge vermehren und dort eine Entzündung verursachen [95].

Eine weitere Gefahr besteht in der Entstehung einer durch orale Bakterien ausgelösten Endokarditis [25, 67, 76, 91, 113]. Bakterien aus der Mundhöhle können über das orale Gewebe in die Blutbahn der Patienten gelangen. Solche Bakterienübertritte finden auch ohne Manipulation von außen statt. Verschiedene zahnärztliche Maßnahmen, wie zum Beispiel Zahnreinigungen oder Anästhesien, erhöhen die Häufigkeit aber stark. So steigt die Zahl der Bakteriämien bei Kindern von 9,4 % vor einer zahnärztlichen Maßnahme auf bis zu 96,6 % nach einer intraligamentären Anästhesie [91]. Werden die

eingedrungenen Bakterien nicht vom Immunsystem zerstört, können sie zum Herzen vordringen und dort zu einer unter Umständen lebensbedrohlichen Entzündung des Endokards führen. Der häufigste Erreger der Endokarditis ist mit 48 % *Streptococcus viridans*, der meistens der Mundhöhle entstammt. Es konnte in 14 % der untersuchten Patienten ein Zusammenhang zu einer zahnärztlichen Maßnahme gefunden werden [13]. Deshalb ist generell eine gute Mundhygiene wichtig, um die Keimzahl in der Mundhöhle und damit das Risiko für das Entstehen einer Endokarditis zu reduzieren [13].

Des Weiteren besteht ein Zusammenhang zwischen parodontalen Entzündungen und Diabetes mellitus [21, 28, 53, 69, 93, 108]. Einerseits zeigt sich ein Zusammenhang zwischen Diabetes mellitus und der Häufigkeit beziehungsweise dem Schweregrad einer Parodontitis, andererseits können parodontale Entzündungen einen negativen Einfluss auf Diabetes mellitus haben [69]. Bei einer Parodontitis kommt es nicht nur lokal, sondern auch systemisch zu einer Erhöhung verschiedener Entzündungsmediatoren. Diese Stoffe können dann an verschiedenen Orten die Insulinsensibilität des Gewebes verringern. Daraus können bei Diabetikern zum Beispiel Schwierigkeiten bei der Einstellung des Blutzuckerspiegels entstehen [21, 28, 53, 93, 108].

Darüber hinaus kann es zu einer gastrointestinalen Besiedelung und Infektion durch Keime aus der Mundhöhle kommen [25, 49]. Ferner wurde beschrieben, dass es unter anderem zu chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen kommen kann; entweder direkt durch die oralen Bakterien selbst oder indirekt durch eine von ihnen ausgelöste Entzündung [25]. Außerdem steigt bei schlechter Mundhygiene das Risiko für eine Infektion von Gelenkprothesen und Problemen in der Schwangerschaft, wie einer zu frühen Geburt oder einem verminderten Geburtsgewicht des Kindes [25, 38, 67, 76].

Diese Risiken müssen insbesondere bei stark gefährdeten Patienten, wie immunschwachen Menschen, berücksichtigt werden [63].

3.3.3 Weitere Folgen

Eine unzureichende Reinigung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur kann sich negativ auf die Compliance des Patienten auswirken. So führt die regelmäßige Nutzung von Reinigungstabletten bei jungen Menschen indirekt zu einer verbesserten Mundpflege und zu einem regelmäßigeren Tragen des Gerätes [56]. Eine mögliche Erklärung hierfür ist der angenehmere Geruch und/oder Geschmack der Apparatur durch die Reinigung [34].

Eine weitere potentielle Gefahr durch eine unzureichende Reinigung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur besteht darin, dass es durch den kontaminierten Kunststoff zur Bildung einer Infektionskette Patient/Praxispersonal/Laborpersonal kommen kann. Die kieferorthopädischen Apparaturen fungieren dabei als Keimreservoir. Da auch potentiell pathogene Mikroorganismen übertragen werden können, entsteht eine zusätzliche Gefährdung für Personen, die in Kontakt mit der kieferorthopädischen Apparatur kommen [30, 57, 71, 73, 83, 121].

3.4 Empfohlene Reinigungsmethoden

Allgemein sollte eine Reinigungsmethode zu einer größtmöglichen Keimreduktion führen [30]. Es sollten die harten und weichen Beläge, eventuelle Speisereste sowie Verfärbungen zuverlässig entfernt werden [17]. Dabei sollte durch das Reinigungsverfahren weder der Gesundheit des Patienten noch dem Material der kieferorthopädischen Apparatur geschadet werden. Zusätzlich wäre es wünschenswert, auch die erneute Anlagerung von Mikroorganismen nach einer Reinigung zu vermindern. Für den Patienten von besonderer Bedeutung sind natürlich auch die Praktikabilität des Reinigungsverfahrens [30] und die durch das jeweilige Verfahren entstehenden Kosten. Auch ein angenehmer Geruch und/oder Geschmack der Apparatur sind für den Patienten wichtig [34].

Laut einer Befragung aus dem Jahre 2008 empfehlen die in Deutschland tätigen Fachzahnärzte für Kieferorthopädie zum Reinigen von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen die in Abbildung 2 aufgeführten Verfahren [34].

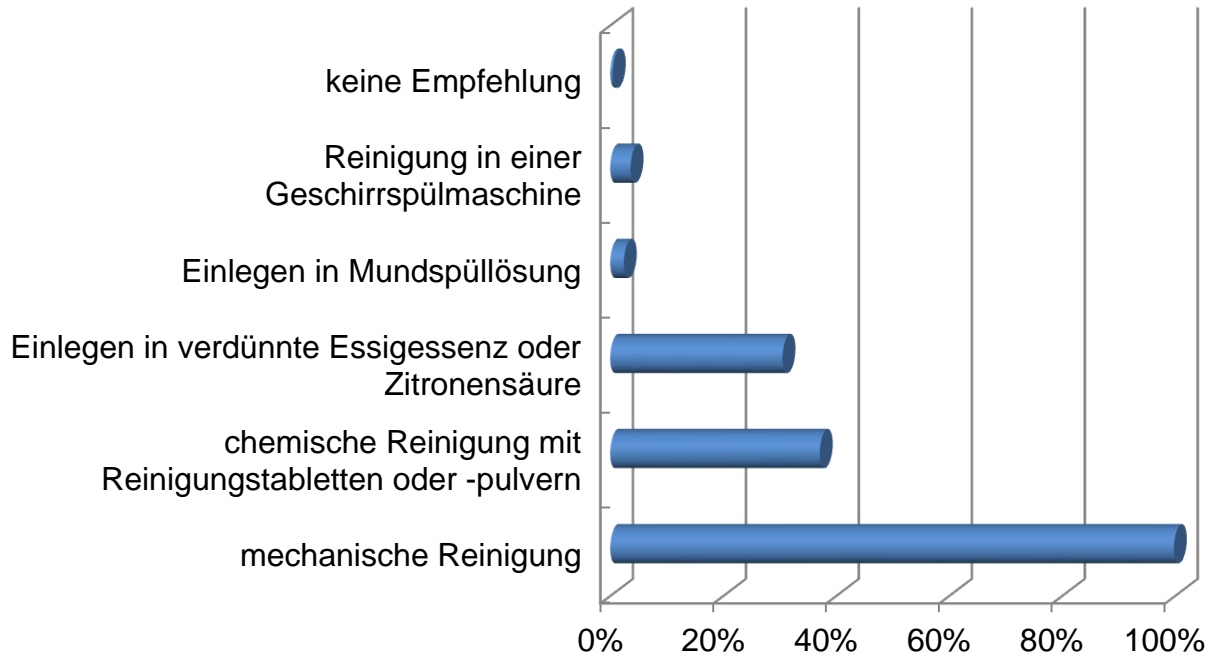


Abbildung 2: Übersicht über die von 450 befragten Kieferorthopäden empfohlenen Reinigungsverfahren für herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen in Prozent nach Eichenauer et al.; Mehrfachnennungen waren möglich

3.4.1 Mechanische Reinigung

Mit 99,8 % ist die mechanische Reinigung mittels Zahnbürste die von deutschen Kieferorthopäden am häufigsten empfohlene Reinigungsmethode für herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen. Sie wird zu 90 % in Kombination mit Zahnpasta, zu 6 % mit Leitungswasser und zu 3,8 % mit Geschirrspülmittel empfohlen [34].

Mindestens ein Mal am Tag sollte eine systematische Reinigung der kieferorthopädischen Apparatur erfolgen, sodass sichergestellt ist, dass alle Bereiche der Apparatur regelmäßig gereinigt werden. Wichtig ist es, bei der Reinigung darauf zu achten, die Apparatur nicht zu beschädigen.

3.4.1.1 Vorteile der mechanischen Reinigung

Zu den Vorteilen dieser Methode zählt primär die hohe Praktikabilität: die benötigten Materialien sind einfach und günstig zu beschaffen beziehungsweise bereits vorhanden und die Technik ist leicht anzuwenden. Außerdem ist diese Methode bei richtiger Anwendung insbesondere bei frühen Ablagerungen von Muzinen und Speiseresten ausreichend effektiv [50, 78].

3.4.1.2 Nachteile der mechanischen Reinigung

Zu den Nachteilen der mechanischen Reinigung mit der Zahnbürste zählt vor allem, dass sie stark vom Geschick und der Ausdauer des Patienten abhängig ist [17]. So führte diese Methode bei einer Studie von Diedrich bei allen Probanden zu ungenügenden Reinigungsergebnissen [30]. Es wurden lediglich die gut zu erreichenden Ober- und Unterseiten der Plattenkörper ausreichend gereinigt. Vor allem die Bereiche der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen, die mit einem Zahnbürstenkopf schwer zugänglich sind, wiesen auch nach der Reinigung noch erhebliche Plaqueauflagerungen sowie mineralisierte Plaque auf. Zu diesen Bereichen gehören insbesondere die Draht- und Schraubenelemente, durch den Zangenansatz verursachte Kerben in der Drahtoberfläche, Aufrauungen der Kunststoffoberfläche und die Randspalten an den Austrittsstellen der Drahtelemente aus dem Kunststoffkörper [30]. Des Weiteren kann es zu einer Schädigung des Kunststoffes der herausnehmbaren Apparatur durch die mechanische Reinigung kommen. Abhängig von den verwendeten Putzmaterialien und den verwendeten Bürsten kommt es zu einer unterschiedlich starken, unerwünschten Abrasion des Materials. So hat Methylmethacrylat als abrasives Agens eine wesentlich niedrigere Abrasivität als Calciumcarbonat oder Haushaltsreiniger und weiche Nylon-Borsten eine signifikant niedrigere Abrasivität als harte Nylon-Borsten. Auch die häufig empfohlene Verwendung von Zahnpasta führt zu einer im Vergleich hohen Abrasivität. In dieser Hinsicht am besten geeignet sind spezielle Reiniger für Prothesenkunststoffe [41, 99, 122].

Ein weiterer Nachteil dieser Reinigungsmethode ist, dass die Zahnbürste, als Hilfsmittel bei der Reinigung, selbst zum möglichen Keimreservoir werden kann. Dies ist besonders dann ungünstig, wenn dieselbe Zahnbürste zur Geräte- und Zahnreinigung verwendet wird [30].

3.4.2 Chemische Reinigung mit Reinigungspulvern oder -tabletten

Die chemische Reinigung für herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen wird von 37,1 % der in Deutschland tätigen Kieferorthopäden empfohlen. Dabei werden unter anderem Kukis Zahnspangen-Reiniger von 31 %, Cetron Reinigungspulver von 3,3 %, Corega Tabs von 1,8 % und Medical Ortho-Junior von 1 % empfohlen [34].

Es können sowohl Reiniger in Form von Pulvern als auch in Form von Tabletten verwendet werden. Die herausnehmbare kieferorthopädische Apparatur sollte je nach Angaben des Herstellers zirka zwei Mal pro Woche gemäß Herstellerangaben in das Tauchbad gelegt werden [34]. Vor dem Wiedereinsetzen in den Mund muss die Apparatur gründlich mit klarem Wasser abgespült werden. Besonders wichtig bei dieser Methode scheint die Regelmäßigkeit der Anwendung zu sein, damit es gar nicht erst zur Entstehung einer ausgereiften oder mineralisierten Plaque kommt [30].

Zu den typischen Inhaltsstoffen der chemischen Reiniger zählen Komplexbildner, wie Ethylendiamintetraacetat (EDTA) oder Zitrat, die die Wasserhärte senken und die Wirksamkeit des aktiven Sauerstoffes verlängern sollen. Der aktive Sauerstoff stammt dabei von Perverbindungen wie Natriumpercarbonat, die in Lösung Wasserstoffperoxid abspalten. Dieses Wasserstoffperoxid wiederum spaltet Sauerstoff ab und dient so der Desinfektion, der mechanischen Reinigung und der Oxidation von Farbauflagerungen [17]. Ferner sind Tenside wie Natriumlaurylsulfat als Reinigungskomponente, Corate als antimikrobielle beziehungsweise viruzide Komponente, Kohlenstoffdioxidabspalter, wie Natriumhydrogencarbonat zur Sprudelbildung, verschiedene Säuren, wie Zitronensäure, Alkalien, wie Natriumcarbonat zum Herauslösen des Kohlenstoffdioxids und zum Einstellen des pH-Werts und verschiedene Aromastoffe und ätherische Öle zur Geschmacksverbesserung enthalten [17, 22]. Es existieren auch chemische Reiniger, die polymere Silikone enthalten. Die Silikone sollen dabei eine erneute

Plaquesanlagerung verhindern, indem sie auf der Oberfläche der Reinigungslösung einen dünnen hydrophoben Film bilden. Beim Entnehmen der Apparatur lagert sich dieser Silikonfilm auf der Kunststoffoberfläche ab und soll dazu dienen, eine erneute Plaquesanlagerung zu vermindern [17, 101]. Darüber hinaus gibt es mittlerweile Prothesenreiniger, die verschiedene Enzyme, wie zum Beispiel Amylasen, enthalten, wodurch die Reinigungsleistung verbessert werden kann [17, 22].

3.4.2.1 Vorteile der chemischen Reinigung

Zu den wesentlichen Vorteilen dieser Methode zählt die Unabhängigkeit von Geschick und Ausdauer des Patienten. Ihre einfache Handhabung ist ebenfalls vorteilhaft [17, 30]. Durch die chemische Reinigung wird die Mikroorganismenzahl auf dem Kunststoff effektiv reduziert [27, 30, 36, 56, 77, 117]. Durch eine regelmäßige Anwendung kann es beim Patienten auch zu einer Umwandlung einer aktiven Candidose zum Träger-Status kommen [117].

Durch dieses Verfahren werden auch schwer zugängliche Bereiche vergleichsweise gut gereinigt [30]. Darüber hinaus vermindert sich die erneuten Plaquesakkumulation signifikant und der unangenehme Geruch der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur wird vermindert [56, 117].

3.4.2.2 Nachteile der chemischen Reinigung

Ein Nachteil der chemischen Reinigung ist, dass laut Keng und Lim eine alleinige chemische Reinigung nicht ausreichend ist [61]. Teilweise wird deshalb eine Kombination mit einer mechanischen Reinigung mit einer Zahnbürste empfohlen [55, 75, 79].

Von den Patienten wird ein hoher finanzieller Aufwand als nachteilig empfunden [30]. Mit tatsächlichen Kosten von unter fünf bis über hundert Euro pro Jahr bei zweimaliger

Anwendung pro Woche, je nach verwendetem Produkt, variieren die Kosten stark. Es ist für den Patienten durchaus möglich, eine kostengünstige chemische Reinigung durchzuführen [34].

Des Weiteren kann die quasi selbsttätige Wirkung dieser Produkte zu einem psychologischen Nachteil werden, indem der Patient die Verantwortung für die Reinigung an die eventuell überschätzten chemischen Reiniger abgibt und somit die Gerätehygiene vernachlässigt wird [17].

Ein weiteres Problem stellen mögliche nachteilige Veränderungen an den Materialien der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen dar. Diese Veränderungen können sowohl die Kunststoff- als auch die Metallbestandteile der herausnehmbaren Apparatur betreffen. Am Kunststoff sind Farbveränderungen und eine veränderte Lichtdurchlässigkeit möglich [17, 26, 82, 86]. Ferner können die mechanischen Eigenschaften verändert werden. Unter anderem kann es zu einer Reduktion der Biegefestigkeit kommen [17, 26, 82]. Außerdem ist eine erhöhte Oberflächenrauheit möglich [27, 66, 82]. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil eine rauere Oberfläche zu einer vermehrten Anlagerung von Mikroorganismen und zu einer zusätzlichen Reizung der Schleimhaut führen kann [99, 109]. Ursächlich für diese Veränderungen ist meist aber nicht der chemische Reiniger an sich, sondern eher eine zu hohe Temperatur bei der Reinigung; also eine fehlerhafte Anwendung [17, 26].

An den Metallbestandteilen der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen können Korrosionserscheinungen insbesondere an Lotstellen beobachtet werden [17, 46, 86]. Die durch Korrosion bedingten Veränderungen reichen dabei von gleichmäßigen verschiedenfarbigen Anlauferscheinungen an der gesamten Lotoberfläche bis hin zu korrosiv eröffneten größeren Blasen, die mit Korrosionsprodukten gefüllt sein können. Durch Korrosion kommt es auch zur Freisetzung von verschiedenen Ionen in das Korrosionsmedium Speichel [46]. All diese Risiken treten aber vor allem bei chemischen Reinigern auf, die in Deutschland nicht frei verkäuflich sind und/oder bei nicht herstellerkonformer Anwendung. Im Normalfall kommt es nur zu schwachen und zumeist klinisch irrelevanten Veränderungen [17, 26].

Weiterhin kann es zu einer gesundheitlichen Gefährdung des Patienten durch die chemischen Reiniger kommen. So sind einige der üblichen Inhaltsstoffe der chemischen Reiniger, zum Beispiel Natriumsulfat, potentiell schleimhautirritierend. Aber

auch hier gilt, dass bei korrekter Anwendung die Konzentration zu gering ist, um zu dieser Wirkung zu führen [17]. Wesentlich gefährlicher ist es, wenn die chemischen Reiniger unverdünnt geschluckt werden. Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn der Reiniger mit einem Medikament verwechselt wird. Meist kommt es aber auch dann nur zu einer milden lokalen Reaktion [115]. Es wurde allerdings auch beschrieben, dass es dann zu einer sehr schmerzhaften und bedrohlichen Ösophagusstenose kommen kann [8, 80]. Deshalb ist es sinnvoll, das Produkt entsprechend klar zu kennzeichnen und es von kleinen Kindern fernzuhalten.

3.4.3 Weitere in der Literatur beschriebene Reinigungsverfahren

Ein weiteres mit 30,5 % der befragten in Deutschland tätigen Kieferorthopäden häufig empfohlenes Verfahren ist die chemische Reinigung mit verdünnter Essigessenz oder Zitronensäure [34]. Dieses Verfahren führt zu einer Reduktion der Mikroorganismen auf dem Kunststoff [27]. Gleichzeitig kann es aber auch hier zu einer Schädigung des Materials der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur, zum Beispiel durch Korrosion der metallischen Anteile, kommen [17].

Darüber hinaus wird von 2,4 % der in Deutschland tätigen Kieferorthopäden das Einlegen der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur in eine Mundspülösung mit ätherischen Ölen, zum Beispiel Listerine, oder Chlorhexidin empfohlen [34]. Einige dieser Lösungen können auch als Spray verwendet werden [65]. Sie reduzieren bei Prothesenträgern die Plaque auf dem Kunststoff und der bedeckten Schleimhaut. Dadurch können sie auch zu einer Verbesserung der Schleimhaut-gesundheit bei Patienten mit Stomatitis beitragen. Allerdings sind sie nicht in der Lage, harte Beläge oder Verfärbungen sicher zu entfernen, sondern führen im Gegenteil häufig selbst zu Verfärbungen des Kunststoffes und sollten deshalb allenfalls kurzzeitig eingesetzt werden [17, 22, 65].

Ferner wird in der Literatur das Reinigen herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen mit Hilfe von Ultraschall beschrieben. Ultraschall per se entfernt die Plaque, aber reduziert die Zahl der Mikroorganismen nur unzureichend [22]. Da Ultraschall aber die Wirkung von Desinfektionsmitteln verstärkt, kann Ultraschall,

insbesondere wenn es zusammen mit speziellen Reinigungslösungen eingesetzt wird, eine effektive Keimreduktion bewirken [22, 30]. Dieses Verfahren ist allerdings eher für die kieferorthopädische Praxis als für die häusliche Reinigung durch den Patienten selbst gedacht.

Nur ein sehr geringer Anteil der Kieferorthopäden in Deutschland (0,45 %) geben keine Empfehlung zur Reinigung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen an ihre Patienten [34].

3.4.4 Reinigung in einer Geschirrspülmaschine

Die Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine wird von immerhin 3,6 % der in Deutschland tätigen Kieferorthopäden empfohlen. Es ist damit das am vierthäufigsten empfohlene Reinigungsverfahren [34].

3.4.4.1 Theorie zur Geschirrspülmaschine

64 % der deutschen Haushalte besitzen eine Geschirrspülmaschine [127]. Sie werden üblicherweise dazu eingesetzt, durch Speise- und Getränkereste verschmutztes Geschirr und Besteck zu reinigen und anschließend zu trocknen.

Die Reinigungsleistung einer Geschirrspülmaschine wird dabei von vier Faktoren bestimmt: der Zeit, der Temperatur, der Chemie (dem Reinigungsmittel) und der mechanischen Energie, also dem Druck des eingespritzten Wassers [92].

Die verschiedenen Geschirrspülmaschinen verfügen über eine Vielzahl unterschiedlicher Spülprogramme, die sich vor allem hinsichtlich der Spüldauer und –temperatur voneinander unterscheiden. In der Regel besteht ein Spülprogramm aus einem Vorspülgang, der die groben Beläge von dem Spülgut entfernen soll, dem eigentlichen Spülgang, bei dem das Spülgut gereinigt wird, und einem Klarspülgang.

Während des Klarspülgangs wird dem Wasser Klarspüler zugesetzt, der durch Herabsetzen der Oberflächenspannung des Wassers die Bildung von Wasserflecken auf dem Spülgut verhindern soll. Am Ende des Spülprogramms erfolgt die Trocknung des Spülguts. Unterstützt wird die Reinigung des Spülguts durch die Wirkung des Reinigungsmittels. Dieses besteht aus einer Vielzahl verschiedener Stoffe mit unterschiedlichen Aufgaben wie zum Beispiel Tensiden als Benetzungsmittel oder Bleichmittel zum Bleichen von Farbstoffen. Für die Wasserenthärtung wird Regeneriersalz benötigt, das den Ionenaustauscher der Geschirrspülmaschine regelmäßig regeneriert. Insbesondere in Regionen mit hartem Wasser soll so die Bildung von Kalkablagerungen auf dem Spülgut verhindert werden.

3.4.4.2 Mögliche Wirkungen des Reinigens in einer Geschirrspülmaschine auf PMMA

Bei der Reinigung von PMMA in einer Geschirrspülmaschine spielt zum einen die Temperaturbeständigkeit, zum anderen die chemische Beständigkeit von PMMA eine wichtige Rolle. Diese beiden Eigenschaften werden durch den Aufbau von PMMA bestimmt.

PMMA ist ein synthetischer, thermoplastischer Kunststoff, der sehr häufig in verschiedenen Bereichen der Zahnmedizin eingesetzt wird. Laut Janda sind Kunststoffe Polymere, also hochmolekulare Stoffe (griechisch: „poly“=viel; „meros“=Teil), die durch die sogenannte Polyreaktion, aus niedermolekularen Stoffen, den Monomeren, entstehen. Im Fall von PMMA ist Methylmethacrylat das Monomer. Dieser sich immer wiederholende Grundbaustein bildet die Hauptketten des Kunststoffs und es entsteht die Primärstruktur. Die Sekundärstruktur eines Kunststoffs beschreibt die räumliche Anordnung des gesamten Polymers. Bei PMMA ordnen sich die hochmolekularen Fadenmoleküle zu statischen Knäulen an. Bestimmt wird die Sekundärstruktur durch die verschiedenen inter- und intramolekularen Wechselwirkungen zwischen den Polymerketten. Die Tertiärstruktur beschreibt die gegenseitige räumliche Anordnung der einzelnen Polymere zueinander. Ihre Anordnung erfolgt in der Regel statistisch und rein zufällig. Dentales PMMA enthält neben dem Grundbaustein Methylmethacrylat weitere

Zusätze, wie Vernetzermomere oder Füllstoffe, um die gewünschten Werkstoffeigenschaften zu erhalten [52].

Bei PMMA handelt es sich, wie oben bereits erwähnt, um einen thermoplastischen Kunststoff. Charakteristisch für Thermoplaste ist, dass die einzelnen Fadenmoleküle miteinander lediglich durch Nebenvalenzkräfte wechselwirken. Diese Nebenvalenzkräfte lassen sich durch Temperaturerhöhung reversibel aufheben und durch Temperaturniedrigung wieder herstellen. Deshalb lassen sich Thermoplaste gut verarbeiten.

Beim Durchlaufen der Temperaturskala liegt PMMA zuerst in einem festen Zustand vor. Bei höheren Temperaturen wird es zunächst plastisch verformbar und anschließend zu einer viskösen Schmelze. Wird die Temperatur weiter bis über die Zersetzungstemperatur hinaus erhöht, zersetzt sich PMMA. Die Übergänge zwischen diesen verschiedenen Zuständen sind fließend und finden innerhalb relativ breiter Temperaturintervalle statt. Grund für diese breiten Temperaturintervalle sind die nicht einheitlichen Kettenlängen der PMMA-Moleküle.

Für PMMA wird für das kurzzeitige Einwirken eine maximale Temperatur von 100 °C angegeben, ohne dass es zu einer Schädigung kommt. Für ein langfristiges Einwirken liegt die Maximaltemperatur bei 90 °C [62]. Selbst bei Spülprogrammen mit einer hohen Spültemperatur, wie dem in der vorliegenden Arbeit getesteten Intensiv-Programm mit einer angegebenen Spültemperatur von 75 °C, werden diese Temperaturen nicht erreicht.

Bei der chemischen Beständigkeit von PMMA ist zwischen organischen und anorganischen Verbindungen zu unterscheiden. PMMA-Kunststoffe sind gegen anorganische Substanzen, Säuren, Laugen, Salze und deren Lösungen, größtenteils auch in konzentrierter Form, beständig. Die Beständigkeit gegenüber organischen Verbindungen, insbesondere Chlorkohlenwasserstoffen, Ketonen und Estern, ist dagegen geringer. Sie greifen PMMA an [10]. In den verwendeten Reinigungsmitteln für Geschirrspülmaschinen sind sowohl organische Stoffe, zum Beispiel Tenside, als auch anorganische Verbindungen, zum Beispiel Phosphate, enthalten. Es ist demzufolge möglich, dass es durch bestimmte in den Reinigungsmitteln enthaltene Stoffe, insbesondere durch die organischen Bestandteile, zu einer Schädigung des PMMA kommt.

Besonders wichtig hinsichtlich der Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen ist das Formverhalten von PMMA bei der Reinigung in einer Geschirrspülmaschine. Kieferorthopädische Apparaturen sollen immer in irgendeiner Form Zahn- oder Kieferpositionen halten oder bewirken. Eine Formveränderung der kieferorthopädischen Apparatur führt also immer zu einer veränderten Krafteinwirkung auf die Zähne und/oder Kiefer. In diesem Zusammenhang sind die Untersuchungen von Bartling relevant [10]. Er untersuchte das Formverhalten von totalem Zahnersatz aus PMMA mittels optischer 3-D-Messtechnik bei der Reinigung in einer Geschirrspülmaschine. Für den Versuch wurden stilisierte Oberkieferprothesen ohne Zahnkranz aus Heiß- und Kaltpolymerisat angefertigt. Aus jeder Materialgruppe wurde ein Teil der Prothesen täglich zwei Mal in einer Haushaltsgeschirrspülmaschine gereinigt und ein Teil der Prothesen in Wasser gelagert. Bartling stellte fest, dass es durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine zu einer gegenüber Wasserlagerung signifikant stärkeren Formveränderung bei Prothesen aus Kaltpolymerisat kam. Am 21. Versuchstag lag die Formabweichung für den gesamten Prüfkörper zwischen 0,030 und 0,035 mm. Diese Formveränderung findet im Sinne einer Aufweitung statt und wirkt damit der Polymerisationsschrumpfung entgegen. Im Gegensatz dazu zeigte sich kein signifikanter Formunterschied bei den Prothesen aus Heißpolymerisat [10]. Da es sich bei den in der Kieferorthopädie üblicherweise eingesetzten PMMA-Kunststoffen um Kaltpolymerisate handelt, ist also eine geringe Dimensionsveränderung vorstellbar.

Des Weiteren beobachtete Bartling durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine die Tendenz zur Gewichtsabnahme bei den Prothesen aus Kaltpolymerisat. Diese Gewichtsabnahme führte er auf den Verlust von Wasser und weiteren flüchtigen Bestandteilen zurück. Dadurch ist eine Verschlechterung der Werkstoffeigenschaften wahrscheinlich [10].

3.5 Weitere Faktoren für die Hygienisierbarkeit von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen

Neben der eigentlichen Reinigung spielen für die Hygiene herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen weitere Faktoren eine wichtige Rolle.

Dazu gehört entscheidend die Planung und Gestaltung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur. Das heißt, wie viele und welche aktiven und passiven Elemente besitzt sie, und wie sind diese gestaltet. Bei der Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen führen nämlich vor allem diese Bereiche zu einer erschwerten Reinigung [30]. Das heißt, je mehr von diesen schwer zu reinigenden Bereichen es gibt, desto schwieriger ist es für den Patienten, eine befriedigende Gerätehygiene zu betreiben. Auch die Ausdehnung der kieferorthopädischen Apparatur spielt eine Rolle. So zeigen Patienten, bei denen der Kunststoff der Apparatur das marginale Zahnfleisch nicht bedeckt, nach vier Monaten einen höheren Gingivaindex als Patienten, bei denen diese Bereiche bedeckt sind. Eine Entzündung der Gingiva zeigt sich allerdings in beiden Fällen [42].

Ein weiterer Faktor ist die Beschaffenheit der Kunststoff- beziehungsweise Metalloberfläche. Generell zeigen die oralen Mikroorganismen eine erhebliche Retention auf allen Flächen, unabhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche, sogar auf polierten Flächen [109]. Die meisten Studien, die die Haftung von Mikroorganismen auf verschiedenen beschaffenen Oberflächen untersucht haben, kamen jedoch zu dem Ergebnis, dass eine rauere Oberfläche zu einer verstärkten Anlagerung von Mikroorganismen führt [99, 109, 119]. Dabei spielt auch die Bakteriengröße und damit der Bakterientyp eine Rolle für die Anlagerung [109]. In den auf rauen Oberflächen vorhandenen Nischen können Mikroorganismen gut haften. Sie entziehen sich dort den verschiedenen Maßnahmen der Hygiene, wie zum Beispiel der Zahnbürste, und haben dadurch genug Zeit, sich fest an die Oberfläche des Materials zu binden [50, 109]. Außerdem ist durch Unebenheiten auf der Oberfläche insgesamt eine größere Fläche für die Retention von Mikroorganismen vorhanden. Durch die vermehrt anhaftenden Mikroorganismen wird die weitere Plaquebildung erleichtert [109, 118].

Andere Studien zu diesem Thema können keine höhere Besiedelung auf raueren Oberflächen feststellen. Eine mögliche Erklärung für dieses andere Ergebnis mag sein, dass der in diesen Studien verwendete Speichel, mit dem die Prüfkörper benetzt wurden, den Einfluss der Oberfläche auf die Adhäsion der Mikroorganismen reduziert hat [43]. Unabhängig von der Besiedelung durch Mikroorganismen, kann die rauere Oberfläche aber zu einer verstärkten Reizung der Gewebeunterlage führen [99].

Ein zusätzlicher in der Kieferorthopädie wichtiger Faktor für die Hygienisierbarkeit sind Frakturen, Risse oder Lücken im Kunststoff, die durch Spannungen innerhalb der

herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur entstehen können. Diese sind teilweise sehr klein, können aber auch so groß sein, dass sie mit bloßem Auge sichtbar sind. In jedem Fall begünstigen sie die Adhäsion von Mikroorganismen [65].

Darüber hinaus spielt offenbar auch die Auswahl des Materials für die herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen eine Rolle. So zeigte sich *in vitro* an PMMA eine um immerhin etwa 30 % höhere Anhaftung von *Lactobacillus acidophilus* und *Streptococcus mutans* als an Polypropylen [85]. Es gibt darüber hinaus neu entwickelte Kunststoffe, die durch aktive Inhaltsstoffe antimikrobielle Eigenschaften aufweisen sollen. Ein Beispiel hierfür sind Acrylharze, die quartäre Ammonium-Methacryloxy-Silikate enthalten. Dabei handelt es sich um ein organisch modifiziertes Silikat, das unter anderem ein antimikrobielles Mittel enthält. Diese Kunststoffe zeigen bei Kontakt mit *Streptococcus mutans* und *Actinomyces naeslundii* eine abtötende Wirkung und hemmen die Adhäsion von *Candida albicans* auf der Kunststoffoberfläche. Solche und ähnliche Kunststoffe mit anhaltender antimikrobieller Aktivität stellen eine vielversprechende Möglichkeit zur Verhinderung von durch Mikroorganismen verursachte Krankheiten dar [4, 39, 40].

4 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war die Bestimmung der Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei PMMA-Prüfkörpern. Hierfür sollten verschiedene Spülprogramme und Reinigungsmittel für eine Geschirrspülmaschine untersucht und miteinander verglichen werden.

Untersucht werden sollten folgende Spülprogramme:

- Kurz-Programm 40 °C
- Intensiv-Programm 75 °C

Beide Spülprogramme sollten jeweils mit den drei folgenden Reinigungsmitteln getestet werden:

- K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver
- Somat 10 Spülmaschinen Tabs
- Sodasan Maschinen Spülmittel

Folgende Fragen sollten durch die Untersuchungen beantwortet werden:

1. Ist eine Reinigung von PMMA-Prüfkörpern beziehungsweise herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine prinzipiell möglich?
2. Ist eine Reinigung von PMMA-Prüfkörpern beziehungsweise herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine sinnvoll?
3. Gibt es Unterschiede in der Reinigungsleistung zwischen den beiden zu testenden Programmen?
4. Gibt es Unterschiede in der Reinigungsleistung zwischen den drei zu testenden Reinigungsmitteln?
5. Kommt es durch die Reinigung in einer Geschirrspülmaschine zu Dimensionsveränderungen der PMMA-Prüfkörper?

5 Materialien und Methoden

5.1 Materialien

5.1.1 Orthocryl

Zum Herstellen der Prüfkörper wurde das PMMA-Kaltpolymerisat Orthocryl^{12, 13} der Firma Dentuarum ohne Farbkonzentrat oder Disco Glimmer verwendet. Dieser Kunststoff wurde speziell zur Herstellung von kieferorthopädischen Apparaturen entwickelt. Er kann sowohl in der Streutechnik als auch im Anteigverfahren verarbeitet werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde, auf Grund der häufigeren Anwendung in der Kieferorthopädie, die Streutechnik verwendet und der Kunststoff den Angaben des Herstellers entsprechend verarbeitet. Der Orthocryl-Kunststoff wurde während der Studie in einem geschlossenen Behältnis in einer kühlen und vor Verunreinigungen und direktem Sonnenlicht geschützten Umgebung gelagert.

Die Bestandteile der Orthocryl-Flüssigkeit sind [51]:

- 92 % Methylmethacrylat
- etwa 7 % Venetzermonomer
- 0,5 bis 1 % N,N-Dimethyl-p-toluidin

Das Orthocryl-Pulver besteht aus [51]:

- 98 % Polymethylmethacrylat (PMMA)-Perlpolymer
- 0,5 bis 1 % Dibenzoylperoxid

5.1.2 Spektrophotometer

In der vorliegenden Arbeit wurde das UV-Vis-Spektrophotometer UVmini-1240^t der Firma Shimadzu verwendet. Bei der UV-Vis-Spektroskopie handelt es sich um eine spezielle Form der Spektroskopie, die elektromagnetische Wellen des ultravioletten (UV) und des sichtbaren (englisch visible, VIS) Lichts nutzt. Es wird also die Wechselwirkung von Strahlung im ultravioletten und sichtbaren Bereich zwischen 200 – 800 nm mit Materie untersucht. Bei dem verwendeten Spektrophotometer handelt es sich um ein Einstrahlgerät, bei dem Referenz und Probe nacheinander vermessen werden.

Allgemein besteht ein Spektrophotometer aus einer Strahlungsquelle, in diesem Fall aus einer Halogenlampe (sichtbarer Wellenlängenbereich) und einer Deuteriumlampe (UV-Bereich). Von dieser Strahlungsquelle aus wird die Strahlung zu einer Einheit zur spektralen Lichtzerlegung weitergeleitet. Hier wird mit Hilfe eines Monochromators das Licht zerlegt und anschließend das entstandene monochromatische Licht durch die zu untersuchende Probe geleitet.

Beim Durchlaufen der Probe werden dann die Valenzelektronen der Moleküle durch die Absorption des eingestrahlten monochromatischen Lichtes einer charakteristischen Wellenlänge angeregt und springen auf ein höheres Energieniveau. Jeder Stoff bevorzugt dabei Licht einer bestimmten Wellenlänge. In einem Vorversuch wurde das Absorptionsmaximum der Tee-CHX-Beläge mit 380 nm ermittelt.

Der Teil der elektromagnetischen Strahlung, der von der Probe nicht absorbiert wird oder durch Reflexion und Streuung verloren geht, verlässt die Probe wieder. Das Licht gelangt zum Detektor, in diesem Fall einer Photodiode, und wird anschließend durch einen Analog-Digital-Wandler in ein digitales Signal gewandelt, das dann letztendlich auf dem Anzeigefeld abgelesen werden kann.

Es gilt, dass die optische Dichte oder auch Extinktion E , das Verhältnis zwischen Ausgangsintensität I_0 vor der Probe und der hinter der Probe gemessenen Intensität I ist. Die optische Dichte beziehungsweise die Extinktion ist dabei proportional zur Schichtdicke der durchlaufenen Probe d , der Konzentration c des jeweiligen Stoffes, in diesem Fall der Tee-CHX-Beläge, und dem molaren dekadischen Extinktionskoeffizienten ϵ .

Es gilt das Lambert-Beersche Gesetz: $E = \epsilon \times c \times d$ [45, 68, 128]

Da sich in dem unter 5.2 beschriebenen Versuchsaufbau durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine nur die Konzentration c der Tee-CHX-Beläge ändert und die anderen Größen (ϵ und d) konstant bleiben, können über die veränderte optische Dichte Rückschlüsse auf die Menge der entfernten Tee-CHX-Beläge gezogen werden. Die Abnahme der optischen Dichte ist ein Maß für die Reinigungsleistung der jeweiligen Spülprogramm-Reinigungsmittel-Kombination.

5.1.3 Geschirrspülmaschine

Es wurde der Geschirrspülautomat G 5400SC[®] der Firma Miele verwendet und sowohl ein Intensivprogramm mit einer angegebenen Spültemperatur von 75 °C, als auch ein Schnellprogramm mit 40 °C angegebener Spültemperatur getestet.

Die Einstellung für das Spülmaschinenregeneriersalz wurde nach Rücksprache mit den Berliner Wasserbetrieben und der Firma Miele für eine Wasserhärte von 3,74 mmol/l beziehungsweise 21 °dH gewählt. Für die Klarspülermenge wurde entsprechend der Herstellerangaben ein Wert von 3 ml pro Spülgang gewählt.

5.1.4 Reinigungsmittel für die Geschirrspülmaschine

In dieser Studie wurden drei verschiedene Reinigungsmittel getestet, die im Berliner Einzelhandel erworben wurden. Sie wurden nach dem Kauf trocken und immer sorgfältig verschlossen gelagert.

Zum einen wurde K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver²⁵ (Abbildung 3 a und b) verwendet.

Die Hauptbestandteile dieses Pulvers sind [59]:

- 15 – 30 % Phosphate
- 5 – 15 % Bleichmittel auf Sauerstoffbasis
- < 5 % nichtionische Tenside
- Protease, Amylase (ohne Mengenangabe)
- Duftstoffe (ohne Mengenangabe)
- Farbstoffe (ohne Mengenangabe)

Es wurden bei der Reinigung mit K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver außerdem jeweils das entsprechende Regeneriersalz¹⁶ (Abbildung 4 a und b) und der entsprechende Klarspüler⁸ von Kaufland K Classic verwendet.



Abbildung 3 a und b: K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver in der entsprechenden Verpackung (a) und ohne Verpackung (b)



Abbildung 4 a und b: K Classic Klarspüler (a) und Spezi alsalz (b)

Zum anderen wurden Somat 10 Spülmaschinen Tabs²⁷ (Abbildung 5 a und b) verwendet.

Hauptbestandteile dieser Reinigungstabs sind [103]:

- > 30 % Phosphat
- 5 - 15 % Bleichmittel auf Sauerstoffbasis, Polycarboxylate und nichtionische Tenside
- < 5 % Phosphonate, Amylasen, Proteasen und Duftstoffe

Da es sich um ein Multifunktionsprodukt handelt, das sowohl einen Klarspüler als auch ein entsprechendes Regeneriersalz enthält, wurde bei der Reinigung mit Somat 10 Spülmaschinen Tabs gemäß Herstellerangaben auf die Anwendung eines separaten Klarspülers und eines separaten Regeneriersalzes verzichtet.



Abbildung 5 a und b: Somat 10 Reinigungstabs in der entsprechenden Verpackung (a) und ohne Verpackung (b)

Außerdem wurde noch das Sodasan Maschinen Spülmittel²⁶ (Abbildung 6 a und b) getestet.

Die enthaltenen Stoffe sind [102]:

- > 30 % Natriumcarbonat
- < 25 % Trinatriumcitrat
- < 20 % Kieselsäure Dinatriumsalz
- < 15 % Natriumpercarbonat
- < 10 % Natriummetasilikat
- < 5 % Iminodibernsteinsäure Natriumsalz
- < 2 % Polyasparaginsäure Natriumsalz
- Zuckertenside
- Fettalkoholsulfat

Es wurden auch hier das entsprechende Regeneriersalz¹⁷ und der entsprechende Klarspüler⁹ verwendet (Abbildung 7 a und b).



Abbildung 6 a und b: Sodasan Maschinen Spülmittel in der entsprechenden Verpackung (a) und ohne Verpackung (b)



Abbildung 7 a und b: Sodasan Klarspüler (a) und Regeneriersalz (b)

5.2 Methoden

Aus Orthocryl-Kunststoff wurden transparente farblose Prüfkörper hergestellt. Diese Prüfkörper wurden dann in Anlehnung an das Verfahren von Jagger et al. [50] nacheinander mit Speichel, Chlorhexidin und Tee eingefärbt. Anschließend wurde die optische Dichte der gefärbten Prüfkörper mit Hilfe eines Spektrophotometers ermittelt. Nach der darauffolgenden Reinigung der Prüfkörper in der Geschirrspülmaschine wurde die optische Dichte erneut gemessen.

Die Differenz zwischen optischer Ausgangs- und Enddichte wurde als quantitatives Maß für die Reinigungsleistung der Geschirrspülmaschine verwendet.

5.2.1 Vorversuche

Es wurden Vorversuche durchgeführt, um die Abläufe für die eigentlichen Versuchsreihen zu systematisieren und zu optimieren.

Des Weiteren wurde mit Hilfe des Spektrophotometers das Absorptionsmaximum der erzeugten Tee-Chlorhexidin-Beläge bestimmt. Es wurde ein Absorptionsmaximum von 380 nm festgestellt. Bei diesem Wert wurden während aller Versuchsreihen die Messungen mit dem Spektrophotometer durchgeführt.

Die Reproduzierbarkeit der verwendeten Messmethode für die Ermittlung der optischen Dichte wurde in Form von Wiederholungsmessungen untersucht (Mittelwert: 2,24; Standardabweichung: 0,011).

5.2.2 Prüfkörperherstellung

Es wurden insgesamt 140 Prüfkörper auf PMMA-Basis hergestellt. Je Reinigungsmittel und Spülprogramm wurden 10 Prüfkörper verwendet; zur Ermittlung der Trübung

dienten jeweils weitere 10 Prüfkörper und zusätzliche 20 Prüfkörper wurden im Rahmen von Vorversuchen eingesetzt.

5.2.2.1 Herstellung der Form für die Prüfkörperplatten

Für die Prüfkörperherstellung wurden Prüfkörperplatten verwendet, wobei aus einer Prüfkörperplatte durch Zersägen jeweils zehn einzelne Prüfkörper gewonnen wurden.

Zunächst wurde eine Vorlage für diese Prüfkörperplatten gefertigt. Dazu wurde als erstes aus einer 3 mm starken Duran-Platte¹⁴ eine Prüfkörperplattenvorlage mit einer Breite von 5 cm und einer Länge von 10 cm ausgesägt. An dieser Platte wurde dann mit Hilfe von Kaltpolymerisat^{10, 11} ein kleiner Griff in Form einer Kaltpolymerisatkugel befestigt. Die mit der Kugel versehene Duran-Platte wurde dann in Hartgips⁵ eingebettet und nach einer Aushärtezeit von 30 min mit Hilfe der kleinen Kaltpolymerisatkugel wieder entfernt. Die so entstandene Gipsform wurde anschließend von außen in Form getrimmt⁵. Nun konnte aus dieser Gipsform mit Hilfe von Dubliersilikon^{3, 4} eine Silikonform produziert werden, sodass für jede Prüfkörperplatte eine neue, gleiche Gipsform hergestellt werden konnte.

5.2.2.2 Herstellung der Prüfkörperplatten

Zu Beginn des jeweils ersten Versuchstages wurde zunächst die Silikonform für die Prüfkörperplatten mit 2 ml^j Lubrofilm²⁴ für 20 s entspannt. Nach dieser Zeit wurden vorhandene Lubrofilmreste verblasen. Dieser und alle weiteren Versuchsschritte wurden bei einer Raumtemperatur^f von 23 ± 3 °C durchgeführt. Als nächstes wurden mit Hilfe einer digitalen Waage^d 200 g Hartgips und 60 ml Leitungswasser mit einem Messzylinder^l dosiert. Der Gips wurde dann für 30 s in einem Vakuumanrührer^{u,v} angerührt. Der fertige angerührte Gips wurde in die Silikonform gefüllt. Die Silikonform stand dabei auf einem Rüttler^o auf mittlerer Stufe und der Gips wurde portionsweise von

einer Seite der Form eingefüllt. Dieses Vorgehen sollte die Bildung von Blasen im Gips verhindern. Der Gips in der Silikonform härtete nun für 30 min bei Raumtemperatur aus.

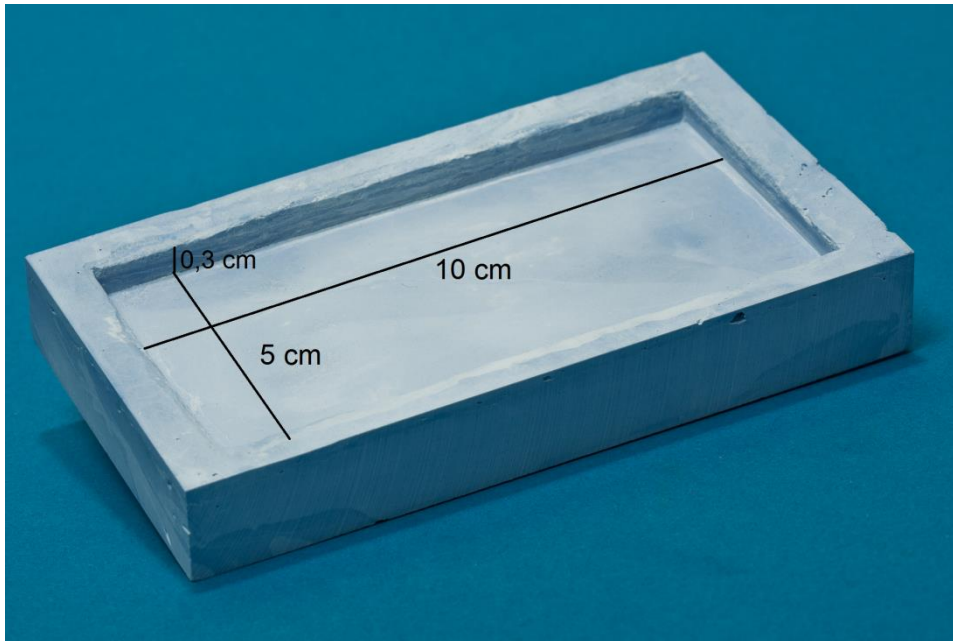


Abbildung 8: getrimmte Gipsform für die Herstellung der Prüfkörperplatten

Nun wurde die Gipsform aus der Silikonform entnommen, so getrimmt, dass ein ebener Boden entstand und keine Überstände mehr vorhanden waren und trocknete für weitere 5 min. Die entstandene Gipsform ist in Abbildung 8 zu sehen.

Nach diesen 5 min wurde die Gipsform mit einem Pinsel mit Isoliermittel⁶ isoliert. Nach 30 Sekunden wurden noch vorhandene Reste des Isoliermittels verblasen. Außerdem wurde die Gipsform nach dem Isolieren entlüftet, indem sie für zehn Minuten in handwarmes Wasser gestellt wurde, das etwa bis zu einer Höhe von 1,5 cm reichte.

Nun wurde der Orthocryl-Kunststoff mittels Streutechnik eingebracht. Dabei wurde prinzipiell mit dem Pulver^{13, g}, also dem Polymer, begonnen. Das Pulver wurde dabei mit leichten Pendelbewegungen direkt auf die Gipsform aufgetragen. Anschließend wurde die Flüssigkeit^{12, h}, also das Monomer, aufgetragen. Dabei wurde immer nur so viel Flüssigkeit verwendet wie das Pulver aufsaugen konnte. Es wurden so lange abwechselnd Pulver und Flüssigkeit aufgetragen, bis die Form mit leichtem Überschuss gefüllt war. Die letzte Schicht war dabei entsprechend der Herstellerangaben eine dünne, trockene Pulverschicht.

Nun wurde die Form zur Polymerisation für 25 min bei 0,2 MPa und einer Wassertemperatur von 45 °C in einen Drucktopf^c gestellt. Nach der abgeschlossenen Polymerisation wurde die Gipsform mit der Prüfkörperplatte aus dem Drucktopf entnommen.

5.2.2.3 Schleifen und Polieren der Prüfkörperplatten

Als Nächstes folgte das Schleifen und Polieren der Prüfkörperplatte. Dazu wurde die Prüfkörperplatte zunächst beidseits manuell auf einer Tellerschleifmaschine^q mit Schleifpapier der Körnung 220²³ geschliffen. Dabei wurden alle Kanten entfernt und Unebenheiten auf beiden Seiten grob ausgeglichen. Es folgte ein zweiter maschineller Schleifschritt mit Hilfe eines Tellerschleifers der Firma Exakt^p mit Kontrolle der Abtragsmenge. Nacheinander wurde Schleifpapier mit einer Körnung von 120¹⁸, 220¹⁹, 320²⁰, 1200²¹ und 4000²² verwendet. Um einen sicheren Halt in der Haltevorrichtung zu gewähren, wurde eine Seite der Prüfkörperplatte mit Hilfe von doppelseitigem Klebeband² an einem Probenhalter¹⁵ für die Exakt Tellerschleifmaschine befestigt. Dieser Probenhalter wurde dann mit Hilfe eines Vakuums am Arm des Tellerschleifers gehalten. So konnte zunächst eine Seite der Prüfkörperplatte plan geschliffen und anschließend poliert werden. Es wurde zirka 1 mm der Plattendicke abgetragen. Dabei wurde jede Körnung des Schleifpapiers für mindestens 10 min verwendet, um am Ende eine gleichmäßige Oberfläche bei allen Prüfkörpern zu erhalten. Sowohl die Drehgeschwindigkeit des Tellers als auch die Oszillation des Tellerschleifarms waren beim Schleifen und Polieren auf Stufe zehn eingestellt. Der Arm mit der Probenplatte wurde insgesamt mit einem Gewicht von 400,77 g beschwert.

Daran schloss sich der Schleif- und Polierprozess der zweiten Seite der Prüfkörperplatte an. Dazu wurde die Prüfkörperplatte zunächst aus der Haltevorrichtung der Schleifmaschine entfernt und von dem Probenhalter gelöst. Dann wurde die Prüfkörperplatte mit der bereits polierten Seite mit doppelseitigem Klebeband auf dem Probenhalter befestigt. Mittels Vakuums wurde der Probenhalter wieder am Arm des Tellerschleifers montiert. Unter mehrfacher Kontrolle der Prüfkörperdicke mit Hilfe einer Bügel-Mikrometermessschraubeⁱ wurde nun der Prüfkörper auf seine endgültige Dicke

von $1 \pm 0,1$ mm geschliffen und poliert. Auch hierbei wurde die gleiche Reihenfolge an Schleifpapier verwendet wie zuvor bereits für die erste Prüfkörperplattenseite und auf eine Mindestschleifdauer von 10 min pro Schleifpapierkörnung geachtet. Es entstand eine beidseits polierte Prüfkörperplatte mit einer Dicke von $1 \pm 0,1$ mm.

5.2.2.4 Zersägen der Prüfkörperplatten

Aus der fertig geschliffenen und polierten Prüfkörperplatte wurden dann mit Hilfe einer Bandsäge^a zehn einzelne Prüfkörper gesägt, die entsprechend der Festkörperhalterung des Spektrophotometers eine Breite von 18 mm und eine Länge von 24 mm hatten. Es entstanden also aus einer Prüfkörperplatte zehn einzelne Prüfkörper mit den Maßen 24 mm x 18 mm x 1 mm.

Als letzter Schritt des ersten Versuchstages wurden die Prüfkörper vermessen und mit einem wasserfesten Stift³⁰ in einer willkürlich festgelegten Ecke beschriftet. Beim Vermessen wurde für die Dicke der Prüfkörper wieder die Bügel-Mikrometermessschraube und für die Höhe und Breite eine orthodontische Schiebelehre^k verwendet. Anschließend wurden die Prüfkörper über Nacht für 12 h in einem Liter deionisiertem Wasser in einem Becherglas^E bei Raumtemperatur gelagert. Diese Lagerung diente dazu, den Monomergehalt des Kunststoffes zu reduzieren.

5.2.3 Färben der Prüfkörper

Am zweiten Versuchstag wurde auf den Prüfkörpern ein Belag aus Speichel, Chlorhexidin und Tee erzeugt.

Zunächst wurde hierfür in Anlehnung an das Verfahren von Jagger et al. [50] die optische Dichte der über Nacht in Wasser gelagerten Prüfkörper mit Hilfe des Spektrophotometers ermittelt. Es wurde bei dieser und allen folgenden Messungen beim Absorptionsmaximum der Tee-Chlorhexidin-Beläge von 380 nm gemessen und

ein spezieller Probenhalter für Festkörper^j verwendet. In dieser Halterung wurden die Prüfkörper mit Hilfe einer Klammer in Position gehalten. Zusätzlich wurde, wie in Abbildung 9 dargestellt, mit Hilfe einer aufgeklebten L-förmigen Kunststoffplatte eine eindeutig reproduzierbare Position der Prüfkörper festgelegt. Die einzelnen Prüfkörper wurden dann zur Messung der optischen Dichte jeweils mit der Beschriftung oben links vorne in dieser Halterung positioniert und so sichergestellt, dass die Messung der optische Dichte immer an derselben Stelle der Prüfkörper erfolgte.

Die modifizierte Festkörperhalterung wurde dann im Strahlengang des Spektrophotometers positioniert.

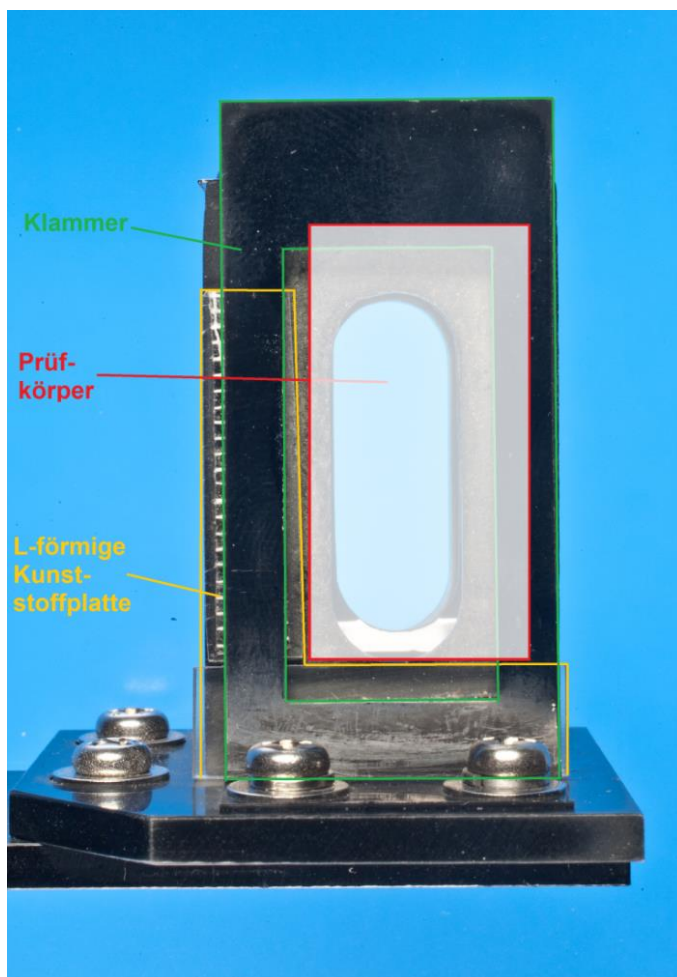


Abbildung 9: Modifizierte Festkörperhalterung der Firma Shimadzu für das Spektrophotometer^j

Zum Herstellen der für die Färbung der Prüfkörper benötigten wässrigen Teelösung wurden acht Gramm^{w,B} des Tees Marks and Spencer extra strong²⁹ in 800 ml^F deionisiertes Wasser, das zuvor zum Kochen gebracht worden war^{f, H}, gegeben und dort für fünf Minuten belassen. Nach dieser Zeit wurde die Tee-Lösung durch ein Stück

Musselin-Stoff²⁸ gefiltert, um die Schwebestoffe zu entfernen. Anschließend kühlte die Lösung auf Raumtemperatur ab.

Von dieser Lösung wurden dann jeweils 20 ml^I in zehn 50 ml große, saubere Becher^C gefüllt. Für jeden Färbezyklus wurde eine frische Teelösung verwendet, um eine gleichbleibende Konzentration der TeeFarbstoffe zu ermöglichen. Zum Versuchsaufbau gehörte auch ein sauberer 50 ml Becher mit 20 ml täglich frisch nach dem Frühstück produziertem Speichel der Promovendin. Dieser Speichel wurde durch das Kauen von zuckerfreien Kaugummi⁷ stimuliert. Des Weiteren gehörten zum Versuchsaufbau ein mit 20 ml 0,2%igem Chlorhexidin¹ gefülltes, sauberes 100 ml Becherglas^D und drei 1 l große saubere Bechergläser^E, die jeweils mit 1000 ml^G deionisiertem Wasser gefüllt waren.

Die Prüfkörper wurden für den ersten Färbeschritt jeweils für zwei Minuten in das Becherglas mit Speichel gelegt. Dadurch sollte auf der Oberfläche die Bildung eines initialen Biofilms bewirkt und so die spätere Aufnahme des Tee-Farbstoffes gefördert werden.

Dabei, und bei allen folgenden Einfärbe- und Trocknungsschritten, wurde jeweils ein Gestell verwendet, das eine Benetzung des Prüfkörpers von allen Seiten ermöglichen sollte. Es bestand aus einem 3 mm dicken und zirka 2,5 cm x 2,5 cm großen Fuß aus einer Duran-Platte¹⁴ mit drei 1 mm starken und etwa 3 mm langen Stäben, auf denen die Prüfkörper gelagert wurden (Abbildung 10 a und b).

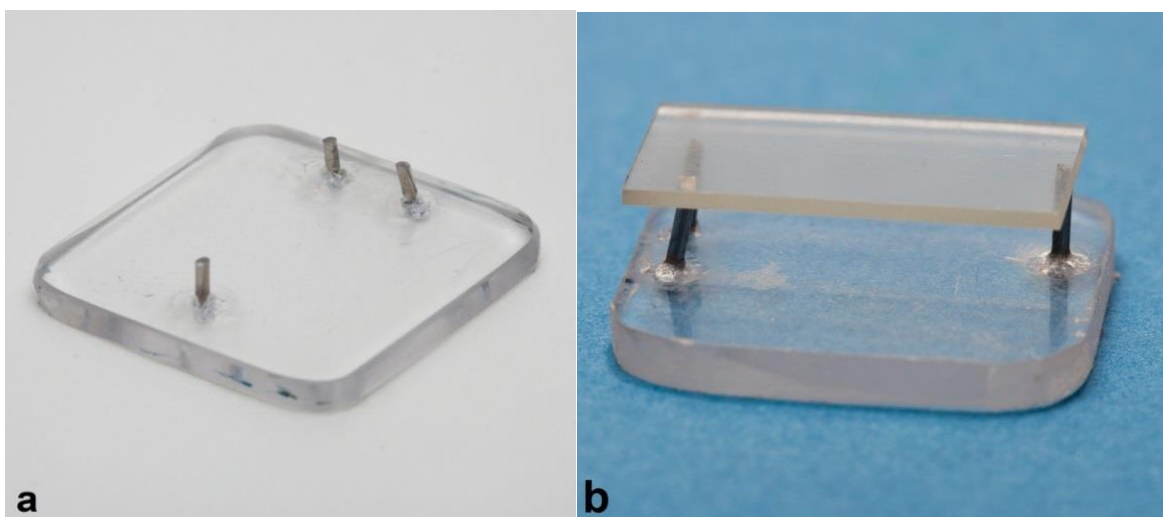


Abbildung 10 a und b: Gestell zum Halten der Prüfkörper in den verschiedenen Flüssigkeiten mit (a) und ohne (b) Prüfkörper

Anschließend wurden die Prüfkörper mit deionisiertem Wasser abgespült, indem die Prüfkörper mit Hilfe einer Pinzette^A im ersten der großen mit deionisiertem Wasser gefüllten Bechergläser geschwenkt wurden. Das deionisierte Wasser in diesen Bechergläsern wurde für jeden Färbezyklus gewechselt.

Nach dem Schwenken in Wasser wurden die Prüfkörper jeweils für 15 min auf einem weiteren Gestell bei 37 °C in einem Brutschrank^b getrocknet und anschließend für zwei Minuten in das 100 ml Becherglas mit Chlorhexidin gelegt. Auch nach diesem Färbeschritt wurden die Prüfkörper in deionisiertem Wasser, das im zweiten großen Becherglas war, geschwenkt und anschließend für 15 min auf einem Gestell im Brutschrank getrocknet.

Schließlich wurden die Prüfkörper für eine Stunde bei Raumtemperatur in die vorher hergestellte Teelösung getaucht. Es folgten der Spülschritt im dritten großen Becherglas und der Trocknungsschritt wie bei den beiden vorangegangenen Färbeschritten.

Nach diesem ersten Färbezyklus erfolgte direkt eine erneute Messung der optischen Dichte jedes Prüfkörpers bei 380 nm. Lag der Wert der optischen Dichte unter 2, wurde der Färbezyklus wiederholt bis die optische Dichte einen Wert von 2 überschritt. Lag der Wert über 2, so wurde der jeweilige Prüfkörper (Abbildung 11) in der Geschirrspülmaschine mit einem entsprechenden Spülprogramm mit einem entsprechenden Reinigungsmittel gespült.

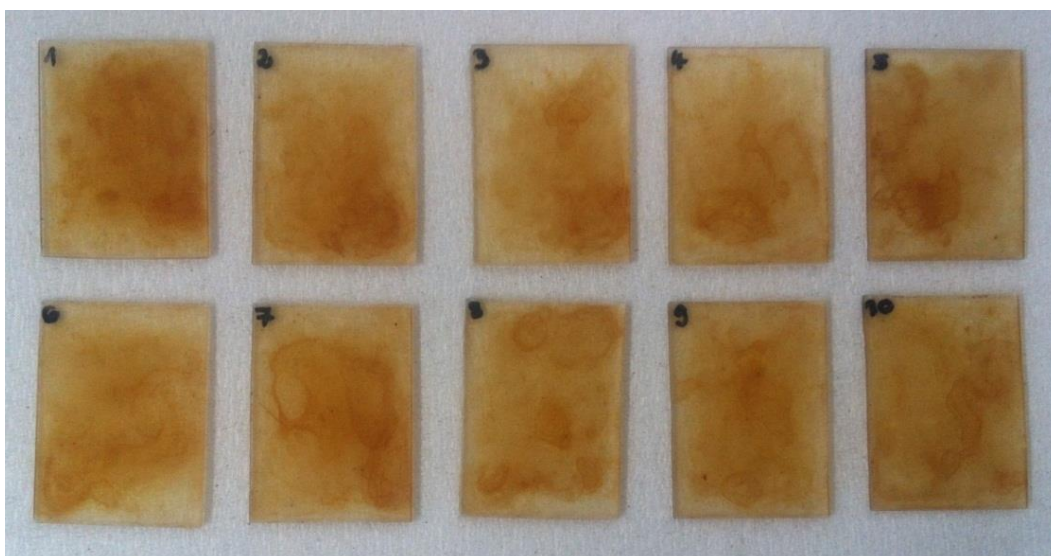


Abbildung 11: gefärbte Prüfkörper mit inhomogener Tee-CHX-Belagbildung

5.2.4 Grafische Darstellung des Versuchsablaufes

Abbildung 12 stellt den Versuchsablauf grafisch dar:

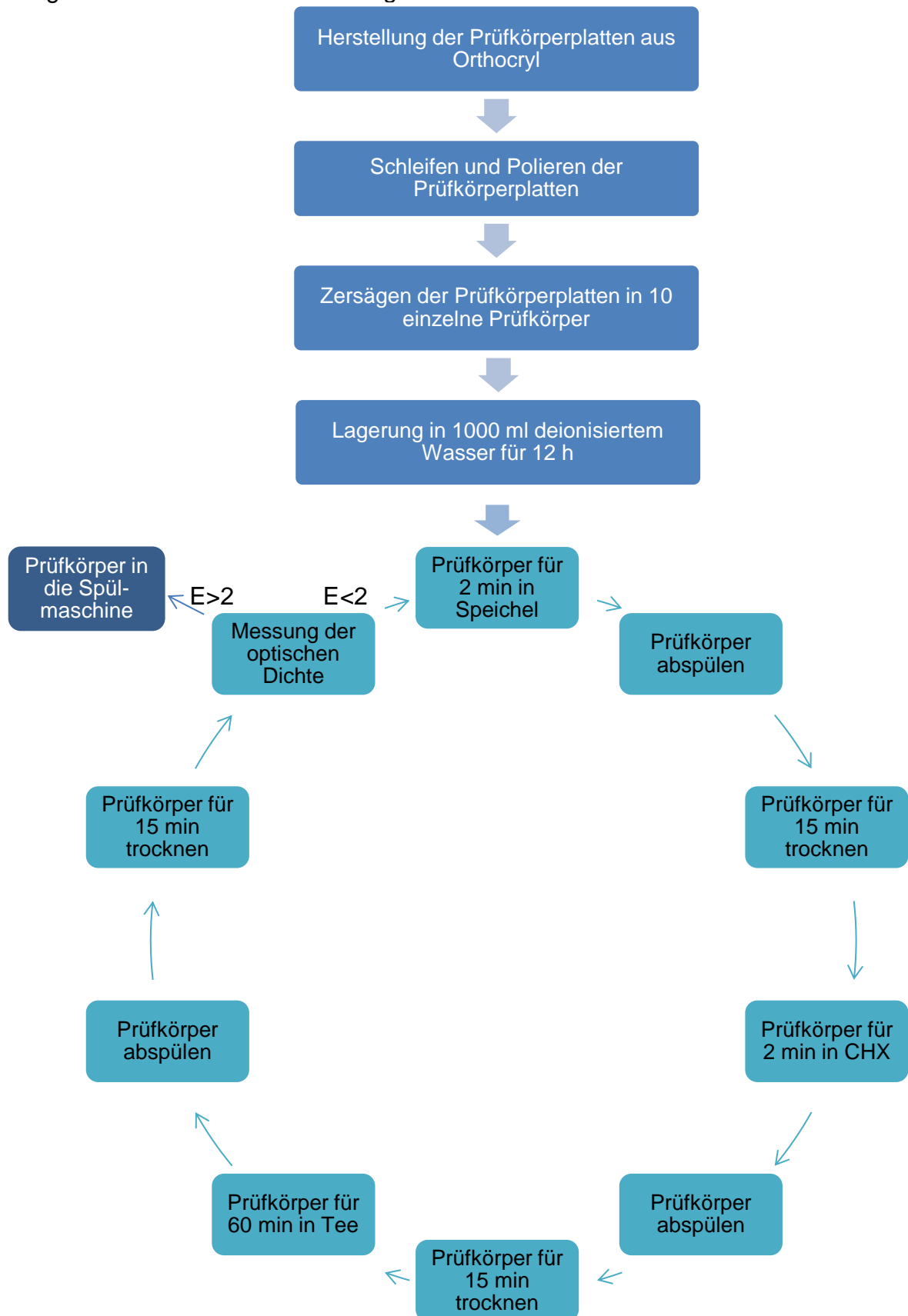


Abbildung 12: Flussdiagramm zum Herstellen und Einfärben der Prüfkörper

5.2.5 Reinigung der Prüfkörper in der Geschirrspülmaschine

Während der Reinigung in der Geschirrspülmaschine^e wurden jeweils zehn der gefärbten Prüfkörper in einer Siebschale mit Deckel^m für Kleinteile gelagert. Abbildung 13 zeigt die Anordnung der Prüfkörper in der Siebschale, sodass der Abstand zwischen den einzelnen Prüfkörpern zu Beginn der Reinigung möglichst groß war.

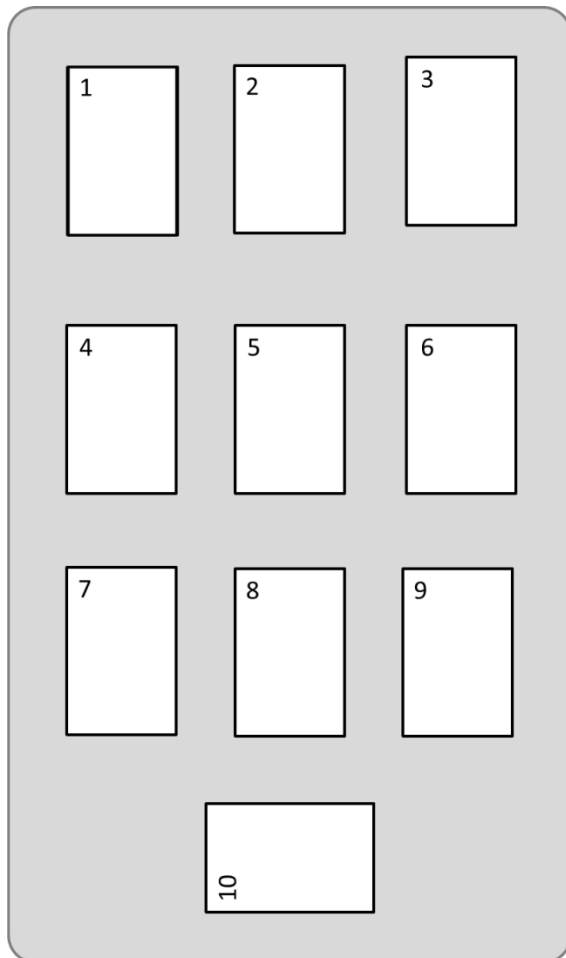


Abbildung 13: Schematische Darstellung der Position der Prüfkörper in der Siebschale vor der Reinigung in der Geschirrspülmaschine

Die Siebschale mit Deckel wurde dann verschlossen und wie in Abbildung 14 mittig in der obersten Schublade der Spülmaschine, der Besteckschublade, platziert.



Abbildung 14: Position der Siebschale mit jeweils zehn Prüfkörpern in der Geschirrspülmaschine

Außerdem wurde bei jedem Spülgang ein Spülmaschinenthermometer^l an der mittleren Schublade in der vorderen linken Ecke mit Hilfe des dafür vorgesehenen Klettverschlusses befestigt (Abbildung 15 a und b). Die maximale Temperatur des jeweiligen Spülgangs wurde so registriert und nach dem Spülgang abgelesen. Es wurde außerdem jeweils die Spüldauer mit Hilfe einer Stoppuhrⁿ gemessen.

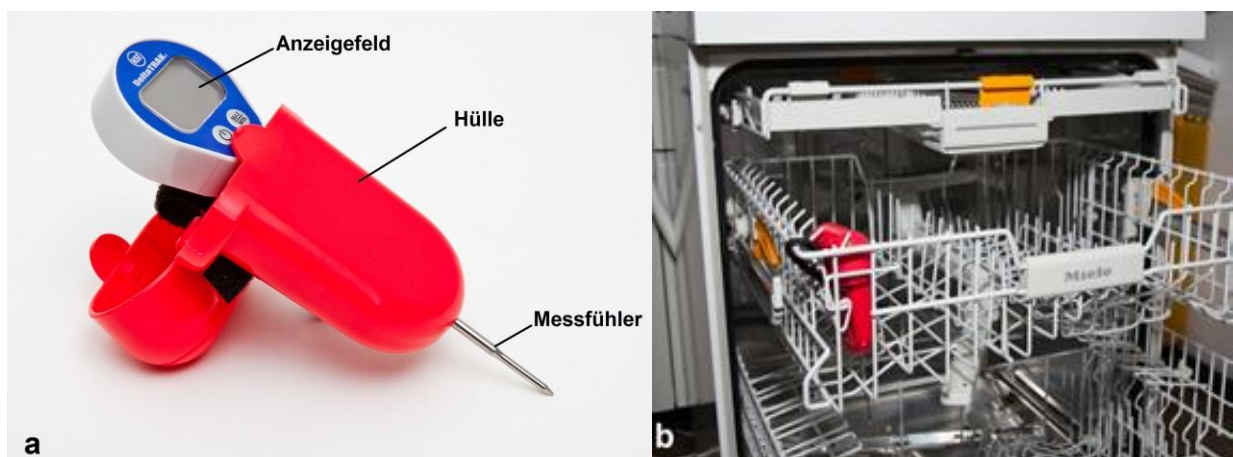


Abbildung 15 a und b: Spülmaschinenthermometer (a) und Positionierung in der Geschirrspülmaschine (b)

Nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine wurden die Prüfkörper sofort entnommen und direkt anschließend für 15 min im Brutschrank^b getrocknet.

Zum Abschluss des Versuches wurde die optische Enddichte bestimmt.

5.2.6 Ermittlung der Prüfkörpertrübung

Neben den Versuchsreihen, bei denen die Prüfkörper gefärbt und anschließend in der Geschirrspülmaschine gereinigt wurden, wurden jeweils zehn Prüfkörper pro Spülmaschinenprogramm beziehungsweise pro Reinigungsmittel ungefärbt gewaschen. So konnte die Erhöhung der optischen Dichte, die durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine entstand und unabhängig von den aufgelagerten Tee-CHX-Belägen war, ermittelt werden. Diese wird im Folgenden als Trübung bezeichnet.

Die Prüfkörper wurden hierfür genauso hergestellt wie unter 5.2.2 beschrieben. Allerdings wurden die Prüfkörper nach der Herstellung nicht eingefärbt, sondern nur für 12 h in 1000 ml deionisiertem Wasser gelagert und dann ihre optische Dichte bestimmt. Anschließend wurden die Prüfkörper direkt in einem Spülprogramm mit entsprechendem Reinigungsmittel gereinigt. Die Lagerung der Prüfkörper in der Geschirrspülmaschine und das weitere Vorgehen entsprachen dann wieder dem Vorgehen wie bei den gefärbten Prüfkörpern.

Die Differenz zwischen der optischen Dichte vor und nach der Reinigung entsprach der Trübung und wird im Weiteren in Prozent der Ausgangsdichte angegeben.

5.2.7 Ermittlung von möglichen Dimensionsveränderungen der Prüfkörper

Höhe, Breite und Dicke der Prüfkörper wurden jeweils vor und nach einer Reinigung in der Geschirrspülmaschine gemessen. Die Messung erfolgte jeweils mittig am Prüfkörper. Dabei wurden die Länge und die Breite jeweils mit einer orthodontischen Schiebelehre^k gemessen. Sie wurden in Zentimeter und bis auf die zweite Stelle nach dem Komma genau bestimmt. Die Dicke wurde mit Hilfe einer Mikrometerschraubeⁱ gemessen. Sie wurde in Millimeter und jeweils auf die dritte Kommastelle genau angegeben.

5.3 Statistische Auswertung und grafische Darstellung

Die statistische Auswertung und grafische Darstellung der Versuchsdaten erfolgte mit Hilfe der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 21 (SPSS GmbH) für Personal Computer.

Die Nullhypothese H_0 besagte, dass es zwischen den untersuchten Spülprogrammen beziehungsweise zwischen den untersuchten Reinigungsmitteln keinen Unterschied bezüglich der Reinigungsleistung gibt. Die Nullhypothese H_0 wird dann verworfen, wenn ein signifikanter Unterschied besteht. Also nur wenn die Wahrscheinlichkeit gering ist ($\leq 5\%$ bzw. nach α -Adjustierung $\leq 1,7\%$), dass ein beobachteter Unterschied durch eine Zufallsauswahl zustande gekommen sein könnte.

Bei der Auswertung wurden ausschließlich nichtparametrische Tests verwendet, da nicht bei allen Versuchsreihen die Ergebnisse normalverteilt waren. Dies wurde mit Hilfe des Kolmogorow-Smirnow-Testes festgestellt. Die Ergebnisse zwischen den beiden untersuchten Spülprogrammen wurden dabei mit Hilfe des Mann-Whitney-Tests auf signifikante Unterschiede untersucht. Die Ergebnisse zwischen den drei untersuchten Reinigungsmitteln für die Geschirrspülmaschine wurden zunächst mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests auf signifikante Unterschiede überprüft. Wurden bei diesem Globaltest signifikante Unterschiede festgestellt, wurde erneut der Mann-Whitney-Test verwendet, um durch paarweisen Vergleich zu ermitteln, welche der drei Reinigungsmittel sich signifikant unterschieden.

Es wurde für alle Tests, außer für den Mann-Whitney-Test zur Ermittlung der Unterschiede zwischen den Reinigungsmitteln, für den Fehler 1. Art eine Wahrscheinlichkeit von $\leq 5\%$ festgelegt. Zu hoch signifikanten Unterschieden kam es bei $\alpha \leq 1,0\%$. Für den Mann-Whitney-Test zur Ermittlung der Unterschiede zwischen den Reinigungsmitteln wurde eine α -Adjustierung nach Bonferroni vorgenommen. Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha \leq 1,7\%$ und für hoch signifikante Unterschiede mit $\alpha \leq 0,3\%$ festgelegt.

Die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte in Form von Box-Whisker-Plots. Dabei kennzeichnet die innerhalb der Box liegende Linie den jeweiligen Medianwert, die obere Begrenzung der Box das 75% - Perzentil und die untere Begrenzung das 25% - Perzentil. In der Box liegen also die mittleren 50% der dargestellten Messwerte.

Die ober- und unterhalb der Box stehenden Querstriche (Whisker) beschreiben jeweils das 1,5-fache der Länge der Box. Wenn sich an dieser theoretischen Stelle kein Messwert befindet, verschiebt sich die Ober- und/oder Untergrenze zum nächst gelegenen Messwert in Richtung der Box. „Ausreißer“ liegen zwischen dem 1,5-fachen und dem 3-fachen der Länge der Box von dieser entfernt und werden als Kreise dargestellt. Liegen die Werte mehr als das 3-fache entfernt, werden sie als Extremwerte bezeichnet und mit einem Stern dargestellt.

6 Ergebnisse

6.1 Reinigungsleistung

Die Reinigungsleistung der verschiedenen Spülmaschinenprogramm-Reinigungsmittel-Kombinationen wird im Weiteren in Prozent angegeben. Es handelt sich dabei um den Prozentsatz der entfernten Tee-CHX-Beläge im Verhältnis zu den durch die Färbezyklen insgesamt aufgelagerten Belägen. Je höher also der Prozentwert ist, desto effektiver war die Reinigung in dem entsprechenden Spülmaschinenprogramm beziehungsweise mit dem entsprechenden Reinigungsmittel.

Die Reinigungsleistung wurde einzeln für jeden Prüfkörper berechnet, indem zunächst die absolute Extinktion durch die aufgelagerten Tee-CHX-Beläge nach dem Färben bestimmt wurde. Es wurde dazu die optische Startdichte, also die optische Dichte nach der Herstellung und vor dem Färben, von der optischen Ausgangsdichte, also der optische Dichte nach dem Färben und vor dem Reinigen, abgezogen. Das Ergebnis stellte die maximal zu entfernenden Beläge, das heißt 100 % dar.

Nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine wurde erneut die optische Dichte gemessen. Die optische Ausgangsdichte minus dieser optischen Enddichte ergab die absolute Extinktionsreduktion durch die Reinigung.

Anschließend konnten diese absolute Extinktionsreduktion durch entfernte Beläge als Prozentwert der maximal zu entfernenden Beläge angegeben werden.

6.1.1 Vergleich der Reinigungsleistungen zwischen den verschiedenen Geschirrspülprogrammen

Bei allen drei getesteten Reinigungsmitteln für Geschirrspülmaschinen kam es zu signifikanten Unterschieden beim Vergleich der Reinigungsleistungen zwischen den beiden getesteten Geschirrspülprogrammen, also dem Intensiv-Programm und dem Kurz-Programm.

Die durchschnittliche Spüldauer über alle Zyklen des Kurz-Programms wurde mit 35,8 min (min. 31,4 min und max. 45 min) bestimmt, während das Intensiv-Programm durchschnittlich 161,1 min (min. 153,3 min und max. 167,7 min) dauerte. Es fiel auf, dass die tatsächlich gemessene Temperatur bei beiden Programmen insgesamt höher war als die jeweilige Herstellerangabe. Für das Kurz-Programm wurde eine Temperatur von 40 °C angegeben, tatsächlich aber über alle Zyklen eine durchschnittliche Temperatur von 46,4 °C (min. 45,4 °C und max. 46,9 °C) gemessen. Beim Intensiv-Programm waren es bei angegebenen 75 °C tatsächlich 75,6 °C (min. 75,5 °C und max. 75,5 °C).

Beim K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver wurden im Kurz-Programm hoch signifikant mehr Beläge entfernt (Δ Extinktionsreduktion) als im Intensiv-Programm (96,09 % versus 90,32 %) ($p=0,001$; Mann-Whitney-Test) (Abbildung 16). Im Kurz-Programm war die Reinigungsleistung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver die höchste aller getesteten Reinigungsmittel.

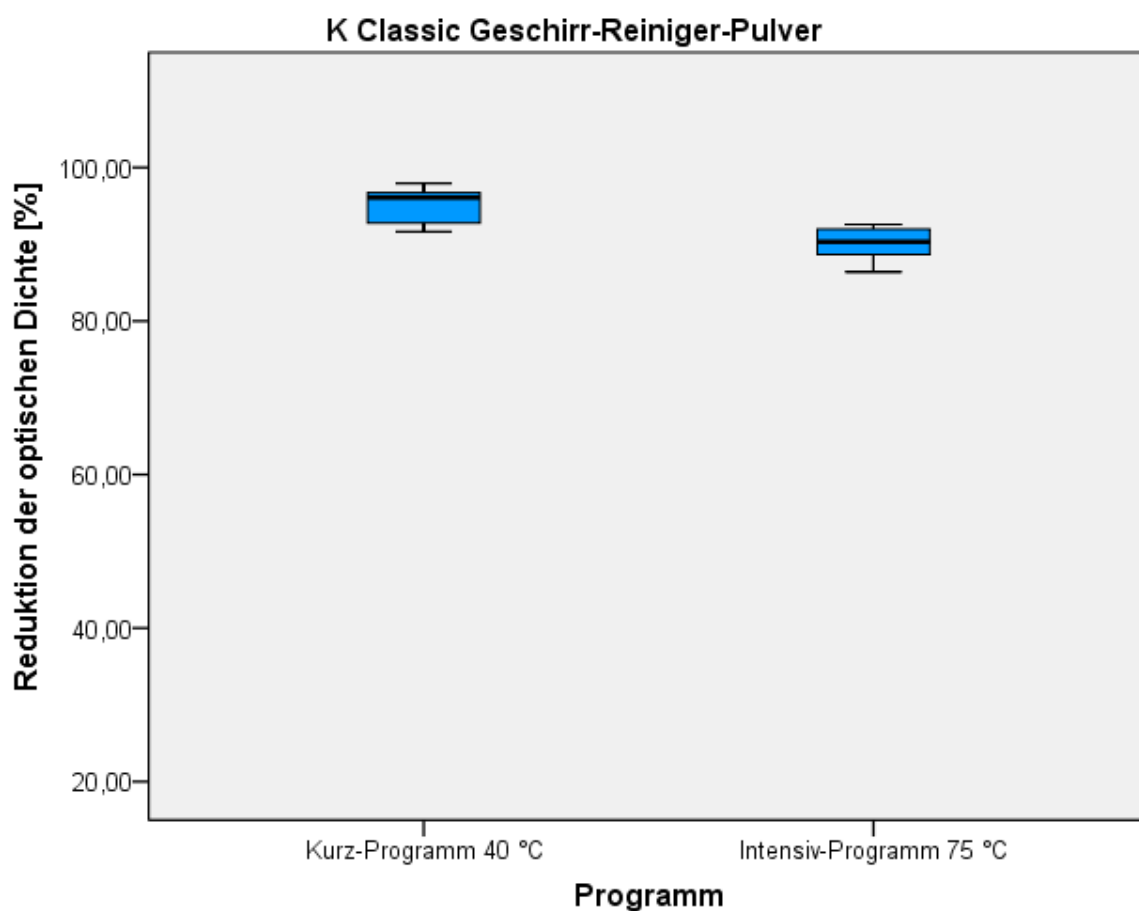


Abbildung 16: Reinigungsleistung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben als Prozentwert der maximal zu entfernenden Beläge

Bei den Somat 10 Spülmaschinen Tabs wurden im Intensiv-Programm hoch signifikant mehr Beläge entfernt ($\hat{=}$ Extinktionsreduktion) ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) als bei der Reinigung im Kurz-Programm. Beim Kurz-Programm lag der Medianwert der Extinktionsreduktion bei 85,21 %, beim Intensiv-Programm bei 93,70 % (Abbildung 17).

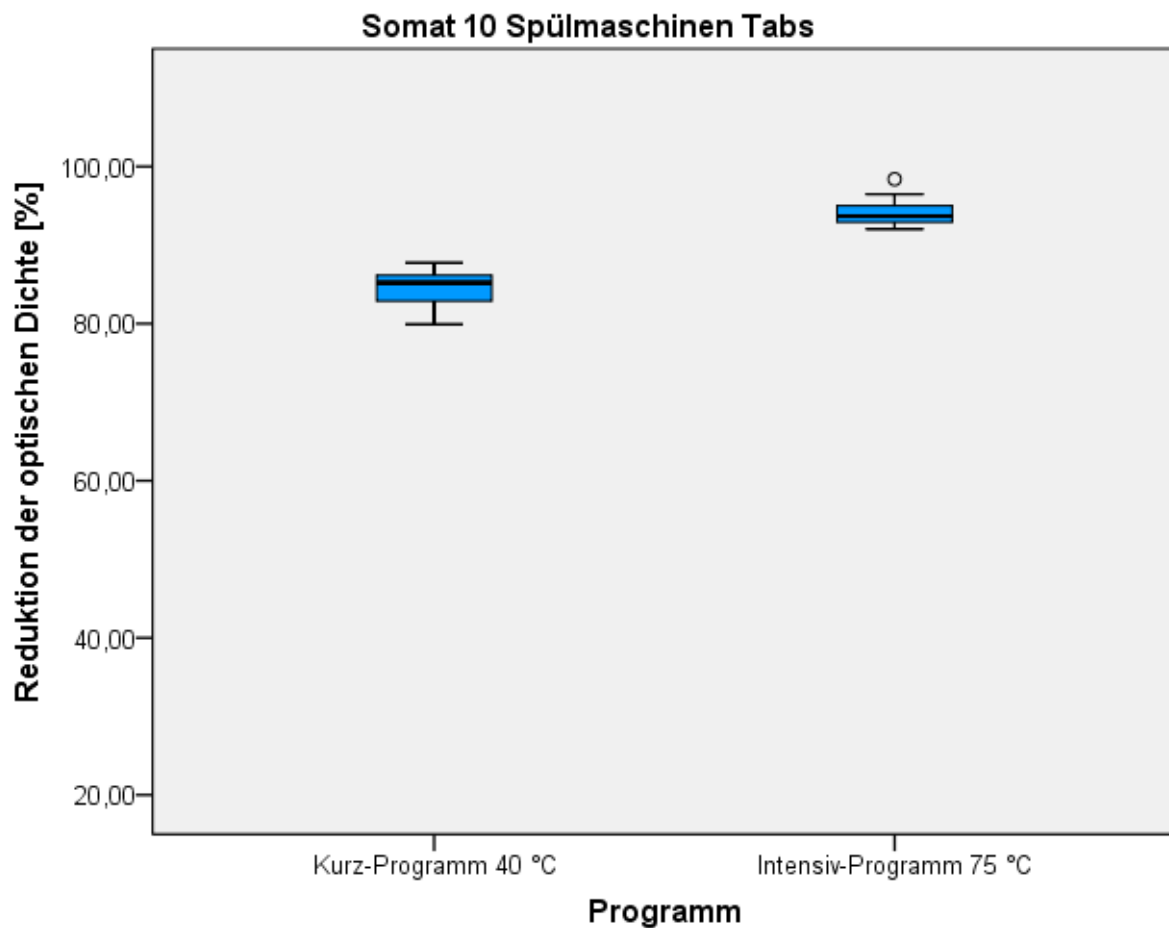


Abbildung 17: Reinigungsleistung von Somat Spülmaschinen Tabs im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben als Prozentwert der maximal zu entfernenden Beläge

Beim Sodasan Maschinen Spülmittel wurden im Intensiv-Programm ebenfalls hoch signifikant mehr Beläge entfernt (\triangleq Extinktionsreduktion) ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) als im Kurz-Programm. Beim Kurz-Programm lag der Medianwert der Extinktionsreduktion lediglich bei 30,15 %, beim Intensiv-Programm bei 93,05 % (Abbildung 18). Die Reinigungsleistung von Sodasan Maschinen Spülmittel war im Kurz-Programm damit die geringste aller getesteten Reinigungsmittel.

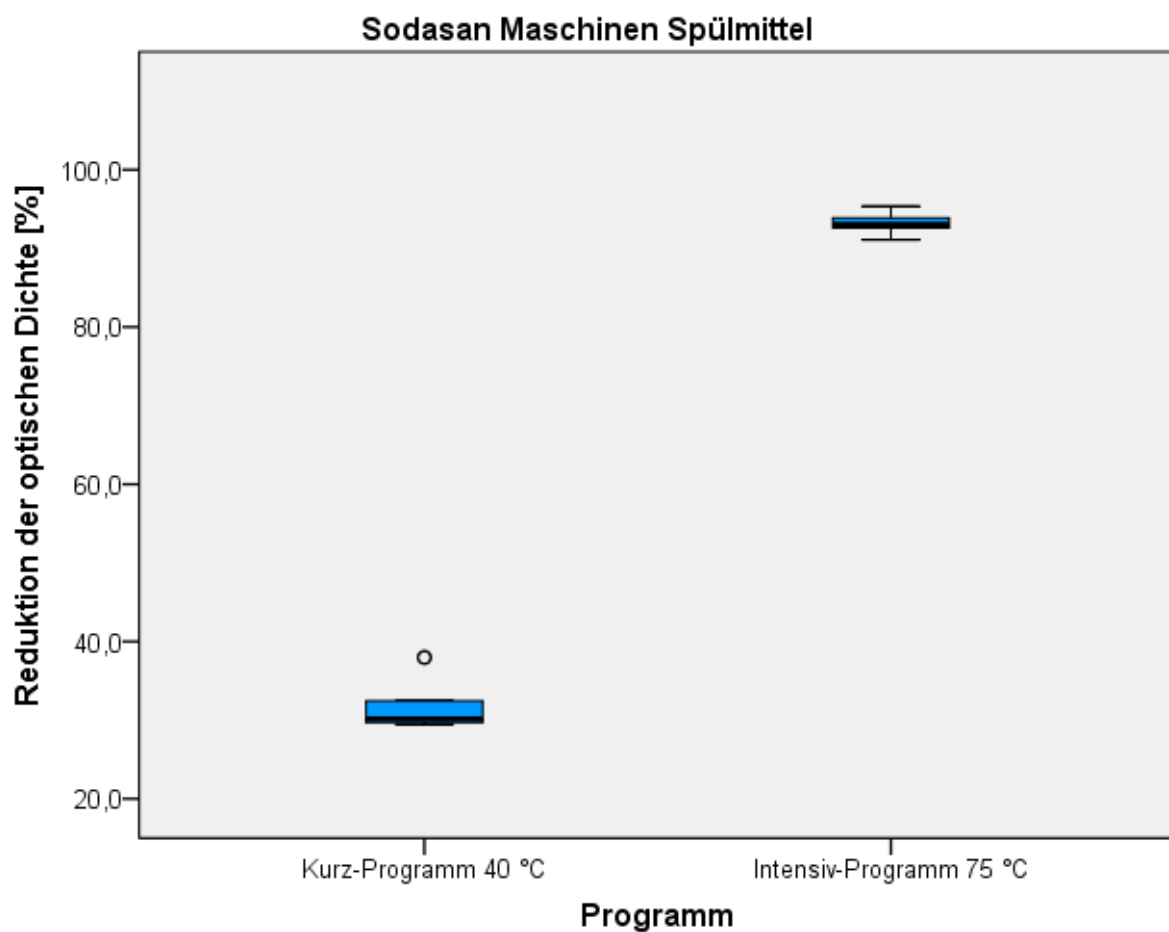


Abbildung 18: Reinigungsleistung von Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben als Prozentwert der maximal zu entfernenden Beläge

6.1.2 Vergleich der Reinigungsleistungen zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln

Zwischen den drei getesteten Reinigungsmitteln für Geschirrspülmaschinen kam es im Kurz-Programm jeweils zu hoch signifikanten Unterschieden in der Reinigungsleistung. Der Medianwert von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver lag bei 96,09 % und unterschied sich hoch signifikant sowohl vom Medianwert von Somat 10 Spülmaschinen Tabs mit 85,21 % ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) als auch von Sodasan Maschinen Spülmittel mit einem Medianwert von 30,15 % ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test). Auch die Unterschiede zwischen Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel waren hoch signifikant ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) (Abbildung 19).

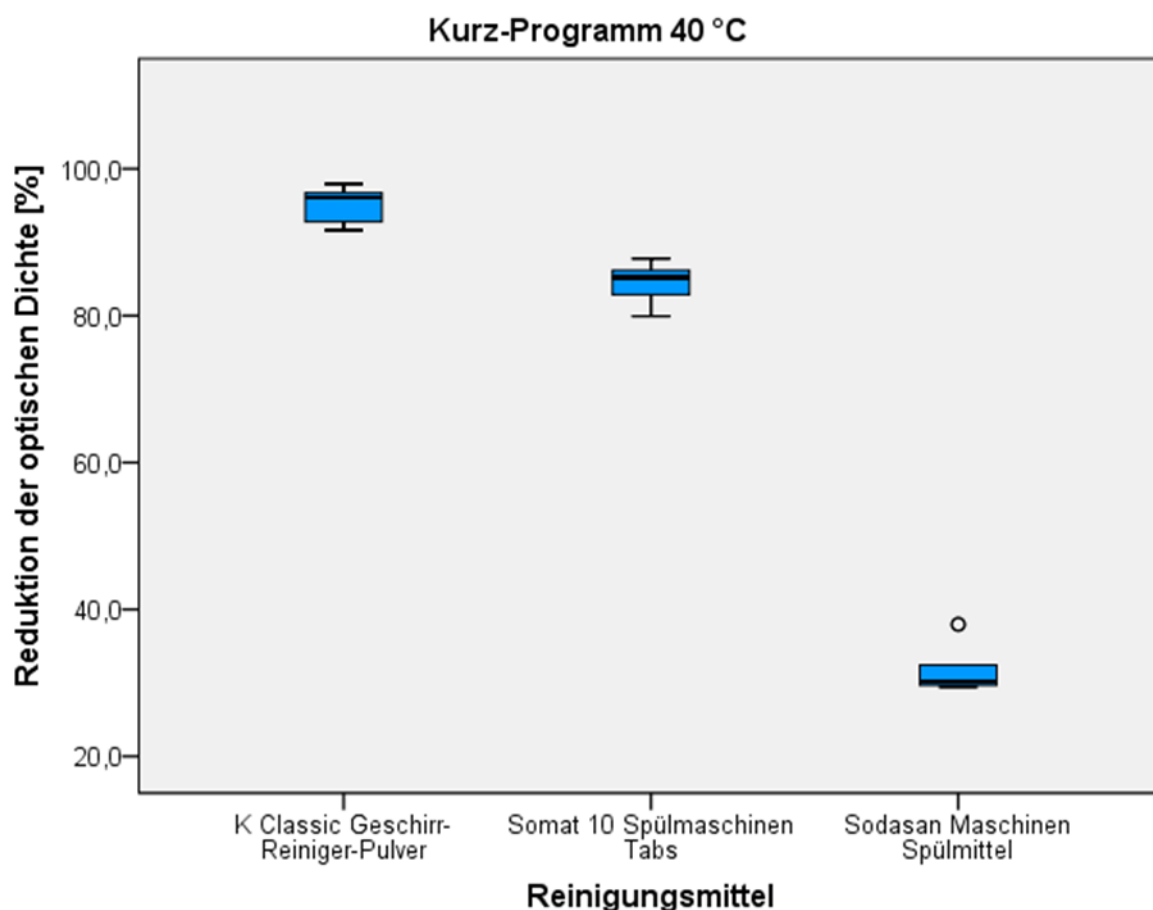


Abbildung 19: Reinigungsleistung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz-Programm angegeben als Prozentwert der maximal zu entfernenden Beläge

Im Intensiv-Programm kam es zwischen K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver mit einem Medianwert von 90,32 % und Somat 10 Spülmaschinen Tabs mit einem Medianwert von 93,70 % ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) beziehungsweise Sodasan Maschinen Spülmittel mit einem Medianwert von 93,05 % ($p = 0,001$; Mann-Whitney-Test) zu hoch signifikanten Unterschieden. Allerdings war der Unterschied zwischen Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel nicht signifikant ($p = 0,199$; Mann-Whitney-Test) (Abbildung 20).

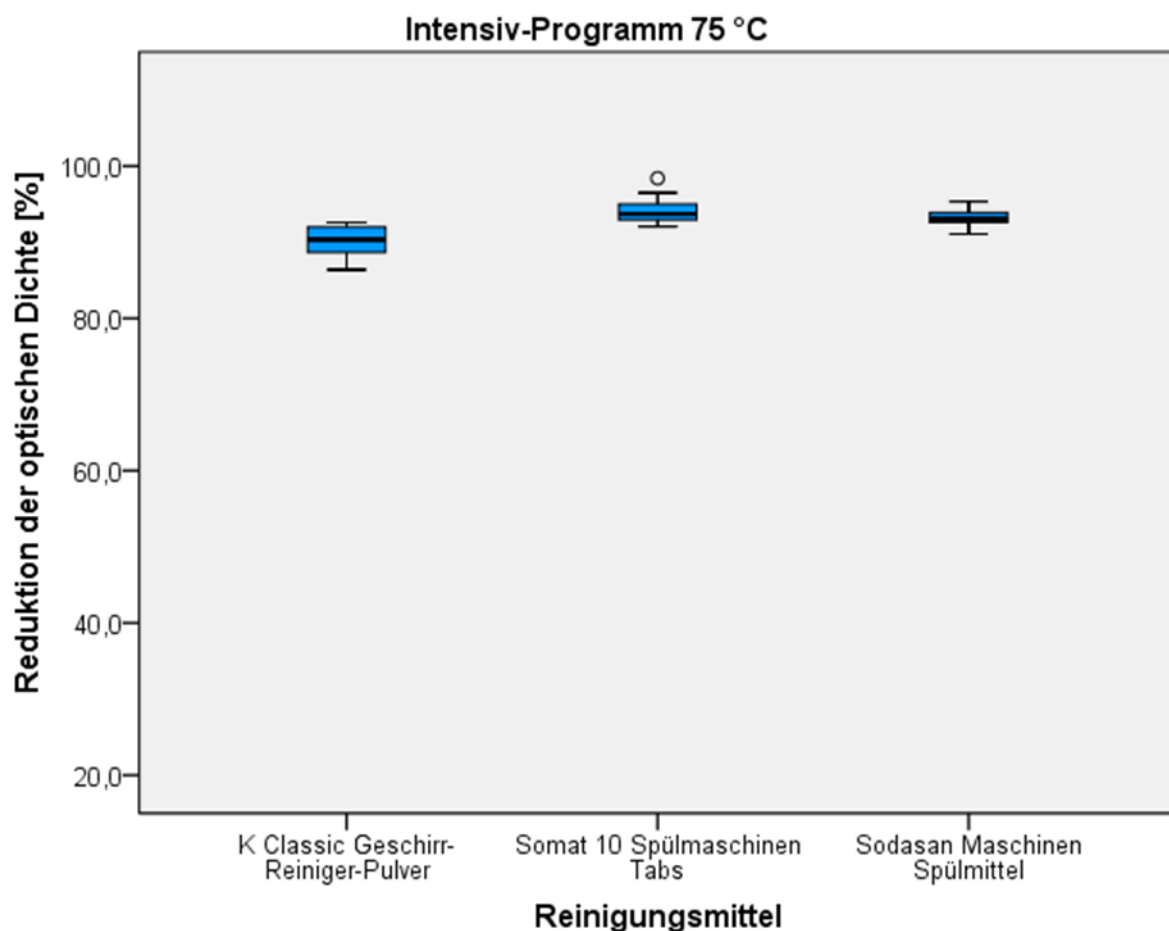


Abbildung 20: Reinigungsleistung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Intensiv-Programm angegeben als Prozentwert der maximal zu entfernenden Beläge

6.2 Trübung der Prüfkörper

Auch die Trübung der jeweiligen Prüfkörper wurde in Prozent angegeben. Es handelte sich um die Zunahme der optischen Dichte durch die Reinigung selbst, bezogen auf die optische Ausgangsdichte vor der Reinigung. Dazu wurde zunächst der absolute Wert der Trübung als Differenz zwischen der Ausgangsdichte, also der Dichte nach der Herstellung und vor der Reinigung in der Geschirrspülmaschine, und der Enddichte nach der Reinigung bestimmt und anschließend als Prozentwert der Ausgangsdichte angegeben. Je höher also der Prozentwert war, desto stärker war die Trübung, die durch die Reinigung an sich in dem entsprechenden Spülmaschinenprogramm beziehungsweise mit dem entsprechenden Reinigungsmittel entstanden war.

6.2.1 Vergleich der Trübungen der Prüfkörper zwischen den verschiedenen Geschirrspülprogrammen

Bei allen drei getesteten Reinigungsmitteln für die Geschirrspülmaschine kam es zu einer signifikant unterschiedlich starken Trübung der Prüfkörper beim Vergleich zwischen den beiden getesteten Spülprogrammen.

Beim K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver kam es zu einer hoch signifikant geringeren Trübung ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) im Kurz-Programm als im Intensiv-Programm. Der Medianwert der Trübung im Kurz-Programm lag bei 6,25 %, beim Intensiv-Programm dagegen bei 25,35 % (Abbildung 22). Damit hatte die Trübung der Prüfkörper bei der Reinigung mit K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver im Intensiv-Programm mit Abstand den höchsten und im Kurz-Programm den geringsten Wert im Vergleich zu den anderen untersuchten Spülmaschinenprogrammen beziehungsweise Reinigungsmitteln (Abbildung 21).

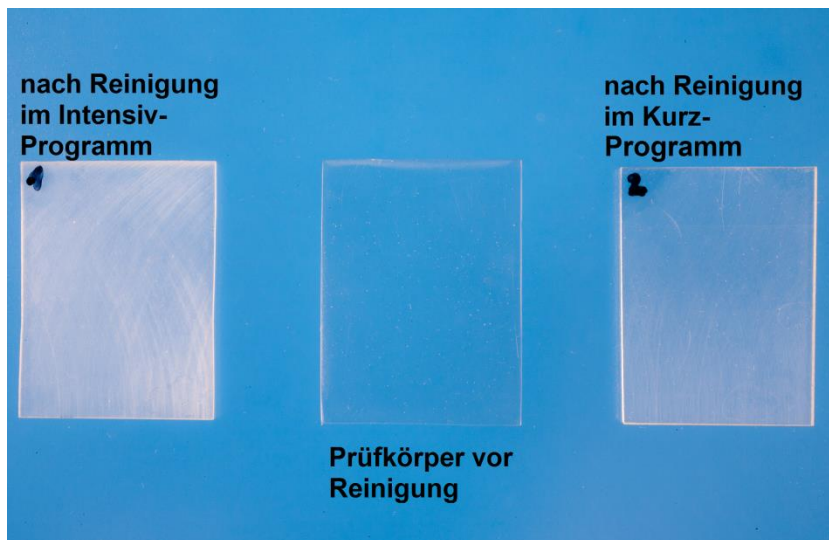


Abbildung 21: Trübung zweier Prüfkörper durch Reinigung mit K Classic-Geschirr-Reiniger-Pulver im Intensiv-Programm (1) und im Kurz-Programm (2); in der Mitte ein Prüfkörper vor der Reinigung, also ohne Trübung

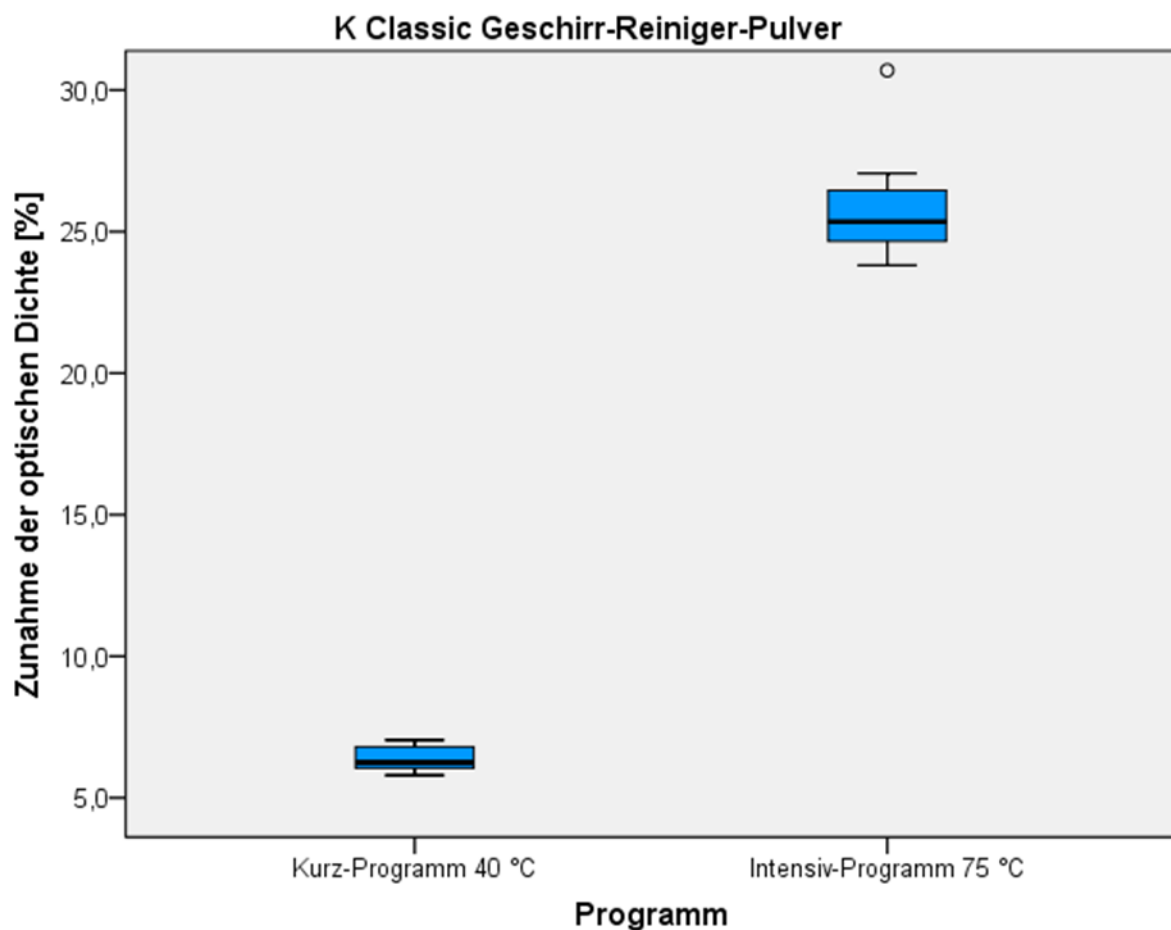


Abbildung 22: Trübung der Prüfkörper bei K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben als Prozentwert der Ausgangsdichte

Bei den Somat 10 Spülmaschinen Tabs kam es ebenfalls zu einer Trübung, die bei der Reinigung im Intensiv-Programm hoch signifikant stärker war ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) als bei der Reinigung im Kurz-Programm. Der Medianwert der Trübung lag bei 7,71 % im Kurz-Programm gegenüber 13,98 % beim Intensiv-Programm (Abbildung 23).

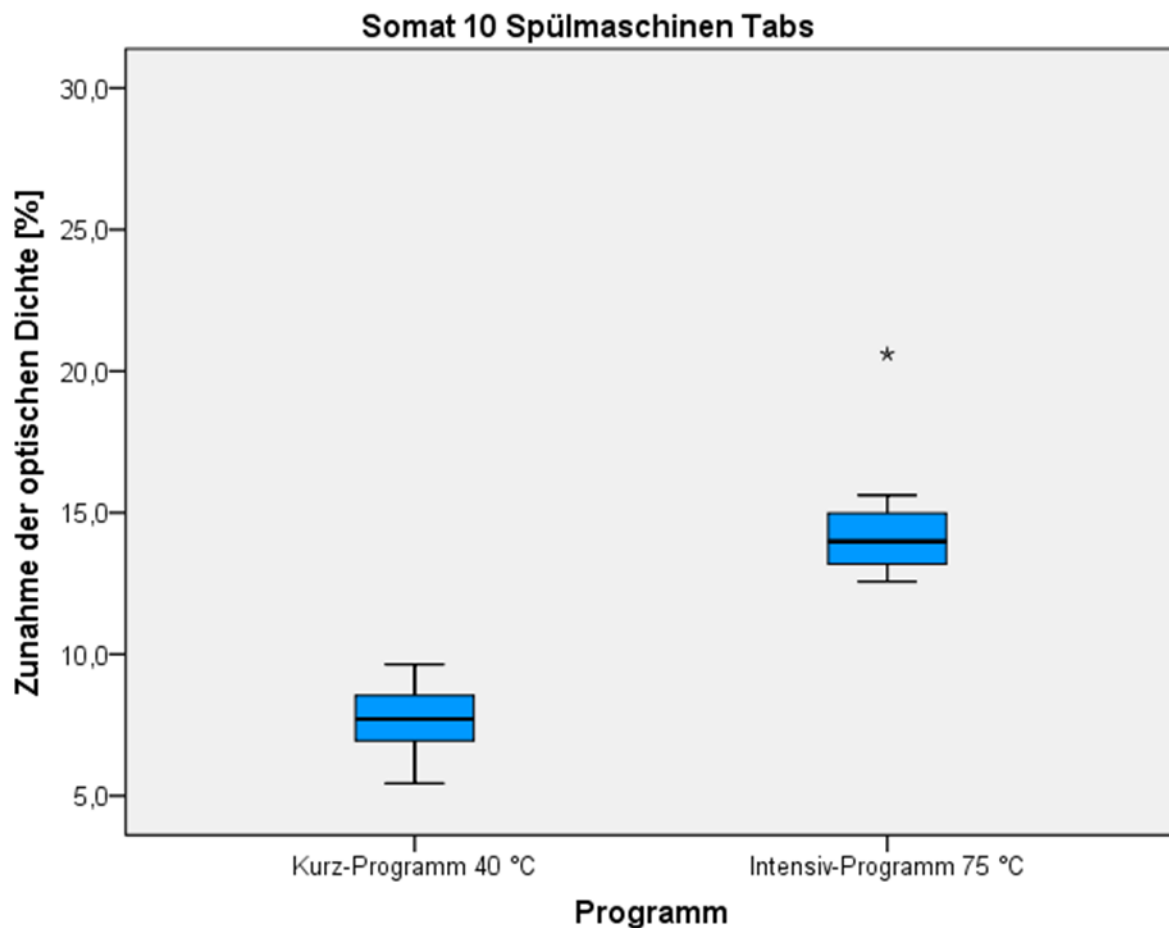


Abbildung 23: Trübung der Prüfkörper bei Somat 10 Spülmaschinen Tabs im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben als Prozentwert der Ausgangsdichte

Beim Sodasan Maschinen Spülmittel kam es ebenfalls im Intensiv-Programm zu einer hoch signifikant stärkeren Trübung der Prüfkörper ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) bei der Reinigung als im Kurz-Programm. Der Medianwert der Trübung lag bei 16,50 % versus 8,43 % (Abbildung 24).

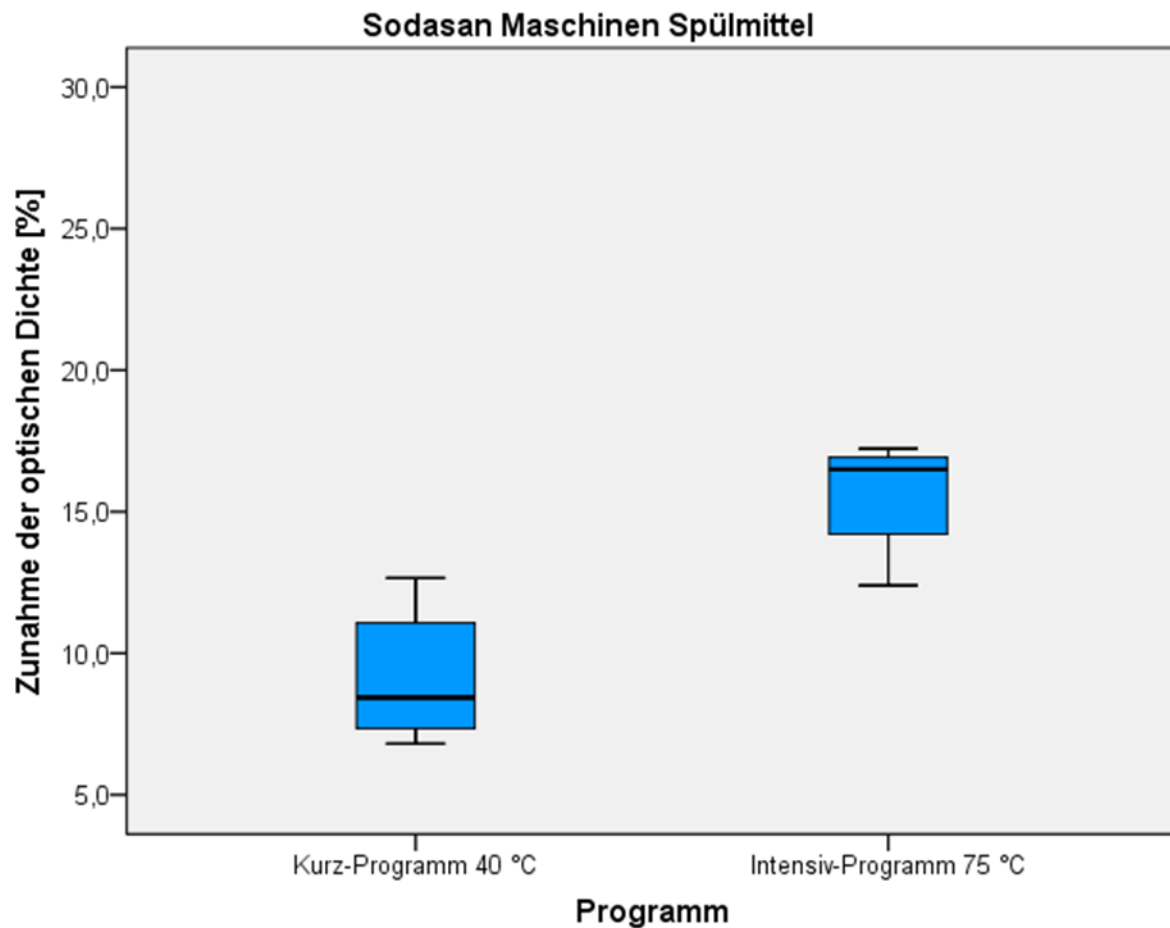


Abbildung 24: Trübung der Prüfkörper bei Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben als Prozentwert der Ausgangsdichte

6.2.2 Vergleich der Trübungen der Prüfkörper zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln

Die Trübungen, die mit den drei getesteten Reinigungsmitteln für die Geschirrspülmaschine im Kurz-Programm entstanden, unterschieden sich hoch signifikant zwischen K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver und Somat 10 Spülmaschinen Tabs ($p=0,004$; Mann-Whitney-Test) beziehungsweise Sodasan Maschinen Spülmittel ($p<0,001$; Mann-Whitney-Test). Dabei lag der Medianwert von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver bei 6,25 %, der von Somat 10 Spülmaschinen Tabs bei 7,71 % und der von Sodasan Maschinen Spülmittel bei 8,43 %. Die Trübung zwischen Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel ($p=0,290$; Mann-Whitney-Test) unterschied sich nicht signifikant (Abbildung 25).

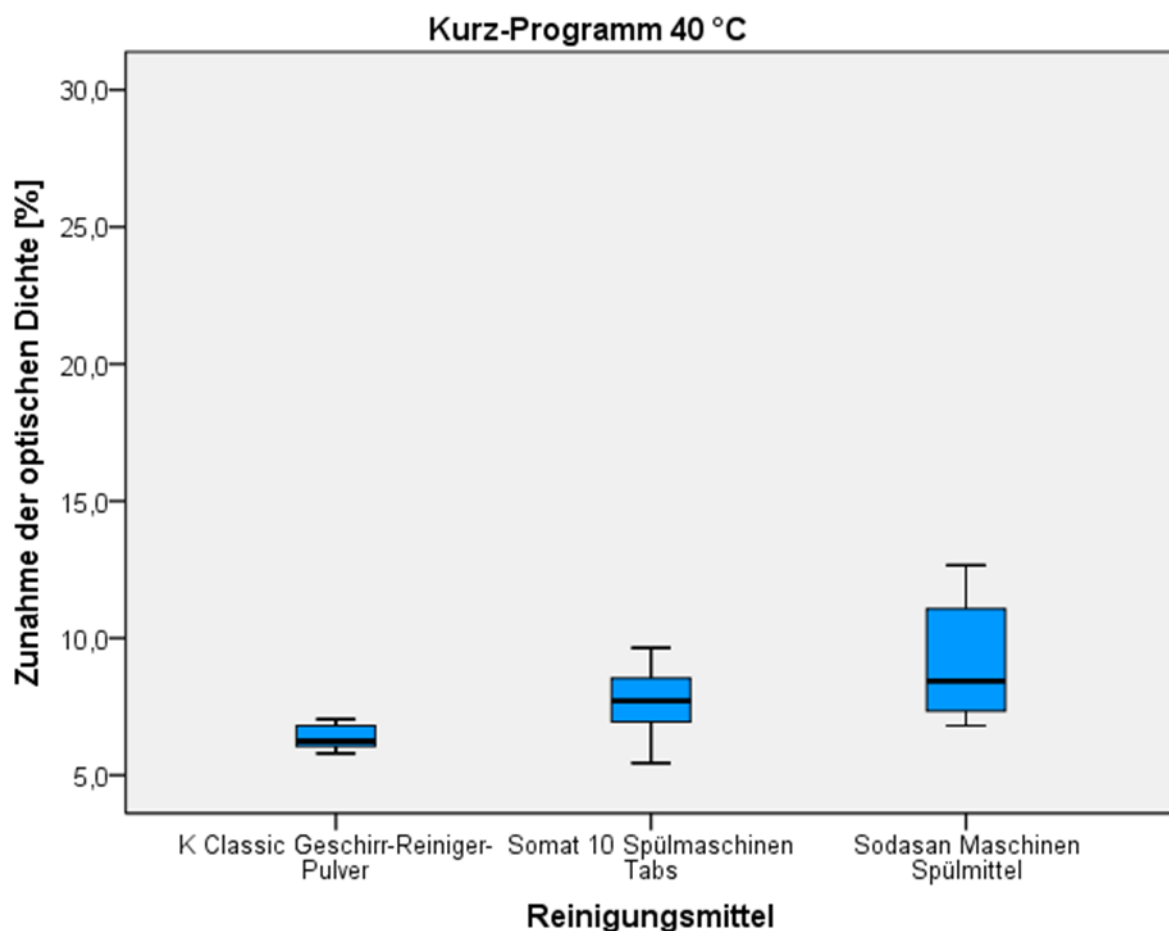


Abbildung 25: Trübung der Prüfkörper bei K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz-Programm angegeben als Prozent der Ausgangsdichte

Im Intensiv-Programm kam es zwischen K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver mit einem Medianwert von 25,35 % und Somat 10 Spülmaschinen Tabs mit einem Medianwert von 13,98 % ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) beziehungsweise Sodasan Maschinen Spülmittel mit einem Medianwert von 16,50 % ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) zu jeweils hoch signifikanten Unterschieden. Der Unterschied zwischen Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel war nicht signifikant ($p = 0,0151$; Mann-Whitney-Test) (Abbildung 26).

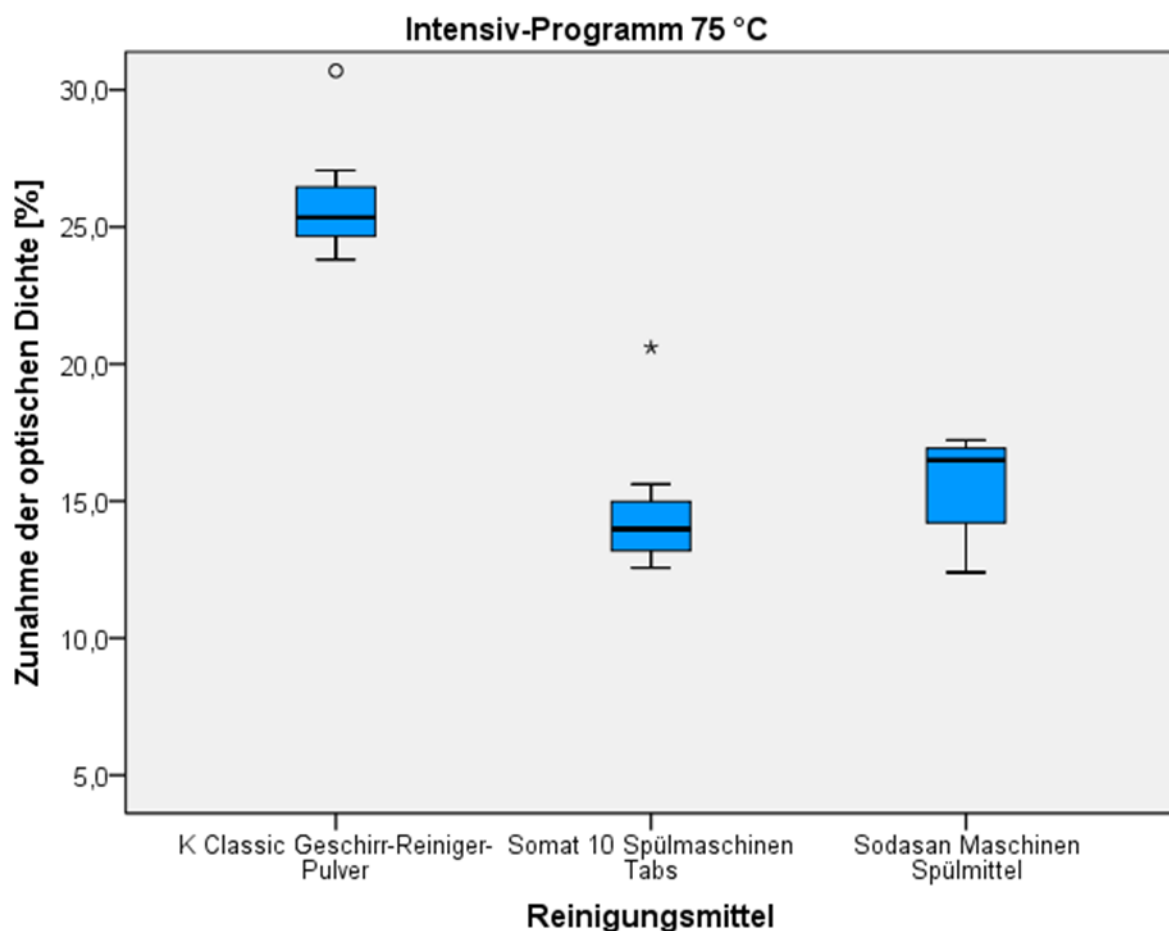


Abbildung 26: Trübung der Prüfkörper bei K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Intensiv-Programm angegeben als Prozent der Ausgangsdichte

6.3 Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Prüfkörpertrübung

Auch die Reinigungsleistung unter Einbeziehung der Prüfkörpertrübung wurde in Prozent angegeben. Sie wurde wie die Reinigungsleistung für jeden Prüfkörper als Prozentsatz der entfernten Tee-CHX-Beläge im Verhältnis zu den durch die Färbezyklen insgesamt aufgelagerten Beläge bestimmt. Es wurde aber zusätzlich berücksichtigt, dass die Zunahme der optischen Dichte durch Trübung keine verminderte Reinigungsleistung bedeutete. Die ermittelte Trübung wurde deshalb von den Belägen abgezogen, die maximal entfernt werden konnten. Dazu wurde der Medianwert der Trübung für das entsprechende Spülprogramm und Reinigungsmittel in Prozent der optischen Startdichte, also der optischen Dichte nach der Herstellung und vor dem Färben, verwendet. Mit Hilfe dieses Prozentwertes wurde anschließend für jeden Prüfkörper eine neue theoretische optische Startdichte berechnet. Unter Verwendung dieser neuen Startdichte wurde die Reinigungsleistung, wie bereits oben beschrieben (6.1), errechnet und so die Trübung indirekt von den maximal zu entfernenden Belägen abgezogen. Je höher der Prozentwert der Abnahme der optischen Dichte durch die Reinigung unter Berücksichtigung der PMMA-Trübung war, desto effektiver war die entsprechende Reinigung in der Geschirrspülmaschine.

6.3.1 Vergleich der Reinigungsleistungen unter Berücksichtigung der Prüfkörpertrübungen zwischen den verschiedenen Geschirrspülprogrammen

Bei allen drei getesteten Reinigungsmitteln für Geschirrspülmaschinen kam es bei der effektiven Reinigungsleistung zu signifikanten Unterschieden zwischen den beiden getesteten Spülmaschinenprogrammen.

Mit K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver kam es zu einer signifikant höheren effektiven Reinigungsleistung ($p=0,034$; Mann-Whitney-Test) im Intensiv-Programm. Beim Kurz-Programm lag der Medianwert der effektiven Reinigungsleistung bei 98,73 %, beim Intensiv-Programm bei 100,45 % (Abbildung 27).

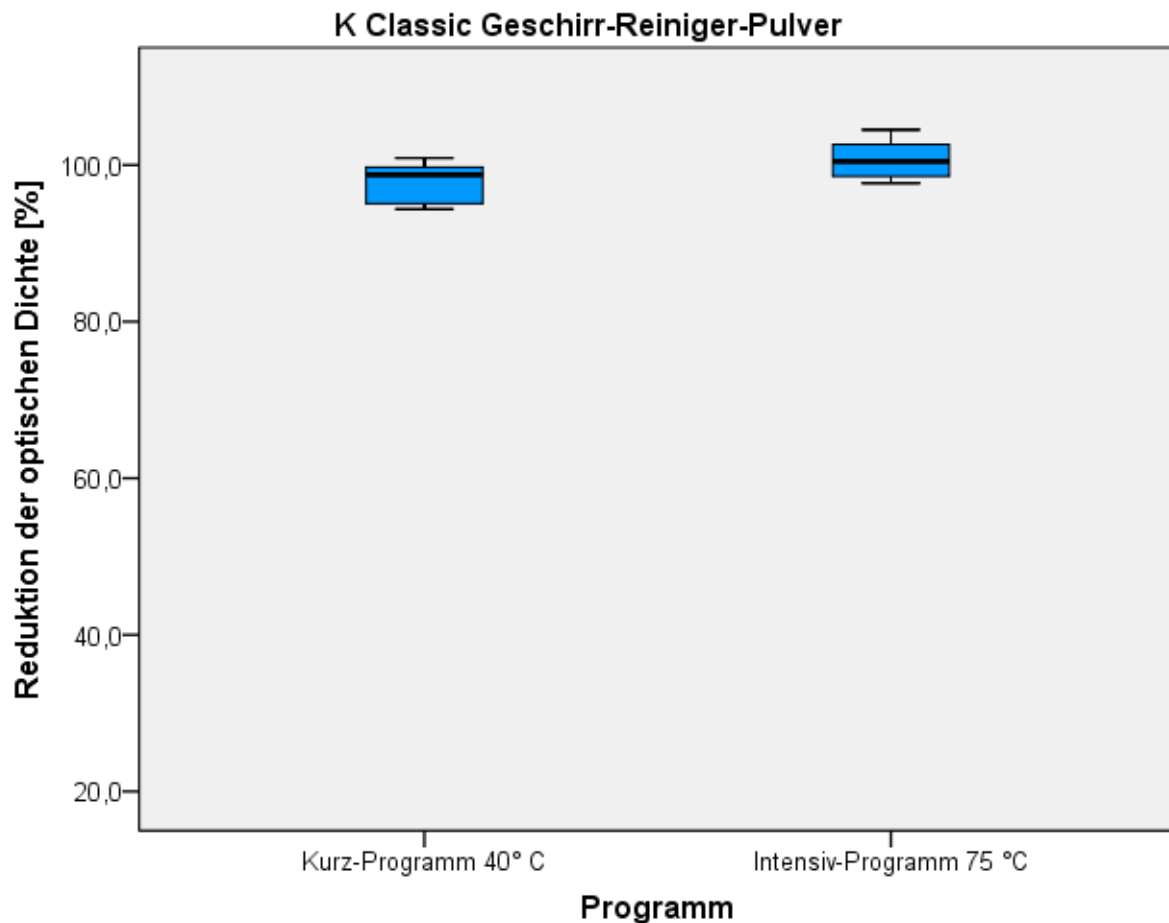


Abbildung 27: Effektive Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Trübung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben in Prozent

Bei den Somat 10 Spülmaschinen Tabs kam es zu einer hoch signifikant höheren effektiven Reinigungsleistung ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) bei der Reinigung im Intensiv-Programm. Beim Kurz-Programm lag der Medianwert der effektiven Reinigungsleistung bei 87,76 %, beim Intensiv-Programm bei 99,90 % (Abbildung 28).

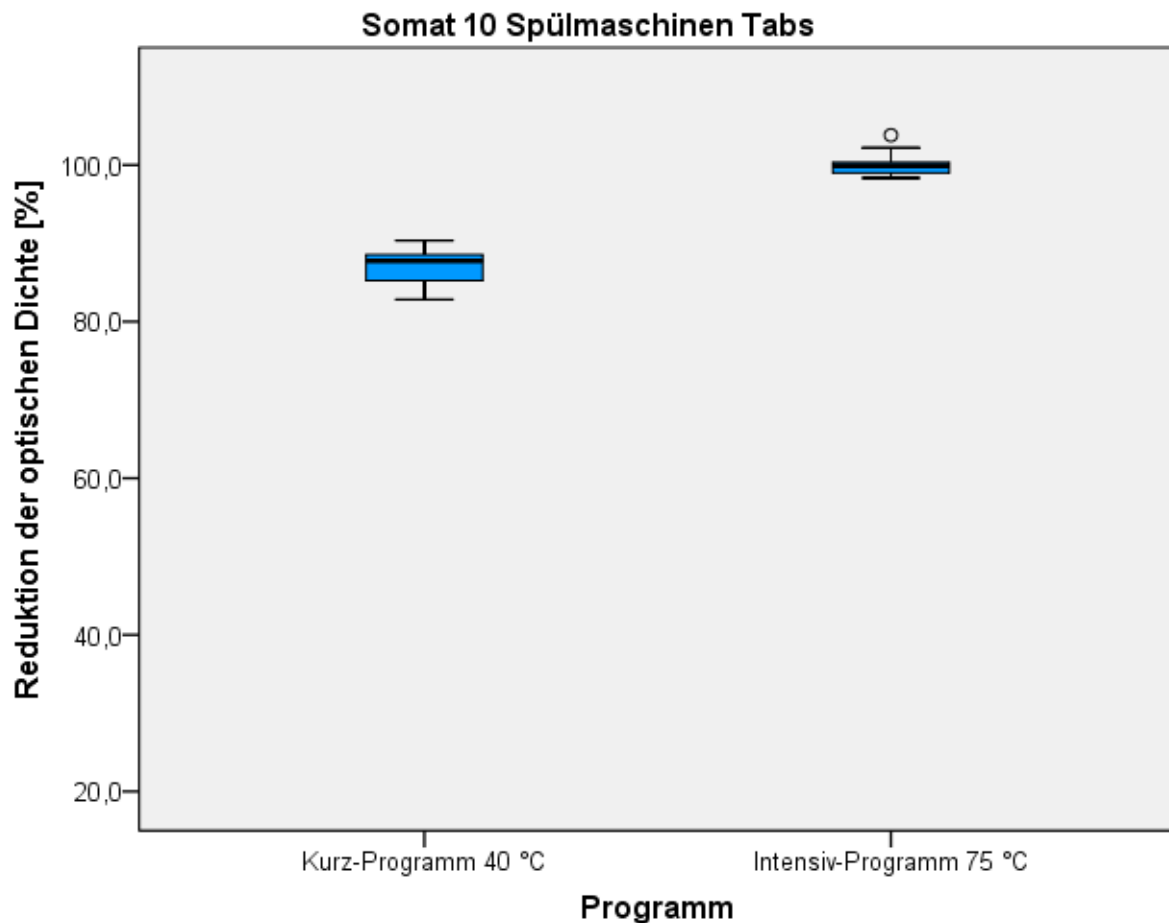


Abbildung 28: Effektive Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Trübung von Somat 10 Spülmaschinen Tabs im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben in Prozent

Mit Sodasan Maschinen Spülmittel kam es ebenfalls zu einer hoch signifikant höheren effektiven Reinigungsleistung ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) bei der Reinigung im Intensiv-Programm als im Kurz-Programm. Beim Kurz-Programm lag der Medianwert der effektiven Reinigungsleistung lediglich bei 31,35 %, beim Intensiv-Programm bei 100,38 % (Abbildung 29).

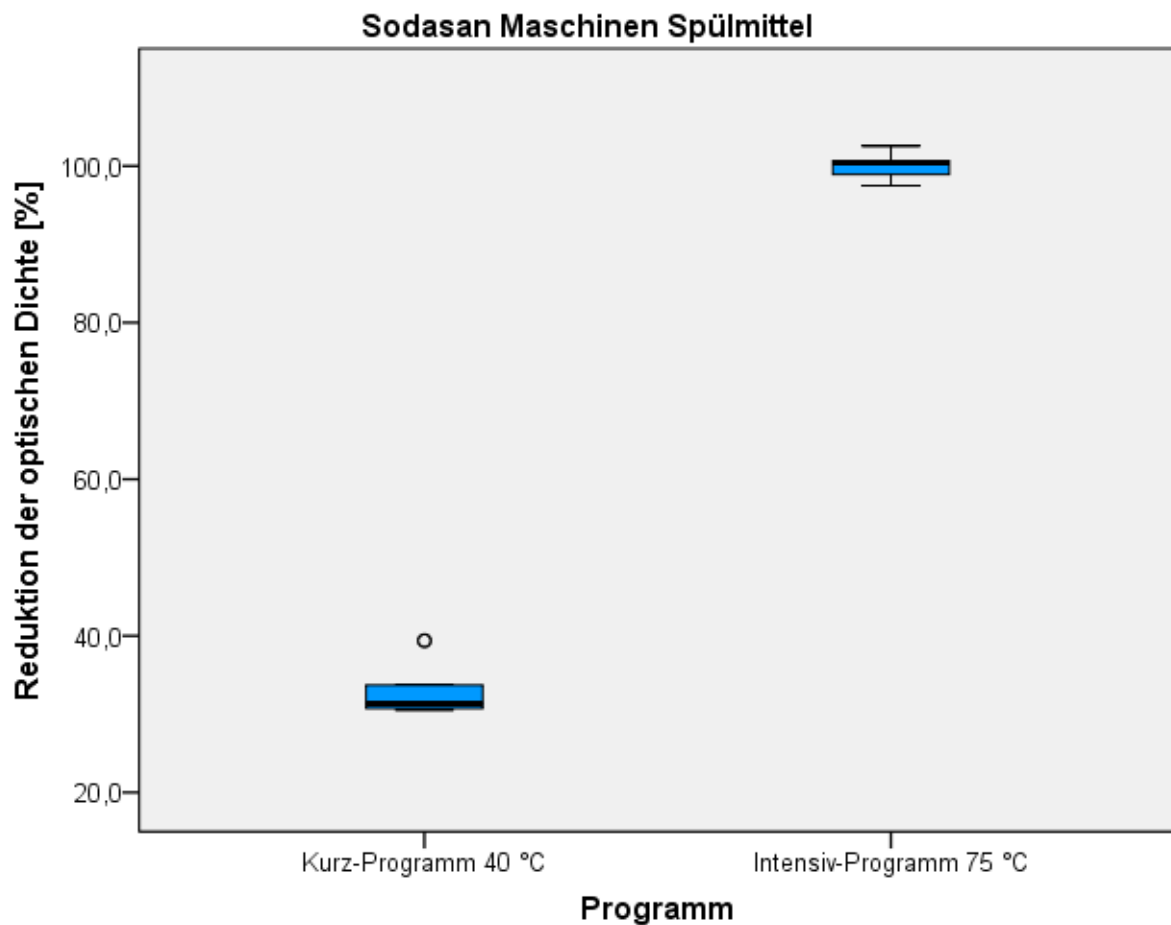


Abbildung 29: Effektive Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Trübung von Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben in Prozent

6.3.2 Vergleich der Reinigungsleistungen unter Berücksichtigung der Prüf- körpertrübungen zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln

Zwischen den drei getesteten Reinigungsmitteln für Geschirrspülmaschinen kam es im Kurz-Programm jeweils zu hoch signifikanten Unterschieden in der effektiven Reinigungsleistung. Der Medianwert von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver lag bei 98,73 % und unterschied sich signifikant sowohl vom Medianwert von Somat 10 Spülmaschinen Tabs mit 87,76 % ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test), als auch von Sodasan Maschinen Spülmittel mit einem Medianwert von 31,35 % ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test). Auch der Unterschied zwischen Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel war hoch signifikant ($p < 0,001$; Mann-Whitney-Test) (Abbildung 30).

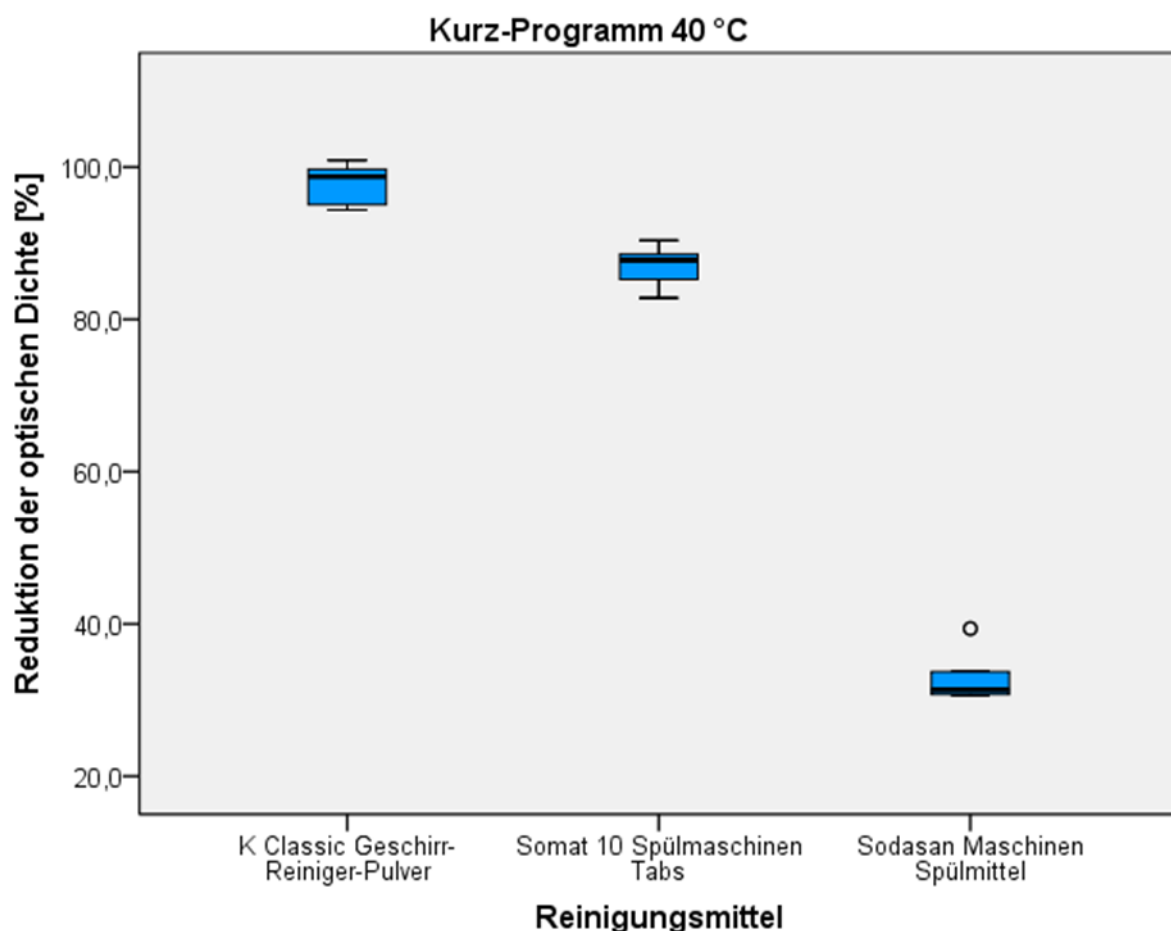


Abbildung 30: Effektive Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Trübung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz-Programm angegeben in Prozent

Im Intensiv-Programm gab es zwischen den drei getesteten Reinigungsmitteln für Geschirrspülmaschinen keine signifikanten Unterschiede in der effektiven Reinigungsleistung. Der Medianwert von 100,45 % von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver unterschied sich weder von dem Medianwert von 99,90 % von Somat 10 Spülmaschinen Tabs ($p=0,496$; Mann-Whitney-Test), noch von dem Medianwert von 100,38 % für Sodasan Maschinen Spülmittel ($p=0,496$; Mann-Whitney-Test) signifikant. Auch der Unterschied zwischen Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel war nicht signifikant ($p=0,597$; Mann-Whitney-Test) (Abbildung 31).

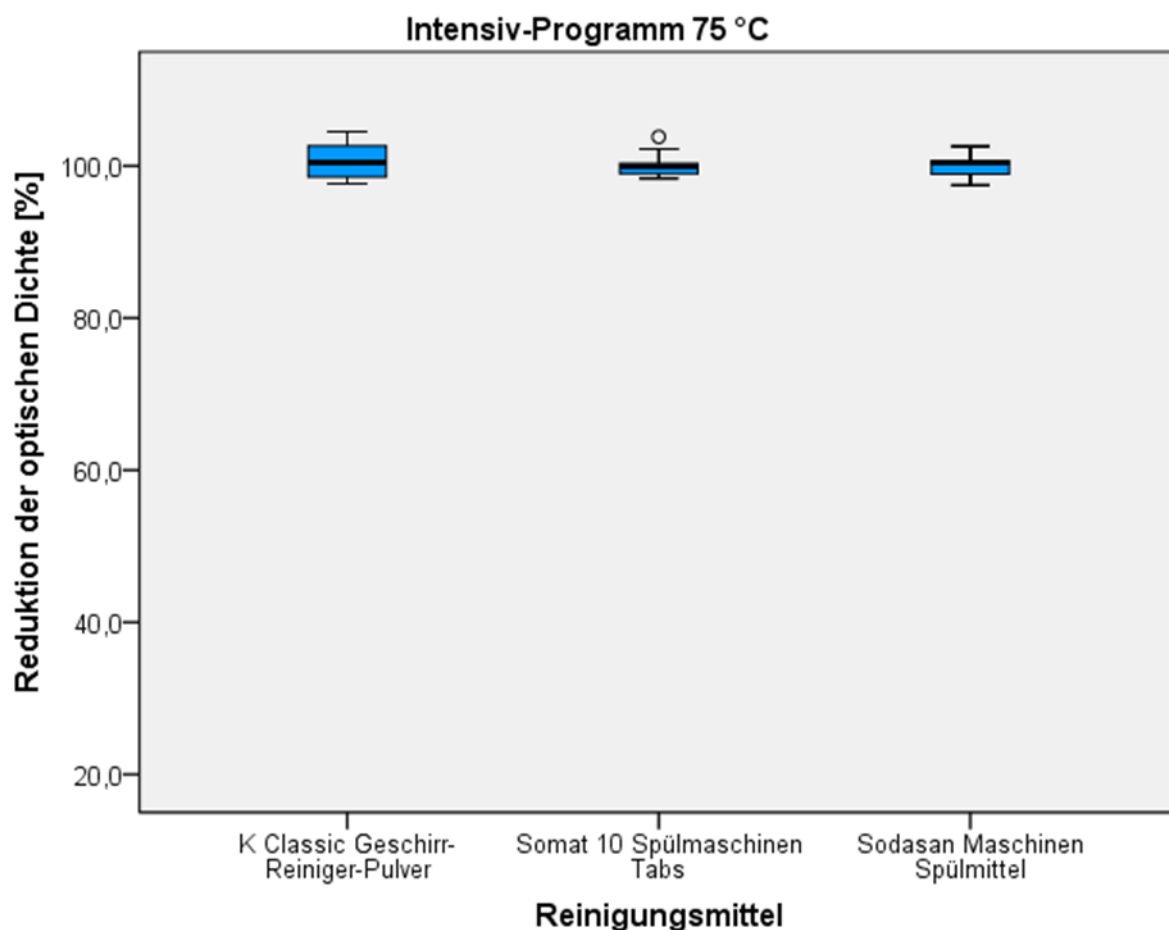


Abbildung 31: Effektive Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Trübung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat 10 Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Intensiv-Programm angegeben in Prozent

6.4 Auswirkungen der Reinigung in einer Geschirrspülmaschine auf die Prüfkörperdimension

Es wurden die Höhe, Breite und Dicke der Prüfkörper jeweils vor und nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine mit den verschiedenen Spülprogrammen und Reinigungsmitteln für Geschirrspülmaschinen gemessen.

Es konnten dabei, bei allen Spülmaschinenprogrammen und Reinigungsmitteln, keine Differenzen zwischen den Maßen vor und nach der Reinigung gemessen werden (Tabelle 1 und 2).

Tabelle 1: Medianwerte der Prüfkörpermaße in mm vor und nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine im Kurz-Programm; Q₂₅: 25 %-Quartil; Q₇₅: 75 %-Quartil

	vor der Reinigung	nach der Reinigung
Höhe [mm]	24,1 Q ₂₅ =24,0; Q ₇₅ =24,27	24,1 Q ₂₅ =24,0; Q ₇₅ =24,27
Breite [mm]	17,9 Q ₂₅ =17,63; Q ₇₅ =18,0	17,9 Q ₂₅ =17,63; Q ₇₅ =18,0
Dicke [mm]	1,05 Q ₂₅ =1,039; Q ₇₅ =1,063	1,05 Q ₂₅ =1,039; Q ₇₅ =1,063

Tabelle 2: Medianwerte der Prüfkörpermaße in mm vor und nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine im Intensiv-Programm; Q₂₅: 25 %-Quartil; Q₇₅: 75 %-Quartil

	vor der Reinigung	nach der Reinigung
Höhe [mm]	24,0 Q ₂₅ =24,0; Q ₇₅ =24,1	24,0 Q ₂₅ =24,0; Q ₇₅ =24,1
Breite [mm]	18,0 Q ₂₅ =17,82; Q ₇₅ =18,0	18,0 Q ₂₅ =17,82; Q ₇₅ =18,0
Dicke [mm]	1,02 Q ₂₅ =1,016; Q ₇₅ =1,031	1,02 Q ₂₅ =1,016; Q ₇₅ =1,031

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Fragestellung

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, die Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei der Reinigung von PMMA-Prüfkörpern zu bestimmen. In der Kieferorthopädie werden PMMA-Kunststoffe sehr häufig und in verschiedenen Bereichen verwendet. Vor allem werden sie für die Herstellung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen während der aktiven Behandlungsphase und der sich daran anschließenden Retentionsphase eingesetzt.

Bei einer Befragung aus dem Jahr 2008 gaben 3,6 % der in Deutschland arbeitenden Kieferorthopäden an, ihren Patienten zu empfehlen, die herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine zu reinigen [34]. Trotzdem gibt es bislang in der zahnärztlichen Fachliteratur keine Untersuchungen zur Reinigungsleistung dieses Verfahrens. Insbesondere auf Grund der herausragenden Bedeutung der oralen Hygiene während einer kieferorthopädischen Behandlung ist die Relevanz der Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen hoch. Die Untersuchung verschiedener Reinigungsverfahren ist für den behandelnden Kieferorthopäden von klinischer Bedeutung, da er in der Lage sein sollte, seinen Patienten ein möglichst effektives und in seiner Handhabung einfaches Reinigungsverfahren zu empfehlen, das die herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen nicht beschädigt. Außerdem lassen sich die Ergebnisse dieser Untersuchung auf die Reinigung von PMMA-Kunststoffen in anderen Bereichen der Zahnmedizin übertragen, zum Beispiel auf die Reinigung von Voll- oder Teilprothesen bei prothetischen Patienten oder die Reinigung von Tiefziehschienen.

7.2 Diskussion der Reinigungsmethodik mithilfe einer Geschirrspülmaschine

Ein wesentlicher Vorteil bei der Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine ist die hohe Praktikabilität dieses

Verfahrens. Eine Geschirrspülmaschine ist in den meisten deutschen Haushalten bereits vorhanden und ihre Handhabung einfach [127]. Das Verfahren ist unabhängig vom Geschick und der Ausdauer des Patienten. Dies ist vor allem angesichts des großen Anteils von Kindern in kieferorthopädischen Praxen von Bedeutung, da Kinder häufig noch nicht über die notwendigen motorischen Fähigkeiten, Disziplin und Ausdauer für eine ausreichende Gerätehygiene verfügen.

Auch die relativ geringen Kosten, die durch die Reinigung in einer Geschirrspülmaschine entstehen, sprechen für dieses Verfahren. Die Kosten für einen Spülgang betragen etwa 45 Cent: zirka 3 Cent für das Reinigungsmittel, zirka 1,5 Cent für den Klarspüler und das Regeneriersalz, etwa 5 Cent für das Spülwasser und weitere rund 35 Cent für die Energiekosten [37, 44, 72, 107]. Die zusätzliche Reinigung einer herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur führt zu keinen oder allenfalls marginalen Mehrkosten. Darüber hinaus entstehen eventuell weitere einmalige Kosten für die Anschaffung einer Siebschale zur Lagerung der kieferorthopädischen Apparatur während der Reinigung in der Geschirrspülmaschine.

Einen der wesentlichsten Nachteile könnten hygienische Probleme darstellen. Zwar scheinen Geschirrspülmaschinen generell in der Lage zu sein, orale Mikroorganismen, wie zum Beispiel *Streptococcus mutans*, effektiv zu entfernen [14], aber gleichzeitig findet man in Geschirrspülmaschinen nicht selten verschiedene Mikroorganismen, wie zum Beispiel Schimmelpilze [126]. Diese können bei der Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen durch eine Kreuzinfektion auch in den Mund des Patienten übertragen werden [104]. Außerdem wird in Geschirrspülmaschinen neben den kieferorthopädischen Apparaturen auch eine Vielzahl an verschmutzten Gegenständen, insbesondere durch Speise- und Getränkereste verschmutztes Geschirr und Besteck, gereinigt, was zu einer zusätzlichen Kontamination führen kann.

Des Weiteren ist die sichere Lagerung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine schwierig. Ohne eine spezielle Halterung ist damit zu rechnen, dass sich die Apparatur während des Spülvorganges in der Geschirrspülmaschine umherbewegt. Dabei kann es zu einer Beschädigung der kieferorthopädischen Apparatur kommen. Außerdem kann die herausnehmbare kieferorthopädische Apparatur dabei in die Bodenwanne der Geschirrspülmaschine gelangen, wo sie nicht mehr vom Spülstrahl erreicht und die Reinigungsleistung

vermindert wird. Andererseits kann es durch die unerwünschten Bewegungen während des Spülvorgangs zu zusätzlicher Reibung kommen und so lokal die Reinigungsleistung erhöht werden.

Weitere mögliche Nachteile durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine sind verschiedene unerwünschte Veränderungen an den unterschiedlichen Materialien der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen. Es ist bekannt, dass es durch hohe Temperaturen oder chemische Beeinflussungen zu Veränderungen von PMMA-Kunststoffen kommen kann. Unter anderem kann es an den Kunststoffbestandteilen zu Oberflächenveränderungen, Dimensionsänderungen, Veränderungen der mechanischen und/oder optischen Eigenschaften kommen. Auch verschiedene Veränderungen an den metallischen Anteilen der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen, wie zum Beispiel Korrosion, sind denkbar [10, 17, 26, 27, 46, 66, 82, 86]. Möglicherweise führt die Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in der Geschirrspülmaschine auch zu einer Schädigung von zusätzlich Bestandteilen, wie zum Beispiel Theramon.

Nachteilig kann sich außerdem, ähnlich wie bei der Verwendung von chemischen Reinigern, die selbsttätige Reinigung durch die Geschirrspülmaschine auswirken. Dies kann auch hier zu einem psychologischen Nachteil werden, da der Patient die Verantwortung für die Reinigung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur abgibt und die eigenverantwortliche Gerätehygiene vernachlässigt.

7.3 Diskussion der Materialien und Methoden

7.3.1 Diskussion der Materialien

In der vorliegenden Untersuchung wurde nur ein Kunststoff für die Herstellung der Prüfkörper verwendet. Es handelte sich dabei um den PMMA-Kunststoff Orthocryl der Firma Dentaaurum. Dieses Kaltpolymerisat wurde speziell zur Herstellung von kieferorthopädischen Apparaturen entwickelt und wird häufig in der Kieferorthopädie eingesetzt. Er wurde deshalb als Repräsentant für die Vielzahl an PMMA-Kunststoffen

verwendet, die zum Herstellen von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen eingesetzt werden. Es ist nicht sicher, ob sich die Ergebnisse der Reinigungsleistung und der Trübung auf andere Kunststoffe übertragen lassen. Insbesondere bei anderen PMMA-Kunststoffen sind aber ähnliche Ergebnisse zu erwarten.

Auch die drei verwendeten Reinigungsmittel für die Geschirrspülmaschine stellen nur eine Auswahl der vielen verschiedenen im Handel erhältlichen Reinigungsmittel dar. Die in dieser Studie getesteten Reinigungsmittel sollten eine möglichst große Bandbreite der verschiedenen Produkte abdecken und wurden auf Grundlage des Testes „So gut waren Pulver noch nie“ vom Mai 2011 [107] und der Untersuchung zu Tab-Produkten „Somat knapp vorn“ aus dem Jahr 2010 [106] der Stiftung Warentest ausgewählt.

Bei den für dieser Untersuchung ausgewählten Reinigungsmitteln handelt es sich zum einen um das K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver als Testsieger der Untersuchung „So gut waren Pulver noch nie“ der Stiftung Warentest und zum anderen um das Sodasan Maschinen Spülmittel als Verlierer dieses Tests. Das Sodasan Maschinen Spülmittel war außerdem das einzige getestete Reinigungsmittel, das weder schmutzlösende Enzyme noch Phosphate, die in der EU als Bestandteil von Spülmitteln verboten werden sollen [31], enthält. Diese beiden Reinigungsmittel wurden jeweils mit dem entsprechenden Regeneriersalz und Klarspüler verwendet. Da Tab-Produkte auf Grund ihrer einfachen Anwendung besonders häufig verwendet werden, wurde zudem das Reinigungsmittel Somat 10 als Vertreter eines All-in-one-Tab-Produkts getestet. Es handelt sich dabei um den Nachfolger von Somat 9, dem Testsieger der Untersuchung „Somat knapp vorn“ der Stiftung Warentest. Für dieses Produkt wird keine zusätzliche Verwendung von Regeneriersalz oder Klarspüler empfohlen, da beides bereits in den Multifunktionstabs enthalten ist. Entsprechend wurde auch in dieser Studie auf eine zusätzliche Anwendung von Regeneriersalz beziehungsweise Klarspüler verzichtet.

Die ausgewählten Reinigungsmittel decken außerdem verschiedene Preiskategorien ab. Das günstigste Produkt in dieser Untersuchung ist das K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver mit Kosten in Höhe von zirka 3 Cent pro Spülgang. Zusätzlich fallen Kosten von etwa 1 bis 1,5 Cent pro Spülgang für das Regeneriersalz und den Klarspüler an. Der teuerste Vertreter ist das Tab-Produkt Somat 10 mit zirka 23 Cent pro Spülgang. Das Sodasan Maschinen Spülmittel liegt mit Kosten von zirka 8 Cent pro Spülgang preislich zwischen den beiden anderen getesteten Produkten [107].

In dieser Studie wurde ausschließlich der Geschirrspülautomat G 5400SC der Firma Miele verwendet. Von den zahlreichen möglichen Spülprogrammen wurden nur das Intensivprogramm mit 75 °C angegebener Spültemperatur und das Schnellprogramm mit 40 °C angegebener Spültemperatur untersucht. Es sollte zum einen ein Programm mit hoher Temperatur und intensiver Reinigung und zum anderen ein Programm mit relativ niedriger Spültemperatur getestet werden. Wie weit die gewonnenen Ergebnisse auf andere Geschirrspülmaschinen und –programme übertragen werden können, kann nur spekuliert werden.

7.3.2 Diskussion der Methoden

In der Literatur werden unterschiedliche In-vivo- und In-vitro-Verfahren zur Bestimmung der Reinigungsleistung verschiedener Reinigungsverfahren beschrieben.

Der im Material- und Methodenteil beschriebene Versuchsaufbau ermöglichte es, ein standardisiertes In-vitro-Verfahren zur Kontrolle der Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei PMMA-Prüfkörpern durchzuführen.

Durch die Standardisierung vieler Parameter war es möglich, die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungsgruppen miteinander zu vergleichen. Dies wäre bei einer In-vivo-Untersuchung auf Grund der fehlenden Möglichkeit zur Standardisierung so nicht möglich gewesen. Außerdem können bei In-vivo-Untersuchungen durch die Vielzahl an individuellen Einflussfaktoren der Probanden, wie zum Beispiel der Speichelzusammensetzung oder Ernährung, keine allgemeingültigen, sondern nur probandenbezogene Ergebnisse erzielt werden [33]. Andererseits können bei In-vitro-Untersuchungen nicht alle individuellen Aspekte kieferorthopädischer Patienten und ihrer herausnehmbaren Apparaturen berücksichtigt werden.

Insgesamt erfolgte die Durchführung der vorliegenden Studie in Anlehnung an das Verfahren zur Untersuchung der Reinigungsleistung verschiedener chemischer Prothesenreiniger von Jagger et al. [50]. Es wurde aber in einigen Punkten von dem Verfahren von Jagger et al. abgewichen. So wurde zum Beispiel ein anderes Spektrophotometer verwendet, was eine andere Prüfkörpergröße bedingte. Außerdem

wurden die Prüfkörper nach der Herstellung zusätzlich für 12 h in deionisiertem Wasser gelagert, um den Monomergehalt des Kunststoffes zu reduzieren. Auch wurde für die Trocknung der Prüfkörper abweichend zu dem Verfahren bei Jagger et al. ein Inkubator verwendet.

Durch die Verwendung eines Spektrophotometers war eine quantitative Messung der Extinktion des Plaqueersatzmittels vor und nach der Reinigung möglich. So konnte die Reinigungsleistung quantifiziert werden. Diese Methode ist somit wesentlich genauer als zum Beispiel die subjektive Beurteilung der Plaqueersatzmittelmenge durch die Auswertung der Farbe des Plaqueersatzmittels [50].

Eine Einschränkung bei der Übertragung der Ergebnisse dieser In-vitro-Studie auf die klinische Situation kieferorthopädischer Patienten ergibt sich durch die Verwendung eines Plaqueersatzmittels. Ein solches Ersatzmittel hat nie die gleichen Eigenschaften wie eine natürliche Plaque [94]. Außerdem finden sich auf herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in-vivo neben Plaque zum Beispiel auch mineralisierte Plaque oder aufgelagerte Farbstoffe, die wiederum andere Eigenschaften besitzen. Trotzdem sollte für die vorliegende Studie ein Plaqueersatzmittel eingesetzt werden, da es gegenüber der Verwendung natürlicher Plaque wesentliche Vorteile mitbringt: Ein künstliches Plaqueersatzmittel kann für alle Versuchsdurchgänge in der immer gleichen Weise hergestellt werden und ist folglich in seinen Eigenschaften leichter reproduzierbar. Im Gegensatz dazu ist die In-vitro-Anzucht einer natürlichen Plaque sehr komplex, fehleranfällig und unterliegt in seinen Eigenschaften großen Schwankungen [7, 97, 120]. Deshalb wurde auf dieses Verfahren verzichtet.

Für die Herstellung von Plaqueersatzmittel gibt es kein standardisiertes Verfahren, aber zahlreiche Empfehlungen. Deshalb wurden in den bislang veröffentlichten Studien eine Vielzahl verschiedener Plaqueersatzmittel verwendet. So wurden unter anderem bereits Okkluspray in einer Untersuchung zur Interdentalreinigung [32] oder eine Suspension aus Lakritz und Wasser in Studien zum Vergleich der Putzeffizienz von verschiedenen Zahnbürsten verwendet [94, 120].

In der vorliegenden Studie wurde sich für Tee-CHX-Beläge als Plaqueersatzmittel entschieden, da diese einfach standardisiert zu erzeugen sind und wegen ihrer Hartnäckigkeit hohe Anforderungen an die Reinigungsleistung des zu untersuchenden Verfahrens stellen. Durch die zusätzliche Verwendung von Speichel vor dem Einlegen

in CHX und Tee, wird eine dünne Schicht initialen Biofilms gebildet, der die nachfolgende Aufnahme der Farbstoffe erleichtern soll [3]. Die erzeugten Tee-CHX-Speichel-Beläge ähneln den in-vivo vorhandenen Auflagerungen auf Zähnen [50].

Tee-CHX-Beläge wurden bereits in verschiedenen anderen Studien als Modell für natürliche Beläge verwendet: so von Prayiton und Addy 1979 [88], Addy et al. 1991 [2], Sharif et al. 2000 [100], Jagger et al. 2002 [50], Pontefract et al. 2004 [87], Lath et al. 2006 [64] und Alam et al. 2011 [3].

Obwohl bei der Herstellung der Prüfkörper und deren anschließendem Anfärben auf möglichst standardisierte Abläufe geachtet wurde, hafteten an den Prüfkörpern jeweils gering unterschiedliche Mengen von Tee-CHX-Belägen an (vergleiche Abbildung 11). Bei der jeweils punktförmigen Messung der optischen Dichte der Prüfkörper nach dem Färben, zeigten sich deshalb geringe Unterschiede sowohl zwischen den verschiedenen Prüfkörpern als auch innerhalb der einzelnen Prüfkörper. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei Tee um ein Naturprodukt handelt. Deshalb kam es trotz standardisierter Herstellung und der Verwendung der gleichen Teecharge zu geringen Unterschieden bei den jeweiligen Tee-Lösungen. Es ergaben sich geringe Schwankungen in der Menge an aufgelagerten Belägen und damit in der optischen Dichte. Diesen Schwankungen wurde Rechnung getragen, indem nicht der absolute Wert der Differenz zwischen optischer Dichte vor und nach der Reinigung (=Reduktion der optischen Dichte) der relevante Maßstab für die Reinigungsleistung war, sondern der prozentuale Anteil der entfernten Beläge. Die Messung der optischen Dichte der Prüfkörper erfolgte dabei mit Hilfe einer modifizierten Festkörperhalterung (vergleiche Abbildung 9) jeweils an exakt derselben Stelle sowohl vor als auch nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine. Damit war es möglich, die Reinigungsleistung an jeweils derselben Stelle zu bestimmen.

Um die optische Dichte der Prüfkörper im Spektrophotometer messen zu können, wurde eine rechteckige Prüfkörperform mit den Maßen 24 x 18 x 1 mm gewählt. Da, wie unter 5.1.2 erläutert, ein direkter Zusammenhang zur optischen Dichte besteht, war es vor allem wichtig, dass die Dicke aller Prüfkörper möglichst genau 1 mm betrug. Entsprechend wurde deshalb nur ein Spielraum von $\pm 0,1$ mm toleriert und eine Bügel-Mikrometernesschraube für die möglichst genaue Messung der Dicke verwendet. Bei der Höhe von 24 mm und der Breite von 18 mm wurde ein Spielraum von ± 1 mm toleriert, da hierbei kein direkter Zusammenhang zur optischen Dichte

besteht. Die Höhe und Breite der Prüfkörper wurden mit einer orthodontischen Schiebelehre gemessen.

Die rechteckige Prüfkörperform entsprach allerdings nicht der tatsächlichen klinischen Form von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen. Auch bestehen die Apparaturen in der kieferorthopädischen Praxis nicht nur aus einem Material, sondern meist zusätzlich aus verschiedenen Materialien, wie zum Beispiel Schrauben und Klammern aus Metall. Insgesamt fehlten also die vielen zusätzlichen Retentionsnischen tatsächlicher herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen. Diese Anteile könnten im praktischen Gebrauch der Geschirrspülmaschinenreinigung dazu führen, dass es zur Bildung eines Spülschattens auf den kieferorthopädischen Apparaturen und damit einer verminderten Reinigungsleistung kommt. Solche Reinigungsschatten entstehen auch bei der mechanischen Reinigung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur mit einer Zahnbürste [30].

Des Weiteren wurden für die Durchführung der Versuche, beide Seiten der Prüfkörper poliert, da bei der Messung der optischen Dichte mit dem Spektrophotometer nicht zwischen der optischen Dichte der einen Seite und der optischen Dichte der anderen Seite unterschieden werden kann. Diese Oberflächenbearbeitung entspricht allerdings nicht der klinischen Situation, in der nur eine Seite der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur poliert wird. Die andere Seite wird direkt auf dem Patientenmodell hergestellt und bleibt dann weitgehend unbearbeitet [29].

Durch diese für den Versuchsaufbau notwendigen Veränderungen können sich deshalb bei der Reinigung von tatsächlichen herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine andere Werte bei der Reinigungsleistung als in der vorliegenden Studie ergeben. Da diese Abweichungen aber die verschiedenen Reinigungsmittel und Spülmaschinenprogramme gleichermaßen betreffen, wird das Verhältnis zwischen ihnen vermutlich auch bei der Reinigung von tatsächlichen herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen erhalten bleiben.

Für die Studie wurden die Prüfkörper in einer Siebschale in der obersten Schublade der Geschirrspülmaschine gelagert. Die Lagerung der Prüfkörper in der Siebschale war notwendig, um ein Umherbewegen der Prüfkörper innerhalb der Geschirrspülmaschine während des Reinigungsvorganges zu verhindern. Wie oben bereits erwähnt, wäre eine ähnliche Fixierung bei der Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen

Apparaturen in der Geschirrspülmaschine ebenfalls notwendig. Auch wenn laut Herstellerinformation in der Siebschale eine effektive Reinigung und Desinfektion möglich ist [70], ist es vorstellbar, dass es zu einer Beeinflussung der Reinigungsleistung kommt. Außerdem wirkt sich vermutlich auch die jeweilige Platzierung der Siebschale innerhalb der Geschirrspülmaschine auf die Reinigungsleistung aus. Zum Beispiel würde eine Platzierung näher am Spülstrahl vermutlich zu einer höheren Reinigungsleistung führen.

Zu berücksichtigen war auch die Eintrübung der eigentlich transparenten Prüfkörper, die unabhängig von den Tee-CHX-Belägen, durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine entstand. Diese Eintrübung war bei dem heißeren Intensiv-Programm stärker als bei dem kälteren Kurz-Programm. Ebenso ergaben sich Unterschiede zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln. Durch diese Trübung erhöhte sich die optische Dichte nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine und es ergaben sich geringere Werte für die Reinigungsleistung des jeweiligen Spülprogramms beziehungsweise Reinigungsmittels. Da eine Zunahme der optischen Dichte durch die Trübung des Kunststoffes aber tatsächlich keine verminderte Reinigungsleistung bedeutet, wurde, wie unter 6.2 und 6.3 beschrieben, zunächst die jeweilige Trübung ermittelt und anschließend die tatsächliche Reinigungsleistung errechnet. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es dabei zu geringen Ungenauigkeiten kam.

7.4 Diskussion der Ergebnisse

7.4.1 Trübungen der Prüfkörper

Wie bereits mehrfach erwähnt, wurde bei der Durchführung dieser Studie festgestellt, dass es durch die Reinigung der PMMA-Prüfkörper in der Geschirrspülmaschine unabhängig von den CHX-Tee-Belägen zu einer Erhöhung der optischen Prüfkörperdichte kam. Im Vergleich zum Kurz-Programm wurde beim Intensiv-Programm, also bei wesentlich höheren Spültemperaturen, eine stärkere Erhöhung der

optischen Dichte beobachtet (vergleiche Abbildung 22 bis 24). Auch zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln wurden teilweise signifikante Unterschiede festgestellt (vergleiche Abbildung 25 und 26).

Die stärkste Erhöhung der optischen Dichte wurde bei der Reinigung im Intensiv-Programm und der Verwendung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver als Reinigungsmittel beobachtet. Hier lag der prozentuale Anteil, um den die optische Dichte durch die Reinigung stieg, median bei 25,35 % des Ausgangswertes. Die geringste Erhöhung der optischen Dichte ergab sich ebenfalls bei der Verwendung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver als Reinigungsmittel, allerdings im Kurz-Programm. Der prozentuale Anteil, um den die optische Dichte durch die Reinigung stieg, lag hier median bei nur 6,23 %.

Bei der Verwendung von Somat 10 Spülmaschinen Tabs und dem Sodasan Maschinen Spülmittel wurde ebenfalls jeweils in beiden Spülprogrammen eine Erhöhung der optischen Dichte beobachtet. Auch hier war die Erhöhung im Intensiv-Programm (Medianwert: 13,98 % beziehungsweise 16,50 %) jeweils signifikant größer als im Kurz-Programm (Medianwert: 7,71 % beziehungsweise 8,43 %).

Für diese Erhöhung der optischen Dichte gibt es verschiedene mögliche Erklärungen. Zum einen könnte es durch eine veränderte optische Dichte des Prüfkörperkunststoffes selbst zu dieser Erhöhung gekommen sein. Möglicherweise haben die während der Reinigung in der Geschirrspülmaschine entstandenen Temperaturen zu Veränderungen der optischen Eigenschaften des Prüfkörperkunststoffes, zum Beispiel in Form von Farbveränderungen oder einer veränderten Lichtdurchlässigkeit, geführt. Es ist auch möglich, dass es durch Diffusion zum Eindringen von Substanzen in den Kunststoff gekommen ist. Diese Substanzen könnten zum Beispiel aus dem Reinigungsmittel stammen. Wenn diese im Kunststoff nicht löslich waren, kann sich der ursprünglich durchsichtige Kunststoff eingetrübt oder verfärbt haben. Es ist auch möglich, dass es durch Oberflächenrauigkeiten bzw. Verkratzungen zu einer verminderten Durchlässigkeit des Kunststoffes gekommen ist [12].

Zum anderen könnte es aber auch durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine zur Auflagerung von verschiedenen Stoffen auf der Oberfläche des Prüfkörperkunststoffes gekommen sein. Bei diesen sich auflagernden Stoffen kann es sich zum Beispiel um Bestandteile aus dem jeweiligen Reinigungsmittel oder Calciumcarbonat

aus dem Spülwasser gehandelt haben. Diese Auflagerungen könnten dann zu einer Erhöhung der optischen Dichte geführt haben, obwohl sich die optische Dichte des Kunststoffes selbst nicht verändert hat. Für Auflagerungen von Calciumcarbonat spricht die Tatsache, dass die ursprüngliche optische Dichte (=Dichte vor der Reinigung) wieder hergestellt werden konnte, indem die Prüfkörper mit Essig gereinigt wurden. Dabei reagierte das aufgelagerte Calciumcarbonat mit der Essigsäure zu Wasser, Kohlenstoffdioxid und Calciumacetat [18]. Diese Stoffe lösten sich von der Prüfkörperoberfläche und die Prüfkörper besaßen wieder die ursprüngliche optische Dichte.

7.4.2 Reinigungsleistungen der verschiedenen Reinigungsmittel und Geschirrspülprogramme

Durch den gewählten Versuchsaufbau konnten die Parameter Plaqueersatzmittel, Prüfkörperoberfläche und Prüfkörpergröße weitgehend konstant gehalten werden. Dadurch war es möglich, die Reinigungsleistung einer Geschirrspülmaschine bei der Reinigung von PMMA-Prüfkörpern mit den verschiedenen ausgewählten Reinigungsmitteln und Spülprogrammen zu untersuchen und direkt miteinander zu vergleichen.

Die Reinigungsleistung einer Geschirrspülmaschine wird, wie unter 3.4.4.1 ausgeführt, einerseits durch das Spülprogramm (Programmdauer, Spültemperatur, Einspritzdruck) und andererseits von der chemischen Zusammensetzung des Reinigungsmittels bestimmt [92]. Entsprechend war die Reinigungsleistung in der vorliegenden Studie sowohl von der Wahl des Reinigungsmittels als auch von der Wahl des Spülprogramms abhängig. Die im Vergleich zum Kurz-Programm längere Spüldauer, höhere Spültemperatur und das zusätzliche Vorspülen des Intensiv-Programms führte zu einer höheren Reinigungsleistung. Die unterschiedlichen Zusammensetzungen der verschiedenen Reinigungsmittel führten zu unterschiedlich hohen Reinigungsleistungen.

Wichtig waren bei der Beurteilung der Reinigungsleistung vor allem die Versuchsergebnisse unter Berücksichtigung der Trübung, da sie die Reinigungsleistung vermutlich am nächsten an der Realität wiedergeben.

Generell zeigten die Prüfkörper nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine bei allen getesteten Spülprogrammen und Reinigungsmitteln weniger Tee-CHX-Beläge als vor der Reinigung. Prinzipiell ist die Reinigung von herausnehmbaren kiefer-orthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine also möglich.

Bei allen drei getesteten Reinigungsmitteln für die Geschirrspülmaschine kam es zwischen den beiden getesteten Spülprogrammen zu signifikanten Unterschieden bei der effektiven Reinigungsleistung, wobei jeweils das Intensiv-Programm gegenüber dem Kurz-Programm effektiver war. Die Differenz zwischen den beiden Programmen war dabei je nach Reinigungsmittel unterschiedlich groß. So lagen bei dem K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver zwischen dem Medianwert der effektiven Reinigungsleistung des Kurz-Programms (98,73 %) und dem Medianwert des Intensiv-Programms (100,45 %) lediglich 1,72 Prozentpunkte. Bei Somat 10 waren es zwischen Kurz-Programm (87,76 %) und Intensiv-Programm (99,90 %) immerhin 12,14 Prozentpunkte und bei dem Sodasan Maschinen Spülmittel zwischen 31,35 % im Kurz-Programm und 100,38 % im Intensiv-Programm sogar 69,03 Prozentpunkte. Je nach Reinigungsmittel hat also die Auswahl des Spülprogramms einen mehr oder weniger großen Einfluss auf die Reinigungsleistung. Die Unterschiede zwischen den beiden Spülprogrammen sind dabei bei Sodasan Maschinen Spülmittel vermutlich auch klinisch relevant. Die sehr geringen Unterschiede bei K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver und Somat 10 sind vermutlich klinisch nicht relevant.

Auffällig waren vor allem die beiden Werte, die gering über 100 % entfernter Beläge (=Reduktion der optischen Dichte) lagen (K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver und Sodasan Maschinen Spülmittel jeweils im Intensiv-Programm). Praktisch können nicht mehr als die maximal zu entfernenden Beläge, also 100 %, entfernt werden. Diese Werte ergaben sich allerdings erst durch das Einrechnen der Trübung in die Versuchsergebnisse. Ohne Berücksichtigung der Trübung lag der Wert bei K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver bei 90,32 % und bei Sodasan Maschinen Spülmittel bei 93,05 % entfernter Beläge. Die beiden Werte über 100 % entstanden also vermutlich durch geringe Ungenauigkeiten beim Einrechnen der Trübung in die Versuchsergebnisse. Eine alternative Erklärung wäre, dass die Trübung bei sauberen,

nicht mit Tee-Chlorhexidin-Belägen verschmutzten Prüfkörpern, wie sie für die Bestimmung der Trübung verwendet wurden, größer ist, als bei den verschmutzten Prüfkörpern bei der Bestimmung der Reinigungsleistung.

Beim Vergleich der Reinigungsleistung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver vor dem Einrechnen der Trübung fällt außerdem auf, dass hier das einzige Mal das Kurz-Programm mit 96,09 % entfernter Beläge effektiver war als das Intensiv-Programm mit 90,32 %. Wie aber oben bereits beschrieben, war beim K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver im Intensiv-Programm die Trübung mit 25,35 % Zunahme der optischen Dichte besonders hoch. Im Kurz-Programm war sie besonders niedrig und lag bei lediglich 6,23 %. Nach dem Einrechnen dieser sehr unterschiedlich starken Trübungen dreht sich auch hier das Verhältnis zwischen Kurz- und Intensiv-Programm um. Das Intensiv-Programm ist wieder das effektivere Programm.

Beim Vergleich der drei getesteten Reinigungsmittel für die Geschirrspülmaschine ergaben sich im Kurz-Programm jeweils signifikante Differenzen bei der errechneten Reinigungsleistung. Das effektivste Reinigungsmittel im Kurz-Programm war mit einem Medianwert von 98,73 % entfernter Beläge das K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver. Die Somat 10 Spülmaschinen Tabs erreichten immerhin noch 87,76 %. Am schlechtesten schnitt das Sodasan Maschinen Spülmittel mit einem Medianwert von lediglich 31,35 % entfernter Beläge ab. Diese Unterschiede zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln sind vermutlich auch klinisch relevant.

Vergleicht man diese Werte mit den Werten im Intensiv-Programm, fällt auf, dass die Unterschiede zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln im Intensiv-Programm wesentlich geringer und nicht signifikant waren. Die Reinigungsleistung im Intensiv-Programm war bei allen drei getesteten Reinigungsmitteln sehr hoch. Sie lag in allen Fällen bei Werten nahe 100 % entfernter Beläge. Im Intensiv-Programm scheint also die Wahl des jeweiligen Reinigungsmittels die Reinigungsleistung wesentlich weniger zu beeinflussen als im Kurz-Programm.

Die festgestellte Differenz zwischen angegebener (75 °C) und tatsächlicher (75,6 °C) Spültemperatur im Intensiv-Programm spielt mit nur 0,6 °C vermutlich keine große Rolle. Im Kurz-Programm wurde eine Temperatur von 40 °C angegeben, tatsächlich aber eine durchschnittliche Temperatur von 46,4 °C gemessen. Hier betrug die

Differenz also immerhin 6,4 °C, sodass eine Beeinflussung der Reinigungsleistung möglich ist.

7.4.3 Vergleich mit anderen Reinigungsverfahren

In der vorliegenden Studie konnte bei allen Kombinationen aus Spülprogramm und Reinigungsmittel das Plaqueersatzmittel aus Tee und CHX durch die Reinigung signifikant entfernt werden. Bei bestimmten Kombinationen wurden sogar bis zu 100 % der Beläge (=Reduktion der optischen Dichte) entfernt. Insbesondere das Intensiv-Programm zeigte sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Reinigungsleistungen. Aber auch im Kurzprogramm wurden teilweise sehr hohe Werte festgestellt. So entfernte das K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver im Kurz-Programm 98,73 % der Beläge.

Selbst das niedrigste Ergebnis von 31,35 % entfernter Beläge bei der Verwendung des Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz-Programm liegt deutlich über der Negativ-Kontrolle von Jagger et al. Sie ermittelten bei der Lagerung von mit CHX und Tee gefärbten Prüfkörpern in Wasser, dass bei glatter Oberfläche 9 % und bei einer rauen Oberfläche 4 % der vorhandenen Beläge entfernt wurden [50]. Alle Werte der vorliegenden Untersuchung liegen über dieser Negativ-Kontrolle von Jagger et al.

Jagger et al. untersuchten außerdem die Reinigungsleistung von verschiedenen chemischen Prothesenreinigern. Sie ermittelten dabei für Prüfkörper mit einer glatten Oberfläche Werte zwischen 23 % und 99 % entfernter Beläge. Bei Prüfkörpern mit rauer Oberfläche wurden nur zwischen 0 und 48 % der Beläge entfernt [50]. Auch Alam et al. stellten ähnliche Werte für die Effektivität von chemischen Reinigern wie Jagger et al. für glatte Oberflächen fest. Beim ersten Reinigungszyklus wurden zwischen 34,8 % und 95,9 % der Beläge entfernt [3]. Bei Jose et al. wurden nach herstellerkonformer Lagerung von Prüfkörpern in verschiedenen chemischen Reinigern 73 % bis über 90 % der Biomasse entfernt [55]. Insbesondere wurden Bereiche gereinigt, die bei einer mechanischen Reinigung schwer zu erreichen sind [30]. Im Vergleich zur chemischen Reinigung zeigt die Reinigung in einer Geschirrspülmaschine also vergleichbare beziehungsweise insbesondere im Intensiv-Programm sogar höhere Werte bei der Entfernung von Tee-CHX-Belägen als die meisten chemischen Reiniger.

Bei der mechanischen Reinigung mit einer Zahnbürste ist die Reinigungseffektivität sehr variabel, da sie stark von der Ausdauer und dem Geschick des jeweiligen Anwenders abhängt. Es werden meist lediglich die gut zu erreichenden Ober- und Unterseiten der Plattenkörper ausreichend gereinigt. Vor allem die Bereiche der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen, die den Bürstenbewegungen nicht direkt zugänglich sind, zeigen auch nach der mechanischen Reinigung noch erhebliche Plaqueauflagerungen sowie mineralisierte Plaque [30]. Die Reinigung in einer Geschirrspülmaschine ist unabhängig vom Geschick des jeweiligen Anwenders gleich effektiv und führt zu einer guten Entfernung der Tee-CHX-Verfärbungen bei den rechteckigen Prüfkörpern. Wie oben bereits beschrieben ist es aber möglich, dass auch hier bestimmte Bereiche nicht ausreichend gereinigt werden, wenn herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen mit zusätzlichen Retentionsnischen untersucht werden. Es ist zum Beispiel möglich, dass es dann zur Entstehung von Spülschatten kommt, die zu einer geringeren Reinigungsleistung der Geschirrspülmaschine in diesen Bereichen führen.

Des Weiteren wird zur Reinigung herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen teilweise das Einlegen in eine Mundspüllösung mit ätherischen Ölen (zum Beispiel Listerine) oder Chlorhexidin empfohlen. Diese Lösungen reduzieren zwar bei Prothesenträgern die Plaque auf dem Kunststoff und der bedeckten Schleimhaut, aber sie sind nicht in der Lage, härtere Beläge oder Verfärbungen zu entfernen. Sie führen im Gegenteil häufig selbst zu Verfärbungen des Kunststoffes [17, 22, 65]. Wie bereits erwähnt, zeigt die Reinigung in einer Geschirrspülmaschine zwar gute Ergebnisse in Bezug auf die Reinigungsleistung, allerdings kann es auch bei dieser Methode zu unerwünschten Verfärbungen des Kunststoffes kommen.

7.4.4 Auswirkungen der Reinigung auf das Dimensionsverhalten

In der vorliegenden Untersuchung konnte bei keinem der getesteten Spülmaschinenprogramme und Reinigungsmittel eine Differenz zwischen den Maßen der Prüfkörper vor und nach der Reinigung gemessen werden. Allerdings ist es nicht unwahrscheinlich, dass zumindest geringe Dimensionsveränderungen festzustellen

sind, wenn genauere Messmethoden verwendet werden und die Prüfkörper mehrfach in einer Geschirrspülmaschine gereinigt werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Messung der Prüfkörpermaße jeweils mittig an den Prüfkörpern vorgenommen. Zum einen kann dadurch nicht ausgeschlossen werden, dass es an anderen Stellen des Prüfkörpers zu einer Dimensionsänderung gekommen ist, die dann nicht erkannt wurde. Zum anderen konnte so nicht sichergestellt werden, dass vor und nach der Reinigung wirklich exakt dieselbe Stelle des Prüfkörpers gemessen wurde. Außerdem hätten durch die gewählte Messmethode nur Veränderungen von mindestens 0,01 mm bei der Messung der Prüfkörperdicke mit der Mikrometerschraube bzw. 0,1 mm bei der Prüfkörperhöhe und -breite mit der orthodontischen Schiebelehre festgestellt werden können. Dimensionsänderungen unterhalb dieser Nachweisgrenze blieben also möglicher Weise unerkannt. Insbesondere wäre es in eventuell folgenden Studien sinnvoll, dreidimensionale Formveränderungen von tatsächlichen herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen durch eine dreidimensionale und nicht nur wie in der vorliegenden Untersuchung zweidimensionale Vermessung der Prüfkörper vor und nach der Reinigung in einer Geschirrspülmaschine zu untersuchen. Bartling stellte in seinen Untersuchungen zum Formverhalten von totalem Zahnersatz aus PMMA mittels optischer 3D-Messtechnik fest, dass es durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine zu einer signifikant stärkeren Formveränderung bei Prothesen aus Kaltpolymerisat kommt, wenn man sie mit nur in Wasser gelagerten Prothesen vergleicht [10]. Da es sich bei den in der Kieferorthopädie üblicherweise eingesetzten PMMA-Kunststoffen um Kaltpolymerisate handelt, ist eine Formveränderung der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen bei der Reinigung in einer Geschirrspülmaschine also wahrscheinlich. Ob es tatsächlich zu Dimensionsveränderungen bei der Reinigung von kieferorthopädischen Apparaturen in der Geschirrspülmaschine kommt und wenn ja, in welchem Maß diese Veränderungen stattfinden, muss in folgenden Untersuchungen geklärt werden.

7.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Prinzipiell führt die Reinigung von PMMA-Prüfkörpern in einer Geschirrspülmaschine zu befriedigenden bis sehr guten Ergebnissen. Es wurden bis zu 100 % des Plaqueersatzmittels aus CHX und Tee entfernt. Damit ist dieses Reinigungsverfahren vergleichbar effektiv wie andere in der Literatur empfohlene Reinigungsverfahren, insbesondere auch der chemischen Reinigung mit Reinigungstabletten. Die Reinigungsleistung ist dabei sowohl von der Wahl des Reinigungsmittels als auch von der Wahl des Spülprogramms abhängig.

Falls dieses Verfahren empfohlen werden soll, bedürfte es weiterer Untersuchungen.

In dieser Studie wurden nicht alle Aspekte der Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine durch den Patienten zu Hause untersucht. Insbesondere die Auswirkungen auf die verschiedenen Materialien sollten Gegenstand zukünftiger Studien sein. Dabei sind vor allem die möglichen Auswirkungen auf den Kunststoff, aber auch mögliche Auswirkungen auf die metallischen Bestandteile zu bedenken [10, 17, 26, 27, 46, 66, 82, 86].

Es wurden in der vorliegenden Studie nur ein Kunststoff und drei Reinigungsmittel getestet. Auch wurde nur eine Geschirrspülmaschine mit zwei verschiedenen Spülprogrammen untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich nur bedingt auf andere Materialien und Spülprogramme übertragen. Es ist deshalb sinnvoll, auch hier weitere Untersuchungen mit verschiedenen weiteren Materialien und Spülprogrammen durchzuführen.

Ferner wurden in dieser Studie nur rechteckige Prüfkörper mit einer gleichmäßigen Schichtstärke und glatten, polierten Prüfkörperoberflächen untersucht, obwohl das nicht der tatsächlichen Form herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen entspricht. Es ist vorstellbar, dass es bei der Reinigung von kieferorthopädischen Apparaturen durch ihre Form sowie die aktiven und passiven Elemente zu anderen Ergebnissen hinsichtlich der Reinigungsleistung kommt. Des Weiteren ist anzunehmen, dass die Reinigungseffektivität, ähnlich wie bei der chemischen Reinigung [50], bei einer rauen Oberfläche geringer ist. Deshalb sollten auch hier weitere Untersuchungen folgen.

Außerdem entspricht die Situation in der Geschirrspülmaschine während der Durchführung der Versuche nicht der üblichen Situation in einer Geschirrspülmaschine

beim Patienten zu Hause. Üblicherweise wird neben der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur weiteres, verschmutztes Spülgut enthalten sein. Dieses verschmutzte Spülgut könnte zu einer Beeinträchtigung der Reinigungsleistung in Bezug auf die kieferorthopädische Apparatur führen.

Zusätzlich wäre es relevant zu wissen, was bei einer Abfolge von mehreren Reinigungszyklen in einer Geschirrspülmaschine passiert, insbesondere was mit den unter Umständen noch vorhandenen Restbelägen geschieht und welche Auswirkungen die wiederholte Reinigung auf die unterschiedlichen Materialien der herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparatur hat.

Darüber hinaus wäre eine Übertragung der Versuchsergebnisse auf andere Bereiche der Zahnmedizin interessant, zum Beispiel auf die Reinigung von Voll- und Teilprothesen oder Tiefziehschienen. Diese bestehen meistens ebenfalls aus PMMA-Kunststoffen und stellen ähnliche Anforderungen an das jeweilige Reinigungsverfahren wie herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen. Häufig werden für Prothesen aber Heißpolymerisate und für Tiefziehschienen temperaturempfindliche Thermoplasten eingesetzt, sodass auch hier weitergehende Untersuchungen notwendig wären.

Aus den oben genannten Gründen kann an dieser Stelle, trotz der hinsichtlich der Reinigungsleistung zu anderen Reinigungsverfahren vergleichbar guten Ergebnisse, noch keine Empfehlung zur Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine erfolgen. Hierfür wären weitere Untersuchungen notwendig. Inwieweit zusätzliche Untersuchungen sinnvoll sind, ist insbesondere auf Grund der bestehenden hygienischen Bedenken und der Tatsache, dass mit der chemischen Reinigung bereits ein vergleichbar reinigendes Verfahren existiert, fraglich.

8 Zusammenfassungen

8.1 Zusammenfassung

Die Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine wird laut Eichenauer, Serbesis und Ruf von 3,6 % der Kieferorthopäden in Deutschland empfohlen [34], obschon es bis jetzt keinerlei Untersuchungen zu diesem Verfahren gibt.

Ziel dieser Arbeit war es deshalb, die Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen zu untersuchen. Dabei wurden drei verschiedene Reinigungsmittel für Geschirrspülmaschinen (K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver²⁵ und Sodasan Maschinen Spülmittel²⁶ mit dem jeweils entsprechenden Klarspüler^{8, 9} und Regeneriersalz^{16, 17} sowie Somat 10 Spülmaschinen Tabs²⁷ ohne zusätzlichen Klarspüler und Regeneriersalz) sowie zwei verschiedene Spülprogramme (ein Kurz-Programm mit 40 °C und ein Intensiv-Programm mit 75 °C) einer Geschirrspülmaschine verglichen.

Dazu wurden insgesamt 140 Prüfkörper (24 mm x 18 mm x 1 mm) aus dem PMMA-Kunststoff Orthocryl^{12, 13} nach Herstellerangaben gefertigt: 20 Prüfkörper für die Vorversuche, 10 Prüfkörper je Reinigungsmittel und Spülprogramm zur Ermittlung der Reinigungsleistung sowie weitere jeweils 10 Prüfkörper zur Ermittlung der Trübung.

Nach dem maschinellen Schleifen der Prüfkörper auf eine Dicke von $1 \pm 0,1$ mm mit Hilfe einer Tellerschleifmaschine und anschließender Politur (bis 4000er Körnung) wurden die Prüfkörper in Anlehnung an das Verfahren von Jagger et al. mit Tee-Chlorhexidin-Belägen als Plaqueersatzmittel eingefärbt [50]. Hierfür wurden die Prüfkörper jeweils zunächst für zwei Minuten in täglich frisch nach dem Frühstück und von immer derselben Person produziertem Speichel gelagert. Danach wurden die Prüfkörper für zwei Minuten in einer 0,2%igen Chlorhexidin-Lösung¹ gelegt. Anschließend wurden die Prüfkörper für 60 Minuten in eine Schwarztee-Lösung²⁹ getaucht. Zwischen den einzelnen Färbeschritten und nach dem letzten Färbeschritt wurden die Prüfkörper mit deionisiertem Wasser abgespült und für 15 Minuten bei 37 °C in einem Trockenschrank^b getrocknet.

Vorversuche hatten gezeigt, dass das Absorptionsmaximum der Tee-Chlorhexidin-Beläge bei 380 nm liegt. Daher wurde mit Hilfe eines Spektrophotometers[†] die optische Dichte jedes angefärbten Prüfkörpers bei dieser Wellenlänge gemessen. Lag der Wert der optischen Dichte bei 2 oder darunter, wurde der Färbezyklus wiederholt bis die optische Dichte über 2 lag. Lag der Wert über 2, so wurde der jeweilige Prüfkörper im Anschluss im entsprechenden Spülprogramm und mit dem entsprechenden Reinigungsmittel in einer Siebschale in der obersten Schublade der Geschirrspülmaschine^e gereinigt. Unmittelbar nach der Reinigung wurden die Prüfkörper entnommen und erneut für 15 Minuten im Trockenschrank getrocknet. Sodann wurde die optische Dichte nach der Reinigung bestimmt. Die Differenz der optischen Dichte vom Anfang (nach dem Färben) und Ende (nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine) wurde als quantitatives Maß für die Reinigungsleistung verwendet.

Zusätzlich wurden je 10 ungefärbte Prüfkörper pro Spülmaschinenprogramm-Reinigungsmittel-Kombination gespült, um so die jeweilige Trübung des Kunststoffes zu ermitteln, die durch die Reinigung an sich entstand. Da diese Trübung keine Minderung der jeweiligen Reinigungsleistung bedeutet, wurde sie jeweils von der optischen Dichte der maximal zu entfernenden Beläge abgezogen.

Die Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Trübung wurde in Prozent angegeben. Es handelte sich dabei um den Prozentsatz der entfernten Tee-Chlorhexidin-Beläge (=Reduktion der optischen Dichte) im Verhältnis zu den durch die Färbezyklen insgesamt aufgelagerten Beläge.

Die Ergebnisse wurden mit Hilfe des Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney-Tests auf signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$ beziehungsweise nach Bonferroni-Adjustierung $p \leq 0,017$) untersucht. In allen Versuchen zeigten die Prüfkörper nach der Reinigung in der Geschirrspülmaschine weniger Tee-Chlorhexidin-Beläge als vor der Reinigung. Prinzipiell scheint die Reinigung von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen in einer Geschirrspülmaschine also möglich zu sein. Es kam bei allen drei getesteten Spülmaschinenmitteln zu einer signifikant höheren Reinigungsleistung im Intensiv-Programm als im Kurz-Programm. Die Reinigungsleistungen der getesteten Reinigungsmittel unterschieden sich im Kurz-Programm hoch signifikant. Im Intensiv-Programm waren die Unterschiede zwischen den verschiedenen Reinigungsmitteln nicht signifikant. Die Wahl des Reinigungsmittels führt also vor allem im Kurz-Programm

zu unterschiedlichen Ergebnissen. Im Kurz-Programm zeigte K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver die höchste Reinigungsleistung (Median: 97,65 %). Am wenigsten reinigte das Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz-Programm (Median: 31,35 %).

Es konnte bei keinem der getesteten Spülmaschinenprogramme und Reinigungsmittel eine Dimensionsänderung durch die Reinigung in der Geschirrspülmaschine gemessen werden.

Die vorliegende Studie zeigt, dass die Reinigung von PMMA-Prüfkörpern in einer Geschirrspülmaschine hinsichtlich der Reinigungsleistung zu vergleichbar guten Ergebnissen wie eine chemische Reinigung mit Reinigungstabletten [3, 50, 55] führt. Die Reinigungsleistung ist dabei sowohl von der Wahl des Reinigungsmittels als auch von der Wahl des Spülprogramms abhängig. Falls dieses Verfahren empfohlen werden soll, bedürfte es weiterer Untersuchungen insbesondere hinsichtlich Materialveränderungen und Keimübertragung bei verschiedenen Reinigungsprogrammen.

8.2 Summary

According to Eichenauer et al. the cleaning of removable orthodontic appliances in the dishwasher is recommended by 3.6 % of orthodontists in Germany [34]. Nevertheless, there have been no studies on the effectiveness of this method to date. Therefore the aim of this study was to evaluate the cleaning performance of dishwashers for removable orthodontic appliances. Three different dishwashing detergents (K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver²⁵ and Sodasan Maschinenspülmittel²⁶ with corresponding rinse agent^{8, 9} and dishwasher salt^{16, 17}, Somat 10 Spülmaschinentabs²⁷ without corresponding rinse agent and dishwasher salt) and two different cleaning programs (short program with 40 °C and an intensive program with 75 °C) of one dishwasher were tested.

In total, 140 acrylic resin specimens (24 mm x 18 mm x 1 mm) made from Orthocryl^{12, 13} were produced according to manufacturer's instructions: Twenty specimens per dishwashing detergent and cleaning program (ten stained and ten unstained), and an additional twenty specimens that were used for the pre-tests. Subsequent to sanding the specimens to a thickness of 1 ± 0.1 mm using a disc sander and polishing (sandpaper up to 4000 grit¹⁸⁻²³), they were stained with a plaque-substitute according to

the method of Jagger et al. For this purpose the specimens were immersed in saliva, freshly produced after breakfast and always by the same person, for two minutes. Thereafter the specimens were put into a 0.2 % chlorhexidine-solution¹ for two minutes. Finally the specimens were placed into a black tea solution²⁹ for 60 minutes. Between the staining steps and after the final staining step, the specimens were rinsed with deionized water and then dried for 15 minutes in an incubator^b at 37 °C.

Previous tests had shown that the absorption maximum of the stains is at a wavelength of 380 nm. Therefore the optical density of the specimens was measured using a spectrophotometer[†] at 380 nm after the staining cycle. In case the optical density was 2 or less, the staining cycle was repeated until the optical density was above 2. If the optical density was above 2, the specimens were washed in the top drawer of the dishwasher^e with one of the above mentioned combinations of cleaning program and dishwashing detergent. After the cleaning in the dishwasher the specimens were removed and dried again for 15 minutes. Subsequently, the final optical density was determined. The difference in optical density at the beginning (after staining) and at the end (after cleaning in a dishwasher) was used as a quantitative measure of the cleaning performance.

In addition, for each combination of cleaning program and dishwashing detergent 10 unstained specimens were used in order to determine the opacity caused by the cleaning process as such, which was subtracted from the maximum of removable stains.

The cleaning performance was expressed as a percentage of removed tea-chlorhexidine-stains in relation to the total stains. The results were analysed for significant differences ($p \leq 0.05$ respectively $p \leq 0.017$ when Bonferroniadjustments was required), using the Kruskal-Wallis- and Mann-Whitney-test.

In all trials the specimens showed less tea-chlorhexidine-stains after the cleaning. The cleaning performance was always significantly higher using the intensive program. The differences in performance of the tested detergents were significant using the short program, but not significant using the intensive program. The choice of the detergent influences the cleaning performance more when using the short program. The highest efficiency in the short program was observed using K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver (median: 97.65 %). The lowest performance was observed using Sodasan

Maschinenspülmittel and the short program (median: 31.35 %). No dimensional changes were measured after cleaning in any case.

This study shows that the cleaning of acrylic resin specimens in a dishwasher leads to results comparable to chemical cleaning with cleaning tablets [3, 50, 55]. The cleaning performance depends on both: the choice of the cleaning detergent as well as the choice of the cleaning program. If this method is to be recommended, it should be explored if and to which extend this method has unfavourable effects on the material and if bacterial cross infections are to be expected.

9 Literaturverzeichnis

1. Addy M, Shaw WC, Hansford P, Hopkins M. The effect of orthodontic appliances on the distribution of *Candida* and plaque in adolescents (Abstr.). *Br J Orthod.* 1982;9(3):158-163.
2. Addy M, al-Arrayed F, Moran J. The use of an oxidising mouthwash to reduce staining associated with chlorhexidine. *J Clin Periodontol.* 1991;18(4):267-271.
3. Alam M, Jagger R, Vowles R, Moran J. Comparative stain removal properties of four commercially available denture cleaning products: an in vitro study. *Int J Dent Hyg.* 2011;9(1):37-42.
4. Anusavice KJ, Zhang NZ, Shen C. Controlled release of chlorhexidine from UDMA-TEGDMA resin. *J Dent Res.* 2006;85(10):950-954.
5. Arendorf T, Addy M. Candidal carriage and plaque distribution before, during and after removable orthodontic appliance therapy. *J Clin Periodontol.* 1985;12(5):360-368.
6. Arikan F, Eronat N, Candan Ü, Boyacioğlu H. Periodontal conditions associated with space maintainers following two different dental health education techniques. *J Clin Pediatr Dent.* 2007;31(4):229-232.
7. Baldys LA. Studie zur standardisierten Analyse der Reinigungseffektivität von elektrischen Zahnbürsten. *Zahnmed Diss., Westfälische Wilhelms-Universität Münster;* 2007.
8. Barclay GR, Finlayson ND. Severe oesophageal injury caused by Steradent. *Postgrad Med J.* 1985;61(714):335-336.
9. Baricevic M, Mravak-Stipetic M, Majstorovic M, Baranovic M, Baricevic D, Loncar B. Oral mucosal lesions during orthodontic treatment. *Int J Paediatr Dent.* 2011;21(2):96-102.
10. Bartling N. Untersuchung zum Formverhalten von totalem Zahnersatz aus PMMA mittels optischer 3D-Messtechnik. *Zahnmed Diss., Charité - Universitätsmedizin Berlin;* 2004.

11. Batoni G, Pardini M, Giannotti A, Ota F, Giuca MR, Gabriele M, et al. Effect of removable orthodontic appliances on oral colonisation by mutans streptococci in children. *Eur J Oral Sci.* 2001;109(6):388-392.
12. Baur, Brinkmann, Oswald, Rudolph, Schmachtenberg. *Saechtling Kunststoff Taschenbuch.* München: Carl Hanser Verlag; 2013 (S.152-153).
13. Bayliss R, Clarke C, Oakley C, Somerville W, Whitfield AG. The teeth and infective endocarditis. *Br Heart J.* 1983;50(6):506-512.
14. Bélanger-Giguère K, Giguère S, Bélanger M. Disinfection of toothbrushes contaminated with *Streptococcus mutans* (Abstr.). *Am J Dent.* 2011;24(3):155-158.
15. Bergendal T, Holmberg K, Nord CE. Yeast colonization in the oral cavity and feces in patients with denture stomatitis. *Acta Odontol Scand.* 1979;37(1):37-45.
16. Bickel M, Geering AH. Bacterial contamination of the denture base. *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd.* 1982;92(9):741-745.
17. Blankenstein FH, Peroz I. Are denture cleansing tablets suitable for daily use? *Z Gerontol Geriatr.* 2011;44(3):192-197.
18. Blumenthal G, Linke D, Vieth S. *Chemie: Grundwissen für Ingenieure.* Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag; 2006 (S. 181-182).
19. Bollen AM, Cunha-Cruz J, Bakko DW, Huang GJ, Hujoel PP. The effects of orthodontic therapy on periodontal health: a systematic review of controlled evidence. *J Am Dent Assoc.* 2008;139(4):413-422.
20. Budtz-Jorgensen E. Denture stomatitis v candida agglutinins in human sera. *Acta Odontol Scand.* 1972;30(3):313-325.
21. Chen L, Wei B, Li J, Liu F, Xuan D, Xie B, et al. Association of periodontal parameters with metabolic level and systemic inflammatory markers in patients with type 2 diabetes. *J Periodontol.* 2010;81(3):364-371.
22. Chittaranjan B, Taruna, Sudhir, Bharath. Material and methods for cleaning the dentures. *Indian J Dent Adv* 2011;3(1):423-426.
23. Cohen DM, Hoffman M. Contact stomatitis to rubber products. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981;52(5):491-494.

24. Costerton JW, Stewart PS, Greenberg EP. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*. 1999;284(5418):1318-1322.
25. Coulthwaite L, Verran J. Potential pathogenic aspects of denture plaque (Abstr.). *Br J Biomed Sci*. 2007;64(4):180-189.
26. Crawford CA, Lloyd CH, Newton JP, Yemm R. Denture bleaching: a laboratory simulation of patients' cleaning procedures. *J Dent*. 1986;14(6):258-261.
27. da Silva FC, Kimpara ET, Mancini MN, Balducci I, Jorge AO, Koga-Ito CY. Effectiveness of six different disinfectants on removing five microbial species and effects on the topographic characteristics of acrylic resin. *J Prosthodont*. 2008;17(8):627-633.
28. Demmer RT, Desvarieux M, Holtfreter B, Jacobs DR, Jr., Wallaschofski H, Nauck M, et al. Periodontal status and A1C change: longitudinal results from the study of health in Pomerania (SHIP). *Diabetes Care*. 2010;33(5):1037-1043.
29. Dentaurem GmbH & Co.KG. Orthocryl Gebrauchsanweisung. 2004.
30. Diedrich P. Microbial colonization and various cleaning procedures for orthodontic appliances. *Fortschr Kieferorthop*. 1989;50(3):231-239.
31. Direktion Medien. Für bessere Wasserqualität: Verbot von Phosphaten in Reinigungsmitteln. 2011; URL: <http://www.europarl.europa.eu/news/de/newsroom/content/20110610STO21210/html/F%C3%BCr-bessere-Wasserqualit%C3%A4t-Verbot-von-Phosphaten-in-Reinigungsmitteln> [cited 16.10.2014]
32. Dörfer C. Reinigungswirkung eines maschinellen Hilfsmittels zur Interdentalraumreinigung im Vergleich zu Zahnseiden. *Dtsch Zahnärztl Z*. 1999;54:494-498.
33. Dürr W, Rabe H, Miethke R-R, Lenk V, Newesely H. Nachweis bakterieller Akkumulationen auf Kunststoffoberflächen. *ZWR*. 1986;95(7):750-754.
34. Eichenauer J, Serbesis C, Ruf S. Cleaning removable orthodontic appliances: a survey. *J Orofac Orthop*. 2011;72(5):389-395.

35. Eschler J, Mayer H, Witt M. The influence of removable orthodontic appliances on the quantity and ion content of the parotid secretion. *Fortschr Kieferorthop.* 1965;26(3):257-272.
36. Fathi H. In-vivo-Evaluation der Reinigungseffizienz verschiedener Reiniger für herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen – eine Pilotstudie (Abstr.). Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie 86 Jahrestagung. 2013.
37. Frondel M, Ritter N, aus dem Moore N, Schmidt C. Die Kosten des Klimaschutzes am Beispiel der Strompreise für private Haushalte. *Z Energiewirtsch.* 2011;35:195-207.
38. Genco R, Offenbacher S, Beck J. Periodontal disease and cardiovascular disease: epidemiology and possible mechanisms. *J Am Dent Assoc.* 2002;133:14S-22S.
39. Gong SQ, Epasinghe J, Rueggeberg FA, Niu LN, Mettenberg D, Yiu CK, et al. An ORMOSIL-containing orthodontic acrylic resin with concomitant improvements in antimicrobial and fracture toughness properties. *PLoS One.* 2012;7(8):e42355.
40. Gong SQ, Epasinghe DJ, Zhou B, Niu LN, Kimmerling KA, Rueggeberg FA, et al. Effect of water-aging on the antimicrobial activities of an ORMOSIL-containing orthodontic acrylic resin. *Acta biomaterialia.* 2013;9(6):6964-6973.
41. Gonser F, Kiesow A, Sarembe S, Petzold M. Bewertung durch Zahnbürstenreinigung hervorgerufener Oberflächenveränderungen bei Prothesenkunststoffen. *Dtsch Zahnärztl Z.* 2008;63(10):689-696.
42. Goultschin J, Zilberman Y. Gingival response to removable orthodontic appliances. *Am J Orthod.* 1982;81(2):147-149.
43. Gröber S. Experimentelle und klinische Untersuchungen zur mikrobiellen Besiedelung weichbleibender und harter Unterfütterungskunststoffe. *Zahnmed Diss., Friedrich-Schiller-Universität Jena.;* 2002.
44. Haakh F. Wie „gerecht“ ist die Struktur der Wassertarife in Baden-Württemberg heute und im Lichte zukünftiger Entwicklungen? *gwf-Wasser/Abwasser.* 2011;152(5):492-501.
45. Harten U. *Physik für Mediziner.* Heidelberg: Springer; 2005 (S. 267-269).

46. Heidemann J, Witt E, Feeg M, Werz R, Pieger K. Orthodontic soldering techniques: aspects of quality assurance in the dental laboratory. *J Orofac Orthop.* 2002;63(4):325-338.
47. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2009 (S. 15-29; 447-455).
48. Hibino K, Wong RW, Hägg U, Samaranayake LP. The effects of orthodontic appliances on *Candida* in the human mouth. *Int J Paediatr Dent.* 2009;19(5): 301-308.
49. Hossain H, Ansari A, Schulz-Weidner N, Wetzel WE, Chakraborty T, Domann E. Clonal identity of *Candida albicans* in the oral cavity and the gastrointestinal tract of pre-school children. *Oral Microbiol Immunol.* 2003;18(5):302-308.
50. Jagger DC, Al-Akhazam L, Harrison A, Rees JS. The effectiveness of seven denture cleansers on tea stain removal from PMMA acrylic resin. *Int J Prosthodont.* 2002;15(6):549-552.
51. Janda R, Greiner K. Kunststoffe für herausnehmbare kieferorthopädische Apparate: dentaurum; URL: http://www.dentaurum.de/files/pub_orthocryl.pdf. [cited 16.10.2014]
52. Janda R, Eichner K, Kappert HF. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Stuttgart: Thieme; 2005 (S. 176-210).
53. Jansson H, Lindholm E, Lindh C, Groop L, Bratthall G. Type 2 diabetes and risk for periodontal disease: a role for dental health awareness. *J Clin Periodontol.* 2006;33(6):408-414.
54. Johnson GH, Taylor TD, Heid DW. Clinical evaluation of a nystatin pastille for treatment of denture-related oral candidiasis. *J Prosthet Dent.* 1989;61(6): 699-703.
55. Jose A, Coco BJ, Milligan S, Young B, Lappin DF, Bagg J, et al. Reducing the incidence of denture stomatitis: are denture cleansers sufficient? *J Prosthodont.* 2010;19(4):252–257.
56. Kaán MJ, Fejérdy P, Kaán M, Barna Z, Dénes Z. Clinical examination of the effect of the "Corega Junior" cleaning tablets for removable orthodontic appliances (Abstr.). *Fogorv Sz.* 1997;90(9):259-265.

57. Kahn RC, Lancaster MV, Kate W, Jr.. The microbiologic cross-contamination of dental prostheses. *J Prosthet Dent.* 1982;47(5):556-559.
58. Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, Sherman D, Boylan RJ, Norman RG, et al. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *Angle Orthod.* 2013;83(1):146-151.
59. KClassicGeschirr-Reiniger-Pulver. Inhaltsstoffe Sicherheitsdatenblatt 2008.
60. Kelson JM. Allergic contact stomatitis from orthodontic rubber bands. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 2007;98(1):99-100.
61. Keng SB, Lim M. Denture plaque distribution and the effectiveness of a perborate-containing denture cleanser. *Quintessence Int.* 1996;27(5):341-345.
62. Kern GmbH Technische Kunststoffteile Polymethylmethacrylat (PMMA) 2011; URL: <http://www.kern-gmbh.de/cgi-bin/riweta.cgi?lng=1&nr=2610>. [cited 16.10.2014]
63. Kitada K, de Toledo A, Oho T. Increase in detectable opportunistic bacteria in the oral cavity of orthodontic patients. *Int J Dent Hyg.* 2009;7(2):121-125.
64. Lath DL, Johnson C, Smith RN, Brook AH. Measurement of stain removal in vitro: a comparison of two instrumental methods. *Int J Dent Hyg.* 2006;4(3):129-132.
65. Lessa FC, Enoki C, Ito IY, Faria G, Matsumoto MA, Nelson-Filho P. In-vivo evaluation of the bacterial contamination and disinfection of acrylic baseplates of removable orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(6):705.e11-7.
66. Lima EM, Moura JS, Del Bel Cury AA, Garcia RC, Cury JA. Effect of enzymatic and NaOCl treatments on acrylic roughness and on biofilm accumulation. *J Oral Rehabil.* 2006;33(5):356-362.
67. Loesche WJ. Association of oral flora with important medical diseases. *Curr Opin Periodontol.* 1997;4:21-28.
68. Löwenich D. Stationäre und transiente UV-Spektroskopie an Cytochrom c und Porphyrin-Modellsystemen Physik Diss., Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf,; 2007.

69. Mealey BL. Periodontal disease and diabetes a two-way street. J Am Dent Assoc. 2006;137:26S-31S.
70. Medical Device Services. Testbericht. 2004 [Infomail 09.03.04].
71. Merchant VA, Molinari JA. Infection control in prosthodontics: a choice no longer. Gen Dent. 1989;37(1):29-32.
72. Miele Gebrauchsanweisung 2014.
73. Molinari JA, Merchant VA, Gleason MJ. Controversies in infection control. Dent Clin North Am. 1990;34(1):55-69.
74. Nikawa H, Hamada T, Yamamoto T. Denture plaque-past and recent concerns. J Dent. 1998;26(4):299-304.
75. Odman PA. The effectiveness of an enzyme-containing denture cleanser. Quintessence Int. 1992;23(3):187-190.
76. Okuda K, Ebihara Y. Relationships between chronic oral infectious diseases and systemic diseases (Abstr.). Bull Tokyo Dent Coll. 1998;39(3):165-174.
77. Orsi IA, Junior AG, Villabona CA, Fernandes FH, Ito IY. Evaluation of the efficacy of chemical disinfectants for disinfection of heat-polymerised acrylic resin. Gerodontology. 2011;28(4):253-257.
78. Ott A. Prüfung physikalischer und biologischer Kenngrößen von dentalen hart-/weichen Verbundschienen. Zahnmed Diss., Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.; 2007.
79. Paranhos HF, Silva-Lovato CH, de Souza RF, Cruz PC, de Freitas-Pontes KM, Watanabe E, et al. Effect of three methods for cleaning dentures on biofilms formed in vitro on acrylic resin. J Prosthodont. 2009;18(5):427-431.
80. Patrick AW, Cameron EW, Ford MJ. Oesophageal stricture following inadvertent ingestion of Steradent tablets in the elderly. Scott Med J. 1986;31(3):181.
81. Pender N. Aspects of oral health in orthodontic patients. Br J Orthod. 1986;13(2):95-103.
82. Peracini A, Davi LR, de Queiroz Ribeiro N, de Souza RF, Lovato da Silva CH, de Freitas Oliveira Paranhos H. Effect of denture cleansers on physical properties of heat-polymerized acrylic resin. Journal of prosthodontic research. 2010;54(2): 78-83.

83. Petit H, Kolstad R, Chu S. Disinfection of removable appliances. *J Clin Orthod.* 1985;19(4):293-295.
84. Petti S, Barbato E, Simonetti D'Arca A. Effect of orthodontic therapy with fixed and removable appliances on oral microbiota: a six-month longitudinal study (Abstr.). *New Microbiol.* 1997;20(1):55-62.
85. Pfeffer LA. Bacterial adherence of *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus acidophilus* on PMMA: Master Thesis, University of Nevada; 2011.
86. Pitner P, Rosswall B. Untersuchungen über die Korrosion von abnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen durch selbsttätige Reinigungsmittel. *Fortschr Kieferorthop.* 1975;36(4):570-582.
87. Pontefract H, Courtney M, Smith S, Newcombe RG, Addy M. Development of methods to enhance extrinsic tooth discoloration for comparison of toothpastes.2. Two-product clinical study. *J Clin Periodontol.* 2004;31(1):7-11.
88. Prayiton S, Addy M. An in vitro study of factors affecting the development of staining associated with the use of chlorhexidine. *J Periodontal Res.* 1979;14(5):397-402.
89. Radlińska J. The condition of periodontium in children treated with removable orthodontic devices (Abstr.). *Czas Stomatol.* 1990;43(3):165-168.
90. Rego RO, Oliveira CA, dos Santos-Pinto A, Jordan SF, Zambon JJ, Cirelli JA, et al. Clinical and microbiological studies of children and adolescents receiving orthodontic treatment. *Am J Dent.* 2010;23(6):317-323.
91. Roberts GJ, Holzel HS, Sury MR, Simmond NA, Gardner P, Longhurst P. Dental bacteremia in children. *Pediatr Cardiol.* 1997;18(1):24-27.
92. Rütt A. Geschirrspüler-Technik; URL:
<http://www.geschirrspueler.eu/Technik.html>. [cited 16.10.2014]
93. Saito T, Shimazaki Y, Kiyohara Y, Kato I, Kubo M, Iida M, et al. The severity of periodontal disease is associated with the development of glucose intolerance in non-diabetics: the Hisayama Study. *J Dent Res.* 2004;83(6):485-490.
94. Sander F, Sander C, Toth M, Sander F. Dental care during orthodontic treatment with electric toothbrushes. *J Orofac Orthop.* 2006;67(5):337-345.

95. Scannapieco FA, Mylotte JM. Relationships between periodontal disease and bacterial pneumonia. *J Periodontol.* 1996;67(10):1114-1122.
96. Schlagenhaut U, Tobien P, Engelfried P. Effects of orthodontic treatment on individual caries risk parameters. *Dtsch Zahnarztl Z.* 1989;44(10):758-760.
97. Seemann R. Untersuchungen zur Kariesprävention in einem biofilmbasierten In-vitro-Modell. Habilitationsschrift: Charite-Universitätsmedizin Berlin; 2005.
98. Segal E, Lehrman O, Dayan D. Adherence in vitro of various *Candida* species to acrylic surfaces. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1988;66(6):670-673.
99. Sexson JC, Phillips RW. Studies on the effects of abrasives on acrylic resins. *J Prosthet Dent.* 1951;1(4):454-471.
100. Sharif N, MacDonald E, Hughes J, Newcombe RG, Addy M. The chemical stain removal properties of 'whitening' toothpaste products: studies in vitro. *Br Dent J.* 2000;188(11):620-624.
101. Sheen SR, Harrison A. Assessment of plaque prevention on dentures using an experimental cleanser. *J Prosthet Dent.* 2000;84(6):594-601.
102. Sodasan Inhaltsstoffe;
URL: <http://www.sodasan.com/maschinenspuelmittel.html>. [cited 06.09.2014]
103. Somat 10 Inhaltsstoffe 2004;
URL: http://www.igefa.de/sites/default/files/datenblaetter/media/pdf_dinblaetter/2080268.pdf. [cited 06.09.2014]
104. Ståhl Wernersson E, Johansson E, Håkanson H. Cross-contamination in dishwashers. *J Hosp Infect.* 2004;56(4):312-317.
105. Steinhardt J. Parodontale Befunde während kieferorthopädischer Behandlung. Eine Querschnittsuntersuchung. *Fortschr Kieferorthop.* 1989;50(6):540-550.
106. Stiftung Warentest. Somat knapp vorn. 2010; test 3/2010, 58-96.
107. Stiftung Warentest. So gut waren Pulver noch nie. 2011; test 05/2011, 64-97.
108. Taylor GW, Burt BA, Becker MP, Genco RJ, Shlossman M, Knowler WC, et al. Severe periodontitis and risk for poor glycemic control in patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *J Periodontol.* 1996;67(10):1085-1093.

109. Taylor R, Maryan C, Verran J. Retention of oral microorganisms on cobalt-chromium alloy and dental acrylic resins with different surface finishes. *J Prosthet Dent.* 1998;80(5):592-597.
110. Theilade E, Budtz-Jørgensen E, Theilade J. Predominant cultivable microflora of plaque on removable dentures in patients with healthy oral mucosa. *Archs Oral Biol.* 1983;28(8):675-680.
111. Theilade E, Budtz-Jørgensen E. Predominant cultivable microflora of plaque on removable dentures in patients with denture-induced stomatitis. *Oral Microbiol Immunol.* 1988;3(1):8-13.
112. Topaloglu-Ak A, Ertugrul F, Eden E, Ates M, Bulut H. Effect of orthodontic appliances on oral microbiota - 6 month follow-up (Abstr.). *J Clin Pediatr Dent.* 2011;35(4):433-436.
113. Travess H, Roberts-Harry D, Sandy J. Orthodontics. Part 6: Risks in orthodontic treatment. *Br Dent J.* 2004;196(2):71-77.
114. Türkün LS, Türkün M. Effect of bleaching and repolishing procedures on coffee and tea stain removal from three anterior composite veneering materials. *J Esthet Restor Dent.* 2004;16(5):290-301; discussion 301-302.
115. van Zoelen GA, de Vries I, Meulenbelt J. Risks of ingesting cleansing tablets for dental protheses (Abstr.). *Ned Tijdschr Tandheelkd.* 1999;106(3):94-96.
116. Veien NK, Borchorst E, Hattel T, Laurberg G. Stomatitis or systemically-induced contact dermatitis from metal wire in orthodontic materials. *Contact Dermatitis.* 1994;30(4):210-213.
117. Vento-Zahra E, De Wever B, Decelis S, Mallia K, Camilleri S. Randomized, double-blind, placebo-controlled trial to test the efficacy of NitrAdine tablets in maxillary removable orthodontic appliance patients. *Quintessence Int.* 2011;42(1):37-43.
118. Verran J. Dental plaque - associated infections and antibacterial oral hygiene products. *Int J Cosmet Sci.* 1991;13(1):29-42.
119. Verran J, Maryan CJ. Retention of *Candida albicans* on acrylic resin and silicone of different surface topography. *J Prosthet Dent.* 1997;77(5):535-539.

120. Völker K. Putzeffizienz neuer Handzahnbürsten unter Verwendung eines 4-Achsen Roboters. Zahnmed Diss.; Universität Ulm; 2005.
121. Wakefield CW. Laboratory contamination of dental prostheses. J Prosthet Dent. 1980;44(2):143-146.
122. Victorin L. Effect of toothbrushing on acrylic resin veneering material. II. Abrasive effect of selected dentifrices and toothbrushes. Acta Odont Scand. 1972;30(3):383-395.
123. Wites M, Panuszka J, Dyras M. Evaluation of oral and orthodontic appliance hygiene in orthodontically treated patients (Abstr.). Przegł Lek. 2003;60(6): 126-128.
124. Wolf HF, Rateitschak EM, Rateitschak KH. Farbatlas der Zahnmedizin 1 Parodontologie. Stuttgart: Thieme; 2003 (S.30, 65).
125. Yoneyama T, Yoshida M, Matsui T, Sasaki H. Oral care and pneumonia. Oral Care Working Group. Lancet. 1999;354(9177):515.
126. Zalar P, Novak M, de Hoog GS, Gunde-Cimerman N. Dishwashers - a man-made ecological niche accommodating human opportunistic fungal pathogens. Fungal Biol. 2011;115(10):997-1007.
127. Zászló A. Summary „Green Technology inside-Check“ 2011; URL: http://www.bosch.com/media/com/sustainability/current/news/2011/ifa_medien/Summary_Green_Technology_inside-Check.pdf. [cited 16.10.2014]
128. Zeeck A, Grond S, Papastavrou I, Zeeck C. Chemie für Mediziner. München: Elsevier; 2005 (S. 357-365).

10 Anhang

10.1 Ergebnisstabelle

Tabelle 3: Reinigungsleistung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben als Prozentwert der maximal zu entfernenden Beläge

	K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver	Somat Spülmaschinen Tabs	Sodasan Maschinen Spülmittel
Intensiv-Programm (75 °C)	90,32 %	93,70 %	93,05 %
Kurz-Programm (40 °C)	96,09 %	85,21 %	30,15 %

Tabelle 4: Trübung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben als Prozent der Ausgangsdichte

	K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver	Somat Spülmaschinen Tabs	Sodasan Maschinen Spülmittel
Intensiv-Programm (75 °C)	25,35 %	13,98 %	16,50 %
Kurz-Programm (40 °C)	6,25 %	7,71 %	8,43 %

Tabelle 5: Effektive Reinigungsleistung unter Berücksichtigung der Trübung von K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver, Somat Spülmaschinen Tabs und Sodasan Maschinen Spülmittel im Kurz- und Intensiv-Programm angegeben in Prozent

	K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver	Somat Spülmaschinen Tabs	Sodasan Maschinen Spülmittel
Intensiv-Programm (75 °C)	100,45 %	99,90 %	100,38 %
Kurz-Programm (40 °C)	98,73 %	87,76 %	31,35 %

10.2 Materiallisten

10.2.1 Verbrauchsmaterialien

Material	Produktname	Hersteller	Nr.
Chlorhexidin	Corsodyl 0,2 % Lösung	GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, Hamburg	1
Doppelseitiges Klebeband	Verlegungsband	Tesa SE, Hamburg	2
Dubliermasse Komponente 1	Fegura Sil Hydro Spezial II blau	Feguramed GmbH, Buchen	3
Dubliermasse Komponente 2	Fegura Sil Hydro Spezial II gelb	Feguramed GmbH, Buchen	4
Gips	Hera Octa-Dur blau von Heraeus	Heraeus Holding GmbH, Hanau	5
Isoliermittel Gips gegen Kunststoff	Isoliermittel	Dentaurum GmbH & Co. KG, Ispringen	6
Kaugummis	Extra Professional White	Wrigley GmbH, Unterhaching	7
Klarspüler 1	K Classic Klarspüler	Kaufland Warenhandel GmbH & Co. KG, Neckarsulm	8
Klarspüler 2	Sodasan Klarspüler	Sodasan Wasch- und Reinigungsmittel GmbH, Uplengen	9
Kaltpolymerisatflüssigkeit	Paladur Flüssigkeit farblos	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau	10
Kaltpolymerisatpulver	Paladur Pulver	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau	11
Kunststoffflüssigkeit	Orthocryl Flüssigkeit	Dentaurum GmbH & Co. KG, Ispringen	12
Kunststoffpulver	Orthocryl Pulver	Dentaurum GmbH & Co. KG, Ispringen	13
Kunststoffplatte	Duran-Tiefziehfolie, 3,00 x 125 mm, rund	Scheu-Dental GmbH, Iserlohn	14
Objektträger	Plexiglas-Objektträger 50 x 100 x 2 mm	Patho-Service GmbH, Oststeinbek	15
Salz 1	K Classic Speziialsalz	Kaufland Warenhandel GmbH & Co. KG, Neckarsulm	16

Salz 2	Sodasan Regeneriersalz	Sodasan Wasch- und Reinigungsmittel GmbH, Uplengen	17
Schleifpapier	WS flex 18 C, SiC P 120er	Hermes Schleifmittel GmbH & Co. KG, Hamburg	18
Schleifpapier	WS flex 18 C, SiC P 220er	Hermes Schleifmittel GmbH & Co. KG, Hamburg	19
Schleifpapier	WS flex 18 C, SiC P 320er	Hermes Schleifmittel GmbH & Co. KG, Hamburg	20
Schleifpapier	WS flex 18 C, SiC P 1200er	Hermes Schleifmittel GmbH & Co. KG, Hamburg	21
Schleifpapier	WS flex 18 C, SiC P 4000er	Hermes Schleifmittel GmbH & Co. KG, Hamburg	22
Schleifpapier (manuell)	220er	Hermes Schleifmittel GmbH & Co. KG, Hamburg	23
Silikonentspannungsmittel	Lubrofilm Plus	Dentaurum GmbH & Co. KG, Ispringen	24
Spülmaschinenmittel 1	K Classic Geschirr-Reiniger-Pulver	Kaufland Warenhandel GmbH & Co. KG, Neckarsulm	25
Spülmaschinenmittel 2	Sodasan Maschinen Spülmittel	Sodasan Wasch- und Reinigungsmittel GmbH, Uplengen	26
Spülmaschinenmittel 3	Somat 10	Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf	27
Musselin Stoff	Muslinz White Muslin Squares	Merry-Go-Round, Adderbury	28
Tee	Marks and Spencer Extra Strong Lose Tea	Marks and Spencer plc, London	29
Wasserfester Stift	Lumocolor 31 Permanent-Marker Set	STAEDTLER Mars GmbH & Co. KG, Nürnberg	30

10.2.2 Weitere Geräte

Gerät	Produktbezeichnung	Hersteller	Nr.
Bandsäge	EXAKT Trennschleifsystem 300 CL, Bandsäge 0,2 mm	Exakt Vertriebs GmbH, Norderstedt	a
Brutschrank	B6060	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau	b
Drucktopf	Palamat Practic	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau	c
Digitale Waage (Gips)	Digitale Waage	Soehnle-Waagen GmbH & Co. KG, Nassau	d
Geschirrspülmaschine	Geschirrspülautomat G 5400SC	Miele & Cie. KG, Gütersloh	e
Heizplatte	AFK	VWR International GmbH, Darmstadt	f
Flasche für Kunststoffpulver	Forestacryl Sprühflasche Pulver 100 ml	Forestadent Bernhard Förster GmbH, Pforzheim	g
Flasche für Kunststoffflüssigkeit	Forestacryl Sprühflasche Flüssigkeit 50 ml	Forestadent Bernhard Förster GmbH, Pforzheim	h
Mikrometerschraube	Bügel- Mikrometerschraube	Mahr Metering Systems GmbH, Göttingen	i
Prüfkörperhalterung	Festkörperhalterung	Shimadzu Deutschland GmbH, Duisburg	j
Schiebelehre	Spezial-Schiebelehre "Züricher Modell" 80 x 15 mm DSC	USTOMED Instrumente Ulrich Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen	k
Spülmaschinen- thermometer	Dishwasher Thermometer Kit	DeltaTRAK Inc., Pleasanton	l
Spülsieb	Siebschale mit Deckel für Kleinteile E907/1	Miele & Cie. KG, Gütersloh	m
Stoppuhr	CG-501 Stopwatch	Genutek Electronics Co. Ltd, Guangdong	n

Rüttler	RV36	Wassermann Dental-Maschinen GmbH, Hamburg	o
Tellerschleifer	EXAKT Mirkroschleifsystem 400 CS inkl. Steuergerät AW 110	Exakt Vertriebs GmbH, Norderstedt	p
Tellerschleifer (manuell)	DP-U4	Struers GmbH, Willich	q
Thermometer	GTH 175/Pt 1000 Digitalthermometer	Greisinger Electronic GmbH, Regenstau	r
Trimmer	HSS 99	Wassermann Dental-Maschinen GmbH, Hamburg	s
UV-Vis- Spektrophotometer	UV mini-1240	Shimadzu Deutschland GmbH, Duisburg	t
Vakuumanrührer	Multivac 4	Degussa Dental GmbH & Co. KG, Rosbach v. d. Höhe	u
Vakuumbecher	Anrührbecher mittel	DeguDent GmbH, Hanau	v
Laborwaage	Laborwaage I1006S- D2A	Sartorius AG, Göttingen	w

10.2.3 Labormaterialien

Labormaterial	Hersteller	Nr.
Pinzette	BioChem Limited, Karlsruhe	A
Wagenlöffel	BioChem Limited, Karlsruhe	B
50 ml Becher (Kunststoff)	Brand GmbH & Co KG, Wertheim	C
100 ml Becherglas	Simax Czech Republic, Orangeburg NY	D
1000 ml Becherglas	Simax Czech Republic, Orangeburg NY	E
1000 ml Becher (Kunststoff)	VitLab GmbH, Großostheim	F

500 ml Erlenmeyerkolben	Schott AG, Mainz	G
1000 ml Erlenmeyerkolben	Schott AG, Mainz	H
50 ml Messzylinder	Brand GmbH & Co KG, Wertheim	I
10 ml Messzylinder	VitLab GmbH, Großostheim	J

10.3 Danksagung

Die vorliegende Dissertation wäre mit Sicherheit nicht ohne die Hilfe und Unterstützung von verschiedenen Menschen zustande gekommen.

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann sehr herzlich für die Überlassung des Themas, die freundliche und lehrreiche Unterstützung und Betreuung während jeder Phase dieser Arbeit danken. Außerdem bedanke ich mich für seine kostbare Zeit, die er trotz seines strammen Zeitplanes, immer für Fragen meinerseits zur Verfügung gestellt hat.

Des Weiteren möchte ich Frau OÄ Engel für ihren Unterstützung und ihr Interesse an meinen Fortschritten danken. Frau Olga Jakob danke ich für die statistische Beratung und die Kontrolle meiner statistischen Auswertung der Daten. Außerdem möchte ich mich bei Frau Wolf für die nette Atmosphäre im Labor bedanken. Der Firma Miele & Cie. KG möchte ich für die Bereitstellung der benötigten Geschirrspülmaschine danken.

Von ganzem Herzen möchte ich mich auch bei meiner Oma und meinen Eltern bedanken, die mich in jeglicher Hinsicht und in jeder Situation in meinem Leben unterstützt haben und mit Sicherheit auch weiterhin werden.

10.4 Lebenslauf

„Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.“

10.5 Eidesstattliche Erklärung

Ich, Katharina von Wallis, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

„Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei PMMA-Prüfkörpern“

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§ 156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.

Katharina von Wallis

10.6 Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Publikationsliste:

1. Artikel: Katharina von Wallis, Sylvia Engel, Paul-Georg Jost-Brinkmann. „Reinigung von PMMA-Kunststoff in einer Geschirrspülmaschine“ in Oralprophylaxe und Kinderzahnheilkunde; im Druck
2. Poster und Kurzvortrag: Katharina von Wallis, Sylvia Engel, Paul-Georg Jost-Brinkmann. „Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei PMMA-Prüfkörpern“, 87. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie, München, 10.-13.09.2014
3. Poster: Katharina von Wallis, Sylvia Engel, Paul-Georg Jost-Brinkmann. Cleaning Performance of Dishwashers for PMMA specimens, 90th EOS Congress, Warsaw, 18.-21.06.2014

Anteilserklärung:

Katharina von Wallis hatte im Einzelnen folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

1. **Artikel: Katharina von Wallis, Sylvia Engel, Paul-Georg Jost-Brinkmann. „Reinigung von PMMA-Kunststoff in einer Geschirrspülmaschine“ in Oralprophylaxe und Kinderzahnheilkunde; 2015; im Druck**

Beitrag im Einzelnen: Selbstständige Literaturrecherche; Entwicklung des Versuchsaufbaus mit Unterstützung durch den Betreuer; selbstständige Durchführung aller zugrundeliegende Experimente (Durchführung der Vorversuche; Herstellung aller Prüfkörper; Durchführung der einzelnen Versuchsreihen zur

Bestimmung der Reinigungsleistung und der Prüfkörpertrübung; Ermittlung möglicher Dimensionsveränderungen); selbstständige statistische Auswertung der Versuchsergebnisse mit Hilfe einer statistischen Beratung; selbstständiges Verfassen des Manuskripts und Erstellen der Grafiken mit Korrekturhilfe durch den Betreuer

2. Poster: Katharina von Wallis, Sylvia Engel, Paul-Georg Jost-Brinkmann. Cleaning Performance of Dishwashers for PMMA specimens, 90th EOS Congress, Warsaw, 18.-21.06.2014

Beitrag im Einzelnen: Selbstständige Durchführung aller zugrundeliegende Experimente; Selbstständige statistische Auswertung der Versuchsergebnisse mit Hilfe einer statistischen Beratung; Selbstständiges Erstellen des Posters inklusive der entsprechenden Grafiken mit Korrekturhilfe durch den Betreuer; Selbstständiges Präsentation des Posters

3. Poster und Kurzvortrag: Katharina von Wallis, Sylvia Engel, Paul-Georg Jost-Brinkmann. Reinigungsleistung von Geschirrspülmaschinen bei PMMA-Prüfkörpern , 87. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie, München, 10.-13.09.2014

Beitrag im Einzelnen: Selbstständige Durchführung aller zugrundeliegende Experimente; selbstständige statistische Auswertung der Versuchsergebnisse mit Hilfe einer statistischen Beratung; selbstständiges Erstellen des Posters inklusive der entsprechenden Grafiken mit Korrekturhilfe durch den Betreuer; selbstständiges Entwickeln des Vortragsinhaltes, der Vortragsgrafiken und der PowerPoint Folien mit Korrekturhilfe durch den Betreuer; selbstständige Präsentation des Posters und Halten des Vortrages

Katharina von Wallis