

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Parodontologie, Präventive Zahnmedizin und Zahnerhaltung

Direktor: Prof. Dr. Dr. Thomas Beikler

Der Effekt von Airpolishing mit Erythritol- Pulver auf Dentin unter Berücksichtigung verschiedener Anwendungsparameter

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Jella Christine Kröger
aus Hamburg

Hamburg 2019

Angenommen von der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 01.07.2019

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Petra Schmage

**Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: PD Dr. med. Dr. med. dent.
Henning Hanken**

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Regelmäßige supra- und subgingivale Plaqueentfernung: Methoden	3
1.2 Effekte der mechanischen Plaqueentfernung	8
1.3 Airpolishing: Wirkungsweise	10
1.4 Pulver zum subgingivalen Airpolishing	14
1.5 Einflussparameter beim Airpolishing	15
2. Fragestellung	21
3. Material und Methoden	22
3.1 Versuchsdesign	22
3.2 Herstellung der Probenkörper	23
3.3 Versuchsdurchführung	24
3.4 Versuchsauswertung	29
4. Ergebnisse	31
4.1 Mikroskopische Darstellung	31
4.2 Ergebnisse der Parameter im Vergleich	37
4.3 Einfluss des Parameters Distanz	41
4.4 Einfluss des Parameters Druck	43
4.5 Einfluss des Parameters Bestrahlungswinkel	45
5. Diskussion	46
5.1 Methodenkritik	46
5.2 Ergebniskritik	47
5.3 Fazit	57
6. Zusammenfassung/ Summary	58

7. Abkürzungsverzeichnis	62
8. Literaturverzeichnis	64
9. Danksagung	71
10. Lebenslauf	72
11. Eidesstattliche Erklärung	73

1. Einleitung

Eine professionelle, gründliche und regelmäßige supra- und subgingivale Reinigung der Zähne und des Zahnhalteapparates stellt eine wichtige Prophylaxe-Maßnahme dar. [1-4]

Durch die Herstellung von hygienefähigen Verhältnissen, wird das Ziel einer Reduktion der oralpathogenen Keime in der oralen Mundflora angestrebt. Um eine Gesunderhaltung zu erreichen, wird jedem Patienten die Durchführung einer professionellen Zahnreinigung entsprechend des individuellen Bedarfes im Rahmen der Primärprävention vom Kindesalter an empfohlen.

Grundsätzlich wird zwischen Primär-, Sekundär- und Tertiär- Prophylaxe unterschieden, in deren Zuge im Laufe des Lebens viele Reinigungstechniken angewendet und oft wiederholt werden.

Die zahnmedizinische Primär- Prophylaxe, die vor allem auf Schmelzoberflächen und gesundem Parodont angewendet wird, verfolgt eine Verhütung von Erkrankungen der Zähne und des Zahnhalteapparates vor ihrer Entstehung.

Dagegen beinhaltet die Sekundär- Prophylaxe Maßnahmen zur Verhinderung von Erkrankungen bei erhöhtem Krankheitsrisiko oder nach der Ausheilung dieser Krankheiten zur Vermeidung erneuter Erkrankungen. Sie umfasst die Reinigung von freiliegenden, supragingivalen Wurzeloberflächen, Schmelzoberflächen, zahnärztlichen Restaurationen und Implantaten.

Die Tertiär- Prophylaxe hingegen umfasst Maßnahmen, die nach einer überstandenen Krankheit eingeleitet werden, um einer erneuten Erkrankung vorzubeugen und eine lebenslange Zahngesundheit anzustreben. Dabei konnte diese Erkrankung aber nicht vollständig oder bei dauerhaften morphologischen

Veränderungen ausheilen. Darunter fällt die Reinigung von supra- und subgingivalen Wurzeloberflächen bei persistierenden Resttaschen, Schmelzoberflächen und komplizierten Wurzelflächenmorphologien. Zusätzlich umfasst die Tertiärprophylaxe im Rahmen der UPT die subgingivale Reinigung von Residualtaschen.

Da im Laufe des Lebens leiden viele Erwachsene an Parodontiden [5], nach Karieserkrankungen oder Zahnverlust restaurative und prothetische Versorgungen der Zähne, sowie Implantate erhalten, wird ihnen nach einer erfolgreichen Therapie empfohlen, Sekundärprophylaxe im Sinne einer professionellen Zahnreinigung, der *professionellen mechanischen Entfernung von Plaque* (PMEP) bei der morphologisch veränderten Ausgangssituation, wahrzunehmen, sowie am Programm der *unterstützenden Parodontaltherapie* (UPT) teilzunehmen, um den Behandlungserfolg aufrecht erhalten zu können. [1, 6, 7]

Aufgrund der vorangegangenen parodontalen Erkrankung bleibt der klinische Attachmentverlust (CAL) bei diesen Patienten erhalten. [8] Darüber hinaus treten häufiger kariöse und nichtkariöse Läsionen infolge von Zahnfleischrezessionen auf freiliegenden Wurzeloberflächen auf.

1.1 Regelmäßige supra- und subgingivale Plaqueentfernung: Methoden

Das Ziel der professionellen mechanischen Entfernung der Plaque (PMEP) in Form einer professionellen, medizinischen Zahnreinigung, umfasst die vollständige Entfernung aller supragingivalen und erreichbaren subgingival lokalisierten harten Beläge wie Zahnstein und Konkremente, Verfärbungen und weichen Ablagerungen (Plaque) von allen Zahnoberflächen, freiliegenden Zahnwurzeloberflächen, Zahnzwischenräumen und bei der UPT die Reinigung aller subgingivalen Residualtaschen.

Während die nur wenige Stunden alte adhärente Plaque selbstständig im Zuge der häuslichen Mundhygiene entfernt werden kann, muss die bereits mineralisierte Plaque, der Zahnstein und Konkremente, professionell entfernt werden.

PMEP ist medizinisch indiziert, um Karies, Hartschubstanzdefekte der Zähne, Gingivitis oder Parodontitis vorzubeugen, oder nach Therapie das Ergebnis zu bewahren.

Neben der lokalen Reizung durch die mikrobielle Plaque mit Auswirkungen auf die Zähne und das Parodontium, besteht ebenfalls ein Einfluss auf die Allgemeingesundheit, z.B. auf kardiovaskuläre Erkrankungen, Frühgeburten oder Pneumonien. [9-12]

PMEP beinhaltet die mechanische Reinigung von bakteriellen Auflagerungen an Zahnoberflächen mit anschließender Politur mittels bedarfsgerechter Methoden, die nach Art der Oberfläche, z.B. Schmelz, Wurzeldentin oder Implantate, ausgewählt werden. Infolge wird eine erneute Plaqueanlagerung erschwert und

somit der Entstehung von Karies vorgebeugt und der Entzündungsreiz auf das Parodontium eingedämmt.

Ein Intervall der PMEP sollte im Durchschnitt sechs bis zwölf Monate betragen, wobei zahlreiche Faktoren bei der Entscheidung für das individuelle Recall-Intervall eine Rolle spielen. So beeinflussen beispielsweise Lebensgewohnheiten, die Allgemeingesundheit und Anfälligkeiten entscheidend die Mundgesundheit.

[13]

Um das Therapieergebnis stabil zu halten, erfolgt bei kariesaktiven Gebissen oder nach parodontalen Erkrankungen im UPT eine erhöhte Frequenz von PMEP. Bei diesen Risikopatienten wird die Frequenz je nach parodontalem Zustand gegebenenfalls erhöht und kann zwei bis sechs Mal pro Jahr erfolgen. [7, 14]

Bei der professionellen mechanischen Entfernung von Plaque (PMEP) und der unterstützenden Parodontaltherapie (UPT) sollten die supragingival exponierten Arealen sowie die subgingivalen Anteile der Wurzeloberflächen und Implantatoberflächen berücksichtigt und differenziert werden und dort die Reinigung mit besonderer Vorsicht durchgeführt werden. Die Wahl der geeigneten Reinigungsmethoden für PMEP und UPT erfolgt im Sinne der Primär-, Sekundär- und Tertiärprophylaxe nach der individuellen Situation.

Die Reinigung erfolgt manuell mittels Handinstrumenten wie Scalern und Küretten, fein belegten Sandpapierstreifen, Zahnseide, Interdentalraumbürstchen und maschinell mit oszillierenden Instrumenten mittels Schall- oder Ultraschall-Antrieb, rotierenden Polierbürstchen und -Kelchen sowie mit Luft- Pulver-Wasserstrahltechniken (Airpolishing).

Die Wahl, welche Instrumente angewandt werden, erfolgt nach Art und Menge der bakteriellen Auflagerungen, der betroffenen Oberflächen und deren Lokalisation, ob es sich um Schmelz- oder Wurzeldentin- Areale handelt und diese supra- oder subgingival liegen, sowie ob die Reinigung von Residualtaschen notwendig ist.

- **Manuelle Instrumente**

Nichtmineralisierte Beläge können im Rahmen der häuslichen Mundhygiene durch Mundhygiene- Hilfsmittel entfernt werden. Die mechanische Plaquekontrolle ist ein elementarer Baustein der häuslichen Zahn- und Mundpflege. Sie erfolgt mittels Zahnbürsten, Zahnseiden, Interdentalraumbürstchen und Zungenreinigern.

Während empfohlen wird, die Zähne entweder elektrisch oder mit der Handzahnbürste mindestens zwei Mal täglich zu reinigen, ist eine tägliche einmalige Zwischenraumreinigung mittels Zahnseide oder Interdentalraumbürste ausreichend.

Für die professionelle manuelle Entfernung von mineralisierten Belägen mit Handinstrumenten werden im supragingivalen Bereich als Goldstandard Scaler genutzt. Die scharfen Arbeitsenden der unterschiedlichen Scaler können je nach Einsatzgebiet, im Seitenzahn- oder Frontzahnbereich, verschieden geformt sein. So sind die Frontzahn- Scaler eher häkchen- oder meißelförmig gestaltet, während die Seitenzahn- Scaler eine Sichelform aufweisen und stärker angewinkelt sind.

Für den subgingivalen Bereich werden für die Zahnstein- und Konkrement-Entfernung KÜRRETTEN, üblicherweise Gracey- KÜRRETTEN, verwendet. Diese beinhalten einen Satz von vier KÜRRETTEN, die je nach den anatomischen Anforderungen der jeweilig zu behandelnden Zähne geformt sind.

Der Vorteil beim Einsatz von Handinstrumenten ist die gute taktile Erfolgskontrolle durch den Behandler und die Vermeidung einer Aerosolbildung. Allerdings wird dieses Verfahren von vielen Patienten als unangenehm beschrieben und stellt sich für den Behandler als ermüdend dar. [15-17]

- **Schall- und Ultraschallinstrumente**

Die Indikation zum Einsatz von Schall- und Ultraschall- Scalern liegt in der Entfernung von mineralisierten, harten Belägen von der Zahnoberfläche.

Bei Ultraschall- Scalern befindet sich der magnetostriktive oder piezoelektrische Antrieb im Handstück und erzeugt eine elliptische oder lineare Schwingung der Instrumentenspitze. Diese schwingt mit einer Ultraschallfrequenz zwischen 20.000 und 45.000 Hz und einer Amplitude von 50 bis 100 µm. Dabei entsteht Reibungswärme zwischen Instrument und Zahnoberfläche, weshalb die Zufuhr eines Kühlmediums notwendig ist.

Der druckluftbetriebene Schall- Scaler hingegen schwingt ungedämpft rundlich bis elliptisch mit bis zu 8000 Hz und einer Amplitude bis zu 1000 µm und wird ebenfalls unter Wasserkühlung betrieben.

Eine Sonderform ist das Vector- System, das von der Firma Dürr Dental für die subgingivale Plaqueentfernung in Residualtaschen im Rahmen der UPT entwickelt wurde, bei dem ein Schleifmedium in der Tasche mit Ultraschall zur Schwingungen angeregt wird.

Die Reinigungseffektivität von Handinstrumenten galt als Goldstandard.

Inzwischen konnte bewiesen werden, dass die maschinellen Instrumente mit vergleichbarer Qualität reinigen, wobei der Einsatz von maschinellen Instrumenten ermüdungsfreier ist.

Die Einzeinschränkung dieser Instrumente liegt in der Behandlung von Patienten mit Infektionserkrankungen aufgrund der erheblichen Aerosolbildung. Ebenfalls sollte von dem Einsatz von Ultraschallinstrumenten bei Patienten mit Herzschrittmachern Abstand genommen werden, um möglich Komplikationen zu vermeiden. [18, 19]

- **Airpolishing**

Die Luft- Pulver- Wasserstrahltechnik dient zur Entfernung von weichem supra- und subgingivalen Biofilm und Verfärbungen. Zur Entfernung von Zahnstein und Konkrementen ist sie nicht geeignet.

Bei dieser Methode wird ein Gemisch aus Pulver, Wasser und Druckluft auf die zu reinigenden Areale gestrahlt. Durch die freigesetzte kinetische Energie der Pulverpartikel werden die weichen Beläge und Verfärbungen von der Zahnoberfläche entfernt. Je nach Applikationsort werden verschiedene Pulver eingesetzt. So wird für den Einsatz auf supragingivalem Zahnschmelz Natrium-Bikarbonat- Pulver verwendet, während für die Anwendung auf supragingivalem Dentin oder in subgingivalen Arealen niedrig-abrasive Pulver wie Glycin und Erythritol indiziert sind.

Ein Nachteil ist die starke Entwicklung des Sprühnebels aus dem Wasser- und Pulvergemisch, sodass bei der Anwendung zum eigenen Schutz stets eine Schutzbrille getragen und der Patient ebenfalls entsprechend abgedeckt werden muss. Zudem besteht bei unsachgemäßer Anwendung die Gefahr einer Emphysembildung.

Die Vorteile dieser berührungslosen Methode werden, bei richtiger Anwendung, in der für die Zähne und Gingiva relativ schonenden Reinigung, mit wenig Abtrag und ohne die Zahnoberflächen zu zerkratzen, beschrieben. Zudem besteht eine

gute Akzeptanz durch die Patienten, da die Geräuschkulisse, die bei der Anwendung der Hand- und der Schall- und Ultraschallinstrumente entsteht, entfällt und der berührungslose Einsatz schmerzärmer ist. [19-21]

- **Optische und chemische Methoden**

Der Einsatz von optischen und chemischen Methoden im Rahmen der PMEP umfasst Ozongas, Plasma, Laserlicht und die photodynamische Desinfektion. Die Anwendungsbereiche in der Zahnmedizin liegen allerdings mehr im Bereich der bakteriellen Dekontamination, was im Rahmen von Parodontal-, Karies- und endodontischen Therapie genutzt wird. Im Zuge der Prävention werden diese Methoden höchstens eingeschränkt angewendet, da sie für die Entfernung von mineralisierter Plaque nicht geeignet sind.

1.2 Effekte der mechanischen Plaqueentfernung

Das Risiko negativer Nebenwirkungen ist den verschiedenen Debridement-Methoden inhärent, da sie beispielsweise die Wurzeloberfläche zerkratzen oder einen Substanzabtrag verursachen können. [15, 22] So ist der zahnkronenbedeckende Schmelz mit einer durchschnittlichen Vickers- Härte von 250- 550 um ein Vielfaches unempfindlicher gegen äußere Einflüsse als das Dentin mit einer durchschnittlichen Vickers- Härte von 60- 70 oder das Wurzelentin bedeckende dünne Wurzelzement.

Bei häufigen Wiederholungen der Plaqueentfernung können diese unerwünschten Nebenwirkungen zu einem messbaren Substanzverlust führen, der in Folge Rezessionen, Überempfindlichkeiten des Dentins oder Kavitationen nach sich ziehen kann. [23-25] Wenn sich der Substanzabtrag bei wiederholten Anwendungen und traumatischen Vorgehen summiert und zu Kavitationen führt,

aus denen Überempfindlichkeiten, Karies bis hin zur Pulpitis oder apikale Parodontiden resultieren können, müssen diese Defekte mit Restaurationen versorgt oder endodontisch therapiert werden.

Die dünne Schicht des Wurzelzements liegt dem Dentin im Wurzelbereich auf und ist Teil des Zahnhalteapparats. Es besteht zu 65% aus Mineralien, v.a.

Hydroxyapatit, zu 23% aus anorganischen Anteilen, mineralisierte kollagene Fasern und Zementozyten, und zu 12% aus Wasser. Es ist weicher als Dentin, vergleichbar mit der Härte von Knochen, und dient der Verankerung der

Sharpeyschen Fasern des Zahnhalteapparats. Aufgrund dieser geringen Härte und Schichtdicke, im oberen bis mittleren Wurzeldrittel 50- 150 µm, ist es bei der Plaqueentfernung sehr leicht entfernbar.

Dementsprechend sollte fortlaufend eine Abwägung zwischen dem Risiko des Vorkommens dieser unerwünschten Nebeneffekte und den Vorteilen und der Notwendigkeit der Plaqueentfernung erfolgen.

Eine Möglichkeit der Minimierung dieser Effekte liegt im Anfärben des vorhandenen Biofilms. Dieses Konzept wird [sGuided Biofilm Therapy](#) genannt.

Dabei werden dem Behandler durch das Anfärben des vorhandenen Biofilms die zu behandelnden Areale optisch sichtbar gemacht und können mittels Airpolishing gezielt entfernt werden. So kann der Einsatz von manuellen und maschinellen Instrumenten zur PMEP auf ein Minimum reduziert werden. Zudem wird die Exposition der Reinigungsverfahren einer bereits sauberen Zahnoberfläche vermieden. Denn wenn nur die mit Biofilm bedeckten Areale instrumentiert würden, werden die freiliegenden, verletzlichen Zonen der Wurzeloberflächen geschont, während der Biofilm an den zu säubernden Stellen als schützender Puffer zwischen Instrument und Zahnoberfläche fungiert.

Dennoch muss darauf geachtet werden, jegliche unerwünschten Nebenwirkungen durch den Reinigungsprozess durch die auf den Verunreinigungsgrad abgestimmte Anwendungsdauer und ein korrektes Handling zu vermeiden. Weiterhin soll die Instruktion des Patienten im Gebrauch der spezifisch angepassten häuslichen Mundhygienehilfsmittel, ihre Demonstration und das Einüben auf Dauer zu einer Reduktion im Bedarf der professionellen Reinigung führen.

1.3 Airpolishing: Wirkungsweise

Airpolishing wird üblicherweise bei PMEP und UPT verwendet und wurde bereits vor mehr als 30 Jahren in der Zahnheilkunde eingeführt. [21, 26-28]

Bei der Luft- Pulver- Wasserstrahltechnik wird unter kontrolliertem Druck ein Gemisch aus Luft, feinen Pulverpartikeln und Wasser über eine Düse zu einem feinen Strahl gebündelt. Dieser zuvor erwärmte Strahl trifft mit hoher Geschwindigkeit auf die zu reinigenden Areale, wo durch die frei werdende kinetische Energie der Teilchen die weichen Beläge und Verfärbungen entfernt werden. (Abb.1)

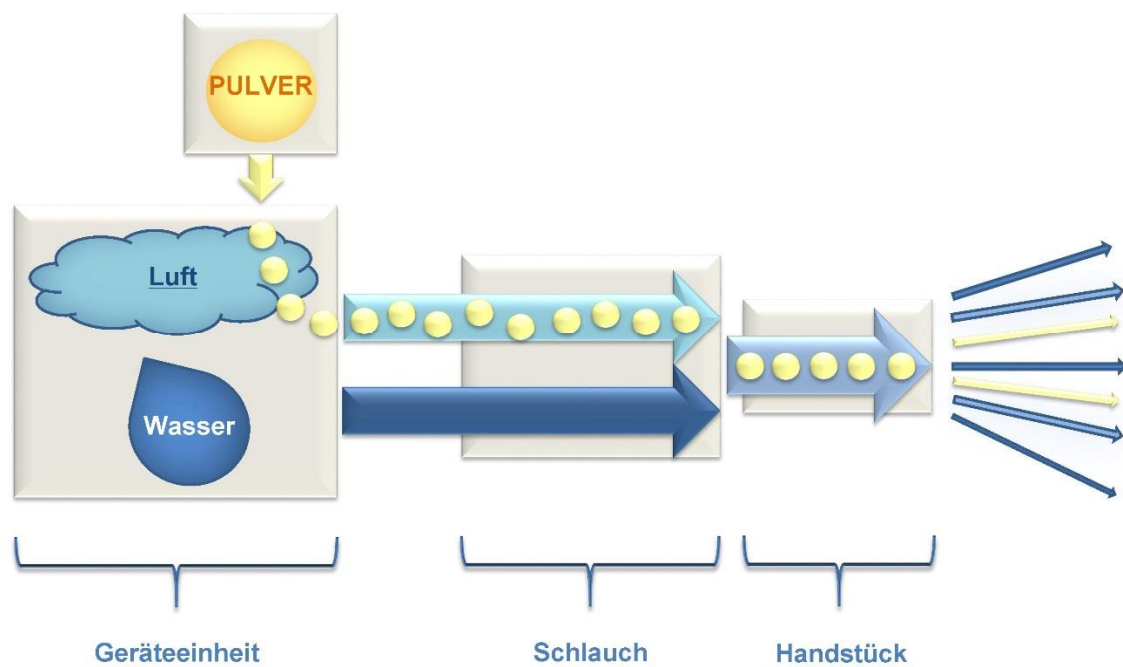


Abb.1: Funktions-Schema eines Airpolishing- Gerätes

Je nach Bedarf und Anwendungsbereich stehen verschiedene Airpolishing- Pulver und Geräte von verschiedenen Herstellern zur Auswahl, die in Tabelle 1 aufgeführt sind.

Tab.1: Übersicht über die aktuell angebotenen Pulver der verschiedenen Hersteller

Pulver / Hersteller	EMS	Aceton	KaVo	LM	Hager & Werken	NSK	3M ESPE
Erythritol- Basis	Air- Flow Plus	-	-	-	-	-	-
Glycin- Basis	Air- Flow Perio,	Air- N- Go Perio	Prophyflex Perio	LM- Glycine	-	-	Clinpro Glycine Prophy Powder
	Air- Flow Soft						
Natrium- Bikarbonat- Basis	Air- Flow Classic,	Air- N- Go Classic	Prophyflex	LM Sodium B	Cavitron Prophy Jet	Prophy Mate Cleaning Powder	-
	Air- Flow Classic Comfort						
Calciumkarbonat- Basis	-	Air- N- Go Pearl	Prophypearls	LM Calcium C	-	Flash Pearl	-
Aluminiumhydroxid- Basis	-	-	-	-	Caviton Jet Fresh	-	-

Pulver auf der Basis von Natrium-Bikarbonat weisen eine Korngröße von ca. 70 µm auf und sind dementsprechend im Vergleich mit niedrigabrasiven Pulvern sehr grobkörnig. Es besitzt auf Dentin eine hohe Abrasivität und kann irritierend auf die Gingiva wirken. Dasselbe gilt für Pulver auf Kalziumkarbonat- Basis mit einer durchschnittlichen Korngröße von 45- 100 µm. Pulver auf Aluminiumtrihydroxid-Basis sind im Sinne der Plaqueentfernung nur einsetzbar, wenn diese eine Korngröße < 70 µm aufweisen. [29-35] (Tab.2)

Demzufolge sind diese Pulver auf Natrium- Bikarbonatbasis nur bei der supragingivalen Reinigung des Schmelzes im Rahmen der PMEP bei der Primär- und Sekundärprophylaxe ohne freiliegende Wurzelflächen empfohlen. Für Parodontitis- und Periimplantitis- Patienten sind sie nicht indiziert, da dort Rezessionen, supra- und subgingivale Wurzeloberflächen, sowie Implantatoberflächen vorliegen. Ein Airpolishing mit Natriumbikarbonat oder vergleichbaren Pulvern könnte aufgrund der hohen Abrasion und des zu hohen Substanzabtrages beim Auftreffen auf weiches Substrat wie Dentin oder Titan Schäden verursachen. [20, 35, 36]

Infolge besteht der Bedarf nach Airpolishing, das sanfter auf Dentin- oder Titanoberflächen wirkt und auf freiliegenden Wurzeln und in Residualtaschen sowie auf Implantatoberflächen angewendet werden kann. Dafür wurden Polierpulver mit geringem Abrieb (sog. low abrasive polishing powder/ LAPP) entwickelt, die auf Wurzeloberflächen appliziert werden können, unabhängig davon, ob sie supra- oder subgingival liegen. [16, 20, 29, 32]

Diese niedrigabrasiven Pulver basieren entweder auf Glycin- oder auf Erythritol Basis und weisen eine geringe Korngröße von 18- 65 µm und Härte von 2 bei Glycinpulver und 14 µm beim Erythritol- Pulver und Härte von <2 auf. [37]

Aufgrund der geringeren Korngröße und -Härte weisen sie eine geringere Abrasion auf. Weil sie zudem wasserlöslich sind, können sie subgingival angewendet werden. Daher können sie bei Patienten mit Parodontitis während der Therapie und im UPT empfohlen werden.

Erste Arbeiten in der Literatur lassen erwarten, dass die Pulver auf Erythritol-Basis mit desinfizierenden Substanzen wie Chlorhexidin kombiniert werden können. Dies würde den Biofilm zusätzlich weiter chemisch reduzieren. [38]

Eine Übersicht über die verschiedenen Pulverarten mit den entsprechenden Korngrößen, Härtegraden und Anwendungsgebieten ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab.2: Übersicht über die verschiedenen Pulverarten

PULVER	KORNGRÖßE	HÄRTEGRAD (MOHS)	ANWENDUNGSGEBIET	BESONDERHEITEN HERSTELLERANGABEN
NATRIUM-BICARBONAT	65- 250 µm	2,8- 3	Supragingival Schmelz	Max. 5-7 Sekunden Abstand 3-4mm Vom Gingivasaum abgewandt
KALZIUM- KARBONAT	45- 100 µm	nicht bekannt	Supragingival Schmelz	Nachpolitur notwendig Rolleffekt der Partikel auf der Oberfläche
ALUMINIUM-HYDROXID	70- 320 µm	4+	Nur mit reduzierter Korngröße Supragingival Keine Restaurationen	Nur mit reduzierter Korngröße für Prophylaxe
GLYCIN	18- 65 µm	2	Supra- und subgingival	Spezielle Düse (Nozzle) zur subgingivalen Anwendung nötig
ERYTHRITOL	14 µm	<2	Supra- und subgingival	Kein Wechsel der Handstückdüse notwendig

1.4 Pulver zum subgingivalen Airpolishing

Polierpulver mit geringem Abrieb (LAPP) bestehen entweder aus Glycin (GLY) oder Erythritol (ERY). GLY ist eine Aminosäure, während ERY ein Zucker ist. [39-41]

Sowie GLY als auch ERY haben im Vergleich zu Natriumbikarbonat eine geringere Korngröße und eine geringere Härte auf der Mohs-Skala.

Zudem sind sie weniger abrasiv und dabei in Wasser löslich, sodass sie sich, auch wenn sie nach der subgingivalen Anwendung im Gewebe verbleiben sollten, dort auflösen.[28] Obwohl ihre Sicherheit, die Gingiva nicht zu verletzen, erwiesen ist [19, 20, 42], wurde ihr Effekt auf freiliegenden, exponierten Wurzeloberflächen in Frage gestellt.

In der Literatur werden vergleichende Studien zur Wahrscheinlichkeit und zum Ausmaß von Schäden der Wurzeloberfläche beschrieben, die durch LAPP, Natriumbikarbonat und andere Debridement-Methoden verursacht werden.[29-31, 33, 34, 43]

Diese Studien haben gezeigt, dass das Airpolishing im Vergleich zu anderen mechanischen Reinigungsverfahren weniger schädlich ist. Klinisch wurde auch die Wirksamkeit von LAPP beim subgingivalen Airpolishing während der UPT bestätigt. [16, 19, 39, 44-46] Darüber hinaus reduzierte das subgingivale Airpolishing die Keimzahl. [30, 40, 44-47]

Die Hersteller geben klare Anweisungen für die Anwendung des Airpolishings. Sie zeigen beispielsweise an, eine kontinuierliche Bewegung auszuführen und das Handstück und somit den Bestrahlungswinkel in der Tasche oder auf der Zahnoberfläche zwischen 30 ° und 60 ° zu halten.[30, 48] Außerdem sollten nur Bereiche des Zahnes behandelt werden, die mit anhaftender Plaque bedeckt sind.

[19, 20, 49, 50] Es scheint jedoch unklar zu sein, ob es möglich ist, diese strengen Empfehlungen unter klinischen Bedingungen einhalten zu können.

1.5 Einflussparameter beim Airpolishing

Viele Forscher haben die Relevanzen verschiedener Parameter beim Airpolishing untersucht: Distanz [29, 31-33, 35, 36], Strahlwinkel [29, 32, 35], Pulver- oder Wasserdruck [32, 33] und Zeit [29-31, 34, 49]. (Tab.3)

Diese Autoren bestätigten, dass mit zunehmender Arbeitsdistanz, kontrolliertem Pulver- oder Wasserdruck und reduzierter Zeit weniger Schäden an den Dentin-Oberflächen auftreten. Diese Ergebnisse basieren auf Studien, die mit Glycin-Pulver durchgeführt wurden. Nach unserem Wissen wurde Erythritol- Pulver nur für die parodontale Erhaltungstherapie getestet. [39, 41, 44, 45].

Es ist nicht klar, ob die Ergebnisse zu den Materialeigenschaften von Glycin-Pulver ebenfalls auf Erythritol- Pulver transferiert werden können.

AUTOR/ JAHR	TITEL	VERSUCHSDESIGN	MESS- PARA- METER	VERGLEICHS- GRUPPEN	ERGEBNISSE	SCHLUSS- FOLGERUNG
Herr, M. L. DeLong, R. Li, Y. Lunos, S. A. Stoltenberg, J. L. (2017)	Use of a continual sweep motion to compare air polishing devices, powders and exposure time on unexposed root cementum	48 Zähne wurden in 8 Gruppen von 6 Zähnen pro Gruppe randomisiert. Eines von drei Glycinpulvern (Airflow 25 µm, Clinpro 45 µm, Clinpro TCP 45 µm) oder ein Natriumbicarbonatpulver (NaHCO ₃ 85 µm) wurde auf Zement gesprüht. Das Defektvolumen- und die Tiefe nach 5 und 90 s Exposition, wurden berechnet. Die Oberflächenstruktur wurde unter Verwendung der nach der letzten Belichtung aufgenommenen REMs bewertet.	mittlere Defekt tiefe (µm) Defekt-Volumen (mm ³)	Glycinpulver: Airflow (25 µm) (EMS) Clinpro (45 µm) Clinpro TCP (45 µm) (3M) Natriumbicarbonat pulver (85 µm) (Dentsply)	Nach 5 s Exposition hatte weder Einheit noch Pulver einen wesentlichen Einfluss auf den Volumenverlust oder die Defekttiefe. Die Exposition von 90 s erzeugte für alle Pulver einen größeren mittleren Volumenverlust und eine größere Defekttiefe (p < 0,0001). SEM-Aufnahmen zeigten eine Exposition der Dentinaltubuli bei allen Pulvern. Freiliegende Tubuli waren jedoch für NaHCO ₃ 85 µm größer und häufiger. Der Wurzeloberflächenverlust war für die in dieser Studie untersuchten Glycinpulver ähnlich.	Die Defekte unterscheiden sich je nach Pulvertyp, verwendetem Gerät und Bestrahlungszeit. Wurzelzementzements. Es zeigte sich in dieser Studie, dass das verwendeten Glycinpulver (1) eine minimale Wirkung auf die Wurzeloberflächen hatten und (2) sich unabhängig von Unterschieden in der Korngröße der Partikel im Zeitverlauf ähnlich entwickelten.
Bühler, J. Schmidli, F. Weiger, R. Walter, C. (2015)	Analysis of the effects of air polishing powders containing sodium bicarbonate and glycine on human teeth	Die Wurzeln menschlicher Molaren wurden in Dentinscheiben geschnitten und mit drei verschiedenen Pulvern bestrahlt. Es wurden standardisierte Instrumentierungszeiten (5 und 10 s), Druck (1,8 bar), Abstand (2 und 5 mm) und Winkel (45 ° und 90 °) verwendet. Die Proben wurden anhand der Oberflächenprofilwerte "Pa" und "Pt" und den Oberflächenrauheitswert "Rz" analysiert. Die Wirkung der Behandlung wurde bei jeder Probe untersucht	Oberflächen-Profilwerte: Pa Pt Rz	(A) Natriumbicarbonat (dv50 = 62 µm) (B) Glycin (dv50 = 49 µm) (C) Glycin (dv50 = 21 µm) Instrumentierungszeiten: 5 und 10 s Druck: 1,8 bar Abstände: 2 und 5 mm Winkel: 45 ° und 90 °	Für Pa zeigte der Vergleich signifikante Unterschiede zwischen den Pulvern A und B (GMR 3,57, 95% CI 2,87-4,43, p < 0,001) und den Pulvern A und C (GMR 2,72, 95% CI 2, 20-3,37, p < 0,001). In Bezug auf Pt gab es signifikante Unterschiede zwischen den Pulvern A und B (GMR 2,49, 95% CI 2,11-2,94, p < 0,001) und den Pulvern A und C (GMR 2,39, 95% CI 2,03-2,82, p < 0,001). Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Pulvern B und C für Pa, Rz und Pt.	Pulver, die Glycin enthalten, verursachten wesentlich weniger Veränderungen an menschlichen Wurzeloberflächen im Vergleich zu Pulvern, die Natriumbicarbonat enthalten.

AUTOR/ JAHR	TITEL	VERSUCHSDESIGN	MESS- PARA- METER	VERGLEICHS- GRUPPEN	ERGEBNISSE	SCHLUSS- FOLGERUNG
Hagi, T. T. Klemensberger, S. Bereiter, R. Nietzsche, S. Cosgarea, R. Flury, S. Lussi, A. Sculean, A. Eick, S. (2015)	A Biofilm Pocket Model to Evaluate Different Non-Surgical Periodontal Treatment Modalities in Terms of Biofilm Removal and Reformation, Surface Alterations and Attachment of Periodontal Ligament Fibroblasts	Humane Dentinproben wurden mit Biofilmen verschiedener Spezies besiedelt und dann in künstlich geschaffenen Taschen platziert. Die nicht chirurgische Parodontalbehandlung wurde durchgeführt: a) manuelle Instrumentierung mit Küretten (CUR), b) Ultraschallbehandlung (US), c) subgingivales Airpolishing mit Erythritol (EAP) und d) subgingivales Airpolishing mit Erythritol in Kombination mit Chlorhexidin Digluconat (EAP-CHX), Die Reduktion und Rekolonisation von Bakterienzahlen, Oberflächenrauheit (Ra und Rz), der Verlust der Zahnstruktur (Dicke) und die Bindung von PDL-Fibroblasten wurden durch ANOVA mit post-hoc-LSD ausgewertet und statistisch analysiert.	Bakterienzahlen Ra Rz Fibroblastenbindung	Küretten Ultraschallinstrumente Airpolishing m. Erythritol Airpolishing m. Erythritol und CHX	Nach 5 Behandlungen war die bakterielle Reduktion in Biofilmen bei der Anwendung von EAP-CHX am höchsten. Die niedrigste Reduktion wurde nach CUR festgestellt. Außerdem war der Substanzverlust bei Verwendung von CUR ($128 \pm 40 \mu\text{m}$) im Vergleich zu US ($14 \pm 12 \mu\text{m}$), EAP ($6 \pm 7 \mu\text{m}$) und EAP-CHX ($11 \pm 10 \mu\text{m}$) am höchsten. Bei Verwendung von CUR und US wurde die Oberfläche aufgeraut. Oberflächen, die US und EAP ausgesetzt waren, lagerten die meisten PDL-Fibroblasten an.	Im Vergleich zu Handinstrumenten verhindert die Anwendung von Ultraschall und Airpolishing mit Erythritol Substanzverlust und führt zu einer glatten Oberfläche mit nahezu keinem Restbiofilm.
Barnes, C. M. Covey, D. Watanabe, H. Simetich, B. Schulte, J. R. Chen, H. (2014)	An in vitro comparison of the effects of various air polishing powders on enamel and selected esthetic restorative materials	Drei Arten von je 5 Proben, Hybridkomposit, Glasionomerezement und Schmelz, wurde mit verschiedenen Pulvern unterschiedlich lang behandelt. Eine Testgruppe von jeweils fünf Proben wurde mit jeder der 6 Arten von Pulvern 3x bestrahlt, wodurch insgesamt 270 Proben erhalten wurden.	durchschnittliche Oberflächenrauheit	6 herkömmliche, auf dem Markt verfügbare Pulverarten auf Glycin- und Natriumbikarbonat-Basis verschiedener Hersteller Bestrahlungs-Zeit: 1, 2 und 5 Sekunden	Basierend auf der Auswertung mit dem Kontaktprofilometer gab es statistisch signifikante Wechselwirkungen zwischen der Art des Pulvers und des Materials, der Art der Leistung und der Zeit sowie der Art des Materials und der Zeit	Mit Hybridkomposit- und Glasionomerezementen kompatible Pulver waren EMS-Glycin und EMS-Natriumbicarbonat. Die zur Verwendung auf Schmelz geeigneten Pulver umfassen EMS-Glycin, Dentsply-Natriumbicarbonat und EMS-Natriumbicarbonat.

AUTOR/ JAHR	TITEL	VERSUCHSDESIGN	MESS- PARA- METER	VERGLEICHS- GRUPPEN	ERGEBNISSE	SCHLUSS- FOLGERUNG
Sahrman, P. Ronay, V. Schmidlin, P. R. Attin, T. Paque, F. (2014)	Three-dimensional defect evaluation of air polishing on extracted human roots	Zement-bedeckte Wurzeln von 20 extrahierten menschlichen Prämolaren wurden 5 und 10 Sekunden in einem ersten Intervall und 10 Sekunden in einem Intervall mit Bicarbonatpulver und Glycinpulver unter maximalen Einstellungen für Leistung und Spülung bestrahlt. Die Zähne wurden anfänglich und nach jedem Behandlungsintervall mittels Mikrocomputertomographie gescannt. Unterschiede in Volumen und Defekttiefe wurden durch Überlagerung der Scans berechnet	mittlere Defekt tiefe (μm) Defekt-volumen (mm^3)	Natrium-bicarbonat Pulver (Airflow classic) Glycin Pulver (Airflow Perio Pulver)	Die in Medianen (Interquartilsabständen) für das Bicarbonatpulver nach 5, 10, 15 bzw. 20 Sekunden angegebenen Defektvolumina (in mm^3) betragen 0,16 (0,11), 0,28 (0,16), 0,32 (0,18) und 0,41 (0,28)) und für Glycinpulver 0,00 (0,02), 0,01 (0,05), 0,03 (0,11) und 0,06 (0,1). Für jeden Zeitraum war der Abrieb durch Glycin im Vergleich zu durch Bicarbonat verursachten Fehlern signifikant geringer (fünf- bis 20-fach).	Bei Patienten mit freiliegenden Wurzeloberflächen kann die Reinigung mit Bicarbonat Pulver nicht empfohlen werden. Weniger abrasives Glycinpulver zeigte jedoch einen nicht kritischen Substanzverlust
Tada, K. Kakuta, K. Ogura, H. Sato, S. (2012)	Effect of particle diameter on air polishing of dentin surfaces	Die Abrasivität von Glycinpulvern mit Partikeldurchmessern von 63 und 100 μm durch Messung der Tiefe und des Volumens von Defekten, auf 36 humanen Dentinproben untersucht. Die Airpolishing- Düse hatte 4 mm Abstand und die Bestrahlungsdauer war 5 sec bei zwei Einfallswinkeln (45° oder 90°) behandelt. Es wurden drei Materialien verwendet: NaHCO_3 Pulver (Handy Jet Powder), Glycinpulver mit eine mittleren Korngröße von 63 μm (Handy Jet Powder PMTC) und Glycinpulver (Handy Jet Powder Recall).	mittlere Defekt tiefe (μm) Defekt-volumen (mm^3)	Pulver: Natriumbicarbonat (100 μm) in Handy Jet Powder Glycin (100 μm) ind Handy Jet Powder PMTC Glycin (63 μm) ind Handy Jet Powder Recall	Die Defekttiefe in beiden Winkeln war nach der Behandlung mit Handy Jet Powder oder Handy Jet Powder PMTC signifikant tiefer. Das Defektvolumen war bei Handy Jet Powder am größten, gefolgt von Handy Jet Powder PMTC und Handy Jet Powder Recall. In Bezug auf den Einfallswinkel (45° oder 90°) wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede in der maximalen Tiefe oder im Volumen beobachtet.	Das Glycinpulver mit größerem Durchmesser führte zu einer geringeren Schädigung des Dentins als Glycinpulver mit geringerer Korngröße oder Natriumbicarbonatpulver.

AUTOR/ JAHR	TITEL	VERSUCHSDESIGN	MESS- PARA- METER	VERGLEICHS- GRUPPEN	ERGEBNISSE	SCHLUSS- FOLGERUNG
Tada, K. Wiroj, S. Inatomi, M. Sato, S. (2010)	The characteri- zation of dentin defects produced by air polishing	Proben von humanen Dentin wurden poliert, bis die Dentinoberfläche freigelegt wurde. Die Airpolishing Düse wurde in bestimmten Abständen (2, 3, 4, 5 oder 6 mm) und einer Orientierung (45 °) in Bezug auf die Dentinoberfläche fixiert. Die drei Pulver waren CLASSIC (NaHCO ₃ , 65 µm Durchmesser), PERIO (Glycin, 25 µm Durchmesser) und SOFT (Glycin, 65 µm Durchmesser).	mittlere Defekt tiefe (µm) Defekt- volumen (mm ³)	Pulver: Natriumbicarbonat Glycin (65 µm)) Glycin (25 µm) Abstände: 2, 3, 4, 5 und 6mm	In Bezug auf den Abstand gab es nur bei 6 mm einen signifikanten Unterschied in der mittleren Defekttiefe. Der Sprühabstand von 6 mm ergab die flachsten Defekttiefen. Diese Variable hatte keinen Einfluss auf das Defektvolumen. SOFT-Pulver hatte deutlich geringere Defekttiefen und -volumina (28-48µm) als die beiden anderen Pulver(43-68µm und 38-98µm). Der Kontaktwinkel des Dentins erhöhte sich bei polierten signifikant im Vergleich zu nicht polierten Oberfläche (Kontrolle). Der Sprühabstand von 6 mm und die Orientierung im 45 ° -Winkel rief weniger Dentinoberflächendefekte hervor als jeder andere Abstand in allen verwendeten Pulversystemen.	In der 6mm Entfernung produzierte SOFT-Pulver statistisch signifikant kleinere Tiefen- und Volumendefekte als die beiden anderen Pulvergruppen
Pelka, M. Trautmann, S. Petschelt, A. Lohbauer, U. (2010)	Influence of air-polishing devices and abrasives on root dentin-an in vitro confocal laser scanning microscope study	Insgesamt 168 natürliche Zähne wurden mit zwei Airpolishing Geräten (Prophyflex 3, KaVo; EMS Handy, EMS) und zwei Pulvern, 3M ESPE und ProphyPearls (KaVo), sowie drei Behandlungszeiten (5, 10 und 20 Sekunden) behandelt. Die Defekte wurden mit einem konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop quantifiziert.	mittlere Defekt tiefe (µm) Defekt- volumen (mm ³)	Calcium carbonat- Pulver (ProphyPearls) Glycin Pulver (Prophy Powder) Bestrahlungszeit5, 10 und 20 Sekunden	Das Prophyflex-Gerät erzeugte deutlich tiefere Substanzdefekte im Vergleich zum EMS-Gerät. ProphyPearls verursachte die tiefsten Defekte. ClinPro-Pulver erzeugte die geringste Anzahl von Defekten. Die Defekttiefe nahm mit zunehmender Behandlungszeit für alle Pulver signifikant zu und alle Pulver, mit Ausnahme von ClinPro-Pulver, verursachten einen Volumenverlust.	Die Abrasivität von Airpolishing Pulvern hängt von dem verwendeten Gerät ab. ProphyPearls verursachte mehr Substanzverlust als ClinPro-Pulver

AUTOR/ JAHR	TITEL	VERSUCHSDESIGN	MESS- PARA- METER	VERGLEICHS- GRUPPEN	ERGEBNISSE	SCHLUSS- FOLGERUNG
Petersilka, G. J. Bell, M. Haberlein, I. Mehl, A. Hickel, R. Flemmig, T. F. (2003)	In vitro evaluation of novel low abrasive air polishing powders	4 neue Airpolishing- Pulver (A, B, C und D) und einem Standard-Natriumbicarbonat (NaHCO ₃) -Pulver wurden die Wurzeln von 126 extrahierten Zähnen unter standardisierten Bedingungen bei verschiedenen Arbeitsparametern (Abstand, Pulver- und Wassereinstellung, Angulation). Die Instrumentation wurde dreifach ausgeführt. Resultierende Wurzeldefekte wurden laseroptisch quantifiziert.	mittlere Defekt tiefe (µm) Defekt- volumen (mm ³)	Abstände: 2 mm, 4 mm und 6 mm Pulver- und Wasser- einstellung: niedrig, mittel und hoch Angulation von 90° Bestrahlungszeit 20s	Die mittlere Defekttiefe nach Gebrauch der neuartigen Pulver A, B, C und D war signifikant geringer als nach Gebrauch des Standardpulvers (A: 17,9#10,9mm, B: 48,2#2,7mm, C: 92,5#7,9mm, D: 33,9#19,6mm, NaHCO ₃ : 163,1#1,1mm) (Kruskal. Wallis-Test). Von den neuartigen Pulvern wurde D am zuverlässigsten von dem verwendeten Pulverstrahlgerät transportiert und ermöglichte die komplette Entfernung angefärbter Plaque auf frisch extrahierten Zähnen.	Das neuartige Pulverstrahlpulver D ist gering abrasiv auf Wurzelzement und Dentin, aber auch effektiv zur Plaqueentfernung. Es könnte also für die sichere und effektive Plaqueentfernung freigelegter Wurzeloberflächen nützlich sein.
Petersilka, G. J. Bell, M. Mehl, A. Hickel, R. Flemmig, T. F. (2003)	Root defects following air polishing	Es wurden die Defekttiefe und -volumen nach Instrumentierung der Wurzeloberflächen mit APD (Dentsply Prophy-JetA) Verwendung von herkömmlichem NaHCO ₃ -Pulver mit verschiedenen Arbeitsparametern (Instrumentationszeiten, Pulverkombiotion, Wassereinstellungen und Winkelungen) laseroptisch quantifiziert.	mittlere Defekt tiefe (µm) Defekt- volumen (mm ³)	Zeiten: 5, 10 und 20 Sekunden Pulver- und Wassereinstellung en: niedrig, mittel und hoch Abstände: 2, 4 und 6mm Winkel: 45° und 90°	Die Zeit hatte den größten Einfluss auf das Volumen und die Tiefe des Defekts (-Gewicht 0,6 bzw. 0,57), verglichen mit der Pulvereinstellung (-Gewicht 0,49 und 0,3) und der Wassereinstellung (-Gewicht 0,28 und 0,3). Die Distanz beeinflusste die Defekttiefe (-Gewicht 0,44), nicht jedoch das Volumen (-Gewicht 0,04). Bei 45° und 90° wurden keine Unterschiede festgestellt. Innerhalb von 20s kam es zu einer maximalen Defekttiefe von 473,5 bis 26,2 mm.	Der Wurzelschaden variiert je nach Kombination der Arbeitsparameter. Bei Verwendung der APD mit dem bewerteten NaHCO ₃ -Pulver führten alle Parameterkombinationen zu erheblichen Wurzelschäden. Daher können APDs, die NaHCO ₃ verwenden, auf freiliegenden Wurzeloberflächen nicht sicher verwendet werden.
Agger, M. S. Horsted-Bindslev, P. Hovgaard, O. (2001)	Abrasiveness of an air-powder polishing system on root surfaces in vitro	Fünzig extrahierte humane Zähne wurden 5 Sekunden lang mit Natriumbicarbonat (Prophyflex 2) bestrahlt und anschließend die maximale Defekttiefe bestimmt	mittlere Defekt- tiefe (µm)	Bestrahltes Dentin Unbestrahltes Dentin	Alle Wurzeloberflächen zeigten einen makroskopisch sichtbaren kreisförmigen Defekt. REM zeigte glatte Kraterwände und einige offene Dentinkanälchen, die meisten jedoch obliteriert. Die Laserprofilometrie nach Betrahlung zeigte Defekte mit einer durchschnittlichen Tiefe von 484 µm, während die unbestrahlten Wurzeloberflächen Defekte mit einer durchschnittlichen Tiefe von 323 µm aufwiesen.	Die vorliegende Studie weist darauf hin, dass Airpolishing eine starke abrasive Wirkung auf freiliegende Wurzeloberflächen hat und daher bei Patienten mit Zahnfleischretraktionen mit Vorsicht angewendet werden sollte.

2. Fragestellung

Das Ziel dieser Arbeit war es, den Abtrag von Wurzelentin bei der Anwendung von Airpolishing mit Pulver auf Erythritolbasis zu ermitteln und den Einfluss von drei Faktoren zu untersuchen: Arbeitsdistanz, Strahlwinkel und Druckeinstellung.

Als Nullhypothese wurde angenommen, dass zwischen den verschiedenen Parametern keine statistisch signifikanten Unterschiede bei der Substanzenfernung gemessen werden.

Darüber hinaus sollte die Frage beantwortet werden, welche Konsequenzen zu erwarten sind, wenn die Anwendungsempfehlungen des Herstellers nicht befolgt werden.

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsdesign: Zur Übersicht (Abb.2).

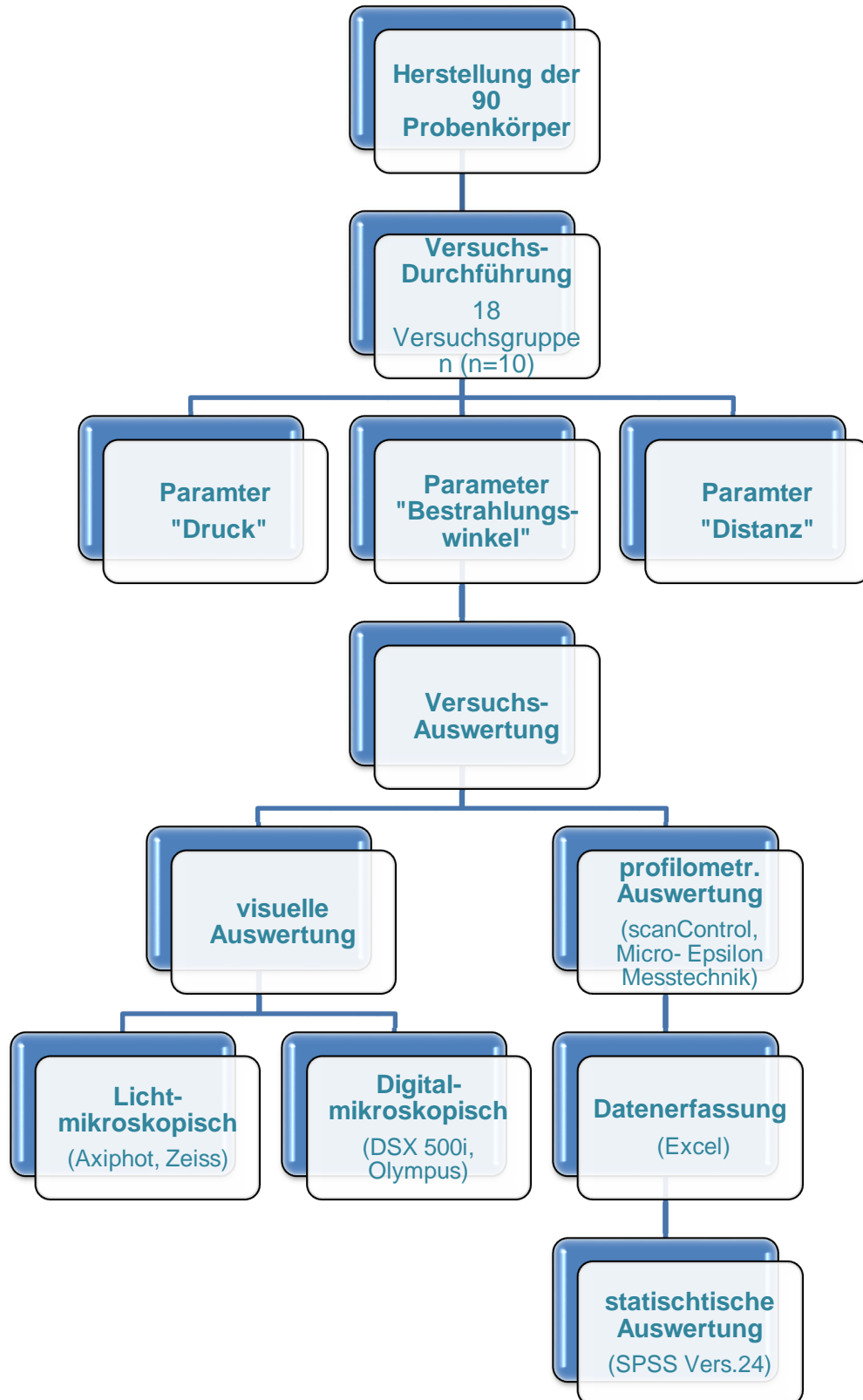


Abb.2 : Flow-Chart zur Übersicht über das Versuchsdesign

3.2 Herstellung der Probenkörper

Insgesamt wurden 45 humane Molaren in einem Gefäß gesammelt, so dass die einzelnen Zähne nicht mehr Patienten zuzuordnen waren. Die Zähne mussten aus parodontalen oder endodontischen Gründen extrahiert werden. Die Patienten hatten der Verwendung der Zähne zu wissenschaftlichen Zwecken zugestimmt. Die Ethikkommission der Universität Hamburg hatte der Sammlung von menschlichem Gewebematerial, das normalerweise während der Operation verworfen werden würde, zugestimmt, wenn der einzelne Patient später nicht aus der Gewebeprobe identifiziert werden konnte.

Zunächst wurden die Zähne zur initialen Desinfektion in 1% ige Chloramin-T-Lösung gegeben, bevor sie vorsichtig von Verfärbungen und Ablagerungen gereinigt wurden. Anschließend wurde eine 7-tägige Lagerung in 3% iger Glutaraldehydcacodylatlösung durchgeführt, um eine endgültige Desinfektion sicherzustellen. Abschließend wurden alle Zähne in Ringer-Lösung gelagert, bevor sie in der Studie verwendet wurden.

Die Molaren wurden in bukkal-oraler Richtung mittels einer Bandsäge vertikal in zwei Hälften geschnitten. Beide Hälften wurden mit einem schnell härtenden Komposit (Technovit 4000, Heraeus Kulzer GmbH, Wehrheim, Deutschland) auf jeweils einem Objektträger fixiert, wobei die frisch geschnittene Oberfläche dem Objektträger zugewandt war. Insgesamt 90 Wurzelflächen der 45 Zähne wurden als Probekörper hergestellt. (Abb.3)

Es wurde darauf geachtet, die obere Oberfläche des Wurzelbereichs jeder Probe planparallel zur Schnittfläche zu positionieren. Anschließend wurden diese Oberflächen mit einer Präzisionsschleifmaschine (EXAKT Advanced Technologies

GmbH, Norderstedt, Deutschland) mit 4000er Körnung gebnet und die Oberfläche poliert.



Abb.3: Auf Objektträgern fixierte Zahnschliffpräparate. Die schwarzen Markierungen lokalisieren die Bearbeitungsflächen.

Vor der Versuchsdurchführung wurde die durchschnittliche Oberflächenrauheit RA des Dentins aller Probenkörper nach dem Polieren bestimmt ($0,030 \pm 0,007 \mu\text{m}$). Zusätzlich wurde die Vickers-Härtewerte (HV) des Wurzel Dentins jedes Zahnes gemessen und der Durchschnitt für alle ergab ($67 \pm 11 \text{ HV}$).

3.3 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit einem Airflow Master Piezon-Gerät (Gerät Nr. 1.005.555, EMS, Nyon, Schweiz) (Abb.4) und dem entsprechende Handstück durchgeführt. Als Polierpulver mit geringem Abrieb (LAPP) wurde das Airflow Plus Pulver (Chargennummer 1508181, EMS, Nyon, Schweiz) gewählt, das aus Erythritol (durchschnittliche Korngröße $14 \mu\text{m}$ mit einer Härte <2 auf der Mohs-Skala) besteht. (Abb.5)

Die Pulverkammer des Gerätes wurde mit dem Airflow Plus-Pulver maximal befüllt und das Gewicht mit einer kalibrierten Waage (MP 3000, Mettler Toledo, Ohio, USA) bestimmt und dokumentiert.



Abb. 4: Airflow Master Piezon-Gerät (Nr. 1.005.555)



Abb. 5: Airflow Plus Pulver (Erythritol) zur sub- und supragingivalen Anwendung (Chargenr. 1508181)

Um den Druck in der Kammer konstant zu halten und eine sehr hohe Genauigkeit der Ergebnisse sicherzustellen, wurde die Pulverkammer nach jedem Testlauf mit einer Parametervariation gewogen und gegebenenfalls wieder auf ein maximales Niveau befüllt.

Während des Einsatzes des Gerätes wurde der austretende Luftdruck jeweils mit einem Druckanzeiger und einem Druck- Kalibrator von GE Druck DPI 802P (General Electric, Boston, Massachusetts, USA) in einem maximalen Bereich von etwa 3,5 bar, bei mittlerem Druck von 2,6 bar und bei minimalen Druck von 1,8 bar gesteuert und gemessen.

Die Wasserzufuhr wurde auf der Skala auf den maximalen Wert eingestellt, was einem vorausgeberechneten Wasservolumen von etwa 30 ml /min entsprach.

Das Handstück wurde in einer justierbaren, fixierten Vorrichtung (Abb. 6) eingespannt, um die standardisierten Bedingungen während des Experiments

aufrechtzuerhalten. Mittels dieser Apparatur ließ sich der Luft-Pulver-Wasserstrahl entweder in einem Winkel von 45 ° oder 90 ° auf die Probenoberflächen einstellen, so dass die Einstellungen wiederholt werden konnten. Die Objektträger wurden auf einem höhenverstellbaren Tisch, der in die Vorrichtung integriert war, platziert. Die Spitze der Handstückdüse wurde mit den drei verschiedenen Abständen 1, 3 oder 5 mm exakt auf die einzelne Probenoberfläche eingestellt und anschließend in den jeweiligen Positionen fixiert (Abb. 6).

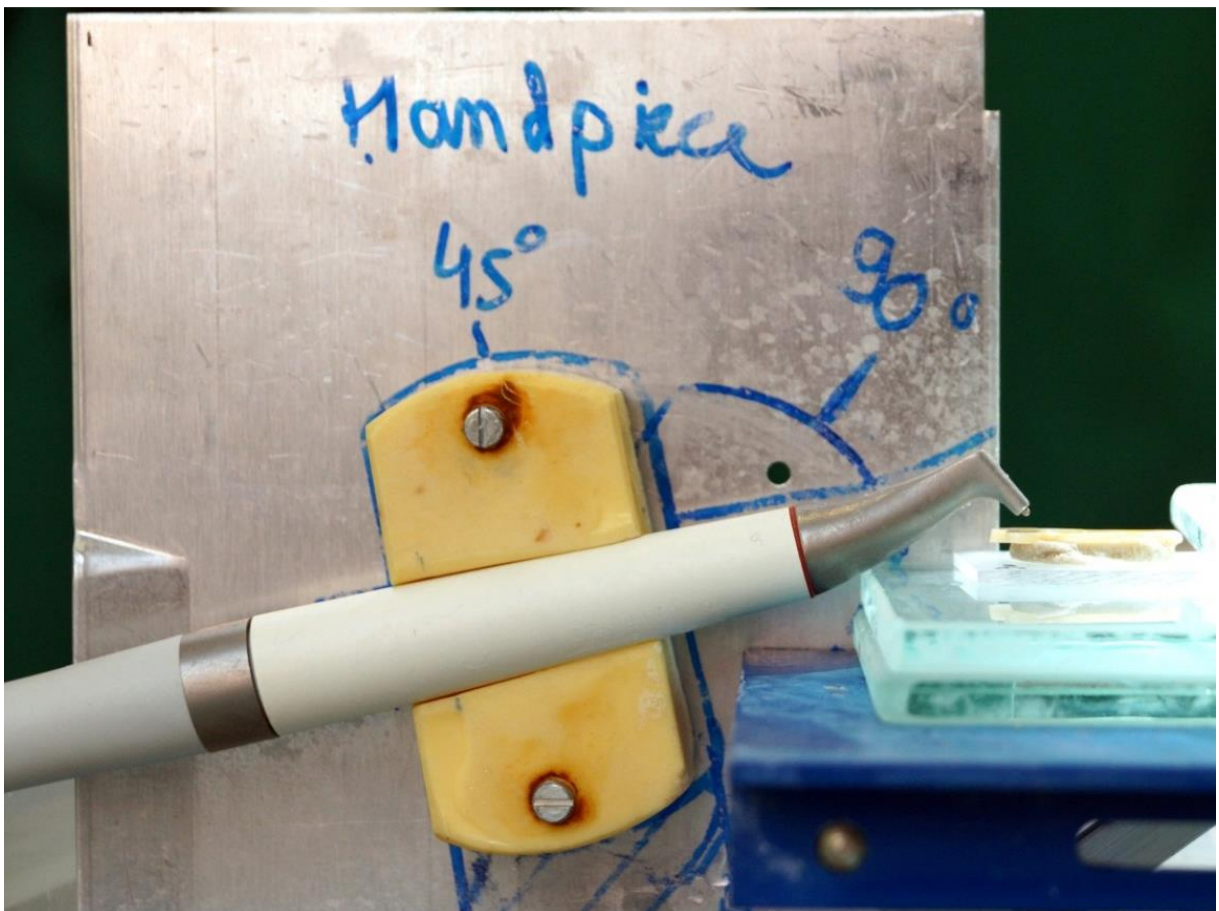


Abb. 6: Versuchsaufbau: In die feste Versuchsapparatur eingespanntes Handstück mit 45 ° und 90 ° einstellbaren Bestrahlungswinkel

Durch die erste Versuchsdurchführende (J.K.) wurde mit dem Polierpulver mit geringem Abrieb (LAAP) die Dentin- Oberfläche 5 Sekunden lang bestrahlt. Der

zweite Versuchsdurchführende (M.H.) überprüfte sorgfältig alle Einstellungen, markierte die behandelte Oberfläche und stoppte die Zeit.

Die folgenden Variationen der experimentellen Parameter wurden bewertet:

- 3 Druckeinstellungen (PR) des Luft-Pulver-Wasser-Gemisches am Gerät:

Minimum (Min.), Medium (Med.) und Maximum (Max.),

- 2 Winkel zwischen der Richtung des Sprühstrahls (AJ) aus dem Handstück und der Probenoberfläche: 45 ° und 90 °,

- 3 Abstände (DI): 1, 3 und 5 mm.

Das Studiendesign (Abb.2) bildete durch die Kombination der Parameter insgesamt 18 Versuchsgruppen (n = 10). An jeder Probe wurden 2 Tests am Zahnalsbereich, die räumlich klar voneinander getrennt waren, durchgeführt. Die Proben wurden in zufälliger Reihenfolge mit den verschiedenen Testgruppen behandelt. Die Positionszuordnung der Testmethode auf dem jeweiligen Probenkörper erfolgte randomisiert.

Direkt nach jedem Strahlvorgang wurde jede Probe unter fließendem Wasser gereinigt und mittels Luft getrocknet. Die behandelte Fläche wurde mit einem Lichtmikroskop (Axiophot, Zeiss, Jena, Deutschland) sowie einem opto- digitalen Mikroskop (DSX 500i, Olympus, Tokio, Japan) untersucht und visualisiert. So konnten die entstandenen Effekte der verschiedenen Parametereinstellungen auf den Oberflächen bildlich dargestellt werden.

3.4 Versuchsauswertung

Für jeden Defekt wurden die Mittelwerte der maximalen Defekttiefe (DD) entlang der Längs- und Querachse durch einen zweidimensionalen Laserscanner (scanControl 2910-10 / BL, Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG, Bayern, Deutschland) quantifiziert.

Mittels des Triangulationsprinzips wurde eine zweidimensionale Profil-Erfassung ermöglicht. Dabei wird das Licht der diffus reflektierten Laserlinie durch eine Empfangsoptik erfasst und auf einer hochempfindlichen Sensormatrix abgebildet. Der im Sensor integrierte Controller berechnet aus diesem Matrixbild die Abstandsinformationen (z-Achse) und die Position entlang der Laserlinie (x-Achse) und gibt sie in einem sensorfesten, zweidimensionalen Koordinatensystem aus. Dies ermöglicht eine Profilauflösung von 1280 Punkten und einen Punktabstand von nur 7,8 µm. Somit konnte eine zweidimensionale Profilerfassung erstellt werden. [51]

Zunächst wurden die Defektränder des betroffenen Längen- und Breitenbereichs bestimmt. Anschließend wurde die Längsachse des Kreises oder der Ellipse definiert, gefolgt von der Defekttiefen-Messung entlang dieses Längsschnitts. Abschließend wurde die Koordinate der maximalen horizontalen Breite des Kreises oder der Ellipse individuell analysiert, und an diesem horizontalen Abschnitt wurde die Defekttiefe gemessen. Mit diesem optisch präzisen Prinzip wurden die Mittelwerte aller Defekttiefen in Längsrichtung und in Querrichtung berechnet, um die Anzahl der Messfehler, die aus einer fehlerhaften Bestimmung der Defektabmessungen resultieren, zu minimieren. Weiterhin wurde die mittlere Oberflächenrauheit (RA) innerhalb der betroffenen Oberfläche bewertet.

Die Datenerfassung und Plausibilitätskontrolle erfolgten mittels des Microsoft Excel- und die statistischen Berechnungen mit dem IBM SPSS- Statistics Programm (Version 24).

Die statistisch signifikanten Unterschiede zwischen allen Testgruppen wurden mittels des ANOVA-Verfahrens (ein- und dreifaktorielle ANOVA) unter Verwendung der Bonferroni-Dunn-Korrektur auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ analysiert.

4. Ergebnisse

4.1 Mikroskopische Darstellung

Durch das Airpolishing entstanden konische Substanzabtragsformen auf den Wurzeloberflächen, die in Folge auch als Defekt bezeichnet werden. Sie unterschieden sich je nach angewandten Bestrahlungswinkeln und Einstellungsparametern. (Abb. 7)

Nach der Bestrahlung im 90° Winkel war die Basis der Defekte fast kreisförmig mit dem tiefsten Punkt in der Mitte (Abb. 7, 8 und 9).

Nach der 45° - Bestrahlung sah die Basis der Defekte elliptisch aus, wobei der tiefste Punkt zur Mitte hin exzentrisch war (Abb. 7, 10 und 11).

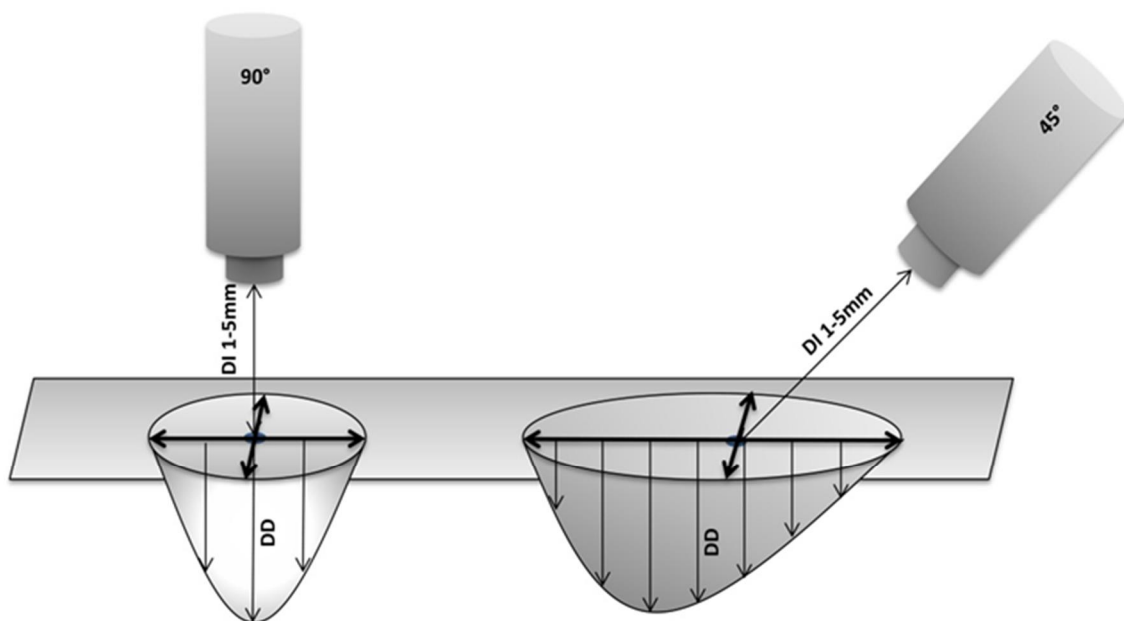


Abb.7: Die Grafik zeigt schematisch die typische Form des Substanzabtrags bei einem Winkel von 45 ° oder 90° zwischen Strahl und Oberfläche, wie sie sich mikroskopisch darstellt. Veranschaulicht wird auch, wo die Abstände (DI) eingestellt und die maximalen Fehertiefen (DD) in Längs- und Querrichtung gemessen wurden.

Die Abbildungen 8 und 9, sowie 10 und 11 veranschaulichen exemplarisch die Defekte an 2 verschiedenen Probenkörpern mit denselben Parametern. Zur besseren Sichtbarkeit wurden jeweils Proben der Gruppen mit dem ~~Worts-~~ Case-Szenario mit 1mm Strahlabstand und maximalen Druck gewählt.

Im Gegensatz dazu ist bei Einhaltung der Herstellerangaben beim Anwenden des Airpolishings ein begrenzter Defekt erkennbar (Abb.12), wobei aber ein gewisser minimaler Abtrag in der Delle nicht ausgeschlossen werden kann.

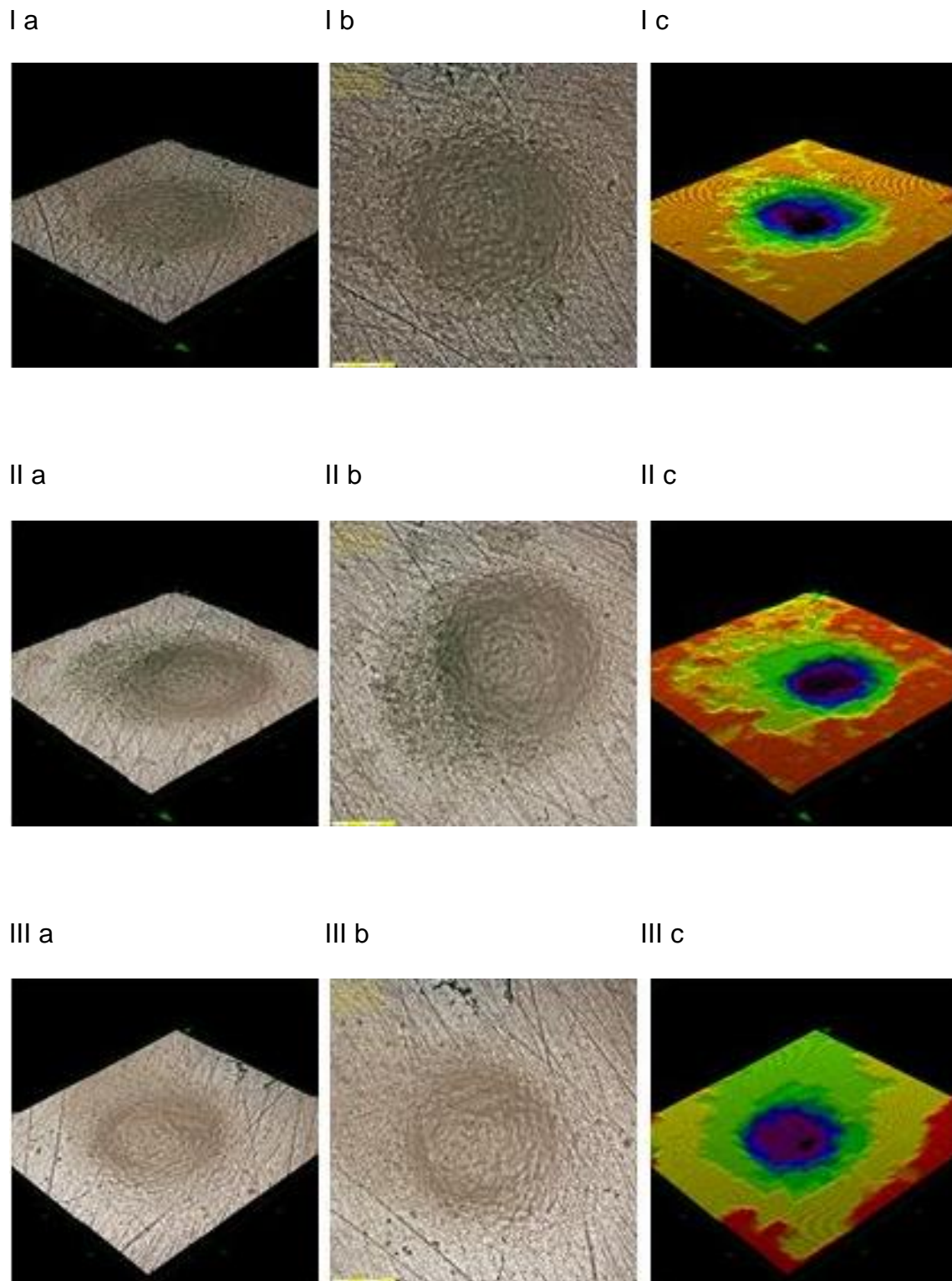
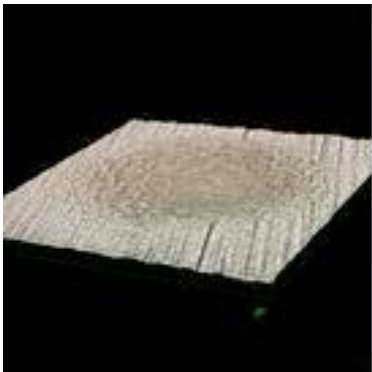


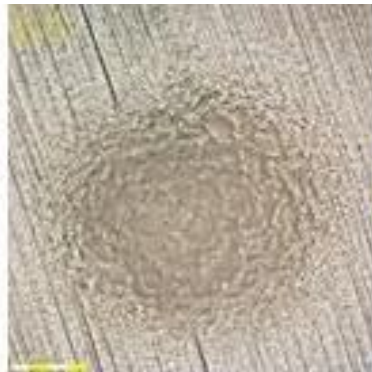
Abb. 8: Typische Defekte der Dentin- Oberfläche nach der Bestrahlung im 90° Winkel und 1mm Abstand und maximalen Druck

Deutlich wird die Kreisform des Substanzabtrags auf der Dentin- Oberfläche und den zentral gelegenen tiefsten Punkt des Defekts. (Probe 154, 1x Zoom). I a bis III a zeigen die Defekte in der Übersicht. I b bis III b zeigen den Defekt in einer Aufsichtsaufnahme. I c bis III c zeigen die farbkodierten Oberflächenprofile jeweils derselben Defekte.

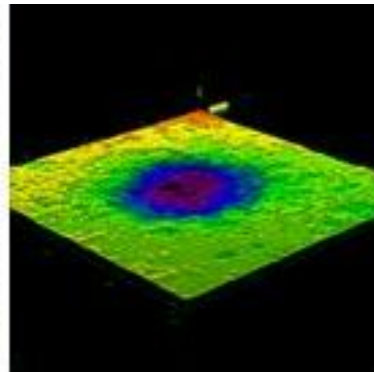
IV a



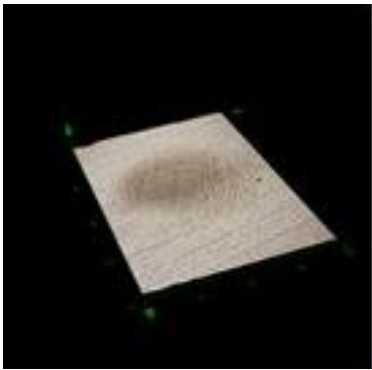
IV b



IV c



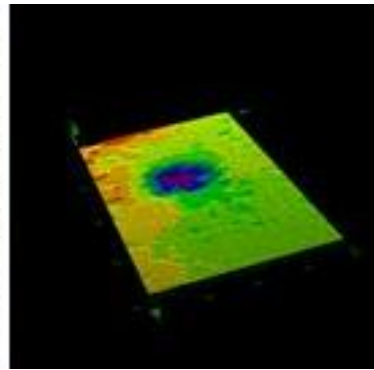
V a



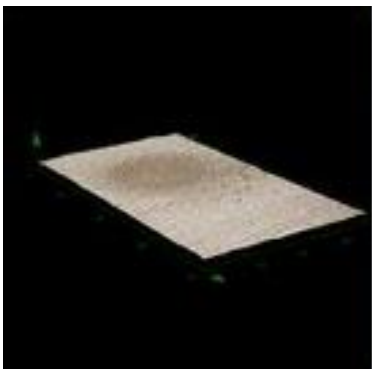
V b



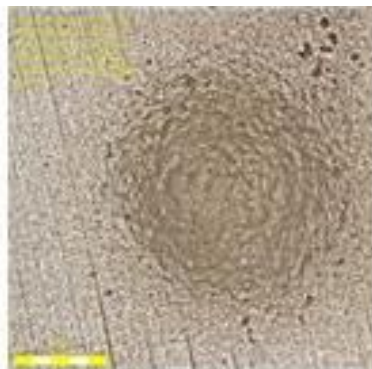
V c



VI a



VI b



VI c

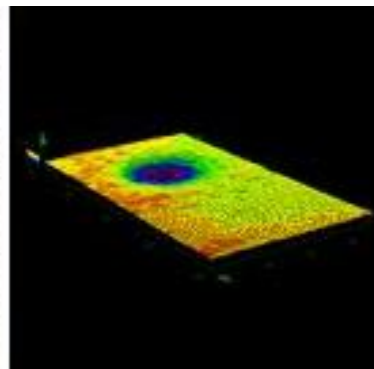


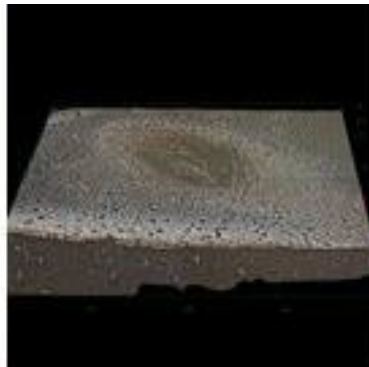
Abb. 9: Typische Defekte der Dentin- Oberfläche nach der Bestrahlung im 90° Winkel und 1mm Abstand und maximalen Druck

Deutlich wird die Kreisform des Substanzabtrags auf der Dentin- Oberfläche und den zentral gelegenen tiefsten Punkt des Defekts. (Probe 154, 1x Zoom). IV a bis VI a zeigen die Defekte in der Übersicht. VI b bis VI b zeigen den Defekt in einer Aufsichtsaufnahme. IV c bis VI c zeigen die farbkodierten Oberflächenprofile jeweils derselben Defekte.

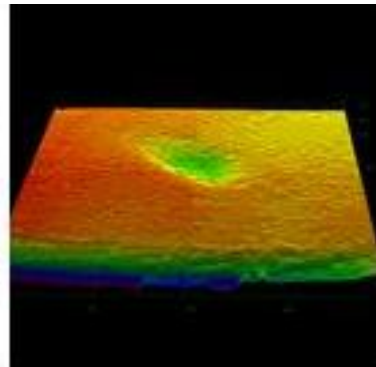
VII a



VII b



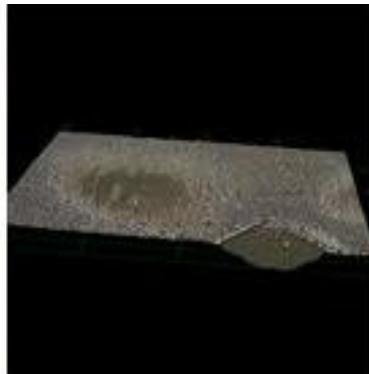
VII c



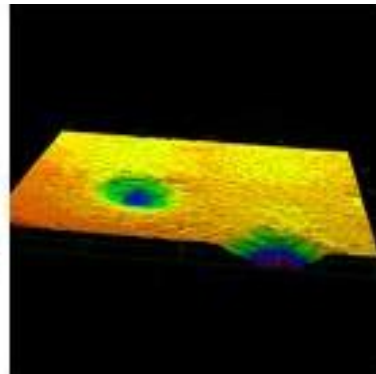
VIII a



VIII b



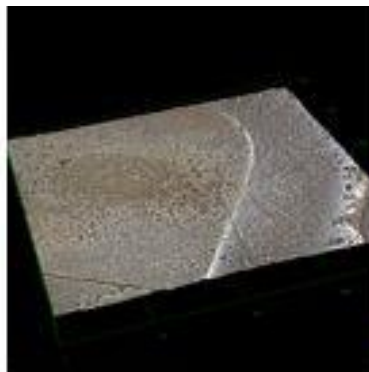
VIII c



IX a



IX b



IX c

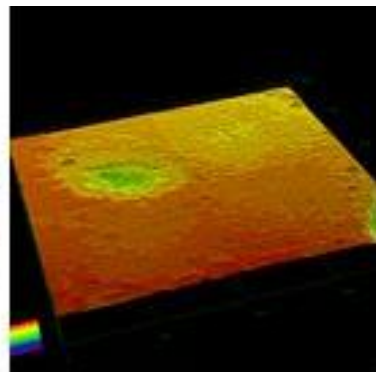


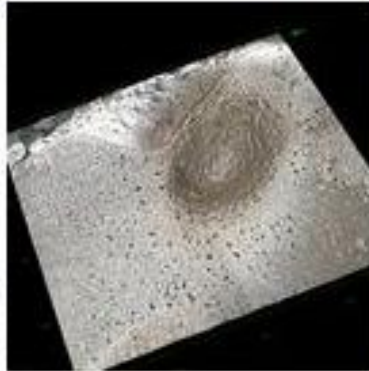
Abb. 10: **Typische Defekte der Dentin- Oberfläche nach der Bestrahlung im 45° Winkel und 1mm Abstand und maximalen Druck**

Deutlich wird die elliptische Form des Substanzabtrags auf der Dentin- Oberfläche und den exzentrisch gelegenen tiefsten Punkt des Defekts. (Probe 154, 1x Zoom). VII a bis IX a zeigen die Defekte in einer Aufsichtsaufnahme. VII b bis IX b zeigen den Defekt in der Übersicht. VII c bis IX c zeigen die farbkodierten Oberflächenprofile jeweils derselben Defekte.

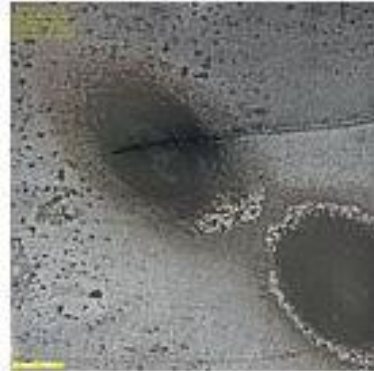
X a



X b



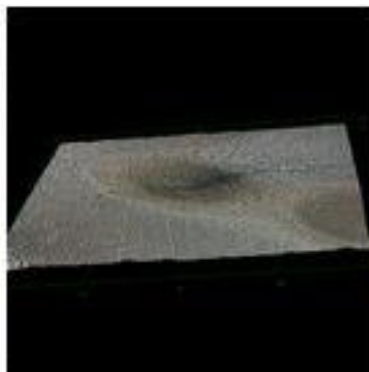
X c



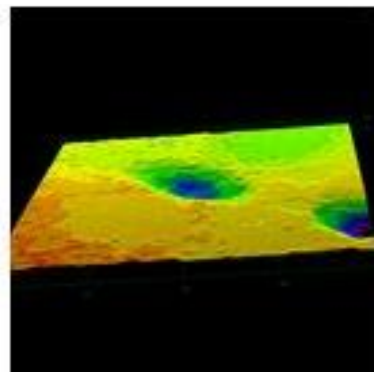
XI a



XI b



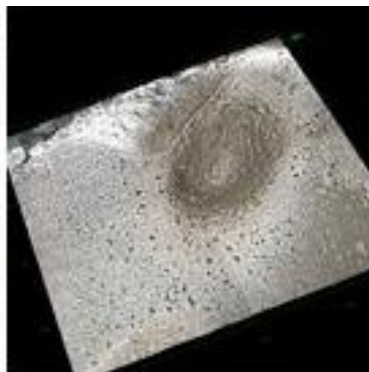
XI c



XII a



XII b



XII c

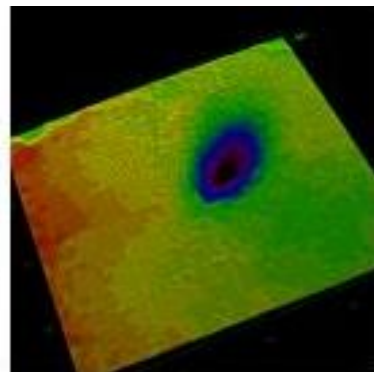
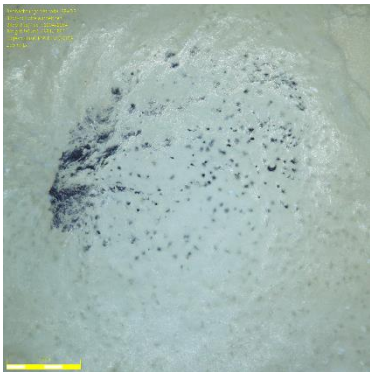


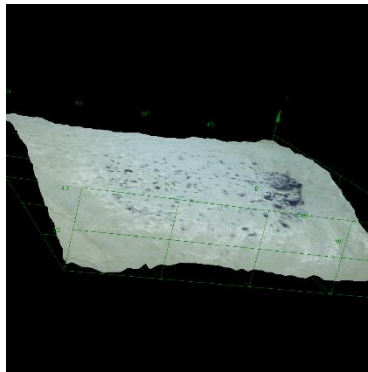
Abb. 11: Typische Defekte der Dentin- Oberfläche nach der Bestrahlung im 45° Winkel und 1mm Abstand und maximalen Druck

Deutlich wird die elliptische Form des Substanzabtrags auf der Dentin- Oberfläche und den exzentrisch gelegenen tiefsten Punkt des Defekts. (Probe 154, 1x Zoom). X a bis XII a und c zeigen die Defekte in einer Aufsichtsaufnahme. X b bis XII b zeigen den Defekt in der Übersicht. XII c bis XII c zeigen die farbkodierten Oberflächenprofile jeweils derselben Defekte.

XIII a



XIII b



XIII c

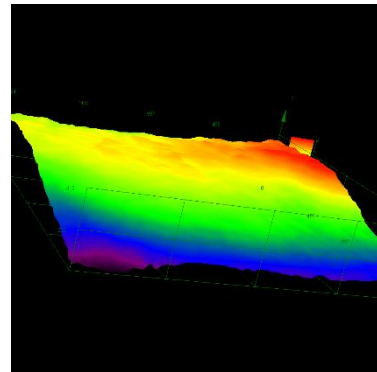


Abb. 12: **Bei Einhaltung der Herstellerangaben (45°, 5mm Abstand, minimaler Druck) ist kein klar begrenzter Substanzabtrag erkennbar.** (Probe 127, 1x Zoom)

XIII a zeigt die bearbeitete Oberfläche in eine Aufsichtsaufnahme. XIII b zeigt die Oberfläche in der Übersicht und XIII c zeigt das farbkodierte Oberflächenprofil der Probe

4.2. Ergebnisse der Parameter im Vergleich

Die Parameter Distanz (DI), Druck (PR) und Strahlwinkel (AJ) wurden getrennt untersucht. Bei der Auswertung der drei Weg ANOVA wurden nur sinnvoll miteinander zu kombinierende Testgruppen verglichen.

Zunächst werden die Ergebnisse der einzelnen Anwendungsparameter Arbeitsdistanz, Druck und Bestrahlungswinkel insgesamt gezeigt (Tab.4, Abb.13) und ihr Einfluss auf die Defekttiefe miteinander verglichen und die signifikanten Differenzen angegeben. (Tab.5)

Danach werden die einzelnen Parameter und deren Einflüsse auf die erstandenen maximalen Defekttiefen einzeln betrachtet.

Die mittlere Rauheit (RA) nach der Behandlung betrug $0,352 \pm 0,134$ um.

Tab.4: Mittelwerte der maximalen Defekttiefen (μm) und ihre Standardabweichung aller Testgruppen

Mean defect depth (μm)									
	Minimum pressure			Medium pressure			Maximum pressure		
	1mm	3mm	5mm	1mm	3mm	5mm	1mm	3mm	5mm
45°	53	28	15	50	44	19	101	45	26
SD	(23)	(10)	(10)	(21)	(24)	(8)	(65)	(12)	(16)
90°	94	45	22	155	61	18	117	64	16
SD	(30)	(11)	(7)	(136)	(20)	(7)	(43)	(24)	(9)

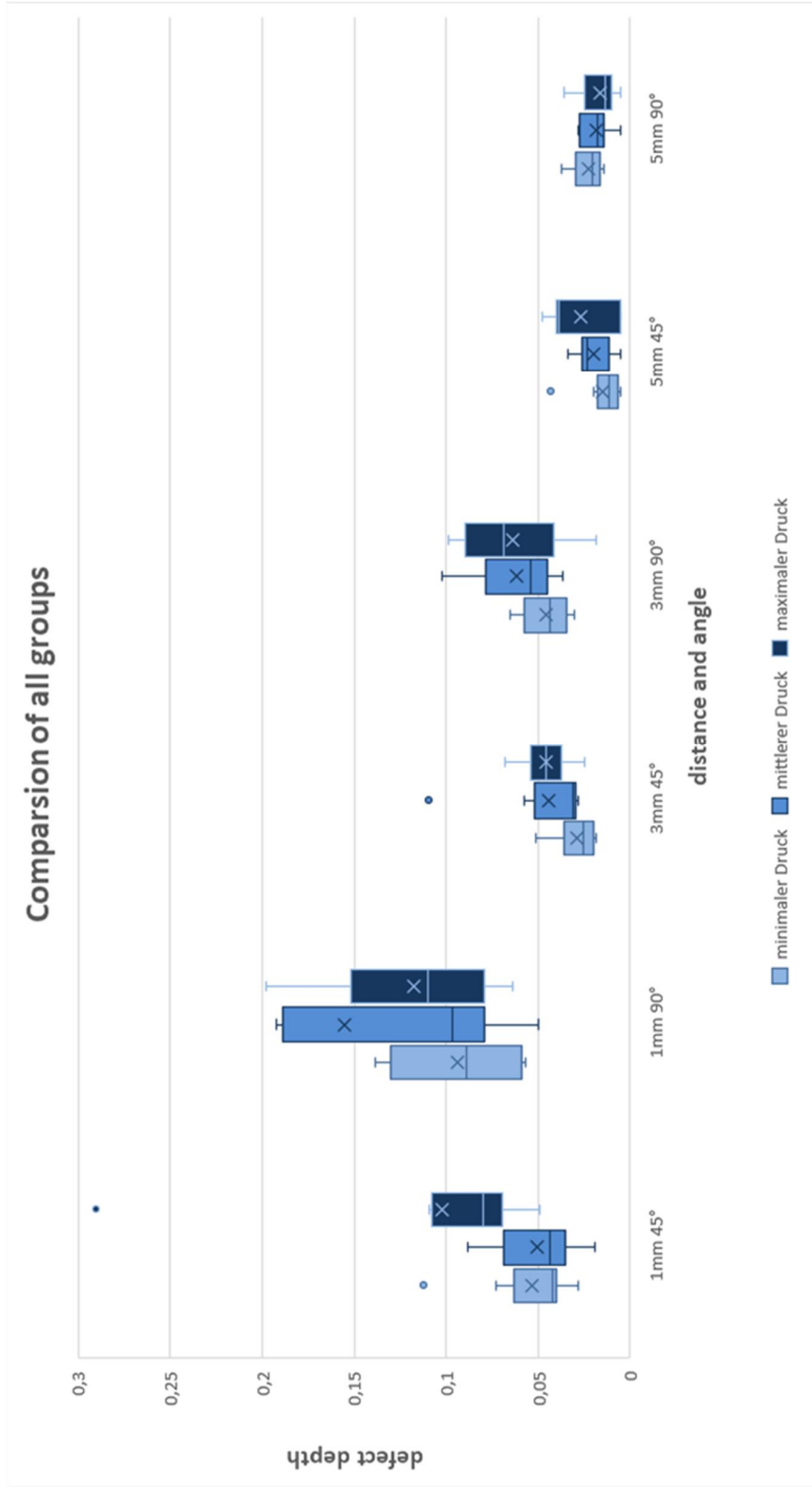


Abb. 13: Maximale Defekttiefe (mm) bei den unterschiedlichen Distanzen von 1 bis 5 mm, die Bestrahlungswinkel von 45 ° oder 90 ° und die Druckeinstellungen Minimum, Medium und Maximum

Tab.5 Übersicht der Gruppen, die sich signifikant voneinander unterschieden haben: $p > 0,005 =$ nicht signifikant, gelb hinterlegt = signifikant ($p < 0,005$), x= Testgruppen nicht verglichen

	DI 1, min. PR, 45° AJ	DI 1, min. PR, 90° AJ	DI 1, med. PR, 45° AJ	DI 1, med. PR, 90° AJ	DI 1, max. PR, 45° AJ	DI 1, max. PR, 90° AJ	DI 3, min. PR, 45° AJ	DI 3, min. PR, 90° AJ	DI 3, med. PR, 45° AJ	DI 3, med. PR, 90° AJ	DI 3, max. PR, 45° AJ	DI 3, max. PR, 90° AJ	DI 5, min. PR, 45° AJ	DI 5, min. PR, 90° AJ	DI 5, med. PR, 45° AJ	DI 5, med. PR, 90° AJ	DI 5, max. PR, 45° AJ	DI 5, max. PR, 90° AJ
DI 1, min. PR, 45° AJ	-	0,007	1,000	X	0,079	X	0,019	X	X	X	X	X	0,000	X	X	X	X	X
DI 1, min. PR, 90° AJ	0,007	-	X	0,424	X	1,000	X	0,000	X	X	X	X	X	0,000	X	X	X	X
DI 1, med. PR, 45° AJ	1,000	X	-	0,035	0,050	X	X	X	1,000	X	X	X	X	X	0,011	X	X	X
DI 1, med. PR, 90° AJ	X	0,424	0,035	-	X	1,000	X	X	X	0,058	X	X	X	X	X	0,004	X	X
DI 1, max. PR, 45° AJ	0,079	X	0,050	X	-	0,553	X	X	X	X	0,027	X	X	X	X	X	0,003	X
DI 1, max. PR, 90° AJ	X	1,000	X	1,000	0,553	-	X	X	X	X	X	0,002	X	X	X	X	X	0,000
DI 3, min. PR, 45° AJ	0,019	X	X	X	X	X	-	0,007	0,232	X	0,175	X	0,334	X	X	X	X	X
DI 3, min. PR, 90° AJ	X	0,000	X	X	X	X	0,007	-	X	0,302	X	0,173	X	0,057	X	X	X	X
DI 3, med. PR, 45° AJ	X	X	1,000	X	X	X	0,232	X	-	0,141	1,000	X	X	X	0,056	X	X	X
DI 3, med. PR, 90° AJ	X	X	X	0,058	X	X	X	0,302	0,141	-	X	1,000	X	X	X	0,797	X	X
DI 3, max. PR, 45° AJ	X	X	X	X	0,027	X	0,175	X	1,000	X	-	0,072	X	X	X	X	1,000	X
DI 3, max. PR, 90° AJ	X	X	X	X	X	0,002	X	0,173	X	1,000	0,072	-	X	X	X	X	X	0,005
DI 5, min. PR, 45° AJ	0,000	X	X	X	X	X	0,334	X	X	X	X	X	-	0,120	1,000	X	0,235	X
DI 5, min. PR, 90° AJ	X	0,000	X	X	X	X	X	0,057	X	X	X	X	0,120	-	X	0,949	X	0,343
DI 5, med. PR, 45° AJ	X	X	0,011	X	X	X	X	X	0,056	X	X	X	1,000	X	-	0,782	0,842	X
DI 5, med. PR, 90° AJ	X	X	X	0,004	X	X	X	X	X	0,797	X	X	X	0,949	0,782	-	X	1,000
DI 5, max. PR, 45° AJ	X	X	X	X	0,003	X	X	X	X	X	1,000	X	0,235	X	0,842	X	-	0,129
DI 5, max. PR, 90° AJ	X	X	X	X	X	0,000	X	X	X	X	X	0,005	X	0,343	X	1,000	0,129	-

4.3 Einfluss des Parameters Distanz

Die maximale Defekttiefe (DD) zeigte eine direkte inverse Korrelation mit der Distanz (DI), die für alle drei Druckeinstellungen (PR) statistisch signifikant und unabhängig vom Bestrahlungswinkel (AJ) war ($p < 0,05$) (Tabelle 5).

Die Defekttiefe zeigte sich, unabhängig von den Druckeinstellungen, bei der Distanz von 1 mm und einem Strahlwinkel von 90° bei einem Wert zwischen $94 \pm 30 \mu\text{m}$ und $155 \pm 136 \mu\text{m}$ am höchsten, sowie für die Kombination 1 mm DI / 45° AJ / max. PR.

Die jeweiligen Defekttiefen-Werte sanken bei einer Distanz von 5 mm auf einen Bereich zwischen $16 \pm 9 \mu\text{m}$ und $26 \pm 16 \mu\text{m}$, was bedeutete, dass die gemessenen maximalen Defekttiefen auf ein Viertel reduziert wurden.

Dennoch betrug die mittlere Defekttiefe bei 1 mm DI / 45° AJ / min. und med. PR ungefähr $50 \mu\text{m}$. Allerdings sank die Defekttiefe mit der Erhöhung der Distanz auf 5 mm ebenfalls auf ein Drittel. (Abb. 14, 15, 16)

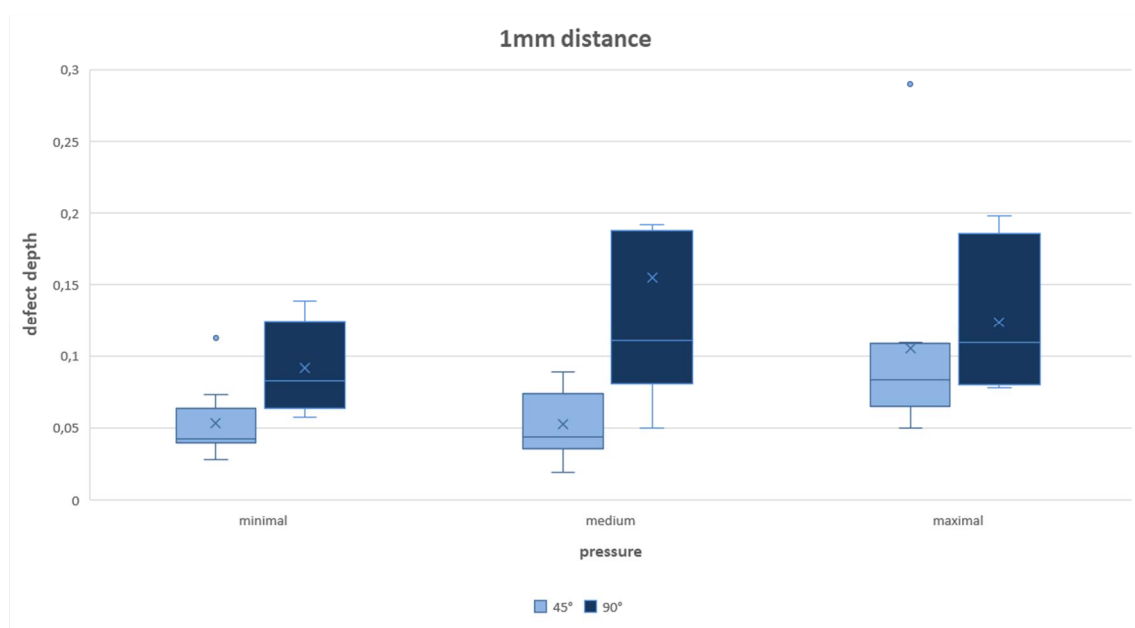


Abb. 14: Gemessene maximale Defekttiefen bei 1mm Distanz und jeweils 45° und 90° Bestrahlungswinkeln mit minimaler, mittlerer und maximaler Druckeinstellung.

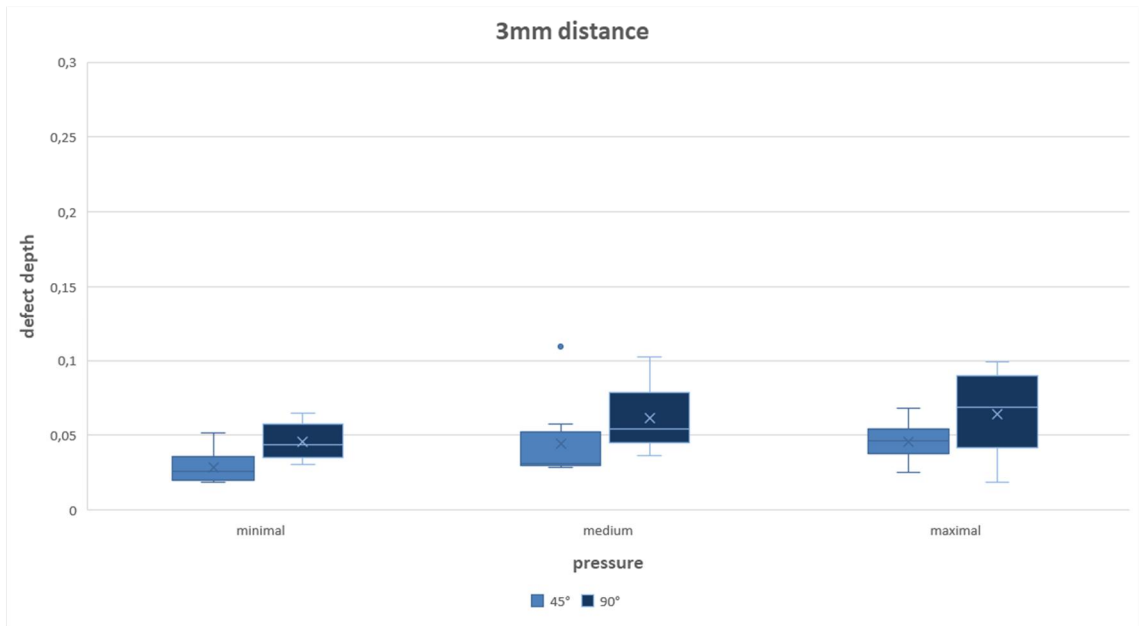


Abb. 15: Gemessene maximale Defekttiefen bei 3mm Distanz und jeweils 45° und 90° Bestrahlungswinkeln mit minimaler, mittlerer und maximaler Druckeinstellung.

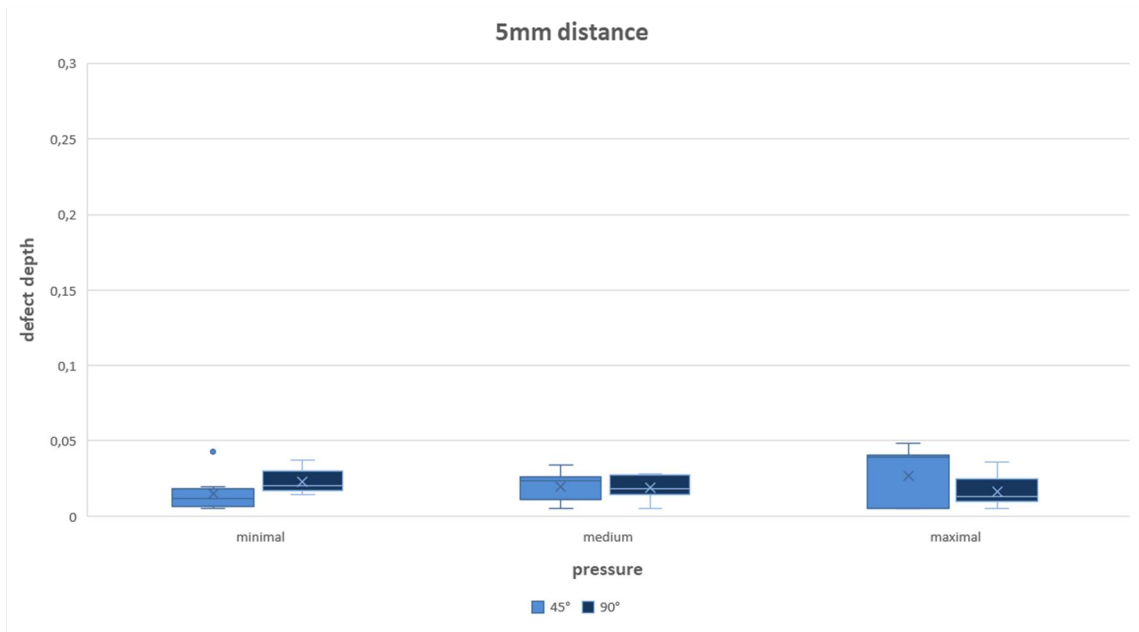


Abb. 16: Gemessene maximale Defekttiefen bei 5mm Distanz und jeweils 45° und 90° Bestrahlungswinkeln mit minimaler, mittlerer und maximaler Druckeinstellung.

4.4 Einfluss des Parameters Druck

Der Parameter Druck hatte nur einen geringen Einfluss auf die Unterschiede in den maximalen Defekttiefen, wenn die jeweiligen Gruppen mit den gleichen Distanzen und Bestrahlungswinkeln verglichen wurden.

Nur die Messwerte der Defekttiefe bei 1mm Distanz und einem Strahlwinkel von 45° zeigen zwischen den Gruppen mit mittlerer und maximaler Druckeinstellung statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Die Unterschiede zwischen allen anderen Vergleichsgruppen waren für diesen Parameter nicht signifikant ($p > 0,05$). (Tab.5, Abb. 17, 18, 19)

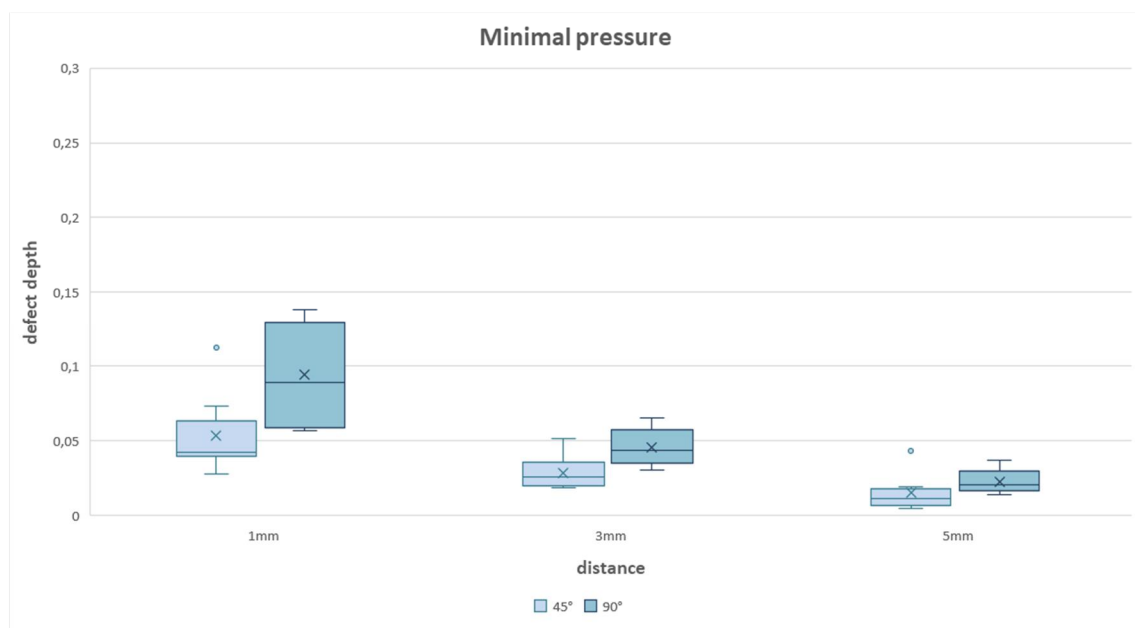


Abb. 17: Gemessene maximale Defekttiefen bei einer minimalen Druckeinstellung und jeweils Bestrahlungswinkeln von 45° und 90° mit Distanzen von 1mm, 3mm und 5mm.

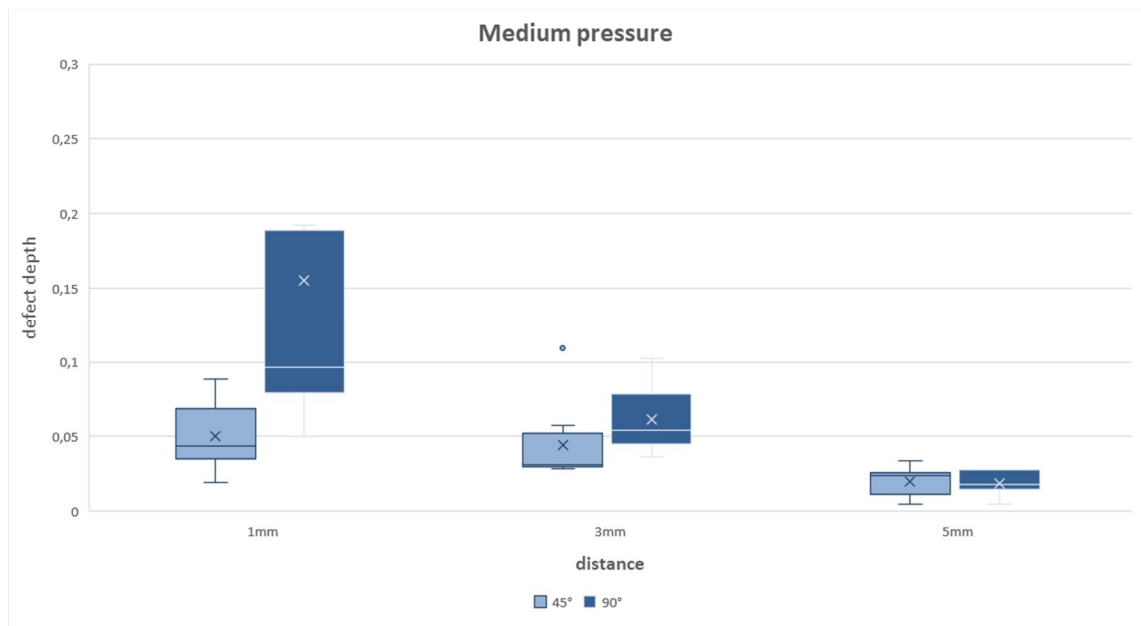


Abb. 18: Gemessene maximale Defekttiefen bei einer mittleren Druckeinstellung und jeweils Bestrahlungswinkeln von 45° und 90° mit Distanzen von 1mm, 3mm und 5mm.

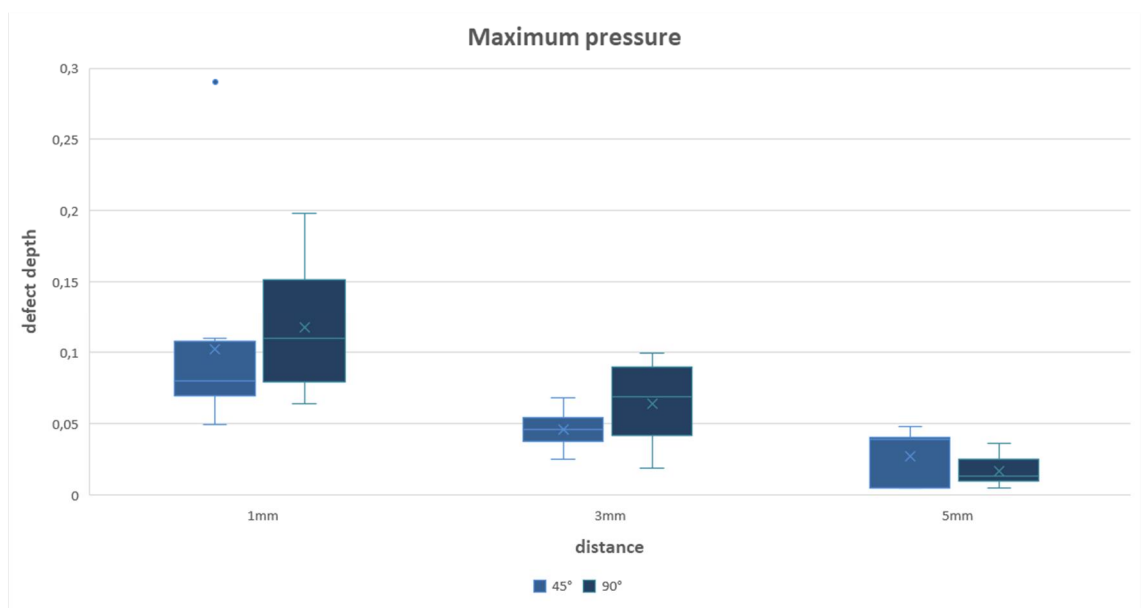


Abb. 19: Gemessene maximale Defekttiefen bei einer maximalen Druckeinstellung und jeweils Bestrahlungswinkeln von 45° und 90° mit Distanzen von 1mm, 3mm und 5mm.

4.5 Einfluss des Parameters Strahlwinkel

In Bezug auf den Bestrahlungswinkel wurde ein tendenziell höherer Substanzverlust für 90 ° im Vergleich zu den jeweiligen Gruppen mit 45 ° festgestellt. (Abb. 20)

Aber nur die Vergleichsgruppen mit minimaler Druckeinstellung und Distanzen von 1 und 3 mm, sowie die bei mittlerer Druckeinstellung und 1 mm Distanz unterschieden sich signifikant ($p < 0,05$). (Tab.5) Für diese Gruppen korrelierte die maximale Defekttiefe direkt mit dem Parameter Bestrahlungswinkel mit einem durchschnittlichen Multiplikationsfaktor von 1,5.

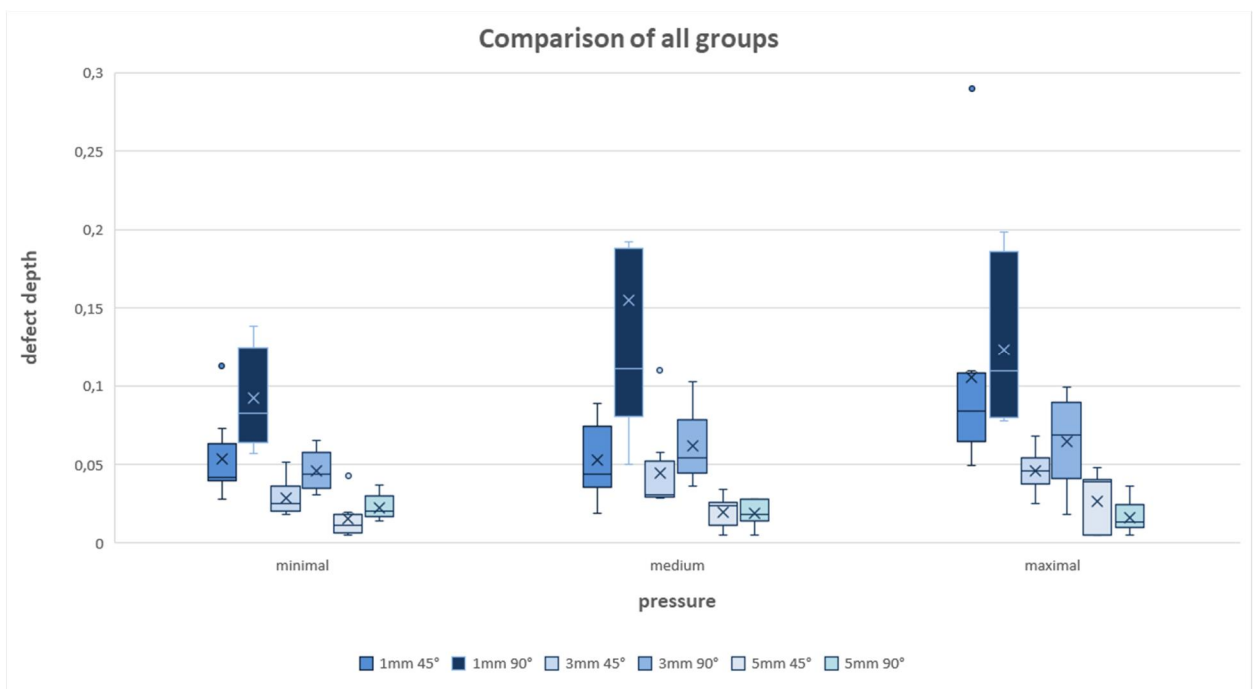


Abb. 20: Gemessene Defekttiefen (mm) der unterschiedlichen Distanzen von 1mm, 3mm und 5 mm im Vergleich mit den Bestrahlungswinkeln von 45 ° und 90 ° unter Berücksichtigung der Druckeinstellungen von Minimum, Medium und Maximum.

5. Diskussion

Bei der Analyse der Ergebnisse konnte die Nullhypothese nicht bestätigt werden. Unsere Ergebnisse bestätigten, dass Airpolishing mit Erythritol den Substanzverlust des Dentins abhängig von den eingestellten Parametern beeinflusst.

5.1 Methodenkritik

Ein kritischer Punkt war die Qualität des Probenmaterials.

Extrahierte Zähne können in verschiedenen Desinfektionslösungen wie Formaldehyd, Chloramin oder H_2O_2 gelagert werden. Die Desinfektionslösung kann die Zahnschubstanz schwächen.

Für diese Studie wurden die Zähne mit Chloramin-T und Glutaraldehydcacodylat-Lösung desinfiziert, was bereits von anderen Autoren akzeptiert wurde. [52-55] Frühere Studien haben gezeigt, dass diese Desinfektionsverfahren die erzielten Ergebnisse nicht signifikant beeinflussten.

Die Unversehrtheit der Oberfläche wurde zerstört, indem das Wurzelzement eingeebnet und poliert wurde.

Dieser Nachteil wurde jedoch hingenommen, da die Vorversuche zeigten, dass die Defekttiefe auf unbearbeiteten, abgerundeten und unregelmäßigen Oberflächen nicht genau gemessen werden konnte. (Abb.12)

In der Literatur zeigten sich die Tendenz der Ergebnisse auf intakten Oberflächen immer konform, sodass ein direkter Vergleich nicht erfolgen kann, aber in der Relation betrachtet, zeigen sich die Ergebnisse vergleichbar.

Die Form der entstanden Defekte war konisch, wobei sich die Spitze des Kegels nicht zwingenderweise in der Mitte der Basis befand. Außerdem hatte die Basis des Kegels in den Gruppen mit dem 45 °-Arbeitswinkel die Form einer Ellipse. Das verwendete Triangulationsprinzip half dabei, eine hohe Maßgenauigkeit zu erreichen. Nichtsdestoweniger können Ungenauigkeiten nicht ausgeschlossen werden, da es nicht immer möglich war, exakt den tiefsten Punkt zu finden und messen zu können.

Daher wurde, im Vergleich zu den früheren Untersuchungen der unbearbeiteten, ursprünglichen Oberflächen, die Möglichkeit bevorzugt, die Defekttiefe mit hoher Genauigkeit zu messen. Die Kombination der Einflussparameter zu einem Worst-Case-Szenario erlaubte den Einfluss der Bestrahlung zu visualisieren und dadurch Unterschiede messbar zu machen.

In dieser Studie wurde bestätigt, dass die gemessene Vickershärte (HV) der untersuchten Zähne der durchschnittlich in der Literatur angegebenen Vickershärte von Dentin entsprach, wobei beachtet worden ist, dass nur die unbearbeitete Probenoberfläche und nicht die Unterseite oder Schnittfläche untersucht wurden.

5.2 Ergebniskritik

- Substanzverlust durch LAPP

Airpolishing basiert hauptsächlich auf einem mechanischen Schleifprozess. [20, 33, 43]

Daher ist es logisch, dass der Substanzverlust mit der Korngröße des Pulvers, sowie der Kornhärte und -form als auch der Härte und Struktur des Probenmaterials, auf das es appliziert wurde, korreliert.

Aus diesem Grund verursacht Airpolishing mit Natriumbikarbonat im Vergleich zu LAPP grundsätzlich mehr Substanzabtrag. Auf Schmelz wirkt sich dies aufgrund seiner Härte nicht aus. Da Dentin eine geringere Härte besitzt, wird darauf mehr Substanzabtrag mit Natriumbikarbonat als mit LAPP gemessen. Dies wird allgemein akzeptiert, weshalb Natriumbikarbonat nicht auf Dentin eingesetzt werden soll. [26, 29, 33]

Aus diesem Grund wurde LAPP weiterentwickelt:

Mit LAPP sollte im Gegensatz zu Natriumbikarbonat ein Strahlmittel eingeführt werden, das sowohl auf Schmelz als auch auf Dentin angewendet werden kann. [16, 31, 32]

Im Vergleich zu Natriumbikarbonat ist die Menge des Substanzabtrags von der Dentin- Oberfläche durch LAPP viel niedriger. [29, 31, 32, 34, 36]

Deshalb haben diverse Autoren Pulver auf Glycin- und Erythritolbasis sowohl bei Schmelz- als auch bei der Anwendung auf Dentin- Oberflächen als sicher eingestuft. [20, 29, 32, 33, 41, 43]. Jedoch wurde mit LAPP ebenfalls ein gewisser Substanzverlust festgestellt. [31, 36]

Diverse Untersuchungen, die Substanzverlust durch LAPP verzeichnen, wurden alle in vitro durchgeführt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen ebenfalls diesen Sachverhalt.

Diese Beobachtungen von in vitro Substanzabtrag mit LAPP stehen im Widerspruch zu den berichteten positiven Ergebnissen bei der klinischen Bewertung von Airpolishing mit LAPP. [41, 45, 56]

Auf jeden Fall muss diese Diskrepanz beachtet und erklärt und hinsichtlich ihrer klinischen Relevanz diskutiert werden.

Hinzu kommt, dass sich zeigt, wenn die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit Erythritol- Pulver (ERY) mit denen der aktuellen Literatur für Studien, die die Effekte von Glycin- Pulver (GLY) auf Dentin untersuchten, verglichen werden, die Defekttiefe ähnlich ist. [32-34, 36]

Die meisten Untersuchungen wurden mit GLY durchgeführt. Ähnliche Untersuchungen mit ERY fehlten. In der Literatur wurde im Vergleich von GLY und ERY ein gleichartiges Verhalten angegeben. In dieser Arbeit sollte daher systematisch das Verhalten von Airpolishing mit ERY auf Dentin untersucht werden. Der Ansatz für eine Erklärung, warum in vitro Defekte gemessen wurden, in vivo aber nicht bemerkt, lautet:

Bei der Anwendung des Airflow- Gerätes mit ERY unter Einhaltung der Herstellerempfehlungen könnte der Einfluss der einzelnen Ausführung so gering sein, dass dies unterhalb der Schwelle messbarer Unterschiede lag.

Bei den in vitro Studien wurde ein deutlicherer Einfluss produziert, weil nur eine konkrete Stelle bestrahlt wurde, die reproduzierbar definiert war und mit präzisen laseroptischen Methoden ausgewertet. In vivo waren diese Messmethoden aber nicht anwendbar.

Vielmehr wurde unter klinischen Bedingungen der Erfolg des Airpolishing während der UPT durch verschiedene Bewertungsstandards wie die Reduktion einer Parodontal- Entzündung beurteilt [38, 41, 44, 45, 47]. In diesem Fall konnte die Therapie als erfolgreich angesehen werden, jedoch wurde dem Aspekt der Substanzentfernung hierbei keinerlei Rechnung getragen. Zudem wird der Substanzabtrag bei einmaliger Anwendung auch als minimal anzusehen sein.

Beim Airpolishing mit LAPP handelt es sich aber um Methoden, die im Rahmen des UPT im weiteren Verlauf vielmals wiederholt werden, sodass erst der Summationseffekt kritische Größen annehmen könnte, was ebenfalls zu vermeiden ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie geben Grund zur kritischen Betrachtung, ob LAPP immer sicher ist.

Vielmehr müssen die Parameter, unter denen das Airpolishing mit ERY durchgeführt wird, genau berücksichtigt werden, um dies zu verifizieren.

Aus technischer Sicht war der LAPP-Substanzverlust nicht überraschend, da Dentin weniger Härte als Schmelz aufweist und aufgrund seiner Struktur und der Dentintubuli anfälliger ist, selbst wenn das Pulver weniger abrasiv als Natriumbikarbonat war.

Die ähnlichen Ergebnisse, die für Glycin und Erythritol erzielt wurden - obwohl es sich unterschiedliche Materialgruppen handelt -, lassen sich durch ihre Korngrößen und Härten erklären, die für GLY und ERY auf demselben Niveau lagen.

- Herstellerempfehlungen

Die Hersteller geben strikte Anweisungen für die Anwendung von Airpolishing mit LAPP auf Dentin, um ungewollte Nebenwirkungen zu vermeiden. Besonders das Handstück sollte immer in ständiger, wechselnder Bewegung verwendet werden. Der Sprühstrahl sollte mindestens 3 mm von der Oberfläche des zu bearbeitenden Mediums entfernt sein und ein Arbeitswinkel von 45 ° eingehalten werden, wobei keine höhere Druckeinstellung als Medium ausgewählt werden sollte. Außerdem

sollte die Plaque angefärbt und nur verunreinigte Oberflächen bearbeitet werden, die der Behandler durch das Anfärben besser selektieren kann.

Unter Einhaltung dieser Anweisungen konnten tatsächlich keine negativen Auswirkungen von Erythritol festgestellt werden. Dies war wahrscheinlich dadurch begründet, dass die Wirkung einer einzelnen Behandlung so gering war, dass sie unter dem messbaren Wert lag.

Hinzu kommt die Gefahr, dass bei Anwendung des Airpolishings auf unpolierten, natürlichen Wurzeloberflächen der sehr geringe Substanzverlust eine Größenordnung hat, die im Bereich der ursprünglichen Oberflächenrauheit der Zähne vor der Behandlung liegt, und somit nicht als Unterschied erfasst wird. Zudem erzeugt auch die die Behandlung selbst eine Rauheit, die das Messergebnis des Substanzabtrags verfälschen kann.

Ein Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf die Genauigkeit der Defektmessungen wurde in dieser Studie durch vorheriges Polieren der Dentin- Oberfläche ausgeschlossen.

Die Bestrahlungsdauer war unter der Bewegung pro Stelle sehr kurz und wenn sie nur bis zur Entfernung der aufgelagerten Plaque angewendet wird, dann wäre tatsächlich kein Substanzabtrag oder negativer Effekt zu befürchten und die Sicherheit könnte bestätigt werden.

Allerdings ist fraglich, ob die strengen Herstellerempfehlungen von den Anwendern während des klinischen Gebrauchs stets eingehalten werden. Dies ist nicht nur auf den individuellen Qualifikationsstandard des jeweiligen Behandlers zurückzuführen, sondern auch auf die individuellen Umstände des Patienten.

So können zum Beispiel ein enger Unterkieferbogen, Unregelmäßigkeiten der Zahnposition und andere Schwierigkeiten bei der Erreichung des Arbeitsfeldes (z.B. ein enger Mundraum und andere schwierige, anatomische Situationen) zu Limitationen in der korrekten Anwendung führen.

Daher müssen weitere Studien angestrebt werden, um die Folgen einer nicht sorgfältigen Einhaltung der Herstellerempfehlungen besser einordnen zu können.

Auch diese Studie hat Parameter- Kombinationen getestet, die bewusst den Herstellerempfehlungen widersprachen. Dabei hat sich gezeigt, dass gerade diese Einstellungen den größten Substanzabtrag verursachten.

- **Summationseffekt**

Unter der Annahme, dass eine einzelne Behandlung einen geringen Effekt hat, kann es bei vielen Behandlungen zu einem Summationseffekt kommen.

In der Klinik werden die professionelle mechanische Entfernung von Plaque (PMEP) oder die unterstützenden Parodontaltherapie (UPT) regelmäßig wiederholt und viele Male im Leben eines Patienten durchgeführt. Daher ist es äußerst wichtig, sichere Reinigungsmethoden zu wählen, die trotz vieler Behandlungen im Laufe der Zeit keine Schäden verursachen.

Dies ist besonders wichtig für Patienten, die sich zuvor einer Parodontal-Behandlung unterzogen haben und deren Wurzeloberflächen aufgrund des Attachment- Verlustes supragingival frei liegen.

Es wurde die Einstellung der Parameter dieser Studie mit dem Ziel ausgewählt, einen Summationseffekt vieler Behandlungen zu simulieren.

Das Testdesign war extremer als es unter normalen Bedingungen der Fall wäre.

Darüber hinaus kann man nicht sicher sein, dass dieser Extremzustand die Auswirkungen vieler wiederholter Einzelanwendungen wirklich simuliert, da die Zahnoberfläche durch andere äußere Faktoren zwischen den jeweiligen Behandlungen in vivo beeinflusst werden kann.

- **Worst- Case- Szenario**

Das Studiendesign sollte jedoch auch kritische Bedingungen berücksichtigen, um die Auswirkungen des Worst Case zu bewerten, indem die verschiedenen Parameter mit Extremwerten kombiniert werden.

Selbstverständlich widersprechen solche Parameterkombinationen den Empfehlungen des Herstellers vollständig.

Die Auswahl eines Worst-Case-Szenarios und auch die Verlängerung der Expositionszeit erfolgte absichtlich, um zunächst einen Grenzwert zu bestimmen, ab dem das Airpolishing mit ERY zu einem Substanzverlust auf der Wurzeloberflächen durch das Airpolishing führt.

Der Zweck dieses Vorgehens bestand darin, oberhalb dieses Grenzwertes die Messungen auf einem Niveau durchzuführen, bei diesem das Messgerät mit hoher Zuverlässigkeit Unterschiede differenzieren konnte. Dadurch konnten letztendlich die unterschiedlichen Auswirkungen jedes einzelnen Parameters klar aufgezeichnet werden.

Die erzielten Ergebnisse bestätigen das geplante Vorgehen, welches das gewünschte Ziel dargestellt hat.

Jeder einzelne Faktor Distanz (DI), Druckeinstellung (PR) und Strahlwinkel (AJ) konnte eine unterschiedliche Relevanz hinsichtlich des Substanzverlustes zugeschrieben werden.

Die Defekttiefe korrelierte direkt mit der Distanz sowie mit dem Strahlwinkel, während der Effekt von den Druckeinstellungen nicht proportional war.

In der Literatur wurde ein solcher Einfluss für DI und die Expositionszeit beschrieben, aber die Bedeutung von AJ und PR wurde bisher unterschätzt. [29, 32, 33]

Wahrscheinlich gewinnen der Strahlwinkel und die Druckeinstellung in Kombination mit anderen Parametern jedoch an höherer Relevanz.

Die Versuchsdurchführung mit fixierter Position des Sprühstrahls bedeutet eine längere Expositionszeit, da der Sprühstrahl eigentlich unter kontinuierlicher Bewegung jede Stelle und diese nur zu einem Bruchteil der Zeit bearbeiten würde.

Eine, wie vom Hersteller geforderte, wedelnde Bewegung würde zur Folge haben, dass sich die Spitze des Handstücks an mehreren einzelnen Positionen befinden würde. Die Bewegung des Sprühstrahls hätte eine Rille erzeugt, während eine fixierte Spitze zu einer konischen Form des Defekts führt. Jede einzelne Position wäre dem Sprühstrahl kürzer ausgesetzt und ein geringfügiger Defekt zu erwarten gewesen.

Der Vorteil der fixierten Strahlposition war, dass eine Delle anstatt einer Rille erzeugt wurde. Die Form und Tiefe der Delle konnte präziser vermessen werden. Zudem wurde ein Shutter eingesetzt, um die Konstanz der Strahlintensität über die Versuchsdauer zu gewährleisten.

In weiteren Untersuchungen sollte eine konstante Wedel- Bewegung simuliert werden. Zur besseren Simulation der in vivo- Bedingungen sollte sich der Sprühstrahl bezogen auf die Zahnoberfläche bewegen. In der Literatur wurde dies

durch Rotation der Probe realisiert. [30] Weitere Studien sollten sich dieser Therapie widmen.

Es ist zu vermuten, dass weitere Faktoren wie das Strahlgerät, das Strahlmaterial und die Qualität des Zahnmaterials aufgrund seiner Lagerung und Oberflächenbearbeitung die Ergebnisse ebenfalls beeinflussen würden. [29-33] Diese Parameter wurden in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

- **Biofilm**

Ein weiterer wichtiger zu berücksichtigender Aspekt ist, dass die Wirkung des Airpolishings auf sauberen Dentin erprobt wurde.

Normalerweise sollte jede Debridement-Methode nur angewendet werden, wenn ein bakterieller Biofilm oder andere Ablagerungen von der Zahnoberfläche professionell entfernt werden müssen.

Dann würde das Airpolishing nur das zu entfernende Material schonend beseitigen. Allerdings müsste in dem Fall die Anwendung sofort beendet werden, sobald die gewünschte Reinigung erfolgt ist.

Würde dies gelingen, könnte das Airpolishing die Zahnoberfläche nicht beschädigen, solange der Biofilm entfernt wird. Auf sauberen Dentin sollte Airpolishing klinisch nicht angewendet werden. Demzufolge entsprach diese Studie in diesem Punkt nicht der klinischen Realität.

Das Design dieser Studie wurde jedoch bewusst gewählt, um den Effekt des Airpolishings unabhängig von einem weiteren Faktor bewerten zu können. Wäre ein Biofilm auf dem Dentin adhärent gewesen, hätte das Airpolishing zunächst nur diesen Biofilm entfernt, bevor es einen Effekt auf das Dentin

ausgeübt hätte. Wiederum kann die Dicke und Konsistenz des adhärenen Biofilms variieren, sodass er unterschiedlich schnell entfernt würde.

Möglicherweise ist der anhaftende Biofilm nicht immer homogen, sodass einige Oberflächen vollständig bedeckt sein könnten während andere Areale nur teilweise oder in unterschiedlicher Schichtstärke vom Biofilm belagert sind. Um wirklich nur den Biofilm zu eliminieren, empfiehlt der Hersteller dringend, vor der Behandlung eine Biofilmfärbung durchzuführen.

Doch gerade weil auch eine Anwendung des Airpolishings auf Oberflächen ohne Biofilm respektive nach erfolgter Biofilmentfernung nicht ausgeschlossen werden kann, sollte die mögliche Beeinflussung des Dentins durch das Airpolishing bekannt sein.

- **Airpolishing vs. herkömmliche Debridement- Methoden**

Zur Bewertung der Ergebnisse sollte beachtet werden, dass jede mechanische Manipulation des Dentins zum Substanzverlust führen kann. Daher müssen die Ergebnisse mit dem Substanzverlust infolge herkömmlicher Behandlungen wie Handküretten, Ultraschallreiniger und Polierverfahren verglichen werden. Der geschätzte Substanzverlust bei diesen Behandlungen lag zwischen 11,6 und 118,7 μm pro 12 Arbeitstakten. [15]

In Anbetracht dessen muss akzeptiert werden, dass jede Methode, die die Oberfläche reinigen kann, möglicherweise auch zu erwartenden Schäden verursachen kann.

Eine Vergleichbarkeit mit den klinischen Ergebnissen kann aus dieser in vitro Studie nicht abgeleitet werden, da nur die für den Substanzverlust relevanten Parameter identifiziert und voneinander getrennt betrachtet werden sollten.

Die Bedingungen dieser In-vitro-Studie simulierten nicht die klinischen Bedingungen und waren überzogen. Diese extremen Einstellungen widersprachen den Anweisungen des Herstellers.

Daher sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die klinische Übertragbarkeit zu prüfen.

Infolgedessen muss nur die Bedeutung der relevanten Parameter während der Routineanwendung betont werden.

5.3 Fazit

Diese Studie belegt, dass (1) Airpolishing mit Erythritol- Pulver ebenfalls einen messbaren Substanzverlust der Dentin- Oberflächen verursacht hat;

(2) die Menge des Substanzverlusts in Abhängigkeit vom getesteten Parameter variierte.

6. Zusammenfassung

Ziele

Zum subgingivalen Airpolishing wurden Polierpulver mit geringem Abrieb (LAPP), die aus Glycin (GLY) oder Erythritol (ERY) bestehen, eingeführt. Es wurde berichtet, dass GLY Auswirkungen auf der Dentin- Oberfläche haben kann, während dies für ERY unklar war. Daher zielte diese In-vitro-Studie darauf ab, den Substanzabtrag auf Dentin- Oberflächen nach Airpolishing mit ERY durch Ändern von Parametern wie Druck (PR), Entfernung (DI) und Bestrahlungswinkel (AJ) zu bewerten.

Materialien und Methoden

Die Tests wurden an Schliiffpräparaten von 45 humanen Molaren durchgeführt. Ohne das Handstück zu bewegen, wurden die Parameter 5 Sekunden mit ERY bei den folgenden Einstellungen untersucht: PR Minimum (min.), Medium (med.) und Maximum (max.) bei konstanter Wasserzufuhr; DI bei 1, 3 und 5 mm; AJ bei 45 ° und 90 °; insgesamt 18 Testgruppen (n = 10). Mittels 3D- Laserprofilometrie wurden die maximalen Defekttiefen (DD) gemessen. Für die Unterschiede zwischen Gruppen wurde die statistische Signifikanz ermittelt (ANOVA, Bonferroni Korrektur, $\alpha=0.05$)

Ergebnisse

DD korrelierte direkt mit den Parametern PR, AJ und invers mit DI. Für die kritischste Kombination der Parameter (max. PR, DI 1mm, AJ 90°) wurde eine durchschnittliche DD von 117 ± 43 m gemessen. Bei 5 mm lag die durchschnittliche DD ungeachtet von PR und AJ bei einem Wert von 20 m. Die durchschnittliche DD wurde bei der Erhöhung von DI von 1 auf 5 mm um den Faktor 4 reduziert. Dementsprechend zeigte DI den stärksten Einfluss auf DD. Es gab jedoch auch signifikante Unterschiede in der DD zwischen med. und max. PR

für 1 mm / 45 °, sowie zwischen 45 ° und 90 ° AJ für 1 und 3 mm bei min. PR und für 1 mm bei med. PR ($p < 0,05$).

Fazit

Airpolishing mit ERY kann Dentin entfernen. Die Höhe des Substanzverlustes ist abhängig von den Parametern DI, PR und AJ.

Klinische Relevanz

Die Möglichkeit, klinische Empfehlungen aus einer In-vitro-Studie abzuleiten, ist begrenzt. Der Umfang an In-vivo-Oberflächeneffekten kann aus dieser Studie nicht vorhergesagt werden. Jedoch unterstreichen unsere Ergebnisse, wie wichtig es ist, die Anweisungen des Herstellers zu befolgen: Das Airpolishing mit ERY sollte nur auf mit Biofilm bedeckten Flächen unter ständiger Bewegung durchgeführt werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass der Arbeitsabstand mindestens 3 mm und der AJ-Wert etwa 45 ° beträgt. Außerdem darf höchstens eine mittlere Druckeinstellung gewählt werden.

6. Summary

Objectives

Low abrasive polishing powders (LAPP) consisting of glycine (GLY) or erythritol (ERY) and were introduced for subgingival air polishing. GLY was reported to possibly affect the dentine surface, while this was unclear for ERY. Therefore, this in vitro study aimed to evaluate the substance removal from a dentine surface by air polishing using ERY by changing parameters such as pressure (PR), distance (DI) and angulation of the spray jet to the surface (AJ).

Materials and Methods

The tests were performed on smooth human root dentine surfaces of 45 teeth. The parameters were tested using ERY for 5 sec without moving of the handpiece at the following settings: PR minimum (min.), medium (med.) and maximum (max.) with constant water supply, DI at 1, 3 and 5 mm, AJ with 45° and 90° forming 18 test groups (n=10). The highest depths of the defects (DD) were measured by 3D-laser profilometry. Differences between the groups were calculated for statistical significance (ANOVA, Bonferroni correction, $\alpha=0.05$).

Results

DD correlated directly with the parameters PR, AJ and inverse with DI. An average DD of $117 \pm 43 \mu\text{m}$ was assessed for the most critical combination of parameters (high PR, 1 mm, 90°). At 5 mm, the average DD ranged on a level of 20 μm regardless of PR and AJ. Average DD was reduced by the factor 4 for increasing DI from 1 mm to 5 mm. Accordingly, the highest influence on DD was proven for DI. However, significant differences of DD were also shown between med. and max. PR for 1 mm/ 45° as well as between 45° and 90° AJ for 1 and 3 mm at min. PR and for 1 mm at med. PR ($p<0.05$).

Conclusion

Air polishing using ERY could remove dentine. The amount of substance loss was related to the parameters DI, PR, and AJ.

Clinical Relevance

The possibility to derive clinical recommendations from an in vitro study is limited. The amount of in vivo surface effects cannot be predicted from this study. Yet, our findings underlined the importance to regard the manufacturer's instructions: Air polishing using ERY should be performed only on surfaces covered with biofilm under continuous movement, ensuring DI of at least 3 mm and AJ of about 45° as well as not extending PR over med.

7. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
μm	Mikrometer
Abb.	Abbildung
AJ	angulation oft the jet Bestrahlungswinkel
Ca.	Zirka
CAL	clinical attachment loss oder clinical attachment level
DI	distance Arbeitsdistanz
DD	Defect depth Maximale Defekttiefe
EMS	Electro Medical Systems S.A.
ERY	Erythritol
GLY	Glycin
HV	Vickershärte
Hz	Herz
LAPP	low abrasive polishing powder Polierpulver mit geringem Abrieb
max.	Maximum

med.	Medium
Min	Minute
min.	Minimum
ml	Milliliter
mm	Millimeter
n.s.	Nicht signifikant
PMEP	Professionelle mechanische Entfernung von Plaque
PR	pressure Druckeinstellung
RA	Mittlere Rauheit
SD	Standardabweichung
UPT	unterstützende Parodontitistherapie
Tab.	Tabelle
Vgl.	Vergleiche
Vs.	Versus

8. Literaturverzeichnis

- [1] Axelsson P, Nystrom B, Lindhe J. The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *Journal of clinical periodontology*. 2004;31:749-57.
- [2] Hamp SE, Lindhe J, Fornell J, Johansson LA, Karlsson R. Effect of a field program based on systematic plaque control on caries and gingivitis in schoolchildren after 3 years. *Community dentistry and oral epidemiology*. 1978;6:17-23.
- [3] Ramfjord SP. Maintenance care for treated periodontitis patients. *Journal of clinical periodontology*. 1987;14:433-7.
- [4] Ramfjord SP, Morrison EC, Burgett FG, Nissle RR, Shick RA, Zann GJ, et al. Oral hygiene and maintenance of periodontal support. *Journal of periodontology*. 1982;53:26-30.
- [5] Jordan RA, Bodechtel C, Hertrampf K, Hoffmann T, Kocher T, Nitschke I, et al. The Fifth German Oral Health Study (Funfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V) - rationale, design, and methods. *BMC Oral Health*. 2014;14:161.
- [6] Cohen RE; Research SaTC, American Academy of Periodontology. AAP Positioning Paper Periodontal Maintenance. *Journal of periodontology*. 2003 Sep;74:9.
- [7] Renvert S, Persson GR. Supportive periodontal therapy. *Periodontology* 2000. 2004;36:179-95.
- [8] Sanz M, Baumer A, Buduneli N, Dommisch H, Farina R, Kononen E, et al. Effect of professional mechanical plaque removal on secondary prevention of periodontitis and the complications of gingival and periodontal preventive measures: consensus report of group 4 of the 11th European Workshop on

Periodontology on effective prevention of periodontal and peri-implant diseases.

Journal of clinical periodontology. 2015;42 Suppl 16:S214-20.

[9] Beck JD, Offenbacher S. Systemic effects of periodontitis: epidemiology of periodontal disease and cardiovascular disease. Journal of periodontology. 2005;76:2089-100.

[10] Kinane DF, Marshall GJ. Periodontal manifestations of systemic disease. Australian dental journal. 2001;46:2-12.

[11] Liccardo D, Cannavo A, Spagnuolo G, Ferrara N, Cittadini A, Rengo C, et al. Periodontal Disease: A Risk Factor for Diabetes and Cardiovascular Disease. International journal of molecular sciences. 2019;20.

[12] Nibali L, D'Aiuto F, Griffiths G, Patel K, Suvan J, Tonetti MS. Severe periodontitis is associated with systemic inflammation and a dysmetabolic status: a case-control study. Journal of clinical periodontology. 2007;34:931-7.

[13] Curtis B, Evans RW, Sbaraini A, Schwarz E. Geographic location and indirect costs as a barrier to dental treatment: a patient perspective. Australian dental journal. 2007;52:271-5.

[14] Lang NP, Tonetti MS. Periodontal risk assessment (PRA) for patients in supportive periodontal therapy (SPT). Oral health & preventive dentistry. 2003;1:7-16.

[15] Ritz L, Hefti AF, Rateitschak KH. An in vitro investigation on the loss of root substance in scaling with various instruments. Journal of clinical periodontology. 1991;18:643-7.

[16] Moene R, Decaillet F, Andersen E, Mombelli A. Subgingival plaque removal using a new air-polishing device. Journal of periodontology. 2010;81:79-88.

- [17] Gantes BG, Nilveus R, Lie T, Leknes KN. The effect of hygiene instruments on dentin surfaces: scanning electron microscopic observations. *Journal of periodontology*. 1992;63:151-7.
- [18] Arabaci T, Cicek Y, Canakci CF. Sonic and ultrasonic scalers in periodontal treatment: a review. *Int J Dent Hyg*. 2007;5:2-12.
- [19] Wennstrom JL, Dahlen G, Ramberg P. Subgingival debridement of periodontal pockets by air polishing in comparison with ultrasonic instrumentation during maintenance therapy. *Journal of clinical periodontology*. 2011;38:820-7.
- [20] Bühler J, Amato M, Weiger R, Walter C. A systematic review on the effects of air polishing devices on oral tissues. *Int J Dent Hyg*. 2016;14:15-28.
- [21] Graumann SJ, Sensat ML, Stoltenberg JL. Air polishing: a review of current literature. *Journal of dental hygiene : JDH*. 2013;87:173-80.
- [22] Cadosch J, Zimmermann U, Ruppert M, Guindy J, Case D, Zappa U. Root surface debridement and endotoxin removal. *Journal of periodontal research*. 2003;38:229-36.
- [23] Draenert ME, Jakob M, Kunzelmann KH, Hickel R. The prevalence of tooth hypersensitivity following periodontal therapy with special reference to root scaling. A systematic review of the literature. *American journal of dentistry*. 2013;26:21-7.
- [24] Lin YH, Gillam DG. The Prevalence of Root Sensitivity following Periodontal Therapy: A Systematic Review. *Int J Dent*. 2012;2012:407023.
- [25] von Troil B, Needleman I, Sanz M. A systematic review of the prevalence of root sensitivity following periodontal therapy. *Journal of clinical periodontology*. 2002;29 Suppl 3:173-7; discussion 95-6.
- [26] Atkinson DR, Cobb CM, Killoy WJ. The effect of an air-powder abrasive system on in vitro root surfaces. *Journal of periodontology*. 1984;55:13-8.

- [27] Berkstein S, Reiff RL, McKinney JF, Killooy WJ. Supragingival root surface removal during maintenance procedures utilizing an air-powder abrasive system or hand scaling. An in vitro study. *Journal of periodontology*. 1987;58:327-30.
- [28] Sculean A, Bastendorf KD, Becker C, Bush B, Einwag J, Lanoway C, et al. A paradigm shift in mechanical biofilm management? Subgingival air polishing: a new way to improve mechanical biofilm management in the dental practice. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985). 2013;44:475-7.
- [29] Bühler J, Schmidli F, Weiger R, Walter C. Analysis of the effects of air polishing powders containing sodium bicarbonate and glycine on human teeth. *Clinical oral investigations*. 2015;19:877-85.
- [30] Herr ML, DeLong R, Li Y, Lunos SA, Stoltenberg JL. Use of a continual sweep motion to compare air polishing devices, powders and exposure time on unexposed root cementum. *Odontology*. 2017.
- [31] 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 international* (Berlin, Germany : 1985). 2010;41:e141-8.
- [32] Petersilka GJ, Bell M, Haberlein I, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. In vitro evaluation of novel low abrasive air polishing powders. *Journal of clinical periodontology*. 2003;30:9-13.
- [33] Petersilka GJ, Bell M, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. Root defects following air polishing. *Journal of clinical periodontology*. 2003;30:165-70.
- [34] Sahrman P, Ronay V, Schmidlin PR, Attin T, Paque F. Three-dimensional defect evaluation of air polishing on extracted human roots. *Journal of periodontology*. 2014;85:1107-14.

- [35] Tada K, Kakuta K, Ogura H, Sato S. Effect of particle diameter on air polishing of dentin surfaces. *Odontology*. 2010;98:31-6.
- [36] Tada K, Wiroj S, Inatomi M, Sato S. The characterization of dentin defects produced by air polishing. *Odontology*. 2012;100:41-6.
- [37] Moene R, Decaillet F, Mombelli A. [Subgingival air-polishing: new perspectives for periodontal maintenance?]. *Schweizer Monatsschrift fur Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia*. 2010;120:891-911.
- [38] 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. *Journal of periodontology*. 2014;85:e363-9.
- [39] de Cock P, Makinen K, Honkala E, Saag M, Kennepohl E, Eapen A. Erythritol Is More Effective Than Xylitol and Sorbitol in Managing Oral Health Endpoints. *Int J Dent*. 2016;2016:9868421.
- [40] Flemmig TF, Arushanov D, Daubert D, Rothen M, Mueller G, Leroux BG. Randomized controlled trial assessing efficacy and safety of glycine powder air polishing in moderate-to-deep periodontal pockets. *Journal of periodontology*. 2012;83:444-52.
- [41] Hagi TT, Hofmanner P, Eick S, Donnet M, Salvi GE, Sculean A, 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 international* (Berlin, Germany : 1985). 2015;46:31-41.
- [42] Petersilka G, Faggion CM, Jr., Stratmann U, Gerss J, Ehmke B, Haeberlein I, et al. Effect of glycine powder air-polishing on the gingiva. *Journal of clinical periodontology*. 2008;35:324-32.

- [43] Agger MS, Horsted-Bindslev P, Hovgaard O. Abrasiveness of an air-powder polishing system on root surfaces in vitro. Quintessence international (Berlin, Germany : 1985). 2001;32:407-11.
- [44] Hagi TT, Klemensberger S, Bereiter R, Nietzsche S, Cosgarea R, Flury S, et al. A Biofilm Pocket Model to Evaluate Different Non-Surgical Periodontal Treatment Modalities in Terms of Biofilm Removal and Reformation, Surface Alterations and Attachment of Periodontal Ligament Fibroblasts. PloS one. 2015;10:e0131056.
- [45] Müller N, Moene R, Cancela JA, Mombelli A. Subgingival air-polishing with erythritol during periodontal maintenance: randomized clinical trial of twelve months. Journal of clinical periodontology. 2014;41:883-9.
- [46] Petersilka GJ. Subgingival air-polishing in the treatment of periodontal biofilm infections. Periodontology 2000. 2011;55:124-42.
- [47] Hashino E, Kuboniwa M, Alghamdi SA, Yamaguchi M, Yamamoto R, Cho H, et al. Erythritol alters microstructure and metabolomic profiles of biofilm composed of *Streptococcus gordonii* and *Porphyromonas gingivalis*. Molecular oral microbiology. 2013;28:435-51.
- [48] Systems EM. AIR-FLOW® PULVER PLUS operating manual. 2015/06.
- [49] Barnes CM, Covey D, Watanabe H, Simentich B, Schulte JR, Chen H. An in vitro comparison of the effects of various air polishing powders on enamel and selected esthetic restorative materials. The Journal of clinical dentistry. 2014;25:76-87.
- [50] Ronay V, Merlini A, Attin T, Schmidlin PR, Sahrman P. In vitro cleaning potential of three implant debridement methods. Simulation of the non-surgical approach. Clinical oral implants research. 2017;28:151-5.

- [51] Mehl A, Gloger W, Kunzelmann KH, Hickel R. A new optical 3-D device for the detection of wear. *Journal of dental research*. 1997;76:1799-807.
- [52] Aydin B, Pamir T, Baltaci A, Orman M, Turk T. Effect of storage solutions on microhardness of crown enamel and dentin. *European journal of dentistry*. 2015;9:262-6.
- [53] Rolland SL, Carrick TE, Walls AW, McCabe JF. Dentin decontamination using chloramine T prior to experiments involving bacteria. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2007;23:1468-72.
- [54] Jaffer S, Oesterle LJ, Newman SM. Storage media effect on bond strength of orthodontic brackets. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2009;136:83-6.
- [55] Mobarak EH, El-Badrawy W, Pashley DH, Jamjoom H. Effect of pretest storage conditions of extracted teeth on their dentin bond strengths. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2010;104:92-7.
- [56] Hagi TT, Hofmanner 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 international (Berlin, Germany : 1985)*. 2013;44:753-61.

9. Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Personen, die mich über die lange Zeit der Erarbeitung dieser Dissertation unterstützt und begleitet haben.

Insbesondere bedanke ich mich herzlich bei Frau Prof. Dr. Petra Schmäge, die mir die Bearbeitung des Themas überlassen hat und mich fachlich angeleitet und stets unterstützt hat.

Außerdem danke ich Herrn Frank Fischer, CTA, für die technische Unterstützung bei der Versuchsvorbereitung.

Ebenfalls danke ich Herrn Mikael Haribyan für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Der Firma EMS, besonders Herrn Dr. Marcel Donnet, Leiter der Powder Technology Group bei EMS - Electro Medical Systems, danke ich den fachlichen Austausch während dieses Projektes.

Für die Möglichkeit der Nutzung des Mikroskops DSX 500i (Olympus) möchte ich mich bei Prof. Dr. Björn Busse und dem gesamten Team des Instituts für Osteologie und Biomechanik des Universitätskrankenhauses Eppendorf bedanken.

Mein größtes Dankeschön geht an meine Familie, die mich während des Studiums unterstützt und anschließend zu dieser Arbeit ermutigt haben. Sie standen mir immer hilfsbereit und ermutigend zur Seite.

10. Lebenslauf

Lebenslauf entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen

11. Eidesstattliche Versicherung *[als letztes Blatt in die Dissertation einzubinden]*

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: