

**"In vitro Vergleich verschiedener Materialien zur
Gingivaretraktion"**

**Dissertation
zur Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde**

doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**von Stefanie Nehls
geboren am 22.08.1988 in Neubrandenburg**

Gutachter

1. Prof. Dr. Arndt Güntsch, Milwaukee
2. Prof. Dr. Harald Küpper, Jena
3. Prof. Dr. Kerstin Galler, Regensburg

Tag der öffentlichen Verteidigung: 24.10.2017

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung.....	3
2.1 Aufbau von Gingiva und Sulkus	4
2.2 Überblick über verschiedene Retraktionsmaterialien	6
2.2.1 Überblick der Möglichkeiten	6
2.2.2 Mechanische und chemo- mechanische Retraktionsmaterialien	7
2.2.2.1 Retraktionsfäden	8
2.2.2.2 Fadenlose Techniken	9
2.2.3 Chirurgische Methoden	11
2.3 Überblick über Zusätze in Retraktionsmaterialien	12
2.4 Bedeutung der Retraction im prothetischen Arbeitsablauf	15
2.4.1 Anwendung von Retraktionsfäden.....	15
2.4.2 Lage der Präparationsgrenze.....	17
2.5 Auswirkungen von Retraktionsfäden auf die Gingiva.....	19
2.5.1 Schäden der Gingiva durch Retraktionsfäden	19
2.5.1.1 Blutung	20
2.5.1.2 Auswirkung auf den Epithelansatz und das Weichgewebe	21
2.5.2 Wirkung verschiedener Materialien auf die Gingiva.....	22
2.6 Das Sugi- Material als Gegenstand der Untersuchung	24
3 Zielstellung	26
4 Material und Methoden	28
4.1 Materialien der In- Vitro- Messung.....	28
4.1.1 Sugi- Retraktionsstreifen.....	28
4.1.2 Auswahl und Vermessung der Ultrapak- Fäden	31
4.2 Messmodelle	33
4.2.1 Simulationsmodell zur Druckmessung	33
4.2.1.1 Konstruktion und Funktionsweise	33
4.2.1.2 Vorgehen.....	35
4.2.2 Applikationsmodell	36
4.2.2.1 Konstruktion und Funktionsweise	36
4.2.2.2 Vorgehen.....	38
4.3 Methoden der statistischen Auswertung	39
5 Ergebnisse.....	42
5.1 Reliabilitätsanalyse	42
5.2 Druckentwicklung.....	42
5.2.1 Einflussfaktoren auf die Druckentwicklung	42
5.2.2 Ergebnisse der Druckentwicklung	43
5.3 Beeinflussbarkeit der Handhabbarkeit.....	47
5.3.1 Ausgeübter Druck beim Applizieren	49
5.3.2 Riss des Streifen beim Entfernen	50
5.4 Vergleich der Materialien	51
5.4.1 Vergleich der Druckentwicklung	51
5.4.2 Vergleich der Handhabbarkeit.....	53
5.4.2.1 Riss beim Entfernen.....	54
5.4.2.2 Ausgeübter Druck beim Applizieren.....	54

5.5 Einfluss der Tränkungen	54
5.5.1 Druck	55
5.5.2 Handhabbarkeit.....	56
5.5.2.1 Riss beim Entfernen.....	57
5.5.2.2 Ausgeübter Druck beim Applizieren.....	57
6 Diskussion	58
6.1 Diskussion der Ergebnisse	58
6.1.1 Diskussion der Ergebnisse der Druckmessung	58
6.1.2 Diskussion der Materialeigenschaften.....	62
6.1.3 Diskussion der Handhabbarkeit	64
6.1.4 Diskussion der Auswirkung der Tränkungen	66
6.2 Diskussion des Versuchsaufbaus und -ablaufs	68
6.2.1 In vitro- Untersuchung.....	68
6.2.2 Diskussion der Modelle	69
6.2.3 Einschränkungen im Vergleich mit den Ultrapak- Retraktionsfäden	71
6.2.4 Aufzeichnung der Ergebnisse der Handhabbarkeit	72
7 Schlussfolgerung	73
8 Literatur- und Quellenverzeichnis	74
9 Anhang	83
9.1 Tabellenverzeichnis.....	86
9.2 Abbildungsverzeichnis.....	87
9.3 Lebenslauf.....	88
9.4 Danksagung	89
9.5 Ehrenwörtliche Erklärung	90

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
β	Regressionskoeffizient β
ca.	cirka (ungefähr)
et al.	et alii/ et aliae (und weitere)
etc.	et cetera (und so weiter)
Fa.	Firma
j	ja
MW	Mittelwert
n	nein
p	Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses
SD	Standardabweichung
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
Tab.	Tabelle
z.B.	zum Beispiel

Einheiten

g/m^2	Gramm pro Quadratmeter
h	Stunde
kPa	Kilopascal
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MPa	Megapascal
N	Newton
N/mm^2	Newton pro Quadratmillimeter
PSI	Pound-force per square inch
s	Sekunde

1 Zusammenfassung

Eine gelungene Abformung ist Voraussetzung für eine suffiziente prothetische Versorgung. Einer der entscheidenden Schritte vor der Abformung ist die Retraktion des Weichgewebes zur Freilegung der Präparationsgrenze. Zahlreiche Retraktionsmethoden stehen dem Behandler zu Verfügung und die Auswahl geschieht situationsbedingt und den Vorlieben des Behandlers entsprechend. Die am häufigsten genutzten Materialien sind Retraktionsfäden. Eine Neuentwicklung in diesem Bereich, die Sugi- Retraktionsstreifen, sind im Rahmen dieser in vitro-Arbeit zu untersuchen.

Um eine bestmögliche Retraktion zu erreichen, sind zwei Faktoren zu beachten: der Druck im Sulkus darf keine traumatische Wirkung auf die Gingiva haben und gleichzeitig muss ein genügend großer Druck entstehen, sodass das Weichgewebe ausreichend verdrängt wird. Zum Benennen dieser zwei limitierenden Faktoren ist es wichtig, den Druck zu kennen, den Retraktionsmittel generieren. Die Sugi- Retraktionsstreifen wurden vor diesem Hintergrund auf die entstandenen Drücke in einem Simulationsmodell untersucht und die Werte mittels eines Messensors aufgezeichnet. Des Weiteren spielt das klinische Handling eines Retraktionsmittels eine wichtige Rolle für Behandler und Patient. Dazu wurde ein zweites Modell entwickelt, um die Handhabbarkeit des neuen Produktes zu prüfen. Die Applizierbarkeit, ein Reißen beim Einbringen und Entfernen aus dem Sulkus und der nötige Druck beim Applizieren des Streifens in den Sulkus wurden registriert. Beide Modelle wurden mit einer Sulkusfluidsimulation ausgestattet. Weiterführend wurden Ultrapak-Retraktionsfäden hinsichtlich der gleichen Fragestellungen untersucht, um die Ergebnisse mit den neu entwickelten Sugi- Retraktionsstreifen zu vergleichen. Die Ergebnisse wurden anschließend statistisch ausgewertet, um die Ergebnisse mit Hilfe verschiedener Einflussfaktoren erklären zu können. Zu diesen zwei Fragestellungen gibt es bisher wenige wissenschaftliche Untersuchungen.

Die Reliabilität der Messmodelle erwies sich als zufriedenstellend, die Messmodelle arbeiteten somit in einem Großteil der Fälle zuverlässig. Auf die Druckentwicklung der Sugi- Streifen hatten alle drei untersuchten Parameter

(Dichte, Laufrichtung und Stanzbreite) einen signifikanten Einfluss, wobei die Stanzbreite die größte Wirkung hatte. Bezüglich des Druckvergleichs generierten die Sugi- Streifen im Mittel größere Drücke als die Ultrapak- Fäden, wobei dieses Ergebnis nicht signifikant war. Bei der Frage der Handhabbarkeit waren alle Retraktionsmittel applizierbar und keines der untersuchten Mittel riss beim Einbringen in den Sulkus. Die Handhabbarkeit der Sugi- Retraktionsstreifen erwies sich im Vergleich zu den Ultrapak- Fäden jedoch als nachteilig, da sie in einigen Fällen beim Entfernen aus dem Sulkus rissen und beim Applizieren ein hoher Druck ausgeübt werden musste. Bei den Ultrapak- Fäden ergab sich keine Einschränkung in der Handhabbarkeit. Dichte und Stanzbreite hatten wiederum einen signifikanten Einfluss auf das Verhalten bei der Handhabbarkeit der Sugi- Streifen. Zudem wurde herausgestellt, dass eine Tränkung des Sugi- Retraktionsstreifens dazu führte, dass es zu einer größeren Druckentwicklung im Sulkus kommt, ein höheres Risiko für das Reißen des Streifens beim Entfernen besteht und ein niedriger Druck beim Applizieren aufgebracht werden muss.

Die Ergebnisse der Druckentwicklung bestätigten die vorhandenen Ergebnisse der wissenschaftlichen Literatur. Die im Aufbau größeren Streifen (abhängig von Dichte und Stanzbreite) mit einer queren Laufrichtung übten den größeren Druck aus. In der Frage der Handhabbarkeit sind bislang keine wissenschaftlichen Untersuchungen vorhanden. Hinsichtlich der Fragestellungen nach dem Reißen beim Entfernen und dem nötigen Druck beim Applizieren bedarf das Sugi- Material Verbesserungen. Die größeren Streifen benötigten für die Applikation einen höheren Druck, rissen jedoch weniger beim Entfernen. Bezüglich der Tränkungen sind weitere Untersuchungen anzustreben, da sich das Aufsaugverhalten des Sugi- Materials als positiv zeigte.

Die Sugi- Streifen als Grundlage für ein Retraktionsmaterial präsentierten sich als geeignet für den Retraktionsprozess. Der Druckaufbau im Sulkus ergab gute Ergebnisse, das Aufsaugverhalten war ausgezeichnet, doch ist das Material in einigen Fragen der Handhabbarkeit noch verbesserungswürdig. Eine Weiterentwicklung mit verbesserten Materialeigenschaften, besonders hinsichtlich der Reißfestigkeit, wäre wünschenswert. Zudem wäre es günstig auf Grenzwerte für die Druckbelastung des Sulkus zugreifen zu können. Mit Hilfe dieser und den Ergebnissen dieser Arbeit wäre es möglich, Sugi- Streifen mit einem idealen Aufbau zu entwickeln.

2 Einleitung

Gingivale Retraktion ist definiert als das Abweichen der Gingiva vom Zahn (Al Hamad et al. 2008). Das Ziel der Gingivaretraktion ist es, in lateraler und vertikaler Richtung genügend Raum zu schaffen, um dem Abformmaterial ein Fließen zwischen Präparationsgrenze und gingivalem Weichgewebe zu ermöglichen (Weir und Williams 1984).

Die Ansprüche des Patienten an seine prothetische Versorgung werden zunehmend größer. Funktionalität ist noch immer das wichtigste Kriterium, doch nehmen weitere Forderungen wie ästhetische Ansprüche und die gingivale und parodontale Gesundheit an Bedeutung zu. Auf diesem Weg ist die Abformung der Schlüssel zum Erfolg einer Restauration, die Patient und Zahnarzt gleichermaßen zufrieden stellen soll. Über eine gelungene Abformung garantiert man die Herstellung eines akkuraten Gipsmodells und damit die Suffizienz des Randschlusses, der einer der entscheidenden Kriterien für die Qualität und Lebensdauer einer festsitzenden prothetischen Arbeit ist (Shrivastava et al. 2015). Der perfekte Randschluss sichert neben dem Erhalt des Pfeilerzahns auch die gingivale und parodontale Gesundheit (Elledge 2010).

Die Anwendung von Retraktionsmaterialien spielt besonders bei äqui- und subgingivalen Präparationsgrenzen eine wichtige Rolle. Voraussetzung für das Gelingen einer Arbeit ist das Freilegen der Präparationsgrenze. Dabei darf diese nicht von Gingiva, Debris, Speichel, Sulkusfluid oder Blut bedeckt werden (Benson et al. 1986). Ohne diese Art des Weichgewebsmanagements wäre eine suffiziente Versorgung auf oder unter Gingivaniveau undenkbar (Hansen et al. 1999). Aber auch bei konservierenden Restaurationen haben Retraktionsmaterialien eine entscheidende Bedeutung. Besonders direkte Restaurationen in zervikalen Bereichen mit Hilfe von Komposit profitieren von den Vorteilen der Gingivaretraktion (Tosches und Salvi 2009).

Während der Gingivaretraktion sind zahllose Faktoren zu berücksichtigen. Beginnend beim Aufbau der Gingiva, den verschiedenen Techniken zur Retraktion, der Anwendung von Retraktionsfäden bis hin zu den Auswirkungen auf das umliegende Gewebe sollen die wichtigsten Aspekte der Gingivaretraktion in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

2.1 Aufbau von Gingiva und Sulkus

Die Gingiva bildet die äußere Abgrenzung des Parodonts, reicht vom Gingivarand bis zur mukogingivalen Grenzlinie und besteht aus unterschiedlichen Abschnitten (Gehrcke et al. 2014). Die mukogingivale Grenzlinie trennt Mukosa und Gingiva voneinander (Schroeder und Listgarten 1997), welche beide aus mehrschichtigem Plattenepithel bestehen. Die Beschaffenheit des Epithels hängt direkt von dessen funktioneller Aufgabe ab: stark belastete Bereiche wie die Gingiva sind verhornt, andere weniger stark belastete Bereiche wie Teile der Mukosa weisen ein unverhorntes Plattenepithel auf (Goktas et al. 2011). Bezüglich der Gingiva wird zudem eine Unterscheidung zwischen dickem Biotyp mit weniger geschwungenem Verlauf und dünnem Biotyp mit girlandenartigem Verlauf des Gingivarandes getroffen. Der Übergang zwischen beiden ist fließend und es können beide Biotypen parallel am gleichen Patienten vorhanden sein (Ochsenbein und Ross 1969, Olsson und Lindhe 1991, Gehrcke et al. 2014).

Die weitere Einteilung der Gingiva erfolgt in die befestigte und freie Gingiva (Ainamo und Loe 1966). Die freie Gingiva ist 0,5 - 1,5 mm breit. Im Falle einer erhöhten Taschentiefe ist die Breite der freien Gingiva entsprechend größer. Sie umgibt den Zahn wie ein Kragen, ist mit diesem aber nicht direkt verbunden und bildet so die äußere Begrenzung des Sulkus. Die Breite der befestigten Gingiva liegt zwischen einem und 9 mm (Lang und Loe 1972). Sie erstreckt sich zwischen freier Gingiva und mukogingivaler Grenzlinie und weist häufig eine typische Stippelung in unterschiedlicher Ausprägung auf, die durch die enge Verbindung zum darunter liegenden Bindegewebe entsteht (Orban 1948). Ein weiterer Bestandteil der Gingiva ist zudem die Interdentalpapille, welche den Raum zwischen zwei benachbarten Zähnen ausfüllt (Orban 1948). Sie besteht ebenso aus freier und befestigter Gingiva und wölbt sich oral und vestibulär nach außen, wodurch die typische Papillenform entsteht. Zwischen den benachbarten Zähnen und dem oralen und vestibulären Papillenabschnitt befindet sich eine sattelförmige Mulde namens Col (Gehrcke et al. 2014). Die Gingiva lässt sich weiterhin einteilen in das orale Gingivaepithel (zur Mundhöhle gerichtet), welches in das orale Sulkusepithel im Sulkus übergeht, und das Saumepithel, welches die Verbindung zwischen Gingiva und Zahn bildet (Gehrcke et al. 2014).

Die gesunde Gingiva erfüllt nach Nemetz (1974) folgende Voraussetzungen:

1. Der gingivale Rand ist scharf begrenzt und die Papillen füllen die interdentalen Dreiecke aus.
2. Die befestigte Gingiva weist eine Stippelung auf, wenn der Patient die Veranlagung dazu hat.
3. Die Beschaffenheit der Gingiva ist straff, resilient und unverschieblich.
4. Die Farbe der Gingiva ist blassrosa oder pigmentiert. Es sollten keine roten bis blauen Veränderungen sichtbar sein.

Die Besonderheit des oralen Sulkus besteht darin, dass dies der einzige Abschnitt des menschlichen Körpers ist, an dem ein epitheliales Gewebe auf ein Hartgewebe trifft (Uitto 2003). Die Integrität des Körpers wird durch den durch das Gewebe tretenden Zahn aufgehoben (Pollanen et al. 2003). Die Aufgaben des Saum- und Sulkusepithels bestehen deshalb in der Befestigung des Epithels am Zahn, der Produktion von Sulkusflüssigkeit und der Bildung einer mechanischen und chemischen Barriere gegen bakterielle Einflüsse sowie der immunologischen Abwehr (Schroeder und Listgarten 1997, Dale 2002, Pollanen et al. 2003). Der besondere Aufbau des Sulkus erschließt sich aus diesen speziellen Aufgaben. Der gesunde Sulkus wird durch das keratinisierte oder parakeratinisierte Sulkusepithel begrenzt. Dieses erstreckt sich apikal vom gingivalen Randsaum bis zum koronalen Beginn des Saumepithels. Die klinische Sondierungstiefe liegt zwischen 0 und 3 mm. Apikal des Sulkus befindet sich ein Gewebe, welches aus dem parodontalen Ligament und dem Saumepithel besteht. Das Saumepithel dient zur Befestigung der Gingiva am Zahn und zum Schutz des parodontalen Apparates vor Umwelteinflüssen (Block 1987). Bei einer Verletzung des Sulkus und der parodontalen Fasern, wie sie beim Retraktionsvorgang entstehen können, kann es zur bakteriellen Besiedlung, Entzündung und der Zerstörung des Parodontalligaments kommen, was letztendlich in Knochenabbau und Zahnverlust resultieren kann (Dale 2002). Dabei kommt es zu einer Reaktion, bei der das orale Sulkusepithel Richtung Wurzel wächst und die freigelegte Wurzeloberfläche bedeckt, bis es auf intakte Fasern stößt. Ist zusätzlich Knochen vom entzündlichen Abbau betroffen, ist das Ausmaß dieses neu gebildeten Taschenepithels größer (Stahl 1986). So ist das funktionale Zusammenspiel aus Saumepithel und parodontalem Faserapparat unbedingt zu erhalten, denn es

schützt den Organismus vor eindringenden Keimen und Infektionen und verankert den Zahn fest im Knochen (Block 1987).

Der Sulkus ist durchschnittlich 0,69 mm tief, die Länge des Epithelansatzes beträgt 0,97 mm und des bindegewebigen Attachments durchschnittlich 1,07 mm (Gargiulo et al. 1961). Zusammengefasst bezeichnet man den Epithelansatz und das Bindegewebsattachment als biologische Breite, welche somit im Durchschnitt etwa 2 mm ausmacht. Restaurationen, die diese biologische Breite missachten, haben ein erhöhtes Risiko für eine chronische Entzündung und somit für einen Attachmentverlust. Deshalb sollte die biologische Breite mit einem Abstand von 3 mm zwischen Alveolarknochen und Kronenrand eingehalten werden (Padbury et al. 2003, Tosches und Salvi 2009, Ahmed et al. 2016).

Für die Gingiva bedeutet die Retraktion und anschließende Abformung eine enorme Belastung. Laut Livaditis (1998) wirken folgende Mechanismen bei der Abformung eines präparierten Zahnes auf das retrahierte Weichgewebe:

- 1) die Elastizität und Rückstellkraft des gingivalen Weichgewebes,
- 2) die Rückstellendenzen der anliegenden befestigten Gingiva, die während der Abformung komprimiert wird,
- 3) die Konsistenz des Abformmaterials, welches Druck auf die Gingiva ausübt,
- 4) die Kraft, die durch einen eng anliegenden individuellen Löffel ausgeübt wird.

Diese Faktoren machen einen gut durchdachten und schonenden Abformprozess, beginnend bei der Verdrängung der Gingiva zur Aufzeichnung der Präparationsgrenze, unabdingbar.

2.2 Überblick über verschiedene Retraktionsmaterialien

2.2.1 Überblick der Möglichkeiten

Zur Gingivaretraktion in der prothetischen Zahnheilkunde geben Bennani et al. (2014) folgenden Überblick der Möglichkeiten:

- a. mechanisch
- b. chemo-mechanisch (getränkte Fäden und Retraktionspasten)
- c. chirurgisch (Laser, elektrochirurgisch, rotierende Gingivakürettage)

Folgende Forderungen sollte jedes Retraktionsmaterial erfüllen: es sollte ausreichend vertikalen und horizontalen Abstand zwischen Gingiva und Zahn schaffen, um dem Abformmaterial ein Fließen in diesen Raum zu ermöglichen. Es sollte dem Behandler die absolute Kontrolle über Blutungen und den Austritt von Sulkusflüssigkeit geben. Zudem sollte es keine irreversiblen lokalen Hart- oder Weichgewebsschäden und keine systemischen Effekte verursachen (Nemetz et al. 1984).

Ahmed und Donovan (2015) stellten in ihrer Studie heraus, dass Retraktionsfäden mit 92% die am häufigsten verwendeten Materialien sind. Es wurde festgestellt, dass 61% der Fäden aus geflochtenen und 20% aus gestrickten Materialien bestanden. Zusätzlich benutzten 20,2% einen Weichgewebslaser und 32% eine elektrochirurgische Methode zur Verdrängung der Gingiva. 28% der Befragten griffen außerdem auf weitere Methoden zurück, wobei Traxodent (11,6%) und Expasyl (9,1%) die häufigsten Produkte waren. Al-Ani et al. (2010) fanden in einer neuseeländischen Umfrage heraus, dass die elektrochirurgische Retraktion und/oder die Fadentechnik die am häufigsten eingesetzten Methoden sind (82%). Dabei tränkten 63% ihre Fäden mit chemischen Zusätzen. Retraktionspasten werden ebenfalls häufig eingesetzt (Expasyl 54% und Magic Foam Cord 27%).

Keiner der im folgenden vorgestellten Retraktionsmethoden ist eine Überlegenheit gegenüber anderen Methoden zu belegen. Die Auswahl erfolgt nach persönlicher Präferenz des Behandlers und der aktuellen klinischen Situation (Thomas et al. 2011).

2.2.2 Mechanische und chemo- mechanische Retraktionsmaterialien

Die mechanische und chemo- mechanische Gingivaretraktionen sind die am häufigsten angewandten Methoden (Azzi et al. 1983, Jokstad 1999). Diese Möglichkeiten weisen im Gegensatz zu chirurgischen Methoden ein hohes Maß an Planbarkeit, Effizienz und Sicherheit auf (Hansen et al. 1999). Für ein optimales Ergebnis werden häufig verschiedene Methoden kombiniert (Al Hamad et al. 2008), doch kommt der Fadentechnik die größte Bedeutung im Praxisalltag zu (Ahmed und Donovan 2015). Dabei wird die mechanische Komponente genutzt, um das Weichgewebe zu verdrängen, und die chemische Wirkung, um

eine Schrumpfung des Gewebes herbeizuführen und den Austritt von Blut und Sulkusflüssigkeit zu kontrollieren (Runyan et al. 1988, Bowles et al. 1991). Eine Tränkung des Fadens mit einem biologisch wirksamen Zusatz wird empfohlen (Weir und Williams 1984).

2.2.2.1 Retraktionsfäden

Donovan et al. (1985) stellen folgende Forderungen an Retraktionsfäden: (1) eine passende dunkle Farbe, um den Faden von der Zahnschmelz und dem Weichgewebe zu unterscheiden, (2) eine absorbierende Struktur, um mit einem Zusatz getränkt werden zu können und (3) die Verfügbarkeit in verschiedenen Stärken.

Debnath Nitai (2013) gibt folgende Einteilung von Retraktionsfäden:

1. Einteilung nach der Struktur: einfach, verdreht, gestrickt, geflochten
2. Einteilung nach der Oberfläche: gewachst, ungewachst
3. Einteilung nach Zusätzen: getränkt, ungetränkt

Ein Vorteil von Retraktionsfäden ist also, dass sie durch ihre Saugfähigkeit Flüssigkeiten im Sulkus und auch chemisch wirksame Zusätze aufnehmen können (Runyan et al. 1988).

Nachteile der üblichen Fadentechnik sind der Arbeits- und Zeitaufwand, mögliche Blutungen, Schmerzen beim Legen des Fadens bei fehlender Anästhesie, bis hin zu größeren gingivalen Verletzungen und dauerhaften Rezessionen (Feng et al. 2006, Kamath et al. 2011). Der Gebrauch von Retraktionsfäden ist techniksensibel und fordert dem Behandler Erfahrung und Können ab (Poss 2002).

Bei der Applikation von Retraktionsfäden greift man üblicherweise auf zwei Techniken zurück: die Einzelfaden- und die Doppelfadentechnik.

Die Einzelfadentechnik ist bei der Abformung von bis zu drei Zähnen bei einem gesunden umliegenden Weichgewebe und bei supra- und äquigingivaler Lage der Präparationsgrenze indiziert. Bei dieser Methode handelt es sich um die häufigste und einfachste Art der Retraktion. Dabei sollte die Fadenlänge dem Zahnumfang entsprechend gewählt und der Faden in einem Zusatzmittel getränkt werden. Der einzelne Faden wird vorsichtig in den Sulkus appliziert, anschließend sollte überprüft werden, ob die Präparationsgrenze vollständig einsehbar ist. Nach etwa

8-10 Minuten kann der Faden entfernt werden und die Abformung erfolgen (Donovan und Chee 2004, Baba et al. 2014).

Die Doppelfadentechnik ist indiziert, wenn mehrere präparierte Zähne abgeformt werden sollen und die gingivale Gesundheit mangelhaft ist. Die Präparationsgrenze liegt üblicherweise subgingival. Ein dünner Faden, bei welchem die Enden aneinander liegen, wird zuerst in den Sulkus gebracht. Ein zweiter getränkter Faden mit größtmöglichem Durchmesser wird über den ersten Faden gelegt. Nach etwa 8-10 Minuten wird zur Abformung der obere Faden entfernt. Der untere Faden verbleibt im Sulkus und wird erst nach Fertigstellung der Abformung vorsichtig entnommen. Diese Technik eignet sich besonders gut für die gleichzeitige Abformung mehrerer Zähne, da durch das Verbleiben des ersten Fadens im Sulkus das Sulkusfluid länger aufgesaugt wird und dem Behandler mehr Zeit für die Abformung bleibt (Runyan et al. 1988, Donovan und Chee 2004, Baba et al. 2014).

Dabei konnten Donovan und Chee (2004) keine Überlegenheit einer Technik über die andere herausstellen, sodass die Wahl den Vorlieben des Behandlers entsprechen sollte, doch bevorzugen viele Behandler die Doppelfadentechnik (Perakis et al. 2004).

2.2.2.2 Fadenlose Techniken

Techniken ohne Faden gewinnen zunehmend an Bedeutung. Besonders Retraktionspasten werden immer häufiger eingesetzt, da sie einige Vorteile wie minimale Invasivität, erhöhten Patientenkomfort und Zeitersparnis für Behandler und Patient in sich vereinen.

Das Einschlagen einer völlig neuen Richtung hat die Erfindung von Retraktionspasten wie Expasyl (Fa. Pierre Roland- Acteon Pharma, Merignac, Frankreich) und Magic Foam Cord (Fa. Coltène Whaledent AG, Altstätten, Schweiz) bewirkt. Expasyl und Magic Foam Cord verbinden zahlreiche Vorteile in sich: Noninvasivität, einfache Handhabung, Schmerzarmut, erhöhter Patientenkomfort, Effektivität und Zeitersparnis (Phatale et al. 2010). Es wird weniger Druck auf die umgebende Gingiva ausgeübt (Kamath et al. 2011, Bennani et al. 2015).

Expasyl ist eine Paste, die aus Kaolin, Aluminiumchlorid und Wasser besteht. Sie wird mit einer stumpfen Kanüle in den Sulkus gespritzt, was zur Retraktion und Trockenlegung des Sulkus führt (Phatale et al. 2010). Durch die starre Konsistenz erfolgt eine Öffnung des Sulkus, zudem sorgt das enthaltene Aluminiumchlorid für eine blutstillende Wirkung (Poss 2002, Radz 2010, Mohamed Ateeq et al. 2011). Magic Foam Cord ist ein Material, das aus Polyvinylsiloxan, einem expandierenden A-Silikonschaum, besteht. Es wird ebenfalls mittels stumpfer Kanüle in den Sulkus gespritzt und mit einem Kompressionskäppchen verdichtet. Es findet keine chemische Hämostase statt. Expasyl wird bei dünner Gingivatextur 1-2 Minuten und bei dickem Biotyp 3-4 Minuten im Sulkus belassen. Magic Foam Cord benötigt 5 Minuten im Sulkus. Anschließend werden die Pasten abgespült (Poss 2002, Phatale et al. 2010, Mohamed Ateeq et al. 2011). Retraktionspasten sind zudem in Form einer modifizierten Doppelfadentechnik anwendbar. Dabei wird wie üblich ein kleiner Faden in den Sulkus appliziert und statt eines zweiten, größeren Fadens wird die Paste in den Sulkus gespritzt. Der erste Faden verbleibt auch hier im Sulkus und die Paste wird vor der Abformung abgespült (Radz 2010). Überdies sind Kupferbänder erhältlich, die während der Abformung als Stumpfkappe über den präparierten Zahn gestülpt werden und die Verwendung von anderen Retraktionsmaterialien unnötig machen. Vor der Abformung muss die Größe des Bandes ausgesucht und zurechtgeschnitten werden. Die Verwendung von Kupferbändern verursacht ohne Anästhesie Schmerzen und ist techniksensibel. Bei falscher Anwendung kann mit dem scharfen Rand des zugeschnittenen Bandes das Weichgewebe verletzt und so reversible und irreversible Verletzungen hervorgerufen werden (Poss 2002). Weitere Nachteile sind der hohe Zeitaufwand und Probleme beim Entfernen des Bandes bei unter sich gehenden Zahnabschnitten (Thomas et al. 2011). Der Gebrauch von Kupferbändern ist heute weitestgehend von modernen Materialien abgelöst (Poss 2002).

In seltenen Fällen, wie beispielsweise dem Schutz des Weichgewebes während der finalen Präparation, können weitere fadenlose Retraktionsmethoden wie die Verwendung eines Kofferdams oder eines gingivalen Protectors/ Gingivaabhalters nützlich sein (Peleska 2009, Thomas et al. 2011).

2.2.3 Chirurgische Methoden

Die chirurgischen und elektrochirurgischen Methoden verursachen keine reversible Verdrängung des gingivalen Weichgewebes, sondern eine endgültige Entfernung (Tosches und Salvi 2009). Zur irreversiblen Entfernung störender Gingivaanteile können folgende Methoden genutzt werden: Laser, chirurgische und elektrochirurgische Gingivektomie (Kautern), Gingivoplastik und rotierende Gingivakürettage (Poss 2002).

Bei der rotierenden Gingivakürettage werden (meist während der subgingivalen Präparation) störende Gingivaanteile mittels Bohrer oder Fräser entfernt (Sood und Gupta 2011). Der Unterschied zwischen der Gingivektomie und der Gingivoplastik ist der Abtrag in der Höhe bei der Gingivoplastik im Gegensatz zur Gingivektomie, bei der der Sulkus modellierend erweitert wird. Dazu wird ein Kauter mit feinen Schlingen, die mit elektrischem Strom schneiden, eingesetzt. Diese Methoden benötigen eine Anästhesie für den Patientenkomfort. Bei der Lasertechnik stehen verschiedene Laser (z.B. Erbium-, Nd:YAG- und Diodenlaser) zur Verfügung, mit denen das Weichgewebe relativ schmerzarm entfernt werden kann (Poss 2002, Peleska 2009). Der Patientenkomfort ist beim Lasern vergleichsweise hoch (Scott 2005, Krishna Ch et al. 2013). Das elektrochirurgische Kautern und der Einsatz von Lasern bringen gleichzeitig einen hämostatischen Effekt (Poss 2002).

Elektrochirurgische Retraktion wird angewendet, wenn beispielsweise nach der Retraktion mit Hilfe eines Retraktionsfadens noch überschüssige Gingiva die Präparationsgrenze verdeckt. Auch zur Elektrokoagulation ist sie einsetzbar (Wassell et al. 2002). Doch besonders aus elektrochirurgischen Verfahren können schwerwiegende Probleme resultieren, so kann durch die entstehende Hitze das umliegende Gewebe dauerhaft geschädigt werden. Zudem kann es zu Rezessionen und einem Attachmentverlust kommen, der das Epithel und auch den Alveolarknochen betreffen kann. Das Saume epithel kann in ein Taschenepithel umgewandelt werden, außerdem können an Dentin und Wurzeloberflächen durch große Hitzeentstehung Verbrennungsmale zurückbleiben. Ferner kann die Hitzeeinwirkung zu Verlusten von alveolärem Knochenkamm und lokalisierten Nekrosen mit wesentlich längerem Wundheilungsverlauf als bei reversiblen Methoden führen (Wilhelmsen et al. 1976, Ruel et al. 1980). Besondere Vorsicht

ist bei bukkalen Bereichen anzuwenden, da die Gingiva dort häufig dünn und die Gefahr von Rezessionen erhöht ist (Wassell et al. 2002). Wöstmann et al. (2008) stellten heraus, dass die Entfernung von störender Gingiva mittels eines elektrochirurgischen Verfahrens kein signifikant besseres Ergebnis bringt als die Anwendung von mit Adrenalin getränkten Retraktionsfäden.

Die elektrochirurgische und chirurgische Methode zur Gingivaretraktion wird in der Praxis seltener genutzt, oft nur als Zusatz zu mechanischen und chemo-mechanischen Anwendungen (Donovan et al. 1985). Besonders in ästhetisch relevanten Methoden und bei dünnem Biotyp ist die chirurgische Retraktion mit Vorsicht einzusetzen (Goldberg et al. 2001, Peleska 2009).

2.3 Überblick über Zusätze in Retraktionsmaterialien

Wie schon dargestellt, bilden Retraktionsfäden den größten Anteil der verwendeten Materialien zur Gingivaverdrängung. Dabei wird nicht nur die mechanische Funktion der Fäden genutzt, häufig werden Zusätze mit biologischer Wirkung beigefügt.

Folgende Forderungen werden an ein Retraktionsmaterial mit wirksamem Zusatz gestellt: Effizienz bei bestimmungsgemäßem Gebrauch (laterale und vertikale Verdrängung der Gingiva und Reduktion von Blutungen und Sulkusflüssigkeit), kein Auftreten von lokalen und systemischen Nebenwirkungen und eine Reversibilität der erzeugten Effekte (Donovan et al. 1985, Bowles et al. 1991, Hansen et al. 1999).

Mögliche Zusätze können nach ihrer Wirkweise in vasokonstriktorisch und adstringierend wirksam eingeteilt werden (Thomas et al. 2011). Häufige vasokonstriktorische Zusätze sind Adrenalin und sympathomimetisch wirksame Verbindungen (z.B. Oxymetazolin-Hydrochlorid, Tetrahydrozolin-Hydrochlorid und Phenylephrin) (Bowles et al. 1991, Woody et al. 1993, Thomas et al. 2011). Zudem hat Aluminiumsulfat ebenfalls eine schwache vasokonstriktorische Wirkung (Jokstad 1999). Als Adstringenzen werden Mittel wie Eisensulfat, Zinkchlorid, Aluminium-Kalium-Sulfat (= Alaun), Aluminiumsulfat, Aluminiumammoniumsulfat und Aluminiumchlorid eingesetzt (Donovan et al.

1985, Jokstad 1999, Al Hamad et al. 2008, Tosches und Salvi 2009, Radz 2010). Häufig werden Kombinationen der Präparate verwendet (Benson et al. 1986).

Adrenalin, Eisensulfat und Aluminiumchlorid sind die am häufigsten eingesetzten Mittel (Radz 2010). Es gibt industriell vorgefertigte Produkte, die schon getränkt erhältlich sind, und es gibt die Möglichkeit, einfache Retraktionsfäden selbst mit dem Mittel der Wahl zu behandeln (Benson et al. 1986). Es wird eine Einwirkzeit der Zusätze in den Fäden von 20 Minuten empfohlen. Erst dann ist genug Flüssigkeit aufgenommen und die Wirksamkeit garantiert (Csempesz et al. 2003).

60% der befragten Zahnärzte greifen laut Ahmed und Donovan (2015) auf die Möglichkeit eines biologisch wirksamen Zusatzes zurück, wobei die Retraktionsfäden zu 29% mit Adrenalin, zu 13% mit Aluminiumchlorid und zu 18% mit Aluminium-Kalium-Sulfat getränkt sind. Laut Hansen et al. (1999) benutzen 98% der Befragten Retraktionsfäden, wobei 44% zu einfachen ungetränkten Fäden greifen. 18% wählen als Zusatz Aluminiumchlorid, 14% Adrenalin, weitere 14% Aluminium und 10% der Befragten eine Kombination von Aluminium und Adrenalin. Zudem tranken 81% der Studienteilnehmer die einfachen Retraktionsfäden, wobei 55% zu gepuffertem Aluminiumchlorid, 23% zu Eisensulfat und 13% zu Aluminium greifen. Weitere Zusätze sind Adrenalin, ungepuffertes Aluminiumchlorid und Wasser.

Jedoch sind nicht alle häufig eingesetzten Zusätze uneingeschränkt empfehlenswert. Zinkchlorid und Aluminiumchlorid haben eine ätzende Wirkung auf das Gewebe und sollten deshalb bedacht angewandt werden (Woycheshin 1964, Bowles et al. 1991). Allgemein haben adstringierend wirksame Zusätze einen hohen Säuregrad und sind deshalb mit Vorsicht einzusetzen (Woody et al. 1993, Nowakowska et al. 2010). Bei Eisensulfat muss bei der Entfernung des Fadens darauf geachtet werden, dass das induzierte Koagel nicht zusammen mit dem Faden aus dem Sulkus entfernt und eine erneute Blutung ausgelöst wird (Bowles et al. 1991). Zudem kann es dunkle Verfärbungen auf dem Gewebe hinterlassen (Radz 2010). Ein weiterer erheblicher Nachteil von biologisch wirksamen Zusätzen ist ihre unerwünschte systemische Wirkung. Dabei spielt Adrenalin mit seinen vielfältigen Wirkungen eine entscheidende Rolle, wobei die Effekte auf das Herz- Kreislaufsystem von besonderer Bedeutung bei der zahnärztlichen Anwendung sind (Donovan et al. 1985). Donovan et al. (1985)

erhoben, dass 20% der Befragten systemische Nebenwirkungen bemerkten. Eine Erhöhung des Pulses, Herzklopfen, kalter Angstschweiß und Angstzustände wurden dabei am häufigsten genannt. Auch Hansen et al. (1999) berichteten, dass etwa ein Drittel der Befragten bei Anwendung von Adrenalin systemische Nebenwirkungen des Patienten beobachteten. Als häufigste unerwünschte Effekte traten dabei ein erhöhter Puls, Angstzustände und Herzrasen auf. Andere Zusätze (außer Adrenalin) weisen nahezu ausschließlich lokale Nebenwirkungen wie Weißfärbung, Verkrustung und Entzündung des Gewebes auf (Hansen et al. 1999). Systemische Nebenwirkungen sind nicht bekannt (Donovan et al. 1985). Wie bei jedem Medikamenteneinsatz sollten auch Zusätze in Retraktionsmaterialien mit Vorsicht und in der richtigen Dosierung und Dauer angewendet werden, da kein Medikament völlig frei von Nebenwirkungen ist (Bowles et al. 1991).

Adrenalin wird als Zusatz empfohlen, wenn es während der Abformung zu Problemen mit einem erhöhten Maß an Blutungen und Sulkusflüssigkeit kommt (Harrison 1961, Fazekas et al. 2002, Csillag et al. 2007). Zudem wird die Anwendung von Adrenalin bei unverletztem Sulkus und gesunden Patienten empfohlen. Eine Anamnese sollte stets erhoben werden, um Vorerkrankungen und Medikationen des Patienten zu erfassen, die die Anwendung von Adrenalin aufgrund der kardiovaskulären Wirkung ausschließen (Reiman 1976). Aber auch Patienten ohne entsprechende Vorerkrankungen können von systemischen Nebenwirkungen betroffen sein (Woycheshin 1964). In weiteren Studien kommt man zu dem Ergebnis, dass Adrenalin keine signifikant besseren Ergebnisse bringt als systemisch unwirksame Medikamente. Besonders unter diesen Gesichtspunkten sollte man den Einsatz von Adrenalin genau überdenken (Nemetz et al. 1984, Weir und Williams 1984, Donovan et al. 1985, Bowles et al. 1991, Jokstad 1999). Unter den vielen Möglichkeiten der chemisch- wirksamen Retraktion hat sich bis heute die Verwendung von Aluminiumchlorid als die gängigste herausgestellt. Aluminiumchlorid in 5- 10 prozentiger Lösung hat sich dabei als sicher und effektiv bewiesen (Shaw et al. 1980, Chaudhari et al. 2015).

2.4 Bedeutung der Retraktion im prothetischen Arbeitsablauf

2.4.1 Anwendung von Retraktionsfäden

Der Einfluss der richtigen Retraktionsmethode auf das Gelingen einer Abformung ist enorm. Der Gebrauch und die Funktionsweise von Retraktionsfäden sollen im Folgenden beschrieben werden.

Die reversible Verdrängung des Gingivarandes ist aus folgenden Gründen nötig:

1. Das gingivale Weichgewebe muss zur Abformung nach horizontal verdrängt werden, um einen genügend großen Raum zwischen Zahn und Gingiva zu schaffen. Dieser ist nötig, um das Fließen des Abdruckmaterials und eine ausreichende Stärke und Festigkeit der Abformung zu gewährleisten.
2. Die Gingiva muss vor der Abformung bis über den äqui- oder subgingival gelegenen Präparationsrand in vertikaler Richtung verdrängt werden, um diesen zuverlässig aufzuzeichnen.
3. Es muss ausreichend Platz zwischen Zahn und Weichgewebe geschaffen werden, um dem häufig hydrophoben Abdruckmaterial eine trockene Umgebung zu schaffen. Ansonsten besteht die Gefahr, dass Details der Präparation nicht eindeutig aufgezeichnet werden können (Donovan und Chee 2004, Tosches und Salvi 2009).

Manche Autoren beschreiben aber auch nur eine laterale Verdrängung der Gingiva, da bei einer Deflektion nach apikal ein Risiko besteht, das Epithel zu verletzen (Nemetz 1974).

Bei einem Großteil der Abformungen wird die Präparationsgrenze nicht zufriedenstellend dargestellt (Ahmed et al. 2016). Zu Ungenauigkeiten kommt es bei nicht ausreichender Weite des Sulkus. Bei Unterschreiten einer Sulkusweite von 0,2 mm ist eine mangelhafte Exaktheit durch Defekte wie Fehlstellen und Ausrisse in der Abformung wahrscheinlich (Laufer et al. 1996). Baharav et al. (2004) geben in ihrer Studie die geforderte Mindestweite des Sulkus mit 0,15 mm an. Zudem ist es notwendig, dass das Abformmaterial bis über die Präparationsgrenze hinaus fließt (Nemetz 1974). Ein weiteres Problem, das sich

bei der korrekten Aufzeichnung von Präparationsgrenzen ergibt, ist das schnelle Verschließen des zuvor geöffneten Sulkus. Dabei verschließt sich der Sulkus am Übergang zum Approximalraum und im Approximalraum direkt besonders schnell, was ein häufiges Auftreten von Fehlstellen an diesen Stellen erklärt. Zusätzlich vergrößert sich die Problematik bei einer größeren Anzahl von abzuformenden Zähnen (Laufer et al. 1997).

Ein vollkommen präziser Randspalt zwischen prothetischer Restauration und Präparationsgrenze ist nicht realisierbar, doch sollte dieser so minimal wie möglich gehalten und auch eine Überkonturierung vermieden werden. Die Bedeutung des suffizienten Randspaltes liegt nicht nur im Schutz der Zahnhartsubstanz, sondern auch in der Erhaltung der parodontalen Gesundheit. Über- und Unterkonturierung des Kronenrandes sind die Grundlage einer Plaqueakkumulation. Es kommt zur Gingivitis und gegebenenfalls zum Attachmentverlust (Tosches und Salvi 2009).

Bei allen Methoden der Retraktion muss nach Anwendung geprüft werden, ob die komplette Präparationsgrenze von oben eingesehen werden kann. Gibt es weiterhin Gingivaanteile, die über die Präparationsgrenze hinaus reichen, kann man dieses Gewebe beispielsweise mittels Skalpell oder Kauter entfernen (Ahmed et al. 2016). Wichtig für eine ausreichende Verdrängung des Weichgewebes ist die Wahl eines ausreichend dicken Retraktionsfadens, welcher mit einem speziellen, stumpfen Instrument mit Druck in den Sulkus eingebracht wird (Mohamed Ateeq et al. 2011). Geeignete Instrumente sind beispielsweise ein Heidemannspatel oder der Retraktionsfadenapplikator nach Fischer (Peleska 2009). Das Einlegen eines zu dünnen Fadens ist der häufigste Fehler, da keine ausreichende Verdrängung der Gingiva stattfinden kann (Donovan und Chee 2004). Es sollte der größtmögliche Durchmesser, der atraumatisch im Sulkus platziert werden kann, gewählt werden (Nemetz et al. 1984, Mohamed Ateeq et al. 2011) bzw. erfolgt die Auswahl des Fadens abhängig von der gemessenen Sondierungstiefe: je tiefer der Sulkus, desto dicker sollte der Faden sein (Peleska 2009). Ein weiterer häufiger Fehler ist die zu kurze Verweildauer des Fadens im Sulkus: der Faden benötigt Zeit, um das Weichgewebe zu verdrängen, und ein eingesetzter Zusatz, um seine Wirkung zu entfalten. Ahmed et al. (2016) empfehlen, den Faden mindestens 4 Minuten, besser 8 Minuten im Sulkus zu belassen. Weitere Autoren haben sich mit der Verweildauer des Fadens

beschäftigt: Benson et al. (1986) empfehlen 10-20 Minuten Verweildauer, Harrison (1961) empfiehlt bis zu 30 Minuten. Nach ausreichend langer Verweildauer ist bei der Entfernung des Fadens darauf zu achten, dass der Faden sich nicht mit dem umliegenden Weichgewebe verbunden hat und trocken herausgezogen wird. Ein Abspülen zur Vermeidung von Verletzungen wird empfohlen (Donovan und Cho 2001, Ahmed et al. 2016). Außerdem wird zur Vermeidung von Präparationstraumen geraten, einen in Wasser getränkten Retraktionsfaden für 3-5 Minuten in den Sulkus zu legen und erst danach die finale Präparation der Präparationsgrenze vorzunehmen (Donovan und Cho 2001, Kazemi et al. 2009). Goodacre (1990) empfiehlt, nach der fertigen Präparation der Form einen Faden in den Sulkus zu legen und anschließend die Präparationsgrenze bis auf die Höhe des zurückgedrängten Gingivarandes zu legen. Nach Entfernung und Zurückstellung des Gingivarandes liegt die Präparationsgrenze auf subgingivalem Niveau. Einen Retraktionsfaden während der gesamten Präparation im Sulkus zu belassen, ist nicht ratsam, da eine lang andauernde Verweildauer eine schwerere Reaktion der Gingiva hervorruft (Goodacre 1990). Neben der Notwendigkeit zur Retraktion während des Abformens und Präparierens ist es ratsam, die Gingiva auch während des Eingliederns von Provisorien und der endgültigen Arbeit zu retrahieren (Thomas et al. 2011).

2.4.2 Lage der Präparationsgrenze

Die gingivale Gesundheit und das Gelingen der Abformung sind entscheidend abhängig von der Lage der Präparationsgrenze (Donovan und Chee 2004). Ästhetische Aspekte der prothetischen Zahnheilkunde gewinnen zunehmend an Bedeutung. Um diesen ästhetischen Ansprüchen gerecht zu werden, wird die Präparationsgrenze häufig in den subgingivalen Bereich gelegt (Bowles et al. 1991). Auch lokale funktionelle Voraussetzungen führen häufig dazu, dass die Präparationsgrenze nach subgingival gesetzt werden muss. So kann ein zervikaler Zahnhartsubstanzdefekt durch Erosionen oder Abrasionen oder eine Wurzelfraktur zu der Notwendigkeit eines subgingivalen Restaurationsrandes führen (Tosches und Salvi 2009).

Die subgingivale Lage des Restaurationsrandes birgt zwei Probleme in sich: das genaue Aufzeichnen der Präparationsgrenze während des Abformprozesses und die langfristig gefährdete parodontale Gesundheit durch gesteigerte Plaqueakkumulation (Donovan und Chee 2004).

Die Abformung der subgingivalen Präparationsgrenze stellt sich als Herausforderung an den Behandler dar und macht die Verwendung von Retraktionsmaterialien während des Abformprozesses unverzichtbar. Die häufigste Ursache für eine ungenügende Darstellung der Präparationsgrenze ist eine mangelhafte Retraktionstechnik (Donovan und Chee 2004). Abformmaterialien sind nicht in der Lage, den gingivalen Rand zu verdrängen, sodass die Präparationsgrenze nur dargestellt werden kann, wenn ausreichend Platz zwischen Zahn und Gingiva vorliegt (Nemetz 1974). Zudem ist die ausreichende Trockenheit des Sulkus besonders entscheidend bei der Verwendung von hydrophoben Abformmaterialien wie additionsvernetzenden Silikonen oder Polyvinylsiloxanen (Runyan et al. 1988, de Camargo et al. 1993).

Trotz der subgingivalen Lage der Präparationsgrenze sollte das Ziel bei der Anfertigung einer prothetischen Arbeit die gingivale Gesundheit ohne bleibende Schäden und das Entsprechen der ästhetischen Ansprüche sein. Dabei sollte der Restaurationsrand so liegen, dass er nicht sichtbar ist und gleichzeitig die biologische Breite respektiert wird (Donovan und Cho 2001). Die subgingivale Präparation sollte so schonend wie möglich ablaufen, besonders wenn nur ein geringes Maß an befestigter Gingiva vorhanden ist. Verletzungen am umliegenden Weichgewebe sind zu vermeiden, da sie zu irreversiblen Schäden führen können (Singh et al. 2014). Ein weiterer Aspekt ist die Pflege der Restauration. Mit herkömmlichen häuslichen Zahnpflegemethoden ist es nicht möglich, sich subgingival sammelnde Plaque zu entfernen. Die Oberfläche der Restauration ist zudem rauer als die natürliche Zahnoberfläche, wodurch es zusätzlich zu einer vermehrten Anlagerung von Plaque kommt (Orkin et al. 1987). Auslösend für gingivale und parodontale Erkrankungen ist aber das Vorhandensein von Plaque (Löe 1968, Block 1987). Nachgewiesen wurde, dass es mehr entzündliche Reaktionen des Weichgewebes um subgingival als um supragingival gelegene Restaurationsränder gibt. Folglich ist die supragingivale Lage zugunsten der parodontalen Gesundheit zu bevorzugen (Newcomb 1974, Valderhaug und Birkeland 1976, Orkin et al. 1987, Reichen-Graden und Lang

1989, Reeves 1991). Besonders in Zeiten von ästhetisch anspruchsvollen vollkeramischen Restaurationen ist die supragingivale Lage des Präparationsrandes zu empfehlen (Radz 2010). Sollte aus genannten Gründen doch eine subgingivale Lage des Restaurationsrandes nötig sein, so ist eine sorgfältige und schonende Durchführung der klinischen Arbeitsschritte und die präzise Passung und Kontur des Zahnersatzes zu gewährleisten (Singh et al. 2014).

2.5 Auswirkungen von Retraktionsfäden auf die Gingiva

2.5.1 Schäden der Gingiva durch Retraktionsfäden

Die Technik des Behandlers beim Legen des Retraktionsmaterials spielt eine entscheidende Rolle. Die Verdrängung der Gingiva sollte für das Weichgewebe so schonend wie möglich ablaufen (Sorensen et al. 1991, Bennani et al. 2015). Schädigungen während der Retraktion führen langfristig zu Verletzungen der Gingiva und unästhetischen Ergebnissen. Es kann zu Rezessionen, Entzündungen oder Gingivahypertrophien kommen (Sorensen et al. 1991). Beim Legen von Retraktionsfäden um mehrere präparierte Zähne kann es zur Strangulation der Papille der freien Gingiva und damit zu deren Verlust kommen. Diese Effekte sind ganz besonders im sichtbaren Frontzahnbereich zu vermeiden (Donovan und Chee 2004, Scott 2005). Das Ausmaß der Schäden während des Retraktionsprozesses ist abhängig vom chemischen Zusatz, der Kraft, die zum Legen des Fadens eingesetzt wurde, und der Dauer, die der Faden im Sulkus lag (Ferencz 1991). Weitere Gründe, durch die Schwierigkeiten während der Retraktion und daraus resultierend eine Schädigung des Weichgewebes entstehen können, sind die Entzündung des umgebenden Weichgewebes, ungenügendes Vorhandensein von befestigter Gingiva und die zu tiefe Lage der Präparationsgrenze im Sulkus (Donovan und Chee 2004). So ist im Vorhinein der Behandlung die Situation bezüglich der anatomischen Verhältnisse, der geplanten Lage der Präparationsgrenze und einer etwaigen vorhandenen Entzündung zu befunden und dementsprechend zu planen. Eine röntgenologische Untersuchung ist zur Befundung des Parodonts (bezüglich eines entzündungsbedingten Knochenabbaus), des Endodonts (Ausschluss von periapikalen Entzündungen)

und der Höhe der krestalen Knochenkante (zum Einhalten der biologischen Breite) zu unternehmen. Ein positiver röntgenologischer Befund kann während der Behandlung zu verstärkten Blutungen und Langzeitschäden des gingivalen Weichgewebes führen (Baba et al. 2014).

2.5.1.1 Blutung

Jede Kontamination des Sulkus stellt eine mögliche Fehlerquelle im Abformprozess dar. Das Abformmaterial kann durch Sulkusfluid, Speichel, Speisereste, sonstigen Debris und vor allem durch eine Blutung während der Abformung verdrängt werden (Livaditis 1998) und so zu Ungenauigkeiten führen. Aber nicht nur bei der Abformung ist eine auftretende Blutung problematisch. Auch während des Eingliederns von Provisorien und der vorhergehenden Präparation verschlechtert eine Blutung das Ergebnis. Die konservierende Versorgung kariöser Läsionen erfordert ebenso ein blutungsfreies Arbeitsfeld (Elledge 2010). Blutungsfreiheit kann durch die Doppelfadentechnik (keine Verletzung von kleinen Blutgefäßen durch die Entnahme des tief liegenden Fadens vor der Abformung) und einen Einsatz von Adstringenzien hergestellt werden (Peleska 2009).

Bevor die festsitzende prothetische Versorgung eines Zahnes angestrebt werden kann, ist sicherzustellen, dass die gingivale Gesundheit gewährleistet ist. Dabei sollte das Parodont visuell beurteilt werden: Farbe, Kontur, Konsistenz, Lage und Oberflächenbeschaffenheit. Es sollte nach Schmerzen und Beschwerden gefragt, passende parodontale Indices hinzugezogen (Baba et al. 2014) und geprüft werden, ob eine spontane oder provozierbare Blutung vorzufinden ist (Sorensen et al. 1991). Eine parodontale Therapie sollte noch vor der prothetischen Versorgung erfolgreich durchgeführt worden sein (Nemetz 1974, Nemetz et al. 1984, Sorensen et al. 1991, Donovan und Cho 2001, John et al. 2015, Ahmed et al. 2016). Ist eine Entzündung vorhanden, kann der Arbeitsablauf gestört werden, indem es während der Präparation, der Retraktion und der Abformung zu Blutungen kommt. Das Abformmaterial wird durch die Blutung verdrängt, kann nicht in den Sulkus fließen und die entsprechende Präparationsgrenze abformen (Sorensen et al. 1991). Zudem bedingt eine vorhandene Entzündung den Anstieg des Sulkusfluids, der genauso das Ergebnis der Arbeit beeinträchtigt (Gunday et

al. 2014). Die Blutungsfreiheit der Gingiva während des Abformprozesses ist laut Livaditis (1998) von folgenden Faktoren abhängig:

- a. gesundes gingivales Weichgewebe
- b. gute Passung der Interimsversorgung
- c. genaues Entfernen von Resten des provisorischen Zements
- d. gute häusliche Mundhygiene
- e. vorsichtiges Legen des Retraktionsmaterials

Das Auftreten von Blutungen nach dem Retraktionsprozess wurde von Raghav et al. (2014) untersucht. Dabei kam heraus, dass bei vorsichtiger Anwendung keins der untersuchten Materialien (getränkter Retraktionsfaden, Expasyl und Magic Foam Cord) eine Blutung verursachte. Das Auftreten von Blutungen während und nach der Retraktion hängt vom Einsatz hämostatischer Zusätze und dem Zustand der Gingiva ab. Um einen blutungsfreien Sulkus bereitzustellen, stehen Ingredienzen zur Blutungsstillung bereit, die lokal aufgetragen werden und im Retraktionsmaterial enthalten sein können (siehe Abschnitt 2.3) (Livaditis 1998). Alternative Retraktionsmaterialien, wie einige Retraktionspasten, benötigen keine blutstillenden Bestandteile, um eine Blutung während der Retraktion zu kontrollieren (Al Hamad et al. 2008).

2.5.1.2 Auswirkung auf den Epithelansatz und das Weichgewebe

Durch die Applizierung des Retraktionsfadens in den Sulkus kann es durch die Zerstörung der Verbindung zwischen Zement und Gingiva zu einer Schädigung des Sulkus- und Saumeithels kommen (Harrison 1961, Feng et al. 2006). Wird der Faden mit zu hohem Druck in den Sulkus appliziert, kann der eingebrachte Retraktionsfaden bis zur Schmelz- Zement- Grenze gedrückt werden, wodurch das Saumeithel und der parodontale Faserapparat beschädigt und eine moderate Entzündung ausgelöst werden kann (Löe und Silness 1963, Ruel et al. 1980). Mit diesen Verletzungen gehen Schmerzen, Schwellung und Missempfindungen des Patienten einher (Feng et al. 2006). Die entstandenen Schäden am Weichgewebe sind jedoch reversibel. Es kommt zu einer Epithelproliferation vom Gingivarand aus (Löe und Silness 1963). Das

Saumepithel ist im Gegensatz zu den anderen oralen Epithelien sehr regenerationsfähig, da es als Reaktionsbereich dient, der vorhandene Entzündungen vom Alveolarknochen fern halten soll (Gehrcke et al. 2014). Nach 5 Tagen ist ein erneutes epitheliales Reattachment nachweisbar (Taylor und Campbell 1972). Es kommt zu einer vollständigen Heilung, (Harrison 1961, Reiman 1976, de Gennaro et al. 1982, Azzi et al. 1983), wenn der Heilungsprozess nicht gestört wird (Löe und Silness 1963).

In wenigen Fällen wird jedoch die Entstehung von Rezessionen (Ruel et al. 1980), aber auch von Infektionen und Attachmentverlust (Feng et al. 2006, Phatale et al. 2010) an der entsprechenden Stelle beschrieben. Aber nicht nur makroskopisch sichtbare Schäden wie Rezessionen sind zu verzeichnen, auch mikroskopische Veränderungen der Fibroblasten nach erfolgter Retraktion sind nachzuweisen (Liu et al. 2004, Nowakowska et al. 2010).

Vor Beginn einer prothetischen Therapie ist die Messung der Taschentiefen unverzichtbar. So sollte vorher festgestellt werden, wie tief die Präparationsgrenze gelegt werden kann. Es ist unbedingt zu vermeiden, die Präparationsgrenze apikal des Sulkusbodens zu platzieren, da ansonsten durch die Präparation und Retraktion irreversible Schäden an der dentogingivalen Verbindung resultieren können (Baba et al. 2014). Eine wichtige Forderung an das Retraktionsmittel in dieser Hinsicht ist zudem eine einwandfreie Biokompatibilität. So sollte das Material die Wundheilung stimulieren und nicht verhindern (Liu et al. 2004).

Labban (2011) schildert eine Technik zur Fadenapplikation, welche die Gefahr von Rezessionen verringern soll. Dabei fordert er, den Faden erst in die oralen Abschnitte des Sulkus zu applizieren. Erst nachdem dies bei allen betroffenen Zähnen erfolgt ist, soll der Faden in die bukkalen/ lingualen Sulkusanteile eingebracht werden. Durch die geringere Verweildauer des Fadens sollen Rezessionen auf der ästhetisch wichtigen bukkalen bzw. lingualen Seite vermieden werden.

2.5.2 Wirkung verschiedener Materialien auf die Gingiva

Um der Restauration und der tragenden Zahnhartsubstanz eine lange Lebensdauer zu gewährleisten, ist in allen Fällen die Gesundheit des

Parodontiums zu erhalten (Phatale et al. 2010, Chaudhari et al. 2015). Die Verdrängung der Gingiva vor der Abformung ist ein unverzichtbarer Schritt, der aber vergleichbar invasiv auf das umliegende Gewebe wirkt. Die Auswirkungen der verschiedenen Materialien auf das Parodontium sollen im Folgenden dargestellt werden.

Ruel et al. (1980) stellten in ihrer Studie heraus, dass herkömmliche Retraktionsfäden eine Schädigung des Saumepithels und eine leichte Entzündung hervorriefen. Die Retraktion mittels Kupferbändern hatte eine leichte Schädigung des Saumepithels und in wenigen Fällen eine Verletzung des Faserapparates zur Folge. Eine elektrochirurgische Entfernung der Gingiva führte zur Zerstörung des Saumepithels und einer Nekrose, die sich bis auf die orale Mukosa erstreckte. Azzi et al. (1983) arbeiteten heraus, dass alle 3 getesteten Retraktionsmethoden (Retraktionsfäden, rotierende Gingivakürettage und die elektrochirurgische Entfernung) eine Verletzung des gingivalen Weichgewebes nach sich zogen. Dabei verursachte die gingivale Kürettage die meisten Schäden (Rezession und Attachmentverlust) und die herkömmlichen Retraktionsfäden richteten den geringsten Schaden an. Alle Verletzungen waren reversibel. Feng et al. (2006) untersuchten die Wirkung von ungetränkten Ultrapak- Fäden und stellten eine entzündliche Reaktion der Gingiva fest. Auch Liu et al. (2004) fanden heraus, dass alle 3 untersuchten Retraktionsfäden (mit Adrenalin und Aluminiumsulfat getränkt und ungetränkt) eine zytotoxische Wirkung auf Fibroblasten haben.

Al Hamad et al. (2008) stellten in ihrer Studie die Wirkung von Ultrapak-Retraktionsfäden, Expasyl und Magic Foam Cord auf die Gingiva zusammen. Die Ergebnisse zeigen, dass am ersten Tag nach der Behandlung bei allen drei Materialien eine Schädigung des gingivalen Weichgewebes zu verzeichnen war. Die Heilung nahm bei Gebrauch der Ultrapak- Fäden und des Magic Foam Cords eine Woche in Anspruch. Expasyl zeigte eine größere Schädigung des Gewebes, eine längere Heilungszeit und in einzelnen Fällen eine erhöhte Sensibilität des Zahnes. In der Studie von Kazemi et al. (2009) wurde deutlich, dass Expasyl weniger Rezessionen und Entzündungsreaktionen als ein in Aluminiumchlorid getränkter Retraktionsfaden verursachte. Phatale et al. (2010) untersuchten ebenso wie Al Hamad et al. (2008) die Wirkung von Expasyl, Magic Foam Cord und Ultrapak- Retraktionsfäden. Dabei stellte sich heraus, dass alle untersuchten Materialien Verletzungen des Parodontiums verursachten. Retraktionsfäden

richteten dabei schwerere Schäden an als die Expasyl und Magic Foam Cord. Bei einem Vergleich von Ultrapak- Retraktionsfäden und Viscostat Clear (enthält Aluminiumchlorid) fanden Sarmiento et al. (2014) heraus, dass die fadenlose Methode weniger Auswirkungen auf das Weichgewebe hatte. In einer Untersuchung von Chandra et al. (2016) zeigte sich, dass Retraktionsfäden (Ultrapak und SilTrax AS) einen größeren Einfluss auf die gingivale Gesundheit haben als Retraktionspasten (Expasyl und Traxodent).

Zudem gewinnt die orale Implantologie immer mehr an Bedeutung, sodass die Wirkung von Retraktionsmaterialien auf Implantatoberflächen zum Gegenstand der Forschung wird. Chang et al. (2011) haben sich mit der Wirkung von Expasyl auf Implantatoberflächen beschäftigt. Die Ergebnisse zeigen eine geringe Veränderung der Oberfläche. Cooper et al. (2013) wiesen keine Beeinflussung der Implantatoberfläche durch Expasyl nach.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle untersuchten Retraktionsmethoden der Gingiva Schäden zufügen, wenn diese auch reversibel sind. Dabei sind die Schäden, die chirurgische und elektrochirurgische Methoden hinterlassen, am gravierendsten. Im Vergleich Retraktionsfäden und Retraktionspasten schneiden die Pasten besser ab, da geringere Effekte auf die Gingiva zu beobachten sind. Eine entscheidende Rolle spielt die Sorgfalt und Behutsamkeit, mit denen die entsprechenden Retraktionsmaterialien am Patienten eingesetzt werden. Der richtige Umgang schont das Weichgewebe und sorgt für die Irreversibilität der entstehenden Schäden am Weichgewebe (Azzi et al. 1983).

2.6 Das Sugi- Material als Gegenstand der Untersuchung

Wie in den vorhergehenden Abschnitten zusammengestellt, ist auf die Retraktion im zahnmedizinischen Alltag nicht zu verzichten. Die Ansprüche an ein Retraktionsmittel und die Vor- und Nachteile verschiedener erhältlicher Materialien und Techniken wurden zusammengetragen, doch findet sich kein Material, welches alle Anforderungen restlos erfüllt. Erstrebenswert ist deshalb ein Produkt, das diese Vorteile und Forderungen in sich vereint. Im Rahmen eines Kooperationsprojektes mit der Firma Kettenbach sollen in dieser Studie aus dem Sugi- Material gefertigte experimentelle Retraktionsstreifen untersucht werden.

Diese Sugi- Retraktionsstreifen bestehen aus einem schwammartigen Material, welches bisher Anwendung in der HNO- und Augenheilkunde sowie in der Chirurgie fand (Produktinformation Sugi- Produkte 2016). Bevor das Material in der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde eingesetzt werden kann, bedarf es Untersuchungen der Streifen bezüglich Druckentwicklung und praktischer Handhabbarkeit.

3 Zielstellung

Retraktionsmaterialien spielen im Abformprozess eine entscheidende Rolle. Zahlreiche Methoden und Materialien zur Gingivaretraktion sind bekannt, doch gibt es bislang kein Material, das alle Ansprüche uneingeschränkt erfüllt. Durch die bedeutende Rolle der Abformung im prothetischen Arbeitsablauf ist eine Untersuchung von geeigneten Retraktionsmaterialien zur Verbesserung der klinischen Ergebnisse zu rechtfertigen. Aus diesem Grund sollen die neuen Sugi Retraktionsstreifen der Firma Kettenbach (Eschenbach, D) untersucht und mit den klinisch erprobten Ultrapak- Fäden (Fa. Ultradent, South Jordan, USA) verglichen werden. Diese Untersuchung findet an zwei in- vitro Modellen statt, am Simulationsmodell zur Druckmessung und am Applikationsmodell.

Die genaue Zielstellung dieser in vitro-Studie ist zum einen die Messung und Auswertung des Drucks, welcher ausgehend von zwei verschiedenen Retraktionsmaterialien auf die simulierte Gingiva ausgeübt wird. Es soll herausgestellt werden, von welchen Parametern die entstehenden Drücke abhängig sind. Als zu untersuchende Parameter stellen sich die Größen Dichte, Stanzbreite, Laufrichtung und Tränkung dar.

Zum anderen soll die Handhabung der verschiedenen Retraktionsmaterialien untersucht werden. Dabei wurde während der Tests die Applizierbarkeit, ein mögliches Reißen des Streifens während des Einbringens und des Entfernens sowie der nötige Druck während des manuellen Applizierens registriert. Die Ergebnisse sollen wiederum durch die Parameter Dichte, Stanzbreite, Laufrichtung und Tränkung erklärt werden.

Die beiden untersuchten Materialien sollen zusätzlich hinsichtlich Druckentstehung und Handhabbarkeit miteinander verglichen werden.

Zum Thema Druckaufbau im Sulkus und der Handhabbarkeit verschiedener Retraktionsmaterialien gibt es bisher wenig wissenschaftliche Untersuchungen, sodass die vorliegende Arbeit diese Fragestellung bearbeiten wird.

Ausgehend von diesen Zielstellungen ergeben sich folgende zentrale Fragestellungen, die in der vorliegenden Arbeit geklärt werden sollen:

1. Wie zuverlässig arbeiten die entwickelten Messmodelle?
2. Wie zeigt sich der Zusammenhang zwischen der Dichte, der Stanzbreite und der Laufrichtung des Materials und dem ausgeübten Druck der Sugi-Retraktionsstreifen?
3. Wie ist die Handhabbarkeit der Sugi- Streifen hinsichtlich der genannten Faktoren zu beurteilen?
4. Wie stellt sich der gemessene Druck des Sugi- Materials im Vergleich zu dem der herkömmlichen Retraktionsfäden dar?
5. Wie zeigt sich die Handhabbarkeit des Sugi- Materials im Vergleich zu herkömmlichen Retraktionsfäden?
6. Wie wirkt sich eine Tränkung der Sugi- Streifen auf die Druckerzeugung im Sulkus aus?
7. Wie wirkt sich eine Tränkung des Sugi- Materials auf die untersuchte Handhabbarkeit aus?

4 Material und Methoden

4.1 Materialien der In- Vitro- Messung

4.1.1 Sugi- Retraktionsstreifen

Gegenstand der Untersuchung waren die Sugi- Retraktionsstreifen der Firma Kettenbach (Eschenburg, D). Dabei wurden verschiedene Ausführungen der Streifen untersucht, welche sich in Dichte, Stanzbreite, Laufrichtung und Tränkung unterschieden. Als Material der Sugi- Retraktionsstreifen diente ein Schwammstoff auf Basis von Regeneratcellulose und Baumwolle. Das Material wird neben dem geplanten Einsatz in der Zahnmedizin bereits in der Ophthalmologie, der Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde und in der Mikro- und Neurochirurgie eingesetzt. Es zeichnet sich durch eine hohe Sauggeschwindigkeit und hohes Saugvolumen (17-20fache des Eigengewichtes) aus. Zudem hat es durch festeingebundene Fasern eine große Reißfestigkeit, wird im feuchten Zustand jedoch weich und elastisch. Das Material ist geruchs- und geschmacksneutral und weist eine hohe Biokompatibilität auf (Produktinformation Sugi- Produkte 2016). Die Fäden wurden von der Firma Kettenbach in 90 mm langen Streifen geliefert. Zur Ansicht der Streifen dient Abbildung 1 und zur Übersicht der ungetränkten Streifen in allen Ausführungen Tabelle 1.

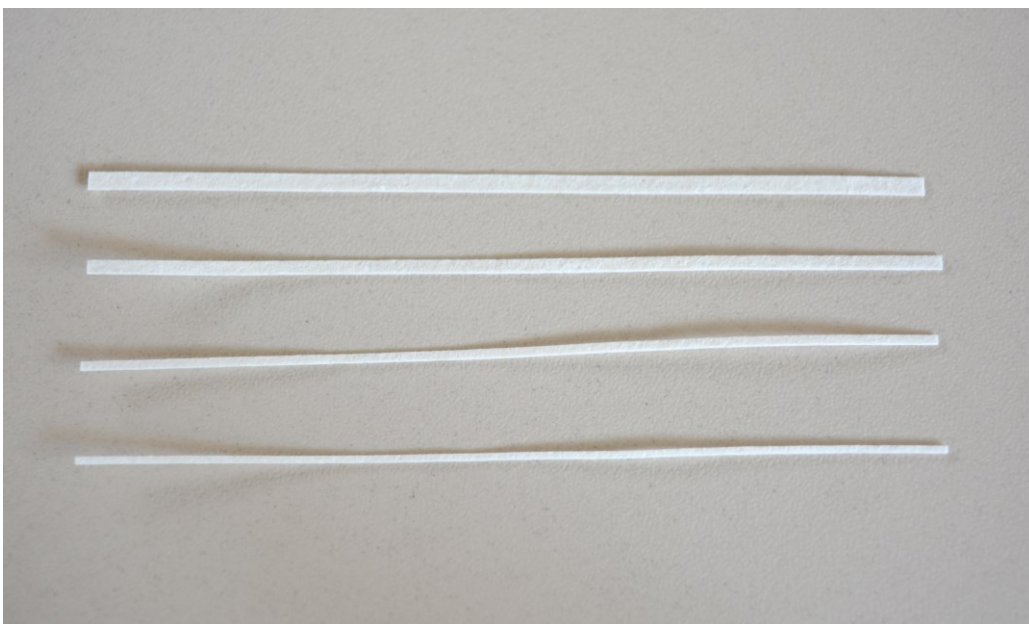


Abbildung 1: Sugi- Retraktionsstreifen am Beispiel der Charge 150091 A,B,C,D

Charge	Laufrichtung	Stanzbreite in mm	Dichte in g/m²
150011-A	längs	0,70	100
150011-B	längs	1,00	100
150011-C	längs	1,50	100
150011-D	längs	2,00	100
150021-A	längs	0,70	130
150021-B	längs	1,00	130
150021-C	längs	1,50	130
150021-D	längs	2,00	130
150031-A	längs	0,70	150
150031-B	längs	1,00	150
150031-C	längs	1,50	150
150031-D	längs	2,00	150
150041-A	längs	0,70	200
150041-B	längs	1,00	200
150041-C	längs	1,50	200
150041-D	längs	2,00	200
150051-A	längs	0,70	300
150051-B	längs	1,00	300
150051-C	längs	1,50	300
150051-D	längs	2,00	300
150061-A	quer	0,70	100
150061-B	quer	1,00	100
150061-C	quer	1,50	100
150061-D	quer	2,00	100
150071-A	quer	0,70	130
150071-B	quer	1,00	130
150071-C	quer	1,50	130
150071-D	quer	2,00	130
150081-A	quer	0,70	150
150081-B	quer	1,00	150
150081-C	quer	1,50	150
150081-D	quer	2,00	150
150091-A	quer	0,70	200
150091-B	quer	1,00	200
150091-C	quer	1,50	200
150091-D	quer	2,00	200
150101-A	quer	0,70	300
150101-B	quer	1,00	300
150101-C	quer	1,50	300
150101-D	quer	2,00	300

Tabelle 1: Übersicht der ungetränkten Sugi- Retraktionsstreifen

Ein Teil der Retraktionsstreifen der Firma Kettenbach wurde mit folgenden Zusätzen getränkt: Orthoskavident (Aceton und 2-Propanol), Chitosan HCl, Chitosan Lactat, Ethanol 96%, Isopropylalkohol 100% und Glycerin und Isopropanol (25/75% und 50/50%). Das Ziel der verschiedenen Tränkungen besteht darin, das Quellverhalten der Streifen um etwa 3-7 s zu verzögern. Dem Behandler soll somit das Einbringen des Retraktionsmaterials erleichtert und ein größeres Zeitfenster zur Verfügung gestellt werden. Eine Übersicht der Zusätze geben Tabelle 2 und Abbildung 2.



Abbildung 2: getränkte Sugi- Retraktionsstreifen am Beispiel der Charge 150181 C + B (getränkt mit Glycerin und Isopropanol)

Charge	Laufriichtung	Stanzbreite in mm	Dichte in g/m ²	Imprägnierung
150111-A	quer	1,00	300	ungetränkt
150111-B	quer	1,00	300	ungetränkt
150121-A	quer	1,00	300	Orthoskavident R C
150121-B	quer	1,00	300	Orthoskavident R C
150131-A	quer	1,00	300	Ethanol 96%
150131-B	quer	1,00	300	Ethanol 96%
150141-A	quer	1,00	300	Isopropyl alcohol 100%
150141-B	quer	1,00	300	Isopropyl alcohol 100%
150151-A	quer	1,00	300	ungetränkt
150161-A	quer	1,00	400	ungetränkt
150171-A	quer	1,00	500	ungetränkt
150181-A	quer	1,00	600	ungetränkt
150151-B	quer	1,00	300	25 % Glycerin 86% (eff. 21,5 %), 75 % Isopropanol 100 % (eff. 78,5 %)
150151-C	quer	1,00	300	50 % Glycerin 86% (eff. 43 %), 50 % Isopropanol 100 % (eff. 57 %)
150161-B	quer	1,00	400	25 % Glycerin 86% (eff. 21,5 %), 75 % Isopropanol 100 % (eff. 78,5 %)
150161-C	quer	1,00	400	50 % Glycerin 86% (eff. 43 %), 50 % Isopropanol 100 % (eff. 57 %)
150171-B	quer	1,00	500	25 % Glycerin 86% (eff. 21,5 %), 75 % Isopropanol 100 % (eff. 78,5 %)
150171-C	quer	1,00	500	50 % Glycerin 86% (eff. 43 %), 50 % Isopropanol 100 % (eff. 57 %)
150181-B	quer	1,00	600	25 % Glycerin 86% (eff. 21,5 %), 75 % Isopropanol 100 % (eff. 78,5 %)
150181-C	quer	1,00	600	50 % Glycerin 86% (eff. 43 %), 50 % Isopropanol 100 % (eff. 57 %)
160221-A1	quer	0,70	300	Chitosan HCL
160221-A2	quer	1,00	300	Chitosan HCL
160221-A3	quer	1,50	300	Chitosan HCL
160221-A4	quer	0,70	300	Chitosan Lactat
160221-A5	quer	1,00	300	Chitosan Lactat
160221-A6	quer	1,50	300	Chitosan Lactat
160221-B1	quer	0,70	400	Chitosan HCL
160221-B2	quer	1,00	400	Chitosan HCL
160221-B3	quer	1,50	400	Chitosan HCL
160221-B4	quer	0,70	400	Chitosan Lactat
160221-B5	quer	1,00	400	Chitosan Lactat
160221-B6	quer	1,50	400	Chitosan Lactat

Tabelle 2: Übersicht der getränkten Sugi- Retraktionsstreifen mit ungetränkten Vergleichsstreifen

4.1.2 Auswahl und Vermessung der Ultrapak- Fäden

Um die Retraktionseigenschaften des Sugi- Materials zu testen, wurde es mit einem klinisch bewährtem Retraktionsmaterial verglichen. Dazu wurden die Ultrapak- Retraktionsfäden (Fa. Ultradent, South Jordan, USA) ausgewählt. Diese bestehen aus 100% Baumwolle und sind ausschließlich ungetränkt erhältlich. Durch unzählige kleine gestrickte Maschen entsteht ein schlauchförmiger Faden. Untersucht wurden alle erhältlichen Größen: #000, #00, #0, #1, #2 und #3 (Produktinformation Ultradent 2016). Diese sind auf Abbildung 3 sichtbar.



Abbildung 3: Ultrapak- Retraktionsfäden in allen erhältlichen und untersuchten Größen (aufsteigend angeordnet)

Die Ultrapak- Retraktionsfäden sollten den gleichen Untersuchungen unterzogen werden wie das Sugi- Material. Um die Ergebnisse der beiden Materialien bewerten, vergleichen und statistisch auszuwerten zu können, wurde der Durchmesser der Ultrapak- Retraktionsfäden benötigt. Dazu wurden die Ultrapak- Retraktionsstreifen unter dem Axiotech- Mikroskop (Fa. Zeiss, Jena, D) mit 50facher Vergrößerung vermessen. Mit Hilfe des Messgeräts MK Sensor Control Display SCD (Fa. Märzhäuser + Dr. Kassen, Wetzlar, D) wurde der Durchmesser aufgezeichnet. Die Ergebnisse der Messungen sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Ultrapak-Faden	Durchmesser in mm
#000	0,535
#00	0,848
#0	1,022
#1	1,170
#2	1,309
#3	1,529

Tabelle 3: Durchmesser der Ultrapak-Retraktionsfäden

4.2 Messmodelle

Zur Beurteilung der verschiedenen Sugi- Retraktionsstreifen wurden 2 Simulationsmodelle erstellt. Beide Modelle wurden von der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der Universität Jena in Zusammenarbeit mit der Fa. Kettenbach entwickelt.

Zum einen fand an einem Simulationsmodell die Druckmessung statt und zum anderen wurde zur Ermittlung der Handhabbarkeit der Streifen ein Applikationsmodell hergestellt. Die Messungen fanden in den Monaten Juli bis August 2015 und Januar bis April 2016 statt.

Der Aufbau und die Funktionsweise beider Modelle sollen im Folgenden erläutert werden.

4.2.1 Simulationsmodell zur Druckmessung

4.2.1.1 Konstruktion und Funktionsweise

Das Simulationsmodell wurde zur Messung der bei der Retraktion entstehenden Drücke konstruiert.

Das Modell ist gefasst durch einen Kaltpolymerisatrahmen (Futura Gen, Fa. Schütz- Dental, Rosbach, D), welcher eine innenliegende Kammer mit den Maßen 27,5 x 17,0 x 17,0 mm bildet. Eine der Wände erhielt eine 4,5 x 8,0 x 2,0 mm große Fräsung, welche die Begrenzung der späteren Messtasche darstellt. Mit Ausnahme der gefrästen 4,5 x 8,0 mm Begrenzung der Messtasche wurden die Wände der Innenkammer mit Mucoprenadhäsiv (Fa. Kettenbach, Eschenburg, D) beschichtet und die Kammer mit Profisil 15 Silikon (Fa. Kettenbach, Eschenburg, D) befüllt, welches eine Shore A- Härte von 15 besitzt (Produktinformation Kettenbach 2016). Durch die adhäsivfreie 4,5 x 8,0 mm Fläche im Messbereich entstand eine definierte spaltfreie Messtasche. Zum besseren Verständnis des Aufbaus dienen die Abbildungen 4 und 5.

Die zu untersuchenden Drücke wurden mit einem 105S Miniatur Druck Messstreifen der Firma Precision Measurement Company (Ann Arbor, USA) erfasst und mittels P3 Spannungsmessgerät (Fa. Vishay Measurements Group GmbH, Heilbronn, D) gemessen. Die Werte wurden in der Einheit PSI gemessen

und später zur besseren Vergleichbarkeit in die wissenschaftlich übliche Druckeinheit kPa überführt.

Der Messsensor wurde dazu bereits beim Gießen der Silikonkammer in das Messmodell integriert und über ein Drahtgestell senkrecht, mittig und parallel zur Messtasche ausgerichtet. Die Taschentiefe ist mit dem Auge gut nachvollziehbar und beträgt 4,5 mm. Der Abstand des Messensors zur Messtasche beträgt 1 mm, um die erzeugten Drücke möglichst verlustfrei messen zu können. Die Mitte des Messensors liegt auf 2,5 mm der Taschentiefe. Der durchsichtige Polymerrahmen garantiert eine stete visuelle Kontrolle der Streifenposition.

Weiterhin ist eine Sulkusfluidsimulation realisiert worden, indem in den Rahmen eine pro rinse™ Spülkanüle (Fa. Dentsply Maillefer, Ballaigues, CH) mit 0,51 mm Außendurchmesser einpolymerisiert wurde. Die Spitze der Spülkanüle endet unter Kontakt zum Rahmen mittig an der tiefsten Stelle der Messtasche. Durch diese wird der Austritt von Sulkusflüssigkeit simuliert. Um eine gleichmäßigen Fließrate von 20 ml/h zu gewährleisten, wurde der Perfusor® compact (Fa. Braun, Melsungen, D) eingesetzt. Dieser drückte das eingesetzte Wasser mit gleichmäßigem Druck und gleichbleibender Fließrate durch das Modell.

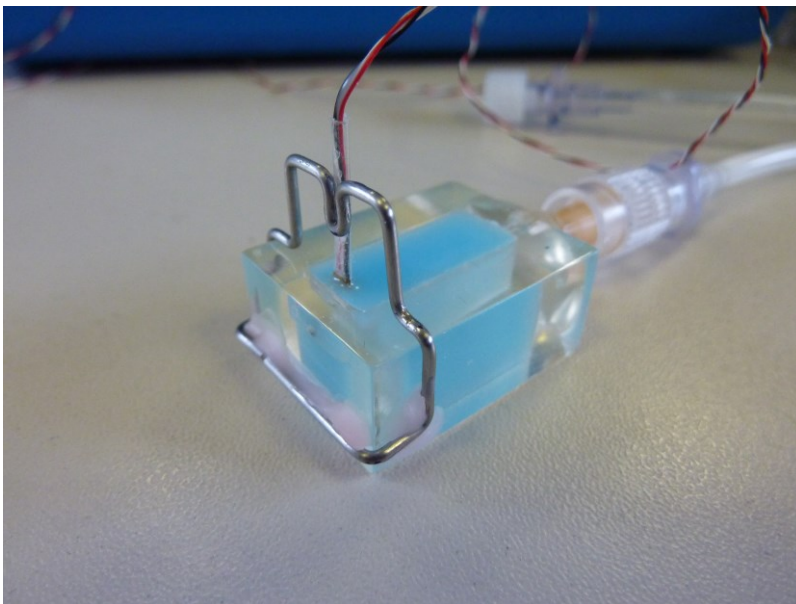


Abbildung 4: vollständiges Simulationsmodell zur Druckmessung

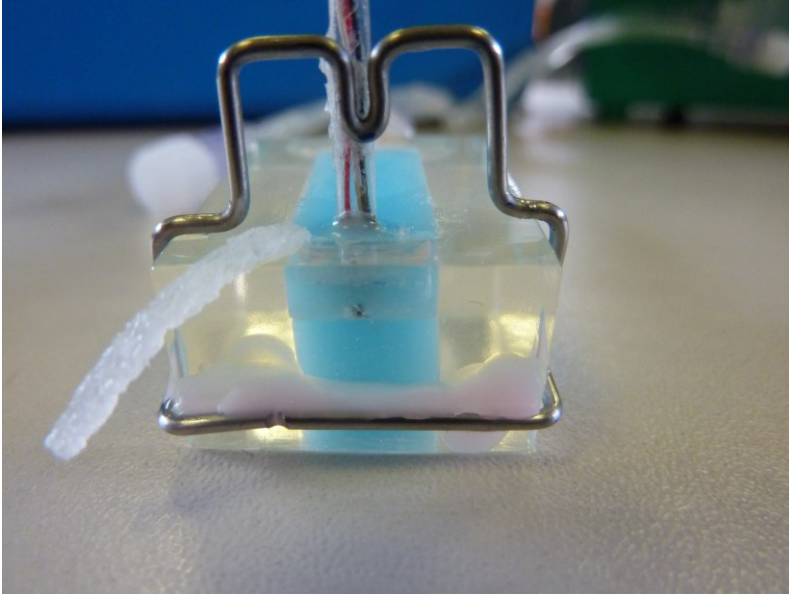


Abbildung 5: Simulationsmodell zur Druckmessung mit appliziertem Sugi- Retraktionsstreifen

4.2.1.2 Vorgehen

Die Retraktionsstreifen wurden in 1,5 cm große Streifen geschnitten und nacheinander für 10 Sekunden in die Messtasche eingebracht. Die Messungen erfolgten bei Raumtemperatur, mit Wasser und mit $n=10$ Wiederholungen pro zu testendem Streifen. Aus den gemessenen Werten wurde jeweils der Mittelwert errechnet.

Nach erneuter Kalibrierung des Spannungsmessgerätes wurde der Streifen mit Hilfe eines Füllspatels vorsichtig in die Messtasche appliziert. Dabei wurde visuell die richtige Position des Retraktionsstreifens überprüft und nach 10 Sekunden der Druck vom Spannungsmessgerät abgelesen. Die Entfernung des Streifens erfolgte mittels Pinzette. Während des gesamten Versuchs wurde mit Hilfe des Perfusor[®] compacts Wasser durch die Messtasche gepresst. Nach jeder Messung fand eine erneute Kalibrierung des Messgerätes statt.

4.2.2 Applikationsmodell

4.2.2.1 Konstruktion und Funktionsweise

Das Applikationsmodell wurde erstellt, um folgende Parameter mit dichotomen Werten zu messen:

- | | | |
|---------------------------------------|----------|---|
| 1. Applizierbarkeit | ja - | der Streifen war in die Sulkus einzubringen |
| | nein - | der Streifen war nicht in den Sulkus einzubringen |
| 2. ausgeübter Druck beim Applizieren | hoch- | es musste viel Druck beim Applizieren aufgebracht werden |
| | niedrig- | der Streifen war mit wenig Druck applizierbar |
| 3. Riss des Streifens beim Einbringen | ja- | der Streifen riss beim Einbringen in die Tasche |
| | nein- | der Streifen ließ sich ohne Reißen in die Tasche einbringen |
| 4. Riss des Streifens beim Entfernen | ja- | der Streifen riss beim Entfernen aus der Tasche |
| | nein- | der Streifen ließ sich ohne Reißen aus der Tasche entfernen |

Die Grundlage für dieses Modell stellte auch hier ein mit Mucoprenadhäsiv beschichteter und mit Profisil befüllter Kaltpolymerisatrahmen dar. Die mit Silikon befüllte innenliegende Kammer hat die Maße 27,5 x 17,5 x 18,0 mm. Zur möglichst genauen anatomischen Simulation wurden mittig in das Profisil 15 Silikon zwei Kunststoffphantomzähne (Fa. Frasaco GmbH, Tettngang, D) eingebettet. Beide Phantomzähne wurden zuvor zur Aufnahme einer prothetischen Krone präpariert. Der Rand des Profisil 15 Silikon endet so, dass bei den präparierten Phantomzähnen eine äquigingivale Präparationsgrenze entsteht. Die Wurzelanteile der Phantomzähne wurden bis auf einen schmalen Saum unterhalb der Präparationsgrenze von 2,0 mm bzw. 3,5 mm mit Mucoprenadhäsiv beschichtet, sodass nach der Einbettung in Silikon entlang der

adhäsivfreien Bereiche ein Saum von 2,0 mm bzw. 3,5 mm entstand, welcher die Simulationssulki für die Applikationstests darstellten. Zur Erklärung der Simulationssulki dienen die Abbildungen 6 und 7.

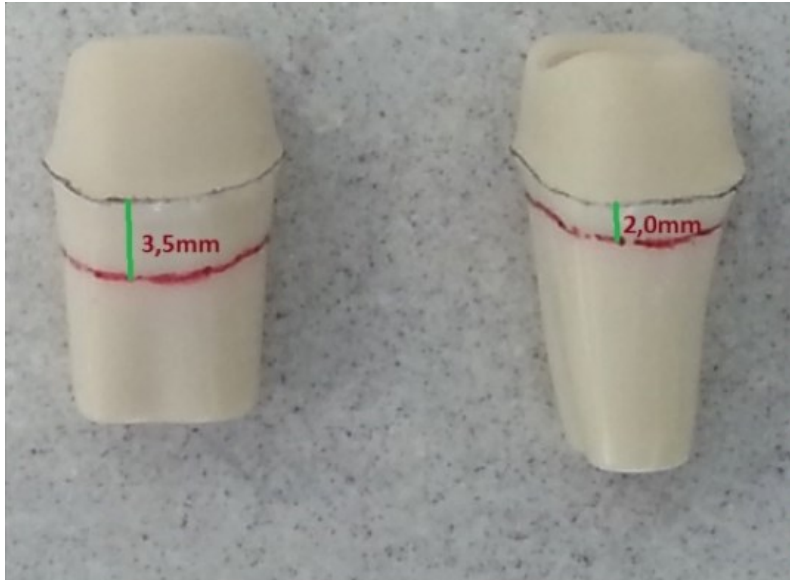


Abbildung 6: Präparierte Frasco Phantomzähne mit dargestellten Sulkustiefen vor Einbau in das Applikationsmodell



Abbildung 7: Applikationsmodell mit 3,5 mm Sulkus (rot) und 2,0 mm Sulkus (grün)

Um auch hier eine Simulation des Sulkusfluids zu gewährleisten, wurde je Zahn eine pro rinse™ Spülkanüle mit 0,51 mm Außendurchmesser in den Polymerrahmen eingebracht, welche einen Flüssigkeitsaustritt aus dem Sulkus ermöglichen. Die Kanülen laufen entlang der Zahnwurzel und enden am Boden der Taschen. Die Befestigung erfolgte mittels Orthocryl (Fa. Dentauro, Ispringen, D) sowohl an den Zahnwurzeln als auch am Rahmen. Auch hier wurde eine gleichmäßige Fließrate von 20 ml/h durch den Perfusor® compact gewährleistet.

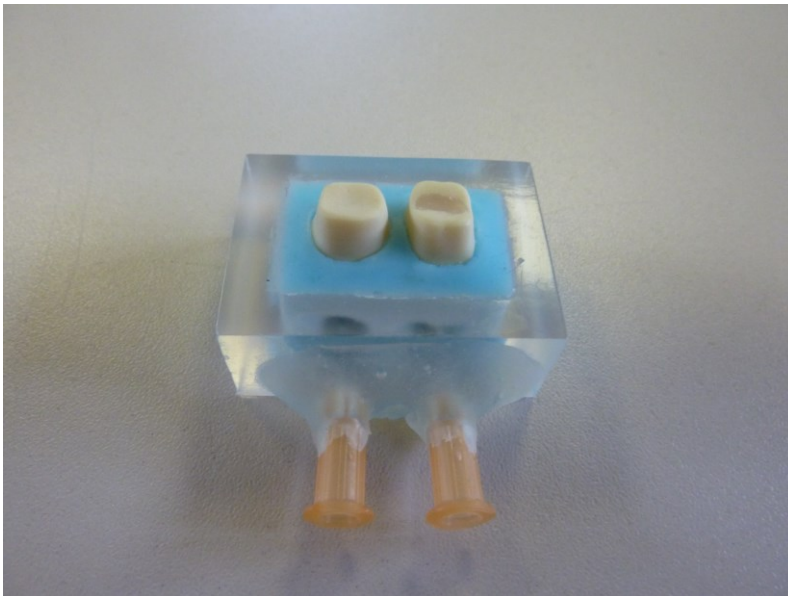


Abbildung 8: vollständiges Applikationsmodell

4.2.2.2 Vorgehen

Mit einem Fadenapplikator wurden die zu testenden Retraktionsmittel in den Sulkus eingebracht. Während des gesamten Messvorgangs erfolgte eine Simulation des Sulkusflusses mittels Wassers durch den Perfusor® compact. Dabei wurden die zu messenden Parameter beobachtet und notiert. Die Entfernung der Streifen erfolgte durch eine Pinzette. Eine Übersicht des Versuchsaufbaus geben die Abbildungen 8 und 9.

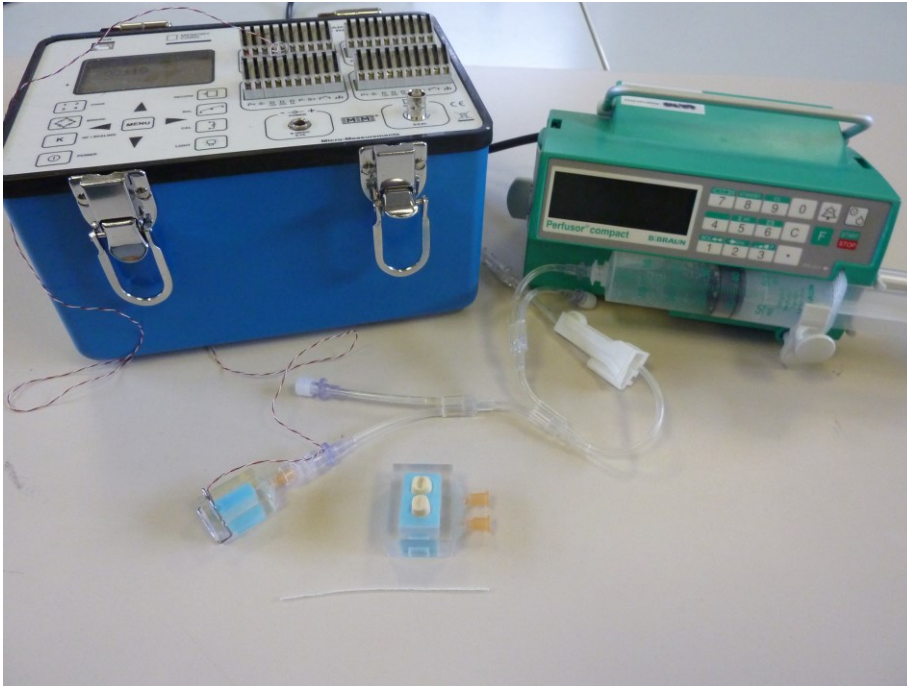


Abbildung 9: Versuchsaufbau mit Messgerät, Perfusor[®] compact, Simulationsmodell zur Druckmessung und Applikationsmodell

4.3 Methoden der statistischen Auswertung

Für die Zusammenfassung und Bearbeitung der gesammelten Daten wurde Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) für Mac 2011 Version 14.3.6 verwendet. Die statistische Auswertung erfolgte durch das Statistik-Programm IBM SPSS Statistics Version 23.0 für Mac (IBM SPSS Statistics Inc., Chicago, USA).

Die 10 Wiederholungsmessungen pro Streifen wurden zusammengefasst und der Mittelwert errechnet. Um die Genauigkeit und Abgrenzbarkeit der Messungen zu gewährleisten, wurde die Empfindlichkeit des Spannungsmessgeräts im Vorhinein auf das Vierfache eingestellt. Dieser Wert wurde in PSI gemessen und nach Beendigung der Messungen auf den Ausgangswert zurück gerechnet. Anschließend fand die Umrechnung in kPa statt.

Bei allen Tests wurde das statistische Signifikanzniveau mit $p \leq 0,05$ festgelegt. Beginnend sollten die erhobenen Daten einer statistischen Reliabilitätsanalyse unterzogen werden. Dazu sollte der Korrelationskoeffizient für die einzelnen Maße

hinzugezogen und so geprüft werden, ob die Daten reproduzierbar und das Simulationsmodell und Applikationsmodell zuverlässig sind.

Unter Reliabilität versteht man die Verlässlichkeit, durch die man feststellt, wie brauchbar ein Messinstrument ist. Das Messinstrument soll bei wiederholten Messungen gleiche Ergebnisse bringen. Die Reliabilitätsanalyse untersucht also das Ausmaß der Streuungen bei wiederholten Messungen (Atteslander 2010).

Folgend wurden die Ergebnisse der Sugi- Retraktionsstreifen untersucht. Zum einen wurden die Beeinflussbarkeit der Druckentwicklung und zum anderen die Einflüsse auf die Handhabbarkeit ausgewertet. Um die bestimmenden Größen der Druckentwicklung festzustellen, wurde ein lineares Regressionsmodell gerechnet. Das Ziel der linearen Regressionsanalysen ist die Erklärung einer Variablen durch mehrere andere Variablen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Druck als zu erklärende Variable gewählt, welcher in Abhängigkeit von der Dichte, dem Durchmesser und der Laufrichtung der zu testenden Retraktionsstreifen untersucht wurde. So ist herauszustellen, von welchen Größen der entstandene Druck abhängt. Aus den erhaltenen Ergebnissen wurde weiterhin für alle Variablen der p- Wert berechnet.

Ergänzend wurde die klinische Handhabbarkeit der getesteten Sugi- Streifen geprüft. Um die Tests auf die Handhabbarkeit der Streifen auszuwerten und die abhängigen Einflüsse herauszustellen, wurde eine binär logistische Regression angewendet. Eine binär logistische Regression wird genutzt, wenn die Abhängigkeit einer dichotomen Variablen von anderen Parametern erklärt werden soll. So wurde untersucht, welchen Effekt die Parameter Dichte, Stanzbreite und Laufrichtung auf die geprüften Faktoren Applizierbarkeit, nötiger Druck beim Einbringen und ein mögliches Reißen während des Fadenlegens und während des Entfernens haben. Zudem sollten die Signifikanzwerte der untersuchten Parameter hinzugezogen werden.

Weiterhin sollten die Ultrapak- Retraktionsstreifen mit den Sugi- Streifen verglichen werden. Dabei wurde wiederum auf die Druckentwicklung und die Handhabbarkeit eingegangen. Zuerst wurde die Druckentwicklung näher beleuchtet, wozu ein t- Test für unabhängige Stichproben und eine lineare Regression angewendet wurde. Der t- Test für unabhängige Stichproben wird angewendet, um herauszustellen, ob sich zwei Stichproben signifikant unterscheiden. Das Ziel der linearen Regressionsanalyse war wiederum, die

Effekte der beeinflussenden Parameter (Stanzbreite, Dichte und Laufrichtung) auf den Druck als zu erklärende Variable herauszustellen. Die Signifikanzwerte sollten ebenfalls hinzugezogen werden.

Bezüglich der Handhabbarkeit wurden beide Materialien mit Hilfe des Chi-Quadrat- Tests verglichen und die p- Werte hinzugezogen. Dabei sollten alle 4 Kriterien (Applizierbarkeit, nötiger Druck beim Applizieren, Riss beim Applizieren oder Entfernen) untersucht werden. Der Chi- Quadrat- Test untersucht die Unabhängigkeit zweier Variablen (ja/nein oder hoch/niedrig) einer Kreuztabelle und somit den Zusammenhang der beiden Variablen. Es wird geprüft, ob ein bestehender Zusammenhang zufällig oder statistisch gesichert ist.

Zum Schluss sollte der Einfluss der Tränkungen auf die Druckentwicklung und die Handhabbarkeit betrachtet werden. Dazu wurde zur Untersuchung des entstandenen Drucks eine lineare Regression angewendet. Ziel dieser Berechnung war das Herausstellen des Einflusses einer vorhandenen/ nicht vorhandenen Tränkung auf die Druckentwicklung als zu erklärende Variable. Zudem wurde der p- Wert berechnet. Zur Betrachtung der Handhabbarkeit wurde eine multivariable binäre logistische Regression für alle vier zu untersuchenden Parameter (Applizierbarkeit, nötiger Druck beim Applizieren, Reißen beim Applizieren oder Entfernen) angewendet. Es wurde die Abhängigkeit der dichotomen Variable (ja/ nein und hoch/ niedrig) von einer vorhandenen Tränkung berechnet.

5 Ergebnisse

5.1 Reliabilitätsanalyse

Die Reliabilitätsanalyse wurde für die einzelnen Maße durchgeführt, sodass die Auswertung intraindividuell zwischen den einzelnen Retraktionsstreifen und zwischen den zehn Messungen stattfand. Die Reliabilitätsanalyse ergab einen Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Maße von 0,718. Dieser Wert liegt an der oberen Grenze der Auswertung „fair to good“ (0,40 - 0,75), was einem zufriedenstellendem Ergebnis entspricht. Das Simulationsmodell zur Druckmessung lieferte folglich bedingt zuverlässige Werte, wodurch 71,8% der Ergebnisse erklärt und 28,2% der Ergebnisse als Messfehler zu verzeichnen waren.

5.2 Druckentwicklung

5.2.1 Einflussfaktoren auf die Druckentwicklung

Eine lineare Regressionsanalyse wurde herangezogen, um die Einflussfaktoren auf den gemessenen Druck der Sugi- Streifen zu klassifizieren. Alle drei gemessenen Parameter waren signifikant und beeinflussten das Ergebnis somit maßgeblich. Die Ergebnisse sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Einflussfaktoren	β	p- Wert
Dichte	0,305	< 0.001
Stanzbreite	53,956	< 0.001
Laufrichtung (längs)	-11,310	0,024

Tabelle 4: Einflussfaktoren auf die Druckentwicklung

Die Analyse ergab, dass der Regressionskoeffizient β bei der Variablen Stanzbreite bei $\beta = 53,956$ lag. Das bedeutet, dass bei einem Anstieg der Stanzbreite um 1 mm sich der Druck im Sulkus um 53,956 kPa erhöhte. Der Regressionskoeffizient β lag bei der Variablen Dichte bei $\beta = 0,305$, was bedeutet, dass bei einem Anstieg der Dichte um 1 g/m² der Druck um 0,305 kPa stieg. Die

Wirkung der Laufrichtung auf den entstehenden Druck ist so zu interpretieren, dass die Laufrichtung „längs“ einen geringeren Druckanstieg als die Laufrichtung „quer“ bewirkte. Bei der Laufrichtung „längs“ statt „quer“ war der Druck um 11,310 kPa geringer. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Stanzbreite den größten Einfluss auf die Druckentstehung im Simulationsmodell hatte, gefolgt von der Laufrichtung und der Dichte. Alle Faktoren hatten einen signifikanten Einfluss.

5.2.2 Ergebnisse der Druckentwicklung

Ausgehend von den Ergebnissen der linearen Regressionsanalyse war zu schlussfolgern, dass der größte Druck durch Streifengeometrien mit großer Dichte und Stanzbreite erzeugt wurde. Mit zunehmender Größe der Streifen (pro mm bzw. g/m^2) nahm der Druck zu. Zudem generierten Streifen mit einer queren Laufrichtung einen größeren Druck. So wurde der größte gemessene mittlere Druck (226,493 kPa) von einem Streifen mit einer Dichte von 600 g/m^2 , einer queren Laufrichtung und einer Stanzbreite von 1 mm erzeugt. Der geringste mittlere Druck (28,441 kPa) wurde bei einem Streifen mit einer Dichte von 100 g/m^2 , der Laufrichtung längs und einer Stanzbreite von 0,7 mm gemessen. Eine zusammenfassende Übersicht der gemessenen mittleren Drücke, der minimalen und maximalen Werte und der Standardabweichung geben die Tabellen 15 und 16 im Anhang. Zudem bilden die folgenden Abbildungen 10- 12 und 13- 15 eine grafische Übersicht der gemessenen Drücke in Abhängigkeit von Dichte, Stanzbreite und Laufrichtung.

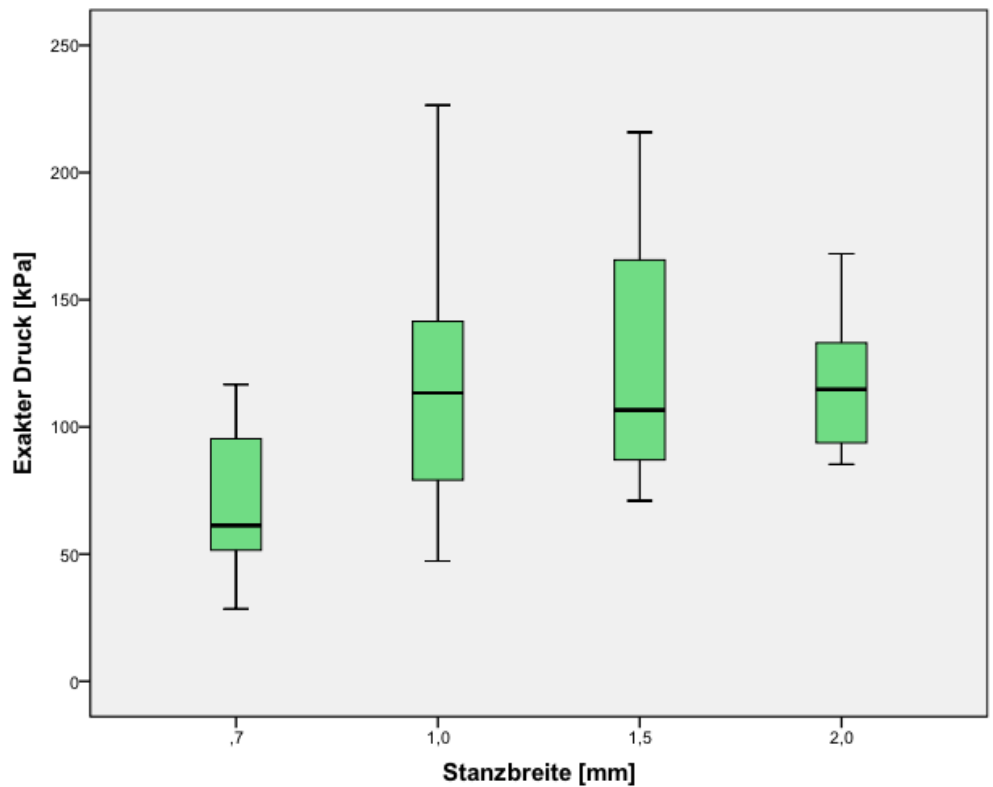


Abbildung 10: Ergebnisse der Druckentwicklung bezogen auf die Stanzbreite

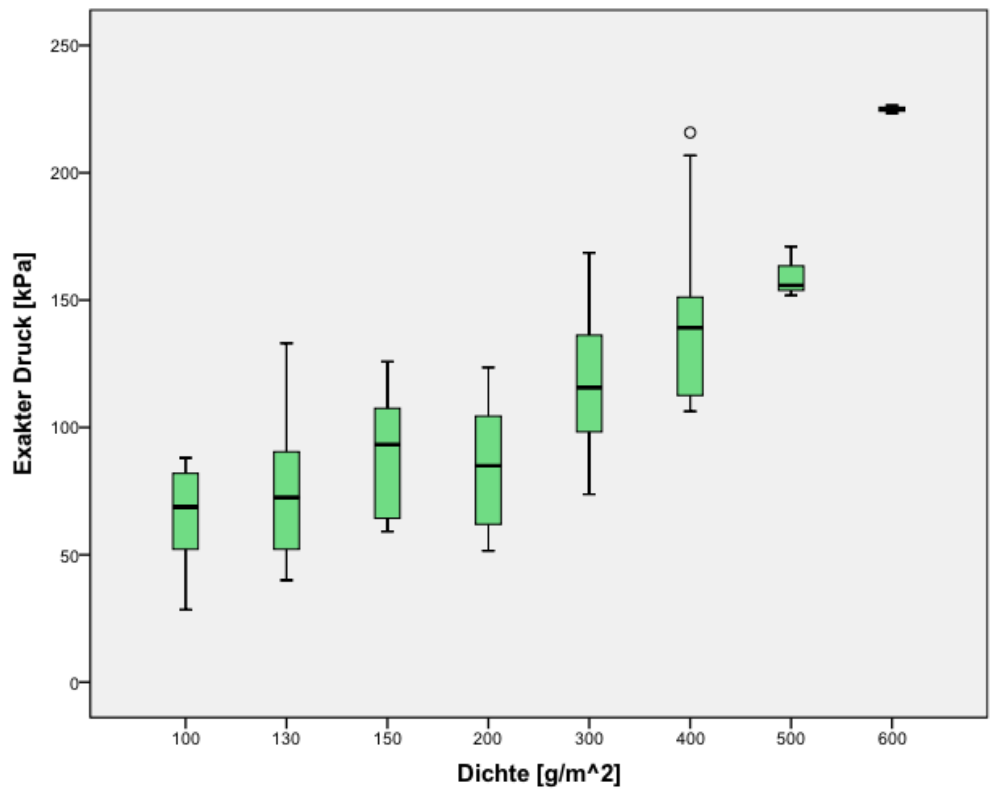


Abbildung 11: Ergebnisse der Druckentwicklung bezogen auf die Dichte

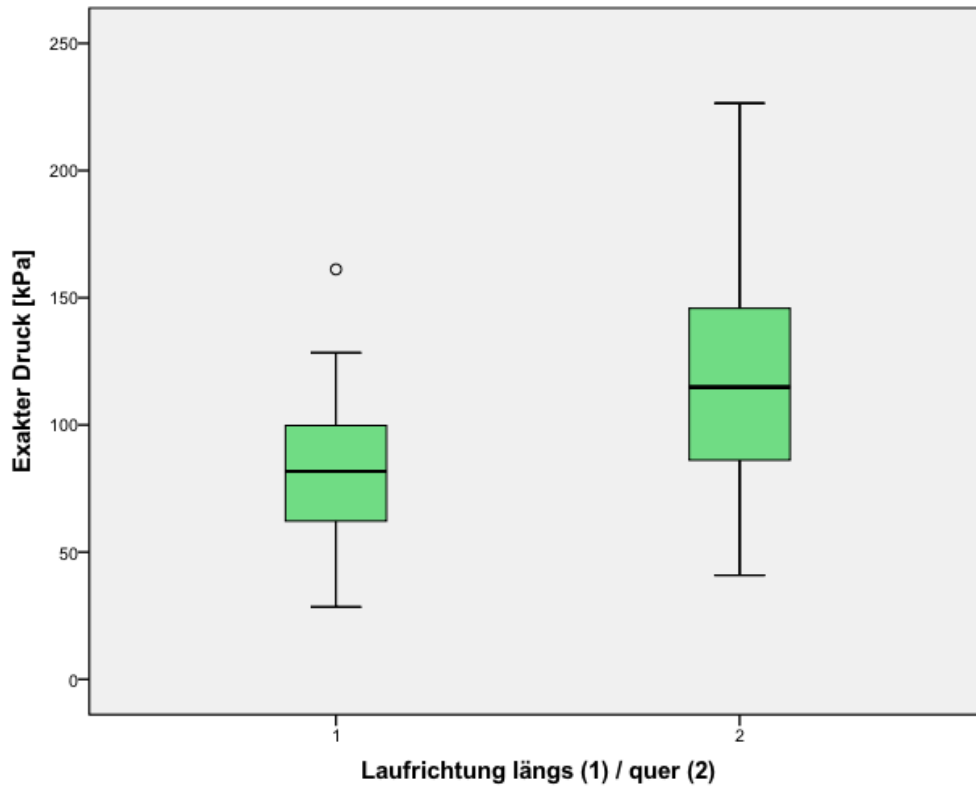


Abbildung 12: Ergebnisse der Druckentwicklung bezogen auf die Laufrichtung

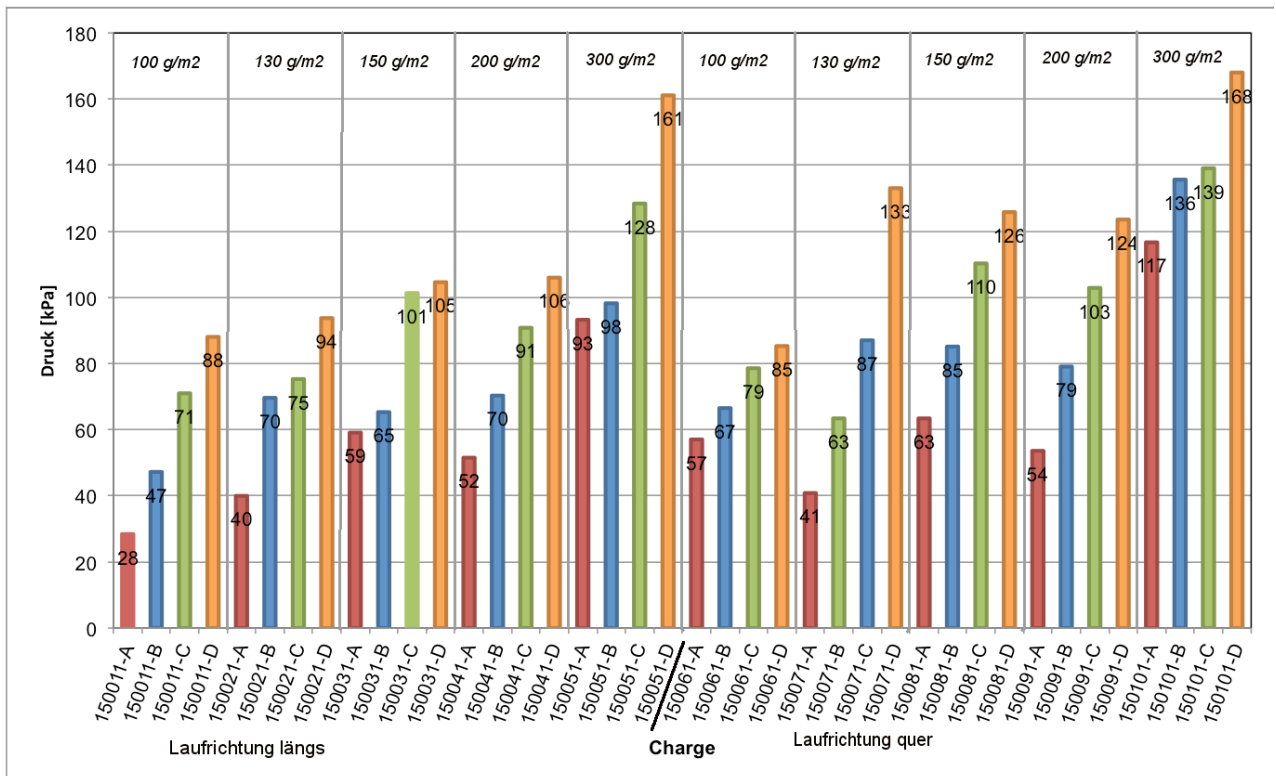


Abbildung 13: grafische Darstellung der Ergebnisse der Druckentwicklung der ungetränkten Streifen

Legende: Stanzbreiten [mm]: rot (0,7) blau (1) grün (1,5) orange (2)

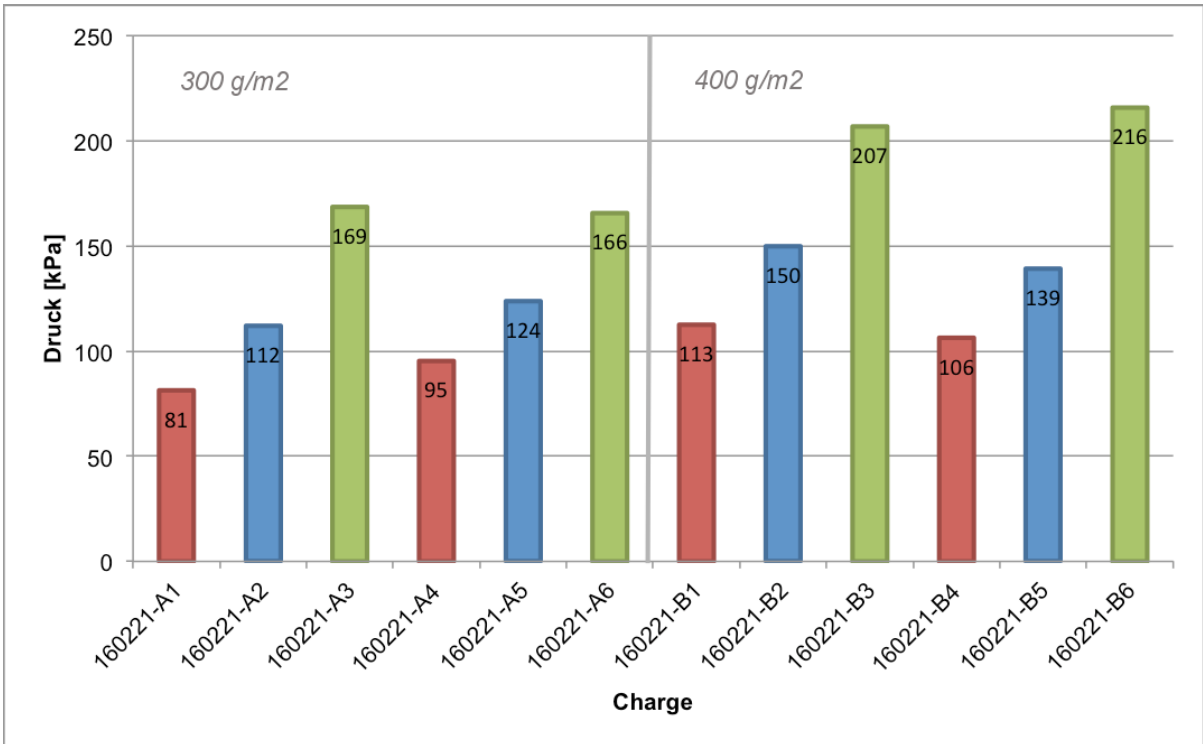


Abbildung 14: grafische Darstellung der Ergebnisse der Druckentwicklung der getränkten Streifen Teil 1

Legende: Stanzbreiten [mm]: rot (0,7) blau (1) grün (1,5), Laufrichtung quer

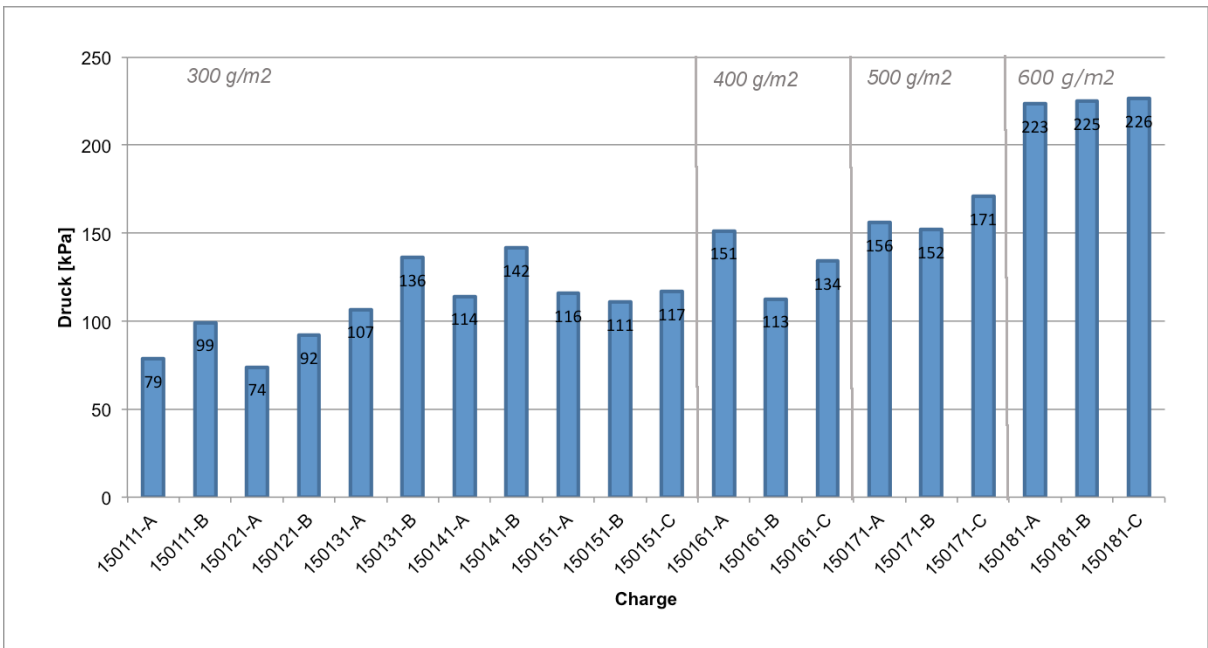


Abbildung 15: grafische Darstellung der Ergebnisse der Druckentwicklung der getränkten Streifen Teil 2

Legende: Stanzbreiten [mm]: blau (1), Laufrichtung quer

5.3 Beeinflussbarkeit der Handhabbarkeit

Bei der Analyse der Handhabbarkeit der Sugi- Retraktionsstreifen wurde der Einfluss der Parameter Dichte, Stanzbreite und Laufrichtung auf folgende zu untersuchende Faktoren ausgewertet:

- | | |
|---------------------------------------|--------------|
| 1. Applizierbarkeit | ja/nein |
| 2. ausgeübter Druck beim Applizieren | hoch/niedrig |
| 3. Riss des Streifens beim Einbringen | ja/nein |
| 4. Riss des Streifens beim Entfernen | ja/nein |

Zur Klärung dieser Fragestellung wurde eine binär logistische Regression angewendet.

Es stellte sich heraus, dass alle getesteten Retraktionsfäden applizierbar waren und kein Streifen während des Einbringens riss. Aus diesem Grund wurden diese beiden Faktoren aus der Analyse ausgeschlossen. Das Material bedarf bezüglich dieser Kriterien keiner Verbesserung.

Der Faktor Stanzbreite hatte erheblichen Einfluss auf die untersuchten Größen. Um diesen Wert besser zu differenzieren und beurteilen zu können, wurden die Werte in 1/10 mm umgerechnet.

Eine Übersicht der Ergebnisse der Tests auf die Handhabbarkeit geben Tabelle 5 (ungetränkte Sugi- Retraktionsstreifen) und Tabelle 6 (getränkte Sugi- Retraktionsstreifen).

Charge	Applizierbarkeit	hoher (1)/ geringer (2) Druck	Riss beim Einbringen	Riss beim Entfernen
150011-A	j	2	n	j
150011-B	j	2	n	j
150011-C	j	2	n	j
150011-D	j	2	n	n
150021-A	j	2	n	j
150021-B	j	2	n	n
150021-C	j	2	n	n
150021-D	j	2	n	n
150031-A	j	2	n	j
150031-B	j	2	n	n
150031-C	j	2	n	n
150031-D	j	2	n	n
150041-A	j	2	n	j
150041-B	j	2	n	n
150041-C	j	2	n	n
150041-D	j	2	n	n
150051-A	j	2	n	j
150051-B	j	2	n	n
150051-C	j	2	n	n
150051-D	j	2	n	n
150061-A	j	2	n	j
150061-B	j	2	n	n
150061-C	j	2	n	n
150061-D	j	2	n	n
150071-A	j	2	n	j
150071-B	j	2	n	n
150071-C	j	2	n	n
150071-D	j	2	n	n
150081-A	j	2	n	j
150081-B	j	2	n	n
150081-C	j	2	n	n
150081-D	j	1	n	n
150091-A	j	2	n	j
150091-B	j	2	n	n
150091-C	j	1	n	n
150091-D	j	1	n	n
150101-A	j	2	n	j
150101-B	j	2	n	n
150101-C	j	1	n	n
150101-D	j	1	n	n

Tabelle 5: Übersicht der Ergebnisse der Handhabbarkeit der ungetränkten Sugi- Streifen (j = ja, n = nein)

Charge	Applizierbarkeit	hoher (1)/ geringer (2) Druck	Riss beim Einbringen	Riss beim Entfernen
150111-A	j	2	n	n
150111-B	j	2	n	n
150121-A	j	2	n	j
150121-B	j	2	n	n
150131-A	j	2	n	n
150131-B	j	1	n	n
150141-A	j	2	n	n
150141-B	j	2	n	n
150151-A	j	1	n	n
150161-A	j	1	n	n
150171-A	j	1	n	n
150181-A	j	1	n	n
150151-B	j	2	n	n
150151-C	j	2	n	n
150161-B	j	1	n	n
150161-C	j	1	n	n
150171-B	j	1	n	n
150171-C	j	1	n	n
150181-B	j	1	n	n
150181-C	j	1	n	n
160221-A1	j	2	n	j
160221-A2	j	2	n	n
160221-A3	j	1	n	n
160221-A4	j	2	n	j
160221-A5	j	2	n	n
160221-A6	j	1	n	n
160221-B1	j	2	n	n
160221-B2	j	2	n	n
160221-B3	j	1	n	n
160221-B4	j	2	n	n
160221-B5	j	2	n	n
160221-B6	j	1	n	n

Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse der Handhabbarkeit der getränkten Sugi- Streifen (j = ja, n = nein)

5.3.1 Ausgeübter Druck beim Applizieren

Der aufzubringende Druck beim Einbringen der Fäden in den Sulkus wurde mit „hoch“ oder „niedrig“ beschrieben.

Der Parameter Laufrichtung wurde bei dieser Analyse ausgeschlossen, da Streifen mit der Laufrichtung „längs“ in keinem Fall einen hohen Druck beim Applizieren in den Sulkus benötigten. In die Analyse einbezogen wurden die Faktoren Dichte und Stanzbreite. Die Ergebnisse sind der Tabelle 7 zu entnehmen. Beide Faktoren waren signifikant.

Einflussfaktoren	Odds Ratio	p- Wert
Dichte	1,023	< 0.001
Stanzbreite	1,533	0,001

Tabelle 7: Odds Ratio und p- Wert von Dichte und Stanzbreite für den nötigen Druck beim Applizieren

Für die Dichte wurde eine Odds Ratio von 1,023 berechnet, was bedeutet, dass ein Anheben der Dichte um 1g/cm^2 das Risiko, mehr Druck aufwenden zu müssen, um 2,3% erhöhte.

Der Faktor Stanzbreite hat eine Odds Ratio von 1,533. Folglich stieg das Risiko, einen erhöhten Druck ausüben zu müssen, pro 1/10 mm Stanzbreite um 53,3%. Beide Parameter hatten aufgrund ihrer Signifikanz einen bedeutenden Einfluss auf den nötigen Druck beim Applizieren der Retraktionsmaterialien.

5.3.2 Riss des Streifen beim Entfernen

Ein mögliches Reißen des Fadens beim Entfernen aus dem Sulkusmodell wurde mit „ja“ oder „nein“ beschrieben. Die Ergebnisse sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Einflussfaktoren	Odds Ratio	p- Wert
Dichte	0,988	0,025
Stanzbreite	0,369	0.001
Laufrichtung (längs)	2,922	0,322

Tabelle 8: Odds Ratio und p- Wert von Dichte, Stanzbreite und Laufrichtung für einen Riss während des Entfernens

Nicht alle der untersuchten Größen waren signifikant. Der Parameter Laufrichtung wies keine Signifikanz auf. Trotz dessen hatten alle Faktoren einen gewissen Einfluss auf ein mögliches Reißen des Streifens.

Für die Stanzbreite wurde eine Odds Ratio von 0,369 ermittelt, was bedeutet, dass bei einem Anstieg der Stanzbreite pro 1/10mm, das Risiko, dass der Faden beim Entfernen aus dem Sulkus riss, um 63,1% sank.

Die Dichte wies eine Odds Ratio von 0,988 auf. Demzufolge sank das Risiko eines Fadenrisses um etwas mehr als 1%, wenn die Dichte um 1g/m^2 stieg.

Die Laufrichtung hatte im Vergleich längs versus quer eine Odds Ratio von 2,922. Also zeigte sich bei der Verwendung von Fäden mit der Laufrichtung längs ein 2,922fach höheres Risiko, dass der Faden riss, als bei der Benutzung von Fäden mit einer queren Laufrichtung. Aufgrund der fehlenden Signifikanz wurde nicht hinreichend geklärt, ob das Ergebnis zufällig war oder nicht.

5.4 Vergleich der Materialien

Sugi- Retraktionsstreifen und Ultrapak- Retraktionsfäden wurden der Druckmessung im Simulationsmodell und dem Test auf Handhabbarkeit im Applikationsmodell unterzogen. Die Ergebnisse sollten nicht nur ausgewertet, sondern auch zwischen den beiden Materialien verglichen werden. Im Vorhinein dieser Arbeit wurden die Durchmesser der Ultrapak- Fäden ermittelt, um deren Wirkung im Bezug zu den Stanzbreiten der Sugi- Streifen auf die Ergebnisse direkt vergleichen zu können. Der Faktor Material (Sugi- Streifen oder Ultrapak- Fäden) hatte zusammen mit der Stanzbreite eine gemeinsame Wirkung auf das Ergebnis. Die Materialien wurden bezüglich der Stanzbreite gleichgestellt, um nur den Effekt des Materials auf die untersuchten Parameter darzustellen und so eine adjustierte Analyse durchzuführen.

Die Faktoren Dichte und Laufrichtungen wurden nicht mit in den Vergleich einbezogen, da diese Werte für die Ultrapak- Retraktionsfäden nicht zur Verfügung standen.

5.4.1 Vergleich der Druckentwicklung

Sugi- Retraktionsfäden hatten im Mittel eine Stanzbreite von 1,178 mm (SD: \pm 0,419 mm) und die Ultrapak- Fäden einen mittleren Durchmesser von 1,067 mm (SD: \pm 0,351 mm). Die mittleren Durchmesser unterschieden sich somit nur gering und waren auch nicht signifikant verschieden ($p = 0,539$). Die Ergebnisse sind noch einmal Tabelle 9 zu entnehmen.

	Sugi-Streifen	Ultrapak-Fäden	p-Wert
N	72	6	
Stanzbreite/ Durchmesser [mm] (MW ± SD)	1,178	1,069	0,539
	± 0,419	± 0,351	

Tabelle 9: Stichprobenzahl, p- Wert, Mittelwert und Standardabweichung des T- Tests

Um nun zu klären, welchen Einfluss die Art des Materials (Sugi- Streifen oder Ultrapak- Fäden) und die Stanzbreite auf die Druckentwicklung haben, wurde eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Die Analyse ergab, dass der Regressionskoeffizient β bei den Sugi- Retraktionsstreifen bei 0,592 lag. Das bedeutet, dass die Sugi- Streifen einen im Schnitt um 0,592 kPa höheren Druck ausübten als die Ultrapak- Retraktionsfäden. Dieser Wert war allerdings nicht signifikant ($p = 0,974$). So ist zu schlussfolgern, dass die Sugi- Retraktionsstreifen im Durchschnitt einen höheren Druck auf das Messmodell ausgeübt haben als die Ultrapak- Fäden, wobei dieses Ergebnis durch die fehlende Signifikanz auch als zufällig gelten kann. Zudem lag beim Kriterium „Stanzbreite“ der Regressionskoeffizient bei $\beta = 31,370$, was bedeutet, dass sich der Druck bei einem Anstieg der Stanzbreite um 1 mm um 31,370 kPa erhöhte. Dieses Ergebnis war mit $p = 0,11$ ebenfalls nicht signifikant. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 10 und die Ergebnisse der Druckmessung der Ultrapak- Fäden in Abbildung 16 zusammengefasst.

Einflussfaktoren	β	p- Wert
Material	0,592	0,974
Stanzbreite	31,370	0,110

Tabelle 10: Regressionskoeffizient und p- Wert für die Materialien und die Stanzbreite bezüglich der Druckentstehung

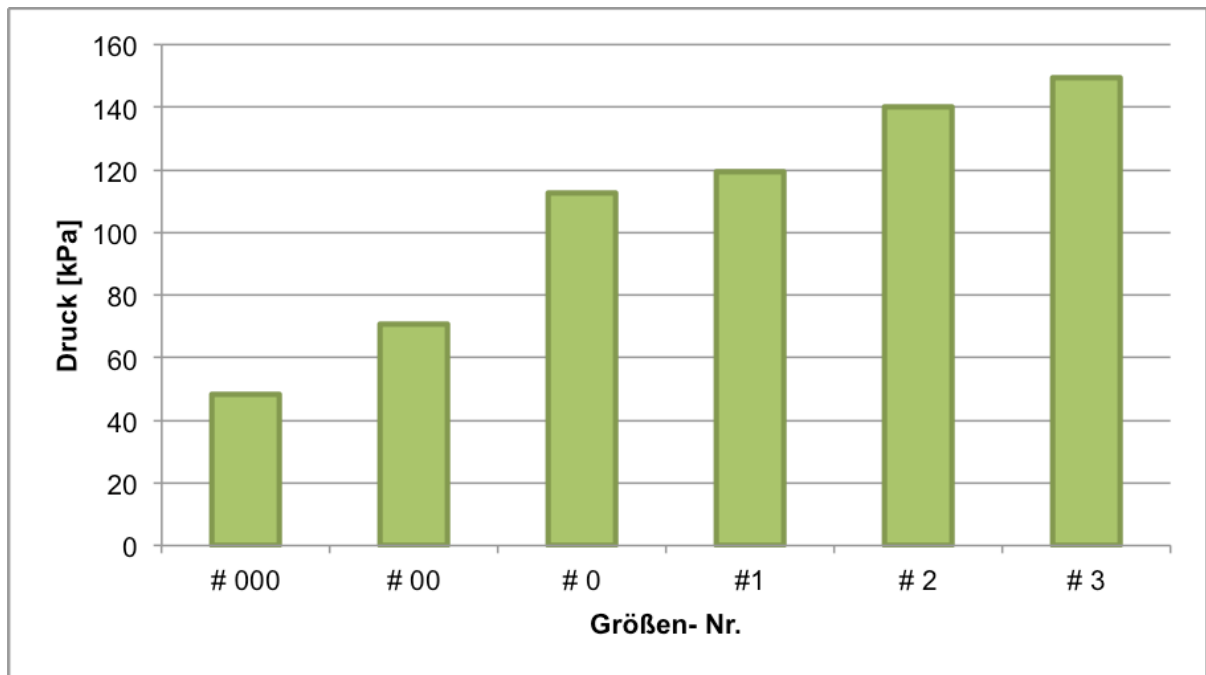


Abbildung 16: Ergebnisse der Druckmessung der Ultrapak- Fäden

Die Parameter Stanzbreite und Material hatten einen gemeinsamen Effekt auf die Druckentwicklung. Um nur den Effekt des Materials herauszustellen, wurde der Faktor Stanzbreite in die Analyse einbezogen. So wurden die Materialien bezüglich der Stanzbreite gleichgestellt und es war auszuschließen, dass eine Druckerhöhung nur dem Material zugeschrieben wurde, aber gleichzeitig auch von der Stanzbreite abhing. Der Effekt des Materials wurde also isoliert untersucht.

5.4.2 Vergleich der Handhabbarkeit

Es sollten die durchgeführten Untersuchungen zur Handhabbarkeit der beiden unterschiedlichen Materialien ausgewertet und verglichen werden. Wiederum wurden die Kriterien „Applizierbarkeit“ und „Riss beim Applizieren“ ausgeschlossen, da keine Unterschiede festzustellen waren. Die Kriterien „hoher/ niedriger Druck“ und „Riss beim Entfernen“ wurden untersucht. Dazu wurde ein Chi- Quadrat- Test mit Hilfe einer Kreuztabelle durchgeführt und der exakte Test nach Fisher befragt.

Die Ergebnisse der Tests auf Handhabbarkeit für die Ultrapak- Retraktionsfäden sind in Tabelle 11 zu finden.

Charge	Applizierbarkeit	hoher (1)/ geringer (2) Druck	Riss beim Einbringen	Riss beim Entfernen
# 000	j	2	n	n
# 00	j	2	n	n
# 0	j	2	n	n
#1	j	2	n	n
# 2	j	2	n	n
# 3	j	2	n	n

Tabelle 11: Ergebnisse der Untersuchung auf Handhabbarkeit der Ultrapak- Fäden (j = ja, n = nein)

5.4.2.1 Riss beim Entfernen

Bei dieser Analyse kam heraus, dass 20,8% der Sugi- Retraktionsstreifen beim Entfernen aus dem Sulkus rissen. Hingegen riss keiner (0%) der Ultrapak- Fäden beim Entfernen aus dem Modell. Dieses Ergebnis war nicht signifikant (nach dem exakten Test nach Fisher: $p = 0,590$). Die Ultrapak- Fäden hatten aber trotz geringerer Stanzbreite eine bessere Rissquote.

5.4.2.2 Ausgeübter Druck beim Applizieren

Bei der Analyse mit Hilfe einer Kreuztabelle ergab sich, dass für das Applizieren der Sugi- Retraktionsstreifen in 27,8% der Fälle ein hoher Druck angewendet werden musste. In 72,2% reichte ein niedriger Druckaufwand. Dagegen musste bei keinem der Ultrapak- Fäden ein hoher Druck angewendet werden. Alle Fäden (100%) ließen sich mit geringem Druck applizieren. Die Signifikanzwerte waren nach dem exakten Test nach Fisher: $p = 0,329$.

5.5 Einfluss der Tränkungen

Es wurden weiterhin die Auswirkungen der Tränkungen der Sugi- Streifen auf die Druckentwicklung im simulierten Sulkus und auf die Handhabbarkeit untersucht. Gegenstand dieser Analyse waren die getränkten und ungetränkten Sugi- Retraktionsstreifen. Die Stichprobe bestand aus 46 ungetränkten und 26 getränkten Streifen. Eine Übersicht der Tränkungen gibt Tabelle 2 im Kapitel 4.1.1. Der Faktor „Laufrichtung“ wurde nicht berücksichtigt, da alle getränkten

Streifen die gleiche Laufrichtung hatten und dementsprechend kein Einfluss auf das Ergebnis bestand.

5.5.1 Druck

Der Einfluss einer vorhandenen Tränkung auf die Druckentstehung sollte mit Hilfe einer linearen Regressionsanalyse untersucht werden. Der Regressionskoeffizient β lag beim Faktor Tränkung bei $\beta = 3,852$, was bedeutete, dass eine Tränkung der Streifen eine Druckerhöhung um 3,852 kPa nach sich zog. Getränkte Streifen hatten in dieser Stichprobe also einen höheren Druck ausgeübt als ungetränkte Streifen, doch war dieser Wert nicht signifikant ($p = 0,480$). Die Faktoren Dichte und Stanzbreite wurden in die Analyse mit eingeschlossen, um die Ergebnisse der Tränkung genauer darzustellen. Eine adjustierte Analyse wurde durchgeführt. Das Ergebnis der Tränkung wurde also bezüglich Dichte und Stanzbreite gleichgestellt und der Einfluss der Tränkung somit differenziert dargestellt. Die Werte sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Einflussfaktoren	β	p- Wert
getränkt vs. ungetränkt	3,852	0,480
Stanzbreite	53,523	< 0.001
Dichte	0,313	< 0.001

Tabelle 12: Einfluss und Signifikanz der Tränkung, Dichte und Stanzbreite auf die Druckentwicklung

Eine grafische Übersicht der Ergebnisse der Druckmessung bezüglich einer vorhandenen Tränkung gibt die Abbildung 17.

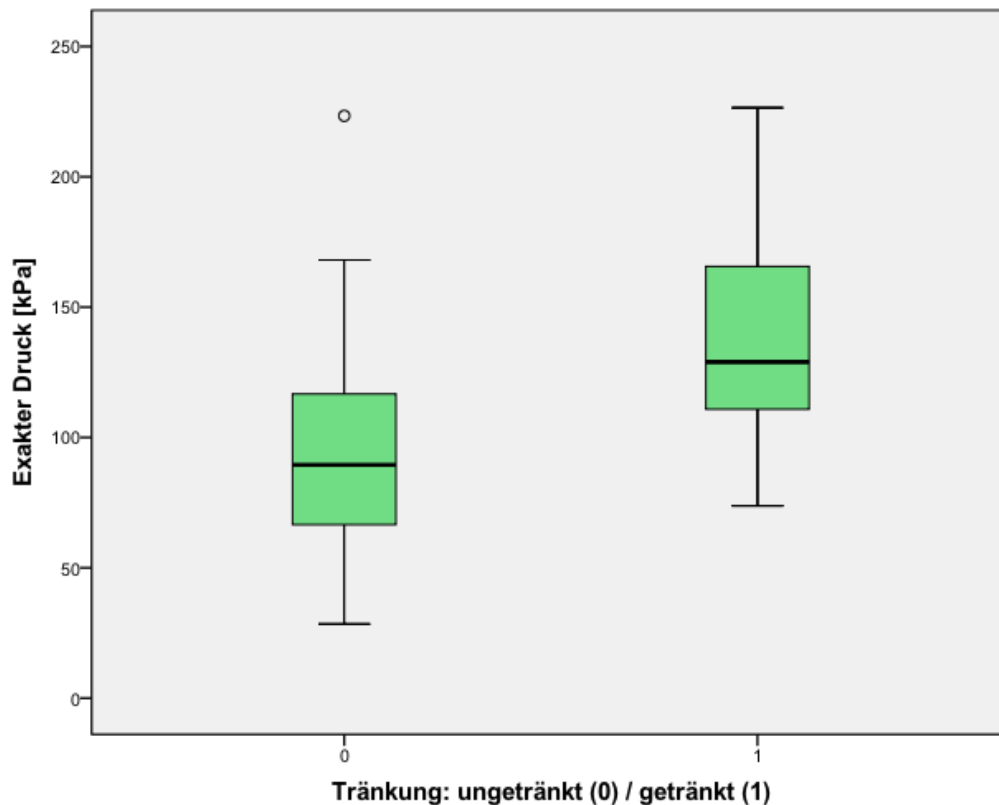


Abbildung 17: Ergebnisse der Druckentwicklung bezogen auf die Tränkung

5.5.2 Handhabbarkeit

Um den Einfluss einer Tränkung auf ein etwaiges Reißen beim Entfernen des Streifens und den nötigen Druck beim Applizieren zu untersuchen, wurde erneut eine multivariable binäre logistische Regression gewählt. Dazu wurden die Ergebnisse in „getränkt“ und „ungetränkt“ kategorisiert und die Werte der Stanzbreite erneut in 1/10 mm umgerechnet, um ein sinnvolles Ergebnis zu erhalten. Die untersuchten Faktoren Riss beim Applizieren und Applizierbarkeit wurden aus den genannten Gründen wiederum ausgeschlossen.

Die Faktoren Dichte und Stanzbreite hatten zusammen mit einer Tränkung einen Einfluss auf die Handhabbarkeit und wurden deshalb erneut in die Analyse einbezogen. Um den Einfluss einer vorhandenen Tränkung spezifisch herauszustellen, wurde das Ergebnis bezüglich Dichte und Stanzbreite gleichgestellt und so eine adjustierte Analyse durchgeführt.

5.5.2.1 Riss beim Entfernen

Das Rissrisiko sank bei einem nicht getränkten Streifen um 50,4% (Odds Ratio = 0,496). Dieses Ergebnis war mit einem p- Wert von $p = 0,619$ allerdings nicht signifikant. Somit rissen ungetränkte Sugi- Retraktionsstreifen weniger häufig als getränkte, doch wurde nicht hinreichend geklärt, ob dieses Ergebnis dem Zufall unterlag oder nicht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 ersichtlich.

Einflussfaktoren	Odds Ratio	p- Wert
getränkt vs. ungetränkt	0,496	0,619
Stanzbreite	0,361	0,002
Dichte	0,984	0,029

Tabelle 13: Odds Ratio und p- Wert von Tränkung, Dichte und Stanzbreite für einen Riss beim Entfernen

5.5.2.2 Ausgeübter Druck beim Applizieren

Das Risiko, einen erhöhten Druck ausüben zu müssen, stieg bei einem nicht getränkten Streifen um 19,7% (Odds Ratio = 1,197, $p = 0,857$) im Gegensatz zu der Applikation eines getränkten Streifens. Dieses Ergebnis war nicht signifikant. Getränkte Sugi- Streifen ließen sich in dieser Stichprobe also einfacher applizieren, doch ließ sich nicht sicher sagen, ob dieses Ergebnis zufällig war oder nicht. Die Ergebnisse sind der Tabelle 14 zu entnehmen.

Einflussfaktoren	Odds Ratio	p- Wert
getränkt vs. ungetränkt	1,197	0,857
Stanzbreite	1,524	0,002
Dichte	1,023	< 0.001

Tabelle 14: Odds Ratio und p- Wert von Tränkung, Dichte und Stanzbreite für den ausgeübten Druck

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Ergebnisse

6.1.1 Diskussion der Ergebnisse der Druckmessung

Ein adäquater Druck, der während der Retraktion auf die Gingiva wirkt, wird von zwei Aspekten limitiert: er darf nicht so gering sein, dass das Weichgewebe nicht ausreichend verdrängt wird, und er sollte nicht so groß sein, dass Weichgewebe und Epithelansatz irreversibel geschädigt werden. Ein zu großer Druck, der auf das gingivale Weichgewebe wirkt, kann akute und bleibende Verletzungen hervorrufen (Löe und Silness 1963, Ruel et al. 1980, Sorensen et al. 1991, Feng et al. 2006, Al Hamad et al. 2008, Phatale et al. 2010).

In der vorliegenden Arbeit wurde zwischen den Druckergebnissen der Sugi-Retraktionsstreifen und der Ultrapak- Retraktionsfäden unterschieden. Im Vergleich übten die Sugi- Streifen einen im Durchschnitt um 0,592 kPa höheren Druck als die Ultrapak- Fäden aus, wobei dieses Ergebnis nicht signifikant war. Es wurden bei den Sugi- Streifen in Abhängigkeit von Dichte, Laufrichtung und Stanzbreite durchschnittliche Drücke zwischen 28 kPa und 226 kPa gemessen. Die Ultrapak- Fäden erreichten abhängig vom Durchmesser durchschnittliche Drücke zwischen 48 kPa und 149 kPa.

Eine Vielzahl von Untersuchungen hat sich seit den vierziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts mit der Retraktion als Schritt im prothetischen Arbeitsablauf beschäftigt. Aber bisher hat sich nur eine Autorengruppe in verschiedenen in vitro- Studien den entstehenden Drücken während des Retraktionsprozesses gewidmet: Bannani et al. in den Jahren 2012, 2014 und 2015. Bannani et al. (2012) verglichen die entstehenden Drücke bei der Retraktion von Expasyl und KnitTrax- Cord, einem gestrickten Baumwollfaden. Dabei erzeugte Expasyl einen weitaus geringeren Druck (143 kPa) als der Retraktionsfaden (5396 kPa). Nach Weiterentwicklung des Messmodells wurde die Thematik 2014 ausgeweitet. Bannani et al. (2014) testeten 4 Retraktionspasten (Expasyl, Expasyl New, 3M ESPE ARP und Magic Foam Cord). Die dabei aufgezeichneten durchschnittlichen Drücke bewegen sich zwischen 9 kPa und 220 kPa. Bannani et al. (2015) entwickelten das Modell

erneut weiter und untersuchten drei Materialien (Expasyl, Expasyl New und KnitTrax- Cord). Expasyl erzeugte einen Druck von 292 kPa, Expasyl New 196 kPa und der gestrickte Baumwollfaden 238 kPa.

Zum Vergleich der Ergebnisse von Bannani et al. mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit eignen sich die Werte des Retraktionsfadens KnitTrax Cord. Dabei kamen 2012 durchschnittlich 5396 kPa und 2015 durchschnittlich 238 kPa heraus. Wie im folgenden Abschnitt 6.2.2. besprochen wird, sind die hohen Werte aus der Studie von 2012 dem verbesserungswürdigen Modellaufbau zuzuschreiben und als nicht vergleichbar einzuschätzen. 2015 haben Bannani et al. einen zum in dieser Arbeit verwendeten Modell ähnlichen Modellaufbau gewählt, wodurch sich die Ergebnisse zum Vergleich eignen. Die Ergebnisse der Studie von Bannani et al. (2015) ergaben also gering höhere Werte, doch kann man schlussfolgern, dass sie die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen.

In der Literatur sind außer Bannanis Studien keine weiteren Werte oder Ergebnisse zur Druckentstehung während der Retraktion zu finden. Einige Arbeiten haben sich mit den nötigen Drücken während der Messung der Taschentiefen beschäftigt. Eine Untersuchung von van der Velden (1979) ergab, dass der optimale Druck bei der klinischen Messung der Taschentiefen bei der Verwendung einer Sonde mit einem Durchmesser von 0,63 mm bei 0,75 N liegt. Ausgehend von van der Veldens Darstellungen ergibt sich ein Druck von 2405 kPa, der idealerweise bei der Messung der Taschentiefe angewendet werden sollte (Bannani et al. 2012). Zudem ergibt eine weitere Studie, dass die aufgewendete Kraft bei der Taschenmessung mit einer WHO- Sonde (0,25 N bei 0,5 mm Durchmesser) bei 1270 kPa liegt (Barendregt et al. 1996, Bannani et al. 2012). Bei diesen Überlegungen muss man jedoch berücksichtigen, dass es sich bei der Messung der Taschentiefen um andere Kräfte handelt, als die statischen Kräfte, die während der Retraktion wirken (Bannani et al. 2012). Zudem ist zu überlegen, ob der statische Druck während der Retraktion oder der wahrscheinlich höhere Druck während des Applizierens mit dem Instrument der schädlichere Teil des Prozesses ist. So ist zu schlussfolgern, dass die in dieser Arbeit gemessenen Drücke weit geringer sind als die Kräfte, die während der Taschenmessung nötig sind. Die Sugi- Retraktionsstreifen sind also basierend auf dem aktuellen Forschungsstand bezüglich der Druckentwicklung bedenkenlos am Patienten einsetzbar, doch wäre es wünschenswert, dass zukünftige Forschungen sich mit

einer Festlegung von Grenzwerten für eine adäquate Retraktion befassen würden. Wichtig für den Erhalt der parodontalen Gesundheit ist, dass der vom Retraktionsmaterial ausgehende Druck den Sulkus nicht schädigt (Bennani et al. 2014). Deswegen interessiert auf der einen Seite ein Maximalwert, der die Grenze zur Gingivaschädigung feststellt, aber auf der anderen Seite auch ein Minimalwert, der den Mindestdruck für eine adäquate Retraktion festlegt, damit der Sulkus weit genug geöffnet wird, um dem Abformmaterial ein Fließen bis zur Präparationsgrenze zu ermöglichen. Zu diesem Thema wurden zahlreiche Studien verfasst, da eine Vielzahl von Materialien und Präparaten zur Gingivaretraktion auf dem Markt erhältlich ist. Wie schon erwähnt, liegt die Mindestweite, die ein Sulkus vor der Abformung erreichen sollte, bei 0,2 mm (Laufer et al. 1996). Dieser Wert wird in der Literatur als Mindestweite des Sulkus für eine gelungene Abformung gesehen. Auf dieser Aussage aufbauend untersuchten einige Autoren gängige Retraktionsmaterialien. Zwei dieser Studien ermittelten die Sulkusweiten mit Hilfe einer in vitro- Studie. Bennani et al. (2015) beurteilten die durchschnittliche Verdrängung der Gingiva durch Expasyl (1,18 mm), Expasyl New (1,07 mm) und KnitTrax Cord (0,85 mm) anhand eines Modells. Raghav et al. (2014) prüften durch die Vermessung von Modellen Expasyl, Magic Foam Cord und in 15%igem Aluminiumchlorid getränkte Fäden und fanden heraus, dass die Sulkusweite beim Anwenden des getränkten Retraktionsfadens 0,52 mm betrug, gefolgt von Expasyl (0,46 mm) und Magic Foam Cord (0,30 mm). Zahlreiche klinische Studien untersuchten die Fragestellung mit folgenden Ergebnissen: Shrivastava et al. (2015) prüften die gleichen Materialien wie Raghav et al. (2014). Dabei schuf der getränkte Retraktionsfaden die größte Sulkusweite (0,74 mm). Expasyl erzeugte eine Weite von 0,48 mm und Magic Foam Cord von 0,41 mm. Ebenso prüften Yang et al. (2005) am Patienten mit Adrenalin getränkte Ultrapak- Fäden, Expasyl und Korlex- GR (eine zusatzfreie Paste). Dabei schuf Expasyl die größte Sulkusweite (0,29 mm). Der getränkte Ultrapak- Faden ergab eine Sulkusweite von 0,28 mm und Korlex- GR 0,25 mm. Ebenso fanden Prasanna et al. (2013) heraus, dass Expasyl eine größere Sulkusweite (0,26 mm) als ein Retraktionsfaden (0,21 mm) erzeugte. Gupta et al. (2013) verglichen Stay-Put Retraktionsfäden, Expasyl und Magic Foam Cord. Die Retraktionsfäden schufen die größte Sulkusweite (1,07 mm vertikal und 0,23 mm horizontal), gefolgt von Magic Foam Cord (0,86 mm vertikal und 0,2 mm

horizontal) und Expasyl (0,48 mm vertikal und 0,15 mm horizontal). Kazemi et al. (2009) testeten Expasyl und einen in Aluminiumchlorid getränkten Ultrapak-Faden an Studienteilnehmern. Der Ultrapak-Faden erreichte mit 0,46 mm eine größere Sulkusweite als Expasyl (0,34 mm). Chaudhari et al. (2015) testeten Expasyl (enthält 15% Aluminiumchlorid), mit 10%igem Aluminiumchlorid getränkte Retraktionsfäden und mit Tetrahydrozolin behandelte Fäden. Dabei gelang bei den mit Aluminiumchlorid getränkten Fäden die größte Retraktion, gefolgt von den mit Tetrahydrozolin getränkten Fäden und Expasyl. Alle Materialien erreichten die geforderte Mindestweite von 0,2 mm. Anupam et al. (2013) fanden heraus, dass Stay-Put Retraktionsfäden eine größere Sulkusweite (0,53 mm) als Ultrapak-Retraktionsfäden (0,49 mm) schufen. Auch Chandra et al. (2016) untersuchten im Rahmen einer in vivo- Studie Fäden (Ultrapak und SilTrax AS) und fadenfreie Methoden (Expasyl und Traxodent Hemodent Paste). Dabei prüften sie nicht nur die Sulkusweite, sondern auch die Dauer, in der der Sulkus weit genug offen blieb. Alle Materialien zeigten eine Weite von mind. 0,22 mm abhängig von der Verweildauer für 60 s bzw. 40 s. Bei der Anwendung von Expasyl verschloss sich der Sulkus am schnellsten.

Die im Labor durchgeführten Studien zeigten, dass alle untersuchten Retraktionsmaterialien mit Sulkusweiten zwischen 0,3 mm und 1,18 mm die Gingiva ausreichend verdrängten. Die klinischen Untersuchungen brachten ebenso das Ergebnis, dass mit Sulkusweiten zwischen 0,21 mm und 0,74 mm (bzw. rein vertikal 1,07 mm) eine ausreichende Retraktion durch alle geprüften Materialien zu erwarten ist. Somit haben alle gebräuchlichen Retraktionsmaterialien die geforderte Sulkusweite von 0,2 mm erzeugen können und sind somit klinisch anwendbar. Der nächste wichtige Schritt wäre es, einen Zusammenhang zwischen der geforderten Mindestweite des Sulkus und dem dazu nötigen Druck herzustellen. Das Sugi-Material sollte dementsprechend in weiterfolgenden Studien auf die mögliche erzeugbare Sulkusweite untersucht werden, sodass durch die Ergebnisse dieser Arbeit die Schlussfolgerung gezogen werden kann, welche Druckgröße ausreichend ist, um die Gingiva um die geforderte Mindestweite zu retrahieren.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten, dass der durch die Sugi-Retraktionsstreifen entstandene Druck im Simulationsmodell signifikant von drei Größen abhing: der Dichte, Laufrichtung und Stanzbreite. Ausgehend von diesen Einflussfaktoren

wäre es erstrebenswert, mit Hilfe von Grenzwerten den idealen Aufbau bezüglich Dichte, Stanzbreite und Laufrichtung der Sugi- Retraktionsstreifen feststellen zu können. Dementsprechend wäre aufbauend auf diesen Ergebnissen eine Weiterentwicklung des Materials möglich. So hatte die Stanzbreite der Streifen den größten Einfluss auf die Druckentwicklung, denn pro mm Stanzbreite stieg der Druck um ca. 54 kPa. Die Dichte hatte einen geringeren Einfluss auf die Druckentwicklung, sodass bei einem Anstieg der Dichte um 1 g/m² der Druck um 0,305 kPa stieg. Einen weiteren signifikanten Einfluss hatte die Laufrichtung der untersuchten Sugi- Streifen. Streifen mit einer Laufrichtung längs erzeugten einen um 11,31 kPa geringeren Druck. Um für die Praxis einen Nutzen aus diesen Ergebnissen ziehen zu können, wäre es sinnvoll, auf Grenzwerte für die Drücke während der Retraktion zugreifen zu können. Solange keine wissenschaftlichen Grenzwerte für den Druck im Sulkus festgelegt wurden, ist zu schlussfolgern, dass ein vorsichtiger Umgang mit dem Material und den Kräften während des Applizierens vor irreversiblen Schäden schützt.

6.1.2 Diskussion der Materialeigenschaften

Wie in vorhergehenden Abschnitten schon dargestellt, besteht das Material der Sugi- Retraktionsstreifen aus einem Schwammstoff auf Basis von Regeneratcellulose und Baumwolle und hat gute absorbierende und reißfeste Eigenschaften. Ferrari et al. (1996) befassten sich mit einem ähnlichen Material namens Merocel- Strips, die aus einem schwammartigen und synthetischen Polyvinylacetat bestehen, welches ein kompaktes Netz ohne lose Filamente bildet. Das Merocel- Material wurde in anderen medizinischen Fachgebieten verwendet und sollte aufgrund seiner absorbierenden, hämostatischen und anpassungsfähigen Eigenschaften für die schonende Gingivaretraktion in die Zahnmedizin eingeführt werden. Das Material verursachte in dieser Studie keine kurzzeitigen und bleibenden Schäden (Ferrari et al. 1996). Shivasakthy und Asharaf Ali (2013) verglichen in ihrer in vivo- Studie das Material mit ungetränkten Ultrapak- Fäden. Dabei erzeugten die Merocel- Strips eine signifikant größere Sulkusweite als die Fäden. Dadurch, dass keinem der Materialien ein wirksamer Zusatz zugefügt wurde, entstand die Gingivaretraktion ausschließlich durch

mechanische Verdrängung, also durch den Druck, den das Material auf das umliegende Gewebe ausübt (Shivasakthy und Asharaf Ali 2013). Von der Annahme ausgehend, dass eine größere Sulkusweite durch einen größeren Druck entsteht (Bennani et al. 2015), kann man schlussfolgern, dass die Sugi-Retraktionsstreifen eine effektivere Methode zur Gingivaretraktion darstellen als die Ultrapak- Fäden. Dies wird bestätigt, denn die Sugi- Streifen übten im Versuch einen durchschnittlich 0,592 kPa höheren Druck aus als die Ultrapak- Fäden.

Die Ausdehnung des Merocel- Materials im Sulkus wird im Zusammenhang mit den Absorptionseigenschaften beschrieben, sodass die Verdrängung der Gingiva durch die Aufnahme von Sulkusflüssigkeit, Blut etc. in den Strip stattfindet (Ferrari et al. 1996). Ein gleichartiges Verhalten konnte während der Applikation der Sugi-Retraktionsstreifen in die Simulationsmodelle beobachtet werden. Das Material saugte das die Sulkusflüssigkeit simulierende Wasser auf und dehnte sich aus. Dabei wurde umso mehr Druck erzeugt, desto größer die Stanzbreite und die Dichte des Sugi- Materials waren. Auch die Wahl der Laufrichtung längs übte einen signifikanten Einfluss auf die Druckentwicklung aus. Es ist also abzuleiten, dass die Sugi- Retraktionsstreifen zwei Eigenschaften in sich vereinen: sie saugen Flüssigkeiten im Sulkus auf und üben durch diese aufgesaugten Flüssigkeiten Druck auf das Weichgewebe aus und verdrängen es.

Bennani et al. (2015) haben in ihrem Vergleich von Expasyl, Expasyl New und dem Retraktionsfaden KnitTrax Cord beobachtet, dass bei der Verwendung von Retraktionspasten die Erhöhung des Drucks eine größere Verdrängung der Gingiva zur Folge hat, da die Pasten volumenstabil bleiben und den auf sie ausgeübten Druck auf das umliegende Weichgewebe verteilen. Der gestrickte Retraktionsfaden KnitTrax Cord reagierte auf erhöhten Druck jedoch mit einem gegenteiligen Effekt. Umso mehr Druck auf den Faden ausgeübt wurde, desto geringer fiel die Verdrängung der Gingiva aus. Dies lässt sich durch die Beschaffenheit von gestrickten Fäden erklären: wirkt ein größerer Druck auf den Faden, wird dieser komprimiert und es entweicht Luft aus den Maschen. Das Volumen des Fadens nimmt ab und die Verdrängung der Gingiva fällt geringer aus. Aus diesem Grund ist es wichtig, gestrickte Retraktionsfäden mit einem moderaten Druck zu legen (Bennani et al. 2015). Die Sugi- Retraktionsstreifen der Firma Kettenbach sind keine gestrickten Fäden, sondern ein Schwammstoff, der durch seine Textur den Druck auf das umliegende Weichgewebe ohne Verluste

weitergibt. Die Ergebnisse zeigten, dass die größeren Fäden (größere Stanzbreite und Dichte) auch die höheren Drücke erzeugten. Ultrapak- Fäden sind gestrickte Baumwollfäden, die vermuten lassen, dass sie durch hohen Druck in der von Bennani beschriebenen Weise Volumen verlieren und weniger effektiv wirken. In dieser Arbeit wurde nicht nachgewiesen, dass die großen Größen der Ultrapak-Fäden einen geringeren Druck auf den Messsensor ausübten. Es ist also kein Druckverlust und das von Bennani beschriebene Verhalten der Materialien nachweisbar. Trotzdem ist aufgrund des geschilderten Druckverlusts durch den Materialaufbau von Baumwollfäden zu vermuten, dass das Sugi- Material zur Retraktion geeigneter ist als gestrickte Baumwollfäden. Die Vorteile des Sugi-Retraktionsmaterials sind besonders klinisch weiter zu untersuchen.

6.1.3 Diskussion der Handhabbarkeit

In der vorliegenden Arbeit wurde weiterhin die klinische Handhabbarkeit der getesteten Streifen untersucht. Diese Untersuchung hat einen großen Stellenwert, da ein müheloses Einbringen des Retraktionsmaterials verhindert, dass der Prozess des Applizierens und des gesamten Abformens wiederholt und herausgezögert werden muss. Eine wiederholtes Applizieren führt dabei zur Belastung des gingivalen Weichgewebes, zu einem Complianceverlusts des Patienten (Bennani et al. 2015) und damit unter Umständen zu einem minderwertigen Ergebnis. Es wurde die Applizierbarkeit, ein etwaiges Reißen während des Applizierens bzw. des Entfernens und der nötige Druck beim Applizieren untersucht. Zu dieser Problematik gibt es bisher kaum wissenschaftliche Ergebnisse. Jokstad (1999) beschäftigte sich mit einer ähnlichen Fragestellung und prüfte gestrickte und gewundene Retraktionsfäden mit den Zusätzen Adrenalin und Aluminiumsulfat auf ihre klinische Einsetzbarkeit. Dabei handelt es sich um eine in vivo- Studie, die sich unter anderem der Problematik widmete, ob die Fäden einfach zu applizieren waren und ob ein Zerfasern der Fäden zu beobachten war. Er fand heraus, dass weniger der Zusatz, mit denen die Fäden getränkt waren, eine Rolle spielte, sondern die Beschaffenheit des Fadens. Gestrickte Fäden ergaben bessere Ergebnisse. In der vorliegenden Arbeit konnte kein Unterschied bezüglich der Applizierbarkeit der

beiden getesteten Materialien festgestellt werden. Das Sugi- Material ließ sich genauso zuverlässig applizieren wie die gestrickten Baumwollfäden. Ebenso riss keiner der untersuchten Streifen während des Applizierens. Allerdings konnte in den beiden anderen Fragestellungen (nötiger Druck beim Applizieren und Reißen beim Entfernen) eine Überlegenheit der gestrickten Ultrapak- Fäden festgestellt werden.

20,8% der getesteten Sugi- Retraktionsstreifen rissen beim Entfernen aus dem Simulationsmodell. Dagegen riss keiner der Ultrapak- Fäden. Dabei war dieses Ergebnis nicht signifikant, doch ist es trotzdem als Orientierung anzusehen. Vergleichbar sah das Ergebnis bei der Fragestellung nach dem nötigen Druck beim Applizieren aus. Bei 27,8% der Sugi- Streifen musste ein erhöhter Druck angewendet werden, doch waren alle Ultrapak- Fäden mit geringem Druck applizierbar. Diese beiden Ergebnisse waren jedoch nicht signifikant, was unter anderem an der geringen Zahl der zu testenden Ultrapak- Fäden liegen kann. Die Sugi- Streifen lagen dagegen in zahlreichen Größen zur Untersuchung vor. Diese unterschiedlichen Größen der Streifen wurden durch die Dichte und die Stanzbreite des Sugi- Materials definiert. Auf beide Fragestellungen (nötiger Druck beim Applizieren und Riss beim Entfernen) hatten Dichte und Stanzbreite einen signifikanten Einfluss. So lässt sich sagen, dass das Sugi- Material trotz größerer Stanzbreite eine höhere Risswahrscheinlichkeit hatte und gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit höher war, einen größeren Druck beim Applizieren aufwenden zu müssen, obwohl die Stanzbreite im Durchschnitt nur gering (0,109 mm) größer war. Die Dichte der Ultrapak- Fäden lag nicht vor und ließ deswegen keine Interpretation im Vergleich zum Sugi- Material zu.

In dieser Untersuchung stellte sich heraus, dass die Wahl der richtigen Größe des Streifens eine wichtige Rolle bei der Handhabbarkeit spielt. Die großen Streifen benötigten einen erhöhten Druck beim Applizieren. Wie schon erwähnt, spielten Dichte und Stanzbreite der Streifen eine signifikante Rolle bei der Untersuchung der Handhabbarkeit. So stieg das Risiko, einen erhöhten Druck ausüben zu müssen, mit steigender Dichte und zunehmender Stanzbreite (pro 1 g/m² Dichte um 2,3% und pro 1/10 mm Stanzbreite um 53,3%). Die Sugi- Retraktionsstreifen der kleineren Größen ergaben ein anderes Problem. Wo sich die Streifen mit den großen Stanzbreiten und Dichten als kompakt darstellten und mit zunehmender Stanzbreite und Dichte einen höheren Druck bei der Applizierbarkeit benötigten,

gab es Einschränkungen beim Entfernen der kleinen Streifen aus dem Sulkus. Der Streifen zerriss bzw. zerfaserte bei dem Versuch, ihn aus dem Sulkus zu entfernen. Dabei sank das Risiko, dass der Faden beim Entfernen reißt, mit steigender Stanzbreite und zunehmender Dichte (pro 1/10 mm Stanzbreite um 63,1% und pro 1 g/m² Dichte um etwa 1%). Ein Zurückbleiben von Fremdmaterial im Sulkus beantwortet der Körper mit einer immunologischen Antwort, sodass die Sugi- Streifen der kleinen Größen mit Vorsicht eingesetzt werden sollten.

Bezugnehmend auf Shivasakthy und Asharaf Ali (2013) könnte eine weiterentwickelte Ausführung des Materials, z.B. in Form eines kompakteren Fadens, das Handling verbessern. Dabei ist es wünschenswert, dass die kleineren Fäden eine kompaktere Struktur erhalten, sodass es nicht zu einem Riss beim Entfernen kommt und der Faden trotzdem leicht zu applizieren ist.

6.1.4 Diskussion der Auswirkung der Tränkungen

Ein weiterer Bestandteil der vorliegenden Untersuchungen war der Einfluss einer Tränkung auf die Ergebnisse. Zum einen wurden die Resultate der getränkten Sugi- Streifen statistisch ausgewertet und auf ihren Einfluss auf die Druckentwicklung und die Handhabbarkeit untersucht. Dabei ergaben sich keine signifikanten Ergebnisse, doch ist trotzdem eine Tendenz aus den Ergebnissen abzulesen. Eine Tränkung der Streifen zeichnete sich im Gegensatz zu ungetränkten Streifen durch eine Druckerhöhung im Sulkus um 3,852 kPa aus. Bei der Untersuchung der Handhabbarkeit ergab sich, dass ein ungetränkter Streifen mit einer Wahrscheinlichkeit von 50,4% weniger reißt als ein Streifen mit Tränkung. Zudem ließen sich ungetränkte Streifen mit einem Risiko von 19,4% nur mit höherem Druck applizieren.

Zum anderen wurde das Sugi- Material während der Tests im Handling beobachtet. Dabei war auffällig, dass die Struktur und der Aufbau des Sugi- Materials eine ausgezeichnete Saugfähigkeit und damit eine gute Aufnahme von Sulkusfluid, Speichel und Blut im Sulkus ermöglichen. Auch eignet sich das Schwammmaterial aufgrund dieser Eigenschaften gut zu einer Tränkung mit wirksamen Zusätzen. Die Menge von Zusätzen, die ein Material aufnehmen kann, ist wichtig für deren Wirksamkeit (Csempez et al. 2003), sodass eine

angemessene Saugfähigkeit eine Voraussetzung für den klinischen Erfolg ist. Nachteilig ist jedoch gleichzeitig, dass das schnelle Aufsaugverhalten ein rasches und abhängig von der Streifengröße auch ein enormes Aufquellen des Streifens im Sulkus mit sich bringt, was die Applikation des Streifens erschweren kann. Besonders die großen Größen des Sugi- Materials wiesen aufgequollen durch das Wasser der Sulkusfluidsimulation zum Teil erhebliche Größenzunahmen auf. Diese sind in Abbildung 10 dargestellt.

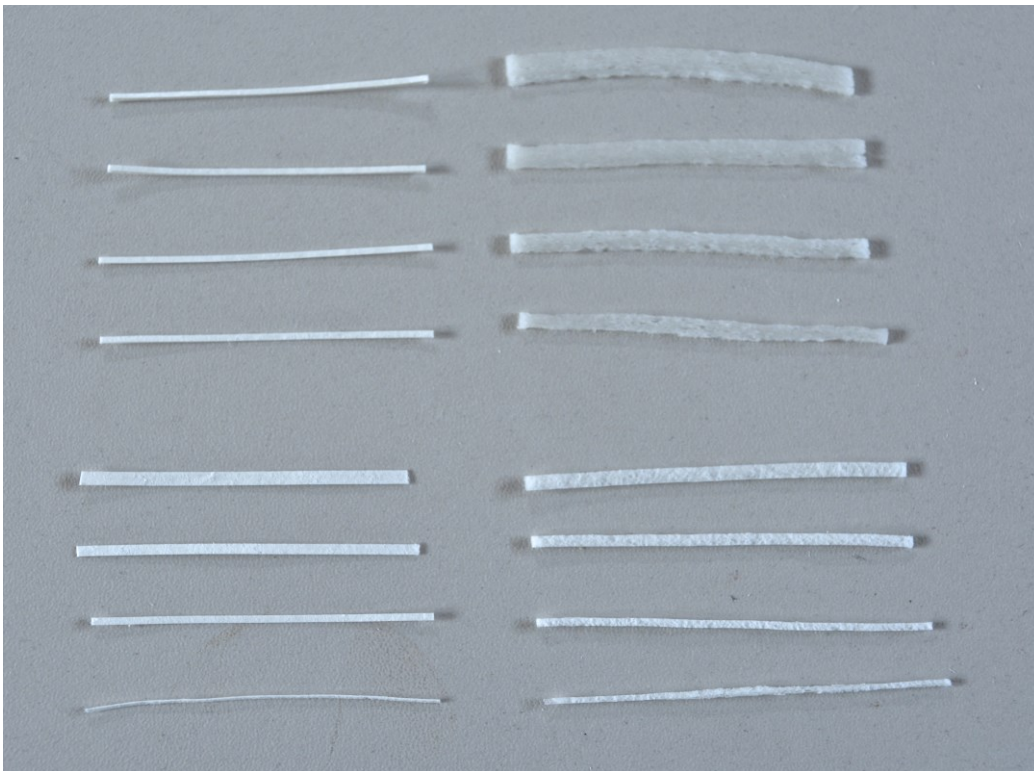


Abbildung 18: Vergleich vor (links) und nach (rechts) dem Vollaugen mit Wasser am Beispiel der Chargen 150081 und 150151-81

Die von der Firma Kettenbach gelieferten Tränkungen hatten den Zweck, dass sie genau diesen nachteiligen Effekt hinauszögern sollten. Es wurde während der Tests eine Verzögerung des Aufsaugverhaltens von ca. 1-2 Sekunden durch die verschiedenen Tränkungen beobachtet. Diese Verzögerung würde im klinischen Gebrauch zum Legen des Streifens in den oralen Sulkus jedoch nicht ausreichen. Die speziellen medizinischen Wirkungen der Zusätze sollten in dieser in vitro-Studie nicht untersucht werden. Durch die Versuche am Messmodell waren keine biologischen Wirkungen festzustellen. Doch haben diverse Studien gezeigt, dass Zusätze in Retraktionsmaterialien das klinische Ergebnis verbessern (Weir und

Williams 1984, Donovan und Chee 2004). Runyan et al. (1988) stellten in ihrer Untersuchung fest, dass bei einer Tränkung von Retraktionsfäden mit Aluminiumchlorid das Aufsaugverhalten von Sulkusfluid, Blut, etc. nicht verschlechtert wurde. Die Tränkung des Sugi- Retraktionsmaterials mit gängigen wirksamen Zusätzen ist also zu überlegen und zu untersuchen. Dadurch, dass getränkte Streifen einen höheren Druck ausübten, bei der Entfernung aus dem Sulkus schneller rissen und gleichzeitig öfter mit geringerem Druck appliziert werden mussten, ist die Wahl des richtigen Streifens mit dem passenden Aufbau entscheidend. Dabei können aufbauend auf den Ergebnissen passende Größen ausgewählt und getränkt werden und dem Behandler ein geeignetes Produkt zur Verfügung gestellt werden.

6.2 Diskussion des Versuchsaufbaus und -ablaufs

6.2.1 In vitro- Untersuchung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein experimentelles Retraktionsstreifenmaterial mit einem klinisch bewährten Retraktionsfaden in vitro verglichen. Die Durchführung der Untersuchungen am Testmodell erlaubt die Standardisierung aller beeinflussenden Parameter und somit eine zuverlässige Vergleichbarkeit der Ergebnisse. In vivo- Studien haben ethische und technische Nachteile, sodass der Weg der in vitro- Studie der geeignetere einer solchen Versuchsreihe ist (Bennani et al. 2012). Die Druckmessung im Sulkus in Form einer in vivo- Studie durchzuführen, würde sich am Patienten als besonders schwierig darstellen. Zudem sind allgemein standardisierte und vergleichbare Ergebnisse am Behandlungsstuhl aufwendiger zu erzielen und wiederholte Versuche ohne medizinische Indikation nicht vertretbar. Die Grenzen einer in vitro- Testreihe sind jedoch auch nicht zu vernachlässigen (Bennani et al. 2012). Mit Hilfe der erstellten Modelle wurde versucht, die Beschaffenheit des menschlichen Sulkus nachzuahmen, doch blieben klinische Faktoren der intraoralen Situation unberücksichtigt. So wurde beispielsweise auf die Untersuchung biologisch-anatomischer Faktoren wie Blutung oder Weitung des Sulkus verzichtet. Die am Modell gemessenen Drücke können durch ihre Standardisierung als repräsentativ angesehen werden, obgleich klinische Faktoren ausgehend vom Behandler, vom

gingivalen Biotyp des Patienten und der Anatomie des Sulkus Einschränkungen zulassen (Bennani et al. 2014). Diese Größen bleiben in vivo- Untersuchungen weiterführender Studien vorbehalten.

6.2.2 Diskussion der Modelle

Bisher gibt es nur wenige Studien, die sich mit den während der Retraktion wirkenden Drücken beschäftigen. Da die in vitro- Studie der geeignete Weg einer solchen Untersuchung ist, spielt das Messmodell, dessen Aufbau und Funktionsweise, eine entscheidende Rolle für das Gelingen der Arbeit.

Um den Fragestellungen dieser Arbeit gerecht zu werden, wurden zwei Modelle entwickelt. Zur Untersuchung der Handhabbarkeit wurde das Applikationsmodell konstruiert. Durch den Einsatz eines von Silikon umgebenen Kunststoffzahnes konnte die anatomische Situation so präzise wie möglich nachgeahmt werden. Bei der Konstruktion des Simulationsmodells zur Druckmessung wurde der Fokus besonders auf die Druckausbreitung in einem Gingiva- ähnlichen Material gelegt. Die Messtasche wurde durch Silikon und Kunststoff gebildet. Bei beiden Modellen wurden die Kammern mit Silikon gefüllt, welches eine Shore A- Härte von 15 besitzt (Produktinformation Kettenbach 2016). Laut Thomas et al. (2003) liegt die Shore- Härte von menschlichem Weichgewebe zwischen 16-21, sodass das verwendete Silikon als geeignetes Material für die durchgeführten Tests diene. So fand die Applikation des Retraktionsmaterials in zwei künstliche, aber naturgetreu nachgeahmte Sulki statt.

Bei beiden Modellen wurde die Sulkusfluidsimulation verwendet, die ,realisiert durch den Perfusor[®] compact und eine Spülkanüle, einen entscheidenden Vorteil mit sich brachte. Da sich der Sulkus in der oralen Situation niemals in einem trockenen Zustand befindet und das Retraktionsmaterial seine Eigenschaften im feuchten Milieu verändert, war der Einsatz des Perfusor[®] compacts ein wichtiger Bestandteil des Versuchsaufbaus.

Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse der Tests im Bezug auf die Handhabbarkeit und Druckentwicklung auf die klinische Situation mit nur wenigen Einschränkungen übertragbar.

Wie schon erwähnt, haben sich bisher wenige Studien mit den vorliegenden Fragestellungen befasst. Im Rahmen der Untersuchungen von Bennani et al. wurden ähnlich konstruierte Modelle entwickelt. Bennani et al. (2012) verwendeten zur Druckmessung ein Modell, das aus zwei Messkammern aus Gips oder Silikon und einem Messsensor bestand. In der Arbeit von Bennani et al. (2014) wurde das beschriebene Modell verbessert. Dabei wurde ein Modell erstellt, bei welchem die Messkammer aus Silikon und Gips bestand und der Druck mittels eines Messsensors in der Messkammer aufgezeichnet wurde. Bennani et al. (2015) entwickelten das Modell zur Druckmessung wiederum weiter. Dabei griffen sie auf einen Kunststoffzahn zurück, dessen Wurzel mit Silikon ummantelt wurde. Ein 3 mm tiefer Sulkus verläuft um den Zahn, in welchen das Retraktionsmaterial appliziert und der Druck gemessen wurde. Das umgebene Silikon kann nach jeder Messung zur Reinigung des Sulkus entfernt werden.

Bennanis Modell von 2012 hat Grenzen in der Übertragbarkeit auf die klinische Situation. Der entstehende Druck hat wenig Möglichkeiten zu entweichen. Mit der Weiterentwicklung 2014 und besonders 2015 wurde eine realistischere Modellsituation geschaffen. Der Einsatz eines von Silikon umgebenen Kunststoffzahnes kommt der anatomischen Situation in der Wahl der Materialien und des Aufbaus weitaus näher (Bennani et al. 2015) und ähnelt der in dieser Arbeit verwendeten Modelle, sodass die Ergebnisse miteinander verglichen werden können.

Die Reliabilitätsanalyse dieser Arbeit hat mit einem Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Maße von 0,718 ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht, sodass die Druckmessung im Simulationsmodell als zuverlässig einzuschätzen ist. Die Tests wurden alle durch dieselbe Person durchgeführt, sodass diesbezügliche Schwankungen ausgeschlossen werden können. Verbesserungsmöglichkeiten dieses Ergebnisses liegen im Bereich der hohen Sensitivität des Sensors und der Konstruktion des Modells. Der Sensor ist im Modell in Silikon eingebettet. Diese Umgebung bietet dem empfindlichen Sensor wenig Schutz vor den einwirkenden Kräften beim Applizieren des Streifens durch das Instrument, sodass es währenddessen zu moderaten Streuungen der Werte kommen kann. Dieses Problem besprechen auch Bennani et al. (2015) in ihrer Studie. Dabei erklären

sie, dass die Streuungen auf die Situation am Patienten übertragbar sind, da der Applikationsvorgang der gleiche ist. Gleichzeitig war die Einbettung in Silikon wichtig, um die entstehenden Drücke an den Sensor weiterzuleiten. Eine exakte Druckmessung wäre mit einem starrerem Material als Silikon nicht möglich, da der Druck nicht auf den Sensor übertragen werden würde. Schlussfolgernd ist zu sagen, dass es durchaus Streuungen in den Ergebnissen gibt, diese jedoch nicht zu vermeiden sind und klinisch ebenso in dieser Form in vivo vorkommen, sodass die Modelle in dieser Hinsicht keiner weiteren Verbesserungen bedürfen.

6.2.3 Einschränkungen im Vergleich mit den Ultrapak- Retraktionsfäden

Um die Ergebnisse der beiden gegenübergestellten Retraktionsfäden vergleichbar darstellen zu können, wurden zur Auswertung der Daten die Durchmesser der Ultrapak- Retraktionsfäden benötigt. Diese wurden im Rahmen dieser Arbeit mit Hilfe eines Mikroskops vermessen, da es keine Angaben des Herstellers zum Durchmesser des Materials gibt. Als problematisch bei dieser Messung stellte sich der Aufbau des Materials dar. Die Fäden bestehen aus einem gestrickten Schlauchsystem, welches einen luftgefüllten Hohlraum einschließt. Durch diese komprimierbare Struktur wurde eine exakte Messung des Durchmessers erschwert. Die Werte dienten trotzdem dem Vergleich der Materialien, da jedes Retraktionsmaterial in gewissem Maße komprimierbar ist.

Ein Erklärungsversuch sollte außerdem zur fehlenden Signifikanz beim statistischen Vergleich der beiden unterschiedlichen Materialien unternommen werden. So liegt nahe, die fehlende Signifikanz durch die geringe Stückzahl (6 verschiedene Größen) der Ultrapak- Streifen zu erklären. Es war die Tendenz ablesbar, dass die Ultrapak- Fäden in den Tests der Handhabbarkeit besser abschneiden, doch war dieses Ergebnis nicht mit p- Werten zu belegen. Wünschenswert wäre eine größere Stückzahl, doch ist diese durch die erhältlichen 6 Größen der Ultrapak- Fäden limitiert.

Ein Ergebnis dieser Arbeit ist die Erkenntnis, dass Dichte, Stanzbreite und Laufrichtung einen Einfluss auf die Druckentwicklung und die Handhabbarkeit des Sugi- Materials haben. So liegt eine weitere Einschränkung im Vergleich des Sugi-

Materials mit den Ultrapak- Fäden darin, dass Dichte und Laufrichtung der Ultrapak- Fäden durch deren Aufbau nicht zu benennen waren und dementsprechend nicht in den Vergleich mit einbezogen werden konnten. So wurde in diese Analyse nur die Stanzbreite/ der Durchmesser aufgenommen, wobei nicht unberücksichtigt bleiben darf, dass die Ergebnisse der Sugi- Streifen ebenfalls durch Laufrichtung und Dichte beeinflusst wurden. Dadurch, dass durch den speziellen Aufbau der Ultrapak- Fäden Dichte und Laufrichtung nicht angegeben werden konnten, ist dieser Versuchsaufbau jedoch zu rechtfertigen.

6.2.4 Aufzeichnung der Ergebnisse der Handhabbarkeit

Die Kriterien der Tests auf klinische Handhabbarkeit objektiv zu benennen, war eine Hürde dieser Arbeit. Ergebnisse wie „ja/nein“ und „hoch/niedrig“ sind subjektive Ergebnisse, die nicht quantifizierbar sind. Durchgeführt wurden alle Untersuchungen von derselben Person, sodass diesbezügliche Abweichungen auszuschließen sind. Mangels zuverlässiger Methoden und erprobter Techniken, das klinische Handling zu klassifizieren, wurde die Studie auf die dargestellte Art und Weise durchgeführt. Auch Jokstad (1999) ging auf dieses Problem ein und schlussfolgert, dass es keine adäquate objektive Messmethode gibt, die zu reliablen und validen Ergebnissen führt. Es ist nicht möglich zu sagen, wie viel besser oder schlechter ein getestetes Produkt ist, es ist nur möglich zu sagen, dass es besser oder schlechter ist. So geben solche Tests Anstöße für folgende Untersuchungen und Weiterentwicklungen des Produkts und sind deshalb von nicht geringer Bedeutung.

7 Schlussfolgerung

Das Ziel einer prothetischen Versorgung ist stets der Erhalt der Zahnschubstanz und der gingivalen und parodontalen Gesundheit. Diese Anforderungen sollten von Retraktionsmaterialien ebenso erfüllt werden. Was erwartet man also von einem Retraktionsmittel, das alle Ansprüche erfüllt? Gingivale Retraktionsmaterialien sollten dafür sorgen, dass die Gingiva ausreichend retrahiert wird, um dem Abformmaterial ein Fließen zur Präparationsgrenze und so die Aufzeichnung dieser zu ermöglichen. Zudem darf die Gingiva und die dento- gingivale Verbindung durch das Applizieren des Materials nicht geschädigt werden. Vorhandene chemische Zusätze sollten ihre Wirkungen entfalten können, sodass der Sulkus trocken und blutungsfrei ist. Das Material sollte einfach zu applizieren und zu entfernen und im Umgang für Patient und Behandler angenehm sein.

Die Ergebnisse sprechen dafür, das Sugi- Material zukünftig in der Zahnmedizin als Retraktionsmittel einzuführen. Es konnte ein Zusammenhang zwischen dem Aufbau der Sugi- Retraktionsstreifen und Druckentwicklung und Handhabbarkeit festgestellt werden. Der Vergleich des Sugi- Materials mit den Ultrapak- Fäden ergab gewünschte Ergebnisse in der Druckentwicklung und im Test auf die Handhabbarkeit konnten Verbesserungsmöglichkeiten herausgestellt werden. Ein idealer Sugi- Retraktionsstreifen sollte den Aufbau (definiert durch Dichte, Stanzbreite und Laufrichtung) haben, der auf der einen Seite zu einer idealen Druckentstehung führt (entsprechend der Grenzwerte, die wissenschaftlich festzulegen wären) und auf der anderen Seite groß genug ist, dass er beim Entfernen aus dem Sulkus nicht reißt, und klein genug, dass er mit niedrigem Druck appliziert werden kann. Das Sugi- Material hat damit noch Einschränkungen im Handling, doch bietet es gute Möglichkeiten der Weiterentwicklung. So ist besonders das Aufsaugverhalten positiv zu bewerten, doch sollte das Material im Aufbau verbessert werden. Eine kompaktere Struktur, die die Gefahr eines Reißens des Streifens minimiert, wäre wünschenswert.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Ahmed SN, Donovan TE. 2015. Gingival displacement: Survey results of dentists' practice procedures. *J Prosthet Dent*, 114 (1):81-85.e81-82.
- Ahmed SN, Donovan TE, Rau CT. 2016. Accurate Elastomeric Impressions: The Importance of Effective Soft Tissue Management. *J Esthet Restor Dent*, 28 (1):5-7.
- Ainamo J, Loe H. 1966. Anatomical characteristics of gingiva. A clinical and microscopic study of the free and attached gingiva. *J Periodontol*, 37 (1):5-13.
- Al Hamad KQ, Azar WZ, Alwaeli HA, Said KN. 2008. A clinical study on the effects of cordless and conventional retraction techniques on the gingival and periodontal health. *J Clin Periodontol*, 35 (12):1053-1058.
- Al-Ani A, Bennani V, Chandler NP, Lyons KM, Thomson WM. 2010. New Zealand dentists' use of gingival retraction techniques for fixed prosthodontics and implants. *N Z Dent J*, 106 (3):92-96.
- Anupam P, Namratha N, Vibha S, Anandakrishna GN, Shally K, Singh A. 2013. Efficacy of two gingival retraction systems on lateral gingival displacement: A prospective clinical study. *J Oral Biol Craniofac Res*, 3 (2):68-72.
- Atteslander P. 2010. *Methoden der empirischen Sozialforschung*. Berlin: Erich Schmidt Verlag
- Azzi R, Tsao TF, Carranza FA, Jr., Kenney EB. 1983. Comparative study of gingival retraction methods. *J Prosthet Dent*, 50 (4):561-565.
- Baba NZ, Goodacre CJ, Jekki R, Won J. 2014. Gingival displacement for impression making in fixed prosthodontics: contemporary principles, materials, and techniques. *Dent Clin North Am*, 58 (1):45-68.
- Baharav H, Kupershmidt I, Laufer BZ, Cardash HS. 2004. The effect of sulcular width on the linear accuracy of impression materials in the presence of an undercut. *Int J Prosthodont*, 17 (5):585-589.
- Barendregt DS, Van der Velden U, Reiker J, Loos BG. 1996. Clinical evaluation of tine shape of 3 periodontal probes using 2 probing forces. *J Clin Periodontol*, 23 (4):397-402.

- Bennani V, Aarts JM, He LH. 2012. A comparison of pressure generated by cordless gingival displacement techniques. *J Prosthet Dent*, 107 (6):388-392.
- Bennani V, Inger M, Aarts JM. 2014. Comparison of pressure generated by cordless gingival displacement materials. *J Prosthet Dent*, 112 (2):163-167.
- Bennani V, Aarts JM, Schumayer D. 2015. Correlation of pressure and displacement during gingival displacement: An in vitro study. *J Prosthet Dent*.
- Benson BW, Bomberg TJ, Hatch RA, Hoffman W, Jr. 1986. Tissue displacement methods in fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 55 (2):175-181.
- Berekoven L, Eckert W, Ellenrieder P. 2009. *Marktforschung: Methodische Grundlagen und praktische Anwendung* Wiesbaden: Gabler Fachverlag.
- Block PL. 1987. Restorative margins and periodontal health: a new look at an old perspective. *J Prosthet Dent*, 57 (6):683-689.
- Bowles WH, Tardy SJ, Vahadi A. 1991. Evaluation of new gingival retraction agents. *J Dent Res*, 70 (11):1447-1449.
- Bühl A. 2006. *SPSS 14: Einführung in die moderne Datenanalyse*. München: Pearson Studium.
- Chandra S, Singh A, Gupta KK, Chandra C, Arora V. 2016. Effect of gingival displacement cord and cordless systems on the closure, displacement, and inflammation of the gingival crevice. *J Prosthet Dent*, 115 (2):177-182.
- Chang YS, Bennani V, Tawse-Smith A, Girvan L. 2011. Effect of a cordless retraction paste material on implant surfaces: an in vitro study. *Braz Oral Res*, 25 (6):492-499.
- Chaudhari J, Prajapati P, Patel J, Sethuraman R, Naveen YG. 2015. Comparative evaluation of the amount of gingival displacement produced by three different gingival retraction systems: An in vivo study. *Contemp Clin Dent*, 6 (2):189-195.
- Cooper K, Bennani V, Tawse-Smith A, Reid M, Stirling C, Dias G. 2013. Effect of a cordless retraction paste on titanium surface: a topographic, chemical and biocompatibility evaluation. *Braz Oral Res*, 27 (3):211-217.
- Csempez F, Vag J, Fazekas A. 2003. In vitro kinetic study of absorbency of retraction cords. *J Prosthet Dent*, 89 (1):45-49.

- Csillag M, Nyiri G, Vag J, Fazekas A. 2007. Dose-related effects of epinephrine on human gingival blood flow and crevicular fluid production used as a soaking solution for chemo-mechanical tissue retraction. *J Prosthet Dent*, 97 (1):6-11.
- Dale BA. 2002. Periodontal epithelium: a newly recognized role in health and disease. *Periodontol 2000*, 30:70-78.
- de Camargo LM, Chee WW, Donovan TE. 1993. Inhibition of polymerization of polyvinyl siloxanes by medicaments used on gingival retraction cords. *J Prosthet Dent*, 70 (2):114-117.
- de Gennaro GG, Landesman HM, Calhoun JE, Martinoff JT. 1982. A comparison of gingival inflammation related to retraction cords. *J Prosthet Dent*, 47 (4):384-386.
- Debnath Nitai GR, Kumar Sandeep, Priyadarshini V, Shakti devi A, Meenakshi A. 2013. Gingival retraction and soft tissue management in fixed Prosthodontic procedure. *Indian Journal of Science*, Volume 5, Number 12, October 2013, 5 (12):7-10.
- Donovan TE, Cho GC. 2001. Predictable aesthetics with metal-ceramic and all-ceramic crowns: the critical importance of soft-tissue management. *Periodontol 2000*, 27:121-130.
- Donovan TE, Chee WW. 2004. Current concepts in gingival displacement. *Dent Clin North Am*, 48 (2):vi, 433-444.
- Donovan TE, Gandara BK, Nemetz H. 1985. Review and survey of medicaments used with gingival retraction cords. *J Prosthet Dent*, 53 (4):525-531.
- Elledge D. 2010. Effective hemostasis and tissue management. *Dent Today*, 29 (10):150, 152-153.
- Fazekas A, Csempesz F, Csabai Z, Vag J. 2002. Effects of pre-soaked retraction cords on the microcirculation of the human gingival margin. *Oper Dent*, 27 (4):343-348.
- Feng J, Aboyoussef H, Weiner S, Singh S, Jandinski J. 2006. The effect of gingival retraction procedures on periodontal indices and crevicular fluid cytokine levels: a pilot study. *J Prosthodont*, 15 (2):108-112.
- Ferencz JL. 1991. Maintaining and enhancing gingival architecture in fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 65 (5):650-657.

- Ferrari M, Cagidiaco MC, Ercoli C. 1996. Tissue management with a new gingival retraction material: a preliminary clinical report. *J Prosthet Dent*, 75 (3):242-247.
- Gargiulo AW, Wentz FM, Orban B. 1961. *Dimensions and relations of the dentogingival junction in humans. *Journal of periodontology*, 32 (3):261-267.
- Gehrcke P, Rudolph A, Fischer C. 2014. Einfluss des gingivalen Biotyps auf die chirurgisch-restaurative Implantattherapie. *cosmetic dentistry*, 03/2014:6-13.
- Goktas S, Dmytryk JJ, McFetridge PS. 2011. Biomechanical behavior of oral soft tissues. *J Periodontol*, 82 (8):1178-1186.
- Goldberg PV, Higginbottom FL, Wilson TG. 2001. Periodontal considerations in restorative and implant therapy. *Periodontol 2000*, 25:100-109.
- Goodacre CJ. 1990. Gingival esthetics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 64 (1):1-12.
- Gunday S, Topcu AO, Ercan E, Yamalik N. 2014. Analysis of daytime variations in gingival crevicular fluid: a circadian periodicity? *J Periodontol*, 85 (3):e47-56.
- Gupta A, Prithviraj DR, Gupta D, Shruti DP. 2013. Clinical evaluation of three new gingival retraction systems: a research report. *J Indian Prosthodont Soc*, 13 (1):36-42.
- Hansen PA, Tira DE, Barlow J. 1999. Current methods of finish-line exposure by practicing prosthodontists. *J Prosthodont*, 8 (3):163-170.
- Harrison JD. 1961. Effect of retraction materials on the gingival sulcus epithelium. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 11 (3):514-521.
- John P, Ambooken M, Kuriakose A, Mathew JJ. 2015. The perio-restorative interrelationship-expanding the horizons in esthetic dentistry. *Journal of Interdisciplinary Dentistry*, 5 (1):46.
- Jokstad A. 1999. Clinical trial of gingival retraction cords. *J Prosthet Dent*, 81 (3):258-261.
- Kamath R, DL S, Baid GC. 2011. Advances in gingival retraction. *International Journal of Clinical Dental Science*, 2 (1).

- Kazemi M, Memarian M, Loran V. 2009. Comparing the effectiveness of two gingival retraction procedures on gingival recession and tissue displacement: clinical study. *Res J Biol Sci*, 4 (3):335-339.
- Krishna Ch V, Gupta N, Reddy KM, Sekhar NC, Aditya V, Reddy GV. 2013. Laser gingival retraction: a quantitative assessment. *J Clin Diagn Res*, 7 (8):1787-1788.
- Labban N. 2011. A simple technique to reduce the risk of irreversible gingival recession after the final impression. *J Prosthodont*, 20 (8):649-651.
- Lang NP, Löe H. 1972. The relationship between the width of keratinized gingiva and gingival health. *J Periodontol*, 43 (10):623-627.
- Laufer BZ, Baharav H, Ganor Y, Cardash HS. 1996. The effect of marginal thickness on the distortion of different impression materials. *J Prosthet Dent*, 76 (5):466-471.
- Laufer BZ, Baharav H, Langer Y, Cardash HS. 1997. The closure of the gingival crevice following gingival retraction for impression making. *J Oral Rehabil*, 24 (9):629-635.
- Liu CM, Huang FM, Yang LC, Chou LS, Chou MY, Chang YC. 2004. Cytotoxic effects of gingival retraction cords on human gingival fibroblasts in vitro. *J Oral Rehabil*, 31 (4):368-372.
- Livaditis GJ. 1998. Comparison of the new matrix system with traditional fixed prosthodontic impression procedures. *J Prosthet Dent*, 79 (2):200-207.
- Löe H. 1968. Reactions to marginal periodontal tissues to restorative procedures. *Int Dent J*, 18 (4):759-778.
- Löe H, Silness J. 1963. Tissue reactions to string packs used in fixed restorations. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 13 (2):318-323.
- Mohamed Ateeq P, Soorya Poduval T, Kashinatha H, Muralidhara G. 2011. Conventional and new techniques in gingival displacement. *Journal of Dentistry and Oral Biosciences*, 2 (3):33-37.
- Nemetz H. 1974. Tissue management in fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 31 (6):628-636.
- Nemetz H, Donovan T, Landesman H. 1984. Exposing the gingival margin: a systematic approach for the control of hemorrhage. *J Prosthet Dent*, 51 (5):647-651.

- Newcomb GM. 1974. The relationship between the location of subgingival crown margins and gingival inflammation. *J Periodontol*, 45 (3):151-154.
- Nowakowska D, Saczko J, Kulbacka J, Choromanska A. 2010. Dynamic oxidoreductive potential of astringent retraction agents. *Folia Biol (Praha)*, 56 (6):263-268.
- Ochsenbein C, Ross S. 1969. A reevaluation of osseous surgery. *Dent Clin North Am*, 13 (1):87-102.
- Olsson M, Lindhe J. 1991. Periodontal characteristics in individuals with varying form of the upper central incisors. *J Clin Periodontol*, 18 (1):78-82.
- Orban B. 1948. Clinical and histologic study of the surface characteristics of the gingiva. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1 (9):827-841.
- Orkin DA, Reddy J, Bradshaw D. 1987. The relationship of the position of crown margins to gingival health. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 57 (4):421-424.
- Padbury A, Jr., Eber R, Wang HL. 2003. Interactions between the gingiva and the margin of restorations. *J Clin Periodontol*, 30 (5):379-385.
- Peleska B. 2009. Sulkusmanagement vor Abformung präparierter Zähne – eine Standortbestimmung. *ZWR*, 118 (11):576-585.
- Perakis N, Belser UC, Magne P. 2004. Final impressions: a review of material properties and description of a current technique. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 24 (2):109-117.
- Phatale S, Marawar PP, Byakod G, Lagdive SB, Kalburge JV. 2010. Effect of retraction materials on gingival health: A histopathological study. *J Indian Soc Periodontol*, 14 (1):35-39.
- Pollanen MT, Salonen JI, Uitto VJ. 2003. Structure and function of the tooth-epithelial interface in health and disease. *Periodontol 2000*, 31:12-31.
- Poss S. 2002. An innovative tissue-retraction material. *Compend Contin Educ Dent*, 23 (1 Suppl):13-17; quiz 18-19.
- Prasanna GS, Reddy K, Kumar RK, Shivaprakash S. 2013. Evaluation of efficacy of different gingival displacement materials on gingival sulcus width. *J Contemp Dent Pract*, 14 (2):217-221.
- Produktinformation. Sugi- Produkte 2016. Sugi® Produktinformation [Zugriff am 31.05.2016]: <http://www.kettenbach.de/medical/produkte/sugi-produkte.html>.

- Produktinformation. Kettenbach 2016. Profisil 15® Produktinformation [Zugriff am 21.06.2016]:
<http://www.kettenbach.de/dental/produkte/laborprodukte/profisil-15.html>.
- Produktinformation. Ultradent 2016. Produkt- Details Ultrapak® Clean Cut gestrickte Retraktionsfäden [Zugriff am 31.05.2016]:
<https://http://www.ultradent.com/de/Dental-Produkte/Blutstillung-Retraktion/Retraktionsf%C3%A4den/Ultrapak-Knitted-Cord/Pages/default.aspx>.
- Radz GM. 2010. Soft-tissue management. The key to the perfect impression. *Compend Contin Educ Dent*, 31 (6):463-465.
- Raghav D, Singh S, Kola MZ, Shah AH, Khalil HS, Kumar P. 2014. A comparative clinical and quantitative evaluation of the efficacy of conventional and recent gingival retraction systems: An in vitro study. *European Journal of Prosthodontics*, 2 (3):76.
- Reeves WG. 1991. Restorative margin placement and periodontal health. *J Prosthet Dent*, 66 (6):733-736.
- Reichen-Graden S, Lang NP. 1989. Periodontal and pulpal conditions of abutment teeth. Status after four to eight years following the incorporation of fixed reconstructions. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 99 (12):1381-1385.
- Reiman MB. 1976. Exposure of subgingival margins by nonsurgical gingival displacement. *J Prosthet Dent*, 36 (6):649-654.
- Ruel J, Schuessler PJ, Malament K, Mori D. 1980. Effect of retraction procedures on the periodontium in humans. *J Prosthet Dent*, 44 (5):508-515.
- Runyan DA, Reddy TG, Jr., Shimoda LM. 1988. Fluid absorbency of retraction cords after soaking in aluminum chloride solution. *J Prosthet Dent*, 60 (6):676-678.
- Sarmiento HR, Leite FR, Dantas RV, Ogliari FA, Demarco FF, Faot F. 2014. A double-blind randomised clinical trial of two techniques for gingival displacement. *J Oral Rehabil*, 41 (4):306-313.
- Schnell R. HPB, Esser E. 2011. *Methoden der empirischen Sozialforschung* München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Schroeder HE, Listgarten MA. 1997. The gingival tissues: the architecture of periodontal protection. *Periodontol* 2000, 13:91-120.

- Scott A. 2005. Use of an erbium laser in lieu of retraction cord: a modern technique. *Gen Dent*, 53 (2):116-119.
- Shaw DH, Krejci RF, Cohen DM. 1980. Retraction cords with aluminum chloride: effect on the gingiva. *Oper Dent*, 5 (4):138-141.
- Shivasakthy M, Asharaf Ali S. 2013. Comparative Study on the Efficacy of Gingival Retraction using Polyvinyl Acetate Strips and Conventional Retraction Cord - An in Vivo Study. *J Clin Diagn Res*, 7 (10):2368-2371.
- Shrivastava KJ, Bhojar A, Agarwal S, Shrivastava S, Parlani S, Murthy V. 2015. Comparative clinical efficacy evaluation of three gingival displacement systems. *J Nat Sci Biol Med*, 6 (Suppl 1):S53-57.
- Singh K, Gupta N, Chowdhary N. 2014. Effects Of Tooth Preparation And Poorly Designed Artificial Crowns On Health Of Periodontium And Esthetics: A Case Report. *Indian Journal of Dental Sciences*, 6 (4).
- Sood S, Gupta S. 2011. Periodontal-Restorative Interactions: A Review. *Indian Journal of Multidisciplinary Dentistry*, 1 (4).
- Sorensen JA, Doherty FM, Newman MG, Flemmig TF. 1991. Gingival enhancement in fixed prosthodontics. Part I: Clinical findings. *J Prosthet Dent*, 65 (1):100-107.
- Stahl SS. 1986. Speculations on periodontal attachment loss. *J Clin Periodontol*, 13 (1):1-5.
- Taylor AC, Campbell MM. 1972. Reattachment of gingival epithelium to the tooth. *J Periodontol*, 43 (5):281-293.
- Thomas MS, Joseph RM, Parolia A. 2011. Nonsurgical gingival displacement in restorative dentistry. *Compend Contin Educ Dent*, 32 (5):26-34; quiz 36, 38.
- Thomas VJ, Patil KM, Radhakrishnan S, Narayanamurthy VB, Parivalavan R. 2003. The role of skin hardness, thickness, and sensory loss on standing foot power in the development of plantar ulcers in patients with diabetes mellitus--a preliminary study. *Int J Low Extrem Wounds*, 2 (3):132-139.
- Tosches NA, Salvi GE. 2009. [Gingival retraction methods. A literature review]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 119 (2):121-138.
- Uitto VJ. 2003. Gingival crevice fluid--an introduction. *Periodontol 2000*, 31:9-11.
- Valderhaug J, Birkeland JM. 1976. Periodontal conditions in patients 5 years following insertion of fixed prostheses. Pocket depth and loss of attachment. *J Oral Rehabil*, 3 (3):237-243.

- van der Velden U. 1979. Probing force and the relationship of the probe tip to the periodontal tissues. *J Clin Periodontol*, 6 (2):106-114.
- Wassell RW, Barker D, Walls AW. 2002. Crowns and other extra-coronal restorations: impression materials and technique. *Br Dent J*, 192 (12):679-684, 687-690.
- Weir DJ, Williams BH. 1984. Clinical effectiveness of mechanical-chemical tissue displacement methods. *J Prosthet Dent*, 51 (3):326-329.
- Wilhelmsen NR, Ramfjord SP, Blankenship JR. 1976. Effects of electrosurgery on the gingival attachment in rhesus monkeys. *J Periodontol*, 47 (3):160-170.
- Woody RD, Miller A, Staffanou RS. 1993. Review of the pH of hemostatic agents used in tissue displacement. *J Prosthet Dent*, 70 (2):191-192.
- Wöstmann B, Rehmann P, Trost D, Balkenhol M. 2008. Effect of different retraction and impression techniques on the marginal fit of crowns. *J Dent*, 36 (7):508-512.
- Woycheshin FF. 1964. An evaluation of the drugs used for gingival retraction. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 14 (4):769-776.
- Yang J, Tsai C-M, Chen M, Wei JY, Lee S-Y, Lin C. 2005. Clinical study of a newly developed injection-type gingival retraction material. *Chinese Dental Journal*, 24 (3):147.

9 Anhang

Dichte [g/m ²]	Laufri- chtung längs (1) / quer (2)	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
100	1 Druck [kPa]	4	28,441	88,081	58,692	26,218
	2 Druck [kPa]	4	57,054	85,323	71,878	12,573
130	1 Druck [kPa]	4	39,99	93,769	69,680	22,313
	2 Druck [kPa]	4	40,851	133,069	81,100	39,447
150	1 Druck [kPa]	4	59,123	104,628	82,608	23,710
	2 Druck [kPa]	4	63,432	125,829	96,182	27,526
200	1 Druck [kPa]	4	51,538	106,007	79,678	23,784
	2 Druck [kPa]	4	53,607	123,589	89,804	30,207
300	1 Druck [kPa]	4	93,252	161,165	120,270	31,377
	2 Druck [kPa]	21	73,774	168,577	118,623	27,967
400	2 Druck [kPa]	9	106,352	215,806	147,644	39,668
500	2 Druck [kPa]	3	151,857	170,99	159,556	10,098
600	2 Druck [kPa]	3	223,39	226,493	224,941	1,551

Tabelle 15: Übersicht der Ergebnisse der Druckmessung im Bezug zur Dichte und Laufri-
chtung

Dichte [g/m ²]	Stanzbreite [mm]		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
100	0,7	Druck [kPa]	2	28,441	57,054	42,747	20,233
	1,0	Druck [kPa]	2	47,229	66,534	56,882	13,651
	1,5	Druck [kPa]	2	71,016	78,6	74,808	5,363
	2,0	Druck [kPa]	2	85,323	88,081	86,702	1,950
130	0,7	Druck [kPa]	2	39,99	40,851	40,421	0,609
	1,0	Druck [kPa]	2	63,432	69,637	66,534	4,388
	1,5	Druck [kPa]	2	75,325	87,046	81,186	8,288
	2,0	Druck [kPa]	2	93,769	133,069	113,419	27,789
150	0,7	Druck [kPa]	2	59,123	63,432	61,277	3,047
	1,0	Druck [kPa]	2	65,328	85,15	75,239	14,017
	1,5	Druck [kPa]	2	101,353	110,316	105,835	6,338
	2,0	Druck [kPa]	2	104,628	125,829	115,229	14,992
200	0,7	Druck [kPa]	2	51,538	53,607	52,573	1,463
	1,0	Druck [kPa]	2	70,327	79,117	74,722	6,216
	1,5	Druck [kPa]	2	90,838	102,904	96,871	8,532
	2,0	Druck [kPa]	2	106,007	123,589	114,798	12,432
300	0,7	Druck [kPa]	4	81,358	116,694	96,656	14,707
	1,0	Druck [kPa]	15	73,774	141,515	110,305	19,847
	1,5	Druck [kPa]	4	128,415	168,577	150,435	19,781
	2,0	Druck [kPa]	2	161,165	168,06	164,612	4,875

400	0,7	Druck [kPa]	2	106,352	112,557	109,454	4,388
	1,0	Druck [kPa]	5	112,557	151,168	137,447	15,665
	1,5	Druck [kPa]	2	206,843	215,806	211,324	6,338
500	1,0	Druck [kPa]	3	151,857	170,99	159,556	10,098
600	1,0	Druck [kPa]	3	223,39	226,493	224,941	1,551

Tabelle 16: Übersicht der Ergebnisse der Druckmessung im Bezug zur Dichte und Stanzbreite

9.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der ungetränkten Sugi- Retraktionsstreifen	29
Tabelle 2: Übersicht der getränkten Sugi- Retraktionsstreifen mit ungetränkten Vergleichsstreifen.....	31
Tabelle 3: Durchmesser der Ultrapak-Retraktionsfäden.....	32
Tabelle 4: Einflussfaktoren auf die Druckentwicklung	42
Tabelle 5: Übersicht der Ergebnisse der Handhabbarkeit der ungetränkten Sugi- Streifen (j = ja, n = nein).....	48
Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse der Handhabbarkeit der getränkten Sugi- Streifen (j = ja, n = nein).....	49
Tabelle 7: Odds Ratio und p- Wert von Dichte und Stanzbreite für den nötigen Druck beim Applizieren	50
Tabelle 8: Odds Ratio und p- Wert von Dichte, Stanzbreite und Laufrichtung für einen Riss während des Entfernens.....	50
Tabelle 9: Stichprobenzahl, p- Wert, Mittelwert und Standardabweichung des T- Tests	52
Tabelle 10: Regressionskoeffizient und p- Wert für die Materialien und die Stanzbreite bezüglich der Druckentstehung.....	52
Tabelle 11: Ergebnisse der Untersuchung auf Handhabbarkeit der Ultrapak- Fäden (j = ja, n = nein)	54
Tabelle 12: Einfluss und Signifikanz der Tränkung, Dichte und Stanzbreite auf die Druckentwicklung	55
Tabelle 13: Odds Ratio und p- Wert von Tränkung, Dichte und Stanzbreite für einen Riss beim Entfernen	57
Tabelle 14: Odds Ratio und p- Wert von Tränkung, Dichte und Stanzbreite für den ausgeübten Druck.....	57
Tabelle 15: Übersicht der Ergebnisse der Druckmessung im Bezug zur Dichte und Laufrichtung	83
Tabelle 16: Übersicht der Ergebnisse der Druckmessung im Bezug zur Dichte und Stanzbreite	85

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sugi- Retraktionsstreifen am Beispiel der Charge 150091 A,B,C,D	28
Abbildung 2: getränkte Sugi- Retraktionsstreifen am Beispiel der Charge 150181 C + B (getränkt mit Glycerin und Isopropanol)	30
Abbildung 3: Ultrapak- Retraktionsfäden in allen erhältlichen und untersuchten Größen (aufsteigend angeordnet)	32
Abbildung 4: vollständiges Simulationsmodell zur Druckmessung	34
Abbildung 5: Simulationsmodell zur Druckmessung mit appliziertem Sugi- Retraktionsstreifen	35
Abbildung 6: Präparierte Frasaco Phantomzähne mit dargestellten Sulkustiefen vor Einbau in das Applikationsmodell	37
Abbildung 7: Applikationsmodell mit 3,5 mm Sulkus (rot) und 2,0 mm Sulkus (grün)	37
Abbildung 8: vollständiges Applikationsmodell	38
Abbildung 9: Versuchsaufbau mit Messgerät, Perfusor [®] compact, Simulationsmodell zur Druckmessung und Applikationsmodell	39
Abbildung 10: Ergebnisse der Druckentwicklung bezogen auf die Stanzbreite	44
Abbildung 11: Ergebnisse der Druckentwicklung bezogen auf die Dichte	44
Abbildung 12: Ergebnisse der Druckentwicklung bezogen auf die Laufrichtung	45
Abbildung 13: grafische Darstellung der Ergebnisse der Druckentwicklung der ungetränkten Streifen	45
Abbildung 14: grafische Darstellung der Ergebnisse der Druckentwicklung der getränkten Streifen Teil 1	46
Abbildung 15: grafische Darstellung der Ergebnisse der Druckentwicklung der getränkten Streifen Teil 2	46
Abbildung 16: Ergebnisse der Druckmessung der Ultrapak- Fäden	53
Abbildung 17: Ergebnisse der Druckentwicklung bezogen auf die Tränkung	56
Abbildung 18: Vergleich vor (links) und nach (rechts) dem Vollsaugen mit Wasser am Beispiel der Chargen 150081 und 150151-81	67

9.3 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Stefanie Nehls
Wohnort: Treskowstraße 26
13089 Berlin
Geburtsdatum: 22.08.1988
Geburtsort: Neubrandenburg

Ausbildung

ab Sep. 2016 Assistenz Zahnärztin in Zahnarztpraxis Kmiotek in
Schildow und Berlin/ Reinickendorf
Dez. 2015- Aug. 2016 Erstellung der Promotionsschrift
Dez. 2015 Staatsexamen Zahnmedizin an der Friedrich- Schiller-
Universität Jena, Gesamtnote „gut“
Okt. 2010- Dez. 2015 Studium Zahnmedizin
Friedrich- Schiller- Universität Jena
Okt. 2008- Sep. 2010 Studium Germanistik/ Kommunikationswissenschaft
Friedrich- Schiller- Universität Jena
Jul. 2008 Abitur am Sportgymnasium Neubrandenburg, Note 1,7
Aug. 2002- Jul. 2008 Sportgymnasium Neubrandenburg
Aug. 1999- Jul. 2002 Kooperative Gesamtschule Burg Stargard

9.4 Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. dent. Arndt Güntsch möchte ich herzlich für die Überlassung dieses Promotionsthemas danken. Er war stets offen für Fragen und Anregungen und hat mich mit großer Geduld während der Erstellung dieser Arbeit unterstützt.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn ZA Marco Dziwak, der mir meine Fragen zu jeder Tages- und Nachtstunde beantwortete und mir jederzeit mit Rat und Tat beistand.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. rer. pol. Thomas Lehmann, der mich in statistischen Fragen unterstützte und somit maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie- meinen Eltern, für die immerwährende jahrelange Unterstützung in jeder Lebenslage. Danke, dass ihr mir diesen Weg ermöglicht und mir stets mit Geduld und Interesse beigestanden habt. Außerdem danke ich meiner Schwester und meinen Großeltern, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und mir jederzeit Rückhalt gaben.

9.5 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Herr Prof. Dr. med. dent. Arndt Güntsch

Herr ZA Marco Dziwak

Herr Dr. rer. pol. Thomas Lehmann

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers