

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
(Prof. Dr. med. dent. R. Bürgers)  
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Klinische Bewährung computergestützt  
gefertigter Teilkronen aus einer  
zirkonoxidverstärkten Lithiumsilikat-  
Keramik nach einer Beobachtungszeit  
von 5 Jahren**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät der  
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Emanuel Niklas Schmidt

aus

Hamburg

Göttingen 2023

Dekan: Prof. Dr. med. W. Brück

### **Betreuungsausschuss**

Betreuer/in: Prof. Dr. med. dent. S. Rinke

Ko-Betreuer/in: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann

### **Prüfungskommission**

Referent/in: Prof. Dr. med. dent. S. Rinke

Ko-Referent/in: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann

Drittreferent/in: Prof. Dr. med. R. Dressel

Datum der mündlichen Prüfung: 30.01.2024

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "**Klinische Bewährung computergestützt gefertigter Teilkronen aus einer zirkonoxidverstärkten Lithiumsilikat-Keramik nach einer Beobachtungszeit von 5 Jahren**" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den .....  
.....  
(Unterschrift)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Literaturübersicht .....	1
1.1.1 Laborseitige vs. praxisseitige Fertigung.....	1
1.1.2 Vor- und Nachteile der Teilkronentechnik .....	3
1.1.3 Klassische Teilkronen aus hochgoldhaltigen Legierungen .....	6
1.1.4 Auswahl an CAD/CAM-Keramiken.....	8
1.1.5 Klinische Daten zu CAD/CAM-gefertigten Teilkronen .....	12
1.2 Zielsetzung und Fragestellung.....	19
<b>2 Material und Methoden .....</b>	<b>20</b>
2.1 Studiendesign .....	20
2.2 Probanden inkl. Einschluss- und Ausschlusskriterien .....	20
2.2.1 Probandenauswahl/Patientenrekrutierung.....	21
2.3 Klinische Behandlung.....	22
2.3.1 Präparationsdesign und Teilkronenfertigung.....	22
2.3.2 Adhäsive Befestigung.....	23
2.4 Datenerhebung bei der klinischen Nachuntersuchung .....	26
2.4.1 Datenverwaltung und -dokumentation .....	26
2.4.2 Klinische Nachuntersuchung.....	27
2.5 Statistische Auswertung der erhobenen Daten.....	31
2.5.1 Überlebenszeitanalyse nach Kaplan-Meier.....	31
2.5.2 Cox Regressionsanalyse .....	33
2.6 Studienmaterial Celtra Duo.....	35
<b>3 Ergebnisse .....</b>	<b>38</b>
3.1 Studienpopulation.....	38
3.2 Überlebensrate .....	40
3.2.1 Gesamtüberlebensrate .....	40
3.2.2 Faktor Behandler .....	41
3.2.3 Faktor Befestigungsmaterial.....	42
3.2.4 Faktor Position .....	42
3.2.5 Faktor Vitalität .....	43
3.3 Erfolgsrate .....	44
3.3.1 Gesamterfolgsrate.....	44
3.3.2 Faktor Behandler .....	46
3.3.3 Faktor Befestigungsmaterial.....	46

---

3.3.4	Faktor Position .....	47
3.3.5	Faktor Vitalität .....	49
3.4	Randschluss und Randverfärbung .....	49
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>51</b>
4.1	Material- und Methodendiskussion .....	51
4.1.1	Studiendesign .....	51
4.1.2	Studienpopulation.....	52
4.1.3	Untersuchungsmethodik .....	53
4.2	Ergebnisdiskussion.....	53
4.2.1	Gesamtüberlebens- und Gesamterfolgsraten.....	53
4.2.2	Faktor Behandler (Zentrum-Effekt).....	54
4.2.3	Faktor Befestigungsmaterial.....	56
4.2.4	Faktor Position .....	56
4.2.5	Randverfärbung und Randschluss .....	57
4.3	Schlussfolgerung .....	57
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>60</b>
6.1	CRF-Bögen.....	60
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>64</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über Dentalkeramiken (Kern et al. 2018) .....	9
Abbildung 2: Oberer erster Molar mit Indikation für eine CAD/CAM-gefertigte Teilkrone, die in diese Studie aufgenommen wurde .....	20
Abbildung 3: Klinische Situation <i>in situ</i> nach adhäsiver Zementierung einer ZLS-Teilkrone... ..	21
Abbildung 4: CAD der monolithischen ZLS-Restauration (CEREC Software V4.2., Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland). Oben = Eingabe der Präparationsgrenze, Mitte = Okklusale Ansicht bei der virtuellen Konstruktion der Restauration. Unten = Bukkale Ansicht bei der virtuellen Konstruktion der Restauration.... ..	23
Abbildung 5: Bei Gruppe A verwendete Produkte zur adhäsiven Befestigung der Restaurationen. Die Nutzung wurde von Ivoclar Vivadent genehmigt. ....	24
Abbildung 6: Bei Gruppe B verwendete Produkte zur adhäsiven Befestigung der Restaurationen. Die Nutzung wurde von Dentsply Sirona genehmigt. ....	24
Abbildung 7: Präparation nach Anwendung von Kofferdam und Ätzung von Schmelz und Dentin mit 37%iger Phosphorsäure.....	25
Abbildung 8: Klinische Situation <i>in situ</i> nach adhäsiver Zementierung einer ZLS-Teilkrone (Gruppe B) .....	26
Abbildung 9: ZLS-Teilkrone bei der 5-Jahres-Nachuntersuchung. Die Restauration verblieb interventionsfrei in Funktion. Die marginale Adaptation wurde mit Bravo bewertet, das USPHS-Kriterium marginale Verfärbung wurde mit Alpha bewertet. ....	29
Abbildung 10: Kaplan-Meier Kurve am Beispiel einer interventionsfreien 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der Teilkronen. Die Überlebenskurve besteht aus vertikalen und horizontalen Linien. Ihr liegt eine Treppenfunktion zugrunde. Charakteristisch dabei ist, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit (Y-Achse) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten gleichbleibt. Die vergangene Zeit in Jahren seit Beginn der Studie wird auf der X-Achse dargestellt. ....	33
Abbildung 11: Celtra Duo Keramikblock. Die Nutzung wurde von Dentsply Sirona genehmigt .....	37
Abbildung 12: Geschlechterverteilung der zur 5-Jahres-Untersuchung verfügbaren Teilkronen .....	39
Abbildung 13: Verteilung der zur 5-Jahres-Untersuchung verfügbaren Teilkronen nach Kriterien.....	39
Abbildung 14: Gesamtüberlebensrate der aus einer ZLS-Keramik hergestellten Teilkronen nach einem mittleren Beobachtungszeitraum von fünf Jahren .....	41
Abbildung 15: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der klinischen Umgebung/des Behandlers (Zentren 1 - 3) .....	41
Abbildung 16: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von dem verwendeten Befestigungsmaterial (Gruppe A vs. Gruppe B).....	42
Abbildung 17: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von dem Kiefer (Oberkiefer vs. Unterkiefer) .....	43
Abbildung 18: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der Zahnstellung (Prämolar vs. Molar) .....	43
Abbildung 19: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der Vitalität (vital vs. suffizient wurzelkanalbehandelt)....	44
Abbildung 20: Gesamterfolgsrate der aus einer ZLS-Keramik hergestellten Teilkronen nach einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von fünf Jahren .....	45
Abbildung 21: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der klinischen Umgebung/des Behandlers (Zentren 1-3)....	46

---

Abbildung 22: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von dem verwendeten Befestigungszement (Gruppe A / Gruppe B).....	47
Abbildung 23: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von dem Kiefer (Oberkiefer vs. Unterkiefer) .....	48
Abbildung 24: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der Zahnstellung (Prämolar vs. Molar) .....	48
Abbildung 25: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der Vitalität (vital vs. suffizient wurzelkanalbehandelt) .....	49

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klinische Bewährung von Vollkronen aus Keramik .....	4
Tabelle 2: Klinische Bewährung von Teilkronen aus Keramik .....	5
Tabelle 3: Klinische Bewährung von Inlays, Onlays und Teilkronen aus Gold .....	7
Tabelle 4: Klinische Daten zu konventionell und CAD/CAM-gefertigten Onlays und Teilkronen .....	14
Tabelle 5: Einschluss- und Ausschlusskriterien zur Aufnahme in die Studie .....	21
Tabelle 6: Legende zur Beurteilung des biologischen und technischen Interventionsgrades, der Schmerzen und der Heiß-Kalt-Empfindlichkeiten .....	28
Tabelle 7: Modifizierte USPHS-Kriterien mit Feldern zum Ankreuzen je Restauration (Ryge 1980; Mörmann et al. 1991; Krejci et al. 1992).....	30
Tabelle 8: Überlebenswahrscheinlichkeit der Kronen in einem Zeitraum von 1 bis 5 Jahren mit 95 %-Konfidenzintervall.....	32
Tabelle 9: (2×2)-Kontingenztafel (Singhal und Rana 2015) .....	35
Tabelle 10: Zusammensetzung Celtra Duo (Dentsply Sirona Deutschland GmbH 2016; Belli et al. 2017).....	36
Tabelle 11: Übersicht über technische Daten von Celtra Duo (Badawy et al. 2016; Dentsply Sirona Deutschland GmbH 2018a; Attaallah et al. 2019; Hamza und Sherif 2019; Zarone et al. 2021).....	36
Tabelle 12: Verteilung der ursprünglich eingesetzten, chairside gefertigten keramischen Teilkronen und der <i>Drop-Outs</i> für die 3 an der Studie beteiligten Zahnarztpraxen .....	38
Tabelle 13: Verteilung der zur 5-Jahres-Untersuchung verfügbaren Teilkronen auf die Seitenzähne (Schema nach FDI).....	38
Tabelle 14: Überlebenswahrscheinlichkeit der Kronen in den Jahren 1 bis 5 mit 95 %- Intervallen.....	40
Tabelle 15: Interventionsfreie Überlebenswahrscheinlichkeit der Kronen in den Jahren 1 bis 5 mit 95 %-Intervallen .....	45
Tabelle 16: Bewertung für ausgewählte modifizierte USPHS-Kriterien (Federlin et al. 2014) bei der klinischen 5-Jahres-Untersuchung.....	50

## Abkürzungsverzeichnis

BOP	<i>Bleeding On Probing</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CEREC	<i>Chairside Economical Restoration Of Aesthetic Ceramic</i> oder <i>CEramic REConstruction</i>
CRF	<i>Case Report Form</i>
FDI	<i>Fédération Dentaire Internationale</i>
HR	<i>Hazard Ratio</i>
KI	Konfidenzintervall
PMMA	Polymethylmethacrylat
TK	Teilkrone
USPHS	United States Public Health Service
ZLS	Zirkonoxidverstärkte Lithiumsilikat-Keramik

# 1 Einleitung

Die Abkürzung CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) steht für computergestützte Konstruktion und computergestützte Fertigung. Mit Hilfe von Intraoralscannern und der Fertigung in der Zahnarztpraxis wurde die Herstellung von Zahnersatz während eines Termins in der Zahnarztpraxis ermöglicht (Chairside-Fertigung). Sie ist zu einer wissenschaftlich anerkannten und routinemäßig genutzten Behandlungsoption geworden (Baroudi und Ibraheem 2015; Blatz und Conejo 2019; Sulaiman 2020).

Maßgeblich für die spätere Entwicklung im dentalen CAD/CAM-Bereich war das von Prof. Dr. Mörmann und Dipl.-Ing. Brandestini im Jahre 1985 vorgestellte CEREC-System. Es war das erste System zur stuhlseitigen CAD/CAM-Anwendung und wurde seit seiner Einführung fortlaufend weiterentwickelt (Mörmann 2006). Das CEREC-System erlaubte in seinen Anfängen nur die Herstellung von anterioren und posterioren Einzelzahnversorgungen wie Kronen, Teilkronen, Inlays, Onlays und Veneers (Fasbinder 2006). Dabei konnten sie aus unterschiedlichen Materialien wie Feldspat- und Leuzitkeramik oder aus mit Zirkoniumdioxid-Partikeln verstärkten Kompositmaterialien gefertigt werden (Giordano 2006). Neuartige Materialien mit verbesserten Materialeigenschaften und Anpassungen der Hardware und Software erweiterten das Indikationsspektrum auf Implantat-Suprakonstruktionen und dreigliedrige Brücken (Ahlholm et al. 2018; Birnbaum und Aaronson 2018; Blatz und Conejo 2019). Mit der Zeit verbesserten neue Entwicklungen wie neuartige Algorithmen zur Generierung biologisch gestalteter Kauflächen (Biogenerik) für Kronen (2009), die Intraoralkameras Blue- und Omnicam (2009/2012), der virtuelle Artikulator (2013) und der Biokiefer-Algorithmus (2015) das CEREC-System (Bindl et al. 2012; Wang et al. 2020).

Insbesondere im Hinblick auf den Erhalt gesunder Zahnschubstanz ist die Herstellung von Teilkronen eine praktikable Option für die Versorgung großer Defekte und eine Alternative zu Vollkronen (Abduo und Sambrook 2018; Vagropoulou et al. 2018; Al-Haj Husain et al. 2020; Vetromilla et al. 2020). Trotzdem sind klinische Daten zu Überlebens- und Erfolgsraten von keramischen Teilkronen vergleichsweise selten (Abduo und Sambrook 2018; Vagropoulou et al. 2018; Al-Haj Husain et al. 2020; Aziz et al. 2020; Banh et al. 2021).

## 1.1 Literaturübersicht

### 1.1.1 Laborseitige vs. praxisseitige Fertigung

Die meisten Dentallabore arbeiten heute digital. Immer mehr Zahnärzte möchten den digitalen Workflow in ihrer Praxis etablieren. Die digitale Herstellung der Restaurationen

erfolgt dabei entweder direkt im Chairside-Verfahren, im Labside-Verfahren zusammen mit einem Dentallabor oder über ein Fräszenrum (Lebon et al. 2016a; Lebon et al. 2016b). In diesem Kapitel werden die Chancen und Limitationen der laborseitigen und praxisseitigen Fertigung dargestellt.

Beim Chairside-Verfahren erfolgen alle Schritte zur Anfertigung einer Restauration stuhlseitig in der Zahnarztpraxis. Damit können alle Schritte von Präparation bis Eingliederung einer Restauration am gleichen Behandlungstermin erfolgen (Mörmann 2006). Aufgrund der Herstellung der Restauration ohne Gipsmodell limitiert sich das System auf monolithische Restaurationen. Es können Kronen, Teilkronen, In- und Onlays, (okklusale) Veneers, Klebebrücken, kleine Brücken mit bis zu drei Brückengliedern, Teleskope, Implantatabutments und Suprakonstruktionen sowohl im Front- als auch im Seitenzahnbereich hergestellt werden (Baroudi und Ibraheem 2015). Neben Feldspat-, Leuzit-, Aluminiumoxid- und Lithiumdisilikat-Keramiken lassen sich mittlerweile auch Blöcke aus Zirkonoxid, Infiltrationskeramiken, Polymethylmethacrylat (PMMA) sowie Hybridmaterialien bearbeiten (Arnetzl 2013). Nach dem Intraoralscan folgt ein automatisierter CAD-Vorgang, bei dem der Behandler die dreidimensionale Konstruktion der Restauration direkt an der Aufnahmeeinheit kontrollieren und nachbearbeiten kann (Arslan et al. 2015). Typisch für die Chairside-Technik sind In-Office-Fräs-/Schleifmaschinen wie jene von CEREC mit der dazugehörigen CEREC AC Aufnahmeeinheit (Bindl und Mörmann 2003).

Beim Labside-Verfahren erfolgt die Herstellung der Restaurationen mitsamt aller CAD-CAM-Schritte im Dentallabor (Patel 2014). Nach der Präparation erfolgt entweder ein Intraoralscan, dessen Daten digital an das Dentallabor weitergeschickt werden, oder eine konventionelle Abformung der Situation, die in Gips ausgegossen und im Anschluss mit Hilfe eines Modellscans im Dentallabor digitalisiert wird (Birnbaum und Aaronson 2018). Laborseitige Fräs- und Schleifeinheiten ermöglichen unter anderem durch die Aufnahme größerer Blöcke die Anfertigung größerer Brücken mit bis zu vier Brückengliedern, Geschiebe, Stege, Modellguss, ganzer gefräster Modelle oder *Wax-Ups*. Die Materialauswahl wächst um Wachs, NEM-Legierungen und Titan (Arnetzl 2013). PrograMill (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen), PlanMill (Planmeca Oy, Helsinki) und Ceramill (Amann Girrbach GmbH, Pforzheim) sind bekannte CAD/CAM-Systeme für den Labside-Gebrauch.

Auch bei der Wahl eines Fräszentrums werden alle zur Herstellung von Restaurationen notwendigen CAD-Schritte im Dentallabor unternommen, bevor die Daten an ein Fräszenrum mit größeren Fräs-/Schleifeinheiten geschickt werden (Jain et al. 2016). Diese zentralisierte Fertigung ermöglicht eine größere Material- und Restaurationsartauswahl (Lebon et al. 2016b).

### 1.1.2 Vor- und Nachteile der Teilkronentechnik

Zahnhartsubstanz kann aus verschiedenen Gründen geschädigt werden. Je nach Defektgröße kann ein Zahn direkt oder indirekt restauriert werden. Wann direkt oder indirekt behandelt werden sollte, ist in der Literatur nicht eindeutig beschrieben (Angeletaki et al. 2016). Bei größeren Seitenzahndefekten mit Höckerbeteiligung, die die Stabilität der Zähne beeinträchtigen, haben sich indirekte Versorgungen wie Teilkronen mittlerweile als Restaurationen bewährt (Abduo und Sambrook 2018; Vagropoulou et al. 2018; Al-Haj Husain et al. 2020; Vetromilla et al. 2020). Teilkronen sind eine technisch anspruchsvolle Behandlungsmethode, die bei solchen größeren Defekten direkten Füllungen bei der Ausgestaltung der Okklusal- und Approximalkontakte, Polierbarkeit und marginalen Adaptation überlegen sind (Pelka et al. 1996; Stoll et al. 1999; Hickel et al. 2007; Innes et al. 2015). Darüber hinaus haben sie im Vergleich eine höhere Überlebensrate als Amalgam- und Kompositrestaurationen (Stoll et al. 1999; Hickel et al. 2007).

Vollkronen haben sich zur Wiederherstellung von Funktion und Ästhetik im Seitenzahnbereich als zuverlässige Therapieoption etabliert (Christensen 2012; Laajala et al. 2018; Beyer et al. 2021); insbesondere bei Zahnhartsubstanzverlusten von über 50 % (Goodacre und Spolnik 1994). Eine Reihe von Studien belegen die vom Restaurationsmaterial unabhängige gute klinische Bewährung von Vollkronen (Tabelle 1) (Pjetursson et al. 2007; Larsson und Wennerberg 2014; Kassardjian et al. 2016; van den Breemer et al. 2017; Aziz et al. 2020). Aziz et al. (2020) untersuchten das Überleben chairside gefertigter monolithischer Lithiumdisilikat-Kronen und berichteten von einer Überlebensrate von 95 % und Erfolgsrate von 92,3 % nach vier Jahren. Van den Breemer et al. (2017) berichteten von kumulativen Überlebensraten von Lithiumdisilikat-Kronen von 92 % nach fünf Jahren, 85,5 % nach zehn Jahren und 81,9 % nach 15 Jahren. Zirkonoxidkronen erreichten laut Larsson und Wennerberg (2014) eine 5-Jahres-Überlebensrate von 95,9 %. Für Metallkeramikronen und Vollkeramikronen wurde von Pjetursson et al. (2007) eine Überlebensrate von 95,6 % und 93,3 % nach fünf Jahren dokumentiert.

Bei der Präparation eines Zahnes zur Aufnahme einer Vollkrone wird 67,5 % bis 75,6 % Zahnhartsubstanz entfernt (Edelhoff und Sorensen 2002). Anders als für Vollkronen müssen Zähne zur Aufnahme einer Teilkrone nicht zirkumferent, sondern nur defektbezogen beschliffen werden. Mit einem Zahnhartsubstanzabtrag von 35,5 % bis 46,7 % gelten Teilkronen als weniger invasiv (Van Dijken et al. 2001; Edelhoff und Sorensen 2002; Federlin et al. 2005; Federlin et al. 2007a; Schmalz und Federlin 2017; Rehm et al. 2022). Zahlreiche Laboruntersuchungen und klinische Studien haben gezeigt, dass die Erhaltung von Zahnhartsubstanz die Haltbarkeit von Restaurationen positiv beeinflussen kann (Creugers et al. 2005; Krifka et al. 2009; Haralur et al. 2016; Corrêa et al. 2018; Jurado et al. 2022). Dabei scheinen verschiedene Präparationsdesigns für CAD/CAM-gefertigte Teilkronen das Frakturrisiko der Restaurationen im Vergleich zu Vollkronen nicht negativ zu beeinflussen,

sondern im Gegenteil bei Nutzung modernerer Materialien die Frakturresistenz zu begünstigen (Jurado et al. 2022).

Tabelle 1: Klinische Bewährung von Vollkronen aus Keramik

<b>Autor (Jahr)</b>	<b>Studien-design</b>	<b>Restaura-tionen (n)</b>	<b>Material</b>	<b>Überleben</b>	<b>Erfolg</b>
Aziz et al. (2020)	Syst. Review	204	Lithiumdisilikat	95 % (4 Jahre)	92,3 % (4 J.)
Kassardijan et al. (2016)	Syst. Review	1122 ant. 1821 post.	Aluminiumoxid, Lithiumdisilikat, Zirkonoxid	Insg.: 93,5 % (ant.) Insg.: 90,9 % (post.)	-
Larsson und Wennerberg (2014)	Syst. Review	830 (zahn- getragen) 301 (impl- getragen)	Zirkonoxid	Zahngetr.: 95,9 % (5 J.) Impl.-getr.: 97,1 % (5 J.)	-
Pjetursson et al. (2007)	Syst. Review	6006	Metallkeramik, Vollkeramik	Metallker.: 95,6 % (5 J.) Vollkeramik: 93,3 % (5 J.)	-
van den Breemer et al. (2017)	Retrosp. Studie	74	Lithiumdisilikat	92 % (5 Jahre) 85,5 % (10 Jahre) 81,9 % (15 Jahre)	-

Klinische Studien belegen die vielversprechende Leistung von Teilkronen im Seitenzahnbereich (Tabelle 2). Morimoto et al. (2016) zeigten, dass die kumulative Überlebensrate von Inlays, Onlays und Overlays nach fünf Jahren 92 % bis 95 % und nach zehn Jahren 91 % betrug. Auch Abduo und Sambrook (2018) haben die klinische Bewährung von Keramik-Onlays systematisch ausgewertet und gezeigt, dass die Überlebensraten von Keramik-Onlays nach zwei bis fünf Jahren 91 % bis 100 % und nach mehr als fünf Jahren 71 % bis 98,5 % betragen. Für Onlays, Teilkronen und Vollkronen aus CAD/CAM gefertigtem Komposit, Polymerinfiltrierter Keramik, leuzitverstärkter Glaskeramik und Lithiumdisilikat-Keramik liegen die Überlebensraten bei 94,2 % bis 95 % (Al-Haj Husain et al. 2020; Bustamante-Hernández et al. 2020). Dies deutet darauf hin, dass keramische Teilkronen und Onlays eine zu berücksichtigende Alternative zu Vollkronen zu sein scheinen.

Eine systematische Übersichtsarbeit wertete zwischen 1980 und 2017 veröffentlichte klinische Studien aus, um die klinische Bewährung von Inlays, Onlays und Teilkronen mit der von Vollkronen zu vergleichen (Vagropoulou et al. 2018). Mit 5-Jahres-Überlebensraten von 90,89 %, 93,5 % und 99,43 % für Inlays, Onlays und Inlays und Onlays kam diese Arbeit zu dem Ergebnis, dass die klinische Bewährung von Teilrestorationen mit der von

Vollkronen (5-Jahres-Überleben 95,38 %) vergleichbar ist. Auch Wang et al. (2022) kamen zu dem Ergebnis, dass Onlays und Teilkronen im Seitenzahnbereich innerhalb der Studiengrenzen genauso gut funktionieren wie Vollkronen und diesen weder im Überleben noch beim Erfolg nachstehen. Auch bei der Analyse der Kronenfrakturen konnten keine Unterschiede zwischen beiden Behandlungsmethoden festgestellt werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Klinische Bewährung von Teilkronen aus Keramik

Autor (Jahr)	Studien-design	Restaura-tionsart	Material	Überleben	Erfolg
Abduo und Sambrook (2018)	Syst. Review	Onlays	Feldspat, Polymer-infiltrierte Keramik, Leuzit, Lithiumdisilikat	91 – 100 % (2-5 Jahre) 71 – 98,5 % (> 5 Jahre)	-
Al-Haj Husain et al. (2020)	Syst. Review	Teilkronen, Kronen	Komposit, Polymer-infiltrierte Keramik, Leuzit, Lithiumdisilikat	99 % (< 2 Jahre) 95 % (> 3 Jahre)	88 % (< 2 J.) 77 % (> 3 J.)
Bustamante-Hernández et al. (2020)	Syst. Review	Onlays	Komposit, Polymer-infiltrierte Keramik, Leuzit, Lithiumdisilikat	94,2 %	-
Morimoto et al. (2016)	Syst. Review	Inlays, Onlays, Overlays	Feldspat, Lithiumdisilikat	92 – 95 % (5 J.) 91 % (10 Jahre)	-
Vagropoulou et al. (2018)	Syst. Review	Inlays, Onlays, Kronen	Gold, Feldspat, Leuzit, Lithiumdisilikat	5 Jahre: Inlays: 90,89 % Onlays: 93,5 % Kronen: 95,38 % Inl./Onl.: 99,43 %	-

Ästhetik erfährt in der Zahnmedizin eine immer höhere Nachfrage von den Patienten. Deswegen nehmen keramische Restaurationen eine immer wichtigere Rolle ein (Ferraris 2017). Diese ästhetischen Versorgungen wurden durch die immer weiter voranschreitende Forschung und Entwicklung neuer Dentalkeramiken mit verbesserten Materialeigenschaften dualhärtender Befestigungsmaterialien und Adhäsivsysteme möglich (Abduo und Sambrook 2018; Al-Haj Husain et al. 2020; Aziz et al. 2020; Bustamante-Hernández et al. 2020; Banh et al. 2021; Zhang et al. 2021).

### 1.1.3 Klassische Teilkronen aus hochgoldhaltigen Legierungen

Aufgrund der sich ändernden Anforderungen an Präzision, Stabilität und Ästhetik werden ständig neue Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften auf dem Dentalmarkt eingeführt. Generell kann zwischen Metalllegierungen, Dentalkeramiken und Kompositmaterialien unterschieden werden. Restaurationen aus hochedlen Metalllegierungen werden seit mehr als 140 Jahren zur Versorgung gefährdeter Zähne verwendet (Christensen 1971). Es sollte kritisch geprüft werden, ob keramische Restaurationen mit der klinischen Leistung von Teilkronen aus einer hochedlen Metalllegierung („Goldstandard“) konkurrieren können. In der Literatur wurden für Goldteilkronen Materialeigenschaften wie ein minimales Frakturrisiko und die Vorteile der Duktilität und die damit verbundene Anpassung an die sich im Laufe der Zeit ändernde Okklusion beschrieben (Rykke 1992; Christensen 1996; Eichner und Kappert 2005). Aufgrund der Duktilität können sich Goldteilkronen an verschiedene antagonistische Materialien wie Schmelz und direkte oder indirekte Restaurationen aller Art anpassen (Tucker 2008; Rehm et al. 2022).

Metallbasierte und metallfarbene Versorgungen sind in den letzten Jahren rückläufig, da der Wunsch nach zahnfarbenen Versorgungen in der Gesellschaft an Bedeutung gewonnen hat (Ferraris 2017). Trotz der Möglichkeit, metallische Werkstoffe zu verblenden, können sie mit der Ästhetik vollkeramischer Restaurationen nicht mithalten und wurden daher immer unbeliebter. Das leicht allergene Potenzial von Metalllegierungen (insbesondere das enthaltene Palladium) und die Kosten für hochedle Metalllegierungen im Vergleich zu Dentalkeramiken sollten ebenfalls berücksichtigt werden (Augthun et al. 1990). Zudem führen die glatte Oberfläche und die niedrige Oberflächenspannung zu einer geringeren Plaqueretention auf Dentalkeramiken im Vergleich zu Metalloberflächen oder Schmelz (Böttger et al. 1989; Rehm et al. 2022).

Dennoch haben keramische Restaurationen im Vergleich zu Goldteilkronen auch Nachteile. Die häufigsten Misserfolge bei diesen Materialien sind Verblendkeramikfrakturen oder Frakturen im Allgemeinen (Bindl und Mörmann 2004; Reich et al. 2004; Naumann et al. 2011). Für keramische Teilkronen ist eine retentive Präparationsform nicht zwingend erforderlich. Wird auf eine retentive Präparationsform verzichtet, ist die adhäsive Befestigung auf Situationen mit ausreichender Feuchtigkeitskontrolle beschränkt. Außerdem wurde über Allergien im Zusammenhang mit adhäsiven Zementen berichtet (Dioguardi et al. 2015). Die Ergebnisse hinsichtlich der Randspalte variieren je nach Art der Keramik und des Herstellungsverfahrens erheblich, während die Randspalte für Goldteilkronen als sehr niedrig dokumentiert sind (Gavelis et al. 2004; Contrepolis et al. 2013; Yu et al. 2019).

Eine systematische Übersichtsarbeit verglich die klinische Bewährung zwischen posterioren Restaurationen aus Gold und aus einer Keramik (Tabelle 3) (Tennert et al. 2022). Die Arbeit schloss Studien zwischen 2000 und 2013 ein, bei denen insgesamt 443 Restaurationen (212 adhäsiv befestigte Keramikrestaurationen, 231 konventionell zementierte

Goldrestaurationen) bei 314 Patienten eingesetzt wurden. Bei den beobachteten Inlays und Teilkronen reichten die Beobachtungszeiträume von fünf Jahren (Molin und Karlsson 2000; Federlin et al. 2010) bis zu sieben Jahren (Wagner et al. 2003). Es konnte ein signifikant geringeres Ausfallrisiko für konventionell zementierte indirekte Metallrestaurationen im Vergleich zu adhäsiv befestigten Keramikrestaurationen festgestellt werden, was auch an den Überlebensraten abzulesen war. Zwei Studien ermittelten eine Überlebensrate von 100 % für Goldinlays und Teilkronen aus Gold (Molin und Karlsson 2000; Wagner et al. 2003). Federlin et al. (2010) ermittelten für Goldinlays eine Misserfolgsrate von 4,5 % nach sieben Jahren. Die Keramikinlays und keramischen Teilkronen der Vergleichsgruppen wiesen nach fünf bis sieben Jahren Misserfolgsraten zwischen 7 % und 9 % auf (Molin und Karlsson 2000; Wagner et al. 2003; Federlin et al. 2010).

Studien mit längeren Beobachtungszeiträumen unterstreichen die hohen Überlebensraten von Teilkronen aus hochgoldhaltigen Legierungen (Tabelle 3). Nach einem mittleren Beobachtungszeitraum von  $18,8 \pm 5,7$  Jahren wurde für Teilkronen aus einer hochgoldhaltigen Legierung eine Überlebensrate von 94,9 % und eine Erfolgsrate von 93,9 % ermittelt (Rehm et al. 2022). Goldinlays erreichten Überlebensraten von 93,7 % nach 15 Jahren und 88,7 % nach 20 Jahren (Erpenstein et al. 2001). Inlays und Onlays wiesen Überlebensraten von 96,1 % bis 97 % nach neun bis zehn Jahren, 87 % bis 90,3 % nach 20 Jahren auf (Studer et al. 2000; Donovan et al. 2004). Alle genannten Studien haben gemeinsam, dass biologische Interventionen (meistens Karies) die häufigste Ursache für das Versagen der Restaurationen waren.

Tabelle 3: Klinische Bewährung von Inlays, Onlays und Teilkronen aus Gold

<b>Autor (Jahr)</b>	<b>Studien-design</b>	<b>Restaurationsart</b>	<b>Material</b>	<b>Überleben</b>	<b>Erfolg</b>
Donovan et al. (2004)	Retrospektive Studie	Inlays	Gold	97,0 % (9 Jahre) 90,3 % (20 Jahre)	-
Erpenstein et al. (2001)	Retrospektive Studie	Inlays, Onlays	Gold	93,7 % (15 Jahre) 88,7 % (20 Jahre)	-
Rehm et al. (2022)	Retrospektive Studie	Teilkronen	Gold	94,9 % (19 Jahre)	93,9 % (19 J.)
Studer et al. (2000)	Retrospektive Studie	Inlays, Onlays	Gold	96,1 % (10 Jahre) 87,0 % (20 Jahre) 73,5 % (30 Jahre)	-
Tennert et al. (2022)	Systematisches Review	Inlays, Teilkronen	Gold, Keramik	Goldinlays: 100 % (5 J.) Goldinlays: 95,5 % (7 J.) Gold-TK: 100 % (7 J.)	-

Klassische Teilkronen aus hochgoldhaltigen Legierungen sind also die klare Referenz, an denen sich neue Materialien für indirekte Restaurationen messen lassen müssen. Hohe Gesamtüberlebensraten und kaum auftretende technische Misserfolge, die auf die Materialeigenschaften zurückzuführen sind, machen klassische Teilkronen zum Goldstandard. Es muss sich zeigen, ob neue Dentalkeramiken abgesehen von ihren ästhetischen Vorteilen mit dieser bewährten Behandlungsmethode mithalten können.

#### **1.1.4 Auswahl an CAD/CAM-Keramiken**

Dentale Keramiken lassen sich in drei Hauptgruppen unterteilen: Silikatkeramiken, Oxidkeramiken und Verbundwerkstoffe (Silva et al. 2017; Zhang und Kelly 2017; Kern et al. 2018). Weil die vorliegende Untersuchung sich der ZLS-Keramik Celtra Duo widmet, werden in diesem Abschnitt CAD/CAM-hergestellte Silikatkeramiken dargestellt (Abbildung 1).

Silikatkeramiken sind nichtmetallische anorganische keramische Werkstoffe, die eine Glasphase enthalten und sich durch gute optische Eigenschaften, hohe Transparenz und gute Ästhetik auszeichnen. Die Glasphase und die Kristallphase von Silikatkeramiken haben unterschiedliche Eigenschaften. Die Glasphase sorgt für geringe Bruchfestigkeit, Sprödigkeit und ungerichtetes Bruchverhalten, während die Kristallphase vorteilhafte mechanische Eigenschaften, Stabilität und Ästhetik mit sich bringt (Lambert et al. 2017; Bajraktarova-Valjakova et al. 2018; Skorulska et al. 2021).

Die in der restaurativen Zahnheilkunde am häufigsten verwendeten Silikatkeramiken sind Feldspatkeramiken, leuzitverstärkte Glaskeramiken und Lithiumdisilikat-Keramiken. Leuzitverstärkte Keramiken und Lithiumdisilikat-Keramiken sind hervorragende Vertreter der hochfesten Glaskeramiken, die eine gute Toleranz gegenüber oralen Umgebungsbedingungen wie Feuchtigkeit, pH-Wert und Temperaturschwankungen aufweisen (Bajraktarova-Valjakova et al. 2018; Sulaiman 2020). Im Vergleich zu Kompositkunststoffen können sie die Ansammlung von Plaque reduzieren und weisen eine bessere Biokompatibilität mit dem parodontalen Gewebe auf (Vianna et al. 2018).

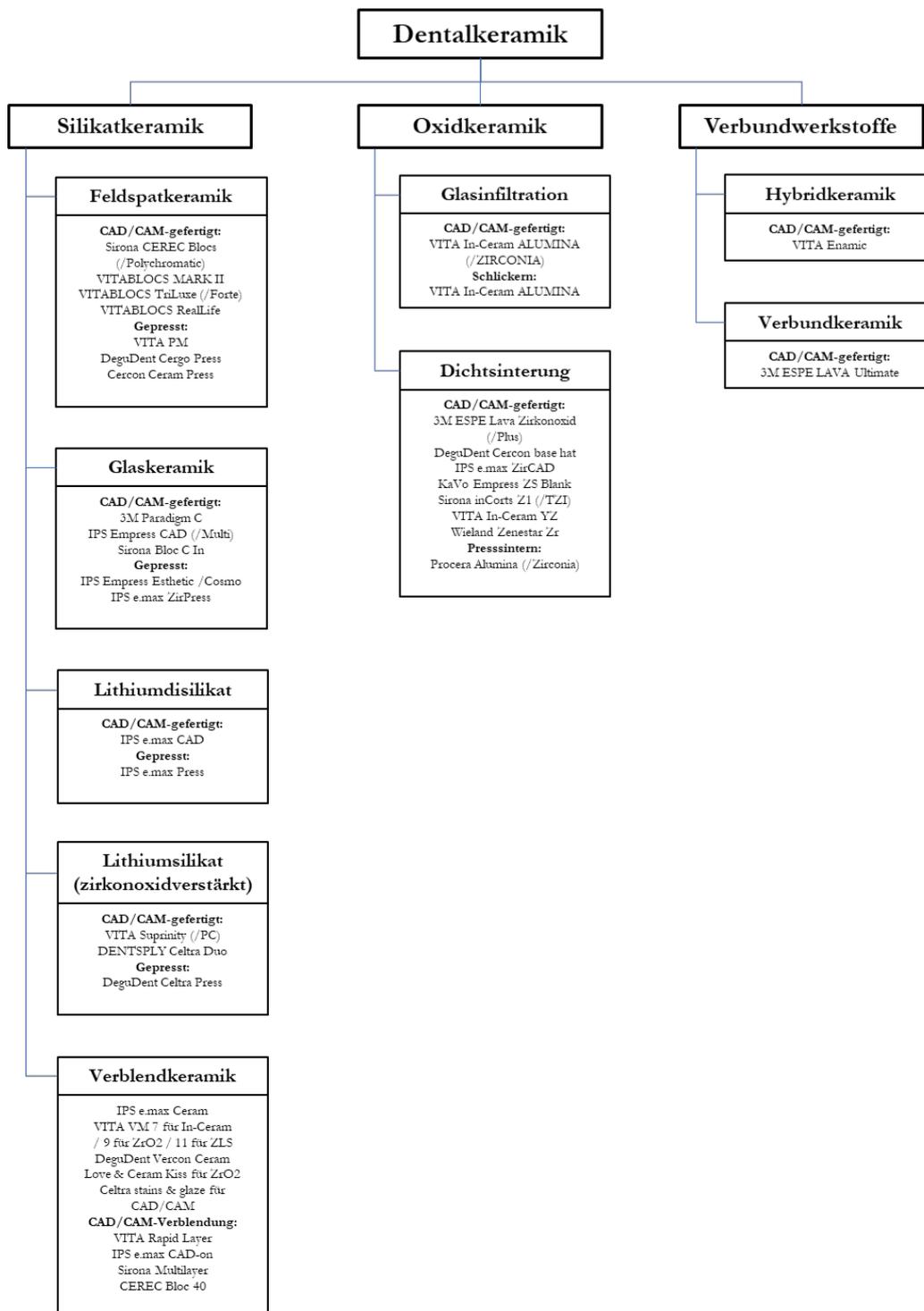


Abbildung 1: Übersicht über Dentalkeramiken (Kern et al. 2018)

### 1.1.4.1 Feldspatkeramiken

Feldspat ist ein gebräuchliches Aluminosiliziumerz, das Kalzium, Natrium und Kalium enthält. Eine traditionelle Feldspatkeramik wird aus Feldspat als Hauptrohstoff hergestellt und mit Quarz, Kaolin und geringen Mengen an Borax und Farbstoffen gesintert (Ho und Matinlinna 2011).

Der für Feldspatkeramik hauptsächlich verwendete Feldspat ist Plagioklas. Dieser natürlich vorkommende hellgraue bis weißliche Kristall hat einen hohen Glimmer- und Eisengehalt (Ho und Matinlinna 2011). Als Rohstoff für die Herstellung von Feldspatkeramik muss Feldspat von Verunreinigungen wie Eisen und Glimmer befreit werden. Dazu wird er zerkleinert und gemahlen, bevor die mit Eisenverbindungen verbundenen Verunreinigungen mit einem starken Magneten entfernt werden (Ho und Matinlinna 2011; Bajraktarova-Valjakova et al. 2018). Kaolin verbindet die Keramikpartikel miteinander und erhöht so die Zähigkeit der Keramik. Andererseits ist Kaolin undurchsichtig und verringert die Transluzenz der Keramik. Für eine natürliche Ästhetik sollte der Kaolinanteil daher nicht zu hoch sein (Ho und Matinlinna 2011; Bajraktarova-Valjakova et al. 2018). Quarzbestandteile können die Festigkeit der Keramik erhöhen und die Transluzenz verbessern. Borax kann als Lösungsmittel dienen. Durch die Verwendung von Farbstoffen können Farbe und Glanz der Keramik eingestellt werden.

Feldspatkeramiken werden aufgrund ihrer hohen Transluzenz beste optische Eigenschaften nachgesagt (Schwindling et al. 2019; Pop-Ciutrla et al. 2021). Die Biegefestigkeit von Feldspatkeramiken beträgt ca. 95 - 110 MPa bei einer Bruchzähigkeit von weniger als 0,7 MPa (Kern 2016). Die Sprödigkeit und die geringe Festigkeit machen das Material anfälliger für Beschädigungen bei der Verarbeitung und im Mund. So wurden sowohl bei der Verwendung des Materials für Veneers als auch für Seitenzahnkronen hoher Verschleiß bis hin zu Frakturen festgestellt (Neis et al. 2015; Moura et al. 2020; Sulaiman 2020; Pop-Ciutrla et al. 2021). Im Seitenzahnbereich weisen Restaurationen aus einer Feldspatkeramik geringere Überlebensraten auf. Daher wird eine Verwendung des Materials im Frontzahnbereich der Mundhöhle empfohlen (Schwindling et al. 2019).

Feldspatkeramiken werden klassischerweise als Verblendmaterial für Metall- und Keramikgerüste eingesetzt (Felberg et al. 2019). Der stabile Haftverbund zwischen Keramik und Metall sowie die hohe Primärstabilität des Gerüstes gleichen die geringe Biegefestigkeit der Verblendkeramik aus (Fischer und Kappert 2011).

#### 1.1.4.2 Leuzitverstärkte Glaskeramik

Leuzitverstärkte Glaskeramik ist eine Art von Glaskeramik, die in den 1960er Jahren entwickelt wurde. Die Leuzitkristalle bilden sich erst beim Brennen von Feldspat bei 1.150 °C. Dabei zerfällt Kaliumaluminiumsilikat in Siliziumdioxid und Leuzit (Ho und Matinlinna 2011; Bajraktarova-Valjakova et al. 2018). Die dicht verteilten und homogenen Leuzitkristalle machen 40 % des Volumens aus (Poticny und Swift 2014). Dies trägt dazu bei, Bruchenergie zu absorbieren und die Rissbildung und -ausbreitung zu verringern und verbessert die Festigkeit und Bruchzähigkeit von leuzitverstärkten Glaskeramiken. Die Biegefestigkeit und die Oberflächenglätte von leuzitverstärkten Glaskeramiken kann durch Glasur und Politur verbessert werden. Beides kann das Auftreten von Rissen oder die Tiefe von Rissen auf der Keramikoberfläche verringern (Ho und Matinlinna 2011; Gönüldaş et al. 2019). Leuzitverstärkte Glaskeramiken behalten dabei eine gute Halbtransparenz (Vidya et

al. 2016; Bajraktarova-Valjakova et al. 2018; Skorulska et al. 2021). Sie eignen sich daher gut für ästhetisch anspruchsvolle Fälle. Die Keramik ist indiziert für die Verwendung für Veneers, In- und Onlays sowie Kronen im Front- und Seitenzahnbereich und wird aufgrund der hohen Biokompatibilität und guten mechanischen und optischen Eigenschaften häufig eingesetzt (Mörmann et al. 1991; Ho und Matinlinna 2011; Belli et al. 2017; Bajraktarova-Valjakova et al. 2018; Gönüldaş et al. 2019; Sulaiman 2020; Skorulska et al. 2021).

#### 1.1.4.3 Lithiumdisilikat-Keramik

Lithiumdisilikat-Keramik setzt sich aus Lithiumdisilikat-Kristallen und einer Glasmatrix zusammen. Der Anteil der kristallinen Phase macht den größten Teil der Keramik aus, während der Anteil der Glasphase nur 30 % des Volumens ausmacht (Lambert et al. 2017). Dies verleiht der Keramik hervorragende mechanische Eigenschaften und eine hohe Bruchfestigkeit bei gleichzeitig guten optischen Eigenschaften. Lithiumdisilikat-Keramik ist einer der am häufigsten verwendeten nichtmetallischen Werkstoffe (Ho und Matinlinna 2011; Yanakiev und Marinova-Takorova 2021).

Zur Herstellung von Lithiumdisilikat wird die Keramik zunächst in einen transparenten Glasblock gegossen, der Lithiumorthosilikat ( $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ ) enthält. Danach wird kristalliner Lithiummetasilikatkristall ( $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ ) in die Glasphase eingebettet. In diesem Stadium ist die im Jahr 2016 erste für das CAD-CAM-Verfahren entwickelte Lithiumdisilikat-Keramik IPS e.max CAD in einem blauen Zustand. Der geformte Block ist leicht zu fräsen und hat eine Biegefestigkeit von  $130 \pm 30$  MPa. Dies führt auch zu einer geringeren Abnutzung der Fräsinstrumente (Zarone et al. 2016). Die gefrästen Restaurationen werden dann auf  $850^\circ\text{C}$  erhitzt, damit sich die Lithiummetasilikatkristalle ( $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ ) in Lithiumdisilikat-Kristalle ( $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ) umwandeln (Kelly und Benetti 2011). Die Biegefestigkeit von Lithiumdisilikat-Keramik kann  $360 \pm 60$  MPa erreichen (Bajraktarova-Valjakova et al. 2018).

Lithiumdisilikat-Keramiken sind optisch den Feldspatkeramiken unterlegen. Ihre Farbstabilität kann aber durch Glasurbrände verbessert werden. Lithiumdisilikat-Keramiken weisen auch bei einer geringen Reststärke noch eine ausreichende Opazität, hohe Biegefestigkeiten und Bruchzähigkeiten auf (Tribst et al. 2018; Vianna et al. 2018). Ihr Indikationsbereich umfasst Veneers, Inlays, Onlays, Kronen im Front- und Seitenzahnbereich sowie dreigliedrige Brücken bis zum Prämolarenbereich (Ho und Matinlinna 2011; Belli et al. 2017; Sulaiman 2020).

#### 1.1.4.4 Zirkonoxidverstärkte Lithiumsilikat-Keramik

Eine der neuesten Entwicklungen im Bereich der Chairside-CAD/CAM-Keramikmaterialien ist die sogenannte zirkonoxidverstärkte Lithiumsilikat (ZLS)-Keramik (Sulaiman 2020; Marchesi et al. 2021), die 2013 auf den Markt kam. Aktuell ist sie unter den Produktnamen Celtra Duo (Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) und Vita Suprinity PC (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) erhältlich. Nach Angaben der Hersteller enthalten ZLS-Keramiken 10 % gelöstes Zirkoniumdioxid in einer glasartigen Phase der Keramik und

sehr feine Lithiummetasilikat-, Lithiumorthophosphat- und Lithiumdisilikat-Kristalle (durchschnittliche Größe: 0,5 - 0,7  $\mu\text{m}$ ) (Lambert et al. 2017; Sulaiman 2020).

Seit ihrer Einführung im Jahr 2013 wurden ZLS-Keramiken in einer Reihe von *In-vitro*-Studien untersucht (Zarone et al. 2021). Diese Studien ermittelten eine kennzeichnende zu Silikatkeramiken und Zirkoniumdioxid äquivalente Festigkeit. Eine ähnliche oder leicht schlechtere Bruchzähigkeit im Vergleich zu Lithiumdisilikat wurde berichtet (Wendler et al. 2017; Fu et al. 2020). Dennoch gilt ZLS als biokompatibles Material mit guten Poliereigenschaften und hoher Transluzenz. Seine Bruchfestigkeit kann physiologischen Kaubelastungen selbst bei einer reduzierten Dicke von 1,0 mm standhalten (Zarone et al. 2021). Die Haftungseigenschaften der ZLS-Keramik ähneln denen etablierter Lithiumdisilikat-Materialien (Blatz et al. 2018; Zhang et al. 2021).

In der vorliegenden Studie wurde die ZLS-Keramik Celtra Duo untersucht. Sie wird in Kapitel 2.6 detaillierter beschrieben.

### 1.1.5 Klinische Daten zu CAD/CAM-gefertigten Teilkronen

Für chairside gefertigte Teilkronen aus einer Feldspatkeramik wurden nach einem Beobachtungszeitraum von drei Jahren Überlebensraten zwischen 69 % und 97 % dokumentiert (Bindl und Mörmann 2003; Reich et al. 2004; Federlin et al. 2007b; Federlin et al. 2014; Lu et al. 2018; Scholz et al. 2021). Konventionell hergestellte Teilkronen und Onlays aus einer Leuzitkeramik erreichten nach einer Beobachtungszeit von drei Jahren ähnliche Überlebensraten (Murgueitio und Bernal 2012). Nach zwölf Jahren wurde für konventionell hergestellte Inlays und Onlays aus Leuzitkeramik eine Überlebensrate von 84 % festgestellt (Frankenberger et al. 2008). Für chairside hergestellte Teilkronen aus Feldspat- und Leuzitkeramik wurde nach einer Beobachtungszeit von bis zu sieben Jahren eine Überlebensrate von 60 % bis 97 % festgestellt (Federlin et al. 2010; Guess et al. 2013; Nejatidanesh et al. 2015; Baader et al. 2016).

Für konventionell gefertigte Teilkronen aus Lithiumdisilikat-Keramik wurden nach einem Beobachtungszeitraum von drei bis vier Jahren Überlebensraten von 96,7 % bis 100 % dokumentiert (Archibald et al. 2018; Ferrari et al. 2019; van den Breemer et al. 2019). Nach sieben Jahren wurde eine Überlebensrate von 100 % festgestellt (Guess et al. 2013). Für chairside gefertigte Teilkronen, Onlays und Inlays aus Lithiumdisilikat wurde eine Überlebensrate von 100 % nach einem Jahr (Aslan et al. 2019; Nassar et al. 2019) und 91,5 % nach vier Jahren dokumentiert (Archibald et al. 2018).

Obwohl ZLS-Keramiken insbesondere für die Chairside-Fertigung nach zahlreichen Fallstudien vielversprechend erscheinen (Rinke et al. 2015; Rinke et al. 2016; Saavedra et al. 2017; Abou-Steit et al. 2019; Maenosono et al. 2019), sind die klinischen Daten zu diesen Materialien noch spärlich. Für ZLS-Keramiken wurden nach einer Beobachtungszeit von ein bis drei Jahren Überlebensraten zwischen 96,7 % und 100 % dokumentiert (Zimmermann et al. 2017a; Nassar et al. 2019; Rinke et al. 2020a; Rinke et al. 2020b). Bisher gibt es nur eine

klinische Studie zu chairside gefertigten Teilkronen aus einer ZLS-Keramik mit einem Beobachtungszeitraum von fünf Jahren (Rinke et al. 2022). Diese Studie ermittelte eine materialstärkenabhängige 5-Jahres-Überlebensrate von 83 % bis 100 %. Daher sind weitere Nachfolgestudien erforderlich, um ihre langfristige Leistungsfähigkeit zu bestätigen (Banh et al. 2021).

Neben dem Restaurationsmaterial wird die klinische Langzeitleistung von indirekt hergestellten Restaurationen durch verschiedene Risikofaktoren beeinflusst, z. B. durch die Position der Restauration, die Vitalität des Zahnes, die Zementiertechnik oder die Erfahrung des Behandlers (Baader et al. 2016; Morimoto et al. 2016; Blatz et al. 2018; Malament et al. 2021b; Scholz et al. 2021). Diese potenziellen Risikofaktoren wurden jedoch noch nicht für chairside hergestellte Teilkronen aus ZLS in klinischen Studien untersucht (Banh et al. 2021).

Tabelle 4: Klinische Daten zu konventionell und CAD/CAM-gefertigten Onlays und Teilkronen

Autor (Jahr)	Restaura- tionen (n)	Beobach- tungszeit	Material	Restaura- tionsart	Versagen	Überleben	Erfolg
<b>Feldspatkeramik (CAD/CAM-gefertigt)</b>							
Baader et al. (2016)	68	6,5 Jahre	Vitablocs Mark II	Teilkronen; posterior	16; Keramikfrakturen	59,8 – 82,1 %	-
Bindl und Mörmann (2003)	818	3 Jahre	Vitablocs Mark II	Teilkronen; posterior	1; Keramikfraktur	97 %	-
Federlin et al. (2007b)	58	3 Jahre	29 Vitablocs Mark II 29 Degulor C	Teilkronen; posterior	2 Vitablocs Mark II; 1x Keramikfraktur, 1x Debonding	93,1 % Vitablocs Mark II, 100 % Degulor C	-
Federlin et al. (2010)	58	5,5 Jahre	29 Vitablocs Mark II 29 Degulor C	Teilkronen; posterior	4 Vitablocs Mark II; Keramikfraktur, Debonding, Sekundärkaries	88,8 % Vitablocs Mark II, 93,3 % Degulor C	-
Federlin et al. (2014)	68	3 Jahre	Vitablocs Mark II	Teilkronen; posterior	1 Degulor C Keramikfraktur (8,8 %); Debonding (3 – 8,8 %)	72,9 – 87,6 %	-
Lu et al. (2018)	101	3 Jahre	Vitablocs Mark II VITA Enamic	Teilkronen; posterior	Keramikfraktur (2,9 %); Debonding (5,8 %)	90,7 % Vitablocs Mark II, 97,0 % VITA Enamic	-

Autor (Jahr)	Restaura- tionen (n)	Beobach- tungszeit	Material	Restaura- tionsart	Versagen	Überleben	Erfolg
<b>Feldspatkeramik (CAD/CAM-gefertigt)</b>							
Reich et al. (2004)	58	3 Jahre	Vitablocs Mark II	Teilkronen; posterior	2; 1x Keramikfraktur, 1x ins. Randschluss	97 %	-
Scholz et al. (2020)	150	39 Monate	Vitablocs Mark II 50 Kompositzement + sel. Schmelzätzung 50 Kompositzement o. sel. Schmelzätzung 50 Selbstadh. Zement	Teilkronen; posterior	SB+E: 2; 1 Endo, 1 Keramikfraktur SB-E: 6; 2x Debonding; 4x Keramikfraktur RXU: 15; 8x Debonding, 7x Keramikfraktur	SB+E: 96 %, SB-E: 88 %, RXU: 69 %	-
Vogl et al. (2016)	150	1,5 Jahre	Vitablocs Mark II	Teilkronen; posterior	12; 3x Keramikfraktur, 9x Debonding	75,6 – 97,8 %	-
<b>Leuzitkeramik (konventionell gefertigt)</b>							
Murguetio und Bernal (2012)	210	3 Jahre	IPS Empress	Teilkronen, Onlays; posterior	7; Keramikfrakturen	96,67 %	-
Frankenberger et al. (2008)	96	12 Jahre	IPS Empress	Inlays, Onlays; posterior	15, Keramikfrakturen	84 %	-

Autor (Jahr)	Restaura- tionen (n)	Beobach- tungszeit	Material	Restaura- tionsart	Versagen	Überleben	Erfolg
<b>Leuzitkeramik (CAD/CAM-gefertigt)</b>							
Guess et al. (2013)	80	7 Jahre	40 ProCAD, 40 IPS e.max Press	Teilkronen; posterior	1; Keramikfraktur	97 % ProCAD, 100 % IPS e.max Press	58 % ProCAD 84 % IPS e.max Press
Nejatidaneh et al. (2015)	159	5 Jahre	57 IPS Empress CAD, 102 CEREC Blocks	Teilkronen, Inlays; posterior	7; Keramikfraktur	94,6 % IPS Empress CAD, 96 % CEREC Blocks	-
<b>Lithiumdisilikat-Keramik (konventionell gefertigt)</b>							
Archibald et al. (2018)	37	4 Jahre	6 IPS e.max Press, 31 IPS e.max CAD	Onlays, Inlays; posterior	5; 3x Keramikfraktur, 1x Sekundärkaries, 1x Endo	100 % IPS e.max Press, 91,5 % IPS e.max CAD	-
Guess et al. (2013)	80	7 Jahre	40 IPS e.max Press, 40 ProCAD LiSi Press GC	Teilkronen; posterior	1; Keramikfraktur	100 % IPS e.max Press, 97 % ProCAD	84 % IPS e.max Press 58 % ProCAD
Ferrari et al. (2019)	120	3 Jahre	(60 Prämolaren, 60 Molaren, mit und ohne Glasfaserstift)	Teilkronen; posterior	2; Wurzelfrakturen	100 % mit Glasfaserstift; 93,3 % o. Glasfaserstift	93,3 % m. Glasfaserstift; 96,6 % o. Glasfaserstift

Autor (Jahr)	Restaura- tionen (n)	Beobach- tungszeit	Material	Restaura- tionsart	Versagen	Überleben	Erfolg
<b>Lithiumdisilikat-Keramik (konventionell gefertigt)</b>							
Van den Breemer et al. (2019)	60	3 Jahre	IPS e.max Press	Teilkronen; posterior	1; Sekundärkaries	98,3 %	85 %
<b>Lithiumdisilikat-Keramik (CAD/CAM-gefertigt)</b>							
Archibald et al. (2018)	37	4 Jahre	6 IPS e.max Press 31 IPS e.max CAD	Onlays, Inlays; posterior	5; 3x Keramikfraktur, 1x Sekundärkaries, 1x Endo	100 % e.max Press 91,5 % e.max CAD	-
Aslan et al. (2019)	75	1 Jahr	25 IPS e.max CAD 25 n/ice Blocks 25 Cerasmart GC	Onlays, Inlays; posterior	keine	100 % IPS e.max CAD 100 % n/ice Blocks 100 % Cerasmart GC	100 % IPS e.max CAD 100 % n/ice Blocks 100 % Cerasmart GC
Nassar et al. (2019)	46	1 Jahr	23 IPS e.max CAD 23 VITA Suprinity	Teilkronen; posterior	keine	100 % IPS e.max CAD 100 % VITA Suprinity	-
<b>Zirkonoxidverstärkte Lithiumsilikat-Keramik (CAD/CAM-gefertigt)</b>							
Nassar et al. (2019)	46	1 Jahr	23 IPS e.max CAD 23 VITA Suprinity	Teilkronen; posterior	keine	100 % IPS e.max CAD 100 % VITA Suprinity	-
Rinke et al. (2020a)	92	3 Jahre	Celtra Duo (glasiert)	Teilkronen; posterior	2; 1 Keramikfraktur, 1x Zahnfraktur	99 %	98 %

Autor (Jahr)	Restaura- tionen (n)	Beobach- tungszeit	Material	Restaura- tionsart	Versagen	Überleben	Erfolg
<b>Zirkonoxidverstärkte Lithiumsilikat-Keramik (CAD/CAM-gefertigt)</b>							
Rinke et al. (2020b)	59	2 Jahre	Vita Suprinity	Teilkronen; posterior	2; Keramikfrakturen	97 %	93 %
Rinke et al. (2022)	61	5 Jahre	Vita Suprinity 31 MS 0,5 – 0,74 mm 30 MS 0,75 – 1,0 mm	Teilkronen; posterior	5; Keramikfrakturen 0	83 % MS 0,5-0,74 mm 100 % MS 0,75-1,0 mm	100 % MS 0,75-1,0 mm 69 % auf Molaren 100 % auf Prämolaren
Zimmermann et al. (2017a)	60	1 Jahr	Celtra Duo (32 poliert, 28 glasiert)	Teilkronen, Inlays; posterior	2; Keramikfrakturen	96,7 %	96,7 %

## 1.2 Zielsetzung und Fragestellung

Hauptursache für das Versagen von CAD/CAM-gefertigten vollkeramischen Teilkronen sind Materialfrakturen (Vagropoulou et al. 2018). Es wird davon ausgegangen, dass geringe Materialmindeststärken Materialfrakturen begünstigen (Bergamo et al. 2019). Dieser wichtige Einflussfaktor wurde bereits in zahlreichen *In-vitro*-Studien (Sasse et al. 2015; Zimmermann et al. 2017b; Abu-Izze et al. 2018; Bergamo et al. 2019; Heck et al. 2019) und klinischen Studien mit einer Beobachtungszeit von bis zu fünf Jahren untersucht (Rinke et al. 2020b; Rinke et al. 2022).

Der zweite Hauptgrund für das Versagen CAD/CAM-gefertigter vollkeramischer Teilkronen ist der Retentionsverlust (Abduo und Sambrook 2018). Klinische Untersuchungen beschäftigten sich bereits mit dem auf den Haftverbund positiven Einfluss selektiver Schmelzätzung bei Nutzung von dualhärtenden Kompositzementen (Baader et al. 2016; Vogl et al. 2016; Rinke et al. 2020b).

Bislang setzte sich noch keine Studie mit dem Einfluss des Behandlers auf die Überlebenszeit CAD/CAM-gefertigter Teilkronen auseinander. Ziel der vorliegenden prospektiven Multicenter-Studie war es, die klinische Bewährung von chairside hergestellten keramischen Teilkronen (CEREC-System, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) aus einer vollkristallisierten ZLS-Keramik (Celtra Duo, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) und die Abhängigkeit der Auswirkungen vom Befestigungsmaterial, der Position der Restauration (Oberkiefer vs. Unterkiefer, Prämolaren vs. Molaren), der Vitalität der Pfeilerzähne und den klinischen Gegebenheiten, einschließlich der Erfahrung der Anwender, zu untersuchen (Zentrum 1 - 3).

Die Nullhypothese der vorliegenden Studie lautete, dass die Überlebens- und Erfolgsraten unabhängig von der Zementierungstechnik, der Position der Restauration, der Vitalität und dem klinischen Umfeld (Behandler) sind.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine prospektive, kontrollierte, randomisierte klinische Studie, die in drei niedersächsischen Privatpraxen durchgeführt wurde.

Es wurden bereits eine Baseline- und 3-Jahres-Nachuntersuchung der Restaurationen durchgeführt. Nachdem die 3-Jahres-Daten von Rinke et al. (2020) veröffentlicht wurden, wird die Studie nun im Rahmen dieser 5-Jahres-Nachuntersuchung weitergeführt und abgeschlossen.

Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der Georg-August-Universität in Göttingen unter der Antragsnummer 10/4/13 bewertet und genehmigt.

### 2.2 Probanden inkl. Einschluss- und Ausschlusskriterien

Insgesamt 71 Patienten (45 Frauen/26 Männer) mit einem mittleren Alter von 48 Jahren (Spanne 20 - 82) mit der Indikation für eine höckerüberkuppelnde, chairside gefertigte Teilkrone aus einer zirkonoxidverstärkten Lithiumsilikat-Keramik wurden in die Studie aufgenommen (Abbildung 2, Abbildung 3).



Abbildung 2: Oberer erster Molar mit Indikation für eine CAD/CAM-gefertigte Teilkrone, die in diese Studie aufgenommen wurde



Abbildung 3: Klinische Situation *in situ* nach adhäsiver Zementierung einer ZLS-Teilkrone

### 2.2.1 Probandenauswahl/Patientenrekrutierung

Um in die Studie aufgenommen werden zu können, mussten die Probanden bestimmte Aufnahmekriterien bestehen. Zuerst musste die Indikation zur Aufnahme einer Teilkrone bei Prämolaren oder Molaren gestellt werden. Die Zähne durften vital oder suffizient endodontisch behandelt und symptomfrei sein. Es musste mindestens ein Okklusionskontakt mit antagonistischen Zähnen bestehen. Sobald die oro-vestibuläre Defektgröße weniger als 50 % der Höckerdistanz betrug, der Patient klinische Symptome von Bruxismus aufweist, die Präparationsgrenzen tief subgingival und damit nicht optisch abformbar waren, der Patient an einer unbehandelten parodontologischen Erkrankung litt oder minderjährig war, konnte der Patient nicht in die Studie aufgenommen werden. Die Aufnahme- und Ausschlusskriterien wurden in Tabelle 5 nochmal zusammengefasst. Jeder Patient wurde mit maximal zwei Restaurationen versorgt.

Tabelle 5: Einschluss- und Ausschlusskriterien zur Aufnahme in die Studie

<b>Einschlusskriterien</b>
Prämolaren und Molaren mit Indikation zur Aufnahme einer Teilkrone
Vital oder suffizient endodontisch behandelt und symptomfreie Zähne
Mindestens ein Okklusionskontakt mit antagonistischen Zähnen
<b>Ausschlusskriterien</b>
Oro-vestibuläre Defektgröße < 50 % der Höckerdistanz
Klinische Symptome von Bruxismus
Für eine optische Abformung ungeeignete, tief subgingivale Präparationsgrenzen
Unbehandelte parodontologische Erkrankungen
Alter unter 18 Jahren

Alle Probanden wurden ausführlich über die vorgeschlagene Behandlung informiert, bevor sie ihre Einwilligung gaben. Vor der Behandlung unterzogen sie sich einer professionellen Zahnreinigung und erhielten eine Unterweisung zur häuslichen Mundhygiene.

## **2.3 Klinische Behandlung**

Alle Behandlungen wurden im Zeitraum zwischen dem 01. Oktober 2013 und dem 30. September 2014 in drei niedersächsischen Praxen von Zahnärzten durchgeführt, die unterschiedlich viel klinische Erfahrung mit dem CEREC-System hatten. Zwei Zahnärzte hatten eine mehr als zehnjährige Erfahrung mit verschiedenen Generationen des CEREC-Systems (Zentrum 1 und 2), während der dritte Zahnarzt (Zentrum 3) zwei Jahre mit dem CEREC-System arbeitete. Die Zahnärzte erhielten eine spezielle Schulung in der Herstellung von chairside hergestellten Teilkronen mit identischer Software (Sirona CEREC Software Version 4.2, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) und den in der vorliegenden Studie angewandten Zementiertechniken.

### **2.3.1 Präparationsdesign und Teilkronenfertigung**

Die Zähne wurden entsprechend den publizierten Empfehlungen für Vollkeramikrestorationen präpariert, wobei das Präparationsdesign an die individuelle Situation angepasst wurde (Federlin et al. 2004; Federlin et al. 2005; Federlin et al. 2007a; Schenke et al. 2012). Die Präparation wurde so vorgenommen, dass eine höckerüberkuppelnde Versorgung der Zähne mit keramischen Teilkronen mit einer Mindeststärke von 1,5 Millimetern gewährleistet werden konnte.

Nach den optischen Abformungen (Quadrantenscans des Ober- und Unterkiefers sowie ein lateraler Scan für die Bissregistrierung) mit einem puderefreien intraoralen Scangerät (CEREC AC Omnicam, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland), folgte die Konstruktion einer monolithischen Teilkronenrestauration (CEREC Software 4.2, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) unter Verwendung des Designmodus "Biogenerik Individual" (Rinke et al. 2020a) (Abbildung 4). Die Restaurationsparameter wurden auf folgende Werte eingestellt: Spacer okklusal: 120 µm; marginaler Klebespalt: 60 µm.

Nach dem Nassschleifen (CEREC MCXL, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) der Teilkronen mit dem Schleifmodus "fein" wurden die Restaurationen einem Glasur- und Malfarbenbrand unterzogen (maximal 2 Brände pro Restauration).

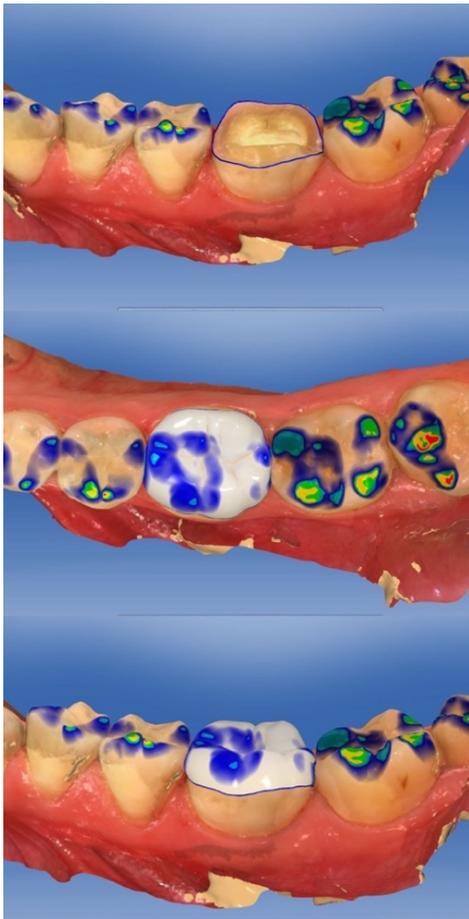


Abbildung 4: CAD der monolithischen ZLS-Restauration (CEREC Software V4.2., Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland). Oben = Eingabe der Präparationsgrenze, Mitte = Okklusale Ansicht bei der virtuellen Konstruktion der Restauration. Unten = Bukkale Ansicht bei der virtuellen Konstruktion der Restauration

### 2.3.2 Adhäsive Befestigung

Die Restaurationen wurden mit 70%igem Ethanol gereinigt und getrocknet. Die Innenseiten wurden mit einem 5%igen Flußsäure-Ätzgel 30 Sekunden lang geätzt und weitere 30 Sekunden lang mit Wasser abgesprüht und im Anschluss im Luftstrom getrocknet. Die geätzten Flächen wurden daraufhin silanisiert. Dabei wirkte das Silan 60 Sekunden lang ein. Wenn die Silanschicht innerhalb dieser 60 Sekunden nicht mehr flüssig war, wurde erneut Silan aufgetragen. Zum Abschluss wurde das Silan mit einem starken Luftstrom verblasen.

Die präparierten Zähne wurden mit Kofferdam isoliert und mit 37%iger Phosphorsäure geätzt (30 Sekunden Schmelz, 15 Sekunden Dentin) (Abbildung 7). Die adhäsive Zementierung der Teilkronenrestaurationen wurde nach dem Zufallsprinzip mit einem der folgenden dualhärtenden Kompositzemente durchgeführt. Für die zufällige Zuteilung der Teilnehmer zu den Zementierungsgruppen wurde ein Online-Programm für statistische Berechnungen ([www.randomization.com](http://www.randomization.com)) verwendet, um den Randomisierungsplan zu erstellen.

Gruppe A: Monobond S Plus, Syntac classic und Variolink (VL) (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) (Abbildung 5)

Gruppe B: Celtra Cementation System (CCS) (Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) (Abbildung 6)



Abbildung 5: Bei Gruppe A verwendete Produkte zur adhäsiven Befestigung der Restaurationen. Die Nutzung wurde von Ivoclar Vivadent genehmigt.



Abbildung 6: Bei Gruppe B verwendete Produkte zur adhäsiven Befestigung der Restaurationen. Die Nutzung wurde von Dentsply Sirona genehmigt.

Bei beiden Gruppen geschah die Zementierung nach Herstellerangaben. Bei Gruppe A wurde der Zahn dementsprechend zuerst mit dem Syntac Primer eingerieben. Dieser konnte mindestens 15 Sekunden einwirken, ehe er verblasen wurde. Daraufhin wurde das Syntac Adhesive aufgetragen, 10 Sekunden einwirken gelassen und verblasen. Heliobond wurde appliziert und gemeinsam mit dem danach dünn applizierten Variolink polymerisiert. Bei Gruppe B wurde dementsprechend Prime&Bond XP im 1:1-Verhältnis mit dem Self-Cure Activator gemischt. Das Gemisch wurde als dünner Film auf die präparierten Flächen aufgetragen und konnte 20 Sekunden lang einwirken, ehe es mit einem mittelstarken Luftstrom verpustet und daraufhin 10 Sekunden lang lichtgehärtet wurde. Daraufhin wurde Calibra Esthetic Resin Cement als dünner, gleichmäßiger Zement-Film auf die Innenfläche der Restauration aufgetragen und die Restauration eingesetzt.

Nach Entfernung des Zementüberschusses wurde das Zementmaterial jeder Restauration von okklusal, mesial, distal, bukkal und lingual jeweils 40 Sekunden lang polymerisiert. Die Ränder wurden ausgearbeitet und die okklusalen Kontakte mit feinkörnigen Diamantinstrumenten unter ständiger Wasserkühlung angepasst. Die dynamische Okklusion wurde entsprechend dem Ausgangszustand (Front-Eckzahngeführte Okklusion oder unilaterale dynamische Führung) wiederhergestellt (Abbildung 8).



Abbildung 7: Präparation nach Anwendung von Kofferdam und Ätzung von Schmelz und Dentin mit 37%iger Phosphorsäure



Abbildung 8: Klinische Situation *in situ* nach adhäsiver Zementierung einer ZLS-Teilkrone (Gruppe B)

## 2.4 Datenerhebung bei der klinischen Nachuntersuchung

### 2.4.1 Datenverwaltung und -dokumentation

Zu Anfang dieser Studie wurden alle Probandennamen durch Kürzel pseudonymisiert. Diese Kürzel bestehen aus zwei Teilen: Der erste Teil gibt zusammen mit einer auflösenden Tabelle Aufschluss über das Zentrum, in dem der Proband oder die Probandin behandelt worden war („Z1“, „Z2“ oder „Z3“). Getrennt durch ein „-“ wurden die Probanden einer Praxis im Anschluss von 1 aufsteigend durchnummeriert. Daraus ergaben sich Pseudonyme von „Z1-001“ bis „Z1-018“, „Z2-001“ bis „Z2-028“ sowie „Z3-001“ bis „Z3-027“. Zusammen mit einer auflösenden Tabelle lässt sich anhand der Kürzel das Zentrum sowie der Probandenname entschlüsseln.

Kürzel wurden nicht nur zur Pseudonymisierung sensibler Informationen verwendet. Auch wurden die einzelnen Teilkronen codiert. Dieser Code setzt sich aus zwei anderen Bestandteilen zusammen: Im ersten Teil wurden alle in die Studie eingeschlossenen Teilkronen pro Zentrum nach einem „TK“, das für „Teilkrone“ steht, durchnummeriert (z. B.: „TK01“). Durch ein „-“ getrennt folgen darauf Koordinaten aus zwei Ziffern. Diese geben dem Zahnschema der FDI folgend den jeweiligen Pfeilerzahn an.

Die erhobenen Daten wurden dem o. g. Schema der Pseudonymisierung und Codierung folgend mit einem Datenerfassungsbogen (*Clinical Report Form*, CRF-Version 3) dokumentiert. Dazu wurde der bestehende Datenerfassungsbogen aus der 3-Jahres-Nachuntersuchung um eine weitere Seite zur Bewertung der modifizierten USPHS-Kriterien ergänzt. Die Datenerfassungsbögen wurden in einem Ordner archiviert.

Der Datenerfassungsbogen umfasste insgesamt vier Seiten (s. 6.1 CRF-Bögen). Die Titelseite gestattete dem Untersucher einen ersten Überblick über den Probanden. Sie beinhaltet neben Informationen wie den Titel und Leiter der Studie das Patienten-Pseudonym, Geschlecht,

Geburtsdatum und je nach Anzahl an in die Studie aufgenommenen Versorgungsbis zu zwei Restaurationscodes. Auf der dritten Seite wurden die Pfeilerzähne bewertet. Hier war Platz, neben den Restaurationscodes und der Behandlerpraxis die Vitalität der Pfeilerzähne sowie die mesial und distal tiefste Sondierungstiefe in mm und den BOP (+/-) anzugeben. Darüber hinaus konnten Schmerzen, Heiß-/Kalt-Empfindlichkeiten sowie technische und biologische Interventionsgründe bewertet werden.

Die pseudonymisierten Daten wurden für die statistische Analyse in ein Tabellenkalkulationsprogramm (Excel, Microsoft, Redmond, USA) übertragen. Zugriff auf alle Daten hatten der Leiter der Studie und der Untersucher.

#### **2.4.2 Klinische Nachuntersuchung**

Die folgenden Bewertungsparameter wurden angewandt: Die Überlebensrate (die Restauration blieb *in situ*), die Erfolgsrate (interventionsfreie funktionelle Periode der Restauration) und die modifizierten United States Public Health Service (USPHS) Kriterien (Ryge 1980; Mörmann et al. 1991; Krejci et al. 1992) (Tabelle 7). Die Untersuchungen fanden zum Zeitpunkt des Einsetzens (Baseline), nach drei Jahren und nach fünf Jahren statt.

Im Zeitraum zwischen dem 15. September 2016 und dem 28. September 2017 wurden 69 Probanden im Rahmen der 3-Jahres-Studie nachuntersucht (Rinke et al. 2020a).

Im Zeitraum zwischen dem 17. September 2019 und dem 07. Februar 2020 fand die 5-Jahres- und damit die Abschlussuntersuchung bei 55 Probanden statt. Der untersuchende Zahnarzt (E.SCH.) war weder an der Herstellung noch an der Eingliederung der Restaurationen beteiligt. Er wurde vor Beginn der Untersuchung von einem der Autoren und Studienleiter (S.R.) hinsichtlich der Überlebens- und Erfolgskriterien geschult. Diese Schulung wurde so lange wiederholt, bis jeder Untersucher eine substantielle Korrelation, gemessen durch Cohen's kappa ( $k \geq 0,6$ ), aufwies.

Vor einer jeden Patientenuntersuchung wurde zunächst die Patientenakte gesichtet. Damit sollten zum einen die bisherigen Studienergebnisse kontrolliert werden. Zum anderen wurde überprüft, ob sich der Patient im Zeitraum seit der letzten Nachuntersuchung an den Pfeilerzähnen einer Behandlung wie zum Beispiel einer parodontologischen Therapie unterzogen hat, welche bei der anschließenden klinischen Untersuchung nicht zwingend sichtbar gewesen wäre.

Zu Beginn einer jeden Patientenuntersuchung wurde der Patient befragt, ob er in dem Zeitraum seit der letzten Nachuntersuchung bei einer anderen Praxis behandelt wurde. Auch damit sollte vermieden werden, dass Interventionen übersehen werden. Danach wurde der Patient nach Heiß-Kalt-Empfindlichkeiten, Beschwerden oder gar Schmerzen an allen Zähnen bei alltäglichen Situationen befragt. Falls eines davon zutraf, wurde im Anschluss geprüft, ob diese Missempfindungen in einen topografischen Zusammenhang mit der Restauration gebracht werden konnten. Die technischen und biologischen Interventionen,

Schmerzen und Heiß-Kalt-Empfindlichkeiten wurden nach Ziffern in Schweregrade unterteilt und dokumentiert (Tabelle 6). Darüber hinaus wurde an jedem Pfeilerzahn mesial und distal die höchste Sondierungstiefe in mm gemessen und zusammen mit dem BOP (positiv/negativ) dokumentiert.

Tabelle 6: Legende zur Beurteilung des biologischen und technischen Interventionsgrades, der Schmerzen und der Heiß-Kalt-Empfindlichkeiten

<b>Biologischer Interventionsgrund</b>	
<b>Grad</b>	<b>Beschreibung</b>
0	Keine biologisch bedingte Intervention
1	Parodontologische Behandlung
2	Wurzelkanalbehandlung nach Vitalitätsverlust
3	Revision oder chirurgische Therapie an einem endodontisch behandelten Zahn
4	Füllungstherapie aufgrund von Sekundärkaries
5	Versiegelung bei Heiß-Kalt-Empfindlichkeit
<b>Technischer Interventionsgrund</b>	
<b>Grad</b>	<b>Beschreibung</b>
0	Keine technisch bedingte Intervention
1	Rezementierung nach Retentionsverlust
2	Politur einer Keramikfraktur < 2 mm <sup>2</sup>
<b>Schmerzen</b>	
<b>Grad</b>	<b>Beschreibung</b>
0	Keine Schmerzen
1	Gelegentlich spontane Schmerzen
2	Leichte Beschwerden bei der Nahrungsaufnahme
3	Starke Schmerzen mit Beeinträchtigung der Nahrungsaufnahme
<b>Heiß-Kalt-Empfindlichkeit</b>	
<b>Grad</b>	<b>Beschreibung</b>
0	Keine Empfindlichkeit
1	Leichte Empfindlichkeit
2	Starke Empfindlichkeit (Intervention notwendig)

Alle zur Nachuntersuchung verfügbaren Restaurationen wurden klinisch unter dreifacher Vergrößerung mit einem Spiegel, einer Sonde und intraoralen Aufnahmen ausgewertet. Die Sensibilität der Zähne wurde durch CO<sub>2</sub>-Kältespray-Tests bestätigt.

Jede Restauration wurde hinsichtlich der modifizierten USPHS-Kriterien untersucht (Ryge 1980; Mörmann et al. 1991; Krejci et al. 1992). So wurden postoperative Sensibilitäten, die anatomische Form, die marginale Adaptation, marginale Verfärbungen, die Oberflächenbeschaffenheit und Sekundärkaries bewertet (Tabelle 7) und bei jeder Nachuntersuchung fotografisch festgehalten (Abbildung 9).



Abbildung 9: ZLS-Teilkrone bei der 5-Jahres-Nachuntersuchung. Die Restauration verblieb interventionsfrei in Funktion. Die marginale Adaptation wurde mit Bravo bewertet, das USPHS-Kriterium marginale Verfärbung wurde mit Alpha bewertet.

Jede Teilkrone, die locker, frakturiert oder gar fehlend war oder nach den USPHS-Kriterien ausgetauscht werden musste (= Delta), wurde als Misserfolg gezählt. Die Patienten nahmen in der Regel an einem 6-monatigen Recall teil. Hat sich ein Patient mit einem Misserfolg (Verlust der Restauration, ggf. Zementierung, Keramikfraktur, biologische Komplikationen) bei der Praxis gemeldet, wurde dieses Datum als Datum des Misserfolgs aufgenommen. Ist ein Misserfolg unbemerkt aufgetreten, wurde dieser Misserfolg spätestens beim nächsten Recall oder der Nachuntersuchung erfasst und das Datum der Untersuchung als Datum des Misserfolgs festgehalten, um so die Überlebenszeit und die Erfolgsrate vom Zeitpunkt des Eingliederns der Teilkronen bis zum Misserfolg beurteilen zu können.

Tabelle 7: Modifizierte USPHS-Kriterien mit Feldern zum Ankreuzen je Restauration (Ryge 1980; Mörmann et al. 1991; Krejci et al. 1992)

			R1	R2
Postoperative sensitivity	Alpha	No postoperative sensitivity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Postoperative sensitivity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Postoperative sensitivity with treatment need	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anatomic form	Alpha	Correct contour	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Slightly undercontoured or overcontoured	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Distinctly undercontoured or overcontoured	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Delta	Restoration fractured or mobile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marginal adaptation	Alpha	Margin not discernible, probe does not catch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Probe catches on margin but no gap; dentin or liner exposed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Probe catches on margin and gap on probing, dentin or liner exposed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Delta	Restoration fractured or missing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marginal discoloration	Alpha	No marginal discoloration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Marginal discoloration, not penetrated towards pulp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Marginal discoloration penetrated towards pulp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface texture	Alpha	Smooth, glazed, or glossy surface	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Slightly rough or dull surface	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Surface with deep pores, cannot be refinished	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Recurrent caries	Alpha	No recurrent caries	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Caries without treatment need	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Caries with treatment need	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 2.5 Statistische Auswertung der erhobenen Daten

Die statistische Auswertung basierte auf den Informationen über die Überlebens- und Erfolgsraten der Teilkronen. Das Kriterium „Überleben“ traf zu, wenn eine Restauration zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung *in situ* verblieben und ohne Anzeichen eines Totalverlusts war (In-situ-Kriterium) (Anusavice 2012; Rinke et al. 2020a). Als „Totalverlust“ galt eine klinisch inakzeptable Keramikfraktur der Restauration oder eine biologische Intervention wie Karies, Zahnfraktur oder parodontale Erkrankung, die ein Erneuern der Restauration oder die Extraktion des Pfeilerzahnes erforderte. „Erfolg“ war definiert als eine über den gesamten Beobachtungszeitraum interventionsfreie und funktionell unverändert *in situ* verbliebene Teilkrone (Anusavice 2012; Rinke et al. 2020a).

Die zeitabhängige Überlebenszeit wurde mit Hilfe der Kaplan-Meier-Überlebenszeitanalyse gemessen. Sie wurde als Zeitperiode zwischen dem Zeitpunkt der Zementierung und der letzten Nachuntersuchung (interventionsfrei) oder im Falle eines Misserfolgs bis zum Zeitpunkt des Misserfolgs definiert.

### 2.5.1 Überlebenszeitanalyse nach Kaplan-Meier

In dieser Studie wurden Ereignisse im Rahmen einer Überlebenszeitanalyse in Abhängigkeit von der Zeit beurteilt. Zu Beginn der Studie war der Zeitpunkt, wann ein Ereignis wie der Verlust einer Teilkrone oder eine Intervention eintritt, unbekannt. Die Zielvariable kann also nicht zu einem festen Zeitpunkt erhoben werden. Stattdessen soll die Wahrscheinlichkeit für ein zeitabhängiges Überleben („survival“) oder den interventionsfreien Erfolg („success“) der Teilkronen nach einer bestimmten Zeit ermittelt werden. Trifft das Ereignis am Ende der Studie nicht ein, spricht man von einer „zensierten Beobachtung“. Ein Grund dafür kann sein, dass ein Proband z. B. wegen Umzug oder Tod nicht mehr zu Beobachtung zur Verfügung steht (Ziegler et al. 2002).

Tabelle 8 zeigt die Daten der Überlebenszeit von Kronen in einem Zeitraum von 1 bis 5 Jahren mit einem 95 %-Konfidenzintervall. In dem Beobachtungszeitraum gab es bei insgesamt 92 Teilkronen 5 Verluste. Ziel ist es nun, die Wahrscheinlichkeit für das Überleben einer Krone zu berechnen. Dafür wird die Kaplan-Meier-Methode verwendet. Bei der Kaplan-Meier-Methode sind die Beobachtungsintervalle durch die Ereignisse definiert. Jeder Verlust einer Teilkrone definiert ein neues Zeitintervall. Die Zeitintervalle sind also nicht vorher fest definiert. Für jedes Zeitintervall wird eine bedingte Wahrscheinlichkeit berechnet (Tabelle 8, Spalte „survival“), dass eine Krone ein Zeitintervall überlebt, falls sie schon bis zum Beginn des neuen Zeitintervalls überlebt hat. Die Überlebenszeit einer Teilkrone über mehrere Zeitintervalle hinweg berechnet man anhand der Gesamtwahrscheinlichkeit, also dem Produkt der einzelnen bedingten Wahrscheinlichkeiten. Dabei wird bei zensierten und unzensierten Patienten sowie Patienten aus unterschiedlichen Rekrutierungszeiträumen stets von einer gleichen Überlebenswahrscheinlichkeit ausgegangen.

Die Gesamtwahrscheinlichkeit aus dem Beispiel aus Tabelle 8 wird also wie folgt berechnet: Der erste vollständige Teilkronenverlust geschah nach 2,5 Jahren. Außerdem sind drei Teilkronen nach 1,5 Jahren, zwei Teilkronen nach zwei Jahren und zwei weitere Teilkronen nach 2,5 Jahren wegen mangelnder Patientenbeteiligung zensiert. Die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür, dass mindestens bis zum 30. Monat kein Teilkronenverlust stattfindet, beläuft sich auf  $99\% = \frac{84}{85}$ . Von den verbliebenen Teilkronen versagte eine weitere Teilkrone nach drei Jahren. Nach drei Jahren ist außerdem eine weitere Teilkrone zensiert. Die bedingte Wahrscheinlichkeit, das dritte Jahr zu überleben, wenn die Zeit vorher überlebt wurde, beträgt  $98\% = \frac{84}{85} \times \frac{82}{83}$ . Nach 42 Monaten erfolgten zwei Verluste, nachdem 8 weitere Teilkronen zensiert wurden. Die Wahrscheinlichkeit ohne Verlust *in situ* zu verbleiben beträgt hier  $95\% = \frac{84}{85} \times \frac{82}{83} \times \frac{73}{75}$ . Nach vier Jahren folgte ein weiterer Verlust. Die Gesamtwahrscheinlichkeit, das 4,5. Jahr zu überleben, beträgt dem Beispiel nach  $94\% = \frac{84}{85} \times \frac{82}{83} \times \frac{73}{75} \times \frac{72}{73}$ . Danach wurden keine weiteren Verluste registriert.

Die Kaplan-Meier-Überlebenswahrscheinlichkeit wird in Form eines Diagramms dargestellt (Abbildung 10). Anhand der Kaplan-Meier Kurve lässt sich zum Beispiel die 5-Jahres-Überlebensrate ablesen (Ziegler et al. 2002; Kishore et al. 2010).

Tabelle 8: Überlebenswahrscheinlichkeit der Kronen in einem Zeitraum von 1 bis 5 Jahren mit 95 %-Konfidenzintervall

Jahre	n.risk	n.event	Überleben	95 % KI
0,5	92	0	1	[ 0; 1]
1	92	0	1	[ 0; 1]
1,5	89	0	1	[ 0; 1]
2	87	0	1	[ 0; 1]
2,5	85	1	0,99	[ 0,97; 1]
3	83	1	0,98	[ 0,94; 1]
3,5	75	2	0,95	[ 0,91; 1]
4	73	1	0,94	[ 0,89; 0,99]
4,5	72	0	0,94	[ 0,89; 0,99]
5	71	0	0,94	[ 0,89; 0,99]

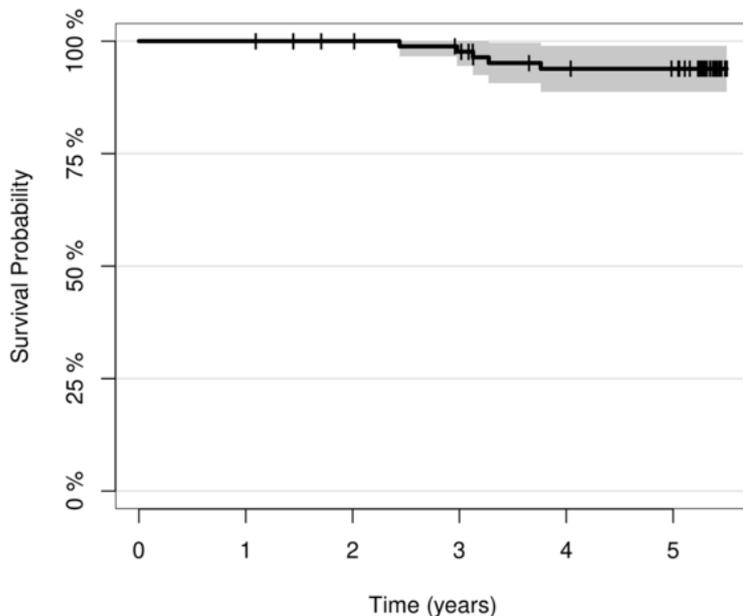


Abbildung 10: Kaplan-Meier Kurve am Beispiel einer interventionsfreien 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der Teilkronen. Die Überlebenskurve besteht aus vertikalen und horizontalen Linien. Ihr liegt eine Treppenfunktion zugrunde. Charakteristisch dabei ist, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit (Y-Achse) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten gleichbleibt. Die vergangene Zeit in Jahren seit Beginn der Studie wird auf der X-Achse dargestellt.

Das Zementierungsmaterial (VL vs. CCS), die Position der Restauration (Prämolar vs. Molar) und die klinische Umgebung, einschließlich der Erfahrung der Behandler (Zentren 1 - 3), wurden als mögliche Kovariaten der zeitabhängigen Überlebens- und Erfolgsraten bewertet.

### 2.5.2 Cox Regressionsanalyse

Anhand des Cox-Modells lässt sich der Einfluss von Kovariaten auf die Überlebenszeit ermitteln. Verschiedene Beobachtungen bei ein und demselben Patienten (mehrere Teilkronen pro Patienten) wurden auf der Grundlage der angepassten Varianzschätzung in einem Cox-Regressionsmodell als abhängig bewertet. Daher wurde für die Datenanalyse ein marginales Modell verwendet (Gerds et al. 2009). Zum Verständnis des Cox-Modells bedarf es der Hazard-Funktion  $h(t)$ . Sie beschreibt das Risiko, dass zur Zeit  $t$  ein Ereignis eintritt (Ziegler et al. 2007).

$$h(t) = \frac{\text{Anzahl der Personen mit Zielereignis im Intervall, das bei } t \text{ beginnt}}{(\text{Anzahl der Personen, die bis } t \text{ überleben}) \times \text{Intervallbreite}}$$

Der *Hazard Ratio* ist ein deskriptives Maß für den Unterschied von Überlebenszeiten (Zwiener et al. 2011). Man kann für zwei Gruppen die Hazard-Funktionen  $h_1(t)$  und  $h_2(t)$  ermitteln. Ein Quotient drückt die Größe der Abweichung der Ereignisrisiken dieser zwei Gruppen aus (Ziegler et al. 2004; Zwiener et al. 2011).

$$\text{Hazard Ratio} = \frac{h_2(t)}{h_1(t)}$$

Folgendes Exempel aus der vorliegenden Untersuchung veranschaulicht den *Hazard Ratio*.

Für die Teilkronen, bei denen Calibra als Befestigungsmaterial genutzt wurde (B), liegt verglichen mit den Teilkronen, bei denen Variolink zur Zementierung genutzt wurde (A), ein *Hazard Ratio* von 3,880 vor (95 % KI: 0,449 - 33,5). Das bedeutet, dass Patienten in Gruppe B ein 3,88-fach höheres Ausfallrisiko im Vergleich zur Gruppe A besitzen. Anders ausgedrückt besteht ein 0,26-faches ( $0,26 = \frac{1}{3,88}$ ) Ausfallrisiko in Gruppe A verglichen mit Gruppe B (Heinzl 2009).

Beim Konfidenzintervall (KI) handelt es sich um einen Unsicherheitsbereich für die Schätzung eines unbekanntem Parameters (Bender und Lange 2001). Die Wahrscheinlichkeit, mit der sich der gesuchte Parameter in diesem Bereich befindet, nennt sich Konfidenzniveau (Baulig et al. 2009). In dieser Studie wurde ein Konfidenzintervall von 95 % gewählt. Dieses enthält den gesuchten Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % (Bender und Lange 2001; Prel et al. 2009). Seine Spanne wird von der Stichprobengröße und Standardabweichung bestimmt (Bender und Lange 2001).

Der p-Wert ist eine Wahrscheinlichkeit, die die Größe der Evidenz gegen die Nullhypothese darstellt. Ein hoher p-Wert drückt geringe Evidenz aus (Prel et al. 2009). Die Größe des Effekts lässt sich jedoch nicht am p-Wert ablesen (Bender und Lange 2007).

In dieser Studie wurde ein p-Wert von weniger als 0,05 als statistisch signifikant akzeptiert. Alle Analysen wurden mit der Statistiksoftware R (Version 3.5.3; R Core Team 2018) unter Verwendung des R-Pakets "survival" (Version 2.44.1.1) und des Moduls "prodim" für die Time-to-Event-Analysen durchgeführt.

Der p-Wert lässt sich anhand des Chi-Quadrat-Vierfeldertests ermitteln. Er dient dazu zu prüfen, ob zwei Merkmale voneinander unabhängig sind (Shih und Fay 2017). Anhand der Formel  $\frac{\text{Zeilensumme} \times \text{Spaltensumme}}{\text{Gesamtzahl}}$  kann die erwartete Häufigkeit für jedes Feld einer (2x2)-Kontingenztafel kalkuliert werden, sofern der Quotient aller vier Felder größer gleich fünf ist (Tabelle 9) (Singhal und Rana 2015). Ob die Merkmale voneinander unabhängig sind, zeigt der sich mit der folgenden Formel zu berechnende Prüfwert Chi-Quadrat  $\chi^2$  (McHugh 2013).

$$\chi^2 = \frac{n \times (a \times d - c \times b)^2}{(a + c) \times (b + d) \times (a + b) \times (c + d)}$$

Tabelle 9: (2×2)-Kontingenztafel (Singhal und Rana 2015)

	Kategorie 1	Kategorie 2	Zeilensumme
Gruppe 1	a	b	a+b
Gruppe 2	c	d	c+d
Spaltensumme	a+c	b+d	n=a+b+c+d

In der Chi-Quadrat-Verteilungstabelle lässt sich der dem Signifikanzniveau  $\alpha$  zugehörige kritische Wert ablesen. Ist dieser Wert kleiner als der Prüfwert  $x^2$ , liegt ein signifikanter Unterschied zwischen den betrachteten Werten vor (Pandis 2016). Wird ein Signifikanzniveau  $\alpha$  von 0,05 gewählt, kann der p-Wert annähernd mit folgender Formel bestimmt werden (Bender und Lange 2007; Singhal und Rana 2015).

$$p = \frac{1}{2} \times 10^{\frac{-x^2}{3,84}}$$

Dazu dient folgende Überlegung aus der vorliegenden Untersuchung. Bei der Baseline-Untersuchung waren aus Gruppe A 48 Restaurationen *in situ* und aus Gruppe B 44 Teilkronen *in situ*. Bei der 5-Jahres-Nachuntersuchung waren es noch 35 Teilkronen bei Gruppe A und 36 bei Gruppe B. Aus dem Chi-Quadrat-Test resultiert  $x^2 = 1,27$ . Dieser Prüfwert ist kleiner als der dem Signifikanzniveau  $\alpha$  von 0,05 zugehörige kritische Wert 3,84. Das bedeutet, dass der Unterschied zwischen den Daten statistisch nicht signifikant ist. Der p-Wert beläuft sich dabei auf 0,19.

## 2.6 Studienmaterial Celtra Duo

In dieser Studie wurde die ZLS-Keramik Celtra Duo (Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) verwendet. Die Mikrostruktur von Celtra Duo besteht aus zwei Einheiten. Neben Kristallen aus Lithiummetasilikat ( $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ ) und Lithiumdisilikat ( $\text{Li}_2\text{SiO}_5$ ) enthält sie eine Glasmatrix, in der etwa zehn Gew.-% Zirkondioxid ( $\text{ZrO}_2$ ) gelöst ist (Tabelle 10) (Dentsply Sirona Deutschland GmbH 2016; Belli et al. 2017). Die neuartige chemische Zusammensetzung führt dank des erhöhten Glasanteils zu guten optischen Eigenschaften bei verbesserter Polierbarkeit der Keramik (Silva et al. 2017; Furtado de Mendonca et al. 2019). Die homogen verteilten Zirkondioxid-Partikel führen zu besseren mechanischen Eigenschaften wie zum Beispiel einer erhöhten Biegefestigkeit (Tabelle 11) (Badawy et al. 2016; Attaallah et al. 2019; Hamza und Sherif 2019; Zarone et al. 2021).

Tabelle 10: Zusammensetzung Celtra Duo (Dentsply Sirona Deutschland GmbH 2016; Belli et al. 2017)

Inhaltsstoff	Summenformel	Gewichtsprozent
Siliziumdioxid	SiO <sub>2</sub>	58,0
Phosphorpentoxid	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,0
Aluminiumoxid	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,9
Lithiumoxid	Li <sub>2</sub> O	18,5
Zirkonoxid	ZrO <sub>2</sub>	10,1
Terbiumoxid	Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	1,0
Ceriumoxid	CeO <sub>2</sub>	10,0

Tabelle 11: Übersicht über technische Daten von Celtra Duo (Badawy et al. 2016; Dentsply Sirona Deutschland GmbH 2018a; Attaallah et al. 2019; Hamza und Sherif 2019; Zarone et al. 2021)

Prüfung	Ermittelter Wert
Drei-Punkt-Biegefestigkeit (nach Politur / nach Glasurbrand)	ca. 189 - 300 MPa / 253 - 451 MPa
Charakteristische Festigkeit	ca. 461 - 627 MPa
Biaxialfestigkeit (nach Politur / nach Glasurbrand)	ca. 126 - 184 MPa / 206 - 294 MPa
Bruchfestigkeit	ca. 725 - 1571 N
Risszähigkeit	ca. 1,5 - 1,7 MPa m <sup>1/2</sup>
Elastizitätsmodul	ca. 61 - 108 GPa
Weibull-Modul	ca. 2,7 - 13,4 m
Vickershärte	ca. 4,5 - 6,8 GPa
Poissonzahl	ca. 0,21 - 0,3
Dichte	ca. 2,63 g/cm <sup>3</sup>
Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK)	ca. 11,8 *10 <sup>-6</sup> /K
Chemische Löslichkeit	ca. 40 µg/cm <sup>2</sup>
Erweichungstemperatur	ca. 800 °C
Transformationstemperatur (TG)	ca. 620 °C

Nach Herstellerangaben dauert das Schleifen eines Keramikblocks aus Celtra Duo (Abbildung 11) in einer Fräs- und Schleifmaschine (z. B. CEREC MC XL, Dentsply Sirona, Deutschland) für einen Molaren im normalen Schleifmodus ca. 14,5 min. Ein optionaler Glasurbrand dauert laut Hersteller ca. 15,3 min. Abhängig vom Brennofen wird eine zweiminütige Trocknungszeit gefolgt von einer zweiminütigen Schließzeit empfohlen. Nach weiteren zwei Minuten Vorwärmzeit soll bei einer Starttemperatur von 500 °C und einer Aufwärmrate von 60 °C/min eine Endtemperatur von 820 °C 1,5 min gehalten werden, bevor der Keramikblock 3 min langzeitabkühlen soll. Sollte ein zweiter Glasurbrand notwendig sein, sinkt die empfohlene Endtemperatur bei Beibehaltung der restlichen Parameter auf 770 °C (Dentsply Sirona Deutschland GmbH 2018b).

Alternativ zum Glasurbrand kann die Restauration auch poliert werden. Hier empfiehlt der Hersteller eine dreistufige Politur: Zunächst soll mit einem grobkörnigen Polierer eine Gleichmäßige Oberfläche geschaffen werden. Danach soll mit einem mittelgroßen und einem feinen Polierrad bei Umdrehungen von 8000 /min bis 12000 /min unter leichtem bis mittlerem Druck poliert werden. Falls gewünscht, kann mit einer feinen Diamantpaste auf einer weichborstigen Robinson-Bürste unter leichtem Druck und 4000 Umdrehungen /min endpoliert werden (Dentsply Sirona Deutschland GmbH 2018b).



Abbildung 11: Celtra Duo Keramikblock. Die Nutzung wurde von Dentsply Sirona genehmigt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Studienpopulation

Von den 71 ursprünglich versorgten Patienten (45 weiblich/26 männlich, Durchschnittsalter  $48,9 \pm 12,9$  Jahre) nahmen 59 Patienten mit 73 Kronen an regelmäßigen jährlichen Nachuntersuchungen teil (5-Jahres-Rückrufquote 83 %). Die 5-Jahres-Nachuntersuchungen wurden zwischen September 2019 und Februar 2020 durchgeführt (Beobachtungszeitraum:  $58,0 \pm 15$  Monate). Zwölf Patienten (6 weiblich/6 männlich) mit 19 Restaurationen (1 Prämolare/18 Molaren) nahmen nicht an der letzten klinischen Untersuchung teil. Ihre Daten wurden mit dem Datum der letzten verfügbaren Daten zensiert (Tabelle 12, Tabelle 13, Abbildung 12). Die folgenden Gründe für die Nichtteilnahme an den Abschlussuntersuchungen wurden dokumentiert: 7 Patienten zogen aus der Region weg, 2 Patienten starben, 2 Patienten litten an einer schweren Krankheit und 1 Patient lehnte die Teilnahme an der Studie ab.

Tabelle 12: Verteilung der ursprünglich eingesetzten, chairside gefertigten keramischen Teilkronen und der *Drop-Outs* für die 3 an der Studie beteiligten Zahnarztpraxen

	Patienten und Restaurationen			
	Zentrum 1	Zentrum 2	Zentrum 3	Gesamt
<b>Baseline</b>	17 Patienten/ 29 Teilkronen	28 Patienten/ 30 Teilkronen	26 Patienten/ 33 Teilkronen	71 Patienten/ 92 Teilkronen
<b>Drop-Out</b>	2 Patienten/ 4 Teilkronen	3 Patienten/ 3 Teilkronen	7 Patienten/ 12 Teilkronen	12 Patienten/ 19 Teilkronen
<b>5-Jahres-Recall</b>	15 Patienten/ 25 Teilkronen	25 Patienten/ 27 Teilkronen	19 Patienten/ 21 Teilkronen	59 Patienten/ 73 Teilkronen

Tabelle 13: Verteilung der zur 5-Jahres-Untersuchung verfügbaren Teilkronen auf die Seitenzähne (Schema nach FDI)

Zahn	17	16	15	14	24	25	26	27	Summe
Anzahl	3	8	4	2	1	5	6	2	31
Anzahl	9	12	2	1	0	2	8	6	42
Zahn	47	46	45	44	34	35	36	37	Summe

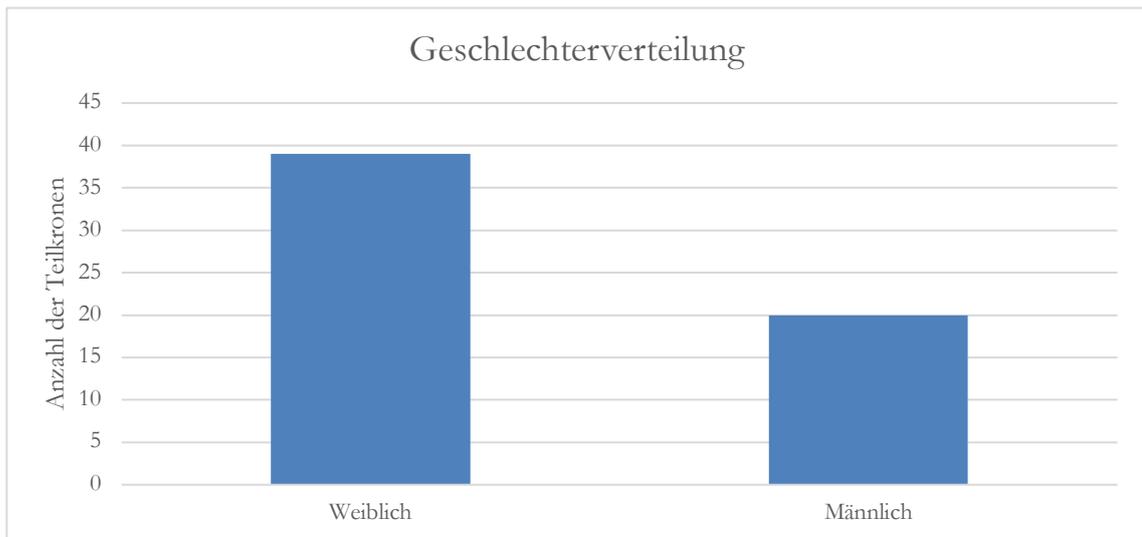


Abbildung 12: Geschlechterverteilung der zur 5-Jahres-Untersuchung verfügbaren Teilkronen

36 Restaurationen wurden der Gruppe A und 37 der Gruppe B zugeordnet. 31 der untersuchten Restaurationen wurden im Oberkiefer und 42 im Unterkiefer eingesetzt (17 Prämolaren- und 56 Molaren-Teilkronen). Achtundsechzig der untersuchten Restaurationen wurden bei vitalen Pfeilern eingesetzt, 5 Teilkronen wurden bei suffizient endodontisch behandelten Seitenzähnen eingesetzt (Abbildung 13).

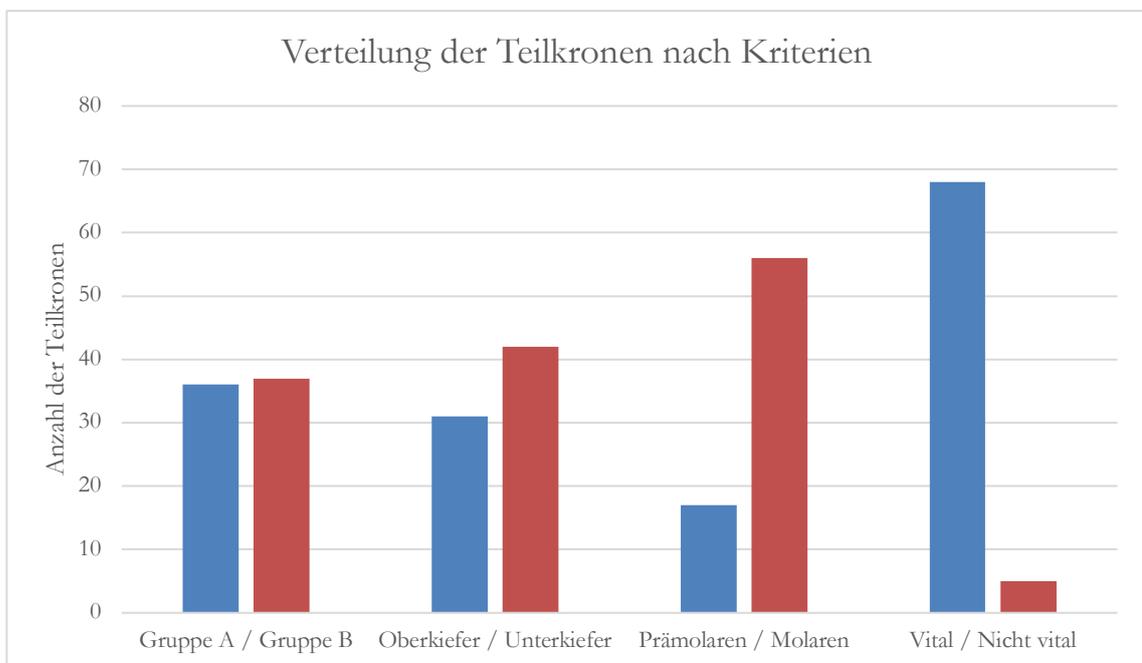


Abbildung 13: Verteilung der zur 5-Jahres-Untersuchung verfügbaren Teilkronen nach Kriterien

## 3.2 Überlebensrate

### 3.2.1 Gesamtüberlebensrate

Zum Zeitpunkt der 5-Jahres-Nachuntersuchung wurde der Verlust von vier keramischen Teilkronen dokumentiert. Zwei keramische Teilkronen bei zwei verschiedenen Patienten fielen aufgrund einer Fraktur des Pfeilerzahns aus (nach 30 und 39 Monaten), und eine weitere Restauration bei einem anderen Patienten fiel aufgrund einer katastrophalen Fraktur der Keramikrestauration aus (nach 38 Monaten). Eine Restauration musste nach einem endodontischen Versagen ersetzt werden. Somit war einer von vier Totalausfällen technisch bedingt, während die übrigen Verluste als biologische Ausfälle eingestuft wurden. Die Gesamtüberlebensrate nach fünf Jahren betrug 95 % (95 % Konfidenzintervall (95 % KI): 0,9 - 1) (Tabelle 14, Abbildung 14).

Tabelle 14: Überlebenswahrscheinlichkeit der Kronen in den Jahren 1 bis 5 mit 95 %-Intervallen

<b>Jahre</b>	<b>n.risk</b>	<b>n.event</b>	<b>survival</b>	<b>95 % KI</b>
0,5	92	0	1	[ 0; 1]
1	92	0	1	[ 0; 1]
1,5	89	0	1	[ 0; 1]
2	87	0	1	[ 0; 1]
2,5	85	1	0,99	[ 0,97; 1]
3	83	1	0,98	[ 0,94; 1]
3,5	75	2	0,95	[ 0,91; 1]
4	73	1	0,94	[ 0,89; 0,99]
4,5	72	0	0,94	[ 0,89; 0,99]
5	71	0	0,94	[ 0,89; 0,99]

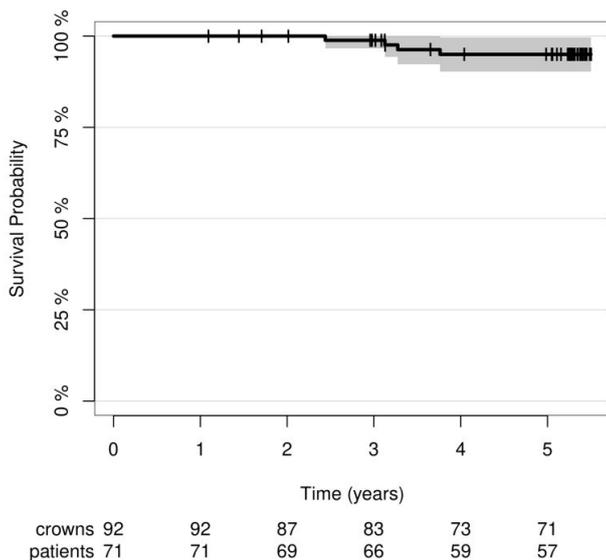


Abbildung 14: Gesamtüberlebensrate der aus einer ZLS-Keramik hergestellten Teilkronen nach einem mittleren Beobachtungszeitraum von fünf Jahren

### 3.2.2 Faktor Behandler

Alle Komplettausfälle traten in einem der drei Zentren (Zentrum 3) auf. Die zentrumsspezifischen Überlebensraten betragen 100 % für die Zentren 1 und 2, während die Überlebensrate für die in Zentrum 3 eingesetzten Restaurationen 85 % betrug (95 % KI: 0,72 - 0,97). Dieser Unterschied erwies sich als signifikant ( $p = 0,014$ ) (Abbildung 15). Daher wurde die Nullhypothese für die Überlebensrate teilweise verworfen.

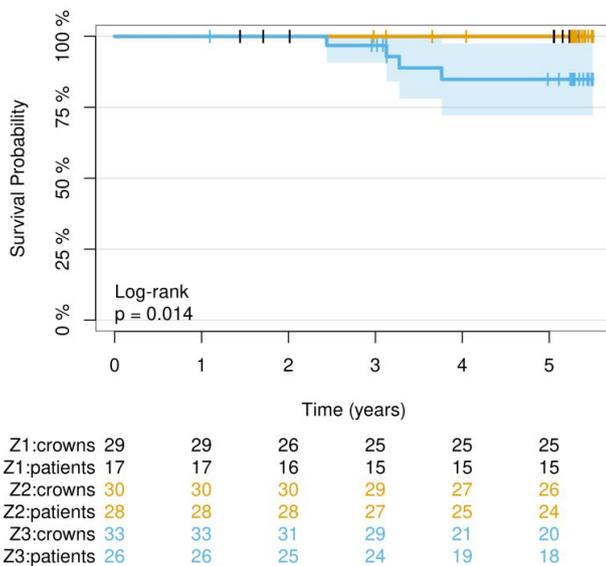


Abbildung 15: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der klinischen Umgebung/des Behandlers (Zentren 1 - 3)

### 3.2.3 Faktor Befestigungsmaterial

Die 5-Jahres-Überlebensrate der Gruppe A lag bei 98 % (95 % KI: 0,93 - 1), die der Gruppe B bei 90 % (95 % KI: 0,82 - 0,99). Das Cox-proportionale Regressionsmodell ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich des Überlebens der beiden Gruppen ( $p = 0,19$ ) (Abbildung 16). Anhand der Cox-Regressionsanalyse wurde ein *Hazard Ratio* von 3,880 (95 % KI: 0,449 - 33,5) und ein p-Wert von 0,218 ermittelt. Die Überlebensrate war also unabhängig von dem Zementierungsmaterial.

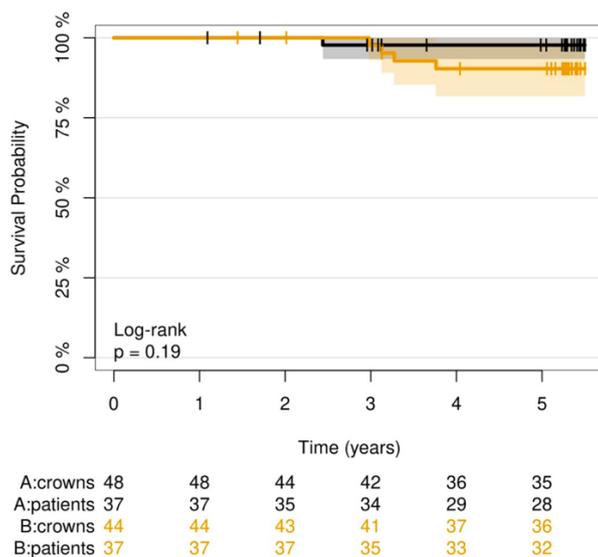


Abbildung 16: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von dem verwendeten Befestigungsmaterial (Gruppe A vs. Gruppe B)

### 3.2.4 Faktor Position

Die 5-Jahres-Überlebensrate von keramischen Teilkronen im Oberkiefer betrug 91 % (95 % KI: 0,82 - 1), während die Überlebensrate für Teilkronen im Unterkiefer 96 % betrug (95 % KI: 0,9 - 1). Auf dem  $p < 0,05$  Level wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenskurven für die verschiedenen Standorte (Oberkiefer vs. Unterkiefer) festgestellt ( $p = 0,42$ ) (Abbildung 17). Anhand der Cox-Regressionsanalyse wurde ein *Hazard Ratio* von 0,488 (95 % KI: 0,087 - 2,74) und ein p-Wert von 0,415 ermittelt. Die Überlebensrate war also unabhängig von dem Kiefer, in dem sich die Restauration befindet.

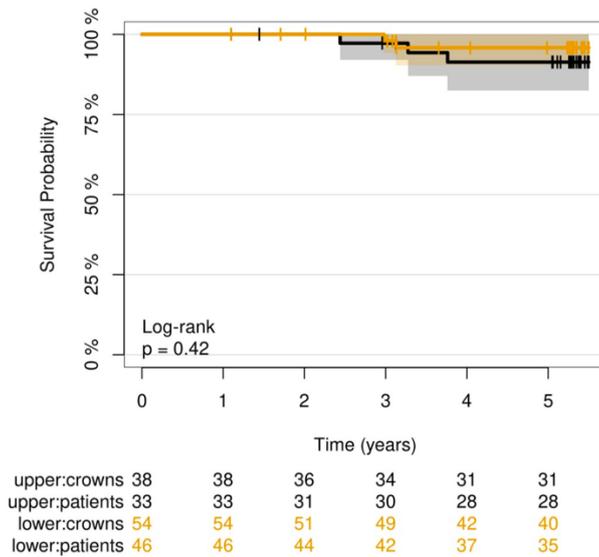


Abbildung 17: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von dem Kiefer (Oberkiefer vs. Unterkiefer)

Die 5-Jahres-Überlebensrate von keramischen Teilkronen auf Prämolaren betrug 100 % (95 % KI: 0 - 1), während die Überlebensrate für Teilkronen auf Molaren 92 % betrug (95 % KI: 0,86 - 0,99). Auf dem  $p < 0,05$  Level wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenskurven für die verschiedenen Standorte (Prämolaren vs. Molaren) festgestellt ( $p = 0,29$ ) (Abbildung 18).

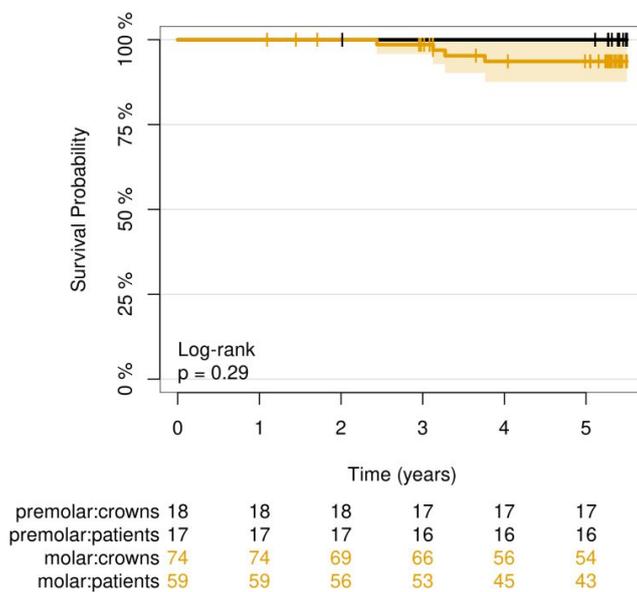


Abbildung 18: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der Zahnstellung (Prämolar vs. Molar)

### 3.2.5 Faktor Vitalität

Die 5-Jahres-Überlebensrate von keramischen Teilkronen auf vitalen Zähnen betrug 95 % (95 % KI: 0,9 - 1), während die Überlebensrate für Teilkronen auf suffizient

wurzelkanalbehandelten Zähnen 83 % betrug (95 % KI: 0,58 - 1). Auf dem  $p < 0,05$  Level wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenskurven für die verschiedenen Gruppen (vital vs. suffizient wurzelkanalbehandelt) festgestellt ( $p = 0,31$ ) (Abbildung 19). Anhand der Cox-Regressionsanalyse wurde ein *Hazard Ratio* von 2,97 (95 % KI: 0,361 - 24,5) und ein p-Wert von 0,311 ermittelt. Die Überlebensrate war also unabhängig von der Vitalität des Pfeilerzahnes.

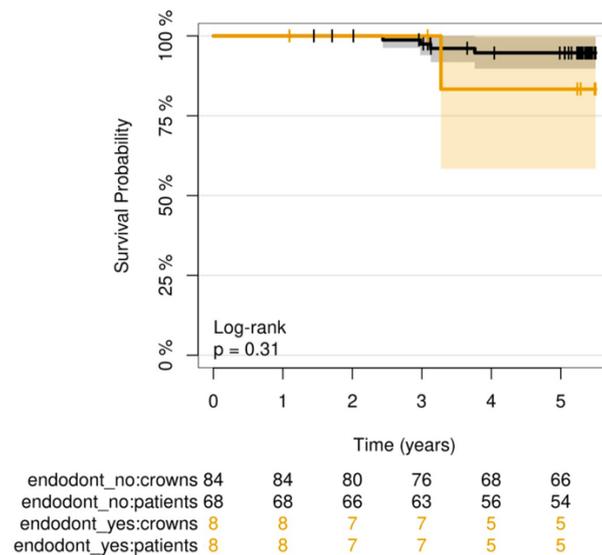


Abbildung 19: 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der Vitalität (vital vs. suffizient wurzelkanalbehandelt)

### 3.3 Erfolgsrate

#### 3.3.1 Gesamterfolgsrate

Abgesehen von vier Totalausfällen erforderten fünf weitere Versorgungen eine klinische Intervention, um die Funktion zu erhalten. Die zeitabhängige Gesamterfolgsrate

(interventionsfreies Überleben) betrug 90 % (95 % KI: 0,84 - 0,97) nach fünf Jahren (Abbildung 20, Tabelle 15).

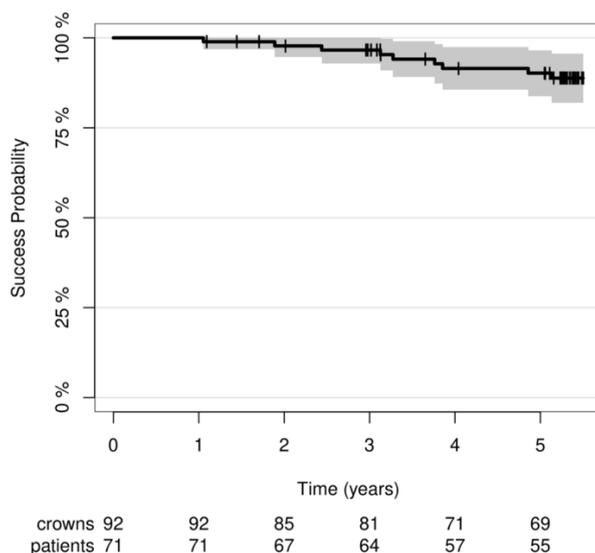


Abbildung 20: Gesamterfolgsrate der aus einer ZLS-Keramik hergestellten Teilkronen nach einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von fünf Jahren

Tabelle 15: Interventionsfreie Überlebenswahrscheinlichkeit der Kronen in den Jahren 1 bis 5 mit 95 %-Intervallen

Jahre	n.risk	n.event	Überleben	95 % KI
0,5	92	0	1	[ 0; 1]
1	92	0	1	[ 0; 1]
1,5	88	1	0,99	[ 0,97; 1]
2	85	1	0,98	[ 0,95; 1]
2,5	83	1	0,97	[ 0,93; 1]
3	81	0	0,97	[ 0,93; 1]
3,5	74	2	0,94	[ 0,89; 0,99]
4	71	2	0,91	[ 0,86; 0,97]
4,5	70	0	0,91	[ 0,86; 0,97]
5	69	1	0,9	[ 0,84; 0,97]

Die klinischen Eingriffe, die zur Aufrechterhaltung der Funktion der Restaurationen erforderlich waren, wurden durch zwei Vitalitätsverluste mit anschließenden endodontischen

Behandlungen, einen Fall von Sekundärkaries, der eine Kompositrestauration erforderte und zwei kleinere Keramikfrakturen ( $< 2 \text{ mm}^2$ ), die intraoral poliert werden konnten, verursacht.

### 3.3.2 Faktor Behandler

Alle Misserfolge und Eingriffe während des 5-Jahres-Untersuchungszeitraums traten in einem der drei Zentren auf, was zu einem signifikanten Unterschied (Log-Rank-Test:  $p = 0,00067$ ) in der zentrumsspezifischen 5-Jahres-Erfolgsrate führte (Zentrum 1 und Zentrum 2: 100 %; Zentrum 3: 71 %; 95 % KI: 0,55 - 0,87) (Abbildung 21). Restaurationen, die in Zentrum 1 und Zentrum 2 eingesetzt wurden, wiesen ein signifikant geringeres Risiko für Misserfolge oder klinische Interventionen auf (*Hazard Ratio* (HR) = 0,103,  $p = 0,026$ ) als Restaurationen, die in Zentrum 3 eingesetzt wurden. Die Nullhypothese bezüglich der Erfolgsrate wurde teilweise verworfen.

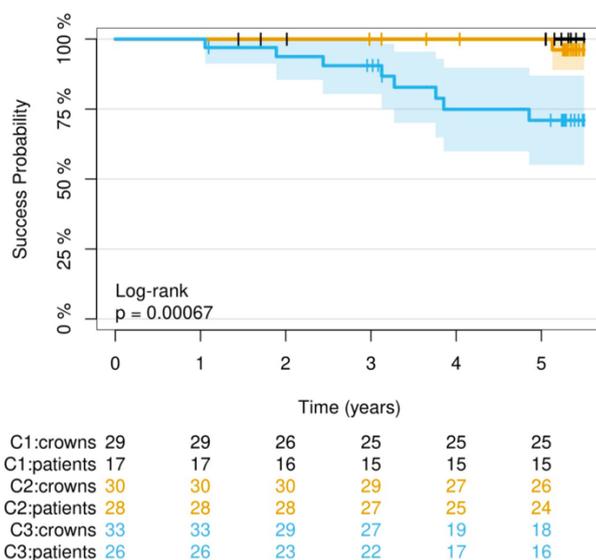


Abbildung 21: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der klinischen Umgebung/des Behandlers (Zentren 1-3)

### 3.3.3 Faktor Befestigungsmaterial

Die 5-Jahres-Erfolgsrate für die Teilkronen der Gruppe A betrug 91 % (95 % KI: 0,82 - 0,99) und 90 % (95 % KI: 0,81 - 0,99) für die Restaurationen der Gruppe B (Abbildung 22). Auf dem  $p < 0,05$  Level wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenskurven für die verschiedenen Gruppen (Gruppe A vs. Gruppe B) festgestellt ( $p = 0,7$ ). Die Erfolgsrate (interventionsfreies Überleben) war unabhängig von dem Zementierungsmaterial (*Hazard Ratio* (HR) = 0,769,  $p = 0,685$ ).

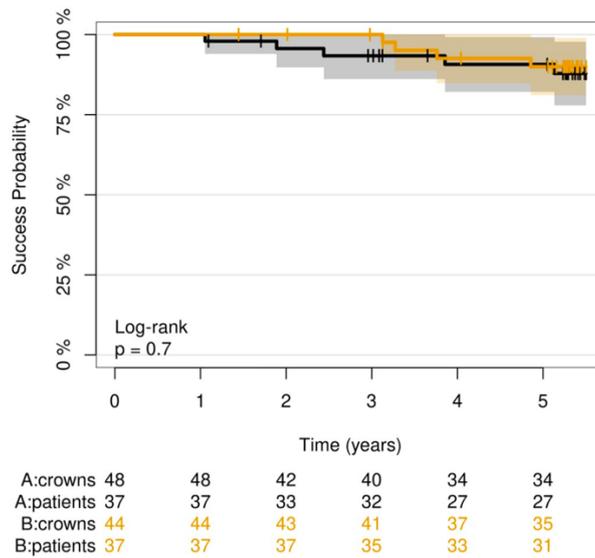


Abbildung 22: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von dem verwendeten Befestigungszement (Gruppe A / Gruppe B)

### 3.3.4 Faktor Position

Insgesamt 88 % (95 % KI: 0,79 - 0,99) der Teilkronen, die im Oberkiefer eingesetzt wurden, blieben während des 5-Jahres-Beobachtungszeitraums ohne Intervention funktionsfähig. Die entsprechende Erfolgsquote für Teilkronen im Unterkiefer betrug 92 % (95 % KI: 0,84 - 0,99) (Abbildung 23). Auf dem  $p < 0,05$  Level wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenskurven für die verschiedenen Gruppen (Oberkiefer vs. Unterkiefer) festgestellt ( $p = 0,43$ ). Anhand der Cox-Regressionsanalyse wurde ein *Hazard Ratio* von 0,591 (95 % KI: 0,165 - 2,120) und ein p-Wert von 0,419 ermittelt. Die Erfolgsrate (interventionsfreies Überleben) war also unabhängig von dem Kiefer, in dem sich die Restauration befand.

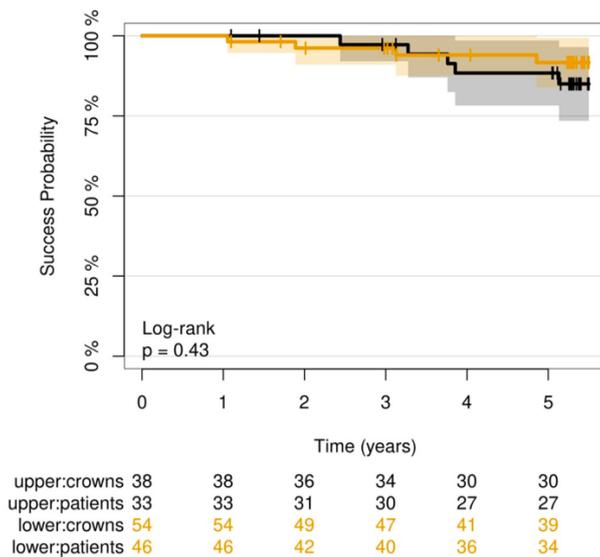


Abbildung 23: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von dem Kiefer (Oberkiefer vs. Unterkiefer)

Insgesamt 88 % (95 % KI: 0,74 - 1) der Teilkronen, die auf Prämolaren eingesetzt wurden, blieben während des 5-Jahres-Beobachtungszeitraums ohne Intervention funktionsfähig. Die entsprechende Erfolgsquote für Teilkronen an Molaren betrug 91 % (95 % KI: 0,84 - 0,98) (Abbildung 24). Auf dem  $p < 0,05$  Level wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenskurven für die verschiedenen Gruppen (Prämolar vs. Molar) festgestellt ( $p = 0,98$ ). Die Erfolgsrate (interventionsfreies Überleben) war unabhängig von der Position der Teilkronen (Prämolar vs. Molar (*Hazard Ratio* (HR) = 0,979,  $p = 0,979$ )).

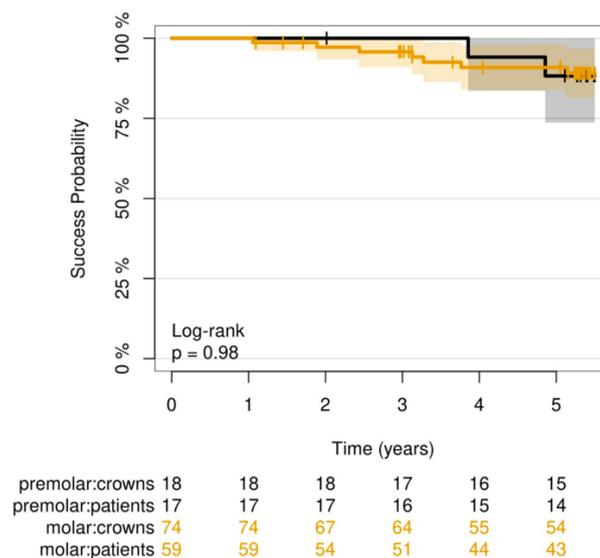


Abbildung 24: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der Zahnstellung (Prämolar vs. Molar)

### 3.3.5 Faktor Vitalität

Die 5-Jahres-Erfolgsrate von keramischen Teilkronen auf vitalen Zähnen betrug 91 % (95 % KI: 0,84 - 0,97), während die Überlebensrate für Teilkronen auf suffizient wurzelkanalbehandelten Zähnen 83 % betrug (95 % KI: 0,58 - 1). Auf dem  $p < 0,05$  Level wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenskurven für die verschiedenen Gruppen (vital vs. suffizient wurzelkanalbehandelt) festgestellt ( $p = 0,7$ ) (Abbildung 25). Anhand der Cox-Regressionsanalyse wurde ein *Hazard Ratio* von 1,490 (95 % KI: 0,188 - 11,8) und ein  $p$ -Wert von 0,705 ermittelt. Die Erfolgsrate (interventionsfreies Überleben) war also unabhängig von der Vitalität der Pfeilerzähne.

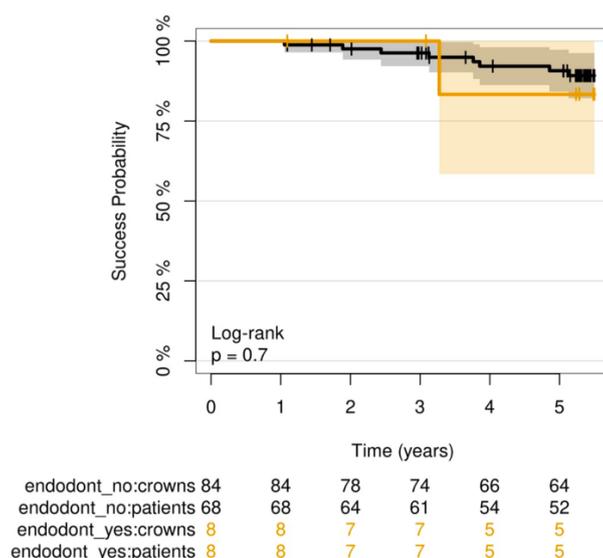


Abbildung 25: 5-Jahres-Erfolgswahrscheinlichkeit der CAD/CAM-gefertigten Teilkronen in Abhängigkeit von der Vitalität (vital vs. suffizient wurzelkanalbehandelt)

### 3.4 Randschluss und Randverfärbung

Bei Studienbeginn wurde die marginale Adaptation bei 46 Restaurationen (95,7 %) in Gruppe A und bei 43 Restaurationen (97,7 %) in Gruppe B mit Alpha bewertet. Alle anderen Restaurationen wurden mit Bravo bewertet. Beim 5-Jahres-Recall sanken die Alpha-Werte in Gruppe A auf 45,7 % und 47,1 % in Gruppe B, während die übrigen Restaurationen mit Bravo bewertet wurden (s Tabelle 16).

Die Randverfärbung wurde bei allen Restaurationen in beiden Gruppen zu Beginn der Untersuchung mit Alpha bewertet. Bei der klinischen Untersuchung nach fünf Jahren verringerten sich die Alpha-Werte auf 57,1 % (Gruppe A) und 55,9 % (Gruppe B). Bei den Parametern "Randadaptation" und "Randverfärbung" konnte in beiden Gruppen ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p < 0,05$ ) für die zu Studienbeginn und nach fünf Jahren erhobenen Daten festgestellt werden (Tabelle 16).

Bei den Parametern "Randadaptation" und "Randverfärbung" wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Restaurationen der Gruppe A und der Gruppe B bei der Auswertung nach fünf Jahren festgestellt.

Tabelle 16: Bewertung für ausgewählte modifizierte USPHS-Kriterien (Federlin et al. 2014) bei der klinischen 5-Jahres-Untersuchung

Gruppe	Zeitpunkt	Randadaptation				Randverfärbung		
		A	B	C	D	A	B	C
A	Baseline (n = 48)	46 <sup>3</sup> (95,7%)	2 <sup>3</sup> (4,3%)	0	0	48 <sup>3</sup> (100%)	0 <sup>3</sup>	0
	5 Jahre (n = 35)	16 <sup>3</sup> (45,7%)	19 <sup>3</sup> (54,3%)	0	0	20 <sup>3</sup> (57,1%)	15 <sup>3</sup> (42,9%)	0
B	Baseline (n = 44)	43 <sup>3</sup> (97,7%)	1 <sup>3</sup> (2,3%)	0	0	44 <sup>3</sup> (100%)	0 <sup>3</sup>	0
	5 Jahre (n = 34) <sup>2</sup>	16 <sup>3</sup> (47,1%)	18 <sup>3</sup> (52,9%)	0	0	19 <sup>3</sup> (55,9%)	15 <sup>3</sup> (44,1%)	0

<sup>1</sup>Nur 36 Patienten wurden eingeschlossen, weil 1 Keramik-Teilkrone versagte

<sup>2</sup>Nur 37 Patienten wurden eingeschlossen, weil 3 Keramik-Teilkronen versagten

<sup>3</sup>Signifikanter Unterschied zwischen Baseline und 5-Jahres-Untersuchung ( $p \leq 0,05$ )

## 4 Diskussion

### 4.1 Material- und Methodendiskussion

#### 4.1.1 Studiendesign

Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung der zeitabhängigen Überlebens- und Erfolgswahrscheinlichkeit von Teilkronen aus der ZLS-Keramik Celtra Duo (Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland). Es handelt sich dabei um eine prospektive, randomisierte, klinische Multicenter-Studie.

Die nachweislich beste Methode, um eine medizinische Fragestellung zu beantworten, ist die prospektive, randomisierte, kontrollierte Studie. Sie hat einen hohen Evidenzgrad (Held 2010). Die zufällige Aufteilung der Studienteilnehmer in unterschiedliche Gruppen gewährleistet eine Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen und verhindert unbekannte Störfaktoren (Windeler et al. 2008; Held 2010). Die Aufteilung in die Gruppen der zwei Zemente geschah randomisiert.

Alle Probanden der vorliegenden Untersuchung waren Patienten der jeweiligen niedersächsischen Privatpraxen. Drei Zahnärzte mit unterschiedlich langer Erfahrung mit dem CEREC-System führten die Behandlungen durch. Aus der Verteilung einer gleichen Anzahl an Restaurationen auf die verschiedenen Behandler resultieren repräsentative und vergleichbare Ergebnisse. Die multizentrische Studie liefert erstmals klinische Erkenntnisse auf den Effekt verschiedener Behandler auf die Überlebenszeit von chairside hergestellten Teilkronen.

Eine große Stärke der vorliegenden Untersuchung ist die lange Beobachtungszeit von fünf Jahren, die es ermöglicht, die langfristige Bewährung der Teilkronen zu bewerten. In der Literatur liegt aktuell nur eine klinische Studie zu ZLS-Keramiken mit einer vergleichbaren Beobachtungsdauer vor (Rinke et al. 2022). Außerdem gibt es eine Reihe weiterer Fallberichte und klinischer Studien mit einer Beobachtungszeit von bis zu drei Jahren (Rinke et al. 2016; Zimmermann et al. 2017a; Abou-Steit et al. 2019; Maenosono et al. 2019; Nassar et al. 2019; Rinke et al. 2020b; Rinke et al. 2020a).

Eine Einschränkung der vorliegenden Studie ist das Fehlen einer Vergleichsgruppe. Andere klinische Untersuchungen zu CAD/CAM-gefertigten Teilkronen sind als *Split-Mouth*-Studien designt und erlauben so den Vergleich der Interventions- und Vergleichsgruppe unter denselben patientenbezogenen Bedingungen (Federlin et al. 2010; Guess et al. 2013; Baader et al. 2016; Vogl et al. 2016; Nassar et al. 2019).

#### 4.1.2 Studienpopulation

Insgesamt 71 Patienten mit einem mittleren Alter von 48 Jahren mit der Indikation für eine höckerüberkuppelnde, chairside gefertigte Teilkrone aus einer zirkonoxidverstärkten Lithiumdisilikat-Keramik wurden in die Studie aufgenommen. Die Altersspanne von 20 bis 82 Jahren ähnelt der von anderen klinischen Untersuchungen mit einem mittleren Alter von 51 Jahren. Auch die Anzahl an untersuchten Restaurationen (92 Teilkronen) liegt im Durchschnitt anderer Studien, die eine Anzahl von 37 bis 210 Restaurationen untersuchten (Federlin et al. 2010; Murgueitio und Bernal 2012; Guess et al. 2013; Nejatidanesh et al. 2015; Baader et al. 2016; Zimmermann et al. 2017a; Archibald et al. 2018; Lu et al. 2018; Aslan et al. 2019; Ferrari et al. 2019; Nassar et al. 2019; van den Breemer et al. 2019; Rinke et al. 2020a).

Mit 45 weiblichen (63 %) und 26 männlichen (37 %) Patienten besteht eine Unausgewogenheit in der Geschlechterverteilung der Studienpopulation. Auch bei anderen Studien kam es zu einer Unausgeglichenheit hinsichtlich männlicher oder weiblicher Patienten (Ferrari et al. 2019; van den Breemer et al. 2019). Eine mögliche Ursache liegt in den die Studienpopulation eingrenzenden Ein- und Ausschlusskriterien.

Eine Limitation der vorliegenden Studie stellt eine schiefe Verteilung von Restaurationen auf Prämolaren (n = 17) und Molaren (n = 56) dar. Außerdem trat während des 5-Jahres-Beobachtungszeitraums nur eine begrenzte Anzahl von Ereignissen (n = 4) auf. Daher muss berücksichtigt werden, dass die Studie nicht ausreichend leistungsfähig war, um diesen potenziellen Effekt aufzudecken.

Eine weitere Einschränkung der vorliegenden Studie besteht in der schiefen Verteilung von Restaurationen an vitalen Zähnen (n = 68) und Restaurationen an nichtvitalen Zähnen (n = 5). Diese schiefe Verteilung zusammen mit der begrenzten Anzahl von Ereignissen machte eine Bewertung der Zahnvitalität als Risikofaktor für die klinische Leistung wenig aussagekräftig. Diese Aspekte stellen die größten Einschränkungen der vorliegenden Studie dar.

Eine große Stärke der vorliegenden Untersuchung ist die vergleichsweise geringe *Drop-Out*-Rate. Zwölf Patienten (6 weiblich / 6 männlich) mit insgesamt 19 Teilkronen nahmen nicht an der letzten klinischen Untersuchung teil (*Loss to follow-up*). Die Studienadhärenz-Rate nach fünf Jahren Beobachtungszeit beträgt somit 83 % mit 73 untersuchten Teilkronen. Mit einem ähnlichen Beobachtungszeitraum ist sie im Vergleich mit der Studienadhärenz-Rate von 76 % bei Federlin et al. (2010) und 53 % bei Baader et al. (2016) als hoch einzustufen. Grund hierfür kann das *Split-Mouth*-Design der anderen Studien sein, bei denen ausschließlich Patienten nachuntersucht wurden, bei denen beide Restaurationen *in situ* waren.

### 4.1.3 Untersuchungsmethodik

Bei der vorliegenden Untersuchung wurden die modifizierten USPHS-Kriterien zur Bewertung der Teilkronen herangezogen. So konnten relevante Ergebnisse zu Randverfärbung und Randschluss vorgestellt werden. Dieses bewährte Verfahren zur Untersuchung von Restaurationen wurde schon in vielen klinischen Untersuchungen angewandt (Bindl und Mörmann 2004; Murgueitio und Bernal 2012; Baader et al. 2016; Archibald et al. 2018; Aslan et al. 2019).

Vor allem mit dem Randschluss und der Randverfärbung wurde sich in anderen Untersuchungen zu Teilkronen schon häufig beschäftigt (Nassar et al. 2019; Rinke et al. 2022). Eine Einschränkung der modifizierten USPHS-Kriterien ist die fehlende Beachtung des Kariesrisikos eines Patienten, da sie nur die Veränderung zum Idealzustand beschreiben (Jokstad et al. 2001).

Zur statistischen Auswertung der Studie wurden in der vorliegenden Untersuchung die zeitabhängige Überlebens- und Erfolgsrate mit Hilfe der Kaplan-Meier-Methode ermittelt. Diese etablierte Methode wurde bereits in anderen klinischen Studien verwendet (Murgueitio und Bernal 2012; Guess et al. 2013; Baader et al. 2016; Vogl et al. 2016; Archibald et al. 2018; Lu et al. 2018; Nassar et al. 2019). Die Möglichkeit, Überlebensraten direkt aus der Kaplan-Meier-Kurve abzuleiten sowie die Einbindung zensierter Daten sind Vorteile dieser Methode (Zwiener et al. 2011).

Der Einfluss verschiedener Kovariaten auf das Überleben und den Erfolg wurde mit Hilfe des Cox-Regressionsmodells ermittelt. Dieses etablierte Verfahren wurde auch in vergleichbaren Studien verwendet (Murgueitio und Bernal 2012; Archibald et al. 2018; Ferrari et al. 2019). Die simultane multivariate Analyse mehrerer Variablen unter Einbeziehung stetiger Variablen wie dem Patientenalter ist ein Vorteil dieser Methode (Ziegler et al. 2007).

Im Vergleich zu anderen Studien ist die Beobachtungszeit lang und die Rückruf-Quote hoch. Die vorliegende prospektive klinische Studie ist randomisiert und ist daher hochevident.

## 4.2 Ergebnisdiskussion

### 4.2.1 Gesamtüberlebens- und Gesamterfolgsraten

In der vorliegenden praxisnahen Studie zeigten chairside gefertigte Teilkronen aus einer ZLS-Keramik eine 5-Jahres-Gesamtüberlebensrate von 95 % und eine Erfolgsrate von 90 %. Dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen einer retrospektiven Studie zu monolithischen Lithiumdisilikat-Kronen im Seitenzahnbereich, die mit dem CEREC-System hergestellt wurden (Aziz et al. 2021). In dieser universitären Studie wurden dieselben Überlebens- und Erfolgskriterien wie in der vorliegenden Studie verwendet und eine kumulative 6-Jahres-Überlebensrate von 93 % und eine Erfolgsrate von 86,45 % ermittelt.

Die 5-Jahres-Überlebensrate ist vergleichbar mit denen konventionell hergestellter Teilkronen und Onlays aus Leuzitkeramik nach drei Jahren (Murgueitio und Bernal 2012) und konventionell hergestellter Teilkronen aus Lithiumsilikat-Keramik nach vier Jahren (Archibald et al. 2018; Ferrari et al. 2019; van den Breemer et al. 2019). Auch im Vergleich mit den Überlebensraten chairside hergestellter Teilkronen aus Feldspatkeramik und Leuzitkeramik nach bis zu sieben Jahren ist die in dieser Studie festgestellte Überlebensrate hoch (Federlin et al. 2010; Guess et al. 2013; Nejatidanesh et al. 2015; Baader et al. 2016). Die in dieser Studie ermittelten 5-Jahres-Überlebensraten sind sogar besser als die nach vier Jahren gemessenen Überlebensraten von chairside hergestellten Teilkronen aus Lithiumdisilikat (Archibald et al. 2018). Die Überlebensrate der ZLS-Keramiken ist jedoch niedriger als die 5-Jahres-Überlebensrate von Inlays, Onlays und Teilkronen aus hochgoldhaltigen Legierungen, die zwischen 95,5 % bis 100 % dokumentiert ist (Molin und Karlsson 2000; Studer et al. 2000; Erpenstein et al. 2001; Wagner et al. 2003; Donovan et al. 2004; Federlin et al. 2010; Rehm et al. 2022).

In der vorliegenden Studie wurden drei von vier vollständigen Misserfolgen als biologische Misserfolge eingestuft (zwei Zahnfrakturen, ein endodontischer Misserfolg), während nur ein Misserfolg mit dem Restaurationsmaterial zusammenhing (Materialfraktur). Dieses Ergebnis steht in deutlichem Gegensatz zu früheren Studien, in denen CAD/CAM-gefertigte Teilkronen aus einer Feldspatkeramik untersucht wurden. Auf der Grundlage der verfügbaren klinischen Daten für Teilkronen aus Feldspatkeramik sollte in den ersten drei Jahren des klinischen Einsatzes eine frakturbedingte Versagensrate von 5-6 % erwartet werden (Federlin et al. 2007b; Federlin et al. 2014; Baader et al. 2016). Für die in der vorliegenden Studie verwendete ZLS-Keramik wurde eine frakturbedingte Versagensrate von 1,3 % nach fünf Jahren berechnet. Die geringeren Materialbruchraten können auf die besseren mechanischen Eigenschaften der in der vorliegenden Studie verwendeten ZLS-Keramik im Vergleich zur Feldspatkeramik zurückgeführt werden. Dieser Effekt wurde bereits für andere hochfeste Glaskeramiken (z. B. Lithiumdisilikat) berichtet. In einer systematischen Übersichtsarbeit zur Bewertung der klinischen Leistung von CAD/CAM-gefertigten Lithiumdisilikat-Kronen (6 Studien: 154 Patienten mit 204 Kronen) traten biologische Komplikationen häufiger auf als technische Komplikationen (Aziz et al. 2020).

#### **4.2.2 Faktor Behandler (Zentrum-Effekt)**

In der vorliegenden Studie wurden die Überlebens- und Erfolgsraten signifikant von den klinischen Bedingungen beeinflusst, unter denen die Restaurationen eingesetzt wurden (Zentrum-Effekt). Alle Restaurationen wurden mit demselben CAD/CAM-System (CEREC-System mit Omnicam AC und CEREC MCXL-Fräsen) und derselben Art von Keramikmaterial mit einem standardisierten klinischen Protokoll für die Zementierung hergestellt. Die Erfahrung der Behandler mit dem CEREC-System war jedoch bei den drei an der klinischen Arbeit beteiligten Zahnärzten unterschiedlich. Zwei Zahnärzte (Zentrum 1 und 2) verfügten über mehr als zehn Jahre klinische Erfahrung in der Herstellung von

Chairside-Restaurationen mit dem CEREC-System. Die klinische Erfahrung des dritten Zahnarztes beschränkte sich auf fünf Jahre. Interessanterweise wiesen die Restaurationen, die von Zahnärzten mit längerer klinischer Erfahrung mit chairside gefertigten Restaurationen (Zentren 1 und 2) eingesetzt wurden, 5-Jahres-Überlebens- und Erfolgsraten von 100 % auf.

Dieses Ergebnis stimmt mit den Überlebens- und Erfolgsraten überein, die für konventionell hergestellte Seitenzahn-Teilkronen, die von einem erfahrenen Zahnarzt eingesetzt wurden, berichtet wurden. In dieser praxisbezogenen Studie über 765 adhäsiv befestigte Lithiumdisilikat-Seitenzahnteilkronen wurde eine 5-Jahres-Überlebensrate von 99,6 % und eine Erfolgsrate von 98,6 % ermittelt (Van den Breemer et al. 2021).

Diese Überlebens- und Erfolgsraten unterschieden sich jedoch signifikant von den in Zentrum 3 ermittelten Überlebens- (85 %) und Erfolgsraten (71 %). Das Risiko eines vollständigen Misserfolgs oder einer klinischen Intervention war für die in Zentrum 3 eingesetzten Restaurationen 9,7-mal höher als für die in den beiden anderen Zentren eingesetzten Restaurationen. Die unterschiedliche klinische Erfahrung mit dem CEREC-System könnte eine mögliche Erklärung sein.

Unseres Wissens wurde der Einfluss des Anwenders auf die klinische Leistung von CAD/CAM-gefertigten Kronen oder Teilkronen noch nicht in klinischen Studien untersucht. Für konventionell hergestellte indirekte Keramikrestaurationen wurde dieser Effekt bereits dokumentiert. In einer prospektiven klinischen 2-Zentren-Praxisstudie mit adhäsiv befestigten Keramikinlays wurde ein signifikanter Behandler-abhängiger Unterschied in den Überlebensraten (Behandler A: 97,4 % vs. Behandler B: 75,4 %) in der gleichen Größenordnung wie in der vorliegenden Studie festgestellt (Frankenberger et al. 2009).

Mögliche Fehlerquellen, die in direktem Zusammenhang mit der Erfahrung der Anwender stehen, sind möglicherweise in der Präparationsgestaltung, dem Ausmaß der Substanzreduktion oder dem adhäsiven Befestigungsverfahren zu finden (Frankenberger et al. 2009; Blatz et al. 2018; Aziz et al. 2020). So kann beispielsweise die Notwendigkeit einer endodontischen Behandlung nach der Zementierung auf eine übermäßige Reduktion der natürlichen Zahnschicht zurückzuführen sein. Andererseits kann eine unzureichende okklusale Reduktion, die zu einer Verletzung der Mindestmaterialstärke führt, einen Materialbruch verursachen (Zarone et al. 2021). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass es bei chairside gefertigten indirekten Restaurationen unabhängig von den CAD/CAM-Systemen oder dem verwendeten Material einen erheblichen Unterschied im Ergebnis zwischen den Behandlern gibt. Dieses Ergebnis unterstreicht nachdrücklich die Notwendigkeit einer angemessenen Schulung für diese Art von Restauration, wie sie auch für konventionelle indirekte Restaurationen empfohlen wird (Blatz und Conejo 2019).

### 4.2.3 Faktor Befestigungsmaterial

Im Verlauf der vorliegenden Studie konnte kein Debonding der Restaurationen festgestellt werden. Dieser Befund steht im Einklang mit den Ergebnissen anderer Studien über die klinische Leistung von mit dualhärtendem Kompositzement in Kombination mit einer selektiven oder Total-Etch-Technik eingesetzten Teilkronen, die über Beobachtungszeiträume von drei bis sechseinhalb Jahren Debonding-Raten von 0 - 3,6 % ergaben (Federlin et al. 2014; Baader et al. 2016; Scholz et al. 2021). Daher bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie die Erkenntnisse dieser Studien, dass die Anwendung eines adhäsiven Befestigungsverfahrens mit einer Kombination aus Total-Etch/Selective-Etch-Technik und dualhärtendem Zement das Risiko eines Debonding bei CAD/CAM-hergestellten Teilkronen verringert (Federlin et al. 2014; Baader et al. 2016; Scholz et al. 2021).

Außerdem bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung (kein Debonding) die guten Hafteigenschaften des ZLS-Materials, die bereits in mehreren *In-vitro*-Studien unter klinischen Bedingungen nachgewiesen wurden (Zhang et al. 2021).

Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Einfluss der Art des dualhärtenden Zements auf die klinischen Parameter sowie die Überlebens- und Erfolgsraten festgestellt werden. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Ergebnissen einer klinischen Studie, in der die klinische Leistung von Glaskeramik-Onlays, die mit zwei verschiedenen dualhärtenden Kunststoffen befestigt wurden, nach drei Jahren verglichen wurde (Atali et al. 2011). In Übereinstimmung mit der vorliegenden Studie konnten keine Unterschiede zwischen den beiden Befestigungssystemen festgestellt werden.

### 4.2.4 Faktor Position

Neben der Zementiertechnik wurde auch die Position der Restauration als relevanter Risikofaktor für vollkeramische Restaurationen diskutiert. Das tendenziell höhere Risiko eines Versagens von Vollkeramikrestaurationen, die auf Molaren platziert sind, kann auf erhöhte okklusale Kräfte zurückgeführt werden (Abduo und Sambrook 2018). Mehrere Studien, in denen Feldspatkeramik oder leuzitverstärkte Glaskeramik verwendet wurde, konnten zeigen, dass die Position einer Restauration ein relevanter Risikofaktor ist, wobei Molarenrestaurationen höhere Versagensraten aufweisen (Morimoto et al. 2016; Abduo und Sambrook 2018; Vagropoulou et al. 2018; Bustamante-Hernández et al. 2020). Um diese Empfindlichkeit keramischer Restaurationen zu überwinden, wird die Verwendung von hochfesten Materialien (z. B. Lithiumdisilikat-Keramik oder glasgebrannte ZLS-Keramik) empfohlen (Al-Haj Husain et al. 2020; Aziz et al. 2020). In der vorliegenden Studie traten alle Misserfolge bei Teilkronen auf, die auf Molaren platziert wurden (Erfolgsrate 94 % (95 % KI: 0,88 - 1)), während alle Prämolarenrestaurationen funktionell blieben (Überlebensrate: 100 %). Der Unterschied im zeitabhängigen Überleben war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,29$ ).

Dieser Befund steht im Einklang mit den Ergebnissen anderer klinischer Studien, in denen monolithische Seitenzahnrestorationen aus hochfester Glaskeramik (z. B. Lithiumdisilikat) untersucht wurden, ohne dass ein signifikanter Unterschied bei den Überlebensraten in Abhängigkeit von der Position der Restauration festgestellt wurde (Malament et al. 2019; Malament et al. 2021a; Malament et al. 2021b).

Für eine weitere Bewertung dieser Risikofaktoren sind klinische Studien mit längeren Beobachtungszeiträumen und größeren Stichprobengrößen unerlässlich.

#### **4.2.5 Randverfärbung und Randschluss**

Ausgehend von den Ergebnissen einer systematischen Übersichtsarbeit über die Langlebigkeit von Keramik-Onlays, die insgesamt 21 Studien umfasste, stellen Randverfärbungen eine häufige Form der Verschlechterung dar, die 5,0 - 88,2 % der Restaurationen betrifft. In der vorliegenden Studie konnte für beide Befestigungsmaterialien ein signifikanter Anstieg der Bravo-Bewertungen vom Ausgangswert bis zum Zeitpunkt der 5-Jahres-Untersuchung beobachtet werden (Abduo und Sambrook 2018).

Hinsichtlich der marginalen Adaptation konnte nach fünf Jahren ein signifikanter Anstieg der Bravo-Werte auf 50,6 - 54,3 % festgestellt werden. Dieses Ergebnis liegt in dem Bereich, über den in anderen Studien mit dualhärtenden Befestigungsmaterialien berichtet wurde (Baader et al. 2016; Abduo und Sambrook 2018; Al-Haj Husain et al. 2020; Scholz et al. 2021).

### **4.3 Schlussfolgerung**

Trotz einiger Einschränkungen liefert die vorliegende Studie wichtige Informationen zur klinischen Bewertung von chairside gefertigten Teilkronen, da sie klinische 5-Jahres-Ergebnisse für relativ neue ZLS-Keramikmaterialien unter den realen Bedingungen von drei verschiedenen Privatpraxen liefert. Bislang gibt es nur eine Studie mit einem ähnlichen Beobachtungszeitraum (Rinke et al. 2022). Ein weiteres positives Merkmal ist das multizentrische Design der vorliegenden Studie. Durch die Kombination einer ausreichenden und gleichen Anzahl von Restaurationen, die von verschiedenen Behandlern mit unterschiedlicher spezifischer Erfahrung mit dem CEREC-System eingegliedert wurden, war eine Analyse des Anwenders als Einflussfaktor möglich. Für chairside gefertigte Restaurationen ist dieser Effekt bisher nicht dokumentiert worden.

Darüber hinaus wird die Bedeutung der Daten aus der vorliegenden Studie durch einen Vergleich mit den 3-Jahres-Daten der gleichen Studienpopulation untermauert. Bei der 3-Jahres-Nachuntersuchung wurden nur ein kompletter Ausfall und ein klinischer Eingriff zur Funktionserhaltung gemeldet. Daraus ergab sich eine 3-Jahres-Überlebensrate von 99 % und eine 3-Jahres-Erfolgsrate von 98 %. Zwischen der 3- bis 5-Jahres-Nachuntersuchung traten drei weitere Ausfälle auf und es waren vier weitere Interventionen zum Funktionserhalt

erforderlich. Somit sank die Überlebensrate von 99 % auf 95 % und die Erfolgsrate ging auf 90 % zurück. Diese Veränderungen beeinflussten die berechneten jährlichen Ausfallraten. Auf der Grundlage der 3-Jahres-Ergebnisse wurde eine jährliche Ausfallrate von 0,3 % errechnet. Diese Rate erhöhte sich um das Dreifache auf 1 %, als sie auf der Grundlage der klinischen 5-Jahres-Nachuntersuchungs-Ergebnisse berechnet wurde. Dieses Ergebnis zeigt, wie wichtig klinische Daten aus Studien mit längeren Beobachtungszeiträumen sind, um eine Unterschätzung der jährlichen Ausfallrate zu vermeiden.

Unter Berücksichtigung der Einschränkungen können die Ergebnisse der vorliegenden Studie als eine erste klinische Überprüfung der ZLS-Keramik interpretiert werden. Darüber hinaus gilt das Postulat früherer *In-vitro*-Studien: Es ist eine Verringerung der bruchbedingten Ausfälle im Vergleich zu Feldspatkeramik zu erwarten. Neben den verbesserten Materialeigenschaften und dem Einsatz der CAD/CAM-Fertigungstechnologie stellen jedoch die Behandler einen hochrelevanten Einflussfaktor für die klinische Leistungsfähigkeit von ZLS-Keramiken dar, die unter den typischen Bedingungen der privaten Praxis hergestellt werden.

## 5 Zusammenfassung

Nach einem mittleren Beobachtungszeitraum von fünf Jahren wiesen CAD/CAM-gefertigte Teilkronen aus einer ZLS-Keramik im Vergleich zu CAD/CAM-gefertigten Teilkronen aus Feldspatkeramik eine geringere Materialfrakturnrate auf. Die erreichbaren Überlebens- und Erfolgsraten wurden signifikant vom Behandler beeinflusst, während andere Risikofaktoren (Position der Restauration, Art des Befestigungsmittels) keinen Zusammenhang mit dem klinischen Überleben und dem Erfolg zeigten. Für eine genauere Bewertung der festgestellten Auswirkungen sind weitere klinische Langzeitdaten aus praxisnahen Populationen erforderlich.

## 6 Anhang

### 6.1 CRF-Bögen

CRF: Prospektive Studie – Adhäsiv befestigte ZLS-Teilkronen (Celtra Duo)

1 / 4

**Studie:** „Klinisch prospektive Studie zur Langzeitbewährung von Teilkronen aus einer zirkonoxidverstärkten Lithiumdisilikatkeramik (Celtra-Duo)“

**Studien-Nummer:** 01/13

**Behandlungspraxis/Zentrum:**

- Praxis Dr. M. Kettler  
 Praxis Carsten Jähn  
 Praxis Dres. B. Frese & H. Claas

**Patientennummer:** \_\_\_\_ - \_\_\_\_

**Geschlecht:**  männlich  weiblich

**Geburtsdatum:** \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
t t m m j j

Restaurationscode 1: \_\_\_\_ - \_\_\_\_

Restaurationscode 2: \_\_\_\_ - \_\_\_\_

<b>Leiter der Studie:</b>	<b>PD Dr. Sven Rinke, M.Sc., M.Sc.</b> Zentrum der Zahn- Mund- und Kieferheilkunde, Poliklinik f. Zahnärztliche Prothetik Universitätsmedizin Göttingen Robert-Koch-Str. 40 37075 Göttingen Tel.: 0551-3914034 Fax: 0551-398118 Email: sven.rinke@med.uni-goettingen.de
---------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Behandlers

CRF: Prospektive Studie – Adhäsiv befestigte ZLS-Teilkronen (Celtra Duo)

2 / 4

<b>Klinische Nachuntersuchung-Baseline</b>	Datum:
Patientennr.: ____ _	

Baseline-Nachuntersuchung 

Restauration	Praxis	Insertion	Kontrolle	in-situ	Endodontisch behandelt	Verlust	Intervention
Code	1/2/3	Datum	Datum	j/n	0/1	Datum	Datum

Restauration	Praxis	Verlustgrund Biologisch	Verlustgrund Technisch	Verlustgrund Planung
Code	1/2/3	0/1/2/3/4	0/1/2/3	0/1

**Anmerkungen:**

**Code:** Codierung der nachuntersuchten Restauration bestehend aus den Patienteninitialen und der Lokalisation der Restauration

**Praxis:** Kennziffer der behandelnden Praxis/des Zentrums:

1 = Praxis Dr. M. Kettler, 2 = Praxis ZA C. Jähn, 3 = Praxis Dr. B. Frese & Dr. Holger Claas

**Endodontisch behandelt**

0 = Pfeiler war bei Zementierung nicht endodontisch versorgt

1 = Pfeiler war bei Insertion endodontisch behandelt

**Verlustgrund biologisch**

0 = kein biologisch bedingter Misserfolg, 1 = parodontologisch bedingter Misserfolg,

2 = endodontologisch bedingter Misserfolg, 3 = Zahnfraktur, 4 = Sekundärkaries

**Verlustgrund technisch**

0 = kein technisch bedingter Misserfolg, 1 = komplette Fraktur der Keramikrestauration mit

Exposition von Zahnhartsubstanz, 2 = ausgedehnte Keramikfraktur ohne Exposition von

Zahnhartsubstanz, 3 = Retentionsverlust ohne Möglichkeit der Rezementierung

**Verlustgrund Planung**

0 = keine Entfernung der Restauration aufgrund einer Änderung der prothetischen Planung,

1 = Entfernung der Restauration aufgrund einer Änderung der prothetischen Planung

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Behandlers

<b>KLINISCHE Nachuntersuchung</b>	Datum:
Patientennr.: _____	

- 1-Jahres-Nachuntersuchung
- 2-Jahres-Nachuntersuchung
- 3-Jahres-Nachuntersuchung
- 5-Jahres-Nachuntersuchung

**Untersucher:** Emanuel Schmidt   
 PD Dr. Sven Rinke

Restauration	Praxis	Vitalität	Schmerzen	Interventionsgrund biologisch	Interventionsgrund technisch
Code	1/2/3	+/-	0/1/2/3/4	0/1/2/3/4/5	0/1/2/3

Restauration	Praxis	Heiß-/Kalt-Empfindlichkeit	BOP mesial	Sondierungstiefe mesial	BOP distal	Sondierungstiefe distal
Code	1/2/3	0/1/2/3	+/-	mesial	+/-	distal

**Anmerkungen:**

**Interventionsgrund biologisch**

- 0 = keine biologisch bedingte Intervention
- 1 = parodontologische Behandlung
- 2 = Wurzelkanalbehandlung nach Vitalitätsverlust
- 3 = Revision oder chirurgische Therapie an einem endodontisch behandelten Zahn
- 4 = Füllungstherapie aufgrund von Sekundärkaries
- 5 = Versiegelung bei Heiß-Kalt-Empfindlichkeit

**Interventionsgrund technisch**

- 0 = keine technisch bedingte Intervention
- 1 = Rezentierung nach Retentionsverlust
- 2 = Politur einer Keramikfraktur < 2mm<sup>2</sup>
- 3 = Politur einer Keramikfraktur > 2mm<sup>2</sup>

**Schmerzen**

- 0 = nein, 1 = gelegentlich spontane Schmerzen, 2 = leichte Beschwerden bei der Nahrungsaufnahme, 3 = starke Schmerzen mit Beeinträchtigung der Nahrungsaufnahme, 4 = dauernde Schmerzen (Intervention notwendig)

**Heiß-Kalt-Empfindlichkeit**

- 0 = keine Empfindlichkeit, 1 = leichte Empfindlichkeit, 2 = starke Empfindlichkeit (Intervention notwendig)

\_\_\_\_\_  
 Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
 Unterschrift des Untersuchers

CRF: Prospektive Studie – Adhäsiv befestigte ZLS-Teilkronen (Celtra Duo)

4 / 4

**Modifizierte USPHS-Kriterien**

			R1	R2
Postoperative sensitivity	Alfa	No postoperative sensitivity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Postoperative sensitivity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Postoperative sensitivity with treatment need	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anatomic form	Alfa	Correct contour	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Slightly undercontoured or overcontoured	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Distinctly undercontoured or overcontoured	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Delta	Restoration fractured or mobile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marginal adaption	Alfa	Margin not discernible, probe does not catch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Probe catches on margin but no gap; dentin or liner exposed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Probe catches on margin and gap on probing, dentin or liner exposed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Delta	Restoration fractured or missing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marginal discoloration	Alfa	No marginal discoloration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Marginal discoloration, not penetrated towards pulp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Marginal discoloration penetrated towards pulp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface texture	Alfa	Smooth, glazed, or glossy surface	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Slightly rough or dull surface	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Surface with deep pores, cannot be refinished	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Recurrent caries	Alfa	No recurrent caries	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bravo	Caries without treatment need	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Charlie	Caries with treatment need	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ort, Datum

Unterschrift des Untersuchers

## 7 Literaturverzeichnis

- Abduo J, Sambrook RJ (2018): Longevity of ceramic onlays: A systematic review. *J Esthet Restor Dent* 30, 193–215
- Abou-Steit S, ElGuindy J, Zaki A (2019): Evaluation of patient satisfaction and shade matching of Vita Suprinity versus lithium disilicate (E-max) ceramic crowns in the esthetic zone: a randomized controlled clinical trial. *F1000Res* 8, 371
- Abu-Izze FO, Ramos GF, Borges ALS, Anami LC, Bottino MA (2018): Fatigue behavior of ultrafine tabletop ceramic restorations. *Dent Mater J* 34, 1401–1409
- Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U (2018): Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: A review. *J Prosthodont* 27, 35–41
- Al-Haj Husain N, Özcan M, Molinero-Mourelle P, Joda T (2020): Clinical Performance of Partial and Full-Coverage Fixed Dental Restorations Fabricated from Hybrid Polymer and Ceramic CAD/CAM Materials: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med* 9, 2107
- Anusavice KJ (2012): Standardizing failure, success, and survival decisions in clinical studies of ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *Dent Mater* 28, 102–111
- Archibald JJ, Santos GC, Moraes Coelho Santos MJ (2018): Retrospective clinical evaluation of ceramic onlays placed by dental students. *J Prosthet Dent* 119, 743-748.e1
- Arnetzl G (2013): CAD/CAM-Systeme. *Stomatologie* 110, 10–18
- Arslan Y, Karakoca Nemli S, Bankoğlu Güngör M, Tamam E, Yılmaz H (2015): Evaluation of biogeneric design techniques with CEREC CAD/CAM system. *J Adv Prosthodont* 7, 431–436
- Aslan YU, Coskun E, Ozkan Y, Dard M (2019): Clinical Evaluation of Three Types of CAD/CAM Inlay/ Onlay Materials After 1-Year Clinical Follow Up. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 27, 131–140
- Atali PY, Cakmakcioglu O, Topbasi B, Turkmen C, Suslen O (2011): IPS Empress onlays luted with two dual-cured resin cements for endodontically treated teeth: a 3-year clinical evaluation. *Int J Prosthodont* 24, 40–42
- Attaallah AM, Zayed EM, Dabees SM, Ashour YY, Fahmy AEE (2019): Comparison between Biaxial Flexural Strength and Microstructure of Polished and Glaze-Fired Specimens of Zirconia Lithium Silicate Glass Ceramic. *J dent mater tech* 8, 114–120
- Augthun M, Lichtenstein M, Kammerer G (1990): [Studies on the allergenic potential of palladium alloys]. *Dtsch Zahnarzt Z* 45, 480–482
- Aziz A, El-Mowafy O, Paredes S (2020): Clinical outcomes of lithium disilicate glass-

ceramic crowns fabricated with CAD/CAM technology: A systematic review. *Dent Med Probl* 57, 197–206

Aziz AM, El-Mowafy O, Tenenbaum HC, Lawrence HP (2021): Clinical performance of CAD-CAM crowns provided by predoctoral students at the University of Toronto. *J Prosthet Dent* 127, 729–736

Baader K, Hiller KA, Buchalla W, Schmalz G, Federlin M (2016): Self-adhesive Luting of Partial Ceramic Crowns: Selective Enamel Etching Leads to Higher Survival after 6.5 Years In Vivo. *J Adhes Dent* 18, 69–79

Badawy R, El-Mowafy O, Tam LE (2016): Fracture toughness of chairside CAD/CAM materials – Alternative loading approach for compact tension test. *Dent Mater J* 32, 847–852

Bajraktarova-Valjakova E, Korunoska-Stevkovska V, Kapusevska B, Gigovski N, Bajraktarova-Misevska C, Grozdanov A (2018): Contemporary Dental Ceramic Materials, A Review: Chemical Composition, Physical and Mechanical Properties, Indications for Use. *Open Access Maced J Med Sci* 6, 1742–1755

Banh W, Hughes J, Sia A, Chien DCH, Tadakamadla SK, Figueredo CM, Ahmed KE (2021): Longevity of Polymer-Infiltrated Ceramic Network and Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Materials* 14, 5058

Baroudi K, Ibraheem SN (2015): Assessment of Chair-side Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Restorations: A Review of the Literature. *J Int Oral Health* 7, 96–104

Baulig C, Al-Nawas B, Krummenauer F (2009): Das Konfidenzintervall – die anschauliche Alternative zum p-Wert. *Z Zahnärztl Impl* 25, 55–57

Belli R, Wendler M, de Ligny D, Cicconi MR, Petschelt A, Peterlik H, Lohbauer U (2017): Chairside CAD/CAM materials. Part 1: Measurement of elastic constants and microstructural characterization. *Dent Mater J* 33, 84–98

Bender R, Lange S (2001): Was ist ein Konfidenzintervall? *Dtsch med Wochenschr* 126, e-17-e18

Bender R, Lange S (2007): Was ist der *p* -Wert? *Dtsch med Wochenschr* 132, e15–e16

Bergamo ETP, Bordin D, Ramalho IS, Lopes ACO, Gomes RS, Kaizer M, Witek L, Bonfante EA, Coelho PG, Del Bel Cury AA (2019): Zirconia-reinforced lithium silicate crowns: Effect of thickness on survival and failure mode. *Dent Mater J* 35, 1007–1016

Beyer C, Schwahn C, Meyer G, Söhnel A (2021): What German dentists choose for their teeth: A Web-based survey of molar restorations and their longevity. *J Prosthet Dent* 125,

805–814

Bindl A, Mörmann WH (2003): Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM-generated partial crowns. *Eur J Oral Sci* 111, 163–169

Bindl A, Mörmann WH (2004): Survival rate of mono-ceramic and ceramic-core CAD/CAM-generated anterior crowns over 2-5 years. *Eur J Oral Sci* 112, 197–204

Bindl A, Ritter L, Mehl A (2012): Cerec Guide: rapid and streamlined manufacture of surgical guides in dental practice. *Int J Comput Dent* 15, 45–54

Birnbaum NS, Aaronson HB: Digital Impression Devices and CAD/CAM Systems. In: Goldstein RE, Chu SJ, Lee EA, Stappert CFJ (Hrsg.): Ronald E. Goldstein's Esthetics in Dentistry. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA 2018, 1386–1407

Blatz MB, Conejo J (2019): The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent Clin N Am* 63, 175–197

Blatz MB, Vonderheide M, Conejo J (2018): The Effect of Resin Bonding on Long-Term Success of High-Strength Ceramics. *J Dent Res* 97, 132–139

Böttger H, Rosenbauer KA, Pospiech P (1989): [Occlusal surfaces of glass-ceramic (Dicor) and VMK-crowns compared by electron scanning microscopy]. *ZWR* 98, 46–50

Bustamante-Hernández N, Montiel-Company JM, Bellot-Arcís C, Mañes-Ferrer JF, Solá-Ruíz MF, Agustín-Panadero R, Fernández-Estevan L (2020): Clinical Behavior of Ceramic, Hybrid and Composite Onlays. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 17, 7582

Christensen GJ (1971): Clinical and research advancements in cast-gold restorations. *J Prosthet Dent* 25, 62–68

Christensen GJ (1996): The coming demise of the cast gold restoration? *J Am Dent Assoc* 127, 1233–1236

Christensen GJ (2012): The case for onlays versus tooth-colored crowns. *J Am Dent Assoc* 143, 1141–1144

Contrepolis M, Soenen A, Bartala M, Laviolle O (2013): Marginal adaptation of ceramic crowns: A systematic review. *J Prosthet Dent* 110, 447-454.e10

Corrêa G, Brondani LP, Wandscher VF, Pereira GKR, Valandro LF, Bergoli CD (2018): Influence of remaining coronal thickness and height on biomechanical behavior of endodontically treated teeth: survival rates, load to fracture and finite element analysis. *J Appl Oral Sci* 26, e20170313

Creugers NHJ, Mentink AGM, Fokkinga WA, Kreulen CM (2005): 5-year follow-up of a prospective clinical study on various types of core restorations. *Int J Prosthodont* 18, 34–39

- Dentsply Sirona Deutschland GmbH (2016): Celtra® Duo. Zirkonoxidverstärktes Lithiumsilikat (ZLS). Technical Monograph.
- Dentsply Sirona Deutschland GmbH (2018a): Celtra® Duo. Zirkonoxidverstärktes Lithiumsilikat (ZLS). FactFile.
- Dentsply Sirona Deutschland GmbH (2018b): Celtra® Duo. Zirkonoxidverstärktes Lithiumsilikat (ZLS). Richtlinien für die Verarbeitung von Celtra Duo.
- Dioguardi M, Perrone D, Troiano G, Laino L, Ardito F, Lauritano F, Cicciù M, Muzio LL (2015): Cytotoxicity evaluation of five different dual-cured resin cements used for fiber posts cementation. *Int J Clin Exp Med* 8, 9327–9333
- Donovan T, Simonsen RJ, Guertin G, Tucker RV (2004): Retrospective clinical evaluation of 1,314 cast gold restorations in service from 1 to 52 years. *J Esthet Restor Dent* 16, 194–204
- Edelhoff D, Sorensen JA (2002): Tooth structure removal associated with various preparation designs for posterior teeth. *Int J Periodontics Restorative Dent* 22, 241–249
- Eichner K, Kappert HF (Hrsg.): Grundlagen und Verarbeitung. In: Zahnärztliche Werkstoffkunde und ihre Verarbeitung. Band 1; 8. Auflage; Thieme, Stuttgart 2005, 432
- Erpenstein H, Kerschbaum T, Halfin T (2001): Long-term survival of cast-gold inlays in a specialized dental practice. *Clin Oral Investig* 5, 162–166
- Fasbinder DJ (2006): Clinical performance of chairside CAD/CAM restorations. *J Am Dent Assoc* 137 Suppl, 22S-31S
- Federlin M, Schmidt S, Hiller KA, Thonemann B, Schmalz G (2004): Partial ceramic crowns: influence of preparation design and luting material on internal adaptation. *Oper Dent* 29, 560–570
- Federlin M, Sipos C, Hiller KA, Thonemann B, Schmalz G (2005): Partial ceramic crowns. Influence of preparation design and luting material on margin integrity? a scanning electron microscopic study. *Clin Oral Investig* 9, 8–17
- Federlin M, Krifka S, Herpich M, Hiller KA, Schmalz G (2007a): Partial Ceramic Crowns: Influence of Ceramic Thickness, Preparation Design and Luting Material on Fracture Resistance and Marginal Integrity In Vitro. *Oper Dent* 32, 251–260
- Federlin M, Wagner J, Männer T, Hiller KA, Schmalz G (2007b): Three-year clinical performance of cast gold vs ceramic partial crowns. *Clin Oral Investig* 11, 345–352
- Federlin M, Hiller KA, Schmalz G (2010): Controlled, prospective clinical split-mouth study of cast gold vs. ceramic partial crowns: 5.5 year results. *Am J Dent* 23, 161–167
- Federlin M, Hiller KA, Schmalz G (2014): Effect of selective enamel etching on clinical performance of CAD/CAM partial ceramic crowns luted with a self-adhesive resin

cement. *Clin Oral Investig* 18, 1975–1984

Felberg RV, Bassani R, Pereira GKR, Bacchi A, Silva-Sousa YTC, Gomes EA, Sarkis-Onofre R, Spazzin AO (2019): Restorative Possibilities Using Zirconia Ceramics for Single Crowns. *Braz Dent J* 30, 446–452

Ferrari M, Ferrari Cagidiaco E, Goracci C, Sorrentino R, Zarone F, Grandini S, Joda T (2019): Posterior partial crowns out of lithium disilicate (LS2) with or without posts: A randomized controlled prospective clinical trial with a 3-year follow up. *J Dent* 83, 12–17

Ferraris F (2017): Posterior indirect adhesive restorations (PIAR): preparation designs and adhesthetics clinical protocol. *Int J Esthet Dent* 12, 482–502

Fischer J, Kappert HF: Keramik als zahnärztlicher Werkstoff. In: Strub JR, Kern M, Türp JC, Witkowski S, Heydecke G, Wolfart S (Hrsg.): Curriculum Prothetik Band II: Artikulatoren, Ästhetik, Werkstoffkunde, Festsitzende Prothetik. Quintessenz Verlag, Berlin 2011, 485–501

Frankenberger R, Taschner M, Garcia-Godoy F, Petschelt A, Krämer N (2008): Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years. *J Adhes Dent* 10, 393–398

Frankenberger R, Reinelt C, Petschelt A, Krämer N (2009): Operator vs. material influence on clinical outcome of bonded ceramic inlays. *Dent Mater J* 25, 960–968

Fu L, Engqvist H, Xia W (2020): Glass–Ceramics in Dentistry: A Review. *Materials* 13, 1049

Furtado de Mendonca A, Shahmoradi M, Gouvêa CVD de, De Souza GM, Ellakwa A (2019): Microstructural and Mechanical Characterization of CAD/CAM Materials for Monolithic Dental Restorations: Characterization of CAD/CAM Materials. *J Prosthodont* 28, e587–e594

Gavelis JR, Morency JD, Riley ED, Sozio RB (2004): The effect of various finish line preparations on the marginal seal and occlusal seat of full crown preparations. *J Prosthet Dent* 92, 1–7

Gerds T, Qvist V, Strub J, Pipper C, Scheike T, Kieling N: Failure time analysis. In: Lesaffre E (Hrsg.): Statistical and methodological aspects of oral health research. John Wiley & Sons, Chichester, U.K 2009, 259–277

Giordano R (2006): Materials for chairside CAD/CAM-produced restorations. *J Am Dent Assoc* 137 Suppl, 14S-21S

Gönültaş F, Öztürk C, Atalay P, Öztaş D (2019): Influence of different surface finishing techniques on machinable feldspathic and leucite-reinforced ceramics. *Dent Mater J* 38, 317–322

- Goodacre CJ, Spolnik KJ (1994): The Prosthodontic Management of Endodontically Treated Teeth: A Literature Review. Part I. Success and Failure Data, Treatment Concepts. *J Prosthodont* 3, 243–250
- Guess PC, Selz CF, Steinhart Y, Stampf S, Strub JR (2013): Prospective Clinical Split-Mouth Study of Pressed and CAD/CAM All-Ceramic Partial-Coverage Restorations: 7-Year Results. *Int J Prosthodont* 26, 21–25
- Hamza TA, Sherif RM (2019): Fracture Resistance of Monolithic Glass-Ceramics Versus Bilayered Zirconia-Based Restorations: Monolithic vs. Bilayered Zirconia Fracture Resistance. *J Prosthodont* 28, e259–e264
- Haralur S, Al-Qahtani A, Al-Qarni M, Al-Homrany R, Aboalkhair A (2016): Influence of remaining dentin wall thickness on the fracture strength of endodontically treated tooth. *J Conserv Dent* 19, 63
- Heck K, Paterno H, Lederer A, Litzemberger F, Hickel R, Kunzelmann KH (2019): Fatigue resistance of ultrathin CAD/CAM ceramic and nanoceramic composite occlusal veneers. *Dent Mater J* 35, 1370–1377
- Heinzl H (2009): Kaplan-Meier-Kurven und die Hazard Ratio. *krebs:hilfe!* 10–11
- Held U (2010): Welche Arten von Studiendesigns gibt es und wie werden sie korrekt eingesetzt? *Swiss Med Forum* 10, 712–714
- Hickel R, Roulet JF, Bayne S, Heintze SD, Mjör IA, Peters M, Rousson V, Randall R, Schmalz G, Tyas M, Vanherle G (2007): Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. *Clin Oral Investig* 11, 5–33
- Ho GW, Matinlinna JP (2011): Insights on Ceramics as Dental Materials. Part I: Ceramic Material Types in Dentistry. *Silicon* 3, 109–115
- Innes NP, Ricketts D, Chong LY, Keightley AJ, Lamont T, Santamaria RM (2015): Preformed crowns for decayed primary molar teeth. *Cochrane Database Syst Rev* 2015
- Jain R, Takkar R, Jain G, Deora N (2016): CAD-CAM the future of digital dentistry: a review. *Ann Prosthodont Restor Dent* 33–36
- Jokstad A, Bayne S, Blunck U, Tyas M, Wilson N (2001): Quality of dental restorations FDI Commission Project 2–95. *Int Dent J* 51, 117–158
- Jurado CA, Mourad F, Trevino DAC, Gouveia DN, Hyer J, Elgreatly A, Mahrous AM, Garcia-Godoy F, Tsujimoto A (2022): Comparison of full and partial coverage crowns with CAD/CAM leucite reinforced ceramic blocks on fracture resistance and fractographic analysis. *Dent Mater J* 41, 295–301
- Kassardjian V, Varma S, Andiappan M, Creugers NHJ, Bartlett D (2016): A systematic review and meta analysis of the longevity of anterior and posterior all-ceramic crowns. *J*

Dent 55, 1–6

Kelly J, Benetti P (2011): Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice: Ceramic materials in dentistry. Aust Dent J 56, 84–96

Kern M (2016): Biomechanische Merkmale im Fokus. ZWL Zahntechnik Wirtschaft Labor 24–30

Kern M, Beuer F, Frankenberger R, Kohal R, Kunzelmann K, Mehl A, Pospiech P, Reiss B: Vollkeramik auf einen Blick: Leitfaden zur Indikation, Werkstoffauswahl, Vorbereitung und Eingliederung von vollkeramischen Restaurationen. 6. Auflage, überarbeitete Ausgabe; Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V, Malsch 2018

Kishore J, Goel M, Khanna P (2010): Understanding survival analysis: Kaplan-Meier estimate. Int J Ayurveda Res 1, 274

Krejci I, Krejci D, Lutz F (1992): Clinical evaluation of a new pressed glass ceramic inlay material over 1.5 years. Quintessence Int 23, 181–186

Krifka S, Anthofer T, Fritsch M, Hiller KA, Schmalz G, Federlin M (2009): Ceramic Inlays and Partial Ceramic Crowns: Influence of Remaining Cusp Wall Thickness on the Marginal Integrity and Enamel Crack Formation In Vitro. Oper Dent 34, 32–42

Laajala A, Karhatsu P, Pesonen P, Laitala M, Näpänkangas R, Raustia A, Anttonen V (2018): Association of indirect restorations with past caries history and present need for restorative treatment in the Northern Finland Birth Cohort 1966. Clin Oral Investig 22, 1495–1501

Lambert H, Durand J, Jacquot B, Fages M (2017): Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. J Adv Prosthodont 9, 486

Larsson C, Wennerberg A (2014): The Clinical Success of Zirconia-Based Crowns: A Systematic Review. Int J Prosthodont 27, 33–43

Lebon N, Tapie L, Duret F, Attal JP (2016a): Understanding dental CAD/CAM for restorations - dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part A: chairside milling machines. Int J Comput Dent 19, 45–62

Lebon N, Tapie L, Duret F, Attal JP (2016b): Understanding dental CAD/CAM for restorations--dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part B: labside milling machines. Int J Comput Dent 19, 115–134

Lu T, Peng L, Xiong F, Lin XY, Zhang P, Lin ZT, Wu BL (2018): A 3-year clinical evaluation of endodontically treated posterior teeth restored with two different materials using the CEREC AC chair-side system. J Prosthet Dent 119, 363–368

Maenosono RM, Brianezzi LF de F, Ishikiriama SK, Furuse AY (2019): Clinical

perceptions of zirconia-reinforced lithium silicate ceramic: a case report and 6-month follow-up. *Gen Dent* 67, 47–50

Malament KA, Natto ZS, Thompson V, Rekow D, Eckert S, Weber HP (2019): Ten-year survival of pressed, acid-etched e.max lithium disilicate monolithic and bilayered complete-coverage restorations: Performance and outcomes as a function of tooth position and age. *J Prosthet Dent* 121, 782–790

Malament KA, Margvelashvili-Malament M, Natto ZS, Thompson V, Rekow D, Att W (2021a): 10.9-year survival of pressed acid etched monolithic e.max lithium disilicate glass-ceramic partial coverage restorations: Performance and outcomes as a function of tooth position, age, sex, and the type of partial coverage restoration (inlay or onlay). *J Prosthet Dent* 126, 523–532

Malament KA, Margvelashvili-Malament M, Natto ZS, Thompson V, Rekow D, Att W (2021b): Comparison of 16.9-year survival of pressed acid etched e.max lithium disilicate glass-ceramic complete and partial coverage restorations in posterior teeth: Performance and outcomes as a function of tooth position, age, sex, and thickness of ceramic material. *J Prosthet Dent* 126, 533–545

Marchesi G, Camurri Piloni A, Nicolin V, Turco G, Di Lenarda R (2021): Chairside CAD/CAM Materials: Current Trends of Clinical Uses. *Biology* 10, 1170

McHugh ML (2013): The Chi-square test of independence. *Biochem Med* 143–149

Molin MK, Karlsson SL (2000): A randomized 5-year clinical evaluation of 3 ceramic inlay systems. *Int J Prosthodont* 13, 194–200

Morimoto S, Rebello de Sampaio FBW, Braga MM, Sesma N, Özcan M (2016): Survival Rate of Resin and Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res* 95, 985–994

Mörmann WH (2006): The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc* 137 Suppl, 7S-13S

Mörmann WH, Götsch T, Krejci I (1991): Clinical status of 94 Cerec ceramic inlays after 3 years in situ. *Quintessence Int* 1, 355–366

Moura DMD, Araújo AMM de, Souza KB de, Veríssimo AH, Tribst JPM, Souza RO de A e (2020): Hydrofluoric acid concentration, time and use of phosphoric acid on the bond strength of feldspathic ceramics. *Braz Oral Res* 34, e018

Murgueitio R, Bernal G (2012): Three-year clinical follow-up of posterior teeth restored with leucite-reinforced ips empress onlays and partial veneer crowns. *J Prosthodont* 21, 340–345

Nassar H, H Halim C, A Katamish H (2019): Clinical outcomes of zirconia-reinforced

- lithium silicate partial coverage crowns compared to lithium disilicate partial coverage crowns. A randomized controlled split-mouth clinical study. *F1000Res* 8, 305
- Naumann M, Ernst J, Reich S, Weißhaupt P, Beuer F (2011): Galvano- vs. metal-ceramic crowns: up to 5-year results of a randomised split-mouth study. *Clin Oral Investig* 15, 657–660
- Neis CA, Albuquerque NLG, Albuquerque I de S, Gomes EA, Souza-Filho CB de, Feitosa VP, Spazzin AO, Bacchi A (2015): Surface Treatments for Repair of Feldspathic, Leucite - and Lithium Disilicate-Reinforced Glass Ceramics Using Composite Resin. *Braz Dent J* 26, 152–155
- Nejatidanesh F, Amjadi M, Akouchekian M, Savabi O (2015): Clinical performance of CEREC AC Bluecam conservative ceramic restorations after five years—A retrospective study. *J Dent* 43, 1076–1082
- Pandis N (2016): The chi-square test. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 150, 898–899
- Patel N (2014): Contemporary dental CAD/CAM: modern chairside/lab applications and the future of computerized dentistry. *Compend Contin Educ Dent* 35, 739–746
- Pelka M, Schmidt G, Petschelt A (1996): Klinische Qualitätsbeurteilung von gegossenen Metallinlays und -onlays. *Dtsch Zahnärztl Z* 268–272
- Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M, Hämmerle CHF (2007): A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: single crowns. *Clin Oral Implants Res* 18, 73–85
- Pop-Ciuttrila IS, Ghinea R, Colosi HA, Ruiz-López J, Perez MM, Paravina RD, Dudea D (2021): Color compatibility between dental structures and three different types of ceramic systems. *BMC Oral Health* 21, 75
- Poticny DJ, Swift EJ (2014): Digital Process and Materials 2014-Where Are You?: Contemporary Issues. *J Esthet Restor Dent* 26, 151–153
- Prel JB du, Hommel G, Röhrig B, Blettner M (2009): Confidence Interval or P-Value? Part 4 of a Series on Evaluation of Scientific Publications. *Dtsch Arztebl Int* 335–339
- Rehm P, Derks H, Lesaar W, Spies BC, Beuer F, Böse MWH (2022): Restoration of 1325 teeth with partial-coverage crowns manufactured from high noble metal alloys: a retrospective case series 18.8 years after prosthetic delivery. *Clin Oral Investig* 26, 849–861
- Reich SM, Wichmann M, Rinne H, Shortall A (2004): Clinical performance of large, all-ceramic CAD/CAM-generated restorations after three years: a pilot study. *J Am Dent Assoc* 135, 605–612

- Rinke S, Rödiger M, Ziebolz D, Schmidt AK (2015): Fabrication of Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Ceramic Restorations Using a Complete Digital Workflow. *Case Reports in Dentistry* 2015, 1–7
- Rinke S, Pabel AK, Rödiger M, Ziebolz D (2016): Chairside Fabrication of an All-Ceramic Partial Crown Using a Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Ceramic. *Case Rep Dent* 2016, 1354186
- Rinke S, Pfitzenreuter T, Leha A, Roediger M, Ziebolz D (2020a): Clinical evaluation of chairside-fabricated partial crowns composed of zirconia-reinforced lithium silicate ceramics: 3-year results of a prospective practice-based study. *J Esthet Restor Dent* 32, 226–235
- Rinke S, Brandt A, Hausdörfer T, Leha A, Ziebolz D (2020b): Clinical Evaluation of Chairside-Fabricated Partial Crowns Made of Zirconia Reinforced Lithium Silicate Ceramic - 2-Year-Results. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 28, 36–42
- Rinke S, Zuck T, Hausdörfer T, Leha A, Wassmann T, Ziebolz D (2022): Prospective clinical evaluation of chairside-fabricated zirconia-reinforced lithium silicate ceramic partial crowns—5-year results. *Clin Oral Investig* 26, 1593–1603
- Ryge G (1980): Clinical criteria. *Int Dent J* 30, 347–358
- Rykke M (1992): Dental materials for posterior restorations. *Dent Traumatol* 8, 139–148
- Saavedra G de SFA, Rodrigues FP, Bottino MA (2017): Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Ceramic - A 2-Year Follow-up of a Clinical Experience with Anterior Crowns. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 25, 57–63
- Sasse M, Krummel A, Klosa K, Kern M (2015): Influence of restoration thickness and dental bonding surface on the fracture resistance of full-coverage occlusal veneers made from lithium disilicate ceramic. *Dent Mater J* 31, 907–915
- Schenke F, Federlin M, Hiller KA, Moder D, Schmalz G (2012): Controlled, prospective, randomized, clinical evaluation of partial ceramic crowns inserted with RelyX Unicem with or without selective enamel etching. Results after 2 years. *Clin Oral Invest* 16, 451–461
- Schmalz G, Federlin M (2017): Partial ceramic crowns. Esthetic and tissue conservative restorations – Part I: posterior teeth. *Stoma Edu J* 4, 270–281
- Scholz KJ, Tabenski IM, Vogl V, Cieplik F, Schmalz G, Buchalla W, Hiller KA, Federlin M (2021): Randomized clinical split-mouth study on the performance of CAD/CAM-partial ceramic crowns luted with a self-adhesive resin cement or a universal adhesive and a conventional resin cement after 39 months. *J Dent* 115, 103837
- Schwindling FS, Waldecker M, Rammelsberg P, Rues S, Bömicke W (2019): Tooth

substance removal for ceramic single crown materials—an in vitro comparison. *Clin Oral Investig* 23, 3359–3366

Shih JH, Fay MP (2017): Pearson's chi-square test and rank correlation inferences for clustered data: Pearson's Chi-square Test and Rank Correlation Inferences for Clustered Data. *Biom* 73, 822–834

Silva LH da, Lima E de, Miranda RB de P, Favero SS, Lohbauer U, Cesar PF (2017): Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Braz Oral Res* 31, 133–146

Singhal R, Rana R (2015): Chi-square test and its application in hypothesis testing. *J Pract Cardiovasc Sci* 1, 69

Skorulska A, Piszko P, Rybak Z, Szymonowicz M, Dobrzyński M (2021): Review on Polymer, Ceramic and Composite Materials for CAD/CAM Indirect Restorations in Dentistry—Application, Mechanical Characteristics and Comparison. *Materials* 14, 1592

Stoll R, Sieweke M, Pieper K, Stachniss V, Schulte A (1999): Longevity of cast gold inlays and partial crowns - a retrospective study at a dental school clinic. *Clin Oral Investig* 3, 100–104

Studer SP, Wettstein F, Lehner C, Zullo TG, Schärer P (2000): Long-term survival estimates of cast gold inlays and onlays with their analysis of failures: SURVIVAL OF CAST GOLD INLAYS AND ONLAYS. *J Oral Rehabil* 27, 461–472

Sulaiman TA (2020): Materials in digital dentistry—A review. *J Esthet Restor Dent* 32, 171–181

Tennert C, Suárez Machado L, Jaeggi T, Meyer-Lueckel H, Wierichs RJ (2022): Posterior ceramic versus metal restorations: A systematic review and meta-analysis. *Dent Mater J* 38, 1623–1632

Tribst JPM, Dal Piva AM de O, Penteado MM, Borges ALS, Bottino MA (2018): Influence of ceramic material, thickness of restoration and cement layer on stress distribution of occlusal veneers. *Braz Oral Res* 32, 1–10

Tucker RV (2008): Why Gold Castings Are Excellent Restorations. *Oper Dent* 33, 113–115

Vagropoulou GI, Klifopoulou GL, Vlahou SG, Hirayama H, Michalakis K (2018): Complications and survival rates of inlays and onlays vs complete coverage restorations: A systematic review and analysis of studies. *J Oral Rehabil* 45, 903–920

van den Breemer C, Vinkenborg C, van Pelt H, Edelhoff D, Cune M (2017): The Clinical Performance of Monolithic Lithium Disilicate Posterior Restorations After 5, 10, and 15 Years: A Retrospective Case Series. *Int J Prosthodont* 30, 62–65

- van den Breemer CRG, Cune MS, Özcan M, Naves LZ, Kerdijk W, Gresnigt MMM (2019): Randomized clinical trial on the survival of lithium disilicate posterior partial restorations bonded using immediate or delayed dentin sealing after 3 years of function. *J Dent* 85, 1–10
- Van den Breemer CRG, Buijs GJ, Cune MS, Özcan M, Kerdijk W, Van der Made S, Gresnigt MMM (2021): Prospective clinical evaluation of 765 partial glass-ceramic posterior restorations luted using photo-polymerized resin composite in conjunction with immediate dentin sealing. *Clin Oral Investig* 25, 1463–1473
- Van Dijken JWV, Hasselrot L, Örmín A, Olofsson AL (2001): Restorations with extensive dentin/enamel-bonded ceramic coverage. A 5-year follow-up: *Enamel/dentin bonded ceramics*. *Eur J Oral Sci* 109, 222–229
- Vetromilla BM, Opdam NJ, Leida FL, Sarkis-Onofre R, Demarco FF, van der Loo MPJ, Cenci MS, Pereira-Cenci T (2020): Treatment options for large posterior restorations: a systematic review and network meta-analysis. *J Am Dent Assoc* 151, 614-624.e18
- Vianna ALS de V, Prado CJ do, Bicalho AA, Pereira RA da S, Neves FD das, Soares CJ (2018): Effect of cavity preparation design and ceramic type on the stress distribution, strain and fracture resistance of CAD/CAM onlays in molars. *J Appl Oral Sci* 26, e20180004
- Vidya B, Kamalakanth S, Savita D, Harikishan R (2016): CAD-CAM ceramics - a literature review. *Int J Recent Sci Res* 7, 9352–9361
- Vogl V, Hiller KA, Buchalla W, Federlin M, Schmalz G (2016): Controlled, prospective, randomized, clinical split-mouth evaluation of partial ceramic crowns luted with a new, universal adhesive system/resin cement: results after 18 months. *Clin Oral Investig* 20, 2481–2492
- Wagner J, Hiller KA, Schmalz G (2003): Long-term clinical performance and longevity of gold alloy vs ceramic partial crowns. *Clin Oral Investig* 7, 80–85
- Wang F, Tang Q, Xi S, Liu R, Niu L (2020): Comparison and evaluation of the morphology of crowns generated by biogeneric design technique with CEREC chairside system. *PLoS One* 15, e0227050
- Wendler M, Belli R, Petschelt A, Mevec D, Harrer W, Lube T, Danzer R, Lohbauer U (2017): Chairside CAD/CAM materials. Part 2: Flexural strength testing. *Dent Mater* 33, 99–109
- Windeler J, Antes G, Behrens J, Donner-Banzhoff N, Lelgemann M (2008): Randomisierte klinische Studien (RCTF). *Z Evid Fortbild Qual Gesundhwes* 102, 321–325
- Yanakiev SS, Marinova-Takorova MB (2021): Silane Heat Treatment Could Eliminate

the Hydrofluoric Acid Etching of Lithium Disilicate Overlays: A Four-Year Follow-Up. *Case Reports in Dentistry* 2021, 1–7

Yu H, Chen Y, Cheng H, Sawase T (2019): Finish-line designs for ceramic crowns: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 122, 22-30.e5

Zarone F, Ferrari M, Mangano FG, Leone R, Sorrentino R (2016): “Digitally Oriented Materials”: Focus on Lithium Disilicate Ceramics. *Int J Dent* 2016, 1–10

Zarone F, Ruggiero G, Leone R, Breschi L, Leuci S, Sorrentino R (2021): Zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS) mechanical and biological properties: A literature review. *J Dent* 109, 103661

Zhang L, Hong D, Zheng M, Yu H (2021): Is the bond strength of zirconia-reinforced lithium silicate lower than that of lithium disilicate? A systematic review and metaanalysis. *J Prosthodont Res JPR\_D\_20\_00112*

Zhang Y, Kelly JR (2017): Dental Ceramics for Restoration and Metal Veneering. *Dent Clin N Am* 61, 797–819

Ziegler A, Lange S, Bender R (2002): Überlebenszeitanalyse: Eigenschaften und Kaplan-Meier Methode - - Artikel Nr. 15 der Statistik-Serie in der DMW - -. *Dtsch med Wochenschr* 127, T 14-T 16

Ziegler A, Lange S, Bender R (2004): Survival analysis: Cox regress. *Dtsch med Wochenschr* 129, T1–T3

Ziegler A, Lange S, Bender R (2007): Überlebenszeitanalyse: Die Cox-Regression. *Dtsch med Wochenschr* 132, e42–e44

Zimmermann M, Koller C, Mehl A, Hickel R (2017a): Indirect zirconia-reinforced lithium silicate ceramic CAD/CAM restorations: Preliminary clinical results after 12 months. *Quintessence Int* 48, 19–25

Zimmermann M, Egli G, Zaruba M, Mehl A (2017b): Influence of material thickness on fractural strength of CAD/CAM fabricated ceramic crowns. *Dent Mater J* 36, 778–783

Zwiener I, Blettner M, Hommel G (2011): Überlebenszeitanalyse. *Dtsch Arztebl Int* 108, 163–169

## **Danksagung**

Größter Dank gilt meinem Erstbetreuer Prof. Dr. Sven Rinke für die ausgezeichnete Betreuung und die reibungslose Zusammenarbeit in jeder Phase der Dissertation.

Ich bedanke mich auch bei den Zahnärzten Dr. Holger Claas, Carsten Jähn und Dr. Matthias Kettler, die mit Zeit und Zimmer in ihren Praxen meine Nachuntersuchungen erst ermöglicht haben.

Vielen Dank an alle, die zur Realisierung meiner Dissertation beigetragen haben.