

Diplomarbeit

**Twistflex-Retainer in Gegenüberstellung zu
Titanium Trauma Splint und Super Splint
Eine materialtechnische Studie**

eingereicht von

Felicia Jeewooth

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Zahnheilkunde

(Drⁱⁿ. med. dent.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit

Klinische Abteilung für Orale Chirurgie und Kieferorthopädie

unter der Anleitung von

Univ.-Ass.-Prof. Dr. Margit Pichelmayer

Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr. Brigitte Wendl

Graz, am 13.03.2021

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 13.03.2021

Felicia Jeewoath eh.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich all jenen, die mich auf meinem Studienweg begleitet und bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben, herzlich danken.

Insbesondere gilt mein großer Dank Frau Univ.-Ass.-Prof. Dr. Margit Pichelmayer für die freundliche Überlassung dieses Themas und die wundervolle Betreuung.

Ebenso danke ich Frau Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr. Brigitte Wendl für die Zweitlesung.

Weiters bedanke ich mich bei Herrn OA Dr. Gerald Fritz, Herrn Erich Häupel, Herrn Herbert Lorenzer, Frau DI Irene Mischak, sowie bei Anna, Anita und Benji.

Meinen Studienkolleginnen und Studienkollegen danke ich für eine lustige, unvergessliche Studienzeit.

Am meisten gebührt der Dank meinem lieben Ehemann John. Ohne seine Unterstützung im privaten Bereich wäre die Absolvierung des Studiums sicherlich undenkbar gewesen.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNGEN	3
TABELLENVERZEICHNIS	5
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
ZUSAMMENFASSUNG	7
ABSTRACT	8
1 EINLEITUNG	9
1.1 RETENTION	9
1.2 TWISTFLEX-RETAINER	11
1.2.1 HISTORISCHES	11
1.2.2 VOR- UND NACHTEILE.....	12
1.3 TRAUMASCHIENE	15
1.4 FASERVERSTÄRKT KUNSTSTOFFE AM BEISPIEL GLASFASER.....	17
1.4.1 GRUNDLAGEN	17
1.4.2 ANWENDUNGSGEBIETE	18
1.4.3 ALLERGIEN.....	22
1.5 ZIELSETZUNG.....	23
2 MATERIAL UND METHODEN	24
2.1 VERWENDETE MATERIALEN	24
2.2 VORBEREITUNG DER TWISTFLEX-RETAINER.....	25
2.3 VORBEREITUNG DER TITANIUM TRAUMA SPLINTS.....	25
2.4 HERSTELLUNG DER GLASFASER-RETAINER	26
2.4.1 ANFERTIGUNG DER SCHABLONE	26
2.4.2 HERSTELLUNG DES GLASFASER-PROTOTYPEN.....	28
2.4.2.1 BONDING	29
2.4.2.2 FLOWABLE COMPOSITE	32
2.4.2.3 AUSARBEITUNG	35
2.4.3 ADAPTATION DER SCHABLONE	38
2.5 MESSUNG MITTELS INSTRON-MASCHINE	39
3 RESULTATE	40
4 DISKUSSION	46
4.1 VERGLEICHSTUDIEN.....	46
4.2 ÜBERLEGUNGEN ZUR KAUAKRAFT	48
4.3 KONKLUSION.....	49
5 LITERATURVERZEICHNIS	50

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ABNEHMBARE UND FESTSITZENDE RETENTIONSGERÄTE IM VERGLEICH.....	10
TABELLE 2: VOR UND NACHTEILE DES TWISTFLEX-RETAINERS (IN ANLEHUNG AN GREEN 2015).....	14
TABELLE 3: RIGIDITÄTSPARAMETER UND SCHIENUNGSZEITEN (IN ANLEHUNG AN S2K- LEITLINIE 2015).....	16
TABELLE 4: ANZAHL, DIMENSION UND MATERIAL DER VERWENDETE PRODUKTE	25

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: HTTPS://WWW.RETAIN3R.DE/WP-CONTENT/UPLOADS/2019/06/RETAINER-TWISTFLEX-300X240.JPG AM 29.8.19 (GREEN 15)	11
ABBILDUNG 2: HTTP://WWW.SCIOLO.BR/SCIOLO.PHP?SCRIPT=SCI_ARTTEXT&PID=S2176-94512019000300064 AM 8.2.21	12
ABBILDUNG 3: HTTPS://WWW.HENRYSCHIEIN.NL/IMAGES/ASSETS/TTS-0203.PDF AM 31.8.19.....	15
ABBILDUNG 4: (HTTPS://DE.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/GLASFASER , HTTPS://DE.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/SILICIUMDIOXID AM 18.2.21).....	17
ABBILDUNG 5: GLASFASER-RETAINER (LINKS) UND TWISTFLEX-RETAINER (RECHTS) (TACKEN ET AL. 2010).....	20
ABBILDUNG 6: SUPER SPLINT HTTPS://WWW.HAGERWERKEN.DE/WP-CONTENT/UPLOADS/2018/04/SUPER-SPLINT-P-01.JPG AM 10.11.20	24
ABBILDUNG 7: TITANIUM TRAUMA SPLINT GANZ UND HALB	26
ABBILDUNG 8: SCHABLONE	28
ABBILDUNG 9: GLASFASERBAND IN DER SCHABLONE	29
ABBILDUNG 10: BONDING.....	30
ABBILDUNG 11: AUFTROPFEN DES BONDINGS AUF DIE SCHABLONE	30
ABBILDUNG 12: HINDURCHZIEHEN DES GLASFASERBANDES DURCH DAS BONDING	31
ABBILDUNG 13: GEBONDETES GLASFASERBAND	31
ABBILDUNG 14: POLYMERISATION	32
ABBILDUNG 15: FLOWABLE COMPOSITE.....	33
ABBILDUNG 16: APPLIKATION DES FLOWABLE COMPOSITE AM BODEN DER SCHABLONE	33
ABBILDUNG 17: EINBRINGEN DES GEBONDETEN GLASFASERBANDES IN DIE SCHABLONE	34
ABBILDUNG 18: ANPRESSEN DES OBJEKTTRÄGERS MIT MODERATEM DRUCK.....	34
ABBILDUNG 19: NACH DER AUSPOLYMERISATION.....	35
ABBILDUNG 20: SCHLEIFFPAPIER	36
ABBILDUNG 21: GLASFASER-RETAINER VOR DER AUSARBEITUNG.....	36
ABBILDUNG 22: GLASFASER-RETAINER NACH DER AUSARBEITUNG.....	37
ABBILDUNG 23: ZUGVERSUCH HTTPS://WWW.STAHLPORTAL.COM/EXTERNE-DIENSTLEISTUNGEN/ZUGVERSUCH/ AM 9.2.21	40
ABBILDUNG 24: ZUGFESTIGKEIT	42
ABBILDUNG 25: HÖCHSTKRAFT.....	44
ABBILDUNG 26: VERFORMUNG DES TITANIUM TRAUMA SPLINTS	45
ABBILDUNG 27: KEINE VERFORMUNG BEI TWISTFLEX- UND GLASFASER-RETAINER	45
ABBILDUNG 28: PRÜFKÖRPER, ANSICHT VON LINGUAL (MEYER 2011).....	47
ABBILDUNG 29: KAUKRÄFTE (EDMONDS & GLOWACKA, 2020).....	48

Zusammenfassung

Einleitung:

Retainer aus mehrfach verseiltem Edelstahldraht gelten in der Kieferorthopädie heutzutage als Goldstandard. Darüber hinaus stehen weitere Materialien, wie Nickel-Titan-Legierungen oder Glasfasern zu Verfügung. Mit diesen kann ebenfalls eine Retention der Zähne erreicht werden. Ziel der vorliegenden materialtechnischen Studie ist ein Vergleich bezüglich der Zugfestigkeit der drei erwähnten Materialien.

Methode:

Es wurden je 30 Twistflex-Retainer mit zwei unterschiedlichen Durchmessern, zehn ganze und zehn halbe Titanium Trauma Splints sowie je 30 Glasfaser-Retainer in drei verschiedenen Stärken in einem Zugversuch mittels einer Instron-Maschine vermessen.

Resultate:

Die Zugfestigkeit der drei verschiedenen Materialien unterscheidet sich hochsignifikant. Die Unterschiede innerhalb eines Materials waren ebenfalls hochsignifikant. Die höchste Zugfestigkeit wiesen die Titanium Trauma Splints auf. Die Glasfaser-Retainer zeigten die niedrigste Zugfestigkeit. In der Mitte lagen die Twistflex-Retainer.

Konklusion:

Über die klinische Verlässlichkeit der Glasfaser-Retainer konnte keine eindeutige Aussage getroffen werden und der Twistflex-Retainer ist daher weiterhin als Goldstandard anzusehen. Der Titanium Trauma Splint wies die höchste Zugfestigkeit auf.

Abstract

Introduction:

The flexible multistranded stainless steel wire retainer represents the gold standard in orthodontics today. Over and above that, there are other materials available, e. g. nickel-titanium alloys and glass fibres. By these materials also stability of teeth can be achieved. The aim of this study is therefore to compare the three mentioned materials due to their tensile strength.

Method:

30 flexible multistranded stainless steel wire retainers of two different diameters each, ten common and ten cut in half titanium trauma splints and 30 glass fibre reinforced composite retainers of three different strengths each have been measured in a tensile test using the Instron-testing device.

Results:

The differences between the three materials have been highly significant. The differences within one material have also been highly significant. The highest tensile strength has been obtained by the titanium trauma splint. The glass fibre reinforced composite retainers have shown the lowest tensile strength. The flexible multistranded stainless steel wire retainers has been in between.

Conclusion:

A clear conclusion about the clinical reliability of glass fibre reinforced composite retainers could not be made. Therefore the flexible multistranded stainless steel wire retainer remains gold standard. The titanium trauma splint showed the highest tensile strength.

1 Einleitung

1.1 Retention

"Langzeitstudien haben gezeigt, dass Zahnbewegungen ein physiologisches Phänomen darstellen, welches zeitlebens beobachtet werden kann. Die Retention ist daher als integrierter Bestandteil der kieferorthopädischen Therapie zu betrachten" (Williams et al. 2000).

Darüber hinaus ist das Thema Retention auch in weiteren Fachbereichen der Zahnmedizin von großer Bedeutung, zum Beispiel bei der posttraumatischen Replantation mit anschließender Schienung sowie bei der Schienung zur Stabilisierung parodontal gelockerter Zähne oder transplanteder Zähne.

Grundsätzlich stehen verschiedene Methoden der Retention zur Verfügung. Es gibt einerseits abnehmbare Retentionsgeräte, zum Beispiel in Form von Kunststoffplatten oder Werkstücken, die mit Tiefziehverfahren hergestellt werden und andererseits festsitzende Retentionsgeräte, wie die geklebten Retainer.

Beide Methoden haben sowohl Vor- als auch Nachteile. Sowohl bei den herausnehmbaren als auch bei den festsitzenden Retainern kann es zur Anlagerung von Plaque kommen. Abnehmbare Retentionsgeräte haben den großen Vorteil, dass diese außerhalb des Mundes gereinigt werden können. Dies bedeutet eine erleichterte Mundhygiene-Routine für die Patientin oder den Patienten. Ein weiterer grundlegender Vorteil ist die Tatsache, dass herausnehmbare Retainer unabhängig von der individuellen Bissituation der Patientin oder des Patienten, zum Beispiel im Falle eines Tiefbisses, zum Einsatz kommen können.

Nachteilig ist bei der Verwendung von Tiefziehfolien ein möglicher Bruch der Schiene. Bei der Verwendung von Kunststoffgeräten mit Klammer müssen die Klammern regelmäßig nachgezogen werden. Weitere Nachteile von herausnehmbaren Retentionsgeräten liegen in der Ästhetik, wenn diese tagsüber getragen werden müssten, sowie in der Compliance. In diesen beiden Punkten liefern festsitzende Retainer die entscheidenden Vorteile.

Festsitzende Retentionsgeräte erfordern eine konsequente Einhaltung der Mundhygiene seitens der Patientinnen und Patienten. Nachteile können außerdem durch eine (rezidivierende) Lockerung der Retainer entstehen. Eine solche Lockerung kann durch übermäßige Fluoridierung der betreffenden Zähne bedingt sein. Ebenso können ungünstige okklusale Verhältnisse zu einer Lockerung des Retainers führen. Im Falle des bereits erwähnten Tiefbisses muss auf die Verwendung eines festsitzenden Retentionsgerätes unter Umständen im Oberkiefer sogar ganz verzichtet werden. Ein weiterer häufiger Lockerungsgrund ist ein Kautrauma infolge falscher oder zu hoher Belastung bei Essen.

Die nachfolgende Tabelle fasst die eben beschriebenen Vor- und Nachteile von abnehmbaren und festsitzenden Retainern noch einmal kurz zusammen.

Abnehmbare Retentionsgeräte		Festsitzende Retentionsgeräte	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
Hygiene	Ästhetik	Ästhetik	Hygiene
Okklusion	Compliance	Compliance	Okklusion
	Lockerung		Lockerung

Tabelle 1: Abnehmbare und festsitzende Retentionsgeräte im Vergleich

In Anbetracht der jeweiligen Vor- und Nachteile werden herausnehmbare Retainer in erster Linie im Oberkiefer und festsitzende Retainer im Unterkiefer verwendet. Ebenso können abnehmbare und festsitzende Apparaturen im selben Kiefer miteinander kombiniert werden. Die Verwendung von ausschließlich abnehmbaren Retainern in beiden Kiefern ist hingegen selten (Köstenberger et al. 2020).

Im Folgenden sollen jene drei festsitzende Retentionsgeräte näher erläutert werden, die Inhalt der vorliegenden Forschungsarbeit sind.

1.2 *Twistflex-Retainer*

1.2.1 Historisches



Abbildung 1: <https://www.retain3r.de/wp-content/uploads/2019/06/Retainer-Twistflex-300x240.jpg> am 29.8.19 (Green 15)

1977 stellte Bjørn U. Zachrisson eine erste kontrollierte Langzeitstudie über geklebte Retainern vor.

Zachrissons Studie verglich geklebte Retainer mit den damals herkömmlichen Retainern, die über Bänder fixiert wurden. Es handelte sich dabei um nicht verseilte Stahldrähte, die an den unteren Eckzähnen fixiert wurden (3-3 Retainer) (Zachrisson 1977).

Darauf folgend führte Zachrisson Studien mit verseilten Drähten durch, zuerst mit 3-fach verseilten.

Nach weiteren Studien mit Drähten unterschiedlicher Anzahl an verseilten Strängen und verschiedener Durchmesser, präsentierte er 1991 den 5-fach verseilten Stahldraht mit einer Dimension von 0,0215 Inch.

Dieser im deutschen Sprachgebrauch unter dem Namen Twistflex-Retainer bekannte Draht wurde an allen sechs Frontzähnen befestigt und gilt noch heute als Goldstandard (Zachrisson 2015) (Green 2015).

1.2.2 Vor- und Nachteile

Folgender Abschnitt soll einen Überblick vermitteln über die Vor- und Nachteile des Twistflex-Retainers in Gegenüberstellung zu den unter Punkt 1.2.1 erwähnten, nicht verseilten 3-3 Retainern, welche heutzutage ebenfalls zur Anwendung gelangen.

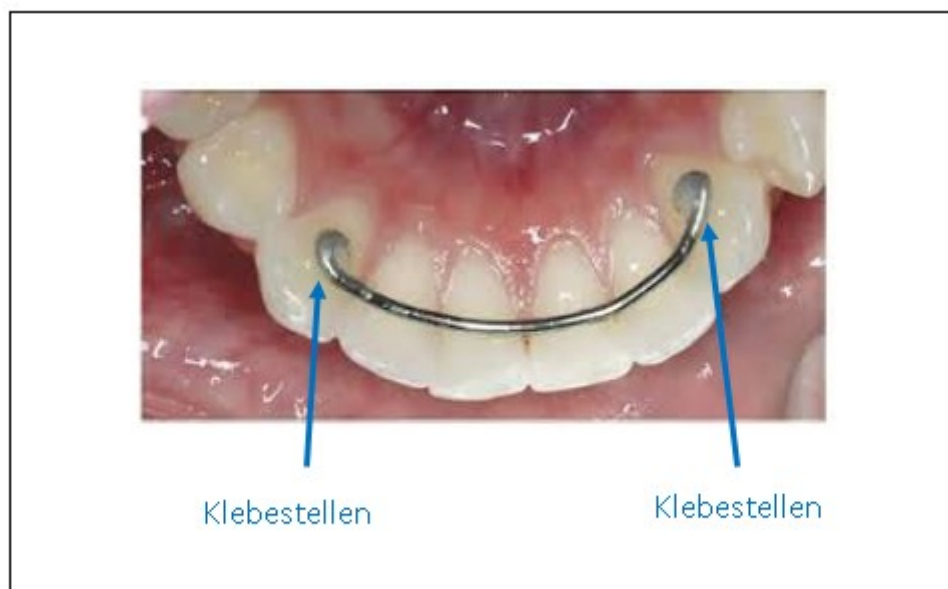


Abbildung 2: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2176-94512019000300064 am 8.2.21

Der abgebildete Retainer hat einen nicht verseilten Steg und zeichnet sich dadurch aus, dass er rigide ist. Er wird daher nur an den Eckzähnen geklebt. Er kann effektiv den Abstand zwischen den Eckzähnen aufrechterhalten, allerdings kann er Einzelzahnrotationen weniger gut entgegenwirken (Butler u. Dowling 2005).

Jon Årtun verglich in einer Studie von 1997 zwei Varianten des 3-3 Retainers mit dem Twistflex-Retainer sowie mit herausnehmbaren Retainern. Auch er beschrieb minimale Zahnbewegungen, die unter der Verwendung von 3-3 Retainern aufgetreten waren (Artun 1997).

Des Weiteren untersuchte Årtun in seiner Studie von 1997 sowie in früheren Studien mögliche Unterschiede bezüglich der Plaque- und Zahnsteinakkumulation (Artun 1997; Artun et al. 1987; Artun 1984). Eigentlich erwartet man, dass sich an verseilten Retainern mehr Plaque und/oder Zahnstein anlagert als an glatten, nicht verseilten Drähten. Dies konnte Årtun allerdings widerlegen, da die Unterschiede tatsächlich nicht signifikant waren (Artun 1997).

Ein ähnliches Ergebnis zeigte sich bezüglich Kariesinzidenz. Trotz unterschiedlicher Oberflächenstruktur der Retainer gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei verschiedenen Retainer-Arten (Artun 1997).

Die bereits im Kapitel 1.1 thematisierte Problematik einer Lockerung des Retainers ist allen geklebten Retainern gemein und auch hier zeigten sich nur marginale Unterschiede zwischen den verschiedenen Retainervarianten (Artun 1997).

Jedoch stellt die Lockerung beim Twistflex-Retainer, der an allen Zähnen geklebt wird, eine besondere Herausforderung dar. Es können sich einzelne Zähne vom Retainer lösen. Dies bleibt von der Patientin oder dem Patienten oft unbemerkt. Lockerungen eines 3-3 Retainers werden in der Regel häufiger wahrgenommen, vermutlich weil sich die Eigenbeweglichkeit der Werkstückes bei Lockerung einer Klebestelle stark erhöht.

Der Umstand, dass Twistflex-Retainer an allen Zähnen geklebt werden, bringt nicht nur Nachteile mit sich: Einzelzahnrotationen, die bei der Verwendung von 3-3 Retainern nicht ausgeschlossen werden können, sind bei Twistflex-Retainern seltener (Butler u. Dowling 2015).

Damit es unter Verwendung eines an allen Zähnen geklebten Twistflex-Retainers nicht zu Einzelzahnbewegungen kommt, ist es außerdem unbedingt notwendig, dass der Retainer passiv fixiert wird. Darauf muss vor allem geachtet werden,

wenn der Retainer ohne Übertragungsschlüssel geklebt wird. Das bedeutet, der Draht darf auf keinen Fall eine Eigenspannung aufweisen, denn dies kann zu ungewollten aktiven Krafteinwirkungen auf die betreffenden Zähne führen. In seltenen Fällen kann es auch infolge eines Retainer-Bruches zu einer Verbiegung des Materials und damit wiederum zu Zahnbewegungen kommen (Kösterberger et al. 2020).

Abschließend veranschaulichte Green in seiner Arbeit nochmals die Vor- und Nachteile festsitzender Retainer im Allgemeinen und bezieht sich zusätzlich auf weitere Vorteile von Twistflex-Retainern im Speziellen.

So verfügen diese über eine unregelmäßige Oberfläche, wodurch die Haftung des Klebers verbessert werden soll.

Die Flexibilität des Twistflex-Retainers erlaubt außerdem die physiologische Eigenbeweglichkeit der Zähne, die jedoch nicht so groß ist, dass es zu sichtbaren Positionsänderungen kommt (Green 2015).

Vorteile	Nachteile
Compliance	Hygiene
Ästhetik	Okklusion
Oberflächenstruktur	Lockerung
Flexibilität	Eigenspannung

Tabelle 2: Vor und Nachteile des Twistflex-Retainers (In Anlehnung an Green 2015)

Auch bei der Schienung traumatisierter Zähne ist die physiologische Eigenbeweglichkeit von großer Bedeutung.

1.3 Traumaschiene



Abbildung 3: <https://www.henryschein.nl/images/assets/TTS-0203.pdf> am 31.8.19

Dentale Traumata werden nach der aktuellen WHO-Klassifikation in Frakturen und Dislokationen unterteilt (Baumann u. Beer 2007).

Dislozierte Zähne sind im Rahmen der Sofortmaßnahmen mittels Reposition und Schienung zu versorgen (Nolte et al 2015).

Bezüglich der Epidemiologie des dentalen Traumas kann Folgendes festgehalten werden:

Wegen der Ermangelung einer standardisierten Klassifikation differieren die epidemiologischen Erkenntnisse von Studie zu Studie (Bastone et al 2000).

Die *Prävalenz* des dentalen Traumas wird weltweit mit circa 25% bis 35% angenommen, was als relativ hoch angesehen werden kann. Die *Inzidenz* des dentalen Traumas wird auf bis zu 20% geschätzt (Nolte et al. 2015).

Erwähnenswert ist hierbei auch, dass dentale Traumata ursächlich verstärkt mit einer Angle-Klasse II/1 in Verbindung gebracht werden können (Kania et al. 1996).

Sowohl Schienungsart als auch Schienungsdauer nehmen Einfluss auf den Erfolg der Behandlung.

Verletzungsart	Rigidität der Schiene	Schienungsdauer
Konkussion	flexibel	1-3 Wochen
Lockerung	flexibel	1-3 Wochen
Laterale Dislokation	flexibel	1-4 Wochen
Extrusion	flexibel	1-3 Wochen
Intrusion	flexibel	1-3 Wochen
Avulsion	flexibel	7-10 Tage
Wurzelfraktur	rigide	1-3 Monate

Tabelle 3: Rigiditätsparameter und Schienungszeiten (in Ahnlehung an S2k-Leitlinie 2015)

Der Titanium Trauma Splint (TTS) hat sich mittlerweile als Standard etabliert. Er lässt eine minimale Beweglichkeit des Zahnes zu, sodass sich die Sharpey'schen Fasern funktionell ausrichten können (Daume 2015).

Rigide Schienen hingegen können Komplikationen wie Ankylose oder Wurzelresorptionen nach sich ziehen, weil sie eine solche Eigenbeweglichkeit der geschienten Zähne nicht in ausreichendem Maße zulassen (Berthold et al. 2005).

1.4 Faserverstärkte Kunststoffe am Beispiel Glasfaser

In der Zahnheilkunde werden Faserbänder aus verschiedenen Fasern verwendet. Neben Glasfasern finden beispielweise Polyamidfasern und Polyethylenfasern Anwendung (Mullarky 1985, Vallitu et al. 1994, Rose et al. 2002, Sekhar et al. 2011, Salehi et al. 2013). In der vorliegenden materialtechnischen Studien wurde ein Glasfaserband verwendet. In den folgenden Kapiteln wird daher auf die Grundlagen der Glasfaser, sowie deren Anwendungsgebiete eingegangen.

1.4.1 Grundlagen

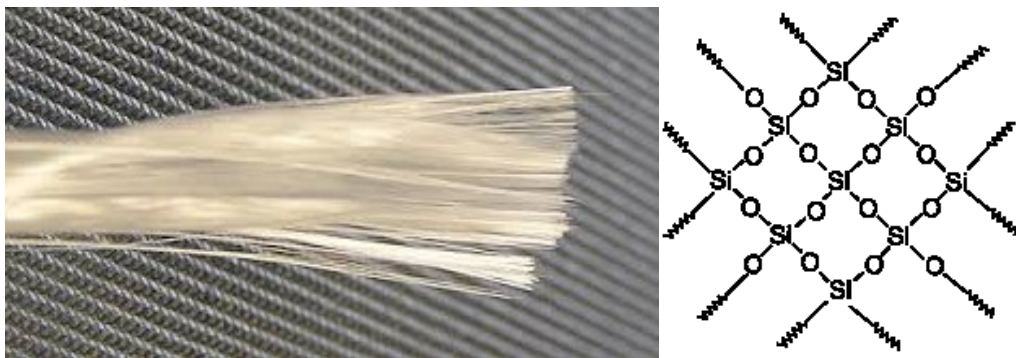


Abbildung 4: (<https://de.wikipedia.org/wiki/Glasfaser>, <https://de.wikipedia.org/wiki/Siliciumdioxid> am 18.2.21)

Chemisch betrachtet zählen Glasfasern zu den anorganischen Fasern. Starke kovalente Bindungen zwischen Sauerstoff- und Siliziummolekülen verleihen der Glasfaser eine hohe Festigkeit (Hofmann 1986).

Bei der Herstellung von Glasfasern wird Glasschmelze in lange, dünne Fäden gezogen. Diese Fäden weisen eine hohe Bruchsicherheit auf. Allerdings ist ihre Oberfläche empfindlich gegenüber Abschürfungen. Deshalb werden die Glasfasern mit einer sogenannten Schlichte veredelt.

Neben Siliziumdioxid enthalten Glasfasern außerdem unterschiedliche Metalloxide, wie zum Beispiel Aluminiumoxid oder Magnesiumoxid.

Die jeweilige chemische Zusammensetzung entscheidet über die schlussendlichen Eigenschaften der Glasfaser. Aufgrund dessen kommen Glasfasern in unzähligen Bereichen von Technik und Medizin zum Einsatz (Beyer 1963, Schürmann 2007).

1.4.2 Anwendungsgebiete

1.4.2.1 Glasfaserbänder in der Zahnheilkunde

Verfolgt man die Geschichte von faserverstärkten Werkstoffen in der Zahnheilkunde, so lässt sich feststellen, dass diese ursprünglich aus dem Fachbereich der Prothetik stammen. Zahlreiche Studien aus den 80er und 90er Jahren befassen sich mit faserverstärkten Prothesenkunststoffen. Als stellvertretendes Beispiel sei an dieser Stelle eine Studie von Vallittu et al. erwähnt. Diese Studie wurde 1994 veröffentlicht und behandelt unter anderem die transversale Belastbarkeit von acrylglasfaserverstärktem Prothesenkunststoff (Vallittu et al. 1994).

Heutzutage hat sich die Verwendung von Materialien aus Glasfasern in der Prothetik noch weiter ausgeweitet. Beispiele hierfür sind unter anderem temporäre Versorgungen, die als Überbrückung während einer laufenden Parodontaltherapie den Komfort und die Lebensqualität der Betroffenen erhöhen, bis eine abschließende parodontale Diagnose gestellt und eine definitive prothetische Versorgung geplant werden kann. Ein anderes Beispiel sind Glasfaserstifte, die anstelle von metallischen Stiftaufbauten in den präparierten Wurzelkanal eingebracht werden und als Basis für eine anschließende Kronen-, Brücken- oder Teleskopversorgung dienen können. Vor allem im Frontzahnbereich unter vollkeramischen Kronen spielen Glasfaserstifte in Bezug auf die Ästhetik eine wichtige Rolle.

Das Glasfaserband ist vor allen Dingen aus dem Fachbereich der Parodontologie bekannt. Es handelte sich dabei um temporäre Schienungen zur Behandlung chronischer Parodontitis.

Temporäre Schienen dienen auch in der Traumatologie zur Stabilisierung gelockerter Zähne. 2012 berichteten Berthold et al. in ihrer In-vitro-Studie über die Rigidität von Glasfaserbändern in Gegenüberstellung zu sowohl einerseits flexiblen, als auch andererseits rigiden Drähten (Berthold et al. 2012).

2008 untersuchten Vittorio Cacciafesta et al. in einem Drei-Punkt-Biegeversuch Glasfaserbänder in zwei unterschiedlichen Stärken und kieferorthopädische Stahldrähte mit jeweils vier verschiedenen Durchmessern. Am stabilsten waren die Glasfaserbänder mit einer Dicke von 1,2 Millimetern. Die geringste Stabilität hatten die dünnsten Stahldrähte mit einem Durchmesser von 0,016x0,025 Inch. Keine statistisch signifikanten Unterschiede konnten zwischen den Glasfaser-Retainern mit einer Dicke von 0,6 Millimetern und den Stahldrähten mit einem Durchmesser von 0,017x0,025 Inch festgestellt werden. Demzufolge können Glasfaserbändern als eine ästhetische Alternative in der kieferorthopädischen Behandlung in Betracht gezogen werden, beispielsweise um Verankerungs-Units zu bilden (Cacciafesta et al. 2008).

Die ästhetische Komponente von faserverstärkten Retainern untersuchte Cacciafesta bereits zuvor in einer Studie aus dem Jahr 2005 (Cacciafesta et al. 2005).

Die Rolle des jeweils verwendeten Bondings findet in klinischen Studien offensichtlich nur geringe Aufmerksamkeit. Zu unter anderem dieser Schlussfolgerung gelangen Anca Victoria Labunet und Mîndra Badea in ihrem Review aus dem Jahr 2015 über die In Vivo-Überlebensrate von orthodontischen Retainern. Labunet und Badea fassen acht klinische Studien über geklebte Retainer aus Glasfaser, Polyethylenfaser und mehrfach verseiltem Stahldraht zusammen (Labunet und Badea 2015). Vier dieser Studien beschäftigen sich ausschließlich mit verschiedenen Stahldraht-Retainern und deren Anwendungstechniken (Störmann und Ehmer 2002; Lie Sam Foek 2008; Taner und Aksu 2012; Panis et al. 2013). Eine Studie handelt von Polyethylenfasern (Salehi et al. 2013). Die restlichen drei Studien befassen sich mit einem Vergleich von Glasfaser-Retainern.

Tacke et al. führten im Jahre 2010 eine prospektive Studie über den Vergleich von Glasfaser-Retainern und Twistflex-Retainern durch. Es nahmen 259 Patientinnen und Patienten mit einem Durchschnittsalter von 14 Jahren teil. Die Studienteilnehmer wurden über einen Zeitraum von zwei Jahren hinweg beobachtet. Es wurden zwei verschiedene Arten von Glasfaser-Retainern verwendet: zum einen solche, die 500 in dieselbe Richtung verlaufende Glasfasern enthielten und zum anderen solche, die 1000 in dieselbe Richtung verlaufende Glasfasern enthielten.

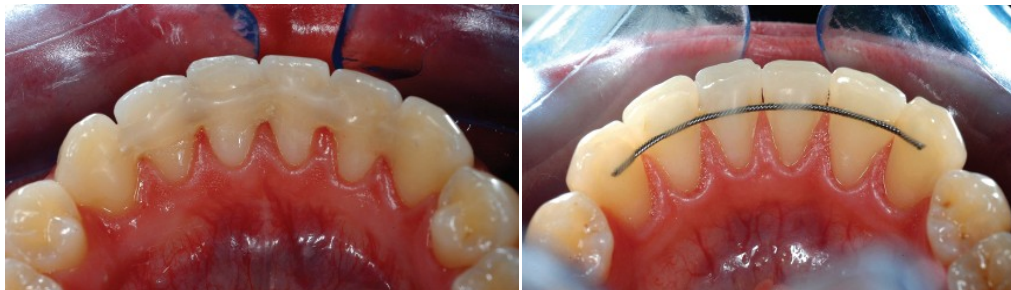


Abbildung 5: Glasfaser-Retainer (links) und Twistflex-Retainer (rechts) (Tacke et al. 2010)

Die Fehlerrate der Glasfaser-Retainer lag in Michel P. E. Tackens Studie mit 51 Prozent um ein Vielfaches höher als die Fehlerrate der Twistflex-Retainer, von denen nur zwölf Prozent während des Beobachtungszeitraums versagten. Darüber hinaus stellten Tacke et al. fest, dass diejenigen Patientinnen und Patienten, welche einen Glasfaser-Retainer trugen, einen höheren BOP-Wert hatten im Vergleich zu den Studienteilnehmern, die einen Twistflex-Retainer trugen. Dabei spielte es keine Rolle, ob ein Glasfaser-Retainer mit 500 Fasern oder mit 1000 Fasern getragen wurde. Beim Vergleich mit einer Kontrollgruppe, die gar keinen Retainer trug, lag der BOP ohne Retainer signifikant niedriger als mit Glasfaser- oder Twistflex-Retainer. Ebenso verhielt es sich mit dem Plaque-Index, welcher bei Patienten, die keinen Retainer trugen, signifikant niedrigere Werte ergab (Tacke et al. 2010).

Eugenio Bolla et al. veröffentlichten im Jahr 2012 eine Studie, in welcher sie 85 Teilnehmerinnen und Teilnehmer über einen relativ langen Zeitraum von sechs Jahren beobachtet hatten. Die Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer trugen entweder einen Glasfaser-Retainer oder einen Twistflex-Retainer mit einem Durchmesser von 0,0175 Inch. Mit einer Fehlerrate von 11,76 Prozent lagen die Glasfaser-Retainer etwas besser als die Twistflex-Retainer mit einer Fehlerrate von 15,62 Prozent. Die Unterscheide zwischen den beiden untersuchten Retainern war statistisch nicht signifikant (Bolla et al. 2012).

Maria-Francesca Sfondrini et al. untersuchten zwei Jahre später ebenfalls Glasfaser-Retainer in Gegenüberstellung zu Twistflex-Retainern. Die prospektive, randomisierte Vergleichsstudie zählte 87 Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer im Durchschnittsalter von 24 Jahren. Der Beobachtungszeitraum betrug ein Jahr. Nach einem Jahr konnte bei den Twistflex-Retainern eine statistisch signifikant höhere Fehlerrate verzeichnet werden im Vergleich zu den Glasfaser-Retainern (Sfondrini et al. 2014).

Insgesamt ergeben die Studien keine eindeutigen Ergebnisse bezüglich der klinischen Verlässlichkeit von Glasfaser-Retainern. Ein Hauptproblem scheint das Debonding darzustellen.

Daher kommen Anca Victoria Labunet und Mîndra Badea in ihrem Rückblick von 2015 zu der Schlussfolgerung, dass auf Grund der nicht eindeutigen Studienlage, der Twistflex-Retainer weiterhin als Goldstandard in der Retention nach einer kieferorthopädischer Behandlung gilt (Labunet und Badea 2015).

1.4.2.2. Glasfaserbänder in anderen Sparten

Nicht nur in der Zahnheilkunde stellen Glasfasern einen vielseitig einsetzbaren Werkstoff dar, sondern auch in anderen Gebieten der Medizin, wie zum Beispiel in der plastischen Chirurgie (Ahn et al. 2003) oder bei der Schienung von Knochenbrüchen (Baker et al. 2012; Martynov et al. 2020).

Sogar in der Tiermedizin gelangen Glasfasern zur Anwendung, wie eine Studie über Olecranon-Frakturen bei Rindern berichtet (Sangwan et al. 2020). Außerdem kommen sie in der Industrie zum Einsatz. Die Dimensionen dieser Bänder sind klarerweise um vieles größer als jene in der Zahnheilkunde gebräuchlichen.

1.4.3 Allergien

Wie bereits erwähnt stellen Glasfaserbänder eine ästhetische Alternative zu herkömmlichen Retentionsgeräten aus Metall dar. Darüber hinaus bieten Werkstoffe aus Glasfasern auch eine alternative Möglichkeit in der Behandlung von Patientinnen und Patienten, die auf Bestandteile metallischer Materialien, wie zum Beispiel Nickel, allergische Reaktion zeigen.

Durch kieferorthopädische Apparaturen induzierte, allergische Kontaktreaktionen sind in den meisten Fällen auf Nickel zurück zu führen. Edelstahldrähte, zu denen auch der Twistflex-Retainer gehört, besitzen allerdings nur einen sehr geringen Nickelanteil von circa acht Prozent. Außerdem liegt der in Edelstahl vorhandene Nickel gebunden als kristallines Gitter vor und kann dementsprechend nicht frei mit der Umgebung reagieren. Es ist daher sehr unwahrscheinlich, dass durch Edelstahldrähte eine allergische Reaktion hervorgerufen wird. Bei einer Nickel-Titan-Legierung allerdings kann der Nickelanteil bis zu 50 Prozent betragen. Durch diesen hohen Anteil kann es zu einer Abgabe von Nickel in den Mundraum kommen und es kann sich eine Allergie manifestieren (Rahilly & Price 2003).

Eine Arbeit von Dr. James Noble et al. aus dem Jahr 2008 beinhaltet unter anderem zwei Fallberichte über allergische Reaktionen im Rahmen kieferorthopädischer Behandlungen. Im ersten Fall klagte die 31-jährige Patientin über ein Taubheitsgefühl sowie eine Schwellung der Lippen. Die zweite Patientin war 15 Jahre alt und beschrieb mehrere Symptome, wie unter anderem Juckreiz und Brennen im Mund-Rachenraum. Beide Patientinnen trugen Brackets mit Nickel-Titan-Drähten. Nachdem diese durch Edelstahl-Drähte ersetzt worden waren, verschwand die Symptomatik bei beiden Patientinnen. Im ersten Fall wurde der verwendete Nickel-Titan-Draht anschließend einer Laboruntersuchung unterzogen, in der die Freisetzung von Nickel geprüft wurde. Der Test lieferte ein negatives Ergebnis. Allerdings wurden in die Laborbedingungen eine mögliche Interaktion von Speichel, Nahrung oder Mund- und Zahnpflegeprodukten nicht mit einbezogen (Noble et al. 2008).

Aufgrund der erwähnten Allergieproblematik bei metallischen Materialien sind Untersuchungen von Produktalternativen von größter Wichtigkeit.

Bezüglich Effloreszenzen im Rahmen eines Kontaktes mit Glasfasern wird berichtet (Camacho et al. 2019), jedoch handelt es sich häufiger um mechanische Irritationen als um Allergien per se.

1.5 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich des Titanium Trauma Splints und des Super Splints mit dem Twistflex-Retainer als Kontrollgruppe. Verglichen werden die Materialeigenschaften in einem Zugversuch. Anhand der Ergebnisse wird diskutiert, ob die Zugfestigkeit des TTS und des Super Splints mit der des Twistflex-Retainers vergleichbar ist.

2 Material und Methoden

2.1 Verwendete Materialien

Im Rahmen dieser materialtechnischen Studie wurden folgenden Produkte verwendet:

- a) Twistflex-Retainer der Firma Sirona Dentsply
- b) Titanium Trauma Splint der Firma Henry Schein
- c) Super Splint der Firma Hager und Werken (Abb. 6)

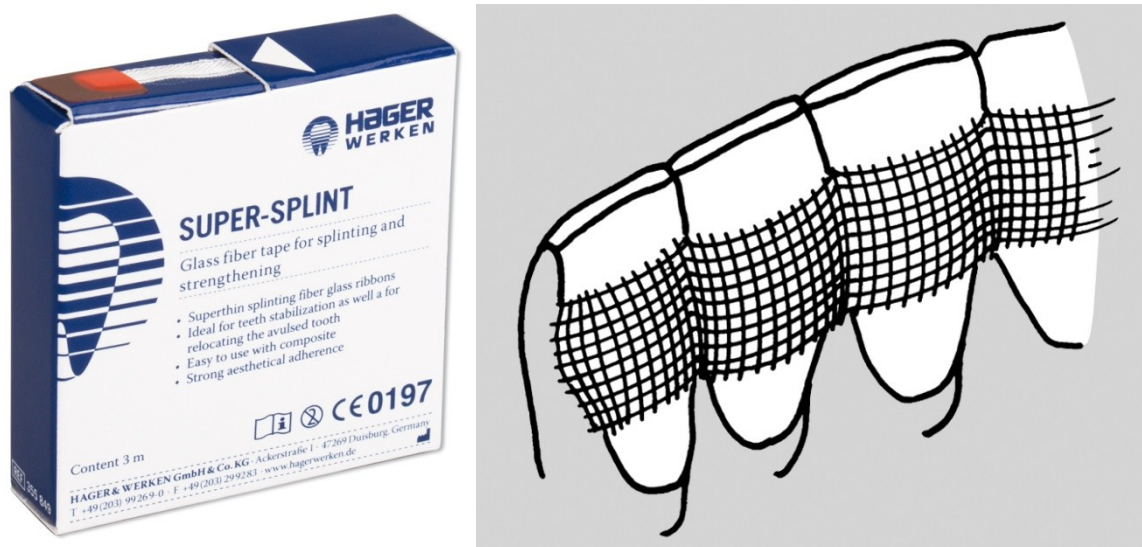


Abbildung 6: Super Splint <https://www.hagerwerken.de/wp-content/uploads/2018/04/Super-Splint-P-01.jpg> am 10.11.20

Nachfolgende Tabelle zeigt die jeweilige Anzahl und Dimension sowie das Material der verwendeten Produkte:

	Dimension	Anzahl	Material
Twistflex	0,0175 "	30	Edelstahl
	0,0215 "	30	
Titanium Trauma Splint	Ganz	10	Nickel-Titan
	Halb	10	
Super Splint	0,2 mm	30	Glasfaser
	0,5 mm	30	
	0,8 mm	30	

Tabelle 4: Anzahl, Dimension und Material der verwendete Produkte

2.2 Vorbereitung der Twistflex-Retainer

Die als Stangendraht gelieferten Drahtstücke wurden pro Drahtdimension mit einem Saitenschneider in jeweils 30 gleich lange Stücke von vier Zentimetern Länge geschnitten. Daraus ergaben sich insgesamt 60 Werkstücke.

2.3 Vorbereitung der Titanium Trauma Splints

15 Titanium Trauma Splints der Firma Henry Schein wurden mit einem Saitenschneider in vier Zentimeter lange Stücke geschnitten. Anschließend wurde ein Drittel der Stücke *der Länge nach* halbiert (Abb.7), woraus sich zehn halbe Stücke ergaben.

Zusammen mit den zehn ungeteilten Stücken standen daher 20 Splint-Teile für die Testung zur Verfügung.

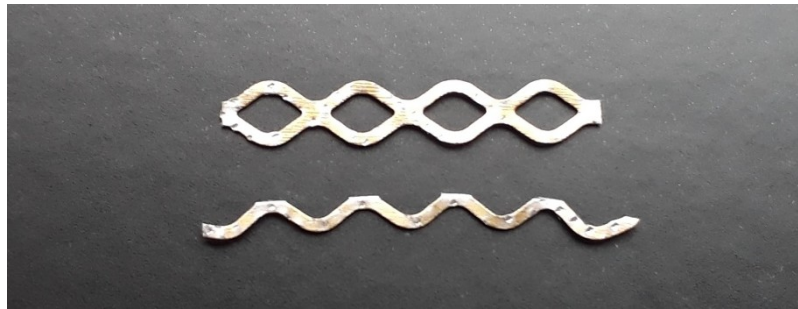


Abbildung 7: Titanium Trauma Splint original und halbiert

Wesentlich aufwändiger gestaltete sich die Herstellung der Glasfaser-Retainer.

2.4 Herstellung der Glasfaser-Retainer

2.4.1 Anfertigung der Schablone

Um zu gewährleisten, dass die Glasfaser-Retainer möglichst einheitlich gestaltet werden können, wurde zunächst eine Schablone hergestellt.

Dies ist im Besonderen in Bezug auf die letztendliche Schichtstärke der Glasfaser-Retainer von wesentlicher Bedeutung.

Für die Schablone wurden Silikone verwendet.

Silikone besitzen einige materialtechnische Vorteile. Aufgrund dieser speziellen Materialeigenschaften sind sie für die Herstellung von Schablonen ideal geeignet.

Erstens verfügen Silikone über eine hohe Widerstandsfähigkeit und Robustheit.

Vor allem bei der Reinigung der Schablone erwies sich dieser Vorteil als äußerst nützlich. Die Schablone wurde nach jedem einzelnen Glasfaser-Retainer mit einem Desinfektionstuch von Bonding- und Flowable Composite-Resten befreit.

Das bedeutet konkret, dass die Schablone insgesamt über hundert Mal gereinigt wurde. Das Silikon zeigte nach diesen zahlreichen Reinigungsvorgängen keinerlei Anzeichen einer Veränderung oder gar Beschädigung.

Zweitens haben Silikone den großen Vorteil der Elastizität.

Die Glasfaser-Retainer konnten aufgrund der elastischen Eigenschaft des Silikons mühelos aus der Schablone heraus gelöst werden.

Die Gefahr der Beschädigung einerseits des Glasfaser-Retainers, andererseits der Schablone während des Herauslösen, bestand somit nicht.

Drittens gehen Silikone vor und während der Polymerisation keine Bindung ein, weder mit dem Bonding noch mit dem Flowable Composite.

Ansonsten wäre die Entnahme des Glasfaser-Retainers aus der Schablone nach erfolgter Polymerisation unmöglich gewesen.

Die eben beschriebenen Vorteile von Silikon waren maßgeblich dafür verantwortlich, dass mit einer einzigen Schablone über hundert Glasfaser-Retainer hergestellt werden konnten. Der essentielle Vorteil bei der Verwendung immer derselben Schablone besteht darin, dass sich bei den Glasfaser-Retainern keine durch unterschiedliche Schablonen bedingten Abweichungen ergaben.

So konnte nicht nur durch die Schablone per se, sondern auch durch eine geeignete Materialauswahl beim Anfertigen der Schablone eine größtmögliche Standardisierung der Glasfaser-Retainer erzielt werden.

Es wurde zum einen ein Heavy-Body-Silikon beziehungsweise Putty-Silikon (Aquasil) und zum anderen ein Light-Body-Silikon (Express) verwendet.

Zuerst wurde das Putty-Silikon gemäß Herstellervorgaben händisch angemischt.

Anschließend wurde mit diesem ein zuvor präpariertes Kunststoffstück abgeformt, das mit einem Skalpell auf folgende Maße zurechtgeschnitten worden war:

Länge: 4 cm

Breite: 4 mm

Die Breite wurde deshalb in diesem Ausmaß angefertigt, weil die Breite des Glasfaserbandes vier Millimeter beträgt.

Das Kunststoffstück wies eine Schichtstärke von 0,8 Millimetern auf.

Um eine noch exaktere Schablone zu erhalten, wurde das Kunststoffstück zusätzlich mit einem Light-Body-Silikon abgeformt (Abb.8).

Es handelte sich also um zweiphasiges, zweizeitiges Verfahren.

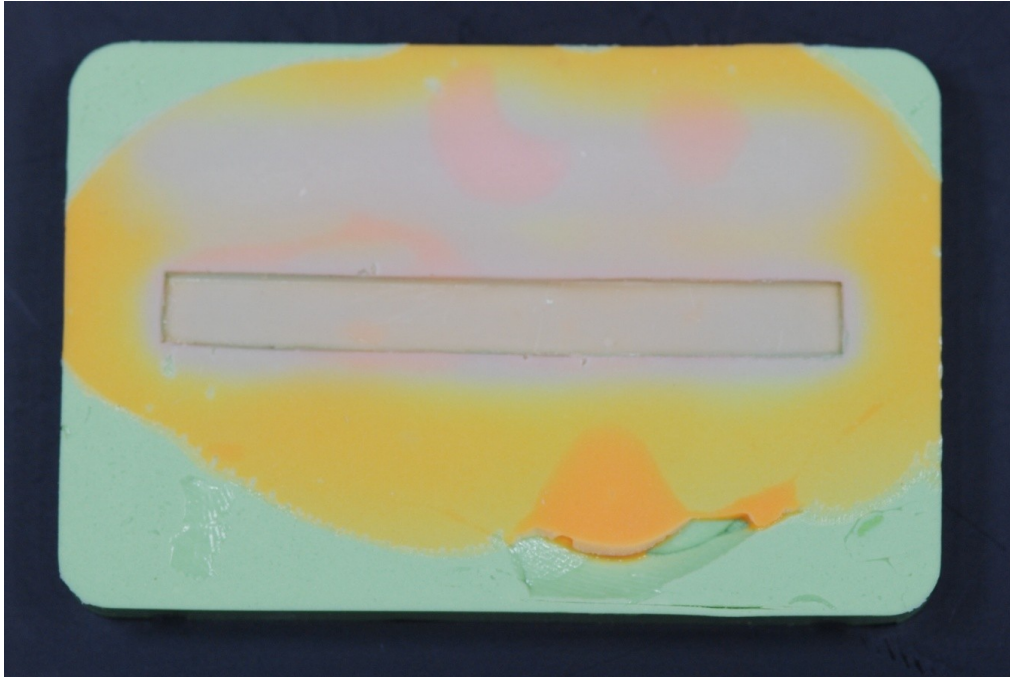


Abbildung 8: Schablone

2.4.2 Herstellung des Glasfaser-Prototypen

Als Erstes wurde das Glasfaserband mit einer Schere in vier Zentimeter lange Stücke geschnitten.

Die Breite des SuperSplints beträgt vier Millimeter. Aus diesem Grund war im Vorfeld beim Anfertigen der Schablone darauf geachtet worden, dass das verwendete Kunststoffstück ebenfalls vier Millimeter maß.

Das vier Zentimeter lange Glasfaserstück konnte somit passgenau in die Schablone eingefügt werden (Abb. 9).

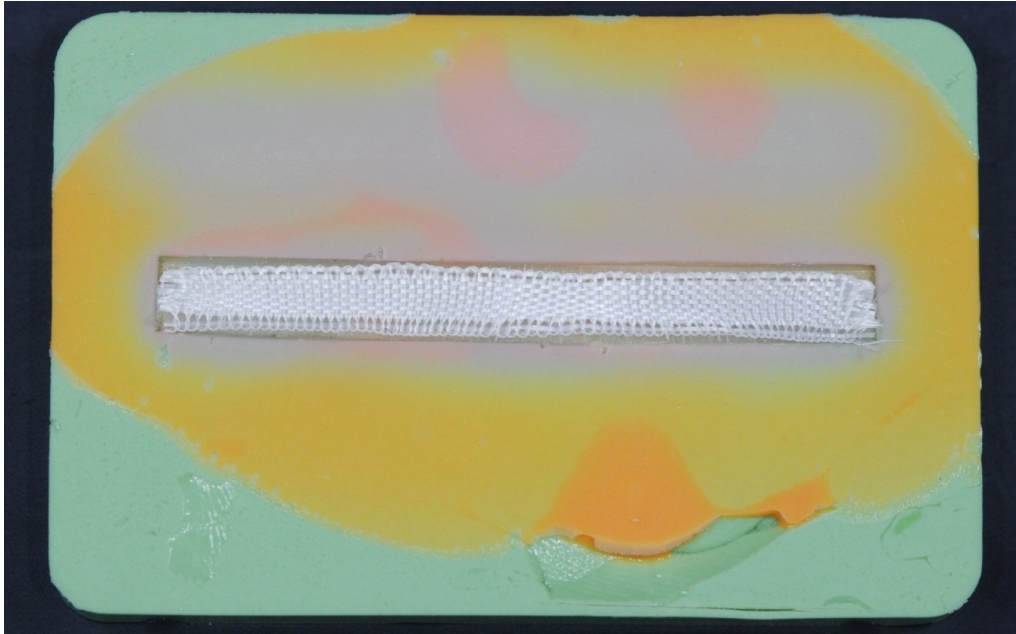


Abbildung 9: Glasfaserband in der Schablone

2.4.2.1 Bonding

Als Zweites wurde ein Tropfen Bonding (Heliobond, Abb. 10) auf jene Fläche der Schablone verteilt, welche seitlich der Vertiefung lag (Abb. 11). Damit sollte einerseits verhindert werden, dass zu viel flüssiges Bonding in die Ausnehmung fließt und andererseits ermöglicht werden, dass das Glasfaserband durch den Tropfen mit Hilfe einer Pinzette durchgezogen werden konnte (Abb. 12).

Mit selbiger wurde anschließend das Bonding gleichmäßig auf dem gesamten Glasfaserstück verteilt (Abb.13).

Danach wurde das gebondete Glasfaserband mit einer Polymerisationslampe (800 nm) unter folgender Einstellung lichtgehärtet (Abb. 14):

Zeit: 20 Sekunden

Modus: Softstart

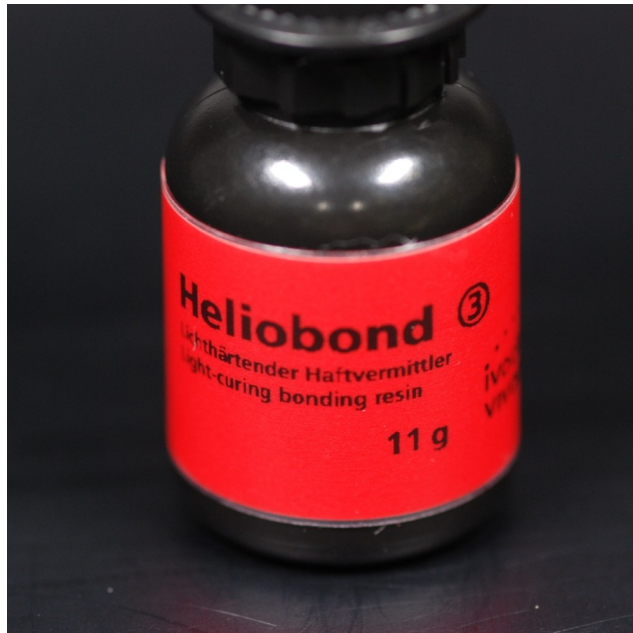


Abbildung 10: Bonding

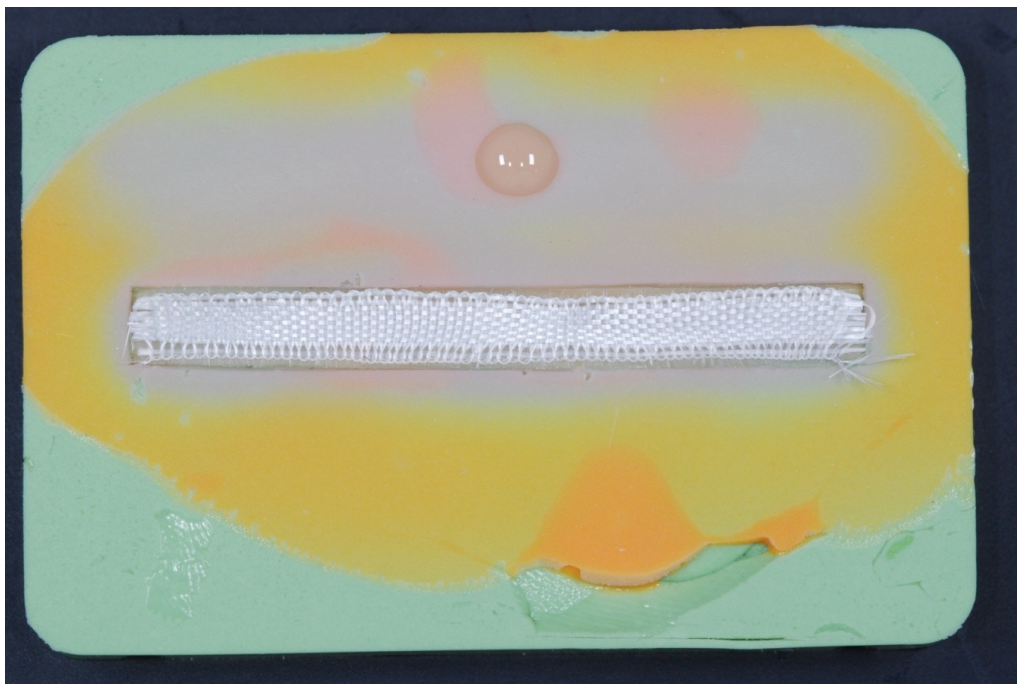


Abbildung 11: Auftropfen des Bondings auf die Schablone

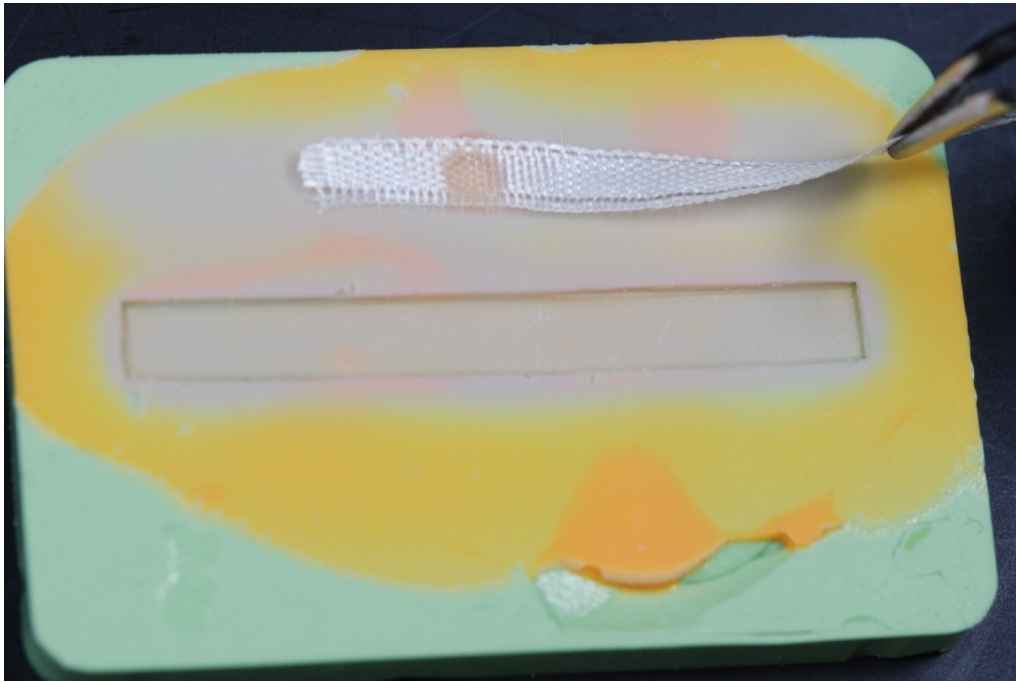


Abbildung 12: Hindurchziehen des Glasfaserbandes durch das Bonding

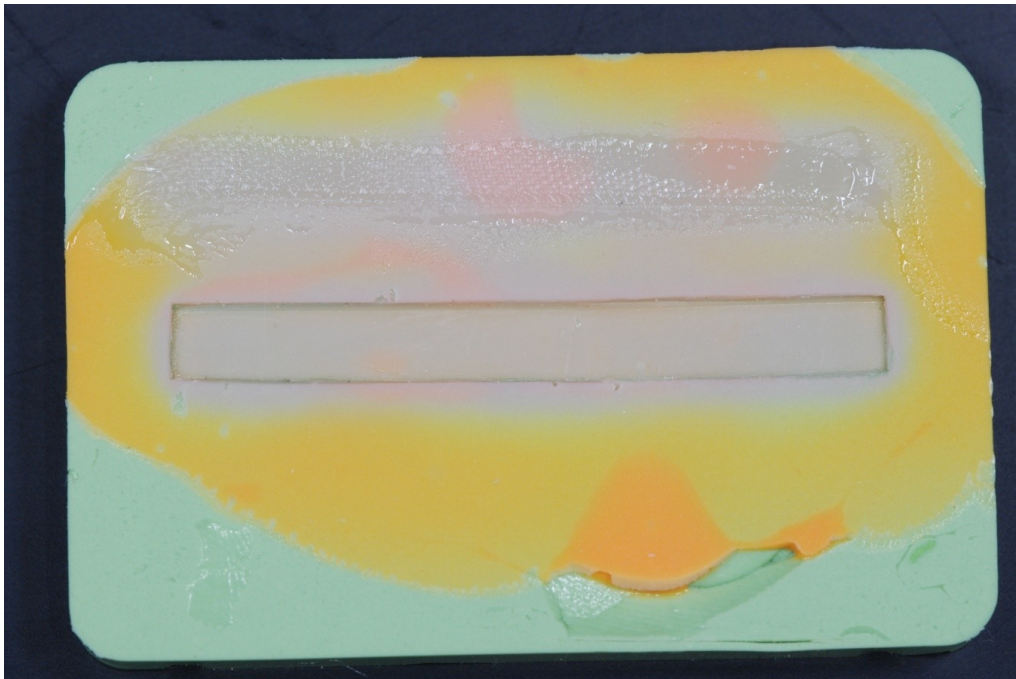


Abbildung 13: Gebondetes Glasfaserband

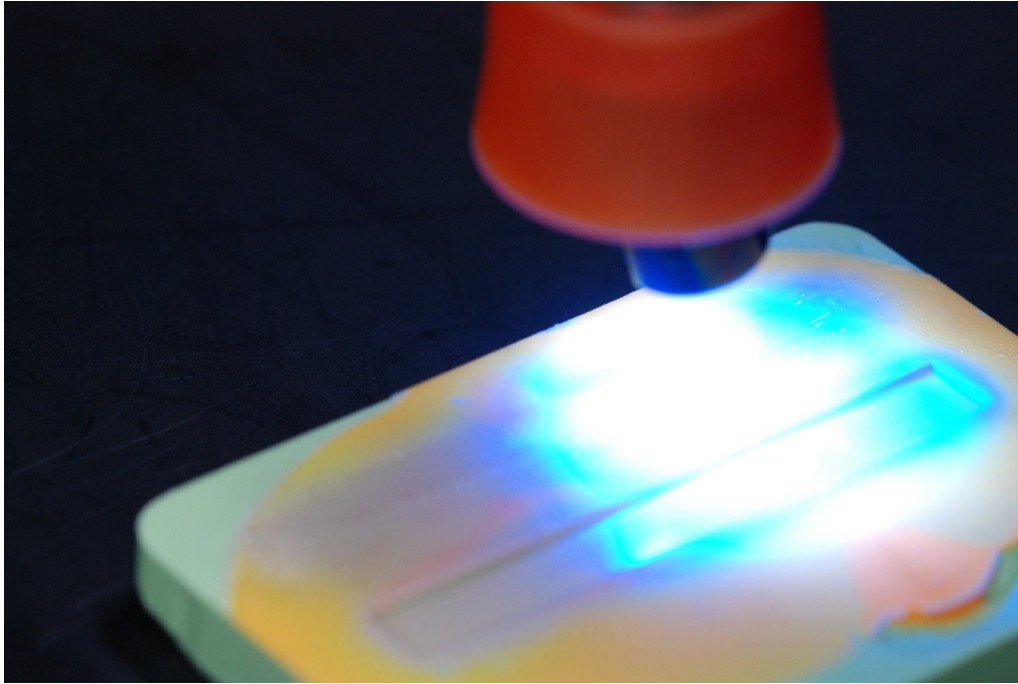


Abbildung 14: Polymerisation

2.4.2.2 Flowable Composite

Als Drittes wurde das gebondete Glasfaserband mit einer dünnen Schicht Flowable Composite (Evo Tetric, Abb. 15) überzogen. Auf die genaue Schichtstärke wird in Kapitel 2.4.3 genauer eingegangen.

- 1) Zu Beginn wurde Flowable Composite (der Einfachheit halber im Folgenden "Flow" bezeichnet) am Boden der Schablone appliziert (Abb. 16).
- 2) Das gebondete Glasfaserband wurde vorsichtig mit einer Pinzette in die Schablone gelegt. Wie beim vorangegangenen Bonding wurde hier wieder mit der Pinzette sichergestellt, dass das Flow homogen unter dem Glasfaserband verteilt war (Abb. 17).
- 3) Als Nächstes wurde erneut Flow appliziert. Diesmal wurde das Flow auf das Glasfaserband aufgetragen und mit der Pinzette gleichmäßig verteilt.

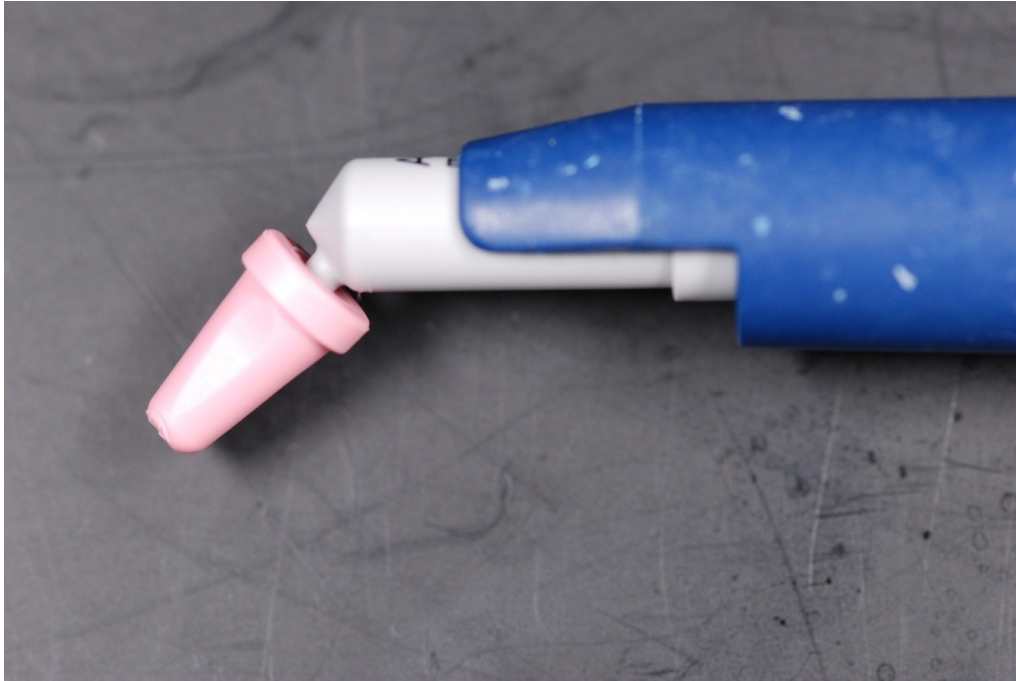


Abbildung 15: Flowable Composite

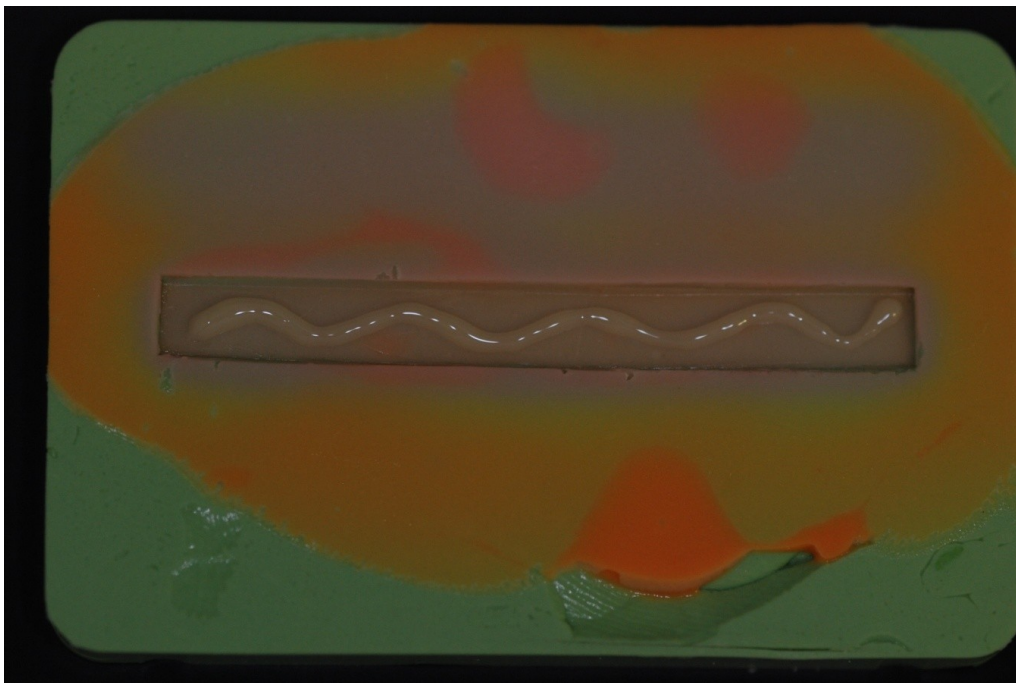


Abbildung 16: Applikation des Flowable Composite am Boden der Schablone

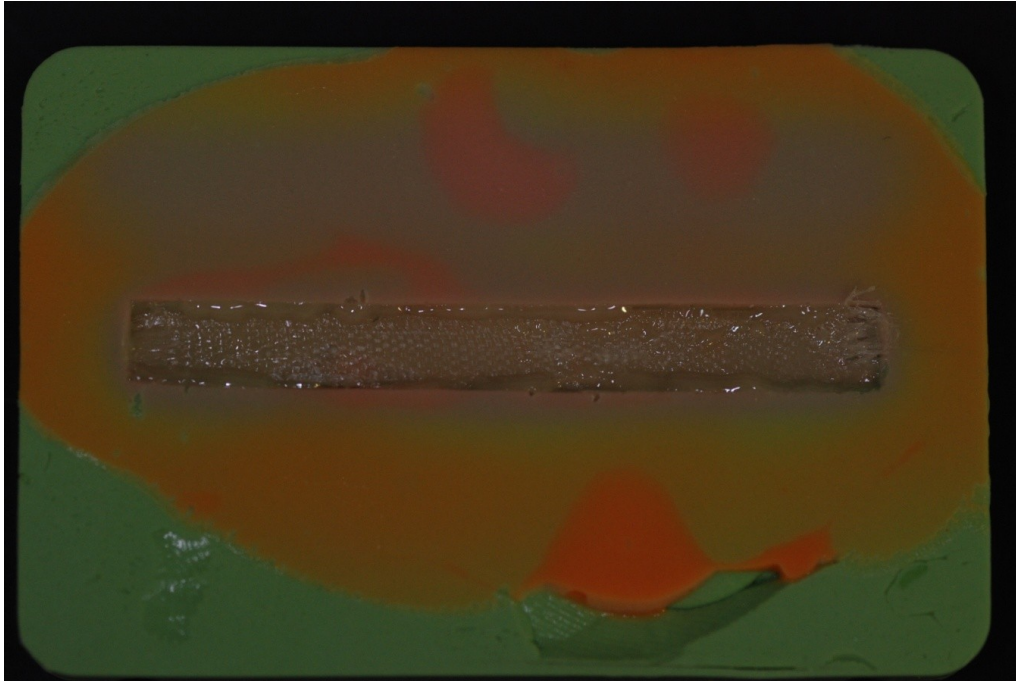


Abbildung 17: Einbringen des gebondeten Glasfaserbandes in die Schablone

Damit der Glasfaser-Retainer nicht nur auf der Unterseite, sondern auch auf der Oberseite, über eine glatte Oberfläche verfügt, wurde ein Objektträger auf die Schablone gelegt und mit moderatem Druck angepresst (Abb. 18).



Abbildung 18: Anpressen des Objektträgers mit moderatem Druck



Abbildung 19: Nach der Auspolymerisation

In diesem Zustand wurde der Glasfaser-Retainer zweimal unter in Kapitel 2.4.2.1 bereits genannten Einstellungen ausgehärtet (Abb. 19).

Nach erfolgter Auspolymerisation wurde der Objektträger zusammen mit dem Glasfaserband von der Schablone abgehoben. Anschließend wurde das Glasfaserband mit Hilfe eines Skalpell vorsichtig vom Objektträger getrennt. Das gesamte Equipment wurde gereinigt und mit Alkohol desinfiziert.

Das Arbeitsmaterial war dadurch für die Herstellung der nächsten Werkstücke wieder einsatzbereit.

Bevor der fast fertige Glasfaser-Retainer dem weiteren Prozedere zugeführt werden konnte, wurde er der folgenden Ausarbeitung unterzogen:

2.4.2.3 Ausarbeitung

Die Ausarbeitung des Glasfaser-Retainers erfolgte nach Entnahme desselben aus der Schablone.

Sowohl überstehende Fahnen des Flowable Composites wie auch eventuelle Unebenheiten an der Oberfläche des Glasfaser-Stückes wurden mittels Schleifpapier manuell korrigiert (Kunststoffschleifpapier, 240er Körnung, Abb. 20).



Abbildung 20: Schleifpapier



Abbildung 21: Glasfaser-Retainer vor der Ausarbeitung



Abbildung 22: Glasfaser-Retainer nach der Ausarbeitung

Die Ausarbeitung erfolgte soweit, dass der Glasfaser-Retainer definierte Kanten und eine glatte Oberfläche aufwies (Abb. 21 und Abb. 22). Damit war der erste Prototyp des in dieser materialtechnischen Studie verwendeten Glasfaser-Retainers fertig.

Zunächst wurden neun weitere Glasfaser-Retainer auf die in Kapitel 2.4.2 beschriebene Weise hergestellt. Mit diesen zehn Prototypen wurden erste Probemessungen an der Instron-Maschine durchgeführt. Anhand dieser Probemessungen und derer Ergebnisse sollten etwaige Fehlerquellen und material- sowie messtechnische Problemstellungen im Vorfeld ausgeschaltet werden.

Das Probematerial verhielt sich während den Messungen den Erwartungen entsprechend. Die Messergebnisse befanden sich ebenfalls im plausiblen Bereich. Lediglich eine Einstellung an der Instron-Maschine musste im Rahmen der Probemessungen angepasst werden, um einen effizienten Messvorgang gewährleisten zu können.

Detaillierte Erklärungen zu den Messungen an der Instron-Maschine sind dem Kapitel 2.5 zu entnehmen.

Nach den erfolgreich verlaufenen Probemessungen konnte die Serienproduktion der Glasfaser-Retainer gestartet werden.

Es wurde eine Anzahl von 30 Glasfaser-Retainern mittels des zuvor beschriebenen, standardisierten Prozederes hergestellt.

Da das Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war, ein umfangreiches Wissen über die Materialeigenschaften von Glasfaser-Retainer zu sammeln, erschien es sinnvoll diese in zwei weiteren Schichtstärken herzustellen und zu vermessen.

Die Idee bestand darin, Glasfaser-Retainer von einer möglichst geringen Schichtstärke einerseits und einer ausreichender Stabilität andererseits zu fertigen. Eine geringe Schichtstärke bringt einige Vorteile im klinischen Alltag mit sich, wie zum Beispiel geringere Materialkosten und ein höherer Tragekomfort für die Patientin oder den Patienten. Andererseits muss sichergestellt werden, dass die Stabilität zumindest so groß ist, dass das Werkstück Kaubelastungen aushält.

Dem entsprechend wurden jeweils 30 weitere Glasfaser-Retainer mit Schichtstärken von 0,5 Millimetern und 0,2 Millimetern produziert.

Die Schichtstärke wurde also von 0,8 Millimeter auf 0,5 Millimeter und von 0,5 Millimeter auf 0,2 Millimeter um jeweils 0,3 Millimeter reduziert.

Um Glasfaser-Retainer mit Schichtstärken von 0,5 Millimetern und 0,2 Millimetern anfertigen zu können, musste die Schablone gemäß den neuen Maßen adaptiert werden.

2.4.3 Adaptation der Schablone

Dies bezüglich musste zuerst eine Entscheidung über die grundlegende Vorgehensweise getroffen werden. Zwei Optionen standen hierbei zur Auswahl: entweder die Neuanfertigung von zwei völlig neuen Schablonen oder ein Umbau der alten Schablone.

Die ursprüngliche Schablone wurde mittels eines Kunststoffstücks mit einer Schichtdicke von 0,8 Millimetern hergestellt. Dem zufolge bestand die Voraussetzung für eine Neuanfertigung der Schablonen in der Verfügbarkeit von Kunststoffstücken in exakt den benötigten Schichtstärken von 0,5 Millimetern und

0,2 Millimetern. Nachdem keine entsprechenden Kunststoffstücke zur Verfügung standen, war die Möglichkeit einer Neuanfertigung damit ausgeschlossen.

Der Umbau der alten Schablone gestaltete sich wie folgt:

Zuerst wurden so viele Lagen Klebeband (TesaFilm) übereinander geklebt bis eine Schichtstärke von 0,3 Millimetern erreicht war. Dies wurde mittels Schiebeleere überprüft. Anschließend wurde das Klebeband mit einem Skalpell auf eine Länge von vier Zentimetern und eine Breite von vier Millimetern zurecht geschnitten und mit der klebenden Seite nach unten mittels Pinzette in die Schablone eingelegt und angepresst. Somit war eine "Einlage" geschaffen, die die ursprüngliche Tiefe der Schablone von 0,8 Millimetern auf 0,5 Millimeter reduzierte.

Nachdem unter Verwendung dieser Einlage 30 Glasfaser-Retainer mit einer Schichtstärke von 0,5 Millimetern hergestellt worden waren, wurde eine zweite Klebeband-Einlage mit einer Dicke von 0,6 Millimetern angefertigt, die die ursprüngliche Tiefe der Schablone von 0,8 Millimetern auf 0,2 Millimeter reduzierte. Damit konnten weitere 30 Glasfaser-Retainer mit einer Schichtstärke von 0,2 Millimetern hergestellt werden.

2.5 Messung mittels Instron-Maschine

Die Zugfestigkeit der angefertigten Retainer wurde in einem Zugversuch (Abb. 23) mittels Instron-Maschine gemessen. Dazu wurde der Retainer mit dem einem Ende in den oberen Arm der Maschine und mit dem anderen Ende in den unteren Arm der Instron-Maschine eingespannt. Sobald der Messvorgang gestartet worden war, bewegten sich die beiden Arme der Instron-Maschine auseinander und der Retainer wurde der Zugbelastung solange ausgesetzt bis es zu einem Zerreißen des Retainers kam. Damit war der Messvorgang beendet, der zerrissene Retainer wurde aus der Instron-Maschine entnommen, der nächste Retainer wurde eingespannt und ein neuer Messvorgang wurde gestartet.

Die Werte der angewendeten Höchstkraft zum Zeitpunkt des Zerreißen sowie der mittleren Kraft und die Werte der Zugfestigkeit wurden vom Software-Programm der Instron-Maschine gespeichert. Anschließend wurden die genannten Werte zur statistischen Auswertung in eine Excel-Tabelle übertragen.

3 Resultate

In zwei Boxplot-Diagrammen wurden die gemessenen Werte folgender Parameter wiedergegeben:

R_m Zugfestigkeit

F_m Höchstkraft

Diese sind auf der y-Achse angegeben. Auf der x-Achse sind die Werte der drei vermessen Materialien in verschiedenen Dicken dargestellt:

Twistflex: 0,0175 und 0,0215 Inch (je 30)

Glasfaser: 0,2, 0,5 und 0,8 mm (je 30)

NickelTitan: halb und ganz (je 10)

Die Twistflex-Retainer stellen die Kontrollgruppe dar.

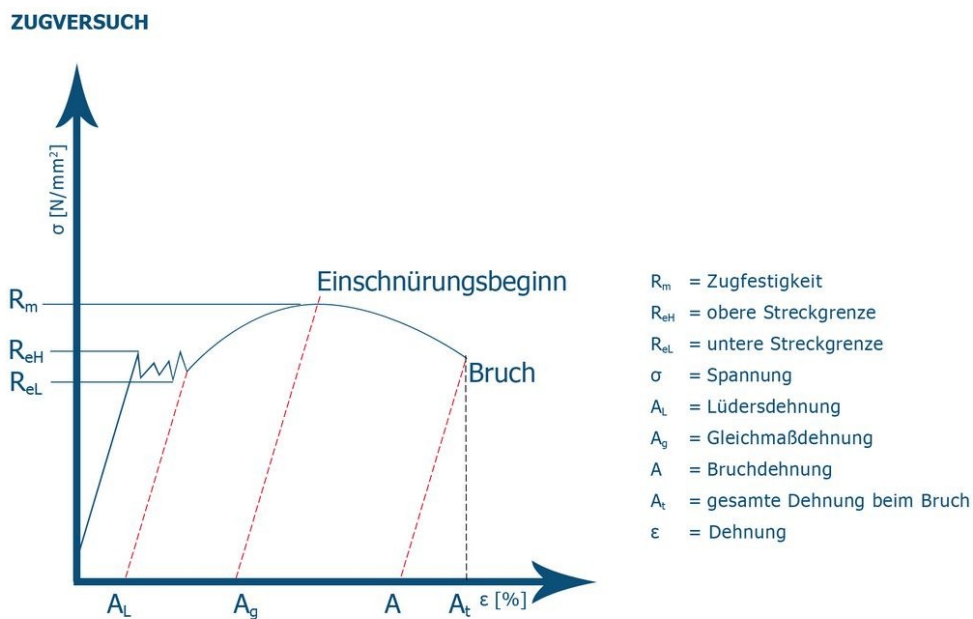


Abbildung 23: Zugversuch <https://www.stahlportal.com/externe-dienstleistungen/zugversuch/> am 9.2.21

Zugfestigkeit Rm

Die höchste Zugfestigkeit ist mit durchschnittlich 253,0 MPa eindeutig dem ganzen TTS (Titanium Trauma Splint) zuzuordnen, gefolgt von der Zugfestigkeit des halbierten TTS mit durchschnittlich 134,0 MPa.

Die geringste Zugfestigkeit erreichten die Glasfaser-Retainer. Hierbei ist festzustellen, dass die Zugfestigkeit geringer ist, je **größer** die Dicke des Glasfaser-Retainers ist. Die Glasfaser-Retainer mit einer Dicke von 0,8 mm erreichten eine mittlere Zugfestigkeit von 29,9 MPa, die 0,5 mm dicken Retainer erreichen 36,5 MPa und die Glasfaser-Retainer mit einer Dicke von 0,2 mm erzielten mit durchschnittlich 63,6 MPa die höchste Zugfestigkeit unter den Glasfaser-Retainern.

Damit liegen die 0,2 mm dicken Glasfaser-Retainer an den Werten der Kontrollgruppe am nächsten. Diese liegen insgesamt in der Mitte zwischen den Werten der TTS und der Glasfaser-Retainer. Die Twistfelx-Retainer mit einem Durchmesser von 0,0175 Inch haben eine mittlere Zugfestigkeit von 76,4 MPa und die Twistfelx-Retainer mit einem Durchmesser von 0,0215 Inch weisen eine durchschnittliche Zugfestigkeit von 101,0 MPa auf.

Die Standardabweichung ist mit Werten von 14,9 und 11,8 bei den TTS am größten. Die kleinste Standardabweichung haben die Twistfelx-Retainer mit jeweils 5,3.

Zugfestigkeit Rm

Rm [MPa]	N	Min	Max	Mittelwert	Stabw.
Twistflex 0,0175	30	56,1	82,3	76,4	5,3
Twistflex 0,0215	30	87,8	107,9	101,0	5,3
Glasfaser 0,2	30	40,1	81,7	63,6	10,0
Glasfaser 0,5	30	25,3	48,3	36,5	5,8
Glasfaser 0,8	30	11,8	46,4	29,9	7,7
NiTi ganz	10	228,3	279,7	253,0	14,9
NiTi halb	10	109,3	148,7	134,0	11,8

Fehlerdiagramm (Mittelwert und Standardabweichung)

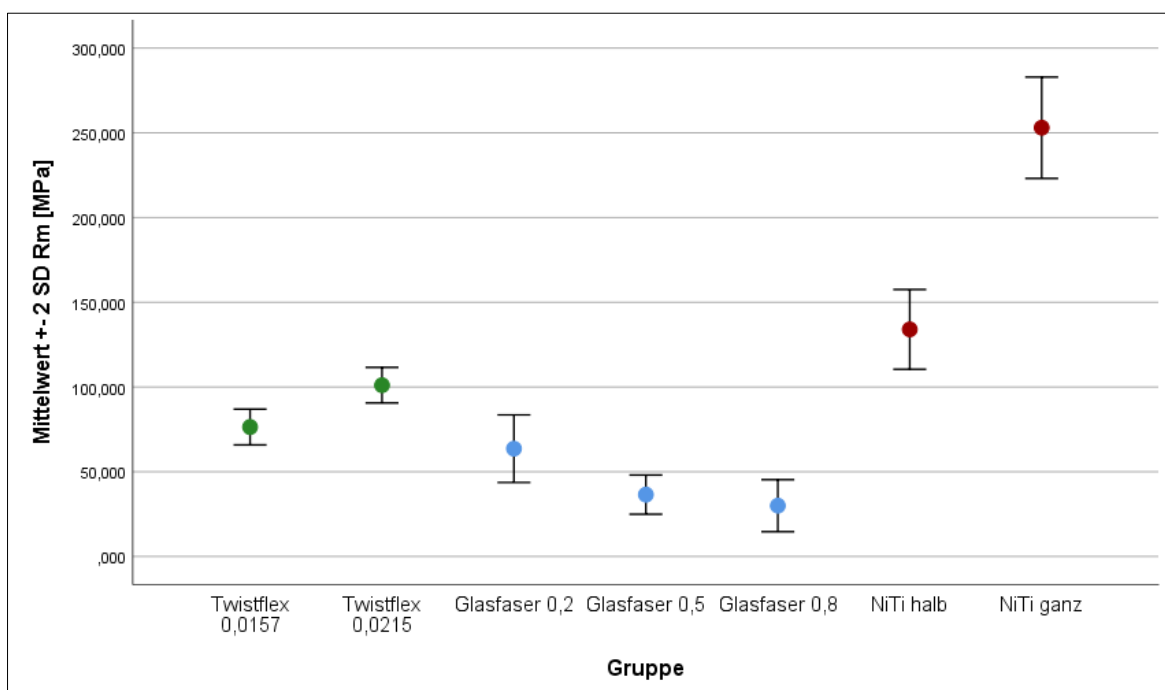


Abbildung 24: Zugfestigkeit

Statistischer Vergleich innerhalb eines Materials:

Twistflex: die beiden Dicken unterscheiden sich hochsignifikant ($p < 0,001$)

Glasfaser: die drei Dicken unterscheiden sich hochsignifikant ($p < 0,001$)

Nickel Titan: die beiden Dicken unterscheiden sich hochsignifikant ($p < 0,001$)

Statistischer Vergleich mit der Kontrollgruppe:

Glasfaser unterscheidet sich hochsignifikant von Twistflex ($p < 0,001$)

Nickel Titan unterscheidet sich hochsignifikant von Twistflex ($p < 0,001$)

Die Statistischen Vergleiche wurden mit einem *T-Test* bzw. einer *Varianzanalyse* durchgeführt.

Höchstkraft F_m

Die ganzen TTS zerreißen bei einer mittleren Höchstkraft von 0,051 kN, die halben bei 0,027 kN und weisen somit insgesamt die niedrigsten Werte auf.

Es folgen die Glasfaser-Retainer mit einer durchschnittlich aufgewendeten Höchstkraft von 0,065 kN für die Dicke von 0,2 mm, von 0,091 kN für 0,5 mm und von 0,116 kN für die Dicke von 0,8mm.

Um ein Zerreißen der Twistflex-Retainer herbeizuführen ist eine mittlere Höchstkraft von 0,191 kN beziehungsweise 0,252 kN nötig.

Die Standardabweichung ist hier im Gegensatz zur Zugfestigkeit bei den TTS am geringsten. Die Werte betragen 0,002 und 0,003. Innerhalb der Glasfaser-Retainer sind deutliche Schwankungen zu verzeichnen. Die Standardabweichung der Glasfaser-Retainer mit einer Dicke von 0,8 mm ist mit einem Wert von 0,037 überdurchschnittlich hoch.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Titanium Trauma Splints die höchste Zugfestigkeit besitzen und bei der niedrigsten Höchstkraft zerreißen.

Die Glasfaser-Retainer erreichen die niedrigste Zugfestigkeit und zerreißen bei einer Höchstkraft im mittleren Bereich.

Die Twistflex-Retainer als Kontrollgruppe haben im Vergleich eine mittlere Zugfestigkeit und die angewendete Höchstkraft ist am höchsten.

Höchstkraft Fm

Fm [kN]	N	Min	Max	Mittelwert	Stabw.
Twistflex 0,0175	30	0,140	0,206	0,191	0,013
Twistflex 0,0215	30	0,219	0,270	0,252	0,013
Glasfaser 0,2	30	0,040	0,096	0,065	0,012
Glasfaser 0,5	30	0,063	0,121	0,091	0,014
Glasfaser 0,8	30	0,010	0,185	0,116	0,037
NiTi ganz	10	0,046	0,056	0,051	0,003
NiTi halb	10	0,022	0,030	0,027	0,002

Fehlerdiagramm (Mittelwert und Standardabweichung)

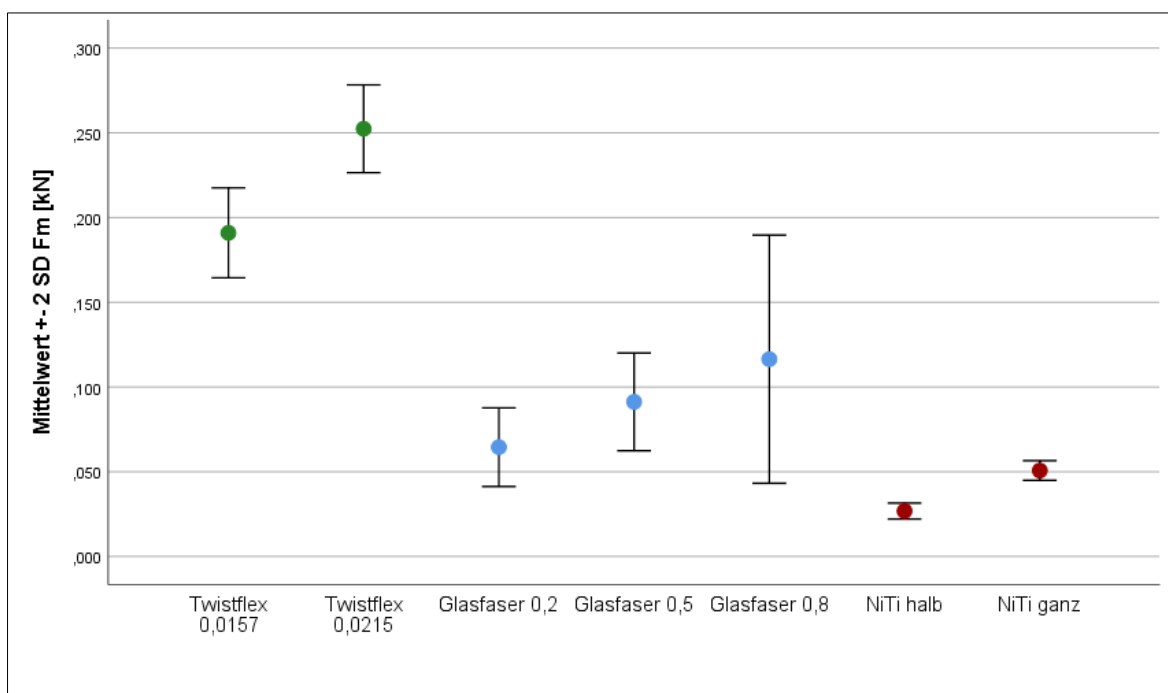


Abbildung 25: Höchstkraft

Statistischer Vergleich innerhalb eines Materials:

Twistflex: die beiden Dicken unterscheiden sich hochsignifikant ($p < 0,001$)

Glasfaser: die drei Dicken unterscheiden sich hochsignifikant ($p < 0,001$)

Nickel Titan: die beiden Dicken unterscheiden sich hochsignifikant ($p < 0,001$)

Statistischer Vergleich mit der Kontrollgruppe:

Glasfaser unterscheidet sich hochsignifikant von Twistflex ($p < 0,001$)

Nickel Titan unterscheidet sich hochsignifikant von Twistflex ($p < 0,001$)

Die Statistischen Vergleiche wurden mit einem *T-Test* bzw. einer *Varianzanalyse* durchgeführt.

Betrachtet man speziell den NiTi-Splint, so verfügte dieser laut Zugversuch über die höchste Zugfestigkeit gegenüber dem Glasfaser- und dem Twistflex-Retainer. Gleichzeitig war die angewendete Höchstkraft am geringsten. Dies bedeutet eine hohe Elastizität des Materials, welche auch in Abbildung 26 sehr gut zu erkennen ist. Es ist eine starke Verformung des Materials, die vor dem Zerreißen des Titanium Trauma Splint eintrat, sichtbar.

Bei den Twistflex- und Glasfaser-Retainern war eine solche Verformung nicht zu beobachten (Abb. 27).

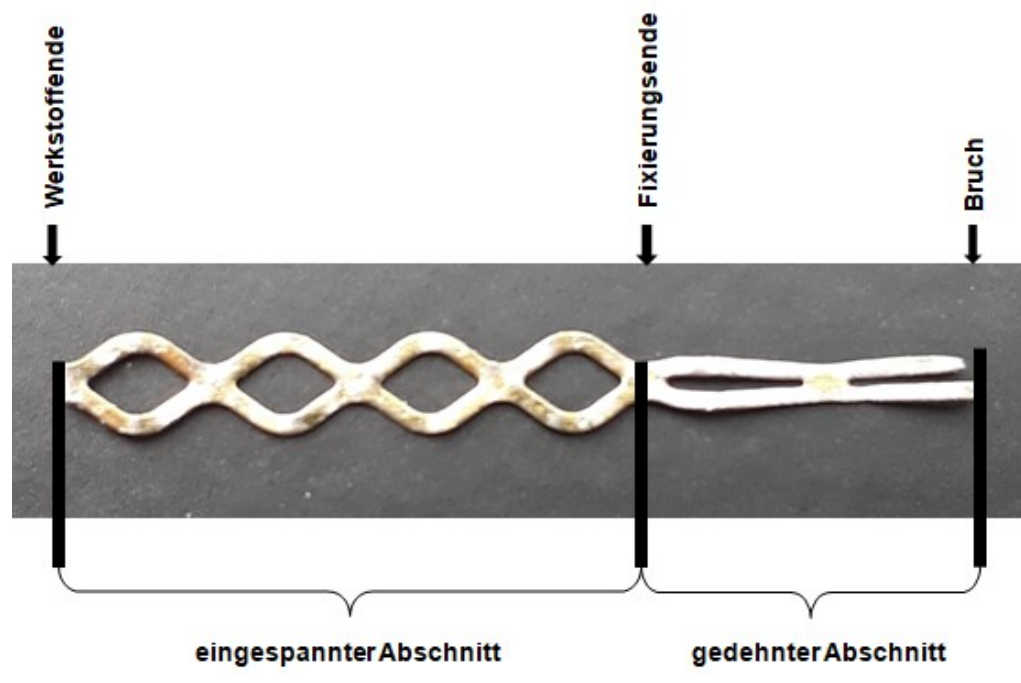


Abbildung 26: Verformung des Titanium Trauma Splints



Abbildung 27: Keine Verformung bei Twistflex- und Glasfaser-Retainer

4 Diskussion

4.1 Vergleichsstudien

Der bereits in der Einleitung unter Kapitel 1.4.2.2 zitierte Drei-Punkt-Biegeversuch von Vittorio Cacciafesta aus dem Jahre 2008 liefert Informationen über die Stabilität von Glasfaserbändern. Cacciafesta verwendete in seiner Untersuchung den EverStick der Firma Turku. Die Auswertung seiner Ergebnisse ergab größtenteils statistisch signifikante Unterschiede zur Kontrollgruppe. Als Kontrollgruppe diente hierbei allerdings kein Retainerdraht sondern ein orthodontischer Stahldraht zur Zahnregulierung. Ähnlich wie in der vorliegenden Diplomarbeit wurden unterschiedliche Dicken des EverStick untersucht, nämlich 1,2 Millimeter und 0,6 Millimeter. Der dickere EverStick von 1,2 Millimetern erreichte im Drei-Punkt-Biegeversuch die höchsten Stabilitätswerte. In der vorliegenden Arbeit erreichte der dickste Glasfaser-Retainer mit 0,8 Millimetern Schichtstärke allerdings die geringste Zugfestigkeit. Bei der Betrachtung des Parameters Höchstkraft fällt bei diesem Glasfaser-Retainer auch die hohe Standardabweichung auf. In Cacciafestas Drei-Punkt-Biegeversuch zeigt sich bei den Glasfaserbändern zwar ebenfalls eine erhöhte Standardabweichung im Vergleich zu den Stahldrähten, allerdings nicht in dem selben Ausmaß wie in der vorliegenden Arbeit. Der EverStick unterscheidet sich bezüglich seines Aufbaus vom in dieser Arbeit verwendeten SuperSplint. Während der SuperSplint als reines Glasfaser-Geflechtsband geliefert wird, welches mit Flowable Komposit überzogen wird, besteht der EverStick bereits aus einem Faser-Matrixverbund. Dies bedeutet, dass in einem dickeren EverStick auch ein höherer Glasfaseranteil enthalten ist, wohingegen bei einem SuperSplint von größerer Schichtstärke lediglich der Kunststoffanteil erhöht ist. Eventuell könnte dieser Sachverhalt eine mögliche Ursache für die hohe Standardabweichung des 0,8 Millimeter dicken Glasfaser-Retainers in der vorliegenden Studie sein.

Das Zusammenspiel von Faser und Matrix ist unter anderem Thema einer Doktorarbeit von 2011 über die Bruchfestigkeit von verschiedenen Geflechtsbändern zur parodontalen Schienung. Die In Vitro-Studie beschäftigt sich nicht nur mit den Faserbändern per se, sondern auch mit verschiedenen Flowable

Kompositen. Die Geflechtsbänder wurden an Modellen aus jeweils drei humanen Frontzähnen auf ihre Bruchfestigkeit getestet (Abb. 27).

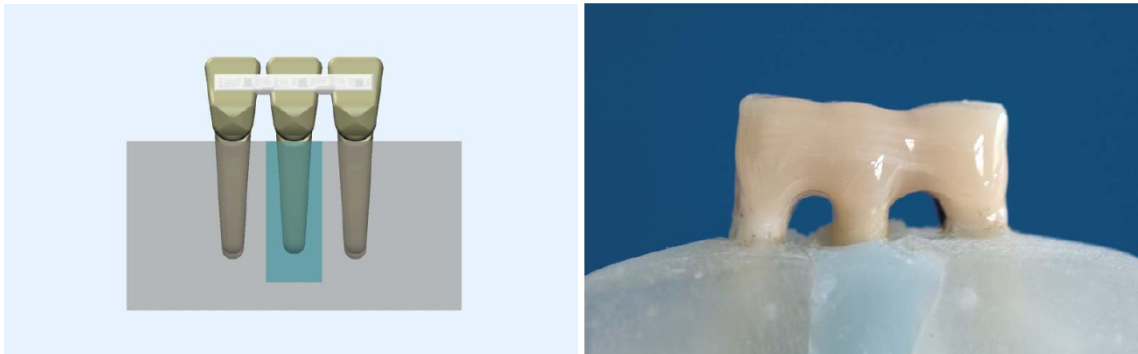


Abbildung 28: Prüfkörper, Ansicht von lingual (Meyer 2011)

Es wurden zehn Geflechtsbänder miteinander verglichen, darunter drei Produkte aus Glasfasern, wie zum Beispiel der Super Splint Deluxe der Firma Hager und Werken. Im Durchschnitt wiesen die Splints aus Polyethylenfaser die höchste Bruchfestigkeit auf. Bis auf zwei Ausnahmen lieferten alle getesteten Bänder mit dem Universal-Kunststoff Tetric Evo Flow, welcher auch in der vorliegenden Diplomarbeit verwendet wurde, ähnliche oder teilweise sogar bessere Ergebnisse als mit den systemeigenen Flowable Kompositen (Meyer 2011).

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Zugfestigkeit der drei untersuchten Materialien ermittelt. Mit dem Ziel ein noch umfangreicheres Wissen über die unterschiedlichen Materialeigenschaften zusammenzutragen, sind weiterführende Studien zu empfehlen. Wie in den beiden eben vorgestellten Studien könnte ein Drei-Punkt-Biegeversuch beziehungsweise ein Modellversuch zur Ermittlung der Bruchfestigkeit durchgeführt werden. Ergänzend könnte das Verhalten der Materialien unter weiteren Belastungsformen analysiert werden. Als Beispiele wären hier Druckbelastung, Torsions- oder Scherbelastungen zu nennen. Außerdem sollte der Einfluss des Milieus, in welchem die Materialien schlussendlich zum Einsatz gelangen sollen, nicht außer Acht gelassen werden.

Daher empfehlen sich Tests bezüglich Temperatur- und Feuchtigkeitsresistenz. Darüber hinaus wären Studien über eventuelle chemische Wechselwirkungen der Materialien mit beispielsweise Säuren oder Inhaltsstoffen von Zahnpasten sinnvoll.

4.2 Überlegungen zur Kaukraft

Eine aktuelle Studie von 2020 untersucht in vivo die Kaukräfte sowohl im Seiten- als auch im Frontzahnbereich. Die Kaukräfte im Frontzahnbereich liegen deutlich unterhalb derer im Seitenzahn. Dennoch konnten Maximalwerte von über 200 Newton gemessen werden (Edmund & Glowacka, 2020).

Im vorliegenden Zugversuch erreichte im Durchschnitt einzig der Twistflex-Retainer mit einem Durchmesser von 0,0215 Inch bei der angewendeten Höchstkraft Werte von über 200 Newton.

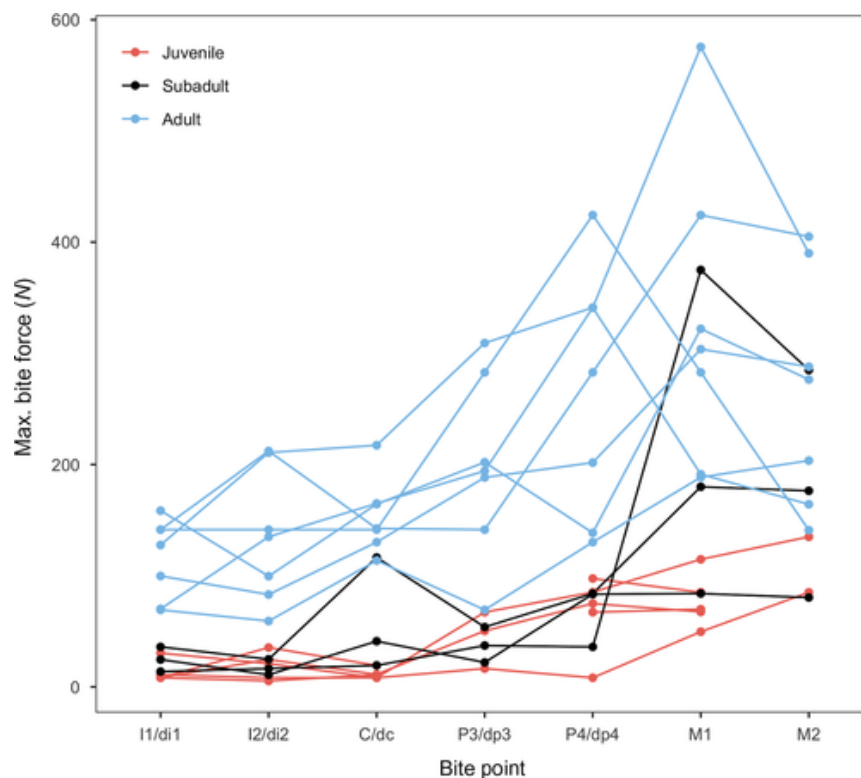


Abbildung 29: Kaukräfte (Edmonds & Glowacka, 2020)

4.3 Konklusion

1. Alle drei untersuchten Materialien unterschieden sich hochsignifikant.
2. Die Unterschiede innerhalb eines einzelnen Materials waren ebenfalls hochsignifikant. So zeigten die Twistflex-Retainer mit einem Durchmesser von 0,0175 Inch eine hochsignifikant geringere Zugfestigkeit als die Twistflex-Retainer mit einem von 0,0215 Inch. Ebenso zeigten die halbierten Titanium Trauma Splints eine hochsignifikant geringere Zugfestigkeit als die Originalen und auch bei den Glasfaser-Retainern war die Zugfestigkeit bei den dünneren Schichtstärken jeweils hochsignifikant geringer als bei den dickeren.
3. Die Titanium Trauma Splints zeigten die höchste Zugfestigkeit. Außerdem war bei den Titanium Trauma Splints eine plastische Verformung des Material zu beobachten.
4. Die Glasfaser-Retainer zeigten eine geringere Zugfestigkeit als die Kontrollgruppe. Je **dicker** die Composit-Schicht war, desto **geringer** war die Zugfestigkeit. Bei den dicksten Glasfaser-Retainern war außerdem eine hohe Standardabweichung zu beobachten.
5. Nur die Twistflex-Retainer mit einem Durchmesser von 0,0215 Inch erreichten bei der angewendeten mittleren Höchstkraft Werte über 200 Newton.
6. Der Twistflex-Retainer ist weiterhin als Goldstandard anzusehen.

5 Literaturverzeichnis

- Ahn MS, Maas CS, Monhian N (2020): A novel, comformable, rapidly setting nasal splint material: results of a prospective study, *Archives of Facial Plastic Surgery*, 5(2), S. 189-192.
- Artun J, Spadafora AT, Shapiro PA (1997): A 3-year follow-up study of various types of orthodontic canine-to-canine retainers, *European Journal of Orthodontics*, 19(5), S. 501-509.
- Artun J, Spadafora AT, Shapiro PA, McNeill RW, Chapko MK (1987): Hygiene status associated with different types of bonded, orthodontic canine-to-canine retainers: A clinical trial, *Journal of Clinical Periodontology*, 14(2), S. 89-94.
- Artun J (1984): Caries and periodontal reactions associated with long-term use of different types of bonded lingual retainers, *American Journal of Orthodontics*, 86(2), S. 112-118.
- Baker JR, Patel SN, Teichman AJ, Bochat SE, Fleischer AE, Knight JM (2012): Bivalved fiberglass cast compared with plaster splint immobilization for initial management of ankle fracture-dislocations: a treatment algorithm, *Foot & Ankle Specialist*, 5(3), S. 160-167.
- Bastone EB, Freer TJ, McNamara JR (2000): Epidemiology of dental trauma: a review of the literature, *Australian Dental Journal*, 45(1), S. 2-9.
- Baumann MA, Beer R (2007): *Farbatlantzen der Zahnmedizin - Endodontologie*, Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, S. 322.
- Berthold C, Bartel C, Schäfer E, Petschelt A, Raab WHM, Weiger R, Hülsmann M (2005): Schienentherapie nach dentoalveolären Traumata, *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 60(7), S. 358.
- Berthold C, Auer FJ, Potapov S, Petschelt A (2012): Rigidity evaluation of quartz-fiber splints compared with wire-composite splints, *Dental Traumatology*, 28(1) S. 65-74
- Beyer W (1963): Glasfaserverstärkung. In: Glasfaserverstärkte Kunststoffe, 3. Auflage, München: Carl Hanser Verlag, S. 11-32.
- Bolla E, Cozzani M, Doldo T, Fontana M (2012): Failure evaluation after a 6-year retention period: a comparison between glass fiber-reinforced (GFR) and multistranded bonded retainers, *International Orthodontics*, 10(1), S. 16-28.

- Butler J, Dowling P (2005): Orthodontic bonded retainers, *Journal of the Irish Dental Association*, 51(1), S. 29-32.
- Cacciafesta V, Sfondrini MF, Norcini A, Macchi A (2005): Fiber-reinforced composites in lingual orthodontics, *Journal of clinical orthodontics*, 39(12), S. 710-714.
- Cacciafesta V, Sfondrini MF, Lena A, Scribante A, Vallittu PK, Lassila LV (2008): Force levels of fiber-reinforced composites and orthodontic stainless steel wires: a 3-point bending test, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(3), S. 410-413.
- Camacho I, Rajabi-Estarabadi A, Eber AE, Griggs JW, Margaret SI, Nouri K, Tosti A (2019): Fiberglass dermatitis: clinical presentations, prevention, and treatment – a review of literatures, *International Journal of Dermatology*, 58(10), S.1107-1111.
- Chandra Sekhar L, Koganti VP, Ravi Shankar B, Gopinath A (2011): A Comparative Study of Temporary Splints: Bonded Polyethylene Reinforcement Ribbon and Stainless Steel Wire + Composite Resin Splint in the Treatment of Chronic Periodontitis, *Journal of Contemporary Dental Practice*, 12(5), S. 343-349.
- Daume L (2016): Therapie des dentalen Traumas im bleibenden Gebiss, *ZMK*, 32(10), S. 628-34.
- Edmonds HM, Glowacka H (2020): The ontogeny of maximum bite force in humans, *Journal of Anatomy*, 237(3), S. 529-542.
- Flemming M, Ziegmann G., Roth S (1995): *Faserverbundbauweisen. Fasern und Matrices*, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Green JIJ (2015): Dental materials: The multi-stranded wire retainer, *BDJ Team*, 15054, S. 16-19.
- Hofman R (1986): Textilglasfasern. In: *Verstärkte Kunststoffe in der Luft und Raumfahrttechnik*, Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer, S. 521-555.
- Köstenberger H, Wendl B, Pichelmayer M, Jakse N (2020): Wann weißt ein Patient ein erhöhtes Rezidiv-Risiko auf und ist dauerhafte festsitzende Retention vertretbar?, *Information aus Orthodontie und Kieferorthopädie*, 52, S. 71-74.
- Kania MJ, Keeling SD, McGorray SP, Wheeler TT, King GJ (1996): Risk factors associated with incisor injury in elementary school children, *The Angle Orthodontist*, 66(6), S. 423-432.
- Labunet AV, Badea M (2015): In vivo orthodontic retainer survival - a review, *Clujul Medical*, 88(3), S. 298-303.

- Lie Sam Foek DJ, Ozcan M, Verkerke GJ, Sandham A, Dijkstra PU (2008): Survival of flexible, braided, bonded stainless steel lingual retainers: a historic cohort study, *European Journal of Orthodontics*, 30(2), S. 99-204.
- Martynov I, Klink T, Slowik V, Stich R, Zimmermann P, Engel C, Lacher M, Boehm R (2020): An exploratory randomized controlled trial comparing wood-composite and synthetic fibreglass splint systems for the immobilization of paediatric upper limb fractures, *The Bone & Joint Journal*, 102-B(10), S. 1405-1411.
- Meyer A (2011): *In vitro-Untersuchung zur Bruchfestigkeit von verschiedenen Geflechtbändern zur parodontalen Schienung*, unveröff. Dissertation, Universität Hamburg.
- Mullarky RH (1985): Aramid fiber reinforcement of acrylic appliances, *Journal of Clinical Orthodontics*, 19(9), S. 655-658.
- Noble J, Ahing SI, Karaikos NE, Wiltshire WA (2008): Nickel allergy and orthodontics, a review and report of two cases, *British Dental Journal*, 204(6), S. 298-300.
- Nolte D, Beck J, Berger C, Bücher K, Chenot R, Deppe H, Ebeleseder K, Esch J, Eßer W, Frank M, Gernhardt C, Hülsmann M, Jakobs W, Jost-Brinkmann P-G, Lechthaler A, Neff A, Schulze D, Terheyden H, Viergutz G, Weiger R, Weng D, Wenz H-J (2015): S2k-Leitlinie "Dentales Trauma bleibender Zähne" Langversion, *AWMF*, 083-004, S. 12.
- Pandis N, Fleming PS, Kloukos D, Polychronopoulou A, Katsaros C, Eliades T (2013): Survival of bonded lingual retainers with chemical or photo polymerization over a 2-year period: a single-center, randomized controlled clinical trial, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(2), S. 169-175.
- Rahilly G, Price N (2003): Nickel allergy and orthodontics, *Journal of Orthodontics*, 30(2), S. 171-174.
- Rose E, Frucht S, Jonas IE (2002): Clinical comparison of a multistranded wire and a direct-bonded polyethylene ribbon-reinforced resin composite used for lingual retention, *Quintessence International*, 33(8), S. 579-583.
- Salehi P, Zarif Najafi H, Roeinpeikar SM (2013): Comparison of survival time between two types of orthodontic fixed retainer: a prospective randomized clinical trial, *Progress in Orthodontics*, 14:25.
- Sangwan V, Yadav GP, Kumar A (2020): Aluminium Splint Incorporated Fibreglass Cast Preserves Limb Function in Bovines with Olecranon Fracture, *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 33(6), S. 434-442.

- Schürmann H (2007): Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Sfondrini MF, Fraticelli D, Castellazzi L, Scribante A, Gandini P (2014): Clinical evaluation of bond failures and survival between mandibular canine-to-canine retainers made of flexible spiral wire and fiber-reinforced composite, *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 6(2), S. 145-149.
- Störmann I, Ehmer U (2002): A prospective randomized study of different retainer types, *Journal of Orofacial Orthopedics*, 63(1), S. 42-50.
- Tacken MP, Cosyn J, De Wilde P, Aerts J, Govaerts E, Vannet BV (2010): Glass fibre reinforced versus multistranded bonded orthodontic retainers: a 2 year prospective multi-centre study, *European Journal of Orthodontics*, 32(2), S.117-123.
- Taner T, Aksu M (2012): A prospective clinical evaluation of mandibular lingual retainer survival, *European Journal of Orthodontics*, 34(4), S. 470-474.
- Williams JK, Cook PA, Isaacson KG, Thom AR (2000): *Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen: Grundlagen und klinische Anwendung*, Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R (1994): Transverse strength of denture acrylic-glass fiber-composite, *Dental Materials* 10(2),S. 116-121.
- Zachrisson BU (1977): Clinical experience with direct-bonded orthodontic retainers, *American Journal of Orthodontics*, 71(4), S. 440-448.
- Zachrisson BU (2015): Multistranded wire bonded retainers: From start to success, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 148(5), S. 724-727.