

Are implants more reliable than severely compromised endodontically treated teeth as abutments
for zirconia-based FPDs?

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. med. dent.

an der Medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von:
Zahnarzt Christian Hohmann
6.5.1980, Siegen

angefertigt an:
der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde

Betreuer:
Prof. Dr. Sebastian Hahnel
Co – Betreuer:
Prof. Dr. Michael Naumann

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom:
26.10.2022

meinen Eltern,
unserer „Urmi“,
und meiner Familie
Anna, Fritz, Paul und Hannes gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. Ableitung der Rationalen und Einführung in die Thematik.....	4
1.1. <i>Ableitung der Rationalen</i>	4
1.2. <i>Erfolgsprognosen von endodontisch behandelten Zähnen</i>	6
1.3. <i>Ferrule und dentale Stifte</i>	7
1.4. <i>Implantate im Frontzahnbereich</i>	10
1.5. <i>Vergleich endodontisch behandelter Zahn und Implantat</i>	12
1.6. <i>Anteriore Versorgungen mit festsitzendem Zahnersatz</i>	12
1.7. <i>Wissenschaftliche Aktualität der Studie</i>	14
2. Publikation	15
3. Zusammenfassung der Arbeit	23
4. Literaturverzeichnis	25
5. Darstellung und Spezifikation des eigenen wissenschaftlichen Beitrages zur Publikation	31
6. Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit.....	32
7. Anlagen	33
7.1. <i>Abkürzungsverzeichnis</i>	33
7.2. <i>Lebenslauf</i>	34
7.3. <i>Danksagung</i>	35

1. Ableitung der Rationalen und Einführung in die Thematik

1.1. Ableitung der Rationalen

Ein einzelner fehlender Frontzahn ist eine der größten Herausforderung der prothetischen Zahnmedizin. Hinsichtlich der Rehabilitation müssen Einschätzungen aus unterschiedlichsten Blickwinkeln getroffen werden; diese umfassen zum Beispiel die Stabilität, die Ästhetik der Versorgung oder die umgebenden gingivalen Strukturen. Die Einbeziehung von bestehenden vorgeschädigten Zähnen oder Implantaten in eine neue prothetische Versorgung erfordert eine gute Vorhersagbarkeit der Funktionalität und Langlebigkeit der Versorgungen und der tragenden Pfeilerzähne. Vor diesem Hintergrund hat sich die zahnmedizinische Therapie in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend von einer reinen Funktionserhaltung hin zu einer funktionellen und ästhetischen Rehabilitation des Gebisses entwickelt; die Ansprüche an Zahnmediziner und auch an die verwendeten Materialien sind dabei stetig gestiegen.

Die Ursachen, die etwa einen Ersatz des lateralen oberen Schneidezahnes erforderlich machen, sind mannigfaltig. Die häufigste Ursache für einen Zahnverlust entsteht durch kariöse und parodontale Schäden; bei unter 40-jährigen Patienten dominiert die Karies als Ursache, im höheren Alter dann die Parodontitis [1]. In kaukasischen Bevölkerungsgruppen ist eine Aplasie dieses Zahnes die häufigste Form der Nicht-Anlage [2], so dass bei adoleszenten Patienten eine restaurative Versorgung nötig werden kann. Ein dentales Trauma kann ebenfalls den Verlust oder eine starke Schädigung eines oder mehrerer Zähne wie etwa des seitlichen Schneidezahnes nach sich ziehen. Die Prävalenz eines dentales Traumas wird in unterschiedlichen Studien und in verschiedenen Nationen mit 6 – 34% angegeben; dabei treten Schäden am mittlerem und lateralem oberen Schneidezahn in allen Untersuchungen am häufigsten auf [3]. Während im Milchgebiss bevorzugt Dislokationsverletzungen beobachtet werden, herrschen im bleibenden Gebiss Kronenfrakturen vor [4]. In der Literatur finden sich auch häufig Kombinationsverletzungen an mehreren Zähnen [4, 5], so dass es ein realistisches Szenario ist, dass neben einem verlorenen Zahn ein durch Trauma stark vorgeschädigter Zahn vorhanden ist. Dabei entsteht die Fragestellung, ob ein durch Trauma solch kompromittierter Zahn für eine prothetische Versorgung ausreichend stabil ist oder extrahiert und durch ein Implantat ersetzt werden sollte.

Aufgrund von etwaigen knöchernen Defiziten ist bei Verlust eines Schneidezahnes eine implantologische Rehabilitation durch das eventuell notwendige Vorschalten augmentativer Maßnahmen in manchen Fällen sehr aufwändig oder nur mit einem ästhetisch kompromittierten Ergebnis zu realisieren [6, 7]. Darüber hinaus können absolute oder relative medizinische Kontraindikationen vorliegen, die eine Implantation unmöglich machen [8]. Manche Patienten wünschen auch keine Versorgung mit einem Implantat [9]. Auch bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten kann das Knochendefizit ein hohes Ausmaß annehmen [10] und erfordert einen

komplexen, multidisziplinären Ansatz [11]. Im Kindes- und Jugendalter muss eine Implantation aufgrund der ankylotischen Einheilung und der geringeren Beteiligung am Kieferwachstum äußerst kritisch betrachtet werden [12, 13]. Die dargelegten Aspekte können es nahezu unmöglich machen oder zumindest erschweren, mit einer Implantation ein langfristig stabiles Ergebnis zu erreichen. In solchen Situationen müssen restaurative Lösungen gefunden werden, die ohne implantologische Maßnahmen auskommen.

Insbesondere die sogenannte „rote Ästhetik“, also die Ästhetik des dento-gingivalen Komplexes, stellt die Zahnmedizin vor Herausforderungen. Bei Zahnverlust und anschließender Rehabilitation hat der Erhalt der interdentalen Papille zur Vermeidung interdentaler schwarzer Dreiecke eine hohe ästhetische Relevanz [14]. Dies ist abhängig von der Art und der Gestaltung der prothetischen Versorgung und das Ergebnis kann je nach Art des Pfeilers oder der Versorgung insbesondere durch die Distanz des Approximalkontaktes zum Knochen positiv oder negativ beeinflusst werden [6, 7]. Eine Insertion von zwei nebeneinander liegenden Implantaten erscheint in diesem Kontext nicht optimal [6]. Um genau dieses Szenario von zwei benachbarten Implantaten im Frontzahnggebiet zu vermeiden, kann eine Versorgung der Schaltlücke durch eine Brückenkonstruktion mit einem Cantilever-Design unter Verwendung eines Implantats oder eines Zahnes als Pfeiler Vorteile bieten. Falls ein mittlerer oberer Inzisivus als Pfeiler für eine einflügelige Cantilever-Versorgung zur Verfügung steht, muss die langfristige Stabilität des Zahnes und damit der Versorgung eingeschätzt werden. Gerade bei vorgeschädigten und endodontisch behandelten Zähnen besteht die Frage, ob ein solch kompromittierter Zahn eine ausreichende Stabilität besitzt, um eine gute langfristige Prognose zu erreichen. Zur vermeintlichen Verbesserung der Stabilität von endodontisch behandelten Zähnen können diese mit einem Glasfaserstift versorgt werden.

Aus den dargelegten Aspekten bezieht die vorgelegte Arbeit ihre Rationale. In einer in-vitro-Untersuchung werden unterschiedliche Defektausdehnungen an oberen mittleren Inzisiven und ihre präprothetischen Aufbauten mit oder ohne inseriertem Glasfaserstift mit Implantaten als Pfeiler zur Aufnahme einer derartigen Cantilever-Konstruktion verglichen. Alle Pfeiler wurden mit vollkeramischen Zirkoniumdioxid-Freiebrücken versorgt und einer Kausimulation mit thermischer Wechsellast (TCML) unterzogen. Neben dem Vergleich der natürlichen Zähne und den Implantaten als Pfeiler sollten Erkenntnisse gewonnen werden, ob durch eine Insertion eines Glasfaserstiftes eine verbesserte Stabilität der restaurativen Versorgung zu erwarten ist und welchen Einfluss der Defektgrad des Zahnes auf die Stabilität der Versorgung hat.

1.2. Erfolgsprognosen von endodontisch behandelten Zähnen

Die Basis für eine erfolgreiche zahnmedizinische Behandlung bildet die fundierte Einschätzung der Prognosen der beteiligten Zähne oder Implantaten; auf diese Weise können vorhersagbare Behandlungsergebnisse generiert werden [15]. Es muss entschieden werden, ob Zähne mit fraglicher Prognose vorsorglich extrahiert oder in die Behandlungsplanung einbezogen werden. Dabei gilt es, parodontale, endodontische und prothetische Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Die strategische Extraktion ist seit Langem in der Literatur beschrieben [16]. Aufgrund der Entwicklung erfolgversprechenderer Methoden des Zahnerhalts durch die Endodontologie und die Parodontologie kann im Laufe der letzten Jahrzehnte ein verändertes Bild in der Literatur und der daraus resultierenden Einschätzungen beobachtet werden – insbesondere auch deshalb, weil zunehmend langfristige Erkenntnisse etwa bezüglich der Periimplantitis in die Überlegungen einfließen müssen [15, 17]. Durch die auftretenden Therapienotwendigkeiten an Implantaten bis hin zu deren Verlust kann die Erfolgsprognosen der natürlichen Pfeilerzähne in einen anderen Kontext gesetzt werden. Vor diesem Hintergrund sind parodontologische Aspekte nur schwer vorhersagbar, jedoch bei einwurzeligen Zähnen leichter als bei mehrwurzeligen Zähnen [18, 19]. Dadurch können Frontzähne auch nach der Therapie einer tiefen Parodontitis und bei entsprechender unterstützender Parodontaltherapie langfristig vorhersagbar stabil sein. Die Erfolgsprognose von endodontischen Behandlungen sind sehr heterogen und bewegen sich je nach Studie zwischen 31% - 96% bei der Verwendung strikter Kriterien (Abwesenheit radiologischer apikaler Entzündungsanzeichen) und zwischen 60% - 100% bei weniger strikten Kriterien (radiologische Verkleinerung apikaler Entzündungsanzeichen); die gepoolten Werte lagen bei 74,7% für strikte Kriterien und 85,2% für lockere Kriterien [20]. Einflüsse der Behandlungstechnik und -methodik sind dabei jedoch schlecht untersucht. Es gibt Hinweise darauf, dass folgende vier Parameter die Erfolgsprognose der endodontischen Behandlung erhöhen:

- präoperative Abwesenheit einer apikalen Aufhellung,
- eine homogene Wurzelfüllung,
- die Wurzelfüllung endet innerhalb von 2mm zum radiologischen Apex,
- suffiziente koronale Versorgung [21].

Die Überlebensrate endodontisch behandelter Zähne wird mit 86% - 93% nach zwei bis zehn Jahre angegeben; die Prognose von einwurzeligen Zähnen scheint dabei besser zu sein, die Einbindung in eine festsitzende Versorgung als Pfeiler allerdings eher mit einer schlechteren Prognose einher zu gehen [22]. Insgesamt hängt die Erfolgsprognose von endodontisch behandelten Zähnen sehr stark von der Qualität der restaurativen Versorgung ab. Die Abwesenheit einer apikalen Aufhellung konnte bei einer guten restaurativen Versorgung mit insuffizienter endodontischer Behandlung signifikant

häufiger beobachtet werden als bei Zähnen mit einer schlechten restaurativen Versorgung und einer suffizienten endodontischen Behandlung (80% versus 75,7%) [23].

Auch wenn direkte Vergleiche unterschiedlicher Versorgungskonzepte mit Implantaten, Brücken oder auch dem Belassen einer Lücke sehr selten sind, kann man festhalten, dass der Verlust eines sichtbaren Zahnes psychologische Auswirkungen hat und der Erhalt eines Zahnes durch eine endodontische Intervention psychologische Vorteile bietet und die Patienten insgesamt zufriedener sind [24].

1.3. Ferrule und dentale Stifte

Ein häufiger Extraktionsgrund für Zähne stellt die vertikale Längsfraktur endodontisch behandelter Zähne dar [25]. Die Vermutung liegt nahe, dass der Verlust an Zahnhartsubstanz und des Pulpengewebes eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften des Zahnes bedingt. Untersuchungen zeigen allerdings, dass sich nach endodontischer Therapie die mechanischen Eigenschaften des Dentins nicht signifikant verändern. Die Sprödigkeit des Dentins nimmt somit nicht zu. Auch die Zugfestigkeit und Druckfestigkeit unterscheiden sich nicht, einzig die Mikrohärte zeigt eine kleine signifikante Abweichung von 3,5% [26]. Auch der Feuchtigkeitsgehalt des Dentins unterscheidet sich bei vitalen oder endodontisch behandelten Zähnen nicht [27, 28]; nur der Kollagen-assoziierte Wassergehalt ist in endodontisch behandelten Zähnen um 9% geringer [28], was aber keine Veränderung der mechanischen Eigenschaften bedingt [26, 29]. Vielmehr ausschlaggebend für die erhöhte Anfälligkeit endodontisch behandelter Zähne gegenüber Frakturen ist der Verlust an Zahnhartsubstanz. So hat ein Zahn mit einer Zugangskavität eine relative Steifigkeit von 0,944 in Bezug auf einen Wert von 1 bei einem unversehrten Zahn. Eine mesial-okklusal-distale Kavität bewirkt hingegen schon eine massiv reduzierte relative Steifigkeit von 0,373. Die eigentliche endodontische Behandlung mit der Aufbereitung des Wurzelkanals und der Wurzelfüllung verringert die Steifigkeit kaum und ist somit in Bezug auf die Frakturen klinisch nicht relevant [30]. Ein weiterer möglicher Aspekt in Bezug auf die Frakturanfälligkeit kann der vermutete Verlust von Mechanorezeptoren im Parodont im Zuge der endodontischen Behandlung darstellen, weil dadurch sehr viel höhere Kräfte auf den Zahn ausgeübt werden können, bevor der Patient darauf mit Schmerzempfindung reagiert [31].

Um die Substanzverluste auszugleichen und den Zahn inklusive der Restauration zu stabilisieren und vor Frakturen zu schützen, hat sich die Schaffung eines Ferrules in der Literatur als vorteilhaft gezeigt [32-34]. Im klinischen Kontext sind die Höhen und Dicken der Zahnhartsubstanz in gewissen klinischen Situationen schwierig einzuhalten. Ein Ferrule von 1 mm in vertikaler Höhe verringert die Frakturgefahr bereits um die Hälfte [35], den maximalen Benefit zeigen Studien jedoch bei einer vertikalen Höhe des Ferrules von 1,5 – 2 mm [34, 36, 37]. Die Etablierung eines Ferrules von 3, 4 oder 5 mm zeigt keine weiteren signifikanten Unterschiede in der Belastbarkeit [37].

Ein weiterer Aspekt, der bezüglich der Stabilität von endodontisch behandelten Zähnen eine relevante Rolle spielt, ist die Dicke der verbleibenden Dentinwände. Im Allgemeinen werden Dentindicken von 1 mm als angemessen betrachtet [38-40]. Es gibt vorsichtige Hinweise darauf, dass dickere verbleibende Dentinwände in einer erhöhten Stabilität resultieren [38, 41]. Bisher hat keine in vitro-Studie die Auswirkungen von verbleibenden Dentinwandstärken unter 1 mm auf die Fraktureigenschaften untersucht. Vor diesem Hintergrund könnten weitere wissenschaftliche Untersuchungen von Nutzen sein.

Klinisch lässt sich der Ferrule in manchen Fällen nicht zirkulär herstellen, etwa weil eine Wand des Zahnes durch eine tiefe Karies oder eine Fraktur verloren gegangen ist. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, durch eine chirurgische Kronenverlängerung oder eine kieferorthopädische Extrusion die Höhe des Ferrules wieder herzustellen [42-44]. Gerade bei mehrwurzeligen Zähnen kommen beide Methoden schnell an Ihre Grenzen, da die Furkation freigelegt wird und es dadurch zu parodontalen Problemen kommen kann. Im Frontzahnbereich verschlechtert sich durch die kieferorthopädische Extrusion das Verhältnis von Wurzellänge zu Kronenlänge negativ; insbesondere bei bereits vorhandenem Verlust von parodontalem Stützgewebe kann dies eine derartige Herangehensweise unmöglich machen. Man muss festhalten, dass allgemein verbindliche wissenschaftliche Aussagen zur Durchführung der kieferorthopädischen Extrusion nicht zu treffen sind [44]. Bei der chirurgischen Kronenverlängerung kann es andererseits gerade im Frontzahnbereich zu negativer Beeinflussung des Zahnfleischverlaufes und damit der roten Ästhetik kommen. Eine weitere mögliche Behandlungsmethode stellt die chirurgische Extrusion dar, die aber eine noch geringere Datenlage hat [45].

Die Literatur zeigt, dass ein vollständiger zirkulärer Ferrule die höchste und am besten vorhersagbare Stabilität bietet [46-48]. Es gibt in-vitro-Untersuchungsergebnisse, die – ohne eine mechanisch-thermische Wechselbelastung (TCML) – einen unvollständigen Ferrule im oberen Frontzahnbereich untersuchen. Eine bestehende palatinaler Ferrule bei gleichzeitigem Verlust des bukkalen Ferrules bewirkte keinen signifikanten Unterschied in der Belastbarkeit im Vergleich zu einem vollständigem Ferrule [49]. Insgesamt gibt es in der Literatur etliche Untersuchungen, die die Belastbarkeit eines unvollständigen Ferrule beleuchten [32, 46, 47, 50, 51]. Die daraus resultierenden Aussagen sind nicht einheitlich und aufgrund der unterschiedlichen Studien-Designs nicht unmittelbar vergleichbar. Zur Vermeidung hoher Risiken und Komplikationsraten in-vivo ist zu empfehlen, die Substanzstärken der Zahnhartsubstanz von 2 mm Höhe und 1 mm Dicke zirkumferent einzuhalten [52].

Eine Besonderheit der oberen Inzisiven ist die im klinischen Kontext extra-axiale Belastungsrichtung und somit das Auftreten lateraler Belastungskräfte auf den Zahn und die Versorgung, was in-vitro zu einem erhöhten Versagensrisiko führt [53]. Auch in klinischen Studien zeigen obere Inzisiven und Caninen ein erhöhtes Risiko für einen Misserfolg [33, 52, 54-56]. Dies erschwert die

Therapieentscheidung und der Zahnerhalt sollte aufgrund der aufgeführten Punkte sorgfältig abgewogen werden.

Neben dem Ferrule wird in der Literatur die Rolle von Wurzelstiften zur Stabilisierung des Zahnes seit vielen Jahren diskutiert. Man kann mittlerweile eine recht klare Evidenz erkennen, dass die Relevanz der Stifte derjenigen des Ferrules unterlegen ist [33, 57]. Gegenwärtig gibt es unterschiedliche Arten von gebräuchlichen Wurzelstiften: Gegossene Stiftaufbauten [58], konfektionierte Stifte aus Nichtedelmetall [59, 60], Titan-Stifte [36], Zirkoniumdioxid-Stifte [61] und weniger rigide Materialien wie Glas- und Quarzfaser-Stifte [52]. Die Verwendung anderer Materialien wird in der Literatur ebenfalls beschrieben [62]. Es zeigte sich in mehreren Studien, dass eine höhere Steifigkeit des Stiftmateriales keine Vorteile in der Frakturresistenz bringt [63, 64]. Ein vergleichbarer E-Modul der Faserstifte scheint jedoch Vorteile in der Belastung auf die verbliebene Zahnhartsubstanz zu haben [65, 66]. In deutschen Zahnarztpraxen hat sich auch aus diesem Grund weitestgehend die Verwendung von Glasfaser-Stiften durchgesetzt, die Relevanz des Ferrules für die Stabilität der prothetischen Versorgung ist allgemein bekannt [67]. Einer der Vorteile der Glasfaserstifte wird auch mit der verbesserten Wiederversorgbarkeit nach Frakturen des Stiftes, des Aufbau oder des Zahnes angegeben [53]. Dies könnte mit dem ähnlichen E-Modul von Dentin und dem Glasfaser-Stift zusammenhängen und der dadurch harmonischeren Kraftverteilung [68], die zu weniger fatalen Frakturen der Zahnhartsubstanz führt.

Die Insertionstiefe der Stifte kann aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden. Wenn der Stift 3 mm tief im Wurzelkanal verankert wird, ist die Belastbarkeit verringert im Vergleich zu 6 mm tief verankerten Stiften [69]. Bei Insertionstiefen von 7,5 mm, 11 mm und 15 mm zeigt sich zwar ebenfalls eine höhere Belastbarkeit je länger der Stift ist, jedoch ist bei einer Fraktur des Stiftes, des Aufbaus oder des Zahnes die Wiederversorgbarkeit häufiger gegeben je kürzer der Stift ist [70]. Ein weiterer Aspekt ist die Schwächung der Wurzel durch eine ausgedehnte Stiftbett-Präparation, die in einer Schwächung der cervikalen Zahnhartsubstanz münden kann. Insgesamt scheint eine Insertionstiefe in das mittlere Wurzeldrittel hinein mit einem möglichst hohen Durchmesser des Stiftes, ohne die Wurzel durch eine ausgedehnte Stift-Präparation weiter zu schwächen, ein guter Kompromiss [71].

Auch die Notwendigkeit, bei zerstörten Zähnen überhaupt einen Stift zu setzen, wird kritisch diskutiert [72, 73]. So wird für obere mittlere Inzisiven angegeben, dass bei biapproximalen Kavitäten ein Stift keine Vorteile bieten würde und dieser erst bei dekapitierten Zähnen nötig ist [74]. Auch die Anfertigung einer postendodontischen restaurativen Versorgung mit einer Krone scheint bei biapproximalen Kavitäten keine Vorteil bezüglich der Belastbarkeit der Zähne zu erzielen [75]. Andere in-vivo- [76] und in-vitro-Untersuchungen [64] zeigten, dass Stiftinsertionen vorteilhaft sind, wenn keine Kavitätenwand oberhalb eines zirkumferenten 2 mm hohen Ferrules vorhanden ist.

1.4. Implantate im Frontzahnbereich

In den frühen 1980er wurde eine der ersten Studien zum langfristigen Überleben von osseointegrierten dentalen Implantaten publiziert: Die Überlebensrate für festsitzenden Zahnersatz auf Implantaten betrug nach fünf bis neun Jahren 81% im Oberkiefer und 91% im Unterkiefer [77]. Im Verlauf entwickelten sich die implantologischen und implantatprothetischen Therapiekonzepte fort. Mittlerweile wird im teilbezahnten Kiefer zum Ersatz von einzelnen Zähnen und zur strategischen Pfeilvermehrung in der festsitzenden und herausnehmbaren Prothetik implantiert. Während insgesamt eine große Anzahl an Studien zu den Überlebensraten von Implantaten veröffentlicht worden ist, gibt es bislang nur wenige Studien mit einem Nachverfolgungszeitraum von mehr als zehn Jahren [78, 79]. Viele Studien sind mitunter schwer vergleichbar in Ihren Ergebnissen. Während das Kriterium der Überlebensrate noch recht einfach definierbar ist, erfordert eine Einschätzung des individuellen Zustands eine weitergehende Definition von Kriterien, die einen klinischen Erfolg ausmachen [80, 81]. Indizes zur Einschätzung der Ästhetik sind ebenfalls publiziert [82]; die objektivierbare Einschätzung ästhetischer Ergebnisse ist jedoch nicht vereinheitlicht, es gibt dort aber weitere nutzbare Ansätze [83]. Auch patientenbasierte Ergebnisse sind in der Literatur beschrieben [84].

Implantatverluste treten in 2,5% der Fälle vor funktioneller Belastung auf; innerhalb von 5 Jahren gehen 2-3% der Implantate bei festsitzendem Zahnersatz und mehr als 5% bei herausnehmbarem Zahnersatz verloren [85]. Bezüglich der mit Implantaten verbundenen Komplikationen hat sich eine Unterteilung in technische und biologische Komplikationen etabliert [80, 81], wobei die individuellen Kriterien bis dato nicht allgemeinverbindlich definiert worden sind. Mit Implantaten assoziierte biologische Komplikationen umfassen die periimplantäre Mukositis und die Periimplantitis. Erstgenannte beschreibt eine entzündliche Reaktion der periimplantären Weichgewebe. Eine Periimplantitis zeigt dagegen zusätzlich einen röntgenologisch feststellbaren und sondierbaren, progressiven periimplantären Knochenverlust [86]. Technische Komplikationen können als schwerwiegender, mittlerer oder untergeordneter Art klassifiziert werden [78, 87]. Das Auftreten von Komplikationen in Verbindung mit dentalen Implantaten ist jedenfalls nicht selten. 52% der Implantate zeigten über einen Nachbetrachtungszeitraum von 15 Jahren biologische Komplikationen und in 32% der Fälle technische Komplikationen; insgesamt machten 65% der Patienten Erfahrungen mit Komplikationen an Implantaten [88]. Die Zahlen in unterschiedlichen Publikationen differieren teilweise, zeigen aber auch ein vermehrtes Auftreten von Komplikationen an Implantaten [89]. Die kumulative Implantat-Überlebensrate nach 15 Jahren betrug 82,6%. Wenn man die Komplikationen auf Periimplantitis und mittlere und schwere technische Komplikationen beschränkt, beträgt die Erfolgsprognose von Implantaten nach 15 Jahren 55,5% [88].

Bei Implantatversorgungen im Frontzahnbereich hat der Papillenerhalt in Bezug auf ein ästhetisch optimales Ergebnis eine hohe Relevanz und ist insbesondere bei der Insertion von zwei nebeneinander liegenden Implantaten unter bestimmten anatomischen Voraussetzungen nicht erreichbar, da nur 2-4 mm Höhe an suprakrestalem Weichgewebes zu erzielen sind [6]. Außerdem muss ausreichend Platz vorhanden sein, um zwischen zwei Implantaten eine Distanz von 3 mm zu bewahren [90]. Die komplexe bukkolinguale Platzierung, Problematiken in Form von einem dünnen gingivalem Biotyp oder die Notwendigkeit eines bindegewebigen Aufbaus erschweren das Erreichen eines optimalen ästhetischen Ergebnisses und erhöhen die Komplexität der Behandlung erheblich [90]. Auch der Erhalt der interdentalen Papille zwischen zwei natürlichen Zähnen ist nur bis zu einer Distanz von 5 mm zwischen krestalem Knochen und dem Approximalkontakt sicher gewährleistet [7]. Gerade der Erhalt der interdentalen Papille zur Vermeidung von schwarzen Dreiecken hat jedoch eine hohe ästhetische Relevanz bei Zahnärzten und Patienten [14]. Ein ästhetisch optimales Ergebnis hängt somit auch vom Verlauf der knöchernen Abheilungsprozesse ab [91]. Aus diesen Gründen kann es vorteilhaft sein, bei Fehlen zweier benachbarter Inzisiven eine einflügelige Brücke auf nur einem Implantat im Sinne eines Cantilever-Designs zu verankern und auf die Insertion von zwei benachbarten Implantaten zu verzichten, da dies ein ungünstigeres ästhetisches Ergebnis im Bereich der roten Ästhetik nach sich ziehen könnte.

Gerade im Frontzahnbereich erreichen die Cantilever-Versorgungen in einem 24-monatigen Nachverfolgungszeitraum den gleichen klinischen Erfolg wie endständig fixierte implantatgetragene Brücken; die Sondierungstiefen um die Implantate, die mit einem Cantilever-Design versorgt wurden, waren zwar signifikant erhöht, befanden sich aber im Bereich des typischen Knochenverlustes pro Jahr [92]. Im 5-Jahres-Zeitraum zeigte das Cantilever-Design auf Implantaten Erfolgsprognosen von 89,9 - 92,7% im Vergleich zu 96,2 - 96,3% ohne Cantilever-Design. Die Rate der technischen Komplikationen war mit 20,3 % im Vergleich zu 9,7% ohne Cantilever-Design erhöht. Diese waren jedoch in den meisten Fällen Komplikationen untergeordneter Art [93].

Weitere Aspekte bezüglich der kritischen Betrachtung der Implantation wurden bereits in der Ableitung der Rationalen ausgeführt. Die Implantation kann aufgrund von knöchernen Defiziten sehr aufwändig oder komplex sein [6, 7]. Durch bestehende absolute und relative medizinische Kontraindikationen [8] oder die Ablehnung einer Implantation durch den Patienten [9] scheidet diese Therapieoption eventuell aus. Auch bei Versorgung im adoleszenten Gebiss muss eine Implantation äußerst kritisch abgewogen werden und ist in der Regel nicht sinnvoll durchführbar [12, 13]. Die dargelegten Aspekte können es nahezu unmöglich machen oder zumindest erschweren, mit einer Implantation ein langfristig stabiles Ergebnis zu erreichen. In solchen Situationen müssen dann restaurative Lösungen gefunden werden, die ohne Implantat auskommen.

1.5. Vergleich endodontisch behandelter Zahn und Implantat

Im vorherigen Kapitel wurde bereits ausgeführt, dass keine allgemein verbindlichen Erfolgskriterien in der Implantologie vorhanden sind [80, 81]. Aus diesem Grunde ist ein Vergleich der Erfolgsaussichten von Implantaten und endodontisch behandelten Zähnen nicht trivial. Auch die Einschätzung der Prognose eines endodontisch behandelten Zähnen ist abhängig von vielen Parametern. Holm-Pederson hat in einer Übersichtsarbeit mit 49 einbezogenen Artikeln inklusive 6 Übersichtsarbeiten die vielfältigen Parameter des Zahnerhaltes beschrieben [94]. Neben der Schlüsselrolle guter oder zumindest therapierter parodontologischer Verhältnisse [95] spielen endodontologische Aspekte und die Ausdehnung kariologischer Prozesse eine große Rolle für die zahnärztliche Entscheidungsfindung. Von Patientenseite zeigen sozio-ökonomische Faktoren [96], eine gute Compliance und Motivation in der Mundhygiene sowie kulturelle Aspekte eine Relevanz [94]. Wie in Kapitel 1.2 ausführlich diskutiert wird die Überlebensrate endodontisch behandelter Zähne mit 86% - 93% über zwei bis zehn Jahre angegeben [22].

Die Einordnung der Überlebens- und Komplikationsraten von Implantaten ist im vorherigen Kapitel ausführlich beschrieben. Die jährlichen Versagensraten bewegen sich zwischen 0,51% bei implantatgetragenen Einzelkronen [97] und 0,64% bei implantatgetragenen Brücken [94, 98]. Dies ist in Verbindung zu setzen mit einem Implantatverlust vor funktioneller Belastung in 2,5% der Fälle [85]. Dabei darf man nicht vergessen, dass in 15 Jahren Betrachtungszeitraum 65% der Patienten Erfahrung mit einer Komplikation, technischer oder biologischer Art, machen [88].

Insgesamt kann in der wissenschaftlichen Betrachtung gesagt werden, dass in einem Beobachtungszeitraum von 10 Jahren Implantate nicht die Überlebensrate kompromittierter, aber erfolgreich behandelter Zähne übertreffen [94].

1.6. Anteriore Versorgungen mit festsitzendem Zahnersatz

Bezüglich der Studienlage muss auch bei den festsitzenden prothetischen Restaurationen in Überlebens- und Erfolgsraten unterschieden werden. Es haben sich unterschiedliche Einordnungen in technische und biologische Komplikationen etabliert, die in der Literatur regelmäßig genutzt werden. Biologische Komplikation beinhalten Karies, Verlust der Vitalität der Pulpa und chronische apikale Parodontitis; unter den technischen Komplikationen subsumieren sich Retentionsverlust, Frakturen des Pfeilerzahnes und Frakturen der Materialien (Verblendung oder Gerüstwerkstoff) [99].

Festsitzende prothetische Versorgungen sind sehr gut und langfristig nachuntersucht [99, 100]; nach 10 Jahren sind sie zu 89,1% in Funktion, die Wahrscheinlichkeit eines klinischen Erfolges, ohne dass eine Intervention erfolgen musste, liegt bei 71,1%. Die jährliche Kariesrate wird mit 0,99% angegeben, das 10-Jahres-Risiko von Karies und Parodontitis, das zu einem Verlust der Restauration führt, liegt bei 2,6% und 0,7 %. Die Wahrscheinlichkeit des Retentionsverlustes liegt bei 6,4%, für Pfeilerfrakturen bei

2,1% und Frakturen des Werkstoffes bei 3,2% [99]. Langfristige Untersuchungen zeigten Überlebensraten nach 20 Jahren von 64% und nach 30 Jahren von 53%. Brücken, die in dieser Untersuchung im Jahr 1966/67 hergestellt worden sind, zeigten eine Überlebensrate von 84% nach 20 Jahren. Langspannige Brücken mit mehr als drei Gliedern zeigten dabei deutlich geringere Erfolgsprognosen. Brücken mit Extensionsglieder mussten innerhalb von 20 Jahren in 42% der Fälle entfernt werden, dabei wurde jedoch nicht nach anteriorer oder posteriorer Lokalisation unterschieden. Die häufigste Art der Komplikation war Karies (33%), gefolgt von Retentionsverlust und Zahnfrakturen (je 9%) [100]. Karies und Retentionsverlust werden auch in anderen Untersuchungen als häufigste Komplikation beschrieben [101].

In der Literatur wurde in den frühen 1990er-Jahren der Ersatz eines einzelnen Frontzahnes durch zweiflügelige Adhäsivbrücken beschrieben. Dabei wird eine substanzfordernde Präparation der Pfeilerzähne vermieden, indem der fehlende Zahn mithilfe von oral positionierten Flügeln an den Nachbarzähnen adhäsiv befestigt wird [102]. Die Versorgung mit zwei Pfeilern zeigte eine relativ hohe Frakturwahrscheinlichkeit der Keramik innerhalb des ersten Jahres, so dass ein Cantilever-Design diesbezüglich in-vivo offensichtlich Vorteile bietet [103-107]. Es gilt dabei, dass die Versorgung so belastbar ist, um den Kaukräften im anterioren Bereich standzuhalten. Die nötigen Werte bewegen sich dabei in dem Belastungsbereich zwischen 108 – 382 N, die in der Regel im menschlichen Gebiss auftreten [108, 109]. Auch wenn in-vitro-Untersuchungen teilweise für zweiflügelige Adhäsivbrücken in Bezug auf die maximalen Belastbarkeitswerte (F_{max}) höhere Werte zeigen als für das Cantilever-Design [110], bewegen sich die Ergebnisse oberhalb des Bereiches der auftretenden Kaukräfte, was die klinische Erkenntnis, dass einflügelige Brücken vorteilhaft sind, somit nicht widerlegt.

Problematisch bei der Belastung von Cantilever-Brücken ist eine Belastung auf dem Extensionsglied der Brücken. Diese erzeugt auf der Restauration, den Pfeilerzähnen und dem Aufbau hohe Torsionsmomente und kippende Kräfte. Diese extraaxialen Kräfte auf dem Extensionsglied sind in der Literatur als äußerst ungünstig beschrieben [54, 87]. Dies wiederum muss als Empfehlung interpretiert werden, in der klinische Anwendung die Belastungskräfte auf dem Extensionsglied möglichst gering zu halten, um einen langfristigen klinischen Erfolg zu gewährleisten.

Zuerst wurden vollkeramische ein- oder zweiflügeligen Adhäsivbrücken in Aluminiumoxid-Keramik angefertigt [102, 104], später zeigten dann einflügelige Adhäsivbrücken aus Zirkoniumdioxid gute Überlebensraten von 95,2% nach fünf Jahren [111]. Teilweise zeigt Zirkoniumdioxid in der Literatur überlegene Erfolgsprognosen im Vergleich zu anderen Werkstoffen wie Metallkeramik-Versorgungen und Aluminiumoxidkeramik [107]. Zirkoniumdioxid hat insgesamt eine sehr gute Biokompatibilität, geringe Bakterienanhaftung und günstige chemische Eigenschaften [112, 113].

Die häufigste Komplikation der ein- und zweiflügeligen Adhäsivbrücken zeigte sich in der Literatur in einem Beobachtungszeitraum von fünf Jahren mit 15% beim Retentionsverlust [107]; auch in der

Auswertung einer Metaanalyse von Pjetursson traten bei 18,4% der Versorgungen Debondings über einen Zeitraum von fünf Jahren auf [114]. Durch eine vollständige Präparation des Pfeilers könnte die Rate des Retentionsverlustes vermindert werden. Der Substanzverlust einer vollständigen Präparation beträgt allerdings 63% bis 72% und übersteigt somit stark den Substanzverlust bei der Präparation von Adhäsivbrücken (RBFPD), der mit 3% - 30% deutlich geringer ausfällt [115]. In Anbetracht des Substanzverlustes und der zu erwartenden Retention der unterschiedlichen Versorgung muss sorgfältig abgewogen werden, welche Präparationsform im Einzelfall die größeren Vorteile bietet. Bereits bestehende großflächige Defekte des Pfeilerzahnes machen per se eine Vollkrone nötig. Das Auftreten von Chippings an Adhäsivbrücken wird in der Literatur mit 4,1 - 5,7% nach fünf Jahren beschrieben [107, 114]. Bei Einzelkronen auf Implantaten wird die jährliche Rate an Chipping mit 1,65% angegeben. Eine Alternative könnten monolithische Versorgungen sein, deren jährliche Rate an Chipping mit 0,39% angegeben wird [116]. Monolithische Versorgungen versprechen mittlerweile auch ästhetisch zufriedenstellende Ergebnisse [117] und könnten zukünftig die Rate an Chipping minimieren. Üblicherweise wird jedoch eine ästhetische restaurative Versorgung der Frontzähne mit Verblendkeramik angefertigt.

1.7. Wissenschaftliche Aktualität der Studie

Es gibt in der Literatur keine vergleichbare Untersuchung, die Cantilever-Restaurationen im Frontzahnggebiet mit natürlichen Zähnen als Pfeiler oder Implantaten untersucht, was die Aktualität der vorliegenden Untersuchung unterstreicht. Einige Forschungsgruppen haben in etlichen Studien Daten zu einflügeligen Adhäsivbrücken publiziert, bei denen der Pfeilerzahn keinen Defekt aufweist und somit nicht einer zirkulären Präparation unterzogen wurde [105, 110, 118]. Etliche Reviews beschäftigen sich mit der klinischen Performance von Adhäsivbrücken [107, 114, 119, 120]. Eine Studie zeigt ein ähnliches Design, untersucht aber die Defektausdehnung von Pfeilerzähnen untereinander, ohne den Vergleich zu Implantaten als Pfeiler zu ziehen [121]. Implantatgetragene Cantilever-Versorgungen werden in der Literatur beschrieben und sind in etlichen Studien untersucht [92, 93]. Cantilever-Versorgungen mit einer vollständigen Präparation im Seitenzahnggebiet sind ebenfalls Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen [87, 99, 122]. Ein klinischer Bericht aus dem Jahr 2006 zeigte eine einzelne Cantilever-FPD, die 53 Jahre in Funktion ist [123]. Zwei Reviews aus den 1990ern [124, 125] fassen die Datenlage zu Cantilever-Versorgungen zusammen, ohne jedoch Vergleiche zu Implantaten als Pfeiler zu ziehen.

Are implants more reliable than severely compromised endodontically treated teeth as abutments for zirconia-based FPDs?

In vitro results of long-term preclinical load simulation

M. Naumann · C. Hohmann · A. Happe · F. Beuer ·
R. Frankenberger · R. Seemann · M. Rosentritt

Received: 30 April 2012 / Accepted: 17 October 2012 / Published online: 27 October 2012
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Abstract

Objectives The aim was to study the impact of the defect size of endodontically treated incisors compared to dental implants as abutments on the survival of zirconia two-unit anterior cantilever-fixed partial dentures (2U-FPDs) during 10-year simulation.

Materials and methods Human maxillary central incisors were endodontically treated and divided into three groups ($n=24$): I, access cavities rebuilt with composite core; II, teeth decoronated and restored with composite; and III as II supported by fiber posts. In group IV, implants with individual zirconia abutments were used. Specimens were restored with zirconia 2U-FPDs and exposed to two sequences of thermal cycling and mechanical loading. Statistics: Kaplan–Meier; log-rank tests.

Results During TCML in group I two tooth fractures and two debondings with chipping were found. Solely chippings occurred in groups II (2×), IV (2×), and III (1×). No significant different survival was found for the different abutments ($p=0.085$) or FPDs ($p=0.526$). Load capability differed significantly between groups I (176 N) and III (670 N), and III and IV (324 N) ($p<0.024$).

Conclusion Within the limitations of an *in vitro* study, it can be concluded that zirconia-framework 2U-FPDs on decoronated teeth with/without post showed comparable *in vitro* reliability as restorations on implants. The results indicated that restorations on teeth with only access cavity perform worse in survival and linear loading.

Clinical relevance Even severe defects do not justify *per se* a replacement of this particular tooth by a dental implant from load capability point of view.

Naumann M. and Hohmann C. contributed equally to this manuscript

M. Naumann (✉)
Department of Prosthetic Dentistry, Center of Dentistry,
University of Ulm,
Albert-Einstein-Allee 11,
89081 Ulm, Germany
e-mail: micha.naumann@gmx.de

C. Hohmann
Department of Prosthetic Dentistry, University of Leipzig,
Leipzig, Germany

A. Happe
Department of Oral and Maxillofacial Plastic Surgery
and Implantology, University of Cologne,
Cologne, Germany

F. Beuer
Department of Prosthetic Dentistry, University Clinic Munich,
Munich, Germany

R. Frankenberger
Department of Operative Dentistry and Endodontology,
University of Marburg,
Marburg, Germany

R. Seemann
Department of Preventive and Operative Dentistry, University
of Bern,
Bern, Switzerland

M. Rosentritt
Department of Prosthetic Dentistry, Regensburg University
Medical Center,
Regensburg, Germany

Keywords Implant · Dynamic loading · Post-and-core technique · Dowel · All-ceramic · Dental abutment

Introduction

The clinical survival rates of endodontic treatment are well documented [1–3]. When it comes to prosthetic treatment, endodontically treated teeth (EET) are often judged as less valuable abutments with regard to reliability and cost-effectiveness compared to vital teeth [4]. As endosseous dental implants gain acceptance due to their high success, the question arises, whether a tooth with a more or less questionable prognosis should be preserved—including endodontic treatment—or be rather strategically extracted in preparation for a dental implant [5–7]. However, it has been stated that extraction frequently leads to changes of the alveolar ridge due to bone remodeling [8], which often requires reconstructive surgery to create a functional pontic area [9], or to establish a functional and esthetical soft tissue around dental implants [10]. In particular when bone grafting procedures [11] or adjacent implants [12, 13] are involved, it is a clinical disadvantage of implant-based restoration that it may be difficult and challenging to establish sufficient soft tissue.

In contrast, Holm-Pedersen et al. [14] demonstrated that the 10-year survival rate of teeth surpasses that of implants, when failures before loading were included in the analysis. Survival rates of single-tooth implants and EET after 5 to ~8 years were not statistically different. Systematically reviewed data over 3 to 25 years showed that the survival rates after endodontic treatment followed by coronal restoration were ~81 to 100 % [15]. Three systematic reviews [15–17] confirmed that teeth with endodontic treatment and implant-supported restorations have similar long-term survival.

Thus, for a sound clinical recommendation, it would be necessary to directly compare these different treatment options. Therefore, a first efficient step is a long-term pre-clinical loading, which appears appropriate to simulate mechanical loading during clinical function [18, 19]. In a second step, promising treatment approaches should be compared in clinical pilot studies and after that, long-term clinical trials with decent large sample size were defined by power analysis with clearly defined outcome criteria [16]. Therefore this *in vitro* study was designed to investigate the survival of all-ceramic zirconia-framework two-unit anterior cantilever-fixed partial dentures (2U-FPDs), which were fixed either on endodontically treated maxillary central incisor abutments or implants. The null hypothesis tested was that there is no difference regarding the long-term survival of all-ceramic zirconia-framework 2U-FPD when endodontically treated maxillary central incisors and dental implants were used as abutments during 10 years of preclinical load

simulation. Fracture load of the surviving restorations was determined to estimate the load capability of the restorations after thermal cycling and mechanical loading (TCML).

Material and methods

Specimen pre-treatment

Human maxillary incisors were selected and stored at room temperature in a 0.5 % chloramine solution. To ensure the use of teeth of comparable dimension within the groups, mesio-distal (MD) and facial-lingual (FL) dimensions were measured at the level of the cemento–enamel junction (CEJ). A size assessment was calculated from the product of MD×FL. Extremely small or large teeth were excluded. Specimens were randomly distributed into three groups ($n=8$) by means of a ten-digit random table [20]. Root canals were enlarged using the X-Smart (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany) and NiTi-files to size F2 (Protaper, Dentsply DeTrey) and rinsed with 3 % sodium hypochlorite. Root canal was filled by corresponding size F2 of gutta-percha (F2, Protaper, Dentsply Maillefer, Konstanz, Germany) and sealer (AH 26 Plus Jet, Dentsply Maillefer, Konstanz, Germany).

The roots of the specimens were blocked out with wax 2 mm below the CEJ. To imitate a human periodontium and physiological tooth mobility, the roots of the teeth were covered with a layer of silicone (Mollosil Plus; Detax, Ettlingen, Germany) as described elsewhere [21]. All teeth and implants (group IV, $n=8$) were embedded in acrylic resin (Technovit 4004, Kulzer, Wehrheim, Germany) directing their axes 45° from the horizontal line. To prevent overheating, the teeth were submerged in water for 5 min during resin polymerization. To simulate a neighboring tooth and avoid distortion of the restoration within the simulated alveolar socket, a duroplast tooth analog (canine, Frasco, Tettang, Germany) was placed with a tight proximal contact.

Preparation

Group I access cavity only

All restorative steps were performed using the Dentsply Core & Post System (CTS, Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany). The etch-and-rinse and bonding procedure was performed according to the manufacturers' instruction. The root canal and the coronal tooth surface were etched with 37 % phosphoric acid (Conditioner 36, Dentsply DeTrey) and bonded (XP Bond, Self-cure Activator, Dentsply DeTrey, 1:1 ratio, mixed for 2 s). The access cavity was filled with dual-curing composite resin core build-up material (Core-X flow, Dentsply DeTrey) starting 3 mm below the CEJ level. The composite resin was polymerized (Optilux light curing unit, Demetron

Research Corp., Danbury, USA) from the incisal, palatal, and facial aspect (20 s each site).

Group II decoronated

The crowns were cut 2 mm coronal to the most incisal point of the proximal CEJ. Access cavity was extended 3 mm below the CEJ. The dentin core was built up using the core build-up material in the respective etch-and-rinse and bonding steps as described in group I with means of a strip crown (upper central incisor, Frasco, Tettang, Germany). The core build-up was polymerized from each site for 20 s (Fig. 1).

Group III decoronated with post

All treatment steps were performed as in group II, but a quartz-fiber post (size 2 (red), Ø 1.25 mm, X-Post, CTS, Dentsply DeTrey) was additionally placed 8 mm within the root canal. Post space preparation was performed in one sequence as described by the manufacturer. The core build-up material was used for post cementation and core build-up (Core-X™ flow, Dentsply DeTrey). The post was shortened during crown preparation (Fig. 2).

Group VI implant restoration

Dental implants (Xive, length 11 mm, diameter 3.8 mm, Dentsply Friadent, Mannheim, Germany) were restored with prefabricated zirconia all-ceramic abutments (Hexagon driver 1.22 with a maximum torque of 24 Ncm, 22 LOT B090004782 Dentsply Friadent). Abutments were prepared in a 10° to 15° angulation palatal to the canine tooth axis (Fig. 3).

The cavities in all groups were filled in one increment. All polymerisation was done with light curing unit Astralis 5 (500 mW/cm², Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein).



Fig. 1 Specimen preparation of group “decoronated without post” (II): *left*, after decoronation; *middle*, strip crown placed for core build-up; *right*, after core build-up

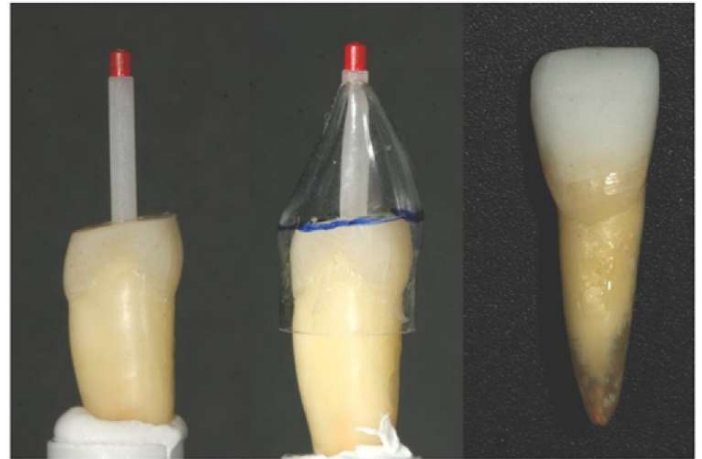


Fig. 2 Specimen preparation of group “decoronated with post” (III): *left*, after decoronation; *middle*, strip crown placed for core build-up; *right*, after core build-up

Restorations

All teeth were prepared with a circumferential 1.2-mm shoulder, a 1.5-mm incisal reduction, and 6° convergence angle to meet all-ceramic crown requirements. The margin was located 2 mm below the core build-up in dentin to ensure proper ferrule design. For the implant group, impression copings for pick-up technique (Transfer Copings for pick-up technique with transfer cap D3.8/GH5 LOT B090003992, Dentsply Friadent Germany) were fixed (Hexagon driver 1.22 mm for ratchet with a maximum torque of 24 Ncm 1.22 LOT B090004782, Dentsply Friadent). Impressions were taken from all specimens using silicon material (Aquasil Ultra Heavy as tray, Aquasil Ultra LV as wash material). Temporary crowns (Integrity, Dentsply DeTrey) were cemented on specimen teeth with a not eugenol containing provisional cement (Integrity TempGrip, Dentsply DeTrey). The gypsum casts (Resin-Rock, typ IV



Fig. 3 Zirconia two-unit anterior cantilever-fixed partial denture fixed on prefabricated zirconia all-ceramic abutment restored implant, canine used to ensure tight proximal contact point to cantilever unit reducing rotational forces

resin-reinforced gypsum, Whip-Mix, USA) and implant abutments placed on implant laboratory analogues were scanned (CERCON Eye Scanner, software cerconart 3.0.2, DeguDent, Hanau, Germany) and zirconia frameworks milled (spacer 30 μm , frame work thickness 0.5 mm, connector size 9.5 mm²) and veneered (CERCON CERAM Kiss; DeguDent) under standardized conditions. Liner (970 °C), two times dentin (820 and 830 °C) and glaze (800 °C) were applied and fired according to the manufacturer's instructions. Thickness of the veneering varied according to the preparation between 0.7 and 1 mm.

The frameworks were sand blasted (Al₂O₃ 50 μm , 2 bar, KaVo EWL, Biberach, Germany) at the inner surface and a thin layer silane (Calibra Silane; Dentsply Caulk, Milford, USA) was applied and allowed to set for 1 min. Provisional crowns were removed and teeth were cleaned with chlorhexidindigluconat (CHX 0.12 %, Sunstar Suisse SA, Etoy, Switzerland).

The dentin and enamel areas of the tooth were acid etched and rinsed as described for group I, composite build-ups were not treated. XP Bond and SCA were mixed in a 1:1 ratio and applied at the tooth and the inner surface of the frame work, left for 20 s, and air dried. Catalyst and base material of the composite resin cement were mixed for 30 s in a 1:1 ratio (Calibra esthetic resin cement, Catalyst Regular Viscosity/ Calibra Base Dark, Dentsply Caulk, Milford, USA) and applied into the crown. The two-unit crowns were cemented and a chemically initiated setting was allowed for 5 min (Fig. 3).

Loading protocol

TCML was performed (parameters: 2 × 3,000 thermal cycles, 5/55 °C, 2 min each cycle; distilled water; 1.2 × 10⁶ mastication cycles with 50 N) to simulate 5 years of clinical service [18, 19]. The restorations were loaded under 135°, 3 mm below the incisal edge, on the palatal surface of the cantilever crown unit, i.e., lateral incisor. If no failure occurred a second sequence with identical parameters was performed. If again no failure occurred the specimens were statically loaded in a universal testing machine (Zwick 1446, Zwick, Ulm, Germany; $v=1$ mm/min) until failure. Failure detection was set at a 10 % loss of the maximum applied force. To reduce excessive stress concentrations, a 0.3-mm-thick tin foil was positioned between the steel piston and the palatal crown surface. A failure was judged as catastrophic when re-restoration was not possible.

Statistical analysis

Kaplan–Meier survival plots were constructed (Fig. 4). The number of cycles until failure was compared with log-rank statistics. Non-parametric Kruskal–Wallis and Mann–Whitney

U test as post hoc were applied to determine differences between group median of the maximum load capability F_{max} . Differences in the frequency of the failure modes between the groups were evaluated by Fisher exact test. Data were pooled and categorized into three patterns: chipping, debonding, and chipping judged as technical failures and fracture within the root. All statistics were two-sided at $\alpha=0.05$.

Results

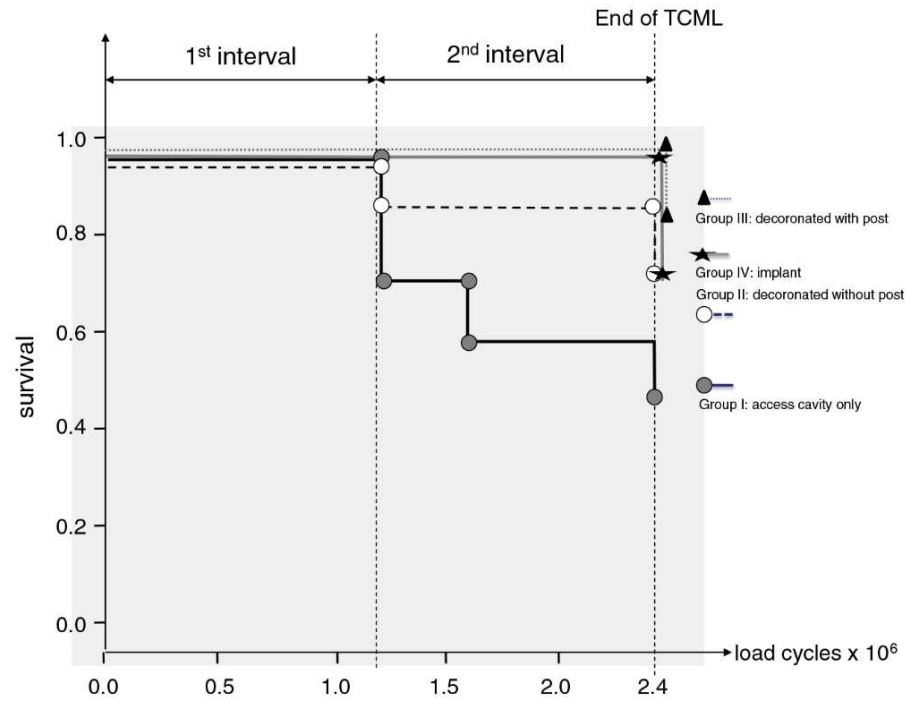
The number of total failures during TCML varied between one (group III) and four (group I). After 1.2 Mio mechanical loadings (first TCML interval), two specimens of group I (25 %) fractured within the abutment tooth, and one specimen of group IV (12.5 %) showed chipping at the cantilever unit. During the second TCML interval (1,580,000 loadings) one debonding combined with chipping was observed in group I. After 2.4 Mio mechanical loadings, one chipping was found in groups I, II, and IV. In group I, chipping was combined again with debonding of the restoration (Table 1). Chipping areas bigger than 2 mm² were characterized as non-polishable. The log-rank analysis of the Kaplan–Meier survival plots (Fig. 4) revealed no statistical significant differences after 2.4 Mio loadings among the groups ($p=0.08$), neither at the abutment level (severely damaged teeth or zirconia abutment; $p=0.085$) nor restoration level (2-unit FPD; $p=0.526$). The number of fractures was not significantly different after TCML ($p=0.157$). Failed specimens were excluded from further testing and were assigned a static load of " $F_{\text{max}}=0$ " [22].

Median fracture load varied between 176 N (group I) and 670 N (group III). The Kruskal–Wallis test revealed significantly ($p=0.025$) different load capabilities between the groups. The pair-wise comparison showed significant differences between groups I and III ($p=0.024$) as well as group III and IV ($p=0.014$). The comparison of the frequency of the fracture patterns revealed significant differences after linear loading ($p=0.012$). Table 1 provides detailed information about the type of failure. Figure 5 shows failure modes during thermo-mechanical loading and Fig. 6 a typical failure.

Discussion

To the best of our knowledge, this is the first study investigating zirconia 2U-FPDs, comparing endodontically treated teeth with moderate to large defects and implants as abutments. Specimens were exposed to a prolonged preclinical chewing simulation by TCML, which aims to simulate 10 years of clinical function. The failure rates varied from 25 to 50 % after 2.4 Mio dynamic load cycles. Teeth with

Fig. 4 Kaplan–Meier plots of the experimental groups during 5- and 10-year simulation of clinical functional forces by TCML with 1.2 and 2.4×10^6 cycles between 1 and 49 N and thermo-cycles between 5 and 55 °C in distilled water, respectively



only an access cavity restored with core build-up composite resin performed worse. The study confirmed the null hypothesis that there is no difference regarding the long-term survival of all-ceramic zirconia-framework 2U-FPD, irrespective whether damaged endodontically treated maxillary central incisors or dental implants served as abutments.

Artificial aging, which combines TCML [23], provides a sufficient prognosis of probable clinical failure [18], and was already successfully applied for post-and-core restoration [20, 24] and anterior resin-bonded FPDs [25, 26].

Limitations of this *in vitro* test assay for clinical conclusions should be expected due to the limited number of specimens and the small number of appearing complications at abutment level.

A prolonged TCML includes fatigue phenomena and is of utmost importance to increase the predictive power of *in vitro* data in terms of clinical survival of a restoration [27]. It may also help to exclude catastrophic clinical failure [18]. The bonding, core build-up, and post materials which were used perform well under *in vitro* conditions [28], [29]. Also,

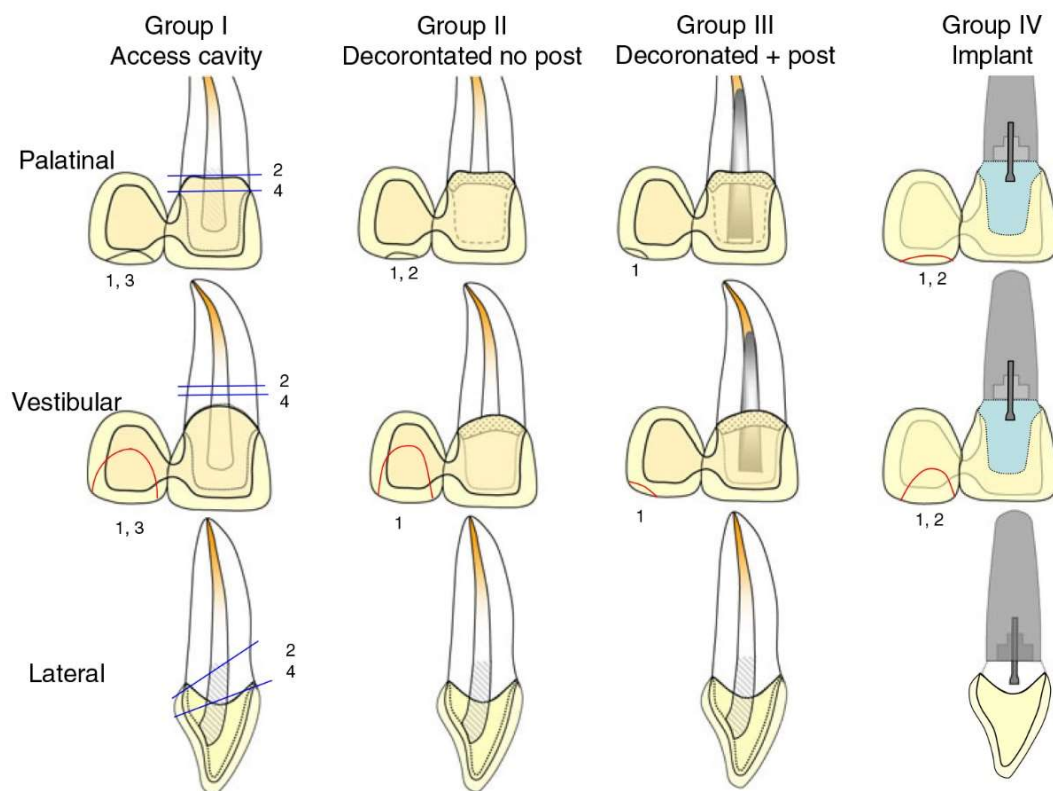
Table 1 Number of preliminary failures and cycles until failure during TCML, failure type and mean values for the load capability in [Newtons] of load testing after TCML, and number of catastrophic fractures

Group	n	Distance CEJ ^a —apex (min/max) [mm]	Total length (min/max) [mm]	Preliminary TCML failure [n]	Cycles until failure	Failure type after TCML	Median (min/max) F_{max} [N]	Failure type after linear loading [n]
Access cavity only	8	17 (16/19)	24 (23/26)	4	2×1,200,000	Crashed within tooth ^b	176 (0/556)	4× chipping
					1×1,580,000	Debonding + chipping		
					1×2,400,000	Debonding + chipping		
Decoronated	8	17 (16/18)	19 (18/25)	2	2×2,400,000	Chipping Chipping ^b	311 (0/892)	2× chipping 3× build-up fracture ^b 1× tooth fracture ^b
Decoronated with post	8	17 (16/17)	19 (18/19)	1	1×2,400,000	Chipping	670 (0/997)	5× chipping 1× debonding 1× tooth fracture ^b
Implant	8	—	11	2	1×1,200,000	Chipping	324 (0/755)	1× chipping 3× debonding + chipping 2× abutment fracture ^b
					1×2,400,000	Chipping		

^a Cemento–enamel junction

^b Catastrophic failure (chipping > 2 mm²; not to polish)

Fig. 5 Failure modes per group during chewing simulation (TCML), red line represent chipping, blue line level of tooth fracture (number of failure)



the dual-curing composite resin shows good performance *in vitro* and *in vivo* [30–33]. The approach to use core build-up resins for cementation already provided promising results [34, 35]. The data show that composite core build-ups provide good experimental and *in vivo* experience and might therefore be sufficient for a cantilever FPDs.

Due to the lack of *in vivo* and *in vitro* data, we are not able to compare the results directly to existing scientific literature. Thus, analogies must be drawn to single-crown restoration data in the anterior region or data of conventional cantilever FPDs in the molar region. *In vitro* and *in vivo* investigations show that anterior resin-bonded cantilever-fixed prostheses made of all-ceramic seem to be an alternative to two-retainer restorations or FPDs [25, 26, 36]. Ohlmann et al. state that the *in vitro* fracture strength of cantilevered FPDs may not be sufficient for a molar clinical application [37]. Nevertheless,

the success of cantilever zirconia restorations seems to depend on fabrication technique and the loading situations [38]. Promising clinical results for zirconia FPDs with end abutment or cantilever design show only marginal differences between these groups after 4-years clinical application [39]. During the simulation, most failures in all groups were chipping of the veneering ceramic. This is an actually discussed problem with ceramic-veneered zirconia restorations [40], which might be related to the design, material quality, or fabrication process of the veneering material, but not to the type of restoration or abutment as such. Small differences were found between tooth- or implant-supported restorations. Both show low numbers of catastrophic failures, but high rate of complications, especially chipping, under clinical conditions [41]. However, it can be stated that chipping might in most cases not lead to a re-restoration. After polishing of the damaged ceramic surface the restoration will remain in function.

The worse performance in group I might be explained by effects of the high polymerization shrinkage stresses [42, 43] within the root canal and access cavity itself, which might be due to the large configuration factor [44]. Only in the group with access cavity, half of the specimens failed. As half of the chippings were combined with debonding, the assumption that shrinkage or adhesive problems may influence the performance seems proximate. An explanation of the results might be found in the rigidity of the whole restorative complex “tooth rebuilt with composite resin” (group I) compared to “teeth rebuilt with (group III) or without (group II) endodontic post-



Fig. 6 Failure after TCML (example group III)

and-composite resin”, which might lead to a higher stress on the cement interface. Different modulus of core and dentin and the individual share of both materials influence the stability of the whole system. Bonding between cement and dentin or between cement and composite is strictly different, which might influence the stability of the whole system: Fracture results of the surviving restorations indicate clear differences between the three types of restorations, supporting the worse performances of group I. However, this would mean that a core build-up material alone as in group II seems stiffer than a combination of core build-up and dentin tissue. There is no external evidence to support this assumption. Thus, more research on this surprising finding is needed.

Based on clinical data, we know that crowned glass-fiber post-restored maxillary incisors with three or four remaining cavity walls, i.e., an access cavity, show survival rates >98 % after a mean observation period of 5.3 years [45]. Serious catastrophic tooth fractures were found in 25 % of the specimens. The loading on the cantilever during the simulation process might have caused a strong tilting and torsion moment on the restoration. These oblique, non-axial forces due to the loading at the cantilever unit, were highlighted as risk factor for fatigue fracture of brittle tooth material [46, 47], and may explain the tooth fractures of the present investigation. In terms of defect extension [44], the decoronated teeth of groups II and III seemed to be more jeopardized. Lower failure rates might be attributed to improved adhesive and mechanical properties of the core materials, and the use of the post. Although not significant, the high failure rate suggests that incisors with only an access cavity may be less reliable over 10-year clinical function. Whether an additional post placement in such cases would be advantageous should be investigated in future studies.

Fracture load testing demonstrated lowest fracture resistance for group I with access cavity, which might confirm the low survival rate during TCML. A supporting post effect in group III compared to group II could not be demonstrated. However, the fracture results of group III with post were higher in comparison to the implant group IV and access cavity group I. It should be kept in mind that load capacity tests do not show a direct clinical relevance, but they may allow for the detection of premature subcritical damages during the simulation process and further on a differentiation between the individual groups.

Other laboratory [20] and clinical [48] studies confirmed that post placement seemed beneficial for single-tooth restorations, when no cavity wall remained. Implant-based restorations were not superior to restorations on decoronated, severely damaged teeth, which were long-term preclinically loaded by TCML.

Conclusion

Within the limitations of an *in vitro* study, it can be concluded that zirconia-framework 2U-FPDs on decoronated teeth with/without post showed comparable *in vitro* reliability as restorations on implants. The results indicated that restorations on teeth with only access cavity perform worse in survival and linear loading.

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

References

1. Fleming CH, Litaker MS, Alley LW, Eleazer PD (2010) Comparison of classic endodontic techniques versus contemporary techniques on endodontic treatment success. *J Endod* 36:414–418
2. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K (2007) Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature—part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *Int Endod J* 40:921–939
3. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K (2008) Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature—part 2. Influence of clinical factors. *Int Endod J* 41:6–31
4. Goga R, Purton DG (2007) The use of endodontically treated teeth as abutments for crowns, fixed partial dentures, or removable partial dentures: a literature review. *Quintessence Int* 38:e106–e111
5. Kao RT (2008) Strategic extraction: a paradigm shift that is changing our profession. *J Periodontol* 79:971–977
6. Zitzmann NU, Krastl G, Hecker H, Walter C, Weiger R (2009) Endodontics or implants? A review of decisive criteria and guidelines for single tooth restorations and full arch reconstructions. *Int Endod J* 42:757–774
7. Zitzmann NU, Krastl G, Hecker H, Walter C, Waltimo T, Weiger R (2009) Strategic considerations in treatment planning: deciding when to treat, extract, or replace a questionable tooth. *J Prosthet Dent* 104:80–91
8. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T (2003) Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 23:313–323
9. Studer SP, Mader C, Stahel W, Scharer P (1998) A retrospective study of combined fixed-removable reconstructions with their analysis of failures. *J Oral Rehabil* 25:513–526
10. Garber DA, Salama MA, Salama H (2001) Immediate total tooth replacement. *Compend Contin Educ Dent* 22(210–216):218
11. Tymstra N, Raghoobar GM, Vissink A, Den Hartog L, Stellingsma K, Meijer HJ (2011) Treatment outcome of two adjacent implant crowns with different implant platform designs in the aesthetic zone: a 1-year randomized clinical trial. *J Clin Periodontol* 38:74–85
12. Salama H, Salama MA, Garber D, Adar P (1998) The interproximal height of bone: a guidepost to predictable aesthetic strategies and soft tissue contours in anterior tooth replacement. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 10:1131–1141, quiz 1142
13. Tarnow D, Elian N, Fletcher P, Froum S, Magner A, Cho SC, Salama M, Salama H, Garber DA (2003) Vertical distance from the crest of bone to the height of the interproximal papilla between adjacent implants. *J Periodontol* 74:1785–1788

14. Holm-Pedersen P, Lang NP, Muller F (2007) What are the longevities of teeth and oral implants? *Clin Oral Implants Res* 18(Suppl 3):15–19
15. Iqbal MK, Kim S (2007) For teeth requiring endodontic treatment, what are the differences in outcomes of restored endodontically treated teeth compared to implant-supported restorations? *Int J Oral Maxillofac Implants* 22(Suppl):96–116
16. Torabinejad M, Anderson P, Bader J, Brown LJ, Chen LH, Goodacre CJ, Kattadiyil MT, Kutsenko D, Lozada J, Patel R, Petersen F, Puterman I, White SN (2007) Outcomes of root canal treatment and restoration, implant-supported single crowns, fixed partial dentures, and extraction without replacement: a systematic review. *J Prosthet Dent* 98:285–311
17. Salinas TJ, Eckert SE (2007) In patients requiring single-tooth replacement, what are the outcomes of implant- as compared to tooth-supported restorations? *Int J Oral Maxillofac Implants* 22 (Suppl):71–95
18. Rosentritt M, Behr M, van der Zel JM, Feilzer AJ (2009) Approach for valuating the influence of laboratory simulation. *Dent Mater* 25:348–352
19. Rosentritt M, Siavikis G, Behr M, Kolbeck C, Handel G (2008) Approach for valuating the significance of laboratory simulation. *J Dent* 36:1048–1053
20. Naumann M, Preuss A, Frankenberger R (2007) Reinforcement effect of adhesively luted fiber reinforced composite versus titanium posts. *Dent Mater* 23:138–144
21. Sterzenbach G, Kalberlah S, Beuer F, Frankenberger R, Naumann M (2011) In-vitro simulation of tooth mobility for static and dynamic load tests: a pilot study. *Acta Odontol Scand* 69(5):316–318
22. Roulet JF, Van Meerbeek B (2007) Editorial: statistics: a nuisance, a tool, or a must? *J Adhes Dent* 9:287–288
23. Rosentritt M, Behr M, Gebhard R, Handel G (2006) Influence of stress simulation parameters on the fracture strength of all-ceramic fixed-partial dentures. *Dent Mater* 22:176–182
24. Naumann M, Preuss A, Rosentritt M (2006) Effect of incomplete crown ferrules on load capacity of endodontically treated maxillary incisors restored with fiber posts, composite build-ups, and all-ceramic crowns: an in vitro evaluation after chewing simulation. *Acta Odontol Scand* 64:31–36
25. Rosentritt M, Ries S, Kolbeck C, Westphal M, Richter EJ, Handel G (2009) Fracture characteristics of anterior resin-bonded zirconia-fixed partial dentures. *Clin Oral Investig* 13(4):453–457
26. Rosentritt M, Kolbeck C, Ries S, Gross M, Behr M, Handel G (2008) Zirconia resin-bonded fixed partial dentures in the anterior maxilla. *Quintessence Int* 39:313–319
27. Anusavice KJ, Kakar K, Ferree N (2007) Which mechanical and physical testing methods are relevant for predicting the clinical performance of ceramic-based dental prostheses? *Clin Oral Implants Res Suppl* 3:218–231
28. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B (2004) Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 20:963–971
29. Sterzenbach G, Karajouli G, Naumann M, Peroz I, Bitter K (2011) Fiber post placement with core build-up materials or resin cements—an evaluation of different adhesive approaches. *Acta Odontol Scand* ahead of print
30. Barnes D, Gingell JC, George D, Adachi E, Jefferies S, Sundar VV (2010) Clinical evaluation of an all-ceramic restorative system: a 36-month clinical evaluation. *Am J Dent* 23:87–92
31. Abdul Salam SN, Banerjee A, Mannocci F, Pilecki P, Watson TF (2006) Cyclic loading of endodontically treated teeth restored with glass fibre and titanium alloy posts: fracture resistance and failure modes. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 14:98–104
32. Stewart GP, Jain P, Hodges J (2002) Shear bond strength of resin cements to both ceramic and dentin. *J Prosthet Dent* 88:277–284
33. Ritter AV, Ghaname E, Pimenta LA (2009) Dentin and enamel bond strengths of dual-cure composite luting agents used with dual-cure dental adhesives. *J Dent* 37:59–64
34. Ohlmann B, Fickenscher F, Dreyhaupt J, Rammelsberg P, Gabbert O, Schmitter M (2008) The effect of two luting agents, pretreatment of the post, and pretreatment of the canal dentin on the retention of fiber-reinforced composite posts. *J Dent* 36:87–92
35. Aksornmuang J, Nakajima M, Foxton RM, Tagami J (2007) Mechanical properties and bond strength of dual-cure resin composites to root canal dentin. *Dent Mater* 23:226–234
36. Kern M, Sasse M (2011) Ten-year survival of anterior all-ceramic resin-bonded fixed dental prostheses. *J Adhes Dent* 13:407–410
37. Ohlmann B, Marienburg K, Gabbert O, Hassel A, Gilde H, Rammelsberg P (2009) Fracture-load values of all-ceramic cantilevered FPDs with different framework designs. *Int J Prosthodont* 22:49–52
38. Ghazy MH, Madina MM, Aboushelib MN (2012) Influence of fabrication techniques and artificial aging on the fracture resistance of different cantilever zirconia fixed dental prostheses. *J Adhes Dent* 14:161–166
39. Wolfart S, Harder S, Eschbach S, Lehmann F, Kern M (2009) Four-year clinical results of fixed dental prostheses with zirconia substructures (Cercon): end abutments vs. cantilever design. *Eur J Oral Sci* 117:741–749
40. Al-Amleh B, Lyons K, Swain M (2010) Clinical trials in zirconia: a systematic review. *J Oral Rehabil* 37:641–652
41. Rammelsberg P, Schwarz S, Schroeder C, Bermejo JL, Gabbert O (2012) Short-term complications of implant-supported and combined tooth-implant-supported fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res*. doi:10.1111/j.1600-0501.2012.02482.x. [Epub ahead of print]
42. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH (2003) Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater* 19:199–205
43. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH (2003) Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod* 29:523–528
44. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL (1987) Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 66:1636–1639
45. Signore A, Benedicenti S, Kaitsas V, Barone M, Angiero F, Ravera G (2009) Long-term survival of endodontically treated, maxillary anterior teeth restored with either tapered or parallel-sided glass-fiber posts and full-ceramic crown coverage. *J Dent* 37:115–121
46. Torbjørner A, Fransson B (2004) A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth. *Int J Prosthodont* 17:369–376
47. Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M, Zwahlen M (2004) A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* 15:667–676
48. Bitter K, Noetzel J, Stamm O, Vaudt J, Meyer-Lueckel H, Neumann K, Kielbassa AM (2009) Randomized clinical trial comparing the effects of post placement on failure rate of postendodontic restorations: preliminary results of a mean period of 32 months. *J Endod* 35:1477–1482

3. Zusammenfassung der Arbeit

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. med. dent.

Titel:

Are implants more reliable than severely compromised endodontically treated teeth as abutments for zirconia-based FPDs?

Clin Oral Invest (2013) 17:1685-1692

eingereicht von:

Christian Hohmann

angefertigt an der:

Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde

Betreuer: Prof. Dr. Sebastian Hahnel

Co- Betreuer: Prof. Dr. Michael Naumann

Monat und Jahr (der Einreichung): Mai 2022

Ein einzelner fehlender Frontzahn ist eine der größten Herausforderungen der prothetischen Zahnmedizin. In die Entscheidungsfindung, welche Versorgung schlussendlich Anwendung finden soll, müssen Einschätzungen aus unterschiedlichsten Blickwinkeln wie etwa die Stabilität der Pfeiler und der Versorgungsform, eine gute Ästhetik der endgültigen Versorgung sowie der umgebenden gingivalen Strukturen getroffen werden. Die Einbeziehung von bestehenden vorgeschädigten Zähnen oder die Insertion von Implantaten erfordert eine gute Vorhersagbarkeit der Funktionalität und Langlebigkeit der Versorgungen im Hinblick auf die Kompromittierung der Verankerung.

Die hier vorliegende Studie untersucht den Einfluss der Defektgröße von endodontisch behandelten Schneidezähnen im Vergleich zu dentalen Implantaten als Pfeiler für Zirkoniumdioxid-Freiebrücken in einer 10-Jahres-Kausimulation (TCML) mit abschließendem Test der maximalen Belastbarkeit. Adhäsive einflügelige Extensionsbrücken im Cantilever-Design waren Gegenstand zahlreicher klinischer Arbeiten. Eine Untersuchung über die Wertigkeit des tragenden Pfeilerzahnes mit Simulation unterschiedlicher Defektgrade im Vergleich zu einem Implantat sowie die Versorgung des Zahnes mit

einer Krone mit Cantilever-Design zum Ersatz eines benachbarten Frontzahnes – wie in der vorliegenden Studie untersucht – wurde bis dato allerdings nicht analysiert.

Vor diesem Hintergrund wurden Proben in vier Gruppen eingeteilt, die die verschiedenen Versorgungsformen der Pfeiler repräsentieren:

- Gruppe 1: Zahn mit adhäsivem Verschluss der Zugangskavität,
- Gruppe 2: Dekapitierter Zahn mit adhäsivem Aufbau,
- Gruppe 3: Dekapitierter Zahn mit adhäsivem Aufbau und Glasfaserstift,
- Gruppe 4: Implantat mit vollkeramischem Abutment.

Nach Präparation und Anfertigung einer vollkeramischen Extensionsbrücke aus einem vollverblendetem Zirkoniumdioxidgerüst wurden diese adhäsiv auf den Pfeilerzähnen bzw. auf den Implantaten befestigt. Die Proben wurden zwei Sequenzen von thermischen und mechanischen Wechsel-Zyklen (TCML) ausgesetzt, die zehn Jahre klinischer Belastung simulierten [126, 127]. Abschließend wurden sie einem maximalen Belastbarkeitstest F_{max} unterzogen. Die statistische Auswertung nach TCML wurde nach Kaplan-Meier und Log-Rank-Test durchgeführt, die statistische Auswertung der Medianwerte des F_{max} -Testes erfolgte mittels Kruskal-Wallis-Test und Mann-Whitney-U-Test.

Die Ausfallraten pro Gruppe variierten von 12,5% (Gruppe 3) bis 50% (Gruppe 1) nach $2,4 \times 10^6$ dynamischen Lastzyklen. Während in der TCML in Gruppe 1 zwei Zahnfrakturen und zwei Debondings mit Chipping auftraten, zeigten sich in den Gruppen 2 (2 ×), 3 (1 ×) und 4 (2 ×) ausschließlich Chippings. Hinsichtlich der Überlebensraten zeigte sich kein signifikanter Einfluss des Aufbaus oder des Abutments ($p = 0,085$) sowie der Restauration mit der vollkeramischen Extensionsbrücke ($p = 0,526$). Die Anzahl der Frakturen unterschied sich ebenfalls nicht statistisch signifikant zwischen den Gruppen ($p = 0,157$). Abschließend wurden die verbliebenen Proben einem maximalen Belastbarkeitstest (F_{max}) unterzogen. Dabei zeigten sich statistisch signifikante bessere maximale Belastungswerte der Proben in Gruppe 3 (670 N) im Vergleich zu Proben der Gruppe 1 (176 N) ($p = 0,024$) und Gruppe 4 (324 N) ($p = 0,014$). Die Zähne mit Glasfaserstift zeigten die höchsten maximalen Belastbarkeitswerte (F_{max}).

Innerhalb der Grenzen einer in-vitro-Studie kann somit darauf geschlossen werden, dass Zirkoniumdioxid-Extensionsbrücken auf dekapitierten Zähnen mit und ohne Stift in-vitro vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich Ihrer Überlebensrate nach zehn Jahren TCML-Simulation zeigen wie Restaurationen auf Implantaten. Die Unterschiede im maximalen Belastbarkeitstest könnten jedoch darauf hindeuten, dass es im klinischen Ergebnis unterschiedliche Überlebensraten geben könnte. Vor diesem Hintergrund schließen auch schwere Defekte an endodontisch behandelten Zähnen die Einbeziehung in eine prothetische Versorgung der beschriebenen Art durchaus nicht aus, da sie einem Ersatz mit Implantaten gleichwertig zu sein scheinen.

4. Literaturverzeichnis

1. Reich, E. and K.A. Hiller, *Reasons for tooth extraction in the western states of Germany*. Community Dent Oral Epidemiol, 1993. **21**(6): p. 379-83.
2. Larmour, C.J., et al., *Hypodontia--a retrospective review of prevalence and etiology. Part I*. Quintessence international, 2005. **36**(4): p. 263-70.
3. Bastone, E.B., T.J. Freer, and J.R. McNamara, *Epidemiology of dental trauma: a review of the literature*. Aust Dent J, 2000. **45**(1): p. 2-9.
4. Bucher, K., et al., *Traumatic dental injuries at a German university clinic 2004-2008*. Dent Traumatol, 2013. **29**(2): p. 127-33.
5. Diangelis, A.J., et al., *International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 1. Fractures and luxations of permanent teeth*. Dental traumatology : official publication of International Association for Dental Traumatology, 2012. **28**(1): p. 2-12.
6. Tarnow, D., et al., *Vertical distance from the crest of bone to the height of the interproximal papilla between adjacent implants*. J Periodontol, 2003. **74**(12): p. 1785-8.
7. Tarnow, D.P., A.W. Magner, and P. Fletcher, *The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla*. Journal of periodontology, 1992. **63**(12): p. 995-6.
8. Halpern, L.R. and D.R. Adams, *Medically Complex Dental Implant Patients: Controversies About Systemic Disease and Dental Implant Success/Survival*. Dent Clin North Am, 2021. **65**(1): p. 1-19.
9. Merz, M.A., et al., *Facilitators and barriers influencing the readiness to receive dental implants in a geriatric institutionalised population-A randomized non-invasive interventional study*. Gerodontology, 2017. **34**(3): p. 306-312.
10. *Parameters for evaluation and treatment of patients with cleft lip/palate or other craniofacial anomalies*. American Cleft Palate-Craniofacial Association. March, 1993. The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association, 1993. **30 Suppl**: p. S1-16.
11. Lethaus, B., et al., *Clinical Follow-Up in Orofacial Clefts-Why Multidisciplinary Care Is the Key*. J Clin Med, 2021. **10**(4).
12. Thilander, B., J. Odman, and U. Lekholm, *Orthodontic aspects of the use of oral implants in adolescents: a 10-year follow-up study*. Eur J Orthod, 2001. **23**(6): p. 715-31.
13. Terheyden, H. and F. Wusthoff, *Occlusal rehabilitation in patients with congenitally missing teeth-dental implants, conventional prosthetics, tooth autotransplants, and preservation of deciduous teeth-a systematic review*. Int J Implant Dent, 2015. **1**(1): p. 30.
14. Klocke, S., *Untersuchung zur dentalen Ästhetik*. Dissertation, Universität Würzburg, 2007.
15. Kao, R.T., *Strategic extraction: a paradigm shift that is changing our profession*. J Periodontol, 2008. **79**(6): p. 971-7.
16. Corn, H. and M.H. Marks, *Strategic extractions in periodontal therapy*. Dent Clin North Am, 1969. **13**(4): p. 817-43.
17. Kao, R.T., et al., *A commentary on strategic extraction*. J Periodontol, 2022. **93**(1): p. 11-19.
18. McFall, W.T., Jr., *Tooth loss in 100 treated patients with periodontal disease. A long-term study*. J Periodontol, 1982. **53**(9): p. 539-49.
19. Wood, W.R., G.W. Greco, and W.T. McFall, Jr., *Tooth loss in patients with moderate periodontitis after treatment and long-term maintenance care*. J Periodontol, 1989. **60**(9): p. 516-20.
20. Ng, Y.L., et al., *Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature - part 1. Effects of study characteristics on probability of success*. Int Endod J, 2007. **40**(12): p. 921-39.
21. Ng, Y.L., et al., *Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature -- Part 2. Influence of clinical factors*. Int Endod J, 2008. **41**(1): p. 6-31.

22. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, *Tooth survival following non-surgical root canal treatment: a systematic review of the literature*. *Int Endod J*, 2010. **43**(3): p. 171-89.
23. Ray, H.A. and M. Trope, *Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration*. *Int Endod J*, 1995. **28**(1): p. 12-8.
24. Dugas, N.N., et al., *Quality of life and satisfaction outcomes of endodontic treatment*. *J Endod*, 2002. **28**(12): p. 819-27.
25. Yoshino, K., et al., *Prevalence of vertical root fracture as the reason for tooth extraction in dental clinics*. *Clin Oral Investig*, 2015. **19**(6): p. 1405-9.
26. Sedgley, C.M. and H.H. Messer, *Are endodontically treated teeth more brittle?* *J Endod*, 1992. **18**(7): p. 332-5.
27. Papa, J., C. Cain, and H.H. Messer, *Moisture content of vital vs endodontically treated teeth*. *Endod Dent Traumatol*, 1994. **10**(2): p. 91-3.
28. Helfer, A.R., S. Melnick, and H. Schilder, *Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1972. **34**(4): p. 661-70.
29. Fusayama, T. and T. Maeda, *Effect of pulpectomy on dentin hardness*. *J Dent Res*, 1969. **48**(3): p. 452-60.
30. Reeh, E.S., H.H. Messer, and W.H. Douglas, *Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures*. *J Endod*, 1989. **15**(11): p. 512-6.
31. Randow, K. and P.O. Glantz, *On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study*. *Acta Odontol Scand*, 1986. **44**(5): p. 271-7.
32. Juloski, J., et al., *Ferrule effect: a literature review*. *J Endod*, 2012. **38**(1): p. 11-9.
33. Naumann, M., et al., *"Ferrule Comes First. Post Is Second!" Fake News and Alternative Facts? A Systematic Review*. *Journal of endodontics*, 2018. **44**(2): p. 212-219.
34. Stankiewicz, N. and P. Wilson, *The ferrule effect*. *Dent Update*, 2008. **35**(4): p. 222-4, 227-8.
35. Sorensen, J.A. and M.J. Engelman, *Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth*. *J Prosthet Dent*, 1990. **63**(5): p. 529-36.
36. Isidor, F., K. Brondum, and G. Ravnholt, *The influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts*. *Int J Prosthodont*, 1999. **12**(1): p. 78-82.
37. Al-Wahadni, A. and D.L. Gutteridge, *An in vitro investigation into the effects of retained coronal dentine on the strength of a tooth restored with a cemented post and partial core restoration*. *Int Endod J*, 2002. **35**(11): p. 913-8.
38. Joseph, J. and G. Ramachandran, *Fracture resistance of dowel channel preparations with various dentin thickness*. *Fed Oper Dent*, 1990. **1**(1): p. 32-5.
39. Peroz, I., et al., *Restoring endodontically treated teeth with posts and cores--a review*. *Quintessence Int*, 2005. **36**(9): p. 737-46.
40. Pilo, R. and A. Tamse, *Residual dentin thickness in mandibular premolars prepared with gates glidden and ParaPost drills*. *J Prosthet Dent*, 2000. **83**(6): p. 617-23.
41. Tjan, A.H. and S.B. Whang, *Resistance to root fracture of dowel channels with various thicknesses of buccal dentin walls*. *J Prosthet Dent*, 1985. **53**(4): p. 496-500.
42. Mehl, C., S. Wolfart, and M. Kern, *Orthodontic extrusion with magnets: a case report*. *Quintessence Int*, 2008. **39**(5): p. 371-9.
43. Zhen, M., et al., *Periodontal evaluation of crown-root fractured teeth following modified crown lengthening surgery*. *Br Dent J*, 2017. **222**(1): p. 21-25.
44. Faria, L.P., et al., *Orthodontic Extrusion as Treatment Option for Crown-Root Fracture: Literature Review with Systematic Criteria*. *J Contemp Dent Pract*, 2015. **16**(9): p. 758-62.
45. Das, B. and M.S. Muthu, *Surgical extrusion as a treatment option for crown-root fracture in permanent anterior teeth: a systematic review*. *Dent Traumatol*, 2013. **29**(6): p. 423-31.
46. Naumann, M., A. Preuss, and M. Rosentritt, *Effect of incomplete crown ferrules on load capacity of endodontically treated maxillary incisors restored with fiber posts, composite build-*

- ups, and all-ceramic crowns: an in vitro evaluation after chewing simulation. Acta Odontol Scand, 2006. 64(1): p. 31-6.*
47. Arunpraditkul, S., S. Saengsanon, and W. Pakviwat, *Fracture resistance of endodontically treated teeth: three walls versus four walls of remaining coronal tooth structure. J Prosthodont, 2009. 18(1): p. 49-53.*
 48. Morgano, S.M. and S.E. Brackett, *Foundation restorations in fixed prosthodontics: current knowledge and future needs. J Prosthet Dent, 1999. 82(6): p. 643-57.*
 49. Ng, C.C., et al., *Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance of restored endodontically treated anterior teeth. J Prosthet Dent, 2006. 95(4): p. 290-6.*
 50. Jotkowitz, A. and N. Samet, *Rethinking ferrule--a new approach to an old dilemma. Br Dent J, 2010. 209(1): p. 25-33.*
 51. Juloski, J., D. Apicella, and M. Ferrari, *The effect of ferrule height on stress distribution within a tooth restored with fibre posts and ceramic crown: a finite element analysis. Dent Mater, 2014. 30(12): p. 1304-15.*
 52. Naumann, M., et al., *10-year survival evaluation for glass-fiber-supported postendodontic restoration: a prospective observational clinical study. Journal of endodontics, 2012. 38(4): p. 432-5.*
 53. Castro, C.G., et al., *Fracture resistance and mode of failure of various types of root filled teeth. Int Endod J, 2012. 45(9): p. 840-7.*
 54. Torbjorner, A. and B. Fransson, *A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth. Int J Prosthodont, 2004. 17(3): p. 369-76.*
 55. Torbjorner, A. and B. Fransson, *Biomechanical aspects of prosthetic treatment of structurally compromised teeth. Int J Prosthodont, 2004. 17(2): p. 135-41.*
 56. Torbjorner, A., S. Karlsson, and P.A. Odman, *Survival rate and failure characteristics for two post designs. J Prosthet Dent, 1995. 73(5): p. 439-44.*
 57. De Backer, H., et al., *An 18-year retrospective survival study of full crowns with or without posts. Int J Prosthodont, 2006. 19(2): p. 136-42.*
 58. Balkenhol, M., et al., *Survival time of cast post and cores: a 10-year retrospective study. J Dent, 2007. 35(1): p. 50-8.*
 59. Fokkinga, W.A., et al., *Up to 17-year controlled clinical study on post-and-cores and covering crowns. J Dent, 2007. 35(10): p. 778-86.*
 60. Fokkinga, W.A., et al., *Composite resin core-crown reconstructions: an up to 17-year follow-up of a controlled clinical trial. Int J Prosthodont, 2008. 21(2): p. 109-15.*
 61. Bateli, M., et al., *A retrospective evaluation of teeth restored with zirconia ceramic posts: 10-year results. Clin Oral Investig, 2014. 18(4): p. 1181-1187.*
 62. Sterzenbach, G., A. Franke, and M. Naumann, *Rigid versus flexible dentine-like endodontic posts--clinical testing of a biomechanical concept: seven-year results of a randomized controlled clinical pilot trial on endodontically treated abutment teeth with severe hard tissue loss. Journal of endodontics, 2012. 38(12): p. 1557-63.*
 63. Naumann, M., et al., *Dentin-like versus Rigid Endodontic Post: 11-year Randomized Controlled Pilot Trial on No-wall to 2-wall Defects. Journal of endodontics, 2017. 43(11): p. 1770-1775.*
 64. Naumann, M., A. Preuss, and R. Frankenberger, *Reinforcement effect of adhesively luted fiber reinforced composite versus titanium posts. Dent Mater, 2007. 23(2): p. 138-44.*
 65. Coelho, C.S., et al., *Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts. Dent Mater J, 2009. 28(6): p. 671-8.*
 66. Kim, S.H., et al., *Effects of metal- and fiber-reinforced composite root canal posts on flexural properties. Dent Mater J, 2016. 35(1): p. 138-46.*
 67. Naumann, M., et al., *Why, when, and how general practitioners restore endodontically treated teeth: a representative survey in Germany. Clinical oral investigations, 2016. 20(2): p. 253-9.*

68. Watanabe, M.U., et al., *Influence of crown ferrule heights and dowel material selection on the mechanical behavior of root-filled teeth: a finite element analysis*. J Prosthodont, 2012. **21**(4): p. 304-11.
69. Buttler, L., et al., *Influence of post fit and post length on fracture resistance*. Int Endod J, 2009. **42**(1): p. 47-53.
70. Lin, J., et al., *Effect of fiber post length and abutment height on fracture resistance of endodontically treated premolars prepared for zirconia crowns*. Odontology, 2018. **106**(2): p. 215-222.
71. Hatta, M., et al., *High volume individual fibre post versus low volume fibre post: the fracture load of the restored tooth*. J Dent, 2011. **39**(1): p. 65-71.
72. Naumann, M., M. Schmitter, and G. Krastl, *Postendodontic Restoration: Endodontic Post-and-Core or No Post At All?* The journal of adhesive dentistry, 2018. **20**(1): p. 19-24.
73. Wierichs, R.J., et al., *Longevity of composite build-ups without posts-10-year results of a practice-based study*. Clinical oral investigations, 2019. **23**(3): p. 1435-1442.
74. von Stein-Lausnitz, M., et al., *Direct restoration of endodontically treated maxillary central incisors: post or no post at all?* Clinical oral investigations, 2019. **23**(1): p. 381-389.
75. von Stein-Lausnitz, M., et al., *Direct or Indirect Restoration of Endodontically Treated Maxillary Central Incisors with Class III Defects? Composite vs Veneer or Crown Restoration*. The journal of adhesive dentistry, 2018. **20**(6): p. 519-526.
76. Bitter, K., et al., *Randomized clinical trial comparing the effects of post placement on failure rate of postendodontic restorations: preliminary results of a mean period of 32 months*. J Endod, 2009. **35**(11): p. 1477-82.
77. Adell, R., et al., *A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw*. Int J Oral Surg, 1981. **10**(6): p. 387-416.
78. Pjetursson, B.E., et al., *A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years*. Clin Oral Implants Res, 2012. **23 Suppl 6**: p. 22-38.
79. Moraschini, V., et al., *Evaluation of survival and success rates of dental implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 10 years: a systematic review*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2015. **44**(3): p. 377-88.
80. Albrektsson, T., et al., *The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success*. Int J Oral Maxillofac Implants, 1986. **1**(1): p. 11-25.
81. Smith, D.E. and G.A. Zarb, *Criteria for success of osseointegrated endosseous implants*. J Prosthet Dent, 1989. **62**(5): p. 567-72.
82. Meijer, H.J., et al., *A new index for rating aesthetics of implant-supported single crowns and adjacent soft tissues--the Implant Crown Aesthetic Index*. Clin Oral Implants Res, 2005. **16**(6): p. 645-9.
83. Annibali, S., et al., *Usefulness of the aesthetic result as a success criterion for implant therapy: a review*. Clin Implant Dent Relat Res, 2012. **14**(1): p. 3-40.
84. Lang, N.P., N.U. Zitzmann, and V.E.W.o.P. Working Group 3 of the, *Clinical research in implant dentistry: evaluation of implant-supported restorations, aesthetic and patient-reported outcomes*. J Clin Periodontol, 2012. **39 Suppl 12**: p. 133-8.
85. Berglundh, T., L. Persson, and B. Klinge, *A systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years*. J Clin Periodontol, 2002. **29 Suppl 3**: p. 197-212; discussion 232-3.
86. Berglundh, T., et al., *Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions*. J Periodontol, 2018. **89 Suppl 1**: p. S313-S318.
87. Pjetursson, B.E., et al., *A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years*. Clin Oral Implants Res, 2004. **15**(6): p. 667-76.

88. Adler, L., K. Buhlin, and L. Jansson, *Survival and complications: A 9- to 15-year retrospective follow-up of dental implant therapy*. J Oral Rehabil, 2020. **47**(1): p. 67-77.
89. Jung, R.E., et al., *Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years*. Clin Oral Implants Res, 2012. **23 Suppl 6**: p. 2-21.
90. Ramanauskaite, A. and R. Sader, *Esthetic complications in implant dentistry*. Periodontol 2000, 2022. **88**(1): p. 73-85.
91. Schropp, L., et al., *Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study*. Int J Periodontics Restorative Dent, 2003. **23**(4): p. 313-23.
92. Taha, A., M.A. Al-Shahat, and M. Ghazy, *Clinical and radiographic evaluations of implant-supported cantilever fixed partial dentures replacing maxillary anterior teeth: A randomized clinical trial*. J Prosthet Dent, 2020. **124**(6): p. 659-666.
93. Zurdo, J., C. Romao, and J.L. Wennstrom, *Survival and complication rates of implant-supported fixed partial dentures with cantilevers: a systematic review*. Clin Oral Implants Res, 2009. **20 Suppl 4**: p. 59-66.
94. Holm-Pedersen, P., N.P. Lang, and F. Muller, *What are the longevities of teeth and oral implants?* Clin Oral Implants Res, 2007. **18 Suppl 3**: p. 15-9.
95. Schatzle, M., et al., *The clinical course of chronic periodontitis*. J Clin Periodontol, 2004. **31**(12): p. 1122-7.
96. Josphipura, K.J. and C. Ritchie, *Can the relation between tooth loss and chronic disease be explained by socio-economic status?* Eur J Epidemiol, 2005. **20**(3): p. 203-4.
97. Jung, R.E., et al., *A systematic review of the 5-year survival and complication rates of implant-supported single crowns*. Clin Oral Implants Res, 2008. **19**(2): p. 119-30.
98. Pjetursson, B.E., et al., *A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years*. Clin Oral Implants Res, 2004. **15**(6): p. 625-42.
99. Tan, K., et al., *A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years*. Clin Oral Implants Res, 2004. **15**(6): p. 654-66.
100. Holm, C., et al., *Longevity and quality of FPDs: a retrospective study of restorations 30, 20, and 10 years after insertion*. Int J Prosthodont, 2003. **16**(3): p. 283-9.
101. Hammerle, C.H., et al., *Long-term analysis of biologic and technical aspects of fixed partial dentures with cantilevers*. Int J Prosthodont, 2000. **13**(5): p. 409-15.
102. Kern, M., H. Knode, and J.R. Strubb, *The all-porcelain, resin-bonded bridge*. Quintessence Int, 1991. **22**(4): p. 257-62.
103. Kern, M. and J.R. Strub, *Bonding to alumina ceramic in restorative dentistry: clinical results over up to 5 years*. J Dent, 1998. **26**(3): p. 245-9.
104. Kern, M., *Clinical long-term survival of two-retainer and single-retainer all-ceramic resin-bonded fixed partial dentures*. Quintessence Int, 2005. **36**(2): p. 141-7.
105. Kern, M. and M. Sasse, *Ten-year survival of anterior all-ceramic resin-bonded fixed dental prostheses*. J Adhes Dent, 2011. **13**(5): p. 407-10.
106. Kern, M., *Fifteen-year survival of anterior all-ceramic cantilever resin-bonded fixed dental prostheses*. J Dent, 2017. **56**: p. 133-135.
107. Thoma, D.S., et al., *A systematic review of the survival and complication rates of resin-bonded fixed dental prostheses after a mean observation period of at least 5 years*. Clin Oral Implants Res, 2017. **28**(11): p. 1421-1432.
108. Helkimo, E., G.E. Carlsson, and M. Helkimo, *Bite force and state of dentition*. Acta Odontol Scand, 1977. **35**(6): p. 297-303.
109. Waltimo, A. and M. Kononen, *Maximal bite force and its association with signs and symptoms of craniomandibular disorders in young Finnish non-patients*. Acta Odontol Scand, 1995. **53**(4): p. 254-8.

110. Rosentritt, M., et al., *Fracture characteristics of anterior resin-bonded zirconia-fixed partial dentures*. Clinical oral investigations, 2009. **13**(4): p. 453-7.
111. Sasse, M. and M. Kern, *Survival of anterior cantilevered all-ceramic resin-bonded fixed dental prostheses made from zirconia ceramic*. J Dent, 2014. **42**(6): p. 660-3.
112. Guess, P.C., W. Att, and J.R. Strub, *Zirconia in fixed implant prosthodontics*. Clin Implant Dent Relat Res, 2012. **14**(5): p. 633-45.
113. Piconi, C. and G. Maccauro, *Zirconia as a ceramic biomaterial*. Biomaterials, 1999. **20**(1): p. 1-25.
114. Pjetursson, B.E., et al., *A systematic review of the survival and complication rates of resin-bonded bridges after an observation period of at least 5 years*. Clinical oral implants research, 2008. **19**(2): p. 131-41.
115. Edelhoff, D. and J.A. Sorensen, *Tooth structure removal associated with various preparation designs for anterior teeth*. The Journal of prosthetic dentistry, 2002. **87**(5): p. 503-9.
116. Pjetursson, B.E., et al., *A systematic review and meta-analysis evaluating the survival, the failure, and the complication rates of veneered and monolithic all-ceramic implant-supported single crowns*. Clin Oral Implants Res, 2021. **32 Suppl 21**: p. 254-288.
117. Beuer, F., et al., *In vitro performance of full-contour zirconia single crowns*. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials, 2012. **28**(4): p. 449-56.
118. Rosentritt, M., et al., *Zirconia resin-bonded fixed partial dentures in the anterior maxilla*. Quintessence international, 2008. **39**(4): p. 313-9.
119. Al-Bermani, A.S.A., N.P. Quigley, and W.N. Ha, *Do zirconia single-retainer resin-bonded fixed dental prostheses present a viable treatment option for the replacement of missing anterior teeth? A systematic review and meta-analysis*. J Prosthet Dent, 2021.
120. Mourshed, B., et al., *Anterior Cantilever Resin-Bonded Fixed Dental Prostheses: A Review of the Literature*. Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists, 2018. **27**(3): p. 266-275.
121. Tunjan, R., et al., *Are endodontically treated incisors reliable abutments for zirconia-based fixed partial dentures in the esthetic zone?* Journal of endodontics, 2012. **38**(4): p. 519-22.
122. Sterzenbach, G., et al., *Failure loads of all-ceramic cantilever fixed dental prostheses on post-restored abutment teeth: influence of the post presence and post position*. European journal of oral sciences, 2018. **126**(6): p. 526-532.
123. Nassar, U. and S. Russett, *Longevity of a maxillary 2-unit cantilever fixed partial denture: clinical report*. J Can Dent Assoc, 2006. **72**(3): p. 253-5.
124. Himmel, R., et al., *The cantilever fixed partial denture--a literature review*. J Prosthet Dent, 1992. **67**(4): p. 484-7.
125. Stockton, L.W., *Cantilever fixed partial denture--a literature review*. J Can Dent Assoc, 1997. **63**(2): p. 118-21.
126. Rosentritt, M., et al., *Approach for valuating the influence of laboratory simulation*. Dent Mater, 2009. **25**(3): p. 348-52.
127. Rosentritt, M., et al., *Approach for valuating the significance of laboratory simulation*. J Dent, 2008. **36**(12): p. 1048-53.

5. Darstellung und Spezifikation des eigenen wissenschaftlichen Beitrages zur Publikation

Mein Beitrag zur vorliegenden Studie umfasste zunächst eine umfassende Literaturrecherche unter anderem online in der Literaturdatenbank PubMed, aber auch eine Handsuche in den relevanten Journalen und in dem Literaturverzeichnis als relevant identifizierter Veröffentlichungen.

Das Studiendesign wurde federführend von Prof Dr. Naumann mit der Unterstützung von meiner Person, Dr. Arndt Happe, Prof. Dr. Florian Beuer, Prof. Dr. Roland Frankenberger, Prof Dr. Rainer Seemann erarbeitet. Dabei wurde in statistischer Hinsicht die Expertise vom Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie (Leiterin: Prof. Dr. Geraldine Rauch) der Charité Berlin hinzugezogen.

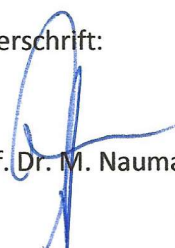
Die virtuelle Gerüstkonstruktion mit der Software Cerconart® 3.0.2, der DeguDent, Hanau, Deutschland umfasste den digitalen Scan der Proben und das digitale Design der Versorgung (CAD/CAM). Dies wurde mit Unterstützung von Prof. Dr. Rainer Seemann und seinen Mitarbeitern durch mich umgesetzt.

Der labortechnische Teil wurde vollständig von mir durchgeführt und beinhaltet die Auswahl der Probenzähne, Defektsetzung und Versorgung, Stiftinsertion und plastischer Aufbau, Präparation zur Aufnahme der Vollkeramikronen, Abformung und Modellherstellung, Konstruktion der Gerüste, Aufpassen der Gerüste, Zementierung der Gerüste, Einbettung der Proben für den Kausimulator. Die keramischen Verblendungen wurden von zahntechnischem Fachpersonal durchgeführt.

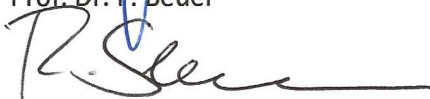
Die Durchführung der Kausimulation und statische Frakturtestung wurde federführend von Prof. Dr. Martin Rosentritt, Universität Regensburg, vorgenommen.

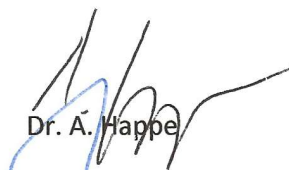
Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse in Verbindung mit der statistischen Analyse wurde zusammen mit Prof. Dr. Michael Naumann vorgenommen. Die Literaturrecherche zur Publikation und die Erstellung der Rohfassung des Manuskriptes wurden von mir vorgenommen. Die Darstellung der statistischen Auswertung wurde hauptsächlich durch Prof. Dr. Michael Naumann erstellt, welcher auch die erste Version des Manuskriptes überarbeitete und mir Hilfestellung für die Finalisierung des Manuskriptes gab. Gemeinsam erarbeiteten wir den wissenschaftlichen Zusammenhang und erörterten die klinische Relevanz. Abschließend wurde das Manuskript allen weiteren Co-Autoren vorgelegt und deren Kommentare verarbeitet und Ergänzungen vorgenommen.

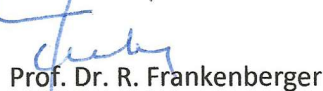
Unterschrift:



Prof. Dr. M. Naumann


Prof. Dr. F. Beuer


Prof. Dr. R. Seemann


Dr. A. Happe


Prof. Dr. R. Frankenberger


Prof. Dr. M. Rosentritt


6. Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien, die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes, die Bestimmungen des Gentechnikgesetzes und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

Datum

30.4.2022

Unterschrift



.....

7. Anlagen

7.1. Abkürzungsverzeichnis

CAD/CAM	Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing
F _{max}	maximaler Belastbarkeitstest
FPD	fixed partial denture
TCML	Thermo-Cycling and Mechanical Loading