

Aus der Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung der Zahn-, Mund- und Kieferklinik
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Pulverstrahlgeräte in der zahnärztlichen Praxis und Lehre

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

Vorgelegt von

Peter Simons
aus Wiesbaden

Mainz, 2020

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

06. Juli 2021

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis.....	5
1. Einleitung.....	7
2. Literaturdiskussion.....	11
2.1. Geschichte	11
2.2. Technik.....	12
2.3. Prophylaxepulver	15
2.3.1. Natriumhydrogencarbonat	15
2.3.2. Glycin	15
2.3.3. Calciumcarbonat.....	16
2.3.4. Erythritol.....	16
2.3.5. Trehalose	17
2.3.6. Aluminiumtrihydroxid.....	18
2.3.7. Air-Abrasion mit Aluminiumoxid	18
2.4. Wirkung auf orale Gewebe.....	19
2.4.1. Orale Weichgewebe	19
2.4.2. Parodontale Weichgewebe.....	21
2.4.3. Zahnhartsubstanzen	25
2.5. Antibakterielle Effekte.....	27
2.6. Auswirkungen auf Komposite und Glasionomere zemente sowie deren Bonding.....	29
2.7. Sicherheitshinweise, Anwenderempfehlungen und Risiken	31
3. Material und Methoden	33
3.1. Entwicklung des Fragebogens.....	33
3.2. Fragebogen Praxis:	33
3.3. Fragebogen Klinik:	35
3.4. Umsetzung und Versand der Fragebögen.....	37
3.5. Statistische Auswertung der Fragebögen.....	38
4. Ergebnisse.....	40
4.1. Praxis.....	40
4.2. Klinik.....	49
4.3. Hypothesentests zum Vergleich der Studienergebnisse	54
4.3.1. Vergleich der Umfrageergebnisse aus Praxis und Lehre.....	54

4.3.2.	Vergleich der Altersstruktur mit dem Gesamtkollektiv.....	55
4.3.3.	Vergleich der Studie mit ähnlichen Studien	56
5.	Diskussion.....	57
5.1.	Studiendesign.....	57
5.2.	Rücklaufquote und Nonresponse Bias.....	58
5.3.	Aufbau des Fragebogens.....	61
5.4.	Diskussion der Studienergebnisse und Literaturvergleich	62
5.4.1.	Vergleich und Diskussion beider Umfrageergebnisse	62
5.4.2.	Demografischer Einfluss auf das Studienergebnis	64
5.4.3.	Vergleich der Studie mit ähnlichen Studien	65
5.4.4.	Bezug zu wissenschaftlichen Studien und Empfehlungen	67
6.	Zusammenfassung	69
7.	Literaturverzeichnis	71
8.	Anhang.....	84
8.1.	Tabellenverzeichnis	84
8.2.	Kreuztabellen und Chi ² -Analyse/Fisher-Test	86
8.3.	Anschreiben und Fragebögen.....	95
	Danksagung.....	99
	Lebenslauf.....	100

Abkürzungsverzeichnis

PA	Parodontitis
UPT	Unterstützende Parodontitistherapie
CFU	Koloniebildende Einheiten
SRP	Scaling and Root Planing
µm	Mikrometer
et al.	et alii
sek	Sekunde
CHX	Chlorhexidin
bzw	beziehungsweise
mm	Millimeter
KHN	Knoop-Härte
p	p-Wert, Signifikanzwert
n	Größe des Kollektivs
g	Gramm

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Luft-Pulver-Kammer von Pulverstrahlgeräten	13
Abbildung 2: Standgerät des Modells EMS Prophylaxis Master	14
Abbildung 3: Turbinenaufsätze der Modelle EMS Airflow Handy 3.0 (oben) und 2.0 (unten)	14
Abbildung 4: Supragingivaler Einsatz mit EMS Airflow Handy 2.0	21
Abbildung 5: Supragingivaler Einsatz mit EMS Airflow Handy 2.0	22
Abbildung 6: Subgingivaler Einsatz mit sogenannter Perioflow Nozzle (EMS)	25
Abbildung 7: Balkendiagramm über die Verwendung von Pulverstrahlgeräten in Zahnarztpraxen	40
Abbildung 8: Balkendiagramm über die Nutzungsdauer von Pulverstrahlgeräten in Zahnarztpraxen	41
Abbildung 9: Balkendiagramm über die Indikationen von Pulverstrahlgeräten in Zahnarztpraxen	42
Abbildung 10: Balkendiagramm über den Zusammenhang von Berufserfahrung und Einsatz von Pulverstrahlgeräten in der Parodontistherapie	43
Abbildung 11: Balkendiagramm über die Häufigkeit des Einsatzes zu verschiedenen Indikationen	44
Abbildung 12: Balkendiagramm über die verwendeten Pulver in Zahnarztpraxen	45
Abbildung 13: Balkendiagramm über den Zusammenhang von Berufserfahrung und der Verwendung von Natriumhydrogencarbonat	46
Abbildung 14: Balkendiagramm über die verwendeten Hersteller in Zahnarzt- praxen	47
Abbildung 15: Balkendiagramm über die Berufserfahrung der Teilnehmer	48
Abbildung 16: Balkendiagramm über die Indikationen von Pulverstrahlgeräten in Universitäten	50
Abbildung 17: Balkendiagramm über den Einsatz von Pulverstrahlgeräten in der Lehre	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der kontaktierten Kreise/Landkreise/Kreisfreie Städte	84
Tabelle 2: Liste der kontaktierten Universitäten.....	85
Tabelle 3: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Einsatz in der PA-Therapie	86
Tabelle 4: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Einsatz in der Periimplantitistherapie	86
Tabelle 5: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Glycin.....	87
Tabelle 6: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Calciumcarbonat.....	87
Tabelle 7: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Aluminiumhydroxid	88
Tabelle 8: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Natriumhydrogencarbonat in Praxen	88
Tabelle 9: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Erythritol	89
Tabelle 10: Kreuztabelle zum Vergleich der Berufserfahrung von Umfrageteilnehmern zum Gesamtkollektiv	89
Tabelle 11: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung von Pulverstrahlgeräten in Zahnarztpraxen und an Universitäten	90
Tabelle 12: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung bei PA-Therapie in Zahnarztpraxen und an Universitäten	90
Tabelle 13: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung bei Periimplantitistherapie in Zahnarztpraxen und an Universitäten.....	91
Tabelle 14: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung in Praxen und der theoretischen Lehre.....	91
Tabelle 15: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung in Praxen und der praktischen Lehre.....	92
Tabelle 16: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung von Natriumhydrogencarbonat in Praxen und an Universitäten	92
Tabelle 17: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung von Glycin in Praxen und an Universitäten	93

Tabelle 18: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung von Erythritol in Praxen und an Universitäten	93
Tabelle 19: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung in deutschen und amerikanischen Praxen	94

1. Einleitung

In der modernen Zahnheilkunde gewinnen die Tätigkeitsfelder der Prophylaxe und Parodontologie aufgrund der demographischen Entwicklung und der damit einhergehenden Alterung der Bevölkerung eine immer größere Bedeutung.

Als Ursache für die Entstehung von Parodontopathien wird ein Ursachenkomplex, welcher sich untereinander beeinflusst, angenommen. Dies wurde 2015 von Meyle & Chapple in einem Pathogenesemodell zusammengefasst.¹

Zähne kommen unabhängig vom Zustand der umliegenden Gewebe mit einem Biofilm in Kontakt. In einem klinisch gesunden Zustand der parodontalen Gewebe besteht eine Symbiose, also ein „gegenseitig benefizielles Verhältnis, sowohl zwischen den einzelnen Mitgliedern einer mikrobiellen Gemeinschaft als auch zwischen den mikrobiellen Gemeinschaften und dem Wirt“.²

Auch beim Gesunden liegt eine komplexe Organisation von Mikroorganismen - wie beispielsweise Bakterien - eingebettet in eine extrazelluläre Matrix vor. Solche sogenannten Biofilme haben nicht nur in der oralen Mundflora, sondern im gesamten menschlichen Organismus eine fundamentale Bedeutung für unsere Gesundheit.³ Der symbiontische Biofilm ist grundlegend für die Aufrechterhaltung der Gesundheit – auch in der Mundhöhle. Wird die Funktion und Zusammensetzung jedoch gestört, führt dies zur Dysbiose, die wiederum negative Auswirkungen auf die (orale) Gesundheit haben kann.⁴

In einer Symbiose regulieren sich die einzelnen Faktoren. In der vorliegenden Biomasse liegen Bakterien und extrazelluläre Bestandteile nebeneinander vor. In normalem Maße vorliegende Mengen von Mikroorganismen erkennt der menschliche Körper über bakterielle Antigene, Desoxyribonukleinsäuren und andere Faktoren. Darauf gibt der Körper eine angemessene Immunabwehr über das Komplementsystem, Granulozyten und Peptide.¹

Ändert sich dieses Gleichgewicht spricht man von einer Dysbiose, die sich gesundheitlich auswirken kann.² Faktoren, die dabei eine große Rolle spielen, sind Verhaltensfaktoren, Umweltfaktoren, genetische und epigenetische Faktoren. Alle können die Zusammensetzung des Biofilms, die darin lebenden Mikroorganismen und die darauffolgende Immunantwort des menschlichen Körpers beeinflussen. Wenn durch die vermehrte Biomasse im Biofilm auch vermehrt bakterielle Antigene und

Virulenzfaktoren auftreten, reagiert der Körper darauf mit einer verstärkten Immunantwort. Dabei helfen gebildete Antikörper, vermehrte Granulozyten und andere Bestandteile des Immunsystems. Dies kennzeichnet die Gingivitis auf immunologischer Ebene.¹ Klinisch äußert sich eine Gingivitis durch entzündliche Prozesse, welche auf die epitheliale Gingiva und das darunter liegende Bindegewebe begrenzt ist. Diese Prozesse führen zu einer Ablösung der befestigten Gingiva, was wiederum zu einer Taschenbildung führt.⁵

Der Einfluss der oben genannten Faktoren kann dazu führen, dass der Körper mit einer unangemessenen Immunantwort reagiert. Begünstigt wird diese Entwicklung durch kaskadenartige Prozesse, die das Gleichgewicht immer weiter verschieben. Diese laufen nicht mehr nur oberflächlich in gingivalen Strukturen ab, sondern verschieben sich zusätzlich in tieferliegende Strukturen. In diesen verbrauchen aerobe Bakterien als Erstbesiedler Sauerstoff, was zu einer Ansiedlung von aggressiveren anaeroben Bakterien führt, welche den Prozess weiter vorantreiben. Um die Bakterien zu bekämpfen, schüttet das Saumepithel außerdem Zytokine aus, welche jedoch ebenso Osteoklasten aktivieren.⁵ Dies führt wiederum zu einem Knochenabbau und somit zu noch tieferen Taschen. „Kennzeichnend für eine Parodontitis [PA] ist somit ein inflammatorisches Infiltrat aus tieferliegenden Bestandteilen des Parodonts, was in einer Weich- und Hartgewebsdestruktion, Mobilität der Zähne und im äußersten Fall in Zahnverlust resultiert.“⁵ Diese und weitere Prozesse führen zu einer chronischen Entzündung, welche der Körper im Gegensatz zu einer Gingivitis nur schwer eigenständig bekämpfen kann.

Um die Entstehung einer Gingivitis bis hin zu einer Parodontitis zu vermeiden oder eine solche zu behandeln, muss dieser organisierte Biofilm, welcher über kohäsive und adhäsive Kräfte an der Zahnhartsubstanz haftet, gegebenenfalls neben adjuvanten Maßnahmen im Rahmen der häuslichen Mundhygiene und der zahnärztlichen Prophylaxe und Behandlung mechanisch entfernt werden. Dazu stehen in der modernen Zahnheilkunde verschiedene Methoden zur Auswahl: „Manuelles Debridement mit Handinstrumenten, Debridement mit Schall- und Ultraschallinstrumenten, klassische Oberflächenpolitur und Dekontamination mit Air-Polishing-Systemen“.⁶

Pulverstrahlgeräte, welche heutzutage in der Regel vom Englischen abgeleitet Air-Polishing-Systeme genannt werden, wurden schon in den 1940er Jahren zur schonenden Kavitätenpräparation entwickelt.⁷ Seit den späten 1970er Jahren werden

solche Geräte in der alltäglichen Praxis aufgrund der Entwicklung schonenderer und weniger abrasiver Pulver zu verschiedenen Indikationen verwendet und das Anwendungsspektrum konnte massiv erweitert werden. Außerdem wurde die Anwendungssicherheit und Handhabung verbessert, was zu einer hohen Patienten- und Anwenderakzeptanz führte. Unerwünschte Wirkungen wie ein zu hoher Substanzabtrag, Gingivaschädigungen, Schmerzen während und nach der Behandlung und allgemeinmedizinische Risiken können in der Regel „durch adäquate Schutzmaßnahmen, alternative Pulver sowie Applikations- und Hardwareverbesserungen“ umgangen oder eingedämmt werden.⁸

Die zunächst verwendeten Pulver auf Basis von Natriumhydrogencarbonat erlauben eine bedenkenlose supragingivale Biofilmentfernung auf gesundem Zahnschmelz⁹, verursachen jedoch auf Dentin, Wurzelzement und Weichgewebe erhebliche Schäden.^{9,10,11}

Mit der Einführung von niedrigabrasiven Pulvern, beispielsweise auf Glycinbasis, welche weniger abrasiv auf Zahnhartsubstanzen und Weichgewebe wirken^{12,13}, wurde das Anwendungsspektrum auf supra- und subgingivale Bereiche ausgedehnt.

Heute findet das subgingivale Debridement mittels Pulverstrahlgeräten vor allem in der Parodontitistherapie Anwendung. Während der Primärtherapie kann es adjuvant zur mechanischen Instrumentierung verwendet werden, da es bei alleiniger Verwendung gegen Konkremente und Zahnstein nicht effizient genug ist.¹⁴ Nach erfolgter Primärtherapie wird es häufig in der unterstützenden Parodontitistherapie (UPT) eingesetzt, da es zum einen wesentlich substanzschonender ist als wiederholtes mechanisches Instrumentieren.^{14,15,16,17,18} Zum anderen wird es vom Patienten als angenehmer wahrgenommen.^{19,20,21}

Weitere Indikationen, zu welchen Air-Polishing-Systeme in der Praxis eingesetzt werden, sind:

„- Entfernung extrinsischer Verfärbungen (wie Raucher-, Kaffee- und Teebeläge, z.B. durch Mundspüllösungen (Chlorhexidin)

Reinigung mit Entfernung der Cuticula dentis vor Konditionierung bei adhäsiven Maßnahmen (Fissurenversiegelung, KFO-Klebmaßnahmen)

- Entfernung feiner Restablagerungen auf Zahn- und Wurzeloberflächen nach Schall-/Ultraschallanwendung bzw. erfolgtem Scaling/Root Planing (SRP)

- Entfernung bzw. Zerstörung der Struktur des subgingivalen Biofilms im Rahmen der

unterstützenden Parodontistherapie (UPT) bzw. parodontalen Erhaltungstherapie (PET)

- Reinigung, Politur und Biofilmmangement von Implantatoberflächen“⁸

Als seltene Komplikationen einer Behandlung mit Pulverstrahlgeräten werden Luftemphyseme beschrieben. Dabei gelangt Luft an Orte in oralem Weichgewebe, an die sie physiologisch nicht hingelangt. Diese Fälle treten sehr selten auf und heilen in der Regel ohne Therapie nach einem bis fünf Tagen wieder ab.²²

Für eine erfolgreiche, sichere und indikationsbezogene Anwendung ist eine adäquate Ausbildung und Einweisung nötig. Dies ist zum einen durch gezielte Schulungen, beispielsweise bei Fortbildungen oder Seminaren möglich, kann aber auch durch Bestandteil der universitären Lehre erzielt und gewährleistet werden.

Trotz der großen Relevanz von Pulverstrahlgeräten in der zahnmedizinischen Prophylaxe und Behandlung gibt es derzeit keine zuverlässigen Daten darüber, wie verbreitet Pulverstrahlgeräte in Zahnarztpraxen in Deutschland sind und inwieweit sie in das universitäre Zahnmedizinstudium integriert sind.

Ziel dieser Studie ist einerseits, den Status quo bezüglich der Verwendung von Pulverstrahlgeräten in Deutschlands Zahnarztpraxen zu erfassen. Hierbei wird neben der generellen Frage, ob Pulverstrahlgeräte verwendet werden, unter anderem evaluiert, zu welchen Indikationen und mit welchen Pulvern Pulverstrahlgeräte verwendet werden. Dabei werden Einflüsse von spezifischen Faktoren, wie zum Beispiel der Berufserfahrung, untersucht. In einem zweiten Teil wird die Ist-Situation an einer Auswahl zahnmedizinischer Fakultäten an deutschen Hochschulen erfasst. Dabei werden zum einen, ähnlich der Evaluation in den niedergelassenen Praxen, unter anderem Indikationen und Pulver erfragt. Zum anderen soll speziell die Rolle in der zahnmedizinischen Lehre dargestellt werden. Darüber lassen sich schließlich die Rolle der Pulverstrahlgeräte in der Lehre und in Zahnarztpraxen vergleichen, sodass man Rückschlüsse ziehen kann, inwieweit Lehre und Praxis bezüglich der Pulverstrahlgeräte einhergehen. Des Weiteren soll evaluiert werden, wo Gründe für mögliche Inkongruenzen liegen.

2. Literaturdiskussion

2.1. Geschichte

Die Idee, Zahnoberflächen zu bearbeiten, indem man kleine Partikel mittels Druckluft auf eine Oberfläche schießt, und diese wiederum dadurch aufzubrechen und zu entfernen, kam bereits in den 1940er Jahren auf. Schon 1942 begann Robert B. Black mit der Entwicklung einer Methode der schonenden Kavitätenpräparation, um kariöse Schmelz- und Dentinareale zu beseitigen. 1945 stellte er das erste marktreife Gerät *Air Dent* auf dem amerikanischen Markt vor.⁷ Damals wurde jedoch nicht wie heute ein Luft-Pulver-Wasserstrahlgerät, sondern ein Luft-Pulver-Gerät verwendet, welches Pulverpartikel mit einer Größe von 30 µm gemischt mit Kohlenstoffdioxid und Druckluft beschleunigte. Durch fehlenden direkten Kontakt zum Zahn und die Ersparnis der Wasserkühlung, da auf rotierende Instrumente bei der Kavitätenpräparation verzichtet werden konnte, sollte ein angenehmeres Behandeln für den Patienten möglich sein. Mit Einführung der Turbinenwinkelstücke und verbesserter Absauganlagen fand die Pulverstrahltechnologie jedoch zunächst nicht ihren Durchbruch.²⁰

Die Pulverstrahlgeräte wurden in den folgenden Jahrzehnten weiterentwickelt. Das entstandene sogenannte Air-Polishing basierte von nun an auf der zusätzlichen Beimischung von Wasser, sodass ein Luft-Pulver-Wasser-Gemisch eingesetzt wurde, um Oberflächen zu reinigen. Als abrasives Pulver wurde zunächst hauptsächlich Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) mit einer Partikelgröße von 200 µm verwendet.²⁰

Seit Beginn der 1980er Jahre wurde diese Form des Air-Polishing in verschiedenen Studien als effektives Verfahren zur Entfernung von Plaque auf dem Zahnschmelz bewertet. Schon 1980 empfahlen Willmann et al. Air-Polishing als Verfahren der Wahl zur professionellen Zahnreinigung.²³ Auch Strand & Raadal bestätigten 1987 die Wirksamkeit von Pulverstrahlgeräten zur Fissurenreinigung.²⁴ Weitere Studien, welche die effektive Reinigung von Schmelzoberflächen mittels Natriumhydrogencarbonatpulvern bestätigten, wurden von Berkstein et al.²⁵ und Galloway & Pashley⁹ durchgeführt. Der effektiven Reinigung der stabilen Schmelzoberflächen standen negative Effekte des Verfahrens auf weniger stabilen Strukturen der Zähne und des Zahnhalteapparats gegenüber. So belegten Berkstein et al. (1987)²⁵, Galloway et al. (1987)⁹ und Atkinson et al. (1984)²⁶ bereits nach einer Anwendung von 30 sek auf Dentin- und Wurzeloberflächen einen signifikanten Substanzabtrag. Auch signifikante

Schäden der umliegenden und dem Pulverstrahl-exponierten Weichgewebe wurden in einigen Studien dargestellt.^{10,11,27,28}

Die oben genannten Nebenwirkungen stehen im Widerspruch zum Bestreben, ein hart- und weichgewebeschonendes Verfahren zur Reinigung von Zahnoberflächen durchzuführen. Daher wurde nach Möglichkeiten geforscht, bei ähnlicher Reinigungseffektivität eine möglichst geringe Abrasion von Dentin, Zement und umliegender Weichgewebe zu gewährleisten. Da die Abrasion eines Pulverstrahlgerätes unter anderem stark abhängig von der Geometrie der beigemischten Pulverpartikel ist²⁹, wurde an verschiedenen Alternativen zum bis dato verwendeten Natriumhydrogencarbonat geforscht. 2003 wurde dazu Glycin als neuartiges Pulver entwickelt und seine Wirksamkeit durch Studien belegt.^{12,30} Das Pulver ist bei gleicher Anwendung sowohl auf Dentin¹² als auch auf Weichgewebe unter anderem aufgrund seiner geringeren Korngröße von 45 µm weniger abrasiv als Natriumhydrogencarbonat¹³. Somit konnte von nun an das Indikationsspektrum von supragingivalen Bereichen auf subgingivale Strukturen erweitert werden.

2.2. Technik

Der grundsätzliche Aufbau von Pulverstrahlgeräten besteht darin, dass das eingesetzte Pulver in der Geräteeinheit mit Hilfe von Druck in Höhe von 3 bis 5 Bar⁶, welcher gerätespezifisch ist, als Pulver-Luft-Gemisch beschleunigt wird und in der Austrittsdüse durch Zufuhr eines Wasserstrahls aus einer separaten Wasserdüse als ein Luft-Pulver-Wasser-Gemisch auf eine Oberfläche geschossen wird.^{29,31}

Hierbei gibt es zwei verschiedene Arten des Kammeraufbaus, in denen dem Pulver die Druckluft zugeführt wird. Diese beschreibt Petersilka 2002.³¹

Bei Typ 1 führt ein druckluftführender Schlauch von unten nach oben in die Pulverkammer. Dem Prinzip eines Fallstromvergasers nachempfunden, hat der druckführende Schlauch beim Eintritt in die Pulverkammer an dessen Boden Öffnungen. Durch den sich entwickelnden Unterdruck der vorbeiströmenden Luft werden Pulverpartikel angesogen und als Pulver-Luft-Gemisch in den oberen Teil der Kammer beschleunigt. Dieser Strom wird durch die kuppelförmige Kammer nach unten umgelenkt und erneut am Boden der Kammer der zugeführten Luft zugesetzt. So

entsteht ein kreisförmiger Strom, welcher sich konstant mit Pulver anreichert. Dadurch soll das entstehende Luft-Pulver-Gemisch unabhängig vom Füllstand der Pulverkammer sein. Am Austrittspunkt des Druck- und Luft-Pulver-führenden Schlauchs lenkt zusätzlich ein Schild das Luft-Pulver-Gemisch in Richtung der Austrittsdüse.³¹

Die Funktionsweise von Typ 2 ist etwas einfacher aufgebaut. Typ 2 erzeugt ein Luft-Pulver-Gemisch, indem Druckluft der Pulverkammer zugeführt wird und dadurch das Pulver in der Pulverkammer aufwirbelt. Das so entstandene Pulveraerosol wird nun vom Ausgang der Pulverkammer zur Austrittsdüse geleitet.³¹ Dieses Prinzip scheint abhängiger vom Füllstand der Pulverkammer zu sein als Typ 1.³²

Pulverstrahlgeräte gibt es zum einen als eigenständiges Gerät (z.B. EMS Prophylaxis Master, Dentsply Cavitron ProphyJet) und zum anderen als sogenanntes Handy als Turbinenaufsatz an dentalen Einheiten (NSK Perio-Mate, EMS Air-Flow Handy 3.0).

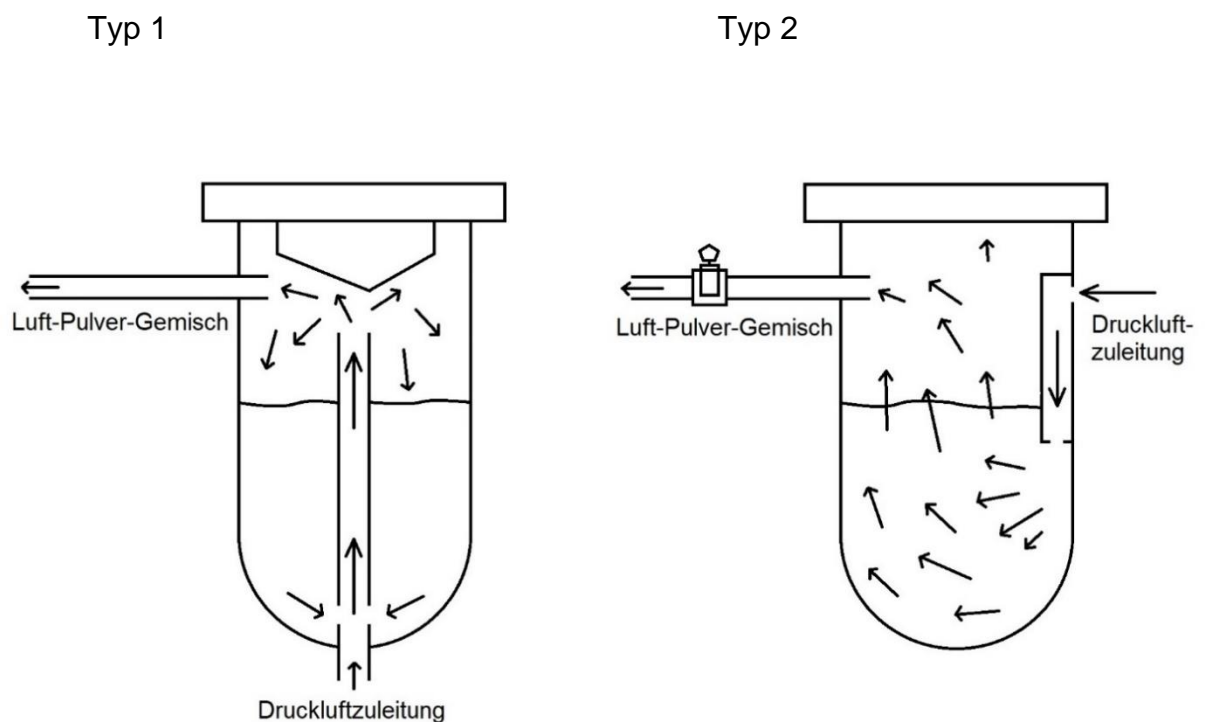


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Luft-Pulver-Kammer von Pulverstrahlgeräten, eigene Darstellung nach Petersilka 2002³¹



Abbildung 2: Standgerät des Modells EMS Prophyaxis Master



Abbildung 3: Turbinenaufsätze der Modelle EMS Airflow Handy 3.0 (oben) und 2.0 (unten)

2.3. Prophylaxepulver

2.3.1. Natriumhydrogencarbonat

Natriumhydrogencarbonat ist das älteste, heute noch regelmäßig verwendete Pulver in Pulverstrahlgeräten. Dementsprechend ausführlich ist die Studienlage zu diesem Pulver.

Natriumhydrogencarbonat ist ein wasserlösliches Salz mit einer verwendeten Korngröße von 40 µm bis 250 µm.^{31,33} Mit einer Mohs-Härte von 2,5 ist es relativ hart³⁴ und seine Form ist kantig.³¹ Sowohl Größe als auch Form der Partikel sind bei diesem Pulver recht unregelmäßig. Um die Fließeigenschaften des Pulvers zu verbessern und ein Verklumpen zu vermeiden, wird dem Pulver häufig Siliziumoxid und Tricalciumphosphat zugesetzt, da diese die hydrophoben Eigenschaften des Pulvers verstärken.³¹ In den meisten Pulvern sind zusätzlich Aromen für den Patientenkomfort enthalten. Patienten mit Allergien oder Überempfindlichkeiten gegen bestimmte Aromastoffe steht in der Regel ein alternatives neutrales Pulver ohne Geschmackszusätze zur Verfügung.³⁵ Kontraindikationen, die speziell Natriumhydrogencarbonatpulver betreffen, liegen vor, wenn Patienten aufgrund von Bluthochdruck oder Wassereinlagerungen eine salzarme Diät einhalten müssen oder Defizite im Säure-Base-Haushalt haben.²⁹

Natriumhydrogencarbonat ist durch seine sehr abrasive Charakteristik nur für den supragingivalen Einsatz auf intakten Schmelzoberflächen geeignet.^{9,25,26} Somit ergeben sich als Indikationen die Entfernung von Plaques und Verfärbungen auf Zahnschmelz im Allgemeinen¹⁰, die Fissurenreinigung beispielsweise vor Fissurenversiegelungen^{24,36} und die Vorbereitung von Oberflächen in der Kieferorthopädie vor dem Einbringen von festsitzenden Apparaturen.³⁷

2.3.2. Glycin

Pulver auf Basis der Aminosäure Glycin wurden Anfang der 2000er Jahre konzipiert und sind sowohl für den supra- als auch subgingivalen Einsatz geeignet. Mit einer mittleren Korngröße von ca. 45 µm ist es wesentlich feinkörniger als Natriumhydrogencarbonat.³¹ Außerdem besitzt es mit 2 Mohs eine geringere Härte als

Natriumhydrogencarbonat.³⁴ Die gute Wasserlöslichkeit von Glycin und seine hohe Biokompatibilität aufgrund des natürlichen Vorkommens von Glycin im menschlichen Körper sorgen für einen problemlosen Abbau und Abtransport des Pulvers im Mund und in parodontalen Taschen.³⁵ Aufgrund seiner durch zahlreiche Studien belegten niedrigabrasiven Eigenschaft ist es sowohl für den supra- als auch den subgingivalen Einsatz geeignet.^{14,20,21,30} Es weist bei geringer Abrasion eine gute Reinigungsleistung auf^{12,21,30} und ist schonender als andere Pulver bei Einwirkung auf Weichgewebe.¹³

2.3.3. Calciumcarbonat

Vor über 10 Jahren wurden Pulver aus Calciumcarbonat für Pulverstrahlgeräte entwickelt und im Markt eingeführt. Durch ihre „sphärisch angeordnete Struktur“ sollten sie einen niedrigabrasiven Effekt bei gleichzeitig geringen Rauigkeiten auf Schmelz und Dentin besitzen.⁸ Dieser Effekt wird unterstützt durch die geringe Härte und hohe Spaltbarkeit der Kristalle.³⁸ Calciumcarbonat hat eine geringe Wasserlöslichkeit, was den Vorteil hat, dass das Pulver bei Kontakt mit Wasser weniger stark verklumpt als Glycin oder Natriumhydrogencarbonat. Es wird daher vermutet, dass die Verwendung von Calciumcarbonat zu weniger Verstopfungen oder anderen technischen Störungen der Pulverstrahlgeräte führt.⁸ Allerdings ist die Studienlage von Calciumcarbonatpulvern nicht sehr umfangreich. Der oben beschriebene bestrebte Nutzen gegenüber anderen Pulvern auf dem Markt konnte bislang nicht belegt werden. So weisen Zahnoberflächen in mehreren Studien nach Bestrahlung mit Calciumcarbonat die größte Rauigkeit auf, welche sogar ausgeprägter ist als nach Bestrahlung mit Natriumhydrogencarbonat.^{39,40} Des Weiteren konnten stark verminderte Haftwerte von Bondingmaterialien festgestellt werden.⁴¹

2.3.4. Erythritol

Seit 2011 ist ein Pulver auf dem Markt, welches auf Basis des Zuckeralkohols Erythritol hergestellt wird. Die Grundsubstanz Erythritol wird unter anderem als Zuckerersatzmittel eingesetzt und besitzt 50 – 70 % der Süßkraft von herkömmlicher Saccharose.⁴² Dementsprechend besitzt es einen angenehm süßen Geschmack. Da

es im Körper nicht metabolisiert wird, sondern unverändert über den Urin ausgeschieden wird, hat es einen glykämischen Faktor von 0. Somit ist die orale Aufnahme bei einer Behandlung mit Pulvern auf Erythritolbasis ohne Auswirkungen auf den Blutzuckerspiegel des Patienten.⁴³ Des Weiteren kann es nicht von Bakterien verstoffwechselt werden und wirkt somit nicht kariogen.⁴⁴ Erythritolpulver wird vom Hersteller Chlorhexidin (CHX) zugesetzt.

In den letzten Jahren hat sich die Studienlage zu Erythritolpulvern erheblich vergrößert. Bereits 2005 wurde die antibakterielle Wirkung von Erythritol auf *Streptococcus mutans* im Rahmen der Kariesentstehung erforscht und bestätigt.⁴⁵ Ähnliche Ergebnisse erzielte Hashino 2013 bei der Untersuchung von *Porphyromonas gingivalis* und *Streptococcus gordinii*.⁴⁶ Auch Hägi et al. entdeckten eine leicht veränderte Biofilmmzusammensetzung nach Behandlung mit Erythritolpulvern, welche in dieser Studie jedoch nicht auf parodontopathogene Keime bezogen werden konnte.⁴⁷ Diese Erkenntnisse decken sich mit weiteren Studien, welche tendenziell geringere Bakterienbesiedlungen in vitro auf Titanoberflächen^{48,49} und in vivo auf Zahnoberflächen¹⁹ nach einer Behandlung mit Erythritolpulvern beobachteten. Auch die geringe Abrasion bei gleichzeitig effektiver Senkung verschiedener Entzündungsparameter⁵⁰, geringen Rauigkeitswerten auf Zahnhartsubstanzen und Restaurationen^{51,52,53} und effektiver Reinigung von Implantatoberflächen⁴⁴ bei geringer Oberflächenrauigkeit⁵⁴ belegen den positiven Nutzen des Pulvers. Des Weiteren wurde der Patientenkomfort durch die Angabe von weniger Schmerzen bestätigt.¹⁹

Die Erkenntnis, dass Erythritolpulver ähnliche Eigenschaften hinsichtlich der Abrasion und Effektivität der Reinigungsleistung haben und gleichzeitig einen besseren bakteriziden Effekt besitzen, lassen den Rückschluss zu, dass solche Pulver als mindestens gleichwertige Alternative zu Pulvern auf Glycinbasis angesehen werden können.

2.3.5. Trehalose

Trehalose ist ein antikariogenes Disaccharid⁵⁵, welches gut wasserlöslich ist.⁵⁶ Es wird vom Hersteller mit Korngrößen von 65 µm und 30 µm angeboten. Ersteres ist für den supragingivalen Einsatz gedacht. Es besitzt eine ähnliche Reinigungswirkung

wie Glycin und ist auf Zahnschmelz lediglich Natriumhydrogencarbonatpulvern unterlegen.⁵⁷ In subgingivalen Bereichen zeigt Trehalose als niedrigabrasives Pulver, dass es beispielsweise im Rahmen der UPT ähnlich effektiv ist, wie die Behandlung mit Ultraschallinstrumenten. Dabei wurde ein wesentlich höherer Patientenkomfort festgestellt.⁵⁸

2.3.6. Aluminiumtrihydroxid

Pulver auf Basis von Aluminiumtrihydroxid wurden zum supragingivalen Einsatz bei Patienten entwickelt, welche auf eine natriumarme Ernährung achten müssen.⁵⁹ Es besitzt eine mittlere Korngröße von 80 bis 325 µm und eine Härte von 2,5 bis 3,5 Mohs.⁶⁰ Damit liegt es über der Härte von Glycin und Natriumhydrogencarbonat.³⁴

Eine Studie von Johnsen et al. zeigte, dass der Einsatz von Aluminiumtrihydroxid auf direkten Restaurationen wie Kompositen und Glasionomorzementen zu starken Veränderungen in der Oberflächenbeschaffenheit führte.⁶¹

2.3.7. Air-Abrasion mit Aluminiumoxid

Nicht zu verwechseln mit den oben genannten Pulvern, welche zum Air-Polishing verwendet werden, sind solche, die der sogenannten Air-Abrasion dienen. Hierbei handelt es sich um das Abstrahlen von Oberflächen mit größerem Druck und abrasiveren Partikeln als beim Air-Polishing. Bei den verwendeten Pulvern handelt es sich in aller Regel um Pulver auf Aluminiumoxidbasis, welche ihre hohen abrasiven Eigenschaften neben dem höheren Gerätedruck unter anderem aus ihrer im Vergleich zu Air-Polishing-Pulvern vielfach höheren Härte beziehen (9 Mohs).⁶²

Dieses Verfahren dient nicht der Politur, Reinigung und Glättung von Oberflächen, sondern soll Material abtragen und Oberflächen aufräuen. Indikationen dafür sind die Präparation von kleineren kariösen Defekten, Öffnen und Vorbereiten von Fissuren, Schaffung von Mikroretentionen auf Schmelz und Dentin zur Vorbereitung der Adhäsivtechnik und die Vorbereitung von direkten und indirekten Restaurationsmaterialien beim Eingliedern und bei dessen Reparatur.^{62,63,64}

Studien zeigen, dass die Haftwerte von Adhäsiven auf Zahnschmelz, welcher mit Aluminiumoxid bestrahlt wurde, wesentlich besser sind als auf unbehandeltem Schmelz.⁶⁵ Somit eignet sich diese Art der Schmelzvorbereitung sowohl bei indirekten und direkten Restaurationen, welche adhäsiv befestigt sind, als auch für die Vorbereitung von Schmelzarealen vor dem adhäsiven Anbringen von kieferorthopädischen Brackets.⁶⁶ Gleiches gilt für die adhäsive Befestigung von Kunststoffen auf Metalloberflächen⁶⁷, wie es bei abgeplatzten Verblendungen erforderlich sein kann, ebenso wie bei der Reparatur oder Ausbesserung von bestehenden Kompositfüllungen.^{68,69}

2.4. Wirkung auf orale Gewebe

2.4.1. Orale Weichgewebe

Schon mit Einführung von Pulverstrahlgeräten in der routinemäßigen Verwendung zur Biofilmentfernung wurde deren Auswirkung auf die umliegenden Weichgewebe untersucht.

Bereits 1982 untersuchten Vande Velde et al. klinisch und histologisch die Weichgewebstraumata bei direkter Bestrahlung mit Natriumhydrogencarbonat. Zum einen wurden die klinischen Auswirkungen bei Patienten in vivo sowohl mit gesunder als auch entzündeter Gingiva untersucht. Zum anderen wurden in vitro die histologischen Auswirkungen untersucht, indem Gingivabiopsien von Beaglehunden verwendet wurden. Dabei wurden jeweils Biofilme durch 30 bis 120 sek Bestrahlung zuverlässig entfernt und anschließend die Gewebe untersucht. Bei allen untersuchten Patienten kam es zu gingivalen Desquamationen, welche nach drei Tagen abheilten. Außerdem entstanden in mehreren Fällen aphtöse Ulcera. In den histologischen Untersuchungen der Biopsien zeigten sich in einigen Fällen epitheliale Desquamationen bis in das papilläre Bindegewebe, welche teils zu Nekrosen führten.⁷⁰ In den folgenden Jahren kamen Weaks et al. 1984, Mishkin et al. 1986 und Kontturinähti et al. 1989 zu ähnlichen Ergebnissen. Ihre Untersuchungen zeigten, dass bei Behandlung mit Natriumhydrogencarbonat eine signifikante Zunahme von gingivalen Traumata, Zahnfleischbluten und schweren Erosionen zu beobachten war.^{10,11,27} Es zeigte sich jedoch auch eine fast vollständige Normalisierung der

Epithelien nach sechs Tagen¹⁰ bzw. 7 bis 21 Tagen¹¹. Auch Kozlovsky et al. bestätigten 2005 diesen Sachverhalt. Sie fanden nach 20 sek Bestrahlung in histologischen Präparaten einen teilweise kompletten Verlust des bedeckenden Epithels und freigelegtes Bindegewebe. Das Ausmaß der Erosionen korrelierte dabei mit der Dauer der angewandten Bestrahlung.²⁸ Aufgrund dieser Erkenntnisse sollte die Anwendung von Pulvern auf Basis von Natriumhydrogencarbonat lediglich auf supragingivale Bereiche beschränkt werden.

Kaur et al. verglichen in vivo in einer Split-Mouth-Studie die Auswirkungen von Aluminiumhydroxidpulvern auf die umliegende Gingiva mit den Auswirkungen einer Politur mit Gummikelchen. Sie ermittelten einen Trauma-Index und konnten aufzeigen, dass die Gingiva unmittelbar nach Behandlung mit Aluminiumhydroxidpulver stärker traumatisiert war als nach einer Gummikelchpolitur. 21 Tage nach der Behandlung konnten in beiden Testgruppen keine signifikanten Unterschiede zum Ausgangszustand festgestellt werden.⁷¹

Mit der Einführung von glycinbasierten Pulvern konnte das Anwendungsspektrum auf subgingivale Bereiche ausgedehnt werden. Grund dafür sind unter anderem die weitaus geringeren Auswirkungen auf umliegende Weichgewebe. So konnten Petersilka et al. 2008 in ihrer klinischen Studie keine Nebenwirkungen bei der Behandlung mit Glycinpulvern feststellen. Sie untersuchten sowohl klinische als auch histologische Auswirkungen in vivo unmittelbar und 14 Tage nach Behandlung. In die Studie aufgenommen wurden ausschließlich Patienten, welche vier bis sechs Wochen nach erfolgtem supra- und subgingivalem Debridement in jeweils zwei Sextanten mindestens vier Zähne mit einer Sondierungstiefe von mindestens 5 mm aufwiesen, wovon jeder Zahn einer Untersuchungsgruppe zugeteilt wurde. Die Zähne wurden jeweils mit Glycinpulver (Testgruppe), Natriumhydrogencarbonatpulver, Handinstrumenten bzw. nicht (jeweils Kontrollgruppe) behandelt. Dabei konnten sie zeigen, dass als klinische Folgen einer Bestrahlung von Gewebe mit Glycin lediglich leichtes Sulkusbluten auftrat, wohingegen bei Behandlung mit Natriumhydrogencarbonatpulvern ausgeprägte Blutungen und Erosionen an der marginalen Gingiva sichtbar waren. Nach einer Behandlung mit Handscalern konnten sogar massive Blutungen sowie Lazerationen des Epithels aufgezeigt werden. Auch die histologische Untersuchung bestätigte diese Ergebnisse. So zeigte sich eine intakte Epithelschicht bei den Gewebeproben, welche mit Glycin behandelt wurden. Im Vergleich dazu zeigten sich nach Natriumhydrogencarbonat-Behandlung und Behandlung mit

Handscalern Erosionen des Epithels und ausgeprägte Gewebeschäden. Die Kontrollgruppe, welche nicht behandelt wurde, wies keine Epithel- oder Gingiva-schädigungen auf.¹³ Diese Erkenntnisse bestätigten Simon et al. 2015 in ihrer Studie.⁷²

Es kann zusammengefasst werden, dass aufgrund der signifikanten Schäden der umliegenden Weichgewebe auf eine subgingivale und Gingiva-nahe Anwendung von Pulvern auf Natriumhydrogencarbonatbasis verzichtet und stattdessen auf niedrig-abrasive Pulver zurückgegriffen werden sollte.



Abbildungen 4 und 5: Supragingivaler (links) und subgingivaler (rechts) Einsatz mit EMS Airflow Handy 2.0

2.4.2. Parodontale Weichgewebe

Bereits mit Einführung der Natriumhydrogencarbonatpulver wurden deren weichgewebsschädigende Eigenschaften hinlänglich untersucht, und die Erkenntnisse hieraus schlossen jene damit für eine subgingivale Anwendung aus. Dennoch konnte bereits anhand einer Studie von Pippin et al. 1988 der Nutzen bezüglich des subgingivalen Debridements mittels Pulverstrahlgeräten an Hunden gezeigt werden. Sie führten bei chirurgischer Lappenbildung in der Testgruppe zusätzlich zum Debridement mit Handküretten eine Behandlung mit Natriumhydrogencarbonatpulvern durch und konnten zeigen, dass die histometrischen Entzündungswerte im Vergleich zur Kontrollgruppe mit ausschließlich manuellem Debridement verringert waren.⁷³

Mit der Entwicklung der niedrigabrasiven Glycinpulver wurde, aufgrund der weichgewebsschonenden Eigenschaften, die routinemäßige subgingivale Anwendung ermöglicht. Um eine gezielte Applikation der Pulver in den Sulcus zu gewährleisten und umliegende Gewebe zu schonen, bieten einige Hersteller spezielle Aufsätze, sogenannte Nozzles, an. Inzwischen liegen einige Studien vor, welche die Wirksamkeit von Pulverstrahlgeräten mit Glycinpulvern beurteilen.

In ihren Studien verglichen Petersilka et al. 2003 die mikrobiologische Wirksamkeit sowie die Patientenakzeptanz einer subgingivalen Pulverstrahlbehandlung mit der Handinstrumentierung mittels Scalern. Sie führten diese Untersuchung an 3 – 5 mm tiefen Taschen sowohl in bukkalen und lingualen Taschen als auch in approximalen Taschen durch. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Pulverstrahlbehandlung die Zahl der koloniebildenden Einheiten (CFU) erheblich effizienter reduzierte als die Handinstrumentierung.^{21,30} Auch die Patientenakzeptanz war bei der Pulverstrahlbehandlung signifikant besser (8,5 zu 4,5 auf der Virtuellen Analogskala; 0 = unangenehm, 10 = angenehm).²¹ Simon et al. bestätigten 2015, dass die subgingivale Behandlung mit Glycinpulvern zu besseren Plaque- und Gingiva-Indices führt und dabei wesentlich weniger Weichgewebserosionen verursacht als die Behandlung mit Natriumhydrogencarbonatpulvern und die Handinstrumentierung mit Ultraschallscalern.⁷²

De Siena et al. veröffentlichten hierzu 2015 Untersuchungen im Rahmen von Periimplantitistherapien. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der zusätzliche Einsatz von Glycinpulvern neben der Handinstrumentierung mittels Teflon-Küretten nach 6 Monaten zu signifikant besseren Sondierungstiefen führte als die alleinige Handinstrumentierung. Bei der Versuchsgruppe mit Glycinpulver-Anwendung war die durchschnittliche Sondierungstiefe zu Beginn mit 3,00 mm ähnlich der Sondierungstiefe der Kontrollgruppe mit 2,86 mm. Nach sechs Monaten lag diese bei der Versuchsgruppe bei 2,41 mm und bei der Kontrollgruppe bei 2,96 mm. Plaque- und Blutungsindices sanken in beiden Versuchsgruppen gleichermaßen.⁷⁴ Lupi et al. kamen 2017 zu ähnlichen Ergebnissen. Auch sie zeigten auf, dass sich die Sondierungstiefe bei Periimplantitis nach einer Therapie mit Glycinpulvern stärker reduzierte als nach manuellem Debridement mit Handküretten. Plaqueindex, Blutungsindex und Bleeding-on-probing unterschieden sich jedoch bei beiden Therapien nicht signifikant.⁷⁵

Ein großer Teil der Studien kam ebenfalls zu dem Ergebnis, dass sich die anti-inflammatorischen Effekte der Behandlung mit Glycinpulvern nicht signifikant von denen der subgingivalen Instrumentierung mit Handinstrumenten unterscheiden. So zeigten sowohl Zhao et al. 2015 und 2017 in der Parodontitis-Behandlung, als auch Riben-Grundstrom et al. 2015 in der Periimplantitis-Therapie, dass die Bestrahlung mit Glycin und das klassische Scaling und Rootplaning (SRP) in ihrer Effizienz und Verbesserung der PA-Indizes (Plaqueindex, Blutungsindex und Sondierungstiefe) ähnliche Ergebnisse liefern.^{76,77,78} Eine adjuvante Behandlung mit Pulverstrahlgeräten nach erfolgtem SRP konnte in zwei Studien keine signifikante Verbesserung der Parameter herbeiführen.^{79,80}

Es liegen auch Studien vor, deren Ergebnisse einen begrenzten antiinflammatorischen Nutzen der Pulverstrahlgeräte mit Verwendung von Glycinpulvern darlegen. In Flemmigs Studie von 2007 wurde die Wirksamkeit der gingivalen Plaqueentfernung mittels Glycin-Bestrahlung in der UPT und als alleinige Therapie mit der Kontrollgruppe ohne Behandlung verglichen. Es zeigte sich, dass in Taschen mit Sondierungstiefen von ≤ 4 mm 60 bis 70 % der Oberflächen mit Glycinpulvern gereinigt werden konnten und die Behandlung gleich wirksam ist wie die Handinstrumentierung. In tiefen Taschen mit Sondierungstiefen von > 6 mm konnten jedoch nur noch 30 % der Oberflächen gereinigt werden, sodass die Reinigungsleistung in tiefen Taschen nicht ausreichend mit Glycinpulverstrahltherapie gewährleistet ist.¹⁴ Des Weiteren zeigte die Studie, dass ein alleiniges Debridement mittels Glycinpulvern den Gingival-Index nach Loe & Silness im Gegensatz zum ergänzenden Einsatz in der UPT nur zu 34 % auf akzeptable Werte von 0 und 1 reduzieren lässt, während sie bei Einsatz in der Erhaltungsphase zu 80 % auf 0 oder 1 reduziert werden konnten.¹⁴

Auch Möenes Ergebnisse von 2010 zeigten in tiefen Taschen (5 – 9 mm) einen eingeschränkten Nutzen. So war die mikrobiologische Reduktion sieben Tage nach Behandlung nach Pulverstrahlbehandlung nicht messbar, während nach Handinstrumentierung die Bakterienbelastung, speziell der parodontal-pathogenen Erreger *Porphyromonas gingivalis*, *Treponema denticola* und *Tannerella forsythia*, signifikant reduziert werden konnte. Auch das Bluten auf Sondieren konnte durch die Handinstrumentierung stärker reduziert werden als durch Bestrahlung mit Glycin (25 % zu 15 %).²⁰

Das neuere Pulver auf Erythritolbasis wurde noch nicht so ausführlich in klinischen Studien beleuchtet wie das Glycinpulver. In den wenigen vorliegenden klinischen

Studien konnten ähnliche Ergebnisse erzielt werden. So zeigten Hägi et al. 2013, 2015 und Müller et al. 2014, dass die Behandlung mit Pulvern auf Erythritolbasis die Entzündungsparameter Sondierungstiefe, Blutungsindex und Plaqueindex ähnlich effektiv senken wie das klassische SRP mit Ultraschallinstrumenten.^{19,47,50} Weitere Studien zu Erythritolpulvern sind abzuwarten.

Die klinische Wirkung von Trehalose auf parodontale Gewebe untersuchten Kruse et al 2019. In einer im Split-Mouth-Design durchgeführten Studie behandelten sie 44 einwurzelige Zähne mit Sondierungstiefen von mindestens 5 mm mit Trehalosepulver (Testgruppe) und verglichen die Behandlungserfolge über sechs Monate mit Zähnen, welche mit Ultraschallscalern (Kontrollgruppe) behandelt wurden. Sowohl in der Test- als auch in der Kontrollgruppe zeigten sich nach sechs Monaten signifikant geringere Sondierungstiefen von jeweils 3,7 mm im Vergleich zu jeweils 5,5 mm zu Studienbeginn. Auch Blutungen nach Sondierung traten in beiden Gruppen weniger auf (Testgruppe von 86 % zu Studienbeginn zu 41 % nach der Behandlung, Kontrollgruppe von 89 % zu 34 %). Die Studie zeigte folglich, dass der Behandlungserfolg mit Trehalosepulver keine signifikanten Unterschiede zur Behandlung mit Ultraschallscalern bietet.⁵⁸

Wichtiges Ergebnis einiger Studien, welches die generelle Anwendung von Pulverstrahlgeräten unabhängig der verwendeten Pulver betrifft, ist der Vorteil für das Patientenempfinden. So wird die Behandlung mit Pulverstrahlgeräten in mehreren Studien als erheblich angenehmer empfunden als die Handinstrumentierung mittels Ultraschall- oder Handinstrumenten.^{19,20,21,58,76} Dies ist für die Patientenzufriedenheit und die damit einhergehende Compliance maßgeblich, welche beispielsweise bei der UPT und für regelmäßige Prophylaxemaßnahmen unentbehrlich ist.



Abbildung 6: Subgingivaler Einsatz mit sogenannter Perioflow Nozzle (EMS)

2.4.3. Zahnhartsubstanzen

Die Energie, welche der Aufprall des Pulverstrahls auf der Zahnoberfläche erzeugt, ist idealerweise so hoch, dass sie ausreicht, um die Bindungsenergie der Bestandteile des Biofilms zu überschreiten und diesen dadurch aufzubrechen. Um die Auswirkungen zu untersuchen, welche der Pulverstrahl auf den darunterliegenden Zahnhartsubstanzen verursacht, wurden zahlreiche Studien durchgeführt.

Es zeigte sich, dass der Schmelz für Veränderungen in der Beschaffenheit nach Behandlung mit Pulverstrahlgeräten am wenigsten anfällig ist. Bereits 1987 zeigten Galloway und Pashley in einer In-vitro-Studie anhand von extrahierten Zähnen, dass es bei Bestrahlung von bis zu 60 sek mit Natriumhydrogencarbonat zu keinem messbaren Substanzabtrag des Zahnschmelzes kommt.⁹ Lediglich Rauigkeiten der Oberfläche konnten im Vergleich zur klassischen Politur mit Gummikelchen nach 30 sek Bestrahlung nachgewiesen werden. Dies gilt für Natriumhydrogencarbonatpulver in gleichem Maße wie für Pulver auf Calciumcarbonatbasis. Nach kurzer 5 sek Bestrahlung waren diese Rauigkeiten jedoch nicht signifikant erhöht.³⁹ Diese Erkenntnis ist in der extremen Stabilität und Härte des Zahnschmelzes begründet. Er ist mit einer Knoop-Härte (KHN) von 250 – 390 KHN bis zu sechsmal so hart wie Dentin (68 KHN) und Wurzelzement (50 KHN).⁸¹

Barnes et al. kamen 2014 in vitro zu dem Ergebnis, dass Natriumhydrogencarbonat und Glycin die Schmelzoberfläche weniger verändern als Calciumcarbonat und Aluminiumhydroxid. Sie gingen sogar so weit, generell von einer Nutzung von Calciumcarbonat und Aluminiumhydroxid abzuraten.⁵²

Die geringere Härte des Dentins ist verantwortlich dafür, dass es den abrasiven Eigenschaften des Natriumhydrogencarbonatpulvers nicht standhalten kann. Dabei ist eine kurze Applikationsdauer von 5 sek ausreichend, um oberflächlich einen Smear-Layer zu entfernen. Mit zunehmender Dauer über 5 sek nimmt die Abrasion des Dentins zu.⁸² Auch die Anwendung von Pulvern auf Calciumcarbonatbasis verursacht ähnliche Defekte wie Natriumhydrogencarbonat. Die Rauigkeitswerte der bestrahlten Oberfläche fallen sogar etwas schlechter aus als solche, die mit Natriumhydrogencarbonat bestrahlt wurden.⁴⁰ Mit Einführung von Glycinpulvern zur Anwendung in Pulverstrahlgeräten konnte dieser negative Effekt weitestgehend reduziert werden. Im Vergleich zu Natriumhydrogencarbonat verursacht Glycin fünfmal geringere Dentinabrasionen.¹² Die verringerte Abrasion konnte in Studien von Tada et al. 2010 und 2012 bestätigt werden.^{83,84} Ähnliche Auswirkungen bei Bestrahlung von Dentin besitzen Pulver auf Basis von Erythritol. So konnten Tocha et al. 2013 vergleichbare abrasive Effekte von Glycin und Erythritol nachweisen, wobei die Dentinoberfläche nach Behandlung mit dem neueren Erythritolpulver geringere Mittenrauwerte aufweist und somit glatter ist.⁵¹

Wurzelzement ist mit seiner geringen Härte noch anfälliger für Abrasionen als Dentin. Somit verursachen Natriumhydrogencarbonatpulver auch hier signifikante Abrasionen. Zwar konnte früh gezeigt werden, dass der Substanzverlust im Vergleich zum Debridement mittels Handküretten dreimal geringer ist²⁵, jedoch ist der Substanzverlust, den Horning 1987 messen konnte mit 19 µm pro 10 sek Anwendung doch sehr erheblich.⁸⁵ 1984 konnten Atkinson et al. nach 30 sek Bestrahlung von freiliegendem Wurzelzement sogar einen Substanzverlust von bis zu 636 µm nachweisen.²⁶ Im Gegensatz dazu verursacht die Anwendung von Glycin nur geringe Abrasionen auf Wurzeloberflächen.^{86,87} Sahrman et al. beziffern den Volumendefekt nach 10 sek Bestrahlung mit Natriumhydrogencarbonat auf 0,28 mm³, während sie nach Behandlung mit Glycinpulvern bei lediglich 0,01 mm³ lagen. Nach 20 sek Bestrahlung lagen sie bei 0,41 mm³ bzw. 0,06 mm³. Auch die Rauigkeitswerte sind wesentlich geringer als jene nach Natriumhydrogencarbonat-Anwendung.⁸⁷ In einer Studie konnten nach Anwendung von Erythritolpulvern auf Wurzelzement-Oberflächen

bei gleicher Reinigungsleistung sogar weniger Abrasionen festgestellt werden als nach Glycinanwendung.⁴⁷

Die generelle Anwendung von Pulverstrahlgeräten betreffend konnte nachgewiesen werden, dass variable Parameter unterschiedliche Einflüsse auf die Ausprägung der entstehenden Defekte haben. So zeigte sich, dass die Applikationsdauer den größten Einfluss hat.^{85,88} Daher wird von den Herstellern eine Bestrahlung von fünf Sekunden je Oberfläche empfohlen.⁵³ In geringerem Ausmaß beeinflussen die Durchflussmenge des Pulvers, das Wasser-Pulver-Gemisch und die Distanz⁸⁴ zum bestrahlten Objekt die Oberflächenbeschaffenheit in absteigender Reihenfolge.⁸⁸ Der Applikationswinkel spielt dabei eine untergeordnete Rolle.^{83,88}

Allgemein lässt sich somit sagen, dass Pulver auf Natriumhydrogencarbonatbasis nur auf intaktem Zahnschmelz bedenkenlos eingesetzt werden können. Calciumcarbonatpulver besitzen ähnliche Eigenschaften. Für die Behandlung der weicheren Zahnhartsubstanzen Dentin und Wurzelzement oder Zahnschmelz mit vorhandenen Läsionen sind lediglich die Pulver auf Glycin-, Erythritol- und Trehalosebasis ohne größere Defekte einzusetzen.

2.5. Antibakterielle Effekte

Neben der mechanischen Entfernung des Biofilms liegt ein Ansatzpunkt der Behandlung von Parodontopathien in der Bekämpfung der pathogenen Mikroorganismen. Dazu wurden in mehreren Studien die speziellen antibakteriellen Eigenschaften der Pulver untersucht.

Cochis et al. untersuchten 2013 in ihrer Studie Titanplättchen, welche sie mit Glycinpulvern und Natriumhydrogencarbonatpulvern bestrahlten. Neben der hinterlassenen Oberflächenbeschaffenheit untersuchten sie deren bakterielle Besiedlung nach Pulverstrahlbehandlung, nachdem diese 24 Stunden in der Mundhöhle von gesunden Probanden getragen wurden. Es zeigte sich, dass Glycin neben einer glatteren Oberfläche zu einer geringeren Bakterienbesiedlung im Zeitraum 24 Stunden nach Behandlung führt als die Behandlung mit Natriumhydrogencarbonatpulvern (100 CFU/ml zu 350 CFU/ml).⁸⁹ Auch Reinhardt et al. bestätigten 2019 einen antibakteriellen Effekt von Glycinpulvern. Sie führten eine Pilotstudie zur Full-Mouth-Desinfektion mittels Glycinpulvern durch und fanden eine Reduktion des für die

Parodontopathien so erheblichen roten Komplex. Dieser Effekt war jedoch nicht von großer Dauer. Spätestens nach 6 bis 12 Wochen erreichte die Bakterienkolonisation wieder ihren Ursprungszustand.⁹⁰ Langzeitstudien dazu stehen noch aus.

Einen noch besseren antibakteriellen Effekt scheinen Pulver auf Erythritolbasis zu haben. Diese beinhalten stets den Zusatzstoff CHX, was den antibakteriellen Effekt verstärken soll. Drago et al. untersuchten 2014 *in vitro* die antimikrobiellen Eigenschaften von Erythritol-CHX-Pulvern und Glycinpulvern auf Biofilmen, welche auf Titanoberflächen gewachsen sind und unter anderem *Staphylococcus aureus* enthielten. Die Kombination von Erythritol und CHX zeigte in spektrophotometrischen Untersuchungen eine wesentlich stärkere antimikrobielle Wirkung als die Behandlung mit Glycinpulvern.⁴⁸ Mensi et al. verglichen 2018 *in vitro* die antibakteriellen Eigenschaften von Erythritol-CHX-Pulvern mit denen von Natriumhydrogencarbonatpulvern. Sie züchteten *Staphylococcus aureus* und *Agregatibacter actinomycetemcomitans* auf Titanscheiben und bestrahlten die Scheiben mit den beiden Pulvern. Dabei zeigte sich, dass die Reinigungswirkung beider Pulver nicht signifikant unterschiedlich war. Jedoch war die Rekolonisation nach der Behandlung mit Erythritol-CHX-Pulvern im Vergleich zu Natriumhydrogencarbonatpulvern gehemmt. *Staphylococcus aureus* bildete nach Behandlung mit Natriumhydrogencarbonat $0,8 \times 10^8$ CFU, während sich nach Behandlung mit Erythritolpulver nur $1,0 \times 10^7$ CFU bildeten. Bezogen auf *Agregatibacter actinomycetemcomitans* fiel der Unterschied etwas geringer aber immer noch signifikant aus⁴⁹. Müller et al. führten 2014 eine *In-vivo*-Studie durch, um die klinische Wirksamkeit von Erythritol-CHX-Pulvern in Taschen über 5 mm Tiefe zu untersuchen. Die Ergebnisse wurden in 3-Monats-Intervallen dokumentiert und mit denen nach Ultraschallkürettage verglichen. Die Untersuchungsgruppen zeigten nach 12 Monaten eine Reduktion der Anzahl von Taschen über 5 mm je Patienten von 4,6 auf 3,6 (Testgruppe) bzw. 4,8 auf 3,9 (Kontrollgruppe). Somit waren sie gleichermaßen ohne signifikante Unterschiede effektiv. Bei der bakteriellen Keimbestimmung nach 12 Monaten zeigte sich, dass in der Testgruppe speziell Bakterienstämme von *Agregatibacter actinomycetemcomitans* signifikant weniger nachgewiesen werden konnten als in der Kontrollgruppe nach Ultraschallbehandlung.¹⁹ Gründe dafür erforschten Hashino et al. Sie fanden heraus, dass Biofilme, bestehend aus den parodontalen Pathogenen *Porphyromonas gingivalis* und *Streptococcus gordinii*, durch die Behandlung mit Erythritol eine Veränderung in ihrem Stoffwechselprofil erfahren und dadurch deren Wachstum gehemmt wird.⁴⁶

Der Vergleich der antimikrobiellen Eigenschaften anderer Pulver im Vergleich zu den Pulvern auf Glycin- und Erythritol-CHX-Basis muss weiter untersucht werden.

2.6. Auswirkungen auf Komposite und Glasionomerezemente sowie deren Bonding

Die Verwendung von Pulverstrahlgeräten auf Kompositrestaurationen kann sich auf deren Oberflächenbeschaffenheit auswirken. Bereits 1986 führten Cooley et al. Untersuchungen durch, welche die Auswirkungen einer Pulverbestrahlung mit Natriumhydrogencarbonatpulvern auf Kompositoberflächen beurteilte. Sie beobachteten sowohl erhebliche Substanzverluste als auch höhere Rauigkeiten auf den bestrahlten Oberflächen als auf nicht behandelten Oberflächen.⁹¹ Diese Erkenntnisse wurden in späteren Studien von Eliades et al. 1991 und Yap et al. 2005 bestätigt. Sie beobachteten, dass bereits nach 5 sek Bestrahlung einer Kompositoberfläche mit Natriumhydrogencarbonatpulvern deutliche Matrix-Beschädigungen und freiliegende Füllerpartikel vorlagen.⁹² Im Vergleich zu anderen Politurmaßnahmen wie der klassischen Politur mit Gummikelch und Politurpaste verursachte das Air-Polishing wesentlich stärkere Rauigkeiten auf der Oberfläche.⁹³ Güler et al. kamen zu dem gleichen Ergebnis.⁹⁴ Barnes et al. beschrieben die abrasiven Eigenschaften von Natriumhydrogencarbonat und Glycin auf Kompositen als ähnlich. Pulver mit Calciumcarbonat und Aluminiumhydroxid verursachten signifikant größere Abrasionen und sollten daher vermieden werden.⁵²

Niedrigabrasive Pulver wie das Glycinpulver oder Pulver auf Erythritolbasis verursachen dabei signifikant weniger Abrasionen auf den Kompositoberflächen als Natriumhydrogencarbonat, weshalb diese bei der Anwendung auf Kompositen empfohlen werden.^{51,95,96,97} Tocha beziffert den Volumenverlust nach Behandlung mit Natriumhydrogencarbonat auf $2,41 \times 10^7 \mu\text{m}^3$, mit Glycin auf $7,74 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ und mit Erythritol auf $2,97 \times 10^6 \mu\text{m}^3$.⁵¹ Verschiedene Studien über die Robustheit der unterschiedlichen Komposite kamen zu dem Ergebnis, dass Hybrid- und Nanohybridkomposite geringere Defekttiefen und Volumenverluste erfahren als Mikrofüllerkomposite und Flowkomposite.^{98,99} Laut Pelkas Studie von 2010 waren dünnfließende Flowkomposite sogar wesentlich defektanfälliger als Glasionomer-

zemente. Erstaunlicherweise verzeichneten Versiegelungsmaterialien trotz ihrer ähnlichen Eigenschaften zu den Flowkompositen wesentlich geringere Defekte.⁹⁸ Auf deren Oberfläche konnte nur ein Drittel der Defekttiefen und Volumenverluste im Vergleich zu Glasionomerzementen nachgewiesen werden.¹⁰⁰

Auch bei der Pulverstrahlenwendung auf Glasionomerzementen fallen die Schäden somit signifikant stärker aus als bei klassischer Oberflächenpolitur mittels Gummikelch.¹⁰¹ Hierbei spielt ebenso wie bei den Kompositen das verwendete Pulver eine entscheidende Rolle. Da der Substanzverlust bei 10 sek Bestrahlung mit Natriumhydrogencarbonat circa 234 µm beträgt, während bei Verwendung von Glycinpulvern nur eine Defekttiefe von 89 µm auftrat, sollten Natriumhydrogencarbonate auf Glasionomerzementen vermieden werden.⁹⁸ Einzig Erythritol scheint nur geringe Abrasionen auf Glasionomerzementen zu verursachen.⁵³

Nach der Verwendung von Pulverstrahlgeräten auf Restaurationsmaterialien, unabhängig ob es sich um Komposite oder Glasionomerzemente handelt, sollte eine abschließende Repolitur mit einer Politurpaste stattfinden.^{91,93,94,102}

Der Einsatz von Pulverstrahlgeräten zur Konditionierung von Oberflächen vor Aufbringung des Bondings wird kritisch diskutiert. Im Gegensatz zu Aluminiumoxidstrahlern zeigten Untersuchungen mit Pulverstrahlgeräten, dass sowohl die Verwendung von Calciumcarbonatpulvern als auch von Natriumhydrogencarbonat zu signifikant schlechteren Bondingeigenschaften führte als ohne dessen Verwendung.^{41,103} Diese Beobachtungen machten auch Hetz et al.¹⁰⁴ 2009 und Nakaido et al. 1995 in ihren in vitro Untersuchungen. Letztere beobachteten, dass die Bondingeigenschaften auf Zahnschmelz zwar nicht beeinflusst wurden. Bei der Verwendung von Zwei-Komponenten-Systemen auf Dentin erzielten sie allerdings signifikant schlechtere Bondingwerte nach Pulverbestrahlung mit Natriumhydrogencarbonat als ohne Bestrahlung. Sie vermuteten, dass dieser Effekt auf dem Aufweichen und Aufquellen der freiliegenden Kollagenfasern in den Dentintubuli beruht, welche die Penetration der Ätz- und Priming-Komponente negativ beeinflusst, sodass eine inhomogene Hybridschicht des Bondingmaterials entsteht.¹⁰⁵

Die Verwendung von Glycinpulvern scheint laut einigen Studien nur einen geringen¹⁰³ beziehungsweise keinen⁴¹ negativen Einfluss auf die Bondingeigenschaften zu haben. Ein positiver Einfluss der Konditionierung von Oberflächen mit Pulverstrahlgeräten konnte jedoch in keiner Studie belegt werden.

2.7. Sicherheitshinweise, Anwenderempfehlungen und Risiken

Bei der Verwendung von Pulverstrahlgeräten im Praxisalltag gilt es, einige Schutzmaßnahmen zu ergreifen, um eventuelle Risiken und Komplikationen sowohl für den Behandler als auch den Patienten zu minimieren.

Durch die starke Aerosolbildung bei der Verwendung von Pulverstrahlgeräten gilt die allgemeine Empfehlung, sowohl dem Patienten als auch dem Behandler eine Schutzbrille anzulegen. Außerdem sollte sich der Behandler mit einem Mund-Nasenschutz schützen.⁵³

Des Weiteren wird bei der Vorbereitung des Patienten zur Reduktion der Keimbelastung des Aerosols eine antimikrobielle Mundspülung empfohlen.⁵³ Logothetis zeigte 1995 in seiner Studie, dass die bakterielle Aerosol-Kontamination durch vorherige Anwendung von CHX-Mundspülungen signifikant gesenkt wird.¹⁰⁶ Dies beruht auf der Reduktion der oralen Keimbelastung um bis zu 98 %, wohingegen die alleinige Spülung mit Wasser die Keimbelastung um 75 % reduzierte.¹⁰⁷

Um die Emission von Aerosolen in den Raum und auf den Behandler durch Zurückstrahlen von der Zahnoberfläche zu minimieren, empfehlen die Hersteller einen Anstellwinkel der Düse auf die Zahnoberfläche von 30 bis 60 Grad.^{53,108} Barnes et al. gaben bereits 1991 die Empfehlung, den Anstellwinkel den zu behandelnden Oberflächen anzupassen. So ist es ratsam, labiale und faziale Oberflächen der anterioren Zähne in einem Winkel von 60 Grad zu behandeln. Bukkale und linguale Oberflächen der posterioren Zähne sollten in einem Winkel von 80 Grad bestrahlt werden. Bei den okklusalen Flächen empfiehlt sich ein Winkel von 90 Grad.¹⁰⁹ Durch das Einhalten dieser Einfallswinkel sind die Ausfallswinkel so gerichtet, dass ein Zurückstrahlen des Aerosols auf den Anwender oder in den Respirationstrakt verhindert wird.

Die Oberflächenbeschaffenheit wird durch den Anstellwinkel der Düse nicht beeinflusst. Dies belegten zwei Studien, welche die Oberflächendefekte auf Wurzeloberflächen abhängig vom Anstellwinkel evaluierten.^{83,88} Als Arbeitsabstand zur behandelten Oberfläche werden 3 bis 5 mm empfohlen.^{53,108,110} Größere Abstände können in einer verminderten Reinigungsleistung resultieren, kleinere Abstände können gegebenenfalls Defekte auf den Zahnoberflächen verursachen.⁸⁸ Die Anwendungsdauer je bestrahlter Fläche sollte 5 sek nicht überschreiten.⁵³ In einigen bereits aufgeführten Studien konnte belegt werden, dass die Anwendungsdauer einer

der größten Faktoren für Defekte der Zahnoberflächen ist. Dies betrifft sowohl Dentin⁸² als auch das Wurzelzement.^{85,88} Lediglich intakter Zahnschmelz scheint robust genug zu sein, um auch eine längere Applikationsdauer ohne signifikante Substanzverluste hinzunehmen.⁹ Um vorgeschädigte Schmelzareale und umliegende Hart- und Weichgewebe zu schonen, sollte daher auch bei der Anwendung auf Zahnschmelz die empfohlene Applikationsdauer eingehalten werden.

Des Weiteren sollte die Düse in kreisenden Bewegungen über die Zahnoberflächen geführt werden, um eine gleichmäßige Bearbeitung der Oberflächen zu gewährleisten.^{53,108,110}

3. Material und Methoden

3.1. Entwicklung des Fragebogens

Für die Abfrage über die Verwendung von Pulverstrahlgeräten in der Praxis und Lehre wurden speziell für diese Studie zwei in ihrem Inhalt leicht abgewandelte und an die Institution angepasste Fragebögen entwickelt. Die Fragebögen umfassen 9 (Praxis) bzw. 11 (Klinik) zum Teil offene, teils geschlossene und teils Multiple-Choice Fragen.

Der Fragebogen, welcher an die Praxen versandt wurde, beinhaltet eine binäre Ja/Nein Frage (Frage 1), mehrere Multiple-Choice-Fragen mit zum Teil offenen Antwortmöglichkeiten (Fragen 2, 4, 7), mehrere Fragen bei der eine Abstufung von einer Skala ausgewählt wurde (Fragen 3, 5, 6, 9) und eine offene Frage (Frage 8).

Der Fragebogen, welcher an die Kliniken versandt wurde, beinhaltet zwei binäre Ja/Nein Fragen (Fragen 1 & 4), vier Multiple-Choice-Fragen mit zum Teil offenen Antwortmöglichkeiten (Fragen 2, 3, 5, 6, 7, 10), eine Frage bei der eine Abstufung von einer Skala ausgewählt wurde (Frage 8) und zwei offene Fragen (Fragen 9 & 11).

3.2. Fragebogen Praxis:

Frage 1: Benutzen Sie Pulverstrahlgeräte in Ihrer Praxis?

Hierbei handelt es sich um eine binäre Frage mit den zwei Antwortmöglichkeiten „Ja“ oder „Nein“. Sie dient dazu, das Kollektiv in die zwei Hauptgruppen der Anwender und Nicht-Anwender von Pulverstrahlgeräten einzuteilen.

Frage 2: Wenn nein, warum benutzen Sie keine Pulverstrahlgeräte?

Hierbei handelt es sich um eine Multiple-Choice-Frage mit den möglichen Antworten „fehlende Indikationen“, „Kosten“, „Komplikationen“ und zusätzlich einem offenen Feld, um Gründe für ein Nicht-Anwenden zu validieren. Diese Frage ist an die Antwortmöglichkeit „Nein“ von Frage 1 geknüpft.

Fragen 3 – 8 sind an die Antwortmöglichkeit „Ja“ aus Frage 1 geknüpft.

Frage 3: Wie lange benutzen Sie schon Pulverstrahlgeräte?

Es handelt sich um eine Skalenfrage, bei der genau eine Antwort ausgewählt werden konnte. Die möglichen Antworten lauten „< 1 Jahr“, „< 2 Jahre“, „< 3 Jahre“, „< 4 Jahre“ und „> 4 Jahre“.

Frage 4: Für welche Indikationen benutzen Sie Pulverstrahlgeräte?

Hierbei handelt es sich um eine Multiple-Choice-Frage mit den möglichen Antworten „Prophylaxe (PZR)“, „PA-Therapie“, „Periimplantitis-Therapie“ und zusätzlich einem offenen Feld, um Indikationen der Anwender zu validieren.

Frage 5: Wie häufig benutzen Sie Pulverstrahlgeräte in der Prophylaxe?

Hierbei handelt es sich um eine Skalenfrage mit verschiedenen Abstufungsmöglichkeiten („immer“, „gelegentlich“, „nie“).

Frage 6: Wie häufig benutzen Sie Pulverstrahlgeräte in der PA-Therapie?

Auch hierbei handelt es sich um eine Skalenfrage mit verschiedenen Abstufungsmöglichkeiten („immer“, „gelegentlich“, „nie“).

Frage 7: Welches Pulver benutzen Sie in der Praxis?

Hierbei handelt es sich um eine Multiple-Choice-Frage mit mehreren möglichen Antworten („Natriumhydrogencarbonat“, „Glycin“, „Calciumcarbonat“, „Aluminiumhydroxid“, „Trehalose“) und einem offenen Feld „sonstiges“.

Frage 8: Welches Pulverstrahlgerät benutzen Sie in der Praxis?

Hierbei handelt es sich aufgrund der Vielfalt der auf dem Markt erhältlichen Geräte um eine offene Frage.

Frage 9: Wie viel Berufserfahrung haben Sie?

Hierbei handelt es sich um eine Frage mit verschiedenen Abstufungsmöglichkeiten („< 5 Jahre“, „5 – 10 Jahre“, „11 - 20 Jahre“, „> 20 Jahre“), um das Teilnehmerkollektiv demographisch einordnen zu können.

3.3. Fragebogen Klinik:

Frage 1: Werden Pulverstrahlgeräte in Ihrer Abteilung verwendet?

Hierbei handelt es sich um eine binäre Auswahlfrage mit den zwei Antwortmöglichkeiten „Ja“ oder „Nein“. Sie dient dazu, das Kollektiv in die zwei Hauptgruppen der Abteilungen einzuteilen, ob solche Geräte grundsätzlich verwendet werden oder nicht.

Frage 2: Verwenden die ZMF/DH Pulverstrahlgeräte?

Hierbei handelt es sich um eine Auswahlfrage mit drei Antwortmöglichkeiten „ZMF“, „DH“ oder „Nein“. Dabei war eine Mehrfachwahl möglich. Sie dient dazu, das Anwenderkollektiv genauer zu bestimmen.

Frage 3: Wenn ja, zu welchen Indikationen verwenden Sie/Ihre ZMF/DH Pulverstrahlgeräte?

Diese Frage ist an die Antworten „ZMF“ und „DH“ von Frage 2 geknüpft. Hierbei handelt es sich um eine Multiple-Choice-Frage mit den möglichen Antworten „Prophylaxe (z.B. PZR)“, „PA-Therapie“, „Periimplantitis-Therapie“ und zusätzlich einem offenen Feld, um Indikationen der Anwender zu validieren.

Frage 4: Sind Pulverstrahlgeräte Bestandteil der theoretischen Lehre an Ihrer Universität?

Es handelt sich um eine binäre Auswahlfrage mit den zwei Antwortmöglichkeiten „Ja“ oder „Nein“.

Frage 5: Sind Pulverstrahlgeräte Bestandteil der praktischen Lehre an Ihrer Universität?

Hierbei handelt es sich um eine Auswahlfrage mit drei Antwortmöglichkeiten „am Phantommodell“, „im Behandlungskurs“ oder „Nein“. Dabei war eine Mehrfachwahl möglich. Sie dient dazu, gemeinsam mit Frage 4 zu validieren, inwieweit Pulverstrahlgeräte an der jeweiligen Universität in die zahnmedizinische Lehre integriert sind.

Frage 6: Wenn nein, warum benutzen die Studierenden keine Pulverstrahlgeräte?

Diese Frage ist an die Antwort „nein“ aus Frage 5 geknüpft. Es handelt sich um eine Multiple-Choice-Frage mit den möglichen Antworten „nicht Teil unseres Konzeptes“, „Kosten“, „Komplikationen“ und zusätzlich einem offenen Feld, um Gründe zu bestimmen, welche gegen eine Anwendung von Studierenden spricht.

Frage 7: Wenn ja, zu welchen Indikationen benutzen die Studierenden Pulverstrahlgeräte?

Diese Frage ist an Antwort „im Behandlungskurs“ von Frage 5 geknüpft. Hierbei handelt es sich um eine Multiple-Choice-Frage mit den möglichen Antworten „Prophylaxe (PZR)“, „PA-Therapie“, „Periimplantitis-Therapie“ und zusätzlich einem offenen Feld, um Indikationen der Anwender zu bestimmen.

Frage 8: Wenn ja, wie lange benutzen Sie schon Pulverstrahlgeräte in der Lehre?

Die Frage ist an die Antwort „im Behandlungskurs“ aus Frage 5 geknüpft. Es handelt es sich um eine Skalenfrage, bei der genau eine Antwort ausgewählt werden musste. Die Auswahl besteht aus „< 1 Jahr“, „< 2 Jahre“, „< 3 Jahre“, „< 4 Jahre“ und „> 4 Jahre“.

Frage 9: Wenn ja, ab welchem Fachsemester sind Pulverstrahlgeräte Teil der studentischen Lehre?

Es handelt sich um eine offene Frage.

Frage 10: Welches Pulver verwenden Sie in der Lehre?

Hierbei handelt es sich um eine Multiple-Choice-Frage mit mehreren möglichen Antworten („Natriumhydrogencarbonat“, „Glycin“, „Calciumcarbonat“, „Aluminiumhydroxid“, „Trehalose“) und einem offenen Feld „sonstiges“.

Frage 11: Welches Pulverstrahlgerät benutzen Sie in der Klinik?

Hierbei handelt es sich aufgrund der Vielfalt der auf dem Markt erhältlichen Geräte um eine offene Frage.

3.4. Umsetzung und Versand der Fragebögen

Ziel war es, eine Methode der Fragenübermittlung zu entwickeln, die es den Teilnehmenden ermöglicht, eine anonyme, möglichst einfache und intuitive Umfrageteilnahme zu gewährleisten und dabei ein großes Kollektiv zu erreichen. Daher fiel die Entscheidung auf die Umsetzung eines Online-Fragebogens, welcher mittels E-Mail initiiert wurde. Verwendet wurde dazu das Umfragetool *LimeSurvey*, welches den Studierenden der Johannes-Gutenberg-Universität zur Verfügung gestellt wird.

Bei der Umsetzung mittels *LimeSurvey* wurde darauf geachtet, dem Umfrageteilnehmer die Teilnahme so unkompliziert wie möglich zu gestalten. Dafür wurde auf unnötige Schaltflächen verzichtet und antwortbedingte Verknüpfungen filterten nicht-relevante Fragen (vor allem in Bezug auf Frage 1) aus.

Die Anonymität gewährleistete *LimeSurvey*, indem die Antworten automatisch anonymisiert wurden, sodass es dem Autor nicht möglich ist, Rückschlüsse auf den Umfrageteilnehmer zu ziehen. Um eine Mehrfachteilnahme derselben Person zu verhindern, ist der verschickte Link mit jeder IP-Adresse nur einmal verwendbar.

Diese Aspekte wären auch durch postalischen Versand mit frankierten Rückumschlägen umsetzbar gewesen. Insgesamt sollte jedoch eine möglichst große Zahl von Praxen kontaktiert werden, um ein möglichst repräsentatives Umfrageergebnis zu erhalten. Daher war der elektronische Versand sowohl

wirtschaftlich als auch in der erreichbaren Stichprobengröße effektiver als der postalische Versand.

Die Auswahl der kontaktierten Zahnärzte sollte sich nicht auf bestimmte Schwerpunkte oder geographische Räume beschränken, sondern sollte zufällig unter allen Praxen in Deutschland ausgewählt werden.

Dazu wurde folgendes Auswahlverfahren entwickelt:

Zunächst wurde eine Liste aller 402 Landkreise, Stadtkreise und Kreisfreier Städte in Deutschland heruntergeladen¹¹¹, diese in *Microsoft Excel* importiert und der Zeilenzahl entsprechend von 1 bis 402 durchnummeriert. Des Weiteren wurde eine Liste aller Postleitzahlen Deutschlands mit Zuordnung der entsprechenden Landkreise, Stadtkreise und Kreisfreier Städte heruntergeladen. Mittels eines Zufallsgenerators wurden nun zufällig Zahlen zwischen 1 und 402 ausgewählt und mittels Tabelle 1 (Anhang) den Landkreisen, Stadtkreisen und kreisfreien Städten zugeordnet. Mithilfe der zugehörigen Postleitzahlen wurden über die Internetseiten der Landes Zahnärztekammern und deren „Zahnarzt suche“ alle dort registrierten Zahnärzte/Praxen in der jeweiligen Region ermittelt. Alle Praxen der zugehörigen Postleitzahlen, welche ihre E-Mail-Adresse hinterlegt haben, wurden daraufhin kontaktiert.

3.5. Statistische Auswertung der Fragebögen

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels *Microsoft Excel 2016* und *Addinsoft XLSTAT*.

Um statistische Zusammenhänge verschiedener Variablen wie beispielsweise der Berufserfahrung mit dem verwendeten Pulver beurteilen zu können, wurden verschiedene statistische Tests durchgeführt.

Zunächst wurden mithilfe von Kreuztabellen beobachtete Häufigkeiten und erwartete Häufigkeiten ermittelt. Anhand der erstellten Kreuztabellen konnte ein Chi²-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau (α) wurde dabei auf $\alpha = 0,05$ festgelegt, sodass der errechnete Signifikanzwert p eine Aussage darüber erlaubt, ob verschiedene Variablen in Abhängigkeit zueinanderstehen. Ein p -Wert $< 0,05$ signalisiert somit eine statistische Signifikanz.

Für Stichprobengrößen kleiner als 5 wurde der Fisher-Test verwendet, da dieser dabei zuverlässigere Ergebnisse liefert.

Die Tabellen wurden mit *Microsoft Excel 2016* und die Diagramme mit *GraphPad Prism 8* erstellt.

4. Ergebnisse

4.1. Praxis

Im Rahmen der Studie wurden 1621 Praxisinhaber kontaktiert und um Beantwortung des Fragebogens gebeten. 223 Praxisinhaber haben den Fragebogen ausgefüllt und somit an der Studie teilgenommen, was einer Rücklaufquote von 13,8 % entspricht. Sechs der Fragebögen wurden nur unzureichend beantwortet und daher von der Auswertung ausgeschlossen.

Frage 1:

Benutzen Sie Pulverstrahlgeräte in Ihrer Praxis?

Von 223 Praxen beantworteten 217 Praxen (n = 217) diese Frage. Von diesen 217 Praxen gaben 211 an, Pulverstrahlgeräte in Ihrer Praxis zu benutzen. Das entspricht einem Anteil von 97 %. Lediglich 6 Praxen, also ca. 3 %, gaben an, keine Pulverstrahlgeräte zu verwenden.

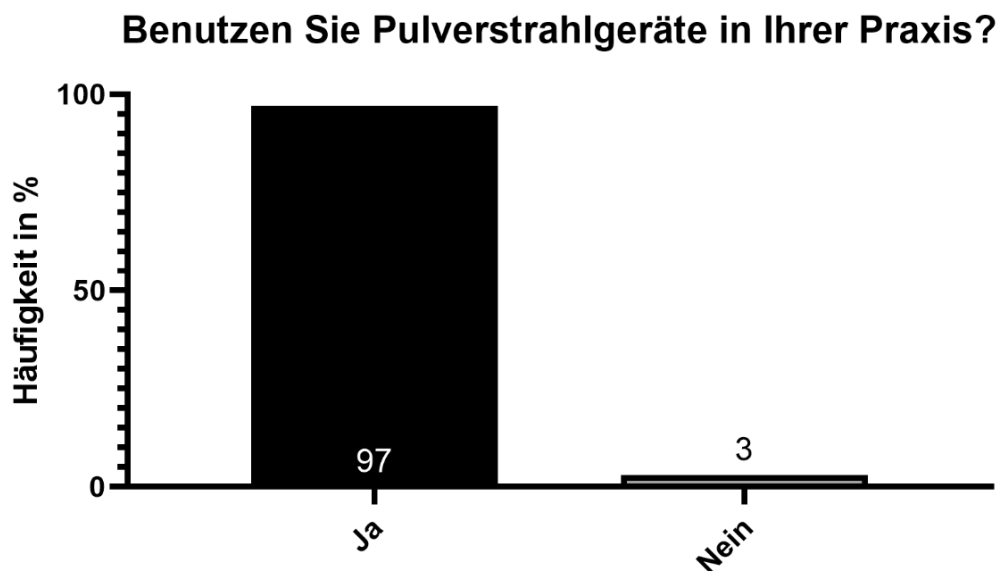


Abbildung 7: Balkendiagramm über die Verwendung von Pulverstrahlgeräten in Zahnarztpraxen

Frage 2:

Wenn Nein, warum benutzen Sie keine Pulverstrahlgeräte?

Als Gründe, weshalb Pulverstrahlgeräte in einigen wenigen Praxen (n = 6) nicht verwendet werden, werden fehlende Indikationen (3 Stimmen), befürchtete Komplikationen (3 Stimmen) und die anfallenden Kosten (1 Stimme) angeführt. In einem Einzelfall wurde darauf verwiesen, dass in einem Prophylaxeseminar von der Verwendung von Pulverstrahlgeräten abgeraten wurde, weshalb die betreffende Praxis diese nicht verwendet.

Frage 3:

Wie lange benutzen Sie schon Pulverstrahlgeräte?

Über die Dauer der Nutzung von Pulverstrahlgeräten wurde von 208 Praxen Auskunft gegeben (n = 208).

Kürzer als ein Jahr benutzen lediglich 2 Praxen (1 %) Pulverstrahlgeräte. Weniger als 2 Jahre sind sie im Bestand von 5 Praxen und weniger als 3 Jahre ebenfalls bei 5 Praxen (je 2 %). Die große Mehrheit von 196 Praxen (94 %) verwendet solche Systeme bereits seit über 4 Jahren.

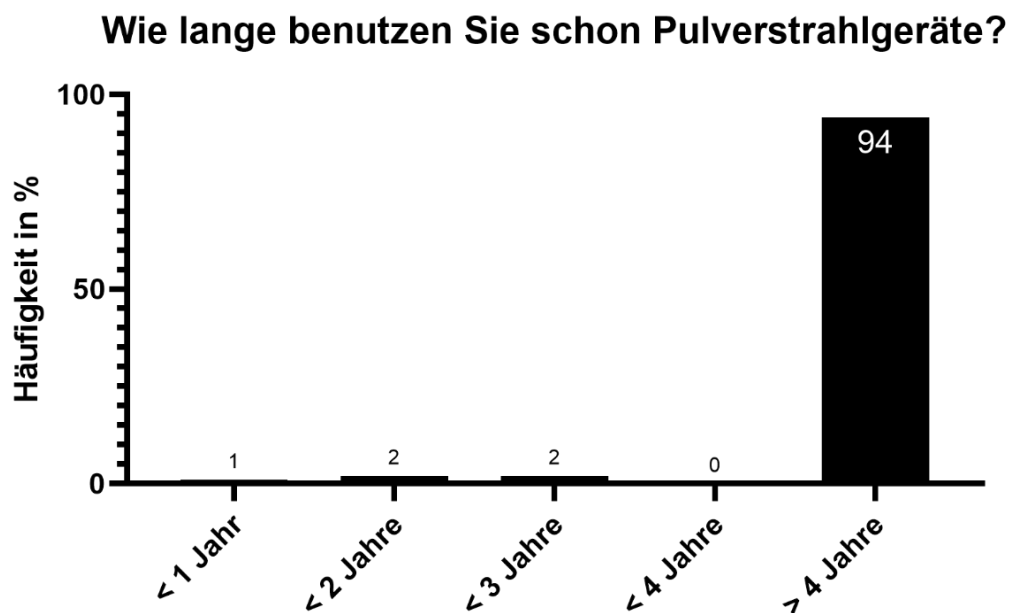


Abbildung 8: Balkendiagramm über die Nutzungsdauer von Pulverstrahlgeräten in Zahnarztpraxen

Frage 4:

Für welche Indikationen verwenden Sie Pulverstrahlgeräte?

Die Fragen nach den Indikationen, für welche Pulverstrahlgeräte verwendet werden, beantworteten 209 der 211 Pulverstrahlgeräteanwender (n = 209). Alle 209 Praxen (100 %) verwenden Pulverstrahlgeräte im Rahmen ihrer Prophylaxe, beispielsweise bei der professionellen Zahnreinigung. Mit einem Anteil von 139 der 209 Praxen (67 %) ist die Parodontitis-Therapie ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet der Geräte. Im Zuge der Periimplantitis-Therapie verwenden immerhin 92 der 209 Praxen (44 %) Pulverstrahlgeräte.

Als alternative Anwendungsbereiche wurden außerdem die intraorale Keramik- und Kunststoffreparatur (7 Stimmen, 3 %), Vorbehandlung von Zahnoberflächen vor adhäsiven Befestigungen (5 Stimmen, 2 %) und vor Fissurenversiegelung (5 Stimmen, 2 %), Vorbereitung von feststehendem Zahnersatz (3 Stimmen, 1 %), Zahnreinigungen vor Farbbestimmungen und der Einsatz zur Zungenreinigung (je 1 Stimme, 0,5 %) genannt.

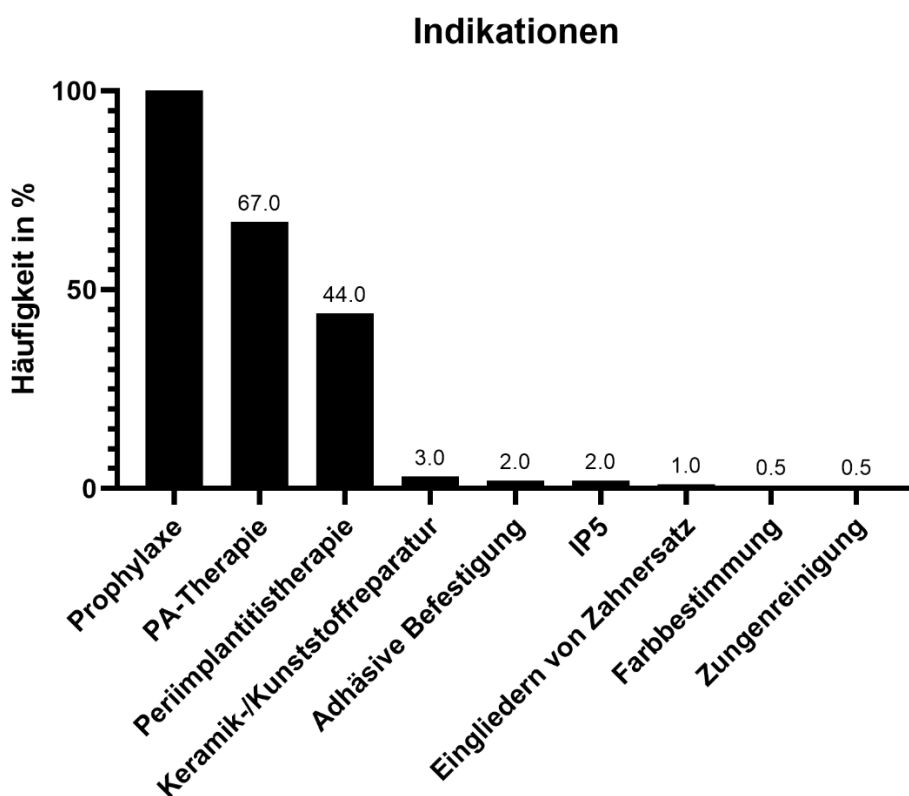


Abbildung 9: Balkendiagramm über die Indikationen von Pulverstrahlgeräten in Zahnarztpraxen

Durchschnittlich gaben 67 % der Studienteilnehmer an, dass sie Pulverstrahlgeräte im Rahmen der PA-Therapie verwenden. Hier zeigte sich interessanterweise, dass die Verwendung in der PA-Therapie mit der Berufserfahrung korreliert (Fisher-Test, $p < 0,05$) (Tabelle 3). In den jungen Berufsgruppen fanden Pulverstrahlgeräte mit 29 % (< 5 Jahre Berufserfahrung, $n = 7$) beziehungsweise 50 % (5 – 10 Jahre Berufserfahrung, $n = 46$) signifikant seltener Anwendung als in der älteren Berufsgruppe mit 72 % (> 20 Jahre Berufserfahrung). Die Gruppe mit 11 – 20 Jahren Berufserfahrung entsprach in ihrem Ergebnis der Gesamtstichprobe.

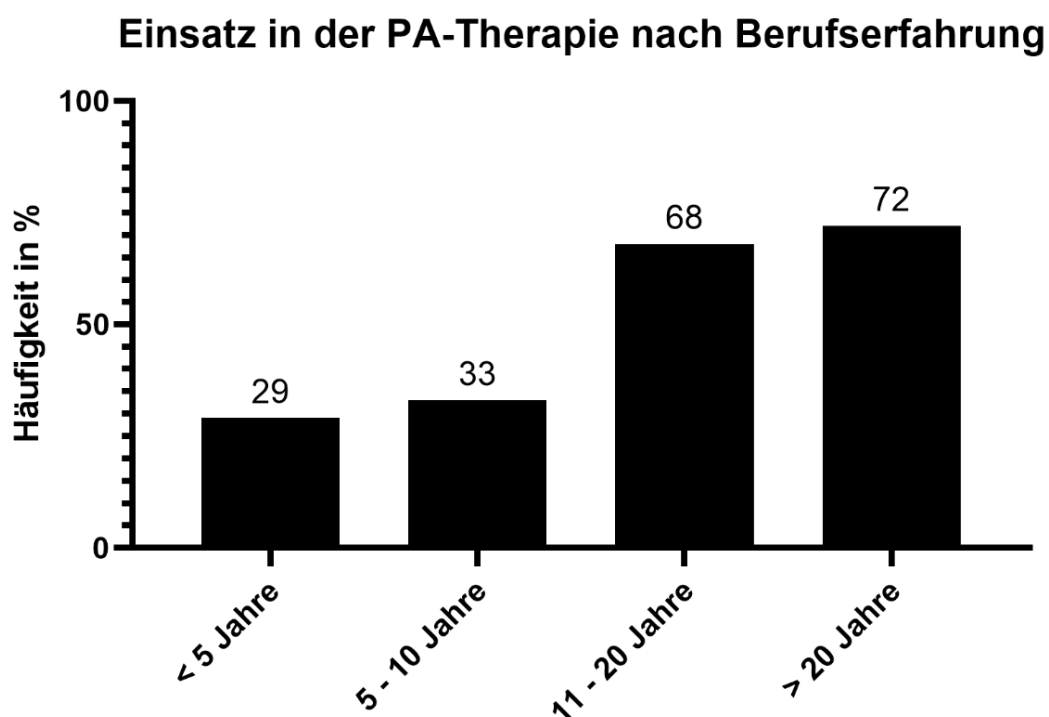


Abbildung 10: Balkendiagramm über den Zusammenhang von Berufserfahrung und Einsatz von Pulverstrahlgeräten in der Parodontistherapie

Die Verwendung von Pulverstrahlgeräten in der Periimplantitis-Therapie zeigte keinen signifikanten Zusammenhang mit der Berufserfahrung (Tabelle 4).

Fragen 5 und 6:

Wie häufig benutzen Sie Pulverstrahlgeräte in der Prophylaxe und PA-Therapie?

Als Standardinstrument finden Pulverstrahlgeräte Anwendung in der Prophylaxe. 131 von 206 Praxen ($n = 206$) verwenden solche „immer“ (64 %). 75 Praxen (36 %) verwenden sie zumindest „gelegentlich“.

Von den Praxen, welche Pulverstrahlgeräte in der PA-Therapie einsetzen ($n = 139$), verwenden 43 der Praxen „immer“ solche Geräte (31 %). 94 Praxen (69 %) verwenden sie zumindest gelegentlich. Die übrigen zwei Praxen, welche Pulverstrahlgeräte in der PA-Therapie verwenden, machten hierzu keine Angaben.

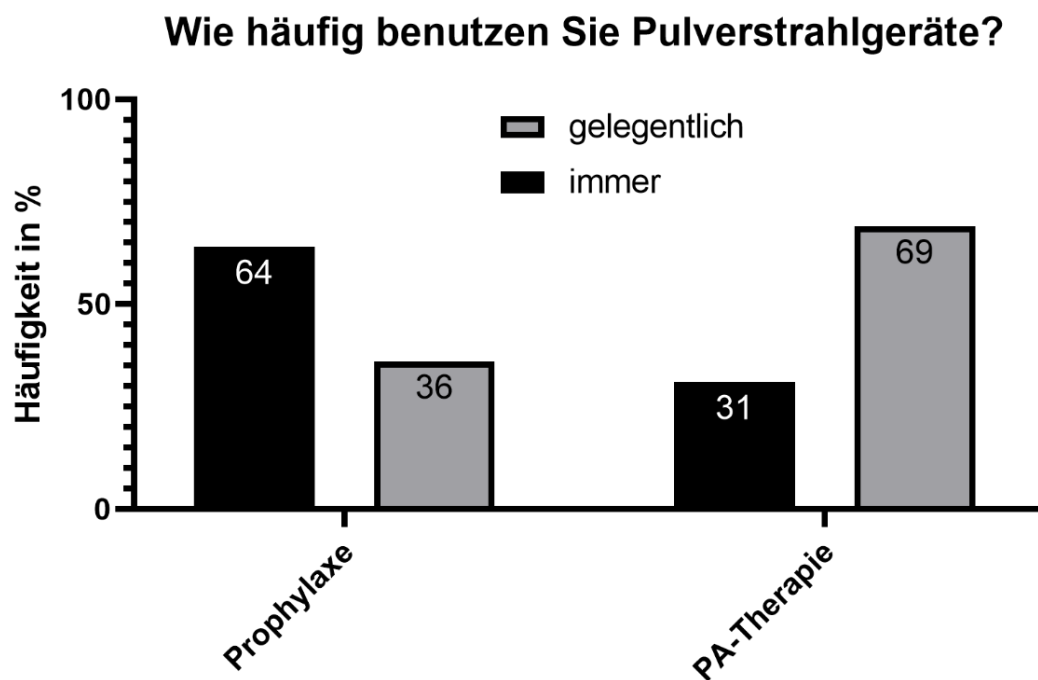


Abbildung 11: Balkendiagramm über die Häufigkeit des Einsatzes zu verschiedenen Indikationen

Frage 7:

Welches Pulver benutzen Sie in der Praxis?

Diese Frage beantworteten 206 Praxen (n = 206).

Das am häufigsten verwendete Pulver ist Natriumhydrogencarbonat mit 130 Anwendern und somit 63 %. Auch Glycin ist mit 102 Anwendern (50 %) weit verbreitet. Calciumcarbonat ist mit 36 Anwendern (17 %) das am drittmeisten verwendete Pulver. Aluminiumhydroxid (16 Praxen, 8 %), Erythritol (15 Praxen, 7 %) und Trehalose (5 Praxen, 2 %) finden eher selten Anwendung in Praxen. 4 Praxen (2 %) gaben an, Aluminiumoxid zu verwenden. Hierbei handelt es sich allerdings wie oben beschrieben um ein Pulver, was beim Sandstrahlen eingesetzt wird.

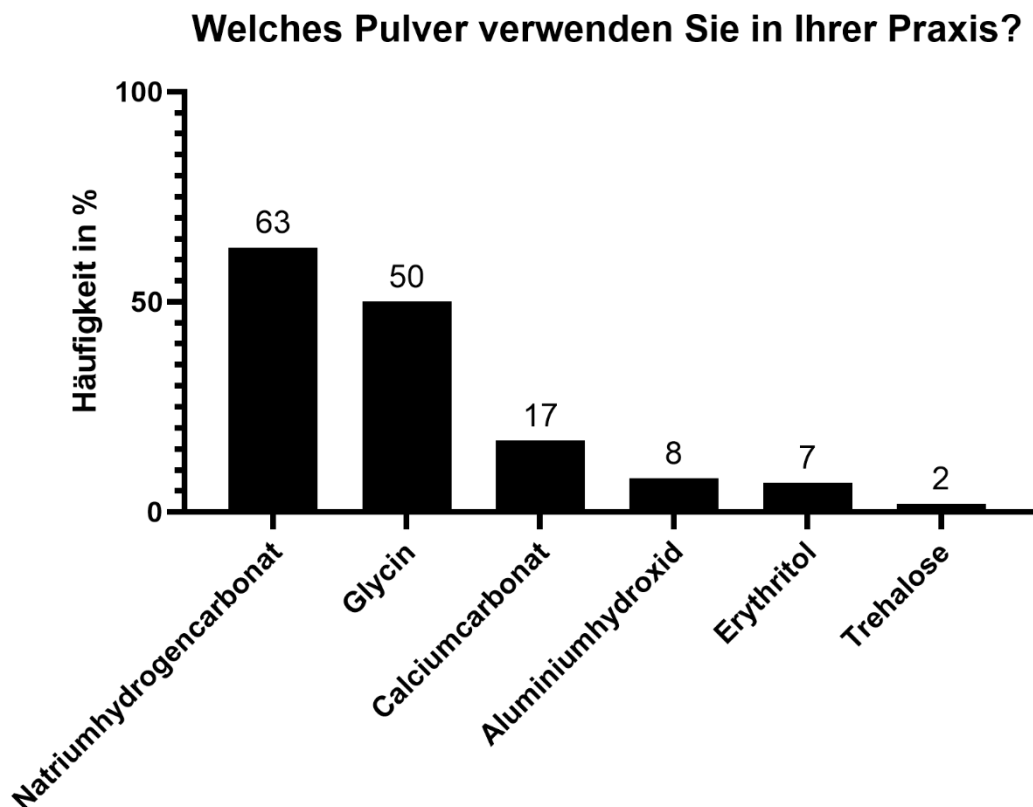


Abbildung 12: Balkendiagramm über die verwendeten Pulver in Zahnarztpraxen

Bei den Pulvern Glycin, Calciumcarbonat, Aluminiumhydroxid und Trehalose konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen deren Verwendung und der

Berufserfahrung des Behandlers festgestellt werden ($p > 0,05$, Fisher-Test) (Tabellen 5 - 7).

Die Pulver Natriumhydrogencarbonat und Erythritol zeigten einen Zusammenhang zwischen der Berufserfahrung und der Häufigkeit, mit der sie verwendet werden. In der Gruppe der jungen Behandler (< 5 Jahre Berufserfahrung) verwenden lediglich 29 % ($n = 7$) Natriumhydrogencarbonat, in der Gruppe der 11 – 20 Jahre Berufserfahrenen verwenden 50 % ($n = 46$) solche Pulver. Behandler mit einer Berufserfahrung von 5 – 10 Jahren verwenden solche Pulver zu 67 % ($n = 18$). Die Gruppe der Behandler mit einer Berufserfahrung von über 20 Jahren ($n = 127$) verwendet Natriumhydrogencarbonat mit 70 % am meisten ($p < 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 8).

Erythritol wird mit 28 % signifikant häufiger von der jungen Berufsgruppe unter 5 Jahren Berufserfahrung und mit 5 % signifikant seltener von der Gruppe über 20 Jahren Berufserfahrung verwendet ($p < 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 9).

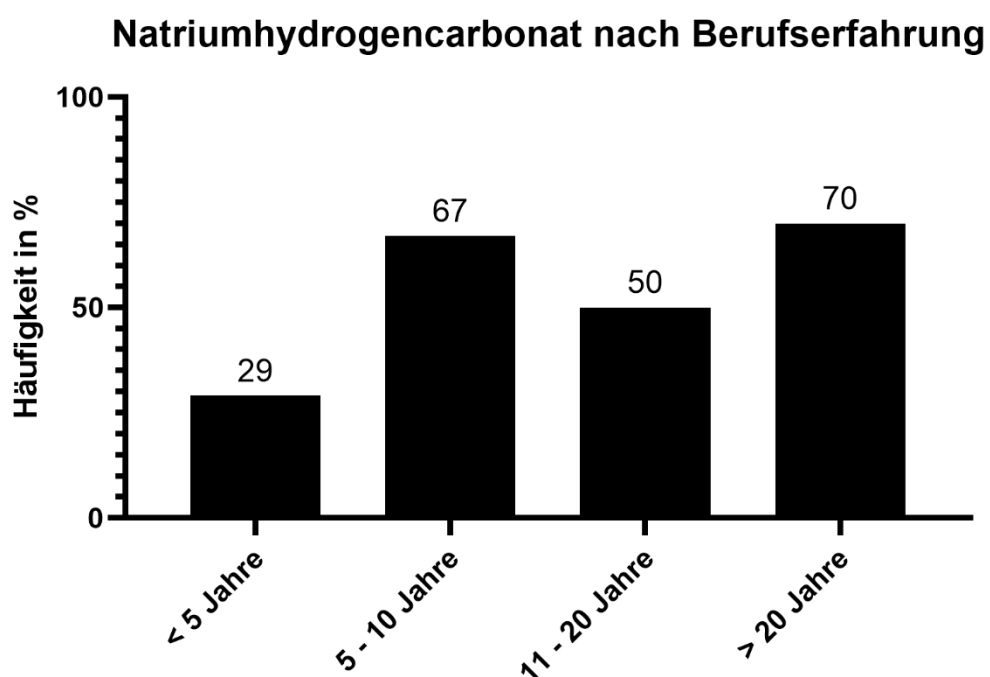


Abbildung 13: Balkendiagramm über den Zusammenhang von Berufserfahrung und der Verwendung von Natriumhydrogencarbonat

Frage 8:

Welches Pulverstrahlgerät verwenden Sie in Ihrer Praxis?

Bei dieser Frage wurde von den Studienteilnehmern teils nur auf den Hersteller oder auf das genaue Fabrikat eingegangen. Um ein aussagekräftiges Ergebnis darzustellen, wurde nur der Hersteller ausgewertet.

Die Frage wurde von 187 Teilnehmern ($n = 187$) beantwortet, wobei Mehrfachnennungen möglich waren.

Mit 142 Nennungen (76 %) ist *EMS* der am häufigsten verwendete Hersteller. Weitere häufig verwendete Hersteller sind *KaVo* mit 30 Nennungen (16 %) und *NSK* mit 20 Nennungen (11 %). Seltener verwendet werden Geräte der Firmen *Acteon* (8 Nennungen, 4,3 %), *Mectron* (7 Nennungen, 3,7 %) und *Cavitron* (4 Nennungen, 2,1 %). Weitere selten verwendete Hersteller sind *Omnident* (2 Nennungen, 1 %), *DTS Solus*, *Siemens*, *Three H Preven-Air*, *Bienair*, *Airbrush* und *MK Dent* (jeweils 1 Nennung, 0,5 %).

Einzelne Studienteilnehmer nannten bei dieser Frage Sandstrahlgeräte der Hersteller *Danville Microetcher*, *Ronvig* (je 2 Nennungen, 1 %) und *Rondoflex* (1 Nennung, 0,5 %).

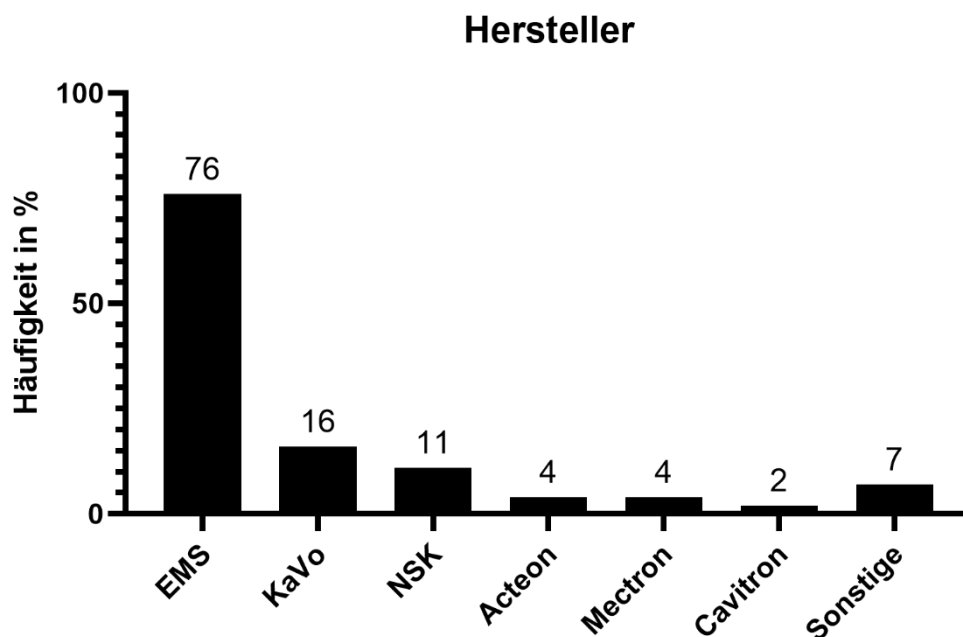


Abbildung 14: Balkendiagramm über die verwendeten Hersteller in Zahnarztpraxen

Frage 9:

Wie viele Jahre Berufserfahrung haben Sie?

Die Altersstruktur der Praxisinhaber, welche an der Umfrage teilgenommen haben, sieht wie folgt aus. Mit 64 % hat die Mehrzahl der Teilnehmer (130 von 204) eine Berufserfahrung von über 20 Jahren aufzuweisen. Ein weiteres knappes Viertel (24 %) der Teilnehmer (49) besitzt immerhin eine Berufserfahrung von 11 - 20 Jahren. Lediglich 18 Teilnehmer (9 %) besitzen eine Berufserfahrung zwischen 5 und 10 Jahren. Nur 7 Teilnehmer (3 %) sind weniger als 5 Jahre im Beruf.

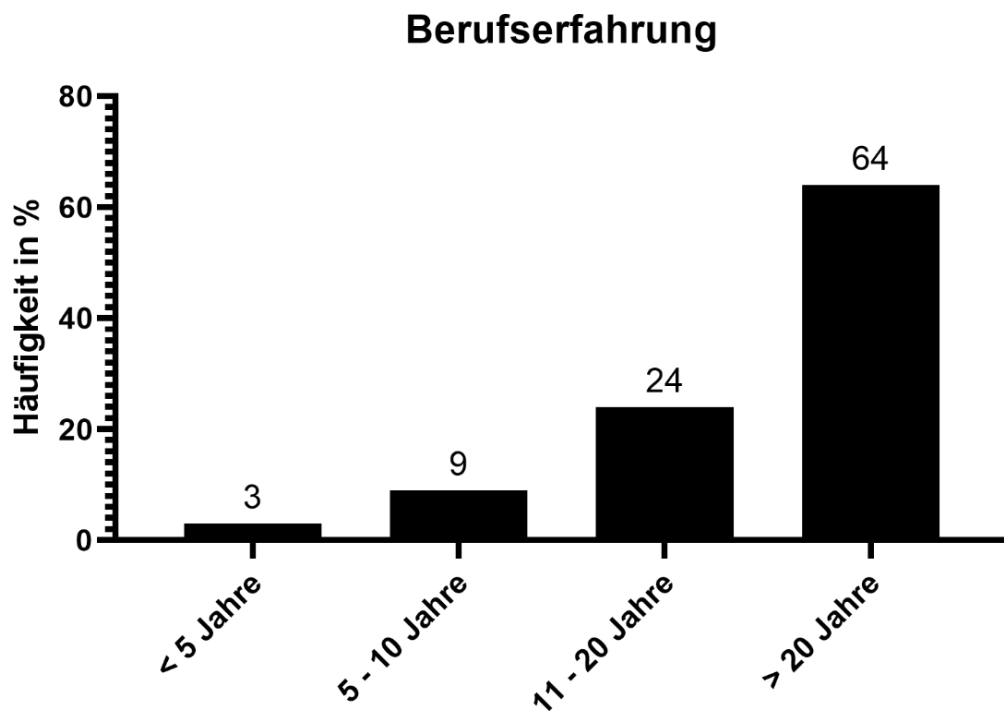


Abbildung 15: Balkendiagramm über die Berufserfahrung der Teilnehmer

Die Verteilung der älteren Berufsgruppen entsprach somit dem angenäherten bundesdeutschen Durchschnitt (Tabelle 10).

4.2. Klinik

Von den 30 zahnmedizinischen Fakultäten wurde falls möglich telefonisch Kontakt aufgenommen, um eine generelle Bereitschaft zur Teilnahme an der Studie zu ermitteln. Danach konnten 22 Universitäten per E-Mail kontaktiert werden (Tabelle 2). Die anderen 8 Universitäten signalisierten keine Bereitschaft an der Teilnahme der Umfrage. Von den 22 per E-Mail kontaktierten Universitäten haben 14 an der Umfrage teilgenommen, jedoch nur 10 den Fragebogen ordnungsgemäß ausgefüllt, welche bei der Auswertung berücksichtigt werden konnten. Dies entspricht einer Rücklaufquote von 64 %.

Bei Universitäten mit unterschiedlichen Abteilungen für Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie wurde jeweils die Parodontologie kontaktiert.

Frage 1:

Werden Pulverstrahlgeräte in Ihrer Abteilung verwendet?

Alle 10 teilnehmenden Universitäten (100 %) verwenden Pulverstrahlgeräte in ihrer Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontitis.

Frage 2:

Verwenden die zahnmedizinischen Fachangestellten (ZMF) / Dentalhygieniker/-innen (DH) Pulverstrahlgeräte?

Diese Frage wurde von 9 Universitäten (n = 9) beantwortet.

An allen 9 Universitäten (100 %) verwenden zahnmedizinische Fachangestellte Pulverstrahlgeräte. An 5 der 9 Universitäten (55 %) verwenden außerdem Dentalhygienikerinnen Pulverstrahlgeräte.

Frage 3:

Zu welchen Indikationen verwenden Sie/Ihre ZMF/Ihre DH Pulverstrahlgeräte?

Diese Frage wurde von 9 Universitäten (n = 9) beantwortet.

Alle 9 Universitäten (100 %) setzen Pulverstrahlgeräte in der Prophylaxe, beispielsweise im Rahmen der professionellen Zahnreinigung, ein. In der Parodontitistherapie verwenden lediglich 4 der 9 Universitäten Pulverstrahlgeräte, was 44 % entspricht. Im Rahmen der Periimplantitis-Therapie benutzen immerhin 6 der 9 Universitäten (66 %) Pulverstrahlgeräte.

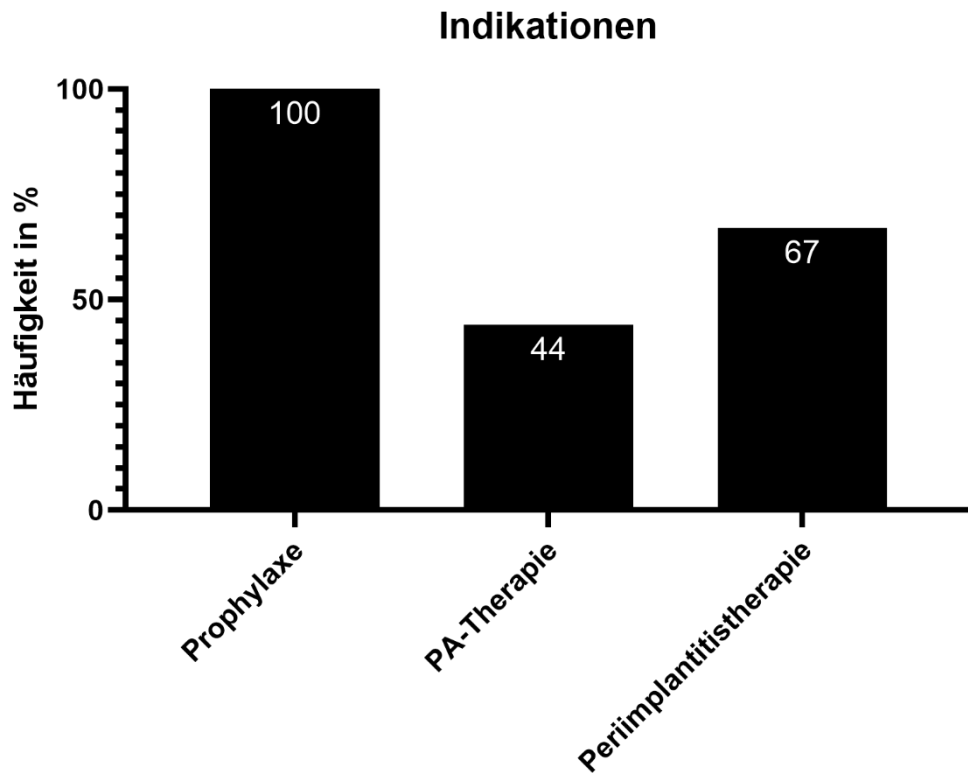


Abbildung 16: Balkendiagramm über die Indikationen von Pulverstrahlgeräten in Universitäten

Frage 4:

Sind Pulverstrahlgeräte Bestandteil der theoretischen Lehre an Ihrer Universität?

Von den 9 Universitäten, welche diese Frage beantwortet haben (n = 9), sind an 7 Universitäten Pulverstrahlgeräte Bestandteil der theoretischen Lehre (77 %).

Frage 5:

Sind Pulverstrahlgeräte Bestandteil der praktischen Lehre an Ihrer Universität?

Auch diese Frage beantworteten 9 Universitäten (n = 9).

Die Zahl der Universitäten, welche Pulverstrahlgeräte anhand von Phantommodellen lehrt, liegt bei 4 von 9 Universitäten (44 %). Die Zahl der Universitäten, an welchen die Studierenden den Gebrauch von Pulverstrahlgeräten im Behandlungskurs am Patienten lernen, liegt sogar nur bei 3 von 9 (33 %).

An 5 von 9 Universitäten werden Pulverstrahlgeräte am Phantommodell und/oder im Behandlungskurs eingesetzt (55 %).

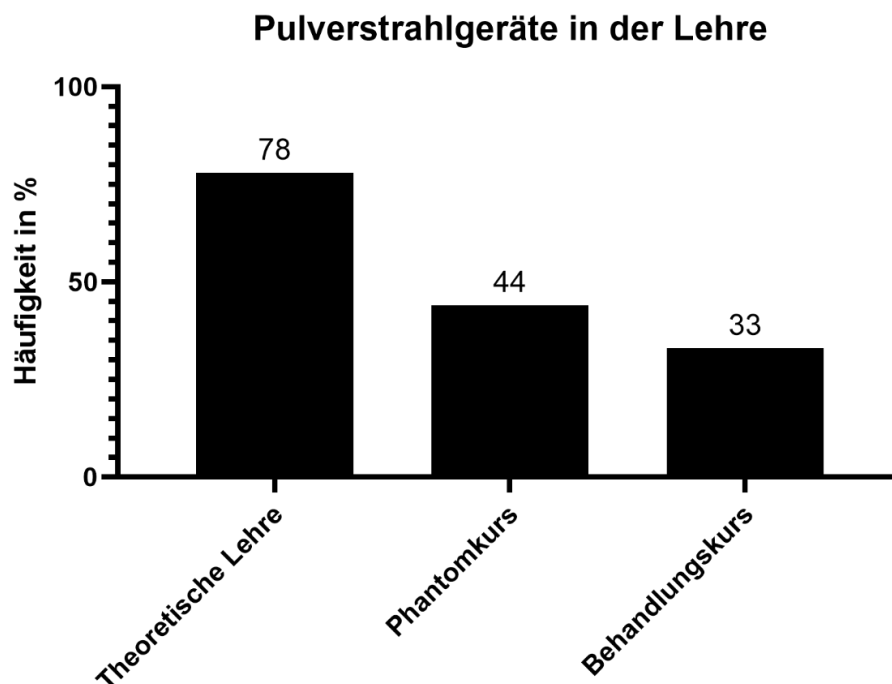


Abbildung 17: Balkendiagramm über den Einsatz von Pulverstrahlgeräten in der Lehre

Frage 6:

Wenn nein, warum verwenden die Studierenden keine Pulverstrahlgeräte?

Die Frage wurde von 5 Universitäten beantwortet (n = 5).

Die Antworten „nicht Teil unseres Konzeptes“ und „Kosten“ wurden von den Universitäten nicht als Gründe angegeben (jeweils 0 Antworten). Eine Universität gab an, dass unter anderem mögliche Komplikationen gegen eine Benutzung durch Studierende spricht. Eine weitere Universität gab Druckprobleme bei der Installation als Grund an.

Die restlichen drei Universitäten verneinten die gegebenen Antwortmöglichkeiten, nannten jedoch im offenen Antwortfeld keine alternative Begründung.

Zwei Universitäten gaben an, dass die Verwendung von Pulverstrahlgeräten durch die Studierenden in Planung sei.

Frage 7:

Zu welchen Indikationen verwenden die Studierenden Pulverstrahlgeräte?

Diese Frage wurde von 4 Universitäten beantwortet (n = 4).

An 3 der 4 Universitäten (75 %) verwenden die Studierenden Pulverstrahlgeräte im Rahmen der Prophylaxe.

In 2 Fällen (50 %) werden sie in der PA-Therapie eingesetzt.

An einer Universität (25 %) werden sie in der Periimplantitis-Therapie eingesetzt.

Frage 8:

Wie lange verwenden Sie schon Pulverstrahlgeräte in der Lehre?

Diese Frage wurde von 4 Universitäten beantwortet (n = 4).

An 3 der 4 Universitäten werden Pulverstrahlgeräte schon seit mehr als 4 Jahren in der Lehre verwendet. An einer Universität werden sie seit weniger als 4 Jahren verwendet.

Frage 9:

Ab welchem Fachsemester sind Pulverstrahlgeräte Teil der zahnmedizinischen Lehre?

Diese Frage beantworteten 6 Universitäten (n = 6).

An 5 dieser 6 Universitäten (83 %) sind Pulverstrahlgeräte ab dem 6. Fachsemester Bestandteil der Lehre. An einer Universität sind sie ab dem 7. Fachsemester Teil der Lehre.

Frage 10:

Welches Pulver verwenden Sie?

Diese Frage beantworteten 9 Universitäten (n = 9).

Alle 9 Universitäten verwenden in Ihren Abteilungen Pulver, welche auf Glycin basieren (100 %).

Jeweils 2 Universitäten verwenden Natriumbicarbonat und Erythritol (je 22 %).

Andere Pulver wurden nicht angegeben.

Frage 11:

Welches Pulverstrahlgerät verwenden Sie?

6 Universitäten beantworteten diese Frage (n = 6).

5 der 6 Universitäten (83 %) verwenden Geräte des Herstellers *EMS*. Eine Universität verwendet Geräte des Herstellers *KaVo*. Weitere Hersteller wurden nicht genannt.

4.3. Hypothesentests zum Vergleich der Studienergebnisse

Um Zusammenhänge und Korrelationen von verschiedenen Studienergebnissen und deren Parameter festzustellen, wurde der oben beschriebene Chi²-Test bzw. Fisher-Test angewendet.

4.3.1. Vergleich der Umfrageergebnisse aus Praxis und Lehre

Die Umfragen in den Zahnarztpraxen und an Universitäten zeigten, dass in beiden Einrichtungen vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich der Verwendung von Pulverstrahlgeräten erzielt wurden. Sowohl in den Praxen (97 %) als auch an den Universitäten (100 %) werden sie fast ausnahmslos verwendet, wobei sich kein signifikanter Unterschied zwischen Praxen und Universitäten feststellen lässt ($p > 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 11). Der Vergleich der Unterpopulation der ZMF/DH der Universitäten mit den Praxen kommt zu dem gleichen Ergebnis.

In Bezug auf die Indikationen, zu welchen Pulverstrahlgeräte Anwendung finden, lässt sich ebenfalls sagen, dass es zwischen den befragten Populationen weder in Bezug auf die Verwendung in der Prophylaxe, noch in der PA-Therapie und der Peri-implantitistherapie signifikante Unterschiede gibt ($p > 0,05$, Fisher-Test) (Tabellen 12 & 13).

Vergleicht man den Stellenwert in der zahnmedizinischen Lehre mit dem in den Praxen fallen jedoch signifikante Unterschiede auf. In der theoretischen Lehre behandeln 7 von 9 Universitäten Pulverstrahlgeräte. Dies unterscheidet sich, bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$, leicht von der Population der Pulverstrahlgerätenutzer in den freien Praxen, welche ohne Ausnahme Pulverstrahlgeräte verwenden (Fisher-Test) (Tabelle 14).

Ein größerer Unterschied wird dagegen deutlich, wenn man die Rolle in der praktischen Lehre mit den Praxen vergleicht. Während die Studierenden an 4 von 9 Universitäten (44 %) den Umgang mit Pulverstrahlgeräten am Phantommodell lernen, setzen Studierende an nur 3 von 9 Universitäten (33 %) Pulverstrahlgeräte am Patienten im Behandlungskurs ein. Insgesamt werden nur 55 % der Studierenden (5 von 9 Universitäten) mit dem praktischen Umgang von Pulverstrahlgeräten vertraut

gemacht. Somit ist dieser Anteil an Studierenden deutlich geringer als der Anteil der Anwender in den Praxen ($p < 0,0001$, Fisher-Test) (Tabelle 15).

Auch die eingesetzten Pulver unterscheiden sich signifikant zwischen den Universitäten und den Praxen. Während in den Praxen Natriumhydrogencarbonat das am weitesten verbreitete Pulver ist (63 %), wird es nur an 2 der 9 Universitäten verwendet (22 %) ($p < 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 16). Glycin wird hingegen von allen 9 Universitäten verwendet, wogegen es von knapp 50 % der Zahnarztpraxen verwendet wird ($p < 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 17). Als weiteres Pulver wird lediglich Erythritol an 2 der 9 Universitäten verwendet. Damit unterscheidet sich der Anteil nicht signifikant von dem Anteil in den Praxen ($p > 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 18). Weitere Pulver, welche in den Praxen verwendet werden, finden an Universitäten durch die Studierenden keinen Einsatz.

4.3.2. Vergleich der Altersstruktur mit dem Gesamtkollektiv

Die Altersstruktur der Studienteilnehmer wurde anhand der Berufserfahrung mit der Altersstruktur der Gesamtpopulation verglichen. Dazu wurde anhand des Registers aller in Deutschland tätigen Zahnärzte¹¹², welches von der Bundeszahnärztekammer inklusive der Geburtsjahrgänge veröffentlicht wird, die Gesamtpopulation ($n = 71.931$) in die gleichen Altersklassen, genauer gesagt nach Berufserfahrung eingeteilt, wie sie in der Umfrage ermittelt wurde. Als Berufseinstiegsalter wurde das durchschnittliche Absolventenalter von 25 Jahren aus dem Jahr 2017 angenommen.¹¹³ Die Gruppe der Zahnärzte mit einer Berufserfahrung von < 5 Jahre macht in der Gesamtpopulation einen Anteil von 7 % aus. Somit ist deren Anteil in der Gesamtpopulation etwas höher als in der Stichprobe (3 %). Die Gruppe der Zahnärzte mit einer Berufserfahrung von 5 bis 10 Jahren macht 13 % aller Zahnärzte aus. In der Stichprobe dieser Studie beträgt der Anteil 9 % und ist somit ebenfalls etwas geringer als in der Gesamtpopulation. Dabei konnte kein signifikanter Unterschied der Altersverteilung zur Stichprobe dieser Studie festgestellt werden ($p > 0,05$, Chi²-Test) (Tabelle 10).

4.3.3. Vergleich der Studie mit ähnlichen Studien

In den USA wurde 2015 von der *PennWell Corp.* eine Arbeit veröffentlicht, bei der eine ähnliche Umfrage durchgeführt wurde. Dabei wurden Dentalhygieniker/innen befragt, ob Pulverstrahlgeräte in deren Praxen verwendet werden.

In 67 % (n = 361) dieser Praxen werden Pulverstrahlgeräte verwendet¹¹⁴. Es handelt sich also um eine signifikant kleinere Menge von Anwendern ($p < 0,05$, Chi²-Test) als in der hier durchgeführten Befragung (Tabelle 19).

5. Diskussion

5.1. Studiendesign

Bei der vorliegenden Arbeit wurde zur Befragung eine Umfrage in elektronischer Form gewählt. Das Ziel war es, ein möglichst breites Kollektiv für die Umfrage und dabei eine möglichst große Offenheit der Befragten zu erreichen. Um dies zu erwirken, wurde eine anonyme Umfrage durchgeführt.

Eine Umfrage online durchzuführen bietet dazu gute Voraussetzungen, da die Anonymität zu jederzeit gewahrt wird und die Teilnahme unkompliziert und schnell vonstattengeht. Es wird davon ausgegangen, dass die Computerkenntnisse heute in jeder Altersgruppe ausreichend sind, um einfache Aufgabenstellungen am Computer zu lösen. Daher stellt eine solche Umfrage über das Internet keine große Hürde bezüglich der Zugänglichkeit dar. Außerdem war sie durch die kostenlose Bereitstellung des Umfragetools *LimeSurvey* durch die Johannes-Gutenberg-Universität Mainz äußerst wirtschaftlich.

Die Einladung zur Umfrage wurde über E-Mails verschickt, da heutzutage fast jede Praxis eine öffentlich auffindbare E-Mail-Adresse besitzt und über diesen Kanal eine breite Masse der Praxen zu erreichen ist.

Nachteilig beim Versand von Umfragen per E-Mail ist zu erwähnen, dass aufgrund der für den Datenschutz benötigten Sicherheitsmaßnahmen in der Praxis-Informationstechnik, einige E-Mail-Programme die E-Mails von unbekanntem Absendern automatisch in sogenannte Spam-Ordner verschieben. Solche E-Mails werden daher oft erst spät oder gar nicht gelesen. Außerdem werden E-Mails nicht immer vom Praxisinhaber, sondern vom Praxispersonal beantwortet.

Eine Alternative zur elektronischen Umfrage ist der postalische Versand der Umfragebögen. Auch hierbei ist die Anonymität stets gewährleistet. Diese persönlichere Kontaktaufnahme zum Befragten kann allerdings die Wahrscheinlichkeit erhöhen, eine Antwort zu erhalten.

Jedoch hat auch der postalische Versand Nachteile. Zum einen ist der Aufwand nicht nur beim Versender, sondern vor allem auch beim Empfänger größer. Er muss zunächst den Umfragebogen händisch ausfüllen, diesen dann erneut in eine Versandtasche packen, frankieren und versenden oder digitalisieren und per E-Mail versenden oder per Fax zurücksenden. Es ist zu erwarten, dass dieser Aufwand

manche von einer Teilnahme abhält. Um den Aufwand und auch die Kosten des Frankierens zu reduzieren, gibt es die Möglichkeit, zusammen mit den Umfragen bereits frankierte Umschläge mitzusenden. Dies dürfte die Teilnehmerzahl erhöhen, ist aber mit einem nicht unerheblichen finanziellen Aufwand von über 0,70 € pro versendetem Umfragebogen verbunden.

Eine Telefonumfrage kam auf Grund der fehlenden Anonymität nicht in Frage.

5.2. Rücklaufquote und Nonresponse Bias

Um die Qualität einer Umfrage zu beurteilen, wird häufig die Rücklaufquote und die Nonresponse Bias herangezogen.

Rücklaufquoten von Umfragen sind im Allgemeinen unter anderem abhängig von der gewählten Methodik. Das Umfrageverhalten verschiedener Methoden wurde in verschiedenen medizinischen Studien beobachtet und untersucht. Hardigan et al. untersuchten 2012 Rücklaufquoten und wirtschaftliche Faktoren von Umfragen unter Zahnärzten. Dabei zeigte sich, dass die Rücklaufquote bei Umfragen, welche per E-Mail versendet wurden, mit 11 % geringer war als die Rücklaufquote bei postalisch versendeten Umfragen (26 %), während die Kosteneffektivität per E-Mail wesentlich besser war.¹¹⁵

Die Rücklaufquoten, welche Hardigan et al. 2016 bei einer Umfrage unter Pharmazeuten erzielten, waren etwas geringer. 6,8 % der per E-Mail und 21 % der per Post kontaktierten Pharmazeuten nahmen an der Umfrage teil.¹¹⁶ Scott et al. hatten 2011 in einer Umfrage unter Ärzten mit 12,95 % eine ähnliche Rücklaufquote bei per E-Mail versendeten Fragebögen.¹¹⁷

In der hier durchgeführten Studie wurde bei der Befragung der niedergelassenen Zahnärzte eine Rücklaufquote von 13,7 % erzielt, was ein vergleichbarer oder sogar besserer Wert zu anderen Umfragen in elektronischer Form ist. Jedoch ist die Rücklaufquote niedriger als die Rücklaufquote in Studien, welche den postalischen Versand gewählt haben.

Die Rücklaufquote der befragten Universitäten ist mit 64 % weit höher als die Rücklaufquote der oben genannten Studien. Die Aussagekraft der vorliegenden Studie

wird in diesem Falle also nicht durch die Rücklaufquote, sondern durch den geringen Umfang der Gesamtpopulation an Unikliniken in Deutschland begrenzt. Eine noch größere Rücklaufquote war womöglich aus weiteren Gründen nicht zu erreichen. Aufgrund der bürokratischen Organisation ist es schwierig, direkten Kontakt mit verantwortlichen Ärzten aufzunehmen. Häufig werden telefonische Kontaktanfragen oder Kontaktanfragen per E-Mail von Sekretariaten verwaltet und vermittelt. Dies gestaltet sich allerdings als kompliziert, da häufig auf andere Uhrzeiten zur Kontaktaufnahme verwiesen wird oder Rückrufe versprochen werden, welche oftmals nicht stattfinden.

Dies ist aufgrund des Arbeitspensums und der Verantwortlichkeiten der zuständigen Mitarbeiter nachvollziehbar, erschwert aber die Kontaktaufnahme.

Mitarbeiter wie angestellte Zahnärzte oder Assistenz Zahnärzte sind oftmals einfacher zu kontaktieren. Hierbei trat allerdings das Problem auf, dass ihnen teils die Befugnis fehlte, ohne Rücksprache mit Vorgesetzten an Studien anderer Universitäten teilzunehmen.

Neben der Rücklaufquote wird als ein Indikator für die Qualität einer Umfrage die sogenannte Nonresponse Bias genannt. Als Nonresponse Bias wird in den Sozialwissenschaften die Gefahr einer Verzerrung von Umfrageergebnissen bezeichnet, welche sich ergibt, wenn sich die Ausfälle der Umfrageteilnehmer nicht zufällig über die gesamte Zielpopulation verteilen.¹¹⁸ In der hier vorliegenden Studie könnte ein solcher Effekt entstehen, indem kontaktierte Zahnärzte, welche Pulverstrahlgeräte verwenden, häufiger bereit sind, an der Umfrage zu Pulverstrahlgeräten teilzunehmen, als solche, welche keine Pulverstrahlgeräte verwenden.

Je geringer also die Nonresponse Bias ist, desto eher ähnelt das Abstimmverhalten der Umfrageteilnehmer dem der Gesamtpopulation. Dies gelingt, indem man zum einen eine möglichst hohe Rücklaufquote erzielt und zum anderen Zielpersonen mit niedriger Teilnahmebereitschaft/-wahrscheinlichkeit identifiziert und diese mit besonderer Intensität bearbeitet.¹¹⁹ Dies ist bei anonymen Umfragen allerdings nicht möglich, da eine Rückverfolgung der Nichtteilnehmer nicht praktikabel und sogar unerwünscht ist.

Koch & Blohm¹¹⁸ vom Leibniz Institut für Sozialwissenschaften geben in ihrem Leitfaden für Umfragen mögliche Ansatzpunkte einer Abschätzung der Nonresponse Bias:

1. „Vergleich der Umfrageergebnisse mit anderen Datenquellen“¹¹⁸

Dazu wurden die Umfrageergebnisse dieser Studie mit einer Studie von befragten Dentalhygienikerinnen in den USA verglichen. Dabei wurde ein signifikanter Unterschied in den Ergebnissen festgestellt. Die Studie zeigte, dass mit 67 % wesentlich weniger Praxen Pulverstrahlgeräte verwenden als die Befragten in dieser Studie. Dieser Unterschied kann auf eine mögliche Schweigeverzerrung hindeuten. Ob die unterschiedlichen Studienergebnisse auf einer Schweigeverzerrung oder beispielsweise unterschiedlichen Lehrmeinungen der Staaten beruhen, kann durch weitere Studien, welche die Anwendung von Pulverstrahlgeräten untersuchen, überprüft werden. Die Studie wird an späterer Stelle näher vorgestellt. Andere Datenquellen lagen nicht vor.

2. „Analyse von (Individual-)Daten für Teilnehmer und nicht Teilnehmer“¹¹⁸

Hierbei werden in der Studie erhobene Daten der Teilnehmer mit bekannten Daten administrativer Quellen verglichen. In der vorliegenden Studie wurde die Berufserfahrung der Studienteilnehmer mit der angenäherten Berufserfahrung aus dem Bundeszahnärzteregister verglichen. Dieser Vergleich zeigte keine signifikanten Unterschiede.

3. „Analyse von Variationen innerhalb der Gruppe der Umfrageteilnehmer“¹¹⁸

Hierbei soll überprüft werden, inwieweit sich das Abstimmverhalten sogenannter einfacher Fälle, also Personen, die eine hohe Teilnahmebereitschaft haben, von sogenannten schwereren Fällen unterscheidet. Dies kann beispielsweise analysiert werden, indem man den Teilnahmezeitpunkt der Teilnehmer ermittelt und frühe Umfrageergebnisse mit späten Umfrageergebnissen vergleicht. Diesem Vergleich liegt die Annahme zugrunde, dass späte und nur durch Überzeugung gewonnene Teilnahmen am ehesten dem Abstimmverhalten der Nichtteilnehmer entsprechen. Dieser Vergleich ist aufgrund des Versands über einen längeren Zeitpunkt nicht möglich, da die Rückläufer keinem Versandsdatum zuzuordnen sind.

Da eine Nonresponse Bias nicht uneingeschränkt vermeidbar ist, kann man annehmen, dass sie auch in dieser Studie die Ergebnisse beeinflusst. Die oben genannte Umfrage aus den USA scheint diese Vermutung zu bestätigen, sodass der tatsächliche Anteil der Praxen in Deutschland, welche Pulverstrahlgeräte verwenden, etwas geringer sein könnte als diese Studie zeigt. Die durchschnittliche Berufserfahrung der Studienteilnehmer, welche der Berufserfahrung der Gesamtpopulation entsprechen, relativieren die Tendenz.

5.3. Aufbau des Fragebogens

Bei der Gestaltung des Fragebogens wurde eine Kombination aus klassischen Ja/Nein-Fragen, Multiple-Choice-Fragen und offenen Fragen ausgewählt. Die Ja/Nein-Fragen wurden unter anderem zur Evaluation von verschiedenen Teilnehmerkollektiven verwendet. Der Vorteil dieses geschlossenen Fragentyps sind die eindeutigen Ergebnisse aufgrund der fehlenden Auswahlmöglichkeiten. Durch Multiple-Choice-Fragen mit klar formulierten Antwortmöglichkeiten erzielt man gut evaluierbare Ergebnisse. Diese zeigen bei ausreichender Datenmenge einfach auswertbare und interpretierbare Informationen. Bei einzelnen Fragen, wie zum Beispiel der Frage nach möglichen Indikationen, wurde dem Teilnehmer zusätzlich ein offenes Antwortfeld angeboten, da als vorgegebene Antworten nicht alle Indikationen aufgelistet werden konnten, jedoch die erwarteten häufigsten zur einfacheren Auswertung vorgeschlagen wurden. Durch diese Kombination aus Multiple-Choice-Fragen mit offenen Antworten konnte das erwartete Antwortspektrum abgebildet werden, ohne den Teilnehmer in der Freiheit seiner Antworten einzuschränken.

Eine weitere Fragegestaltung war die Evaluation von Abstufungen. Dies wurde etwa bei der Bestimmung der Häufigkeit der Verwendung zu bestimmten Indikationen angewendet. Die Antworten („immer“, „gelegentlich“, „nie“) ließen eine einfache Auswertung und Gewichtung zu.

Bei einzelnen Fragen wurde die Form der offenen Frage gewählt, um die Vielzahl der potenziell möglichen Antwortmöglichkeiten abzubilden. Dies resultiert allerdings in einer nicht einfach auswertbaren Statistik, da wesentlich größere Fallzahlen benötigt werden, um signifikante Unterschiede herausstellen zu können. Um diese Fragen dennoch auswerten zu können, wurden die gegebenen Antworten in Antwortgruppen zusammengefasst.

Vor allem bei Frage 10 des „Fragebogen Praxis“ führte die offene Fragestellung dazu, dass es zu nicht eindeutigen Ergebnissen hinsichtlich der genauen Modelle und Baureihen kam. So gaben einige Teilnehmer die genaue Gerätebezeichnung an, andere nur die Baureihe und wieder andere lediglich den Hersteller. Daher konnte bei der Auswertung nur auf den Hersteller eingegangen werden, da dies die einzige Information war, welche einheitlich aus allen Antworten abzuleiten war.

5.4. Diskussion der Studienergebnisse und Literaturvergleich

In der Literatordiskussion wurde dargestellt, dass es eine umfassende Studienlage über den Nutzen und Mehrwert von Pulverstrahlgeräten in der zahnärztlichen Prophylaxe und Therapie gibt. Des Weiteren wurden die verschiedenen Pulver und deren Effekte auf orale Gewebe und Risiken untersucht.

Die allgemeine Studienlage über eine Aussage darüber, in welchem Umfang solche Geräte tatsächlich in Praxen sowohl in Deutschland als auch international verbreitet sind und zu welchen Indikationen sie verwendet werden, ist allerdings nicht umfangreich.

5.4.1. Vergleich und Diskussion beider Umfrageergebnisse

In der vorliegenden Studie wurden zwei ungleiche Populationen evaluiert und sollen nun verglichen werden. Aufgrund der geringen Population und Stichprobengröße der Universitäten lassen sich nicht immer mathematisch relevante Vergleiche zur Population der Zahnarztpraxen ziehen. Dennoch lassen sich mittels der Chi²-Analyse und des Fisher-Tests zum Teil signifikante Zusammenhänge und Unterschiede aufzeigen, welche zumindest Tendenzen erkennen lassen.

In den Umfragen ist festzustellen, dass Pulverstrahlgeräte in beiden Populationen ohne signifikante Unterschiede ($p > 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 11) fast ausnahmslos verwendet werden. Dieser Vergleich kommt zu dem gleichen Ergebnis, wenn man die Unterpopulation der Angestellten (ZMF/DH) in Universitäten mit der Population der Praxen vergleicht.

Der Vergleich der beiden untersuchten Populationen hinsichtlich der Indikationen, zu welchen Pulverstrahlgeräte Anwendung finden, zeigt ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in den Umfrageergebnissen ($p > 0,05$, Fisher-Test) (Tabellen 12 & 13).

Die oben genannten Vergleiche zeigen, dass Pulverstrahlgeräte an Universitäten ebenso etabliert sind wie in zahnärztlichen Praxen. Die breite Anwendung an den Universitäten bezieht sich allerdings nur auf das angestellte Personal, nicht jedoch auf die Studierenden.

Vergleicht man den Stellenwert in der zahnmedizinischen Lehre mit dem in den Praxen, zeigt sich ein anderes Bild. In der theoretischen Lehre behandelt mit 7 von 9 Universitäten ein Großteil der Fakultäten Pulverstrahlgeräte. Somit ist die Verbreitung von Pulverstrahlgeräten in der theoretischen Lehre zwar nur geringfügig aber signifikant geringer als in den befragten Praxen ($p < 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 14).

Der Vergleich mit der praktischen Lehre zeigt einen deutlicheren Unterschied auf. Nur an 4 von 9 Universitäten (44 %) lernen die Studierenden den Umgang mit Pulverstrahlgeräten am Phantommodell und lediglich an 3 von 9 Universitäten (33 %) setzen sie Pulverstrahlgeräte am Patienten im Behandlungskurs ein. Insgesamt werden nur 55 % der Studierenden (5 von 9 Universitäten) mit dem praktischen Umgang von Pulverstrahlgeräten vertraut gemacht. Die Verbreitung und Behandlung von Pulverstrahlgeräten in der praktischen Lehre entsprechen also nicht der Verbreitung in den freien Praxen ($p < 0,0001$, Fisher-Test) (Tabelle 15).

Lediglich zwei Universitäten nannten Gründe für die geringe oder fehlende Anwendung durch die Studierenden. Als Gründe nannten sie die möglichen Komplikationen und Druckprobleme bei der Installation von Pulverstrahlgeräten.

Immerhin gaben zwei weitere Universitäten an, dass der praktische Umgang mit Pulverstrahlgeräten in Zukunft gelehrt werden soll.

Auch die eingesetzten Pulver unterscheiden sich signifikant zwischen den Universitäten und den Praxen. In den Praxen ist das hochabrasive Natriumhydrogencarbonat das meistverwendete Pulver (63 %). Dagegen wird es nur an 2 der 9 Universitäten verwendet ($p < 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 16). Das niedrigabrasive Glycin wird hingegen nur in knapp 50 % der Praxen benutzt, wogegen alle 9 Universitäten Glycin einsetzen ($p < 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 17). Als weiteres Pulver wird lediglich das ebenfalls niedrigabrasive Erythritol an 2 der 9 Universitäten verwendet und unterscheidet sich in seiner Verbreitung nicht signifikant von der in den Praxen ($p > 0,05$, Fisher-Test) (Tabelle 18). Weitere Pulver, welche in den Praxen verwendet werden, finden an Universitäten durch die Studierenden keinen Einsatz.

Gründe für die überwiegende Verwendung von Glycin an den Universitäten liegen womöglich in den zuvor beschriebenen vergleichsweise geringen abrasiven Werten auf Zahnhartsubstanzen und erosiven Werten auf oralen Weichgeweben, was die möglichen Nebenwirkungen vor allem bei ungeübten Anwendern reduzieren könnte. Die Universitäten scheinen hier eher dem neuesten Stand der Forschung zu

entsprechen und niedrigabrasive Pulver wie Glycin und Erythritol zu bevorzugen, dessen Vorteile gegenüber Natriumhydrogencarbonat in der Fachliteratur wie oben dargelegt hinlänglich beschrieben sind. Die Praxen verwenden hier eher das traditionellere Material und scheinen diesen Übergang nicht in gleichem Maße wie die Universitäten mitzugehen.

Zusammenfassend ist eine Tendenz zu erkennen, dass sich der Stellenwert von Pulverstrahlgeräten in den freien Praxen signifikant von der Rolle in der zahnmedizinischen Lehre unterscheidet, indem Praxen Pulverstrahlgeräte bereits flächendeckend verwenden, Universitäten dieser Entwicklung noch nicht in gleichem Maße gefolgt sind. Jedoch zeigt sich mit dem Vorhaben von zwei weiteren Universitäten, Pulverstrahlgeräte in die Lehre aufzunehmen, dass auch an Universitäten, der wissenschaftlichen Meinung folgend, das Potential von Pulverstrahlgeräten in der Prophylaxe und der Behandlung von Parodontopathien erkannt wird. Gerade Aspekte wie die Sicherheit der Handhabung, Komplikationen und ein immer breiter werdender wissenschaftlicher Konsens hinsichtlich des Nutzens, lassen nach entsprechender Ausbildung und Einweisung die Verwendung solcher Geräte auch durch Studierende und Einsteiger als vertretbar erscheinen. Daher ist es fraglich, weshalb Universitäten, an denen die Studierenden eine umfassende theoretische und praktische Ausbildung erfahren sollen, eine solch etablierte Methode nicht einheitlich lehren.

5.4.2. Demografischer Einfluss auf das Studienergebnis

In der Umfrage der Praxen wurden die niedergelassenen Zahnärzte nach ihrer Berufserfahrung befragt. Dies diente dazu, die Population in Altersklassen einzuteilen, einzuordnen, ob es sich dabei um einen repräsentativen Querschnitt der Gesamtpopulation handelt, und einen Zusammenhang zwischen der Berufserfahrung und den Umfrageergebnissen herzustellen.

Anhand des Registers aller in Deutschland tätigen Zahnärzte¹¹², welches von der Bundeszahnärztekammer inklusive der Geburtsjahrgänge veröffentlicht wird, wurde die Altersstruktur anhand der Berufserfahrung der Gesamtpopulation mit der Stichprobenpopulation verglichen. Dabei konnte kein signifikanter Unterschied der Altersverteilung zur Stichprobe dieser Studie festgestellt werden ($p > 0,05$, Chi²-Test)

(Tabelle 10). Somit wurde angenommen, dass es sich, die Altersstruktur betreffend, um einen repräsentativen Querschnitt handelt.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Berufserfahrung und den gegebenen Antworten konnte nur bei zwei Fragestellungen festgestellt werden.

Zum einen verwenden Teilnehmer mit langer Berufserfahrung (> 20 Jahre) signifikant häufiger Pulverstrahlgeräte im Rahmen der PA-Therapie als die jüngeren Kollegen (0 – 10 Jahre Berufserfahrung). Möglicherweise liegt eine Spezialisierung bei erfahreneren Kollegen im Bereich der Parodontologie häufiger vor, sodass diese auf ein breiteres Spektrum an Therapieverfahren zurückgreifen als junge Behandler.

Zum anderen verwenden Teilnehmer mit einer Berufserfahrung von über 20 Jahren signifikant häufiger Natriumhydrogencarbonatpulver als die Kollegen mit einer Berufserfahrung von < 5 Jahren bzw. 11 – 20 Jahren. Dieser Trend deutet darauf hin, dass ältere Behandler eher auf das klassische Pulver zurückgreifen und nicht der Entwicklung moderner niedrigabrasiver Pulver folgen. Die beiden genannten Korrelationen überraschen, da gerade in der von erfahreneren Kollegen durchgeführten Pulverstrahlbehandlung im Rahmen der PA-Therapie, niedrigabrasive Pulver eingesetzt werden sollen. Somit stehen sie gewissermaßen im Widerspruch.

5.4.3. Vergleich der Studie mit ähnlichen Studien

In den USA untersuchte 2015 die *PennWell Corp.* anhand der Befragung von Dentalhygieniker/innen die Verbreitung von Pulverstrahlgeräten in US-amerikanischen Zahnarztpraxen.

In 67 % (n = 361) dieser Praxen werden Pulverstrahlgeräte verwendet.¹¹⁴ Es handelt sich also um eine signifikant kleinere Menge von Anwendern als in dieser Studie ($p < 0,05$, Chi²-Test) (Tabelle 19). Gleichzeitig zeigt es aber, dass auch dort in zwei Drittel der Praxen solche Pulverstrahlgeräte Einzug erhalten haben.

Für die große Differenz der beiden Studienteilnehmer kann es verschiedene Gründe geben.

Das Gesundheitssystem der USA unterscheidet sich grundlegend vom deutschen Gesundheitssystem. Es unterscheidet eine staatliche Krankenversicherung, welche sich allerdings nur an einen begrenzten Bevölkerungskreis richtet und verschiedene

private Krankenversicherungen. Letztere werden zum Teil vom Arbeitgeber übernommen. Aufgrund der lange fehlenden und 2010 eingeführten Krankenversicherungspflicht, ist der Anteil der Unversicherten nach wie vor hoch. Zusammen mit den der hohen Kosten für medizinische Leistungen im Vergleich zu Deutschland¹²⁰, führt es dazu, dass sich viele Menschen in den USA keine adäquate medizinische Behandlung leisten können. Dieser sozioökonomische Einfluss auf die Zahngesundheit der Bevölkerung spiegelt sich auch in der Studie von Meija et al. wider. Sie untersuchten in den USA die Anzahl der kariösen Zähne, die subjektiv vom Patienten empfundene Mundgesundheit und Korrelationen zu sozioökonomischen Faktoren. Sie zeigten wenig überraschend, dass Menschen mit geringerem Einkommen eine höhere Anzahl an kariösen Zähnen und eine schlechtere Mundgesundheit haben¹²¹. Dies könnte möglicherweise dazu führen, dass das Behandlungsspektrum bei einem großen Teil der Bevölkerung auf kostengünstige therapeutische Maßnahmen gerichtet ist. Des Weiteren spielt gegebenenfalls die zahnmedizinische Prophylaxe in vielen Bevölkerungsschichten eine untergeordnete Rolle.

Als Grund, weshalb Pulverstrahlgeräte nicht verwendet werden, gaben die Befragten vor allem fehlende Indikationen an¹¹⁴. Dieses Ergebnis kann ein Indiz für die oben genannte untergeordnete Prophylaxe bei einem großen Teil der US-amerikanischen Bevölkerung sein, welche als eine der Hauptindikationen für den Einsatz von Pulverstrahlgeräten gilt.

Weitere Gründe für eine ausbleibende Verwendung von Pulverstrahlgeräten waren die hohen Kosten, fehlende Studien, die geräteschädigenden Eigenschaften und die Verschmutzung umliegender Geräte aufgrund der Aerosole.¹¹⁴

Eine weitere mögliche Ursache für die Diskrepanz zwischen dieser Studie und der Befragung in den USA könnte die verschiedenen Lehrmeinungen sein.

Außerdem können in den vorliegenden Studien statistische Fehler nicht ausgeschlossen werden, da möglicherweise ein nicht unerheblicher Anteil von niedergelassenen Zahnärzten, welche keine Pulverstrahlgeräte verwenden, nicht an der Studie teilnahmen, da es für diese nicht relevant erschien. Dieser Effekt wurde bereits als Non Response Bias beschrieben.

Weitere Studien zur Evaluation der Verbreitung von Pulverstrahlgeräten in Praxen und Kliniken liegen nicht vor.

5.4.4. Bezug zu wissenschaftlichen Studien und Empfehlungen

In diversen Studien wurde der Nutzen von Pulverstrahlgeräten zu verschiedenen Indikationen untersucht und in dieser Arbeit diskutiert. So sind sie schon seit langer Zeit zur supragingivalen Zahnreinigung empfohlen und in Gebrauch.²³ Auch subgingival konnte das Indikationsspektrum mit der Einführung von niedrigabrasiven Pulvern wie Glycin und Erythritol ausgeweitet werden. Ihre Eigenschaften sind mit den Eigenschaften einer Handkürrettage mit Scalern oder Ultraschallgeräten verglichen worden. Dabei zeigten sie eine mindestens gleichwertige Reinigungswirkung.^{14,21,30} Erhobene parodontale Indices konnten ebenso wie durch die Handinstrumentierung verbessert werden.^{19,47,50} Lediglich in tiefen Taschen können Pulverstrahlgeräte nicht empfohlen werden.^{14,20}

Die meisten Praxen scheinen dieser Studienlage zu vertrauen und verwenden Pulverstrahlgeräte. Speziell im Rahmen der Prophylaxe scheint die Studienlage die niedergelassenen Zahnärzte zu überzeugen, sodass sie fast ausnahmslos in den Praxen eingesetzt werden. Auch im Rahmen der Parodontitistherapie und der Periimplantitistherapie ist die Akzeptanz der Pulverstrahlgeräte sehr hoch. Nachdem diese mit der Entwicklung von Glycinpulvern 2003 ermöglicht wurden, werden sie nun immerhin von 67 % in der PA-Therapie und 44 % in der Periimplantitistherapie eingesetzt. Dies entspricht in einem Zeitraum von weniger als zwei Jahrzehnten einem enormen Zuwachs.

Dem gegenüber steht die Anwendung an den Unikliniken in Deutschland. Zwar werden auch dort Pulverstrahlgeräte zu allen genannten Indikationen eingesetzt, allerdings lediglich von den angestellten Mitarbeitern. Im Lehrplan der zahnmedizinischen Ausbildung scheinen Pulverstrahlgeräte, trotz der überaus positiven Studienlage, noch nicht flächendeckend verankert zu sein. Diese Diskrepanz lässt sich eventuell durch den finanziellen und bürokratischen Mehraufwand bei Neuanschaffung solcher Geräte erklären. Des Weiteren ist die Approbationsordnung seit 1955 nur unwesentlich an die moderne Zahnheilkunde und moderne Ausbildungsmodalitäten angepasst worden, was eine Umstrukturierung und Anpassung von Lehrplänen zu modernen Technologien und einer modernen Zahnheilkunde verlangsamt. Dennoch ist eine Tendenz zu einer Nutzung von Pulverstrahlgeräten durch die Studierenden erkennbar, da bereits über die Hälfte von ihnen mit solchen Geräten theoretisch vertraut werden oder sogar arbeiten und nach Angaben der Universitäten in Zukunft weitere dazukommen werden.

Hinsichtlich der verwendeten Pulver ist die weite Verbreitung von Natriumhydrogencarbonat in den Praxen hervorzuheben. Diese werden mit 63 % in wesentlich mehr Praxen verwendet als die neueren niedrigabrasiven Pulver aus Glycin (50 %), Erythritol (7 %) und Trehalose (2 %). Diese Tatsache ist dahingehend interessant, dass Natriumhydrogencarbonat aufgrund seiner oben beschriebenen abrasiven Eigenschaften ein eingeschränktes Indikationsspektrum und größeres Potential für Komplikationen besitzt als die niedrigabrasiven Pulver, welche auf allen Zahnhartsubstanzen schonend eingesetzt werden können und gleichzeitig für umliegende Gewebe ungefährlicher sind. Dieses Umfrageergebnis erscheint umso überraschender, wenn man dabei die zuvor diskutierte Annahme der Nonresponse Bias zugrunde legt, dass sich das Teilnehmerkollektiv, welches bereit war, den Fragebogen zu beantworten, zuvor bereits näher mit Pulverstrahlgeräten beschäftigte und sich mit dessen Nutzen hinsichtlich der verwendeten Pulver kritisch auseinandersetzte. Pulver auf Natriumhydrogencarbonatbasis sind länger auf dem Markt als Pulver auf Glycin- oder Erythritolbasis. Möglicherweise führen die Gewohnheit und langjährige Erfahrung der Behandler dazu, eher auf altbewährte Materialien zu setzen als auf neuere Pulver mit anderen und zu vielen Indikationen besseren Eigenschaften umzusteigen. Eventuell spielt der Patientenwunsch, welcher häufig ein Hauptaugenmerk auf die Ästhetik legt, dahingehend eine Rolle, dass für die effektive Belagsentfernung und ein somit erhofftes optisches Ergebnis auf stärker abrasive, dafür jedoch auch aggressivere Pulver zurückgegriffen wird. Des Weiteren können auch wirtschaftliche Aspekte Einfluss auf das verwendete Pulver haben. Ein Vergleich der regulären Verkaufspreise mehrerer Depots ergab, dass Pulver auf Basis von Natriumhydrogencarbonat mit einem Preis von circa 9€/100g wesentlich günstiger waren als Pulver auf Erythritolbasis (22,60 € / 100 g) und Glycinbasis (19 € / 100 g) (Stand Juli 2020).^{122,123}

Es wird interessant sein zu beobachten, wie die Entwicklung neuerer Pulver wissenschaftlich und klinisch voranschreitet und sich diese Entwicklung auf die Verbreitung der verschiedenen Pulver im klinischen Alltag auswirkt.

6. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war es, die Rolle von Pulverstrahlgeräten in deutschen Zahnarztpraxen und an Universitäten zu untersuchen und schließlich vergleichen. Evaluiert wurde hierzu die Häufigkeit der Anwendung, Indikationen, mögliche Kontraindikationen und die Art der verwendeten Pulver. Um Unterschiede zwischen verschiedenen Anwendergruppen aufzeigen zu können, wurde die untersuchte Stichprobe nach mehreren Kriterien eingeteilt. Die befragten niedergelassenen Zahnärzte wurden nach Berufserfahrung eingeteilt, wogegen an den Universitäten zwischen Angestellten und Studierenden unterschieden wurde.

Es wurden 1621 niedergelassene Zahnärzte per E-Mail kontaktiert, wovon 223 Zahnärzte (13,7 %) an der Umfrage teilnahmen. 217 Fragebögen konnten in der Auswertung berücksichtigt werden.

Von den 30 zahnmedizinischen Fakultäten in Deutschland wurden 22 ebenfalls per E-Mail kontaktiert, wovon wiederum 14 an der Umfrage teilnahmen. 10 dieser Umfragen wurden ausreichend beantwortet, sodass sie ausgewertet werden konnten. Dies entspricht nur einem kleinen Kollektiv, womit sich jedoch zumindest einige Tendenzen ableiten lassen.

Mit 211 von 217 Zahnarztpraxen (97 %) verwenden fast alle niedergelassenen Zahnärzte Pulverstrahlgeräte. Dies deckt sich mit der Verbreitung an den Universitäten. Hier werden an allen 10 teilnehmenden Universitäten Pulverstrahlgeräte von den Angestellten verwendet.

Auch die Indikationen unterscheiden sich nicht grundlegend. An beiden Einrichtungen gehören Pulverstrahlgeräte im Rahmen der Prophylaxe zum Standardrepertoire. Sowohl in den Praxen als auch an den Universitäten werden sie zu 100 % in der Prophylaxe verwendet. In der Parodontitistherapie werden sie in den Praxen mit 67 % etwas häufiger verwendet als an den Universitäten (44 %). Die dritte Hauptindikation ist umgekehrt verteilt. Im Rahmen der Periimplantitis-Therapie verwenden 44 % der Praxen Pulverstrahlgeräte, während 66 % der Universitäten sie einsetzen. Vereinzelt werden Pulverstrahlgeräte in den Zahnarztpraxen zur Vorbereitung von intraoralen Reparaturen und Zahnersatz, der Fissurenversiegelung und der Zungenreinigung verwendet.

Auffällig ist, dass die Indikationen und vor allem die Häufigkeit der Anwendung von Pulverstrahlgeräten bei niedergelassenen Zahnärzten und Angestellten der Universitäten ähnlich ist. Dagegen spielen Pulverstrahlgeräte in der Lehre eine untergeordnete Rolle. Während die Studierenden in der Theorie noch an 7 von 9 Universitäten mit solchen Geräten instruiert werden, wenden insgesamt lediglich 4 von 9 Studierende (44 %) Pulverstrahlgeräte im Phantomkurs und 3 von 9 (33 %) im Behandlungskurs am Patienten an. Insgesamt werden lediglich 5 von 9 Studierenden überhaupt mit der praktischen Handhabung vertraut.

Als Pulver werden in den Praxen vor allem das hochabrasive Natriumhydrogencarbonat (63 %) und das modernere niedrigabrasive Glycin (50 %) eingesetzt. Weitere verwendete Pulver sind Calciumcarbonat (17 %), Aluminiumhydroxid (8 %), Erythritol (7 %) und Trehalose (2 %). An den Universitäten wird vor allem Glycin verwendet (100 %). Weitere verwendete Pulver sind Natriumhydrogencarbonat (22 %) und Erythritol (22 %).

Die Berufserfahrung hatte auf die Umfrageergebnisse nur einen geringen Einfluss. So zeigte sich, dass Pulverstrahlgeräte mit zunehmender Berufserfahrung leicht häufiger in der PA-Therapie eingesetzt werden. Auch die Verwendung von Natriumhydrogencarbonat schwankte zwar unter den Altersklassen, ließ aber keine Tendenz erkennen.

Zusammenfassend zeigt diese Studie auf, dass Pulverstrahlgeräte dem wissenschaftlichen Konsens folgend sowohl in den Zahnarztpraxen als auch an den Universitäten eine immer größer werdende Rolle im Biofilmmanagement spielen. Lediglich in der zahnmedizinischen Ausbildung werden sie nicht flächendeckend in den Lehrplänen der Universitäten berücksichtigt. Allerdings ist auch hier bei den meisten Universitäten eine Tendenz zur vermehrten Nutzung solcher Geräte erkennbar.

7. Literaturverzeichnis

- 1) Meyle J, Chapple I. Molecular aspects of the pathogenesis of periodontitis. *Periodontol 2000*. 2015;69(1):7-17.
doi:10.1111/prd.12104
- 2) Sanz M, Beighton D, Curtis MA, et al. Role of microbial biofilms in the maintenance of oral health and in the development of dental caries and periodontal diseases. Consensus report of group 1 of the Joint EFP/ORCA workshop on the boundaries between caries and periodontal disease. *J Clin Periodontol*. 2017;44 Suppl 18:S5-S11.
doi:10.1111/jcpe.12682
- 3) Bordenstein SR, Theis KR (2015) Host Biology in Light of the Microbiome: Ten Principles of Holobionts and Hologenomes. *PLoS Biol* 13(8): e1002226.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002226>
- 4) Cho I, Blaser MJ. The human microbiome: at the interface of health and disease. *Nat Rev Genet*. 2012;13(4):260-270. Published 2012 Mar 13.
doi:10.1038/nrg3182
- 5) Hajishengallis G, Korostoff JM. Revisiting the Page & Schroeder model: the good, the bad and the unknowns in the periodontal host response 40 years later. *Periodontol 2000*. 2017;75(1):116-151.
doi:10.1111/prd.12181
- 6) Dr. Klaus-Dieter Bastendorf, Dr. Nadine Strafela-Bastendorf: Ein Paradigmenwechsel im Biofilmmangement. *Prophylaxe Journal* 5/2017: S. 19-22
- 7) Revolutionary Technic Described. *The Michigan Alumnus*, 12. November 1949, S. 125-126
- 8) Dr. Dieter E. A. Deußen, M.Sc., M.Sc., M.Sc., Dr. Alexander Groß: Air-Polishing – vom Power-Cleaning zum Biofilmmangement – Teil 1. *Prophylaxe Journal* 3 | 2016, S. 14
- 9) Galloway SE, Pashley DH. Rate of removal of root structure by the use of the Prophy-Jet device. *J Periodontol*. 1987;58(7):464-469.
doi:10.1902/jop.1987.58.7.464

- 10) Weaks LM, Lescher NB, Barnes CM, Holroyd SV. Clinical evaluation of the Prophy-Jet as an instrument for routine removal of tooth stain and plaque. *J Periodontol.* 1984;55(8):486-488.
doi:10.1902/jop.1984.55.8.486
- 11) Mishkin DJ, Engler WO, Javed T, Darby TD, Cobb RL, Coffman MA. A clinical comparison of the effect on the gingiva of the Prophy-Jet and the rubber cup and paste techniques. *J Periodontol.* 1986;57(3):151-154.
doi:10.1902/jop.1986.57.3.151
- 12) Petersilka GJ, Bell M, Häberlein I, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. In vitro evaluation of novel low abrasive air polishing powders. *J Clin Periodontol.* 2003;30(1):9-13.
doi:10.1034/j.1600-051x.2003.300102.x
- 13) Petersilka G, Faggion CM Jr, Stratmann U, et al. Effect of glycine powder air-polishing on the gingiva. *J Clin Periodontol.* 2008;35(4):324-332.
doi:10.1111/j.1600-051X.2007.01195.x
- 14) Flemmig TF, Hetzel M, Topoll H, Gerss J, Haeberlein I, Petersilka G. Subgingival debridement efficacy of glycine powder air polishing. *J Periodontol.* 2007;78(6):1002-1010.
doi:10.1902/jop.2007.060420
- 15) Flemmig TF, Petersilka GJ, Mehl A, Rüdiger S, Hickel R, Klaiber B. Working parameters of a sonic scaler influencing root substance removal in vitro. *Clin Oral Investig.* 1997;1(2):55-60.
doi:10.1007/s007840050011
- 16) Flemmig TF, Petersilka GJ, Mehl A, Hickel R, Klaiber B. Working parameters of a magnetostrictive ultrasonic scaler influencing root substance removal in vitro. *J Periodontol.* 1998;69(5):547-553.
doi:10.1902/jop.1998.69.5.547
- 17) Flemmig TF, Petersilka GJ, Mehl A, Hickel R, Klaiber B. The effect of working parameters on root substance removal using a piezoelectric ultrasonic scaler in vitro. *J Clin Periodontol.* 1998;25(2):158-163.
doi:10.1111/j.1600-051x.1998.tb02422.x
- 18) Zappa U, Smith B, Simona C, Graf H, Case D, Kim W. Root substance removal by scaling and root planing. *J Periodontol.* 1991;62(12):750-754.
doi:10.1902/jop.1991.62.12.750

- 19) Müller N, Moëne R, Cancela JA, Mombelli A. Subgingival air-polishing with erythritol during periodontal maintenance: randomized clinical trial of twelve months. *J Clin Periodontol.* 2014;41(9):883-889.
doi:10.1111/jcpe.12289
- 20) Moëne R, Décaillet F, Mombelli A. L'aéro-polissage sous-gingival: Nouvelles perspectives pour le maintien parodontal? [Subgingivales Airpolishing: Neue Perspektiven für die parodontale Erhaltungsphase]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 2010;120(10):891-911.
- 21) Petersilka GJ, Steinmann D, Häberlein I, Heinecke A, Flemmig TF. Subgingival plaque removal in buccal and lingual sites using a novel low abrasive air-polishing powder. *J Clin Periodontol.* 2003;30(4):328-333.
doi:10.1034/j.1600-051x.2003.00290.x
- 22) Petersilka G, Panitz W, Weresch R, Eichinger M, Kern U. Luftemphyseme im Rahmen der Parodontitistherapie, Eine Fallserie mit kritischer Literaturübersicht. Quintessenz Verlag, Parodontologie 21 (2010), Nr. 2: 165-175
- 23) Willmann DE, Norling BK, Johnson WN. A new prophylaxis instrument: effect on enamel alterations. *J Am Dent Assoc.* 1980;101(6):923-925.
doi:10.14219/jada.archive.1980.0458
- 24) Strand GV, Raadal M. The efficiency of cleaning fissures with an air-polishing instrument. *Acta Odontol Scand.* 1988;46(2):113-117.
doi:10.3109/00016358809004756
- 25) Berkstein S, Reiff RL, McKinney JF, Killoy WJ. Supragingival root surface removal during maintenance procedures utilizing an air-powder abrasive system or hand scaling. An in vitro study. *J Periodontol.* 1987;58(5):327-330.
doi:10.1902/jop.1987.58.5.327
- 26) Atkinson DR, Cobb CM, Killoy WJ. The effect of an air-powder abrasive system on in vitro root surfaces. *J Periodontol.* 1984;55(1):13-18.
doi:10.1902/jop.1984.55.1.13
- 27) Kontturi-Närhi V, Markkanen S, Markkanen H. The gingival effects of dental airpolishing as evaluated by scanning electron microscopy. *J Periodontol.* 1989;60(1):19-22.
doi:10.1902/jop.1989.60.1.19

- 28) Kozlovsky A, Artzi Z, Nemcovsky CE, Hirshberg A. Effect of air-polishing devices on the gingiva: histologic study in the canine. *J Clin Periodontol.* 2005;32(4):329-334.
doi:10.1111/j.1600-051X.2005.00678.x
- 29) Momber, Andreas W., Kovacevic, Radovan. Principles of Abrasive Water Jet Machining. Springer Verlag 1998, ISBN: 978-1-4471-1572-4
- 30) Petersilka GJ, Tunkel J, Barakos K, Heinecke A, Häberlein I, Flemmig TF. Subgingival plaque removal at interdental sites using a low-abrasive air polishing powder. *J Periodontol.* 2003;74(3):307-311.
doi:10.1902/jop.2003.74.3.307
- 31) Petersilka GJ. Subgingival air-polishing in the treatment of periodontal biofilm infections. *Periodontol 2000.* 2011;55(1):124-142.
doi:10.1111/j.1600-0757.2010.00342.x
- 32) Petersilka GJ, Schenck U, Flemmig TF. Powder emission rates of four air polishing devices. *J Clin Periodontol.* 2002;29(8):694-698.
doi:10.1034/j.1600-051x.2002.290805.x
- 33) Herstellerangaben E.M.S. Electro Medical Systems S.A, Nyon, Schweiz, von: <https://www.ems-dental.com/de/products-overview/air-flow-powder-classic-new-formula> (abgerufen am 22.08.2020)
- 34) Darby M, Walsh M. Management of Extrinsic and Intrinsic Stains. *Dental Hygiene Theory and Practice*, ed 3. St. Louis. Elsevier Saunders, 2010: 513-514
- 35) Neidhardt A. Wer die Wahl hat – neue Prophylaxepulver für Pulverstrahlgeräte. *Dentalhygiene Journal* 2/2003: 26-28
- 36) Brocklehurst PR, Joshi RI, Northeast SE. The effect of air-polishing occlusal surfaces on the penetration of fissures by a sealant. *Int J Paediatr Dent.* 1992;2(3):157-162.
doi:10.1111/j.1365-263x.1992.tb00029.x
- 37) Gerbo LR, Barnes CM, Leinfelder KF. Applications of the air-powder polisher in clinical orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103(1):71-73.
doi:10.1016/0889-5406(93)70109-2
- 38) Weber W. Zusammenfassung der Befunde über die Morphologie der PROPHYpearls, ihre Anwendung auf Dentin und Schmelz, die Inhaltsstoffe vor und nach Anwendung auf Oberflächen. Gutachten für KaVo Dental GmbH. 2003

- 39) Fratolin MM, Bianco VC, Santos MJ, Rizkalla AS, Santos GC Jr. The effect of prophylactic powders on the surface roughness of enamel. *Compend Contin Educ Dent.* 2014;35(9):e31-e35.
- 40) Pelka M, Trautmann S, Petschelt A, Lohbauer U. Influence of air-polishing devices and abrasives on root dentin-an in vitro confocal laser scanning microscope study. *Quintessence Int.* 2010;41(7):e141-e148.
- 41) Frankenberger R, Lohbauer U, Tay FR, Taschner M, Nikolaenko SA. The effect of different air-polishing powders on dentin bonding [published correction appears in J Adhes Dent. 2007 Oct;9(5):442]. *J Adhes Dent.* 2007;9(4):381-389.
- 42) Rosenplenter K, Nöhle U. Handbuch Süßungsmittel. 2. Auflage, Behr's Verlag, 2007, ISBN 978-3-89947-262-2, S. 431.
- 43) Ishikawa M, Miyashita M, Kawashima Y, Nakamura T, Saitou N, Modderman J. Effects of oral administration of erythritol on patients with diabetes. *Regul Toxicol Pharmacol.* 1996;24(2 Pt 2):S303-S308.
doi:10.1006/rtph.1996.0112
- 44) Bastendorf KD. Erhaltungstherapie: Niedrigabrasives Pulver auf Erythritol-Basis. ZWP 7+8/15, 11.12.2015
- 45) Mäkinen KK, Saag M, Isotupa KP, et al. Similarity of the effects of erythritol and xylitol on some risk factors of dental caries. *Caries Res.* 2005;39(3):207-215.
doi:10.1159/000084800
- 46) Hashino E, Kuboniwa M, Alghamdi SA, et al. Erythritol alters microstructure and metabolomic profiles of biofilm composed of *Streptococcus gordonii* and *Porphyromonas gingivalis*. *Mol Oral Microbiol.* 2013;28(6):435-451.
doi:10.1111/omi.12037
- 47) Hägi TT, Hofmänner P, Eick S, et al. The effects of erythritol air-polishing powder on microbiologic and clinical outcomes during supportive periodontal therapy: Six-month results of a randomized controlled clinical trial. *Quintessence Int.* 2015;46(1):31-41.
doi:10.3290/j.qi.a32817
- 48) Drago L, Del Fabbro M, Bortolin M, Vassena C, De Vecchi E, Taschieri S. Biofilm removal and antimicrobial activity of two different air-polishing powders: an in vitro study. *J Periodontol.* 2014;85(11):e363-e369.
doi:10.1902/jop.2014.140134

- 49) Mensi M, Cochis A, Sordillo A, Uberti F, Rimondini L. Biofilm Removal and Bacterial Re-Colonization Inhibition of a Novel Erythritol/Chlorhexidine Air-Polishing Powder on Titanium Disks. *Materials (Basel)*. 2018;11(9):1510. Published 2018 Aug 23.
doi:10.3390/ma11091510
- 50) Hägi TT, Hofmänner P, Salvi GE, Ramseier CA, Sculean A. Clinical outcomes following subgingival application of a novel erythritol powder by means of air polishing in supportive periodontal therapy: a randomized, controlled clinical study. *Quintessence Int*. 2013;44(10):753-761.
doi:10.3290/j.qi.a30606
- 51) Tocha J, Jung M, Rickert M. Die In-Vitro-Auswirkungen konventioneller und experimenteller Pulverstrahlapplikationen auf Komposit-, Dentin- und Schmelzoberflächen. Universität Gießen, 2013
- 52) Barnes CM, Covey D, Watanabe H, Simentich B. An In Vitro Comparison of the Effects of Various Air Polishing Powders on Enamel and Selected Esthetic Restorative Materials. *J Clin Dent* 2014;25:76–87
- 53) Anwendungsempfehlung für AIRFLOW® Prophylaxis Master und AIRFLOW® One. EMS Schweiz 2018, von:
<https://www.ems-dental.com/de/products/airflow-prophylaxis-master> (abgerufen am 22.08.2020)
- 54) Schmidt KE, Auschill TM, Heumann C, et al. Clinical and laboratory evaluation of the effects of different treatment modalities on titanium healing caps: a randomized, controlled clinical trial. *Clin Oral Investig*. 2018;22(6):2149-2160.
doi:10.1007/s00784-017-2287-8
- 55) Neta T, Takada K, Hirasawa M. Low-cariogenicity of trehalose as a substrate. *J Dent*. 2000;28(8):571-576.
doi:10.1016/s0300-5712(00)00038-5.
- 56) Gebrauchsanweisung Dürr Lunos Perio Combi, Dürr Dental SE, Bietigheim-Bissingen, 2019, von:
<https://www.duerrdental.com/produkte/zahnerhaltung/verbrauchsmaterial/prophylaxepulver/lunos-prophylaxepulver-perio-combi/> (abgerufen am 22.08.2020)
- 57) Morawietz M, Sarembe S, Kiesow A. Evaluation of stain removal using different air-polishing powders. DG PARO-Jahrestagung 2017, Dresden, Posterpräsentationen, Poster 16

- 58) Kruse AB, Akakpo DL, Maamar R, et al. Trehalose powder for subgingival air-polishing during periodontal maintenance therapy: A randomized controlled trial. *J Periodontol.* 2019;90(3):263-270.
doi:10.1002/JPER.17-0403
- 59) Herstellerangaben Hager & Werken GmbH, Duisburg, 2020, von: https://www.hagerwerken.de/katalog/zahnarzt/geraete_zubehoer_pra/cavitron/cavitron-jet-fresh/ (abgerufen am 22.08.2020)
- 60) Salim Rayman, Elvir Dincer: Air Polishing. Dental Tribune Middle East & Africa Edition. July - August 2013, No 4, Vol 2:8-9
- 61) Johnson WW, Barnes CM, Covey DA, Walker MP, Ross JA. The effects of a commercial aluminum airpolishing powder on dental restorative materials. *J Prosthodont.* 2004;13(3):166-172.
doi:10.1111/j.1532-849X.2004.04026.x
- 62) Barnes CM. An In-Depth Look at Air Polishing. *Dimensions of Dental Hygiene* (March 2010) 8(3): 32, 34-36, 40
- 63) Gebrauchsanweisung RONDOflex 360 - 1.002.2179, KaVo Dental GmbH, Biberach, S 7, von: <https://www.kavo.com/de-de/dental-instrumente/rondoflex-plus-360-spezial-instrumente#docs> (abgerufen am 23.08.2020)
- 64) Engelberg D. Das Hydro-Air-Abrasionsverfahren, Teil 2. *ZWP* 11/2005: 82-86
- 65) Kajihara H, Suzuki S, Minesaki Y, et al. The effects of air-abrasion on dentin, enamel, and metal bonding. *American Journal of Dentistry* 2004; 17:161–4
- 66) Canay S, Kocadereli I, Ak"ca E. The effect of enamel air abrasion on the retention of bonded metallic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000;117(1):15-19.
doi:10.1016/s0889-5406(00)70243-5
- 67) Cobb DS, Vargas MA, Fridrich TA, Bouschlicher MR. Metal surface treatment: characterization and effect on composite-to-metal bond strength. *Oper Dent.* 2000;25(5):427-433.
- 68) Oztas N, Alaçam A, Bardakçy Y. The effect of air abrasion with two new bonding agents on composite repair. *Oper Dent.* 2003;28(2):149-154.
- 69) Lucena-Martin C, Gonzalez-Lopez S, Navajas-Rodriguez de Mondelo J M: The effect of various surface treatments and bonding agents on the repaired strength of heat-treated composites. *Journal of Prosthetic Dentistry* 2001; 86:481– 8

- 70) Vande Velde F, Adriaens P, De Boever J. Klinische, histologische en scanning elektronenmicroscopische evaluatie van het gebruik van de Prophy-Jet in vivo en in vitro [Clinical, histological and scanning electron microscopy evaluation of the Prophy-Jet in vivo and in vitro]. *Rev Belge Med Dent.* 1982;37(4):153-157.
- 71) Kaur G, Grover V, Malhotra R, Kapoor A. Comparative evaluation of gingival trauma by Prophy-Jet and rubber-cup polishing techniques using aluminium trihydroxide. *Indian J Dent.* 2015;6(3):130-134.
doi:10.4103/0975-962X.163041
- 72) Simon CJ, Munivenkatappa Lakshmaiah Venkatesh P, Chickanna R. Efficacy of glycine powder air polishing in comparison with sodium bicarbonate air polishing and ultrasonic scaling - a double-blind clinico-histopathologic study. *Int J Dent Hyg.* 2015;13(3):177-183.
doi:10.1111/idh.12133
- 73) Pippin DJ, Crooks WE, Barker BF, Walters PL, Killoy WJ. Effects of an air-powder abrasive device used during periodontal flap surgery in dogs. *J Periodontol.* 1988;59(9):584-588.
doi:10.1902/jop.1988.59.9.584
- 74) De Siena F, Corbella S, Taschieri S, Del Fabbro M, Francetti L. Adjunctive glycine powder air-polishing for the treatment of peri-implant mucositis: an observational clinical trial. *Int J Dent Hyg.* 2015;13(3):170-176.
doi:10.1111/idh.12114
- 75) Lupi SM, Granati M, Butera A, Collesano V, Rodriguez Y Baena R. Air-abrasive debridement with glycine powder versus manual debridement and chlorhexidine administration for the maintenance of peri-implant health status: a six-month randomized clinical trial. *Int J Dent Hyg.* 2017;15(4):287-294.
doi:10.1111/idh.12206
- 76) Zhao Y, He L, Meng H: Clinical observation of glycine powder air-polishing during periodontal maintenance phase. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2015 Sep;50(9):544-7.
- 77) Zhao YB, Jin DSS, He L, Meng HX: Preliminary study of subgingival microorganism changes after glycine powder air-polishing treatment during periodontal maintenance phase. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2017 Jul 9;52(7):410-414.

- 78) Riben-Grundstrom C, Norderyd O, André U, Renvert S. Treatment of peri-implant mucositis using a glycine powder air-polishing or ultrasonic device: a randomized clinical trial. *J Clin Periodontol.* 2015;42(5):462-469.
doi:10.1111/jcpe.12395
- 79) Caygur A, Albaba MR, Berberoglu A, Yilmaz HG. Efficacy of glycine powder air-polishing combined with scaling and root planing in the treatment of periodontitis and halitosis: A randomised clinical study. *J Int Med Res.* 2017;45(3):1168-1174.
doi:10.1177/0300060517705540.
- 80) Ji YJ, Tang ZH, Wang R, Cao J, Cao CF, Jin LJ. Effect of glycine powder air-polishing as an adjunct in the treatment of peri-implant mucositis: a pilot clinical trial. *Clin Oral Implants Res.* 2014;25(6):683-689.
doi:10.1111/clr.12123
- 81) Hülsmann, M: Checklisten der Zahnmedizin – Endodontie. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 2008: 19-23, ISBN: 9783131382511
- 82) Bester SP, de Wet FA, Nel JC, Driessen CH. The effect of airborne particle abrasion on the dentin smear layer and dentin: an in vitro investigation. *Int J Prosthodont.* 1995;8(1):46-50.
- 83) Tada K, Kakuta K, Ogura H, Sato S. Effect of particle diameter on air polishing of dentin surfaces. *Odontology.* 2010;98(1):31-36.
doi:10.1007/s10266-009-0113-8
- 84) Tada K, Wiroj S, Inatomi M, Sato S. The characterization of dentin defects produced by air polishing. *Odontology.* 2012;100(1):41-46.
doi:10.1007/s10266-011-0019-0
- 85) Horning GM, Cobb CM, Killoy WJ. Effect of an air-powder abrasive system on root surfaces in periodontal surgery. *J Clin Periodontol.* 1987;14(4):213-220.
doi:10.1111/j.1600-051x.1987.tb00969.x
- 86) Bühler J, Schmidli F, Weiger R, Walter C. Analysis of the effects of air polishing powders containing sodium bicarbonate and glycine on human teeth. *Clin Oral Investig.* 2015;19(4):877-885.
doi:10.1007/s00784-014-1317-z
- 87) Sahrman P, Ronay V, Schmidlin PR, Attin T, Paqué F. Three-dimensional defect evaluation of air polishing on extracted human roots. *J Periodontol.* 2014;85(8):1107-1114.
doi:10.1902/jop.2014.130629

- 88) Petersilka GJ, Bell M, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. Root defects following air polishing. *J Clin Periodontol*. 2003;30(2):165-170.
doi:10.1034/j.1600-051x.2003.300204.x
- 89) Cochis A, Fini M, Carrassi A, Migliario M, Visai L, Rimondini L. Effect of air polishing with glycine powder on titanium abutment surfaces. *Clin Oral Implants Res*. 2013;24(8):904-909.
doi:10.1111/j.1600-0501.2012.02490.x
- 90) Reinhardt B, Klocke A, Neering SH, et al. Microbiological dynamics of red complex bacteria following full-mouth air polishing in periodontally healthy subjects- a randomized clinical pilot study. *Clin Oral Investig*. 2019;23(10):3905-3914.
doi:10.1007/s00784-019-02821-3
- 91) Cooley RL, Lubow RM, Patrissi GA. The effect of an air-powder abrasive instrument on composite resin. *J Am Dent Assoc*. 1986;112(3):362-364.
doi:10.1016/s0002-8177(86)23018-4
- 92) Eliades GC, Tzoutzas JG, Vougiouklakis GJ. Surface alterations on dental restorative materials subjected to an air-powder abrasive instrument. *J Prosthet Dent*. 1991;65(1):27-33.
doi:10.1016/0022-3913(91)90042-u
- 93) Yap AU, Wu SS, Chelvan S, Tan ES. Effect of hygiene maintenance procedures on surface roughness of composite restoratives. *Oper Dent*. 2005;30(1):99-104.
- 94) Güler A, Ibrahim D, Pelin O: Effects of air polishing powders on the surface roughness of composite resins. *Journal of dental sciences* 5(3), Sept 2010:136–143
- 95) Shimizu Y, Tada K, Seki H, et al. Effects of air polishing on the resin composite-dentin interface. *Odontology*. 2014;102(2):279-283.
doi:10.1007/s10266-013-0111-8
- 96) Giacomelli L, Salerno M, Derchi G, Genovesi A, Paganin PP, Covani U. Effect of air polishing with glycine and bicarbonate powders on a nanocomposite used in dental restorations: an in vitro study. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2011;31(5):e51-e56.
- 97) Salerno M, Giacomelli L, Derchi G, Patra N, Diaspro A. Atomic force microscopy in vitro study of surface roughness and fractal character of a dental restoration composite after air-polishing. *Biomed Eng Online*. 2010;9:59. Published 2010 Oct 12.
doi:10.1186/1475-925X-9-59

- 98) Pelka MA, Altmaier K, Petschelt A, Lohbauer U. The effect of air-polishing abrasives on wear of direct restoration materials and sealants. *J Am Dent Assoc.* 2010;141(1):63-70.
doi:10.14219/jada.archive.2010.0022
- 99) Carr MP, Mitchell JC, Seghi RR, Vermilyea SG. The effect of air polishing on contemporary esthetic restorative materials. *Gen Dent.* 2002;50(3):238-241.
- 100) Finke CH, Radlanski RJ, Gawlik D, et al. In vitro abrasion using an air-powder polishing device and its quantification by radiotracer measurement [published correction appears in *Dent Mater* 1999 Nov;15(6):456]. *Dent Mater.* 1999;15(3):180-184.
doi:10.1016/s0109-5641(99)00030-5
- 101) Cooley RL, Brown FH, Stoffers KW. Effect of air-powder abrasive spray on glass ionomers. *Am J Dent.* 1988;1(5):209-213.
- 102) Lubow RM, Cooley RL. Effect of air-powder abrasive instrument on restorative materials. *J Prosthet Dent.* 1986;55(4):462-465.
doi:10.1016/0022-3913(86)90177-0
- 103) Tamura Y, Takamizawa T, Shimamura Y, et al. Influence of air-powder polishing on bond strength and surface-free energy of universal adhesive systems. *Dent Mater J.* 2017;36(6):762-769.
doi:10.4012/dmj.2016-185
- 104) Hetz, G: Prophylaxe-Pulverstrahlgeräte und Sandstrahler. Dental Observer, München 2009 Feb 22, von:
<https://www.dental-observer.de/prophylaxe-pulverstrahlgeraete-und-sandstrahler-risiko-oder-nutzen/> (abgerufen am 22.08.2020)
- 105) Nikaido T, Yamada T, Koh Y, Burrow MF, Takatsu T. Effect of air-powder polishing on adhesion of bonding systems to tooth substrates. *Dent Mater.* 1995;11(4):258-264.
doi:10.1016/0109-5641(95)80059-X
- 106) Logothetis DD, Martinez-Welles JM. Reducing bacterial aerosol contamination with a chlorhexidine gluconate pre-rinse. *J Am Dent Assoc.* 1995;126(12):1634-1639.
doi:10.14219/jada.archive.1995.0111
- 107) Cottone JA, Molinari JA. State-of-the-art infection control in dentistry. *J Am Dent Assoc.* 1991;122(8):33-41.
doi:10.14219/jada.archive.1991.0254

- 108) Benutzerhandbuch AIR-N-GO® easy, Version J10123 V2, 03/2015, Acteon Germany GmbH
- 109) Barnes CM. The management of aerosols with airpolishing delivery systems. *J Dent Hyg.* 1991;65(6):280-282.
- 110) LM Pro Power CombiLED Bedienungsanleitung, 2014, LM-Instruments, Finnland, von:
http://publications.lm-dental.com/LM-Dental/Manuals%20and%20instructions/LM%20ProPower%20CombiLED%20manual_de.pdf (abgerufen am 22.08.2020)
- 111) Statistisches Bundesamt: Kreisfreie Städte und Landkreise nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte. Destatis, Stand 31.12.2015, von:
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/04-kreise.html> (abgerufen am 02.01.2018)
- 112) Bundeszahnärztekammer: Altersverteilung. Dez 2018, von:
<https://www.bzaek.de/ueber-uns/daten-und-zahlen/mitgliederstatistik/altersverteilung/> (abgerufen am 22.08.2020)
- 113) Statistisches Bundesamt: Bildung und Kultur, Prüfungen an Hochschulen. Destatis, Aug 2018, Fachserie 11, Reihe 4.2, PJ 2017, von:
https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Hochschulen/Publikationen/Downloads-Hochschulen/pruefungen-hochschulen-2110420177004.pdf?__blob=publicationFile&v=4
(abgerufen am 22.04.2019)
- 114) Mark Hartley: RDH: Survey examines usage o fair polishing units. *DentistryIQ*, Jan 2015, von:
<https://www.dentistryiq.com/dental-hygiene/clinical-hygiene/article/16349783/rdh-survey-examines-usage-of-air-polishing-units> (abgerufen am 22.08.2020)
- 115) Hardigan PC, Succar CT, Fleisher JM. An analysis of response rate and economic costs between mail and web-based surveys among practicing dentists: a randomized trial. *J Community Health.* 2012;37(2):383-394.
doi:10.1007/s10900-011-9455-6
- 116) Hardigan PC, Popovici I, Carvajal MJ. Response rate, response time, and economic costs of survey research: A randomized trial of practicing pharmacists. *Res Social Adm Pharm.* 2016;12(1):141-148.
doi:10.1016/j.sapharm.2015.07.003

- 117) Scott A, Jeon SH, Joyce CM, et al. A randomised trial and economic evaluation of the effect of response mode on response rate, response bias, and item non-response in a survey of doctors. *BMC Med Res Methodol.* 2011;11:126. Published 2011 Sep 5.
doi:10.1186/1471-2288-11-126
- 118) Koch A, Blohm M: Nonresponse Bias. Mannheim, (2015) GESIS Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften (GESIS Survey Guidelines). DOI: 10.15465/gesis-sg_004
- 119) Peytchev, A., Riley, S., Rosen, J., Murphy, J., & Lindblad, M. (2010). Reduction of Nonresponse Bias through Case Prioritization. *Survey Research Methods*, 4(1), 21-29.
doi.org/10.18148/srm/2010.v4i1.3037
- 120) ärzteblatt.de: Warum das US-Gesundheitssystem so teuer ist. 15. März 2018, von:
[https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/91828/Warum-das-US-Gesundheitssystem-so-teuer-ist#:~:text=Medizinische%20Leistungen%20kosten%20deutlich%20mehr,667%20US%2DDollar%20in%20Deutschland.&text=%C3%84rzte%20\(und%20Krankenschwestern\)%20verdienen%20in,als%20in%20den%20anderen%20L%C3%A4ndern](https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/91828/Warum-das-US-Gesundheitssystem-so-teuer-ist#:~:text=Medizinische%20Leistungen%20kosten%20deutlich%20mehr,667%20US%2DDollar%20in%20Deutschland.&text=%C3%84rzte%20(und%20Krankenschwestern)%20verdienen%20in,als%20in%20den%20anderen%20L%C3%A4ndern).
(abgerufen am 12.09.2020)
- 121) Mejia GC, Elani HW, Harper S *et al.*: Socioeconomic status, oral health and dental disease in Australia, Canada, New Zealand and the United States. *BMC Oral Health* 18, 176 (2018).
<https://doi.org/10.1186/s12903-018-0630-3>
- 122) Online-Shop Altschul Dental GmbH, von:
https://altschul.easyscan.dental-union.de/index.php/locale:de_DE/portal
(abgerufen am 20.06.2020)
- 123) Online-Shop Henry Schein Dental Deutschland GmbH, von:
https://www.henryschein-dental.de/dental/onlineshop-home.aspx?sc_lang=de-de&hssc=1 (abgerufen am 20.06.2020)

8. Anhang

8.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der kontaktierten Kreise/Landkreise/Kreisfreie Städte

Kreis/Landkreis	Name	Bundesland
Landkreis	Peine	Niedersachsen
Landkreis	Celle ²⁾	Niedersachsen
Landkreis	Lüchow-Dannenberg ²⁾	Niedersachsen
Kreisfreie Stadt	Emden, Stadt ²⁾	Niedersachsen
Landkreis	Ammerland	Niedersachsen
Landkreis	Oldenburg	Niedersachsen
Kreisfreie Stadt	Wuppertal, Stadt	Nordrhein-Westfalen
Kreisfreie Stadt	Bonn, Stadt	Nordrhein-Westfalen
Kreis	Rhein-Erft-Kreis	Nordrhein-Westfalen
Kreis	Euskirchen	Nordrhein-Westfalen
Kreis	Gütersloh	Nordrhein-Westfalen
Kreisfreie Stadt	Wiesbaden, Landeshauptstadt	Hessen
Landkreis	Werra-Meißner-Kreis	Hessen
Kreisfreie Stadt	Trier, kreisfreie Stadt	Rheinland-Pfalz
Kreisfreie Stadt	Worms, kreisfreie Stadt	Rheinland-Pfalz
Stadtkreis	Stuttgart, Stadtkreis	Baden-Württemberg
Landkreis	Heilbronn	Baden-Württemberg
Landkreis	Rhein-Neckar-Kreis	Baden-Württemberg
Landkreis	Zollernalbkreis	Baden-Württemberg
Landkreis	Lichtenfels	Bayern
Landkreis	Erlangen-Höchstadt	Bayern
Landkreis	Weißenburg-Gunzenhausen	Bayern
Landkreis	Bad Kissingen	Bayern
Landkreis	Saarpfalz-Kreis	Saarland
Landkreis	Märkisch-Oderland	Brandenburg
Landkreis	Ludwigslust-Parchim	Mecklenburg-Vorpommern
Landkreis	Meißen	Sachsen
Kreisfreie Stadt	Weimar, Stadt	Thüringen
Landkreis	Saalfeld-Rudolstadt	Thüringen

Tabelle 2: Liste der kontaktierten Universitäten

Universität		Bundesland
Universitätsklinikum	Bonn	Nordrhein-Westfalen
Universitätsklinikum	Erlangen	Bayern
Universitätsklinikum	Freiburg	Baden-Württemberg
Universitätsklinikum	Halle (Saale)	Sachsen-Anhalt
Universitätsmedizin	Göttingen	Niedersachsen
Universitätsklinikum	Hamburg - Eppendorf	Hamburg
Universitätsklinikum	Jena	Thüringen
Universitätsklinikum	Köln	Nordrhein-Westfalen
Klinikum der Universität	München	Bayern
Universitätsklinikum	Münster	Nordrhein-Westfalen
Universitätsklinikum	Regensburg	Bayern
Philipps Universität	Marburg	Hessen
Universitätsklinik	Mainz	Rheinland-Pfalz
Universitätsklinikum	Würzburg	Bayern
Universitätsklinikum	Düsseldorf	Nordrhein-Westfalen
Universitätsklinikum	Heidelberg	Baden-Württemberg
Universitätsklinikum	Kiel	Schleswig-Holstein
Universitätsklinikum	Leipzig	Sachsen
Universitätsklinikum	Ulm	Baden-Württemberg
Universitätsklinikum	Tübingen	Baden-Württemberg
Klinikum der Universität	Saarbrücken	Saarland

8.2. Kreuztabellen und Chi²-Analyse/Fisher-Test

Tabelle 3: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Einsatz in der PA-Therapie

		< 5 Jahre	5 - 10 Jahre	11 - 20 Jahre	> 20 Jahre	Gesamt
Ja	Anzahl	2	6	32	92	132
	Erwartete Anzahl	4,64	11,94	31,18	84,24	132,00
Nein	Anzahl	5	12	15	35	67
	Erwartete Anzahl	2,36	6,06	15,82	42,76	67,00
Gesamt		7	18	47	127	199

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,002
alpha 0,05

Tabelle 4: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Einsatz in der Periimplantitistherapie

		< 5 Jahre	5 - 10 Jahre	11 - 20 Jahre	> 20 Jahre	Gesamt
Ja	Anzahl	1	5	25	59	90
	Erwartete Anzahl	3,17	8,14	21,26	57,44	90,00
Nein	Anzahl	6	13	22	68	109
	Erwartete Anzahl	3,83	9,86	25,74	69,56	109,00
Gesamt		7	18	47	127	199

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,109
alpha 0,05

Tabelle 5: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Glycin

		< 5 Jahre	5 - 10 Jahre	11 - 20 Jahre	> 20 Jahre	Gesamt
Ja	Anzahl	2	9	27	62	100
	Erwartete Anzahl	3,54	9,09	23,23	64,14	100,00
Nein	Anzahl	5	9	19	65	98
	Erwartete Anzahl	3,46	8,91	22,77	62,86	98,00
Gesamt		7	18	46	127	198

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,441
alpha 0,05

Tabelle 6: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Calciumcarbonat

		< 5 Jahre	5 - 10 Jahre	11 - 20 Jahre	> 20 Jahre	Gesamt
Ja	Anzahl	2	2	6	26	36
	Erwartete Anzahl	1,27	3,27	8,36	23,09	36,00
Nein	Anzahl	5	16	40	101	162
	Erwartete Anzahl	5,73	14,73	37,64	103,91	162,00
Gesamt		7	18	46	127	198

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,491
alpha 0,05

Tabelle 7: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Aluminiumhydroxid

		< 5 Jahre	5 - 10 Jahre	11 - 20 Jahre	> 20 Jahre	Gesamt
Ja	Anzahl	0	2	2	12	16
	Erwartete Anzahl	0,57	1,45	3,72	10,26	16,00
Nein	Anzahl	7	16	44	115	182
	Erwartete Anzahl	6,43	16,55	42,28	116,74	182,00
Gesamt		7	18	46	127	198

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,670
alpha 0,05

Tabelle 8: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Natriumhydrogencarbonat in Praxen

		< 5 Jahre	5 - 10 Jahre	11 - 20 Jahre	> 20 Jahre	Gesamt
Ja	Anzahl	2	12	23	89	126
	Erwartete Anzahl	4,45	11,45	29,27	80,82	126,00
Nein	Anzahl	5	6	23	38	72
	Erwartete Anzahl	2,55	6,55	16,73	46,18	72,00
Gesamt		7	18	46	127	198

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,019
alpha 0,05

Tabelle 9: Kreuztabelle über Zusammenhang von Berufserfahrung und Verwendung von Erythritol

		< 5 Jahre	5 - 10 Jahre	11 - 20 Jahre	> 20 Jahre	Gesamt
Ja	Anzahl	2	2	5	6	15
	Erwartete Anzahl	0,530	1,364	3,485	9,621	15,000
Nein	Anzahl	5	16	41	121	183
	Erwartete Anzahl	6,470	16,636	42,515	117,379	183,000
Gesamt		7	18	46	127	198

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,050
alpha 0,05

Tabelle 10: Kreuztabelle zum Vergleich der Berufserfahrung von Umfrageteilnehmern zum Gesamtkollektiv

Die Zahnärzte in Deutschland wurden anhand ihres Geburtsjahres, ihrem Alter (Stand 2018)(120) und dem durchschnittlichen Absolventenalter von 25 Jahren (121) in die verschiedenen Gruppen eingeteilt.

		< 5 Jahre	5 - 10 Jahre	11 - 20 Jahre	> 20 Jahre	Gesamt
Studie	Anzahl	7	18	49	130	204
	Erwartete Anzahl	14,02	25,61	42,08	122,29	204,00
Deutschland	Anzahl	4935	9013	14790	42989	71727
	Erwartete Anzahl	4928,00	9005,39	14796,92	42996,71	71727,00
Gesamt		4942	9031	14839	43119	71931

Chi-Quadrat (Beobachteter Wert) 7,415
Chi-Quadrat (Kritischer Wert) 7,815
FG 3
p-Wert 0,061
alpha 0,05

Tabelle 11: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung von Pulverstrahlgeräten in Zahnarztpraxen und an Universitäten

		Universitäten	Praxen	Gesamt
Ja	Anzahl	10	211	221
	Erwartete Anzahl	9,74	211,26	221,00
Nein	Anzahl	0	6	6
	Erwartete Anzahl	0,26	5,74	6,00
Gesamt		10	217	227

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 1,000
alpha 0,05

Tabelle 12: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung bei PA-Therapie in Zahnarztpraxen und an Universitäten

		Universitäten	Praxen	Gesamt
Ja	Anzahl	4	139	143
	Erwartete Anzahl	5,904	137,096	143,000
Nein	Anzahl	5	70	75
	Erwartete Anzahl	3,096	71,904	75,000
Gesamt		9	209	218

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,280
alpha 0,05

Tabelle 13: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung bei Periimplantitistherapie in Zahnarztpraxen und an Universitäten

		Universitäten	Praxen	Gesamt
Ja	Anzahl	6	92	98
	Erwartete Anzahl	4,05	93,95	98,00
Nein	Anzahl	3	117	120
	Erwartete Anzahl	4,95	115,05	120,00
Gesamt		9	209	218

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,305
alpha 0,05

Tabelle 14: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung in Praxen und der theoretischen Lehre

		Universitäten	Praxen	Gesamt
Ja	Anzahl	7	211	218
	Erwartete Anzahl	8,68	209,32	218,00
Nein	Anzahl	2	6	8
	Erwartete Anzahl	0,32	7,68	8,00
Gesamt		9	217	226

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,035
alpha 0,05

Tabelle 15: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung in Praxen und der praktischen Lehre

		Universitäten	Praxen	Gesamt
Ja	Anzahl	5	211	216
	Erwartete Anzahl	8,60	207,40	216,00
Nein	Anzahl	4	6	10
	Erwartete Anzahl	0,40	9,60	10,00
Gesamt		9	217	226

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,0002
alpha 0,05

Tabelle 16: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung von Natriumhydrogencarbonat in Praxen und an Universitäten

		Universitäten	Praxen	Gesamt
Ja	Anzahl	2	130	132
	Erwartete Anzahl	5,526	126,474	132,000
Nein	Anzahl	7	76	83
	Erwartete Anzahl	3,474	79,526	83,000
Gesamt		9	206	215

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,029
alpha 0,05

Tabelle 17: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung von Glycin in Praxen und an Universitäten

		Universitäten	Praxen	Gesamt
Ja	Anzahl	9	102	111
	Erwartete Anzahl	4,647	106,353	111,000
Nein	Anzahl	0	104	104
	Erwartete Anzahl	4,353	99,647	104,000
Gesamt		9	206	215

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,003
alpha 0,05

Tabelle 18: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung von Erythritol in Praxen und an Universitäten

		Universitäten	Praxen	Gesamt
Ja	Anzahl	2	15	17
	Erwartete Anzahl	0,712	16,288	17,000
Nein	Anzahl	7	191	198
	Erwartete Anzahl	8,288	189,712	198,000
Gesamt		9	206	215

Exakter Fisher-Test:

p-Wert (Zweiseitig) 0,152
alpha 0,05

Tabelle 19: Kreuztabelle zum Vergleich der Verwendung in deutschen und amerikanischen Praxen

		Studie DE	Studie USA	Gesamt
Ja	Anzahl	211	242	453
	Erwartete Anzahl	170,07	282,93	453,00
Nein	Anzahl	6	119	125
	Erwartete Anzahl	46,93	78,07	125,00
Gesamt		217	361	578

Chi-Quadrat (Beobachteter Wert) 72,924
 Chi-Quadrat (Kritischer Wert) 3,841
 FG 1
 p-Wert < 0,0001
 alpha 0,05

8.3. Anschreiben und Fragebögen



Poliklinik für Zahnerhaltungskunde

Augustusplatz 2, 55131 Mainz

Direktor:

Doktorand: ZA Peter Simons

psimons@students.uni-mainz.de

Pulverstrahlgeräte in der Praxis und Lehre

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

im Rahmen meiner Dissertation zum Thema „Pulverstrahlgeräte in der Praxis und Lehre“ untersuche ich an der Universitätsmedizin in Mainz die Rolle von Pulverstrahlgeräten in Praxis und Lehre im deutschsprachigen Raum.

Pulverstrahlgeräte verschiedenster Hersteller sind seit über 35 Jahren auf dem Markt und erfreuen sich in der zahnmedizinischen Praxis großer Beliebtheit. Sie könnten im Zuge des demographischen Wandels aufgrund des verstärkten Augenmerks auf Prophylaxe und der vielfältigen Einsatzbereiche weiter an Bedeutung gewinnen.

Die klinische Studienlage von Pulverstrahlgeräten im Allgemeinen und in Bezug auf deren Verwendung in der zahnmedizinischen Lehre ist jedoch recht überschaubar, weshalb ich gemeinsam mit meinen Betreuern Frau Prof. Dr. XY und Dr. YZ einen Fragebogen entwickelt habe, um sowohl freie Praxen als auch Unikliniken in Deutschland zu befragen.

Dabei sind wir auf Ihre freundliche Mithilfe angewiesen.

Der Fragebogen im angegebenen Link wird ohne Angabe von Name, Adresse etc. anonym online ausgefüllt. Die Bearbeitungszeit beträgt ca. 3 Minuten.

Bitte kreuzen Sie die zutreffenden Antworten an bzw. füllen Sie gegebenenfalls freie Felder aus. Je nach gewählter Antwort können Folgefragen, sodass sich die ursprüngliche Fragenanzahl von 9 reduzieren kann.

Nach Abschließen der Umfrage wird das Ergebnis automatisch und anonym an mich übermittelt.

Wir bedanken uns herzlich für Ihre Mitarbeit und stehen Ihnen bei Rückfragen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

ZA Peter Simons

Poliklinik für Zahnerhaltungskunde

Direktor:

Augustusplatz 2, 55131 Mainz

ZA Peter Simons

Kurzfragebogen zur Verwendung von Pulverstrahlgeräten in der Praxis

(zutreffendes bitte ankreuzen)

1. Benutzen Sie Pulverstrahlgeräte in ihrer Praxis?

ja nein

2. Wenn nein, warum benutzen Sie keine Pulverstrahlgeräte?

fehlende Indikationen Kosten Komplikationen sonstiges:.....

3. Wenn ja, wie lange benutzen Sie schon Pulverstrahlgeräte?

< 1 Jahr < 2 Jahre < 3 Jahre < 4 Jahre > 4 Jahre

4. Für welche Indikationen benutzen Sie Pulverstrahlgeräte?

Prophylaxe (PZR) PA-Therapie Periimplantitis-Therapie sonstiges:.....

5. Wie häufig benutzen Sie Pulverstrahlgeräte in der Prophylaxe?

immer gelegentlich nie

6. Wie häufig benutzen Sie Pulverstrahlgeräte in der PA-Therapie?

immer gelegentlich nie

7. Welches Pulver benutzen Sie in der Praxis?

Natriumbicarbonat Glycin Calciumcarbonat Aluminiumhydroxid Trehalose

sonstiges:

8. Welches Pulverstrahlgerät benutzen Sie in der Praxis? (freiwillige Angabe)

.....

9. Wie viel Berufserfahrung haben Sie:

< 5 Jahre 5-10 Jahre 11-20 Jahre > 20 Jahre

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

Poliklinik für Zahnerhaltungskunde

Direktor:

Augustusplatz 2, 55131 Mainz

ZA Peter Simons

Kurzfragebogen zur Verwendung von Pulverstrahlgeräten in der Lehre

(zutreffendes bitte ankreuzen)

1. Werden Pulverstrahlgeräte in Ihrer Abteilung verwendet?

ja nein

2. Verwenden die ZMF/DH Pulverstrahlgeräte?

ZMF DH nein

3. Wenn ja, zu welchen Indikationen verwenden Sie/ihre ZMF/DH Pulverstrahlgeräte?

Prophylaxe (z.B. PZR) PA-Therapie Periimplantitis-Therapie sonstiges:.....

4. Sind Pulverstrahlgeräte Bestandteil der theoretischen Lehre an Ihrer Universität?

ja nein

5. Sind Pulverstrahlgeräte Bestandteil der praktischen Lehre an Ihrer Universität?

am Phantommodell im Behandlungskurs nein

6. Wenn nein, warum benutzen die Studierenden keine Pulverstrahlgeräte?

nicht Teil unseres Konzeptes Kosten Komplikationen sonstiges:.....

7. Wenn ja, zu welchen Indikationen benutzen die Studierenden Pulverstrahlgeräte?

Prophylaxe (PZR) PA-Therapie Periimplantitis-Therapie sonstiges:.....

8. Wenn ja, wie lange benutzen Sie schon Pulverstrahlgeräte in der Lehre?

< 1 Jahr < 2 Jahre < 3 Jahre < 4 Jahre > 4 Jahre

9. Wenn ja, ab welchem Fachsemester sind Pulverstrahlgeräte Teil der studentischen Lehre?

.....

10. Welches Pulver benutzen Sie in der Lehre?

- Natriumbicarbonat Glycin Calciumcarbonat Aluminiumhydroxid Trehalose
 sonstiges:

11. Welches Pulverstrahlgerät benutzen Sie in der Klinik? (freiwillige Angabe)

.....

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich bei der Planung und Umsetzung der Arbeit unterstützt haben.

Zuletzt geht mein herzlicher Dank an meine Familie, Freunde und Bekannte, die mir während des Studiums und der Dissertation sowohl fachlich als auch moralisch zur Seite standen.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Simons

Vorname: Peter