

Aus dem Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde – Abteilung für
Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Die Wiederherstellung von Zahnhartsubstanzdefekten mit Teilkronen aus
einer hochgoldhaltigen Legierung

The restoration of decayed teeth with partial-coverage crowns made from a
high noble metal alloy

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Philipp Rehm

Datum der Promotion: 30.11.2023

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabellenverzeichnis | iii |
| Abbildungsverzeichnis | vi |
| Abkürzungsverzeichnis | v |
| Zusammenfassung | 1 |
| 1 Einleitung | 5 |
| 1.1 Ursachen für Zahnhartsubstanzdefekte | 5 |
| 1.2 Arten von indirekt gefertigten Einzelzahnversorgungen | 6 |
| 1.3 Forschungsstand..... | 10 |
| 1.4 Entwicklung der Fragestellung | 10 |
| 2 Methodik..... | 11 |
| 3 Ergebnisse | 19 |
| 4 Diskussion..... | 27 |
| 4.1 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse | 27 |
| 4.2 Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand | 27 |
| 4.3 Interpretation der Ergebnisse | 30 |
| 4.4 Stärken und Schwächen der Studie | 32 |
| 5 Schlussfolgerungen | 34 |
| Literaturverzeichnis..... | 35 |
| Eidesstattliche Versicherung | 40 |
| Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen | 41 |
| Auszug aus der Journal Summary List | 42 |
| Publikation..... | 44 |
| Lebenslauf..... | 57 |
| Komplette Publikationsliste..... | 59 |
| Danksagung | 61 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Indikation restaurativer Maßnahmen in Abhängigkeit von der okklusalen bzw. approximalen Defektausdehnung (modifiziert nach Klaiber et al. 1992) [2,4]. | 8 |
| Tabelle 2: Individuell angepasste Kriterien für die klinische Bewertung von Inlays und Onlays unter Verwendung der modifizierten Kriterien des United States Public Health Service nach Ryge & Cvar (1971) [27], zusammengestellt von S. P. Studer et al. (2000) [28]..... | 15 |
| Tabelle 3: Einfluss der verschiedenen Variablen auf die Überlebensraten der hnPCCs in absoluten Zahlen und in Prozent [1]. Abwandlung und Übersetzung durch den Autor Rehm, P. | 21 |
| Tabelle 4: Vergleichsstudien über die Überlebens-/Erfolgsraten von metallischen Restaurationen [1]. Abwandlung und Übersetzung durch den Autor Rehm, P. | 28 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Beispielhafte Bilder bezüglich des Arbeitsablaufs. | 13 |
| Abbildung 2: Balkendiagramm mit den Überlebensraten der untersuchten hnPCCs [1]. | 19 |
| Abbildung 3: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse von hnPCCs über eine Zeitspanne von bis zu 35 Jahren. Zensierte Probanden sind in der Kurve durch Striche gekennzeichnet [1]...... | 20 |
| Abbildung 4: Kreisdiagramm zu den verschiedenen Gründen für den Verlust der untersuchten hnPCCs [1]. | 22 |
| Abbildung 5: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse der hnPCCs bei den unterschiedlichen Geschlechtern und deren Erfolgsraten in Prozent in Jahren [1]. | 23 |
| Abbildung 6: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse hinsichtlich der Erfolgsraten von hnPCCs bei der Versorgung der unterschiedlichen Zähne nach einem Beobachtungszeitraum von bis zu 35 Jahren [1]...... | 24 |
| Abbildung 7: Kaplan-Meier-Überlebensrate hinsichtlich der Erfolgsraten von hnPCCs bei unterschiedlicher Verteilung im Ober- und Unterkiefer nach einem Beobachtungszeitraum von bis zu 35 Jahren [1]...... | 25 |
| Abbildung 8: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse hinsichtlich der Erfolgsraten der untersuchten hnPCCs in allen vier unterschiedlichen Zahnquadranten [1]...... | 26 |
| Abbildung 9: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse hinsichtlich der Erfolgsraten der untersuchten hnPCCs in den jeweiligen Altersgruppen [1]. | 26 |

Abkürzungsverzeichnis

hnPCC = high noble partial-coverage crown

USPHS= United States Public Health Service

PZR = professionelle Zahnreinigung

UPT = unterstützende Parodontitis- Therapie

DMS V= Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie

cPCC = ceramic partial-coverage crowns

Zusammenfassung

Der Abstrakt orientiert sich an der Publikation „Restoration of 1325 teeth with partial-coverage crowns manufactured from high noble metal alloys: a retrospective case series 18.8 years after prosthetic delivery” [1], verfasst durch den Autor Rehm, P..

Ziel: Ziel dieser klinischen retrospektiven Fallserie war es, die Langzeitüberlebens- und Erfolgsraten von konventionell zementierten Teilkronen (engl.: partial-coverage crowns, PCCs) aus einer hochgoldhaltigen Metalllegierung (engl.: high noble metal alloy, hn) anhand verfügbarer klinischer Daten zu untersuchen. Dabei sollten die Möglichkeiten und Limitationen eines stringenten klinischen Protokolls herausgearbeitet werden. Bereits publizierte Daten zu metallischen und keramischen Teilkronen sollten zum Vergleich herangezogen werden, um die klinische Relevanz dieser Studie zu untersuchen.

Material und Methodik: In diese Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, die zwischen 09/1983 und 09/2009 mit mindestens einer hnPCC versorgt wurden, mindestens zweimal jährlich zur zahnärztlichen Kontrolle und entsprechend der Notwendigkeit zu professionellen Zahnreinigungen oder unterstützenden Parodontitistherapien erschienen sind und deren restaurations-, parodontal- und zahnbezogene Parameter vollständig in einer privat Zahnärztlich geführten Praxis dokumentiert wurden. Insgesamt konnten die Daten von 1325 hnPCCs selektiert und anonymisiert ausgewertet werden. Zur Auswertung dienten die modifizierten Kriterien des United States Public Health Service (USPHS) und die Zahnfleischtaschentiefen, Lockerungsgrade, Sensibilität und Perkussion der mit hnPCCs versorgten Zähne. Für die statistische Analyse wurden Kaplan-Meier-Analysen und Log-Rank-Tests verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse: Insgesamt wurden 266 Patienten (mittleres Alter: $44,5 \pm 10,7$ Jahre) mit 1325 hnPCCs versorgt. Davon zeigten 81 (6,1%) hnPCCs nach einem mittleren Beobachtungszeitraum von $16,2 \pm 6,3$ Jahren Komplikationen. Vierzehn hnPCCs (17,3%) konnten ohne zusätzlichen Aufwand rezementiert werden. Bei 29 versorgten Zähnen (35,8%) kam es zu parodontalen Problemen, die zu einer Extraktion führten. Hinzu kamen 10 Perforationen (12,3%), Karies an 8 Zähnen (9,9%), nachträgliche Wurzelkanalbehandlungen durch 8 hnPCCs (9,9%), Sekundärkaries an 7 Zähnen

(8,6%), Hemisektionen an 4 Zähnen (4,9%) und eine Zahnfraktur (1,2%). Zwei der kariösen Zähne und der frakturierte Zahn mussten entfernt werden, was zu einem Verlust von insgesamt 32 Zähnen (2,4%) führte. Daraus ergab sich eine durchschnittliche Erfolgsrate von 93,9% und eine durchschnittliche Überlebensrate von 94,9% mit $18,8 \pm 5,7$ Jahren Beobachtungszeit. 92,7% der hnPCCs konnten über einen Zeitraum von über 10 Jahren nachuntersucht werden. Signifikant schlechtere Ergebnisse wurden bei Patienten über 51 Jahren festgestellt ($p = .012$), wobei parodontale Probleme der versorgten Zähne ($n = 29, 35,8\%$) die am häufigsten dokumentierten Komplikationen darstellten.

Schlussfolgerung: Mit einer Erfolgsrate von 93,9% und einer Überlebensrate von 94,9% nach einer mittleren Beobachtungszeit von $18,8 \pm 5,7$ Jahren zeigen hnPCCs hervorragende Langzeitergebnisse, die ihre weitere Verwendung im klinischen Alltag unterstützen.

Abstract

Es folgt nun eine Übersetzung des Abstrakts (Seite 1), welcher sich weiterhin an der Publikation „Restoration of 1325 teeth with partial-coverage crowns manufactured from high noble metal alloys: a retrospective case series 18.8 years after prosthetic delivery” [1], verfasst durch den Autor Rehm, P., orientiert.

Objective: The objective of this clinical retrospective case series was to investigate the long-term survival and success rates of conventionally cemented partial-coverage crowns (PCCs) made of a high noble metal alloy (hn) using available clinical data. The aim was to identify the possibilities and limitations of a stringent clinical protocol. Previously published data on metallic and ceramic partial crowns should be used for comparison in order to investigate the clinical relevance of this study.

Material and methods: All patients who were treated with at least one hnPCC between 09/1983 and 09/2009, who attended for dental check-ups at least twice a year and, according to necessity, for professional dental cleanings or supportive periodontal therapies, and whose restorative, periodontal and dental-related parameters were fully documented in a private dental office were included in this study. In total, data of 1325 hnPCCs could be selected and evaluated anonymously. The modified criteria of the United States Public Health Service (USPHS) and the gingival pocket depths, degrees of loosening, sensitivity and percussion of the teeth fitted with hnPCCs were used for evaluation. Kaplan-Meier analyses and Log-Rank-Tests were used for statistical analysis. Level of significance was set to $p \leq 0.05$.

Results: A total of 266 patients (mean age: 44.5 ± 10.7 years) were treated with 1325 hnPCCs. Of these, 81 (6.1%) hnPCCs showed complications after a mean observation period of 16.2 ± 6.3 years. Fourteen hnPCCs (17.3%) could be recemented without additional effort. In 29 restored teeth (35.8%), periodontal problems occurred that led to extraction. In addition, there were 10 perforations (12.3%), caries on 8 teeth (9.9%), subsequent root canal treatment by 8 hnPCCs (9.9%), secondary caries on 7 teeth (8.6%), hemisections on 4 teeth (4.9%) and one tooth fracture (1.2%). Two of the

decayed teeth and the fractured tooth had to be removed, resulting in a total loss of 32 teeth (2.4%). This resulted in an average success rate of 93.9% and an average survival rate of 94.9% after 18.8 ± 5.7 years of observation. 92.7% of the hnPCCs could be followed up for more than 10 years. Significantly worse outcomes were documented for patients above 51 years of age ($p = .012$), with periodontal problems of the restored teeth ($n = 29, 35.8\%$) being the most frequently documented complications.

Conclusion: With a success rate of 93.9% and a survival rate of 94.9% after a mean observation period of 18.8 ± 5.7 years, hnPCCs show excellent long-term outcomes that support their continued use in clinical practice.

1 Einleitung

1.1 Ursachen für Zahnhartsubstanzdefekte

Im Folgenden wird der wissenschaftliche Stand des Studienthemas skizziert, um die Inhalte der Publikation besser einordnen zu können. Dazu werden auch weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen der Publikation ausgeführt. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wird auf eine durchgängig weibliche, männliche und diverse Formulierung verzichtet, und es wird stattdessen das generische Maskulinum verwendet. Die benutzten Formulierungen beinhalten keinerlei Wertung und meinen ausdrücklich alle Geschlechteridentitäten, sofern es sinngemäß der Aussage entspricht.

Wird ein Zahn in seiner ursprünglichen Form geschädigt, muss für den Erhalt des Zahnes und seiner Funktion in der Regel eine Wiederherstellung der beschädigten Flächen erfolgen. Diese sollte bestenfalls dem aktuellen Stand der evidenzbasierten Wissenschaft entsprechen. Ein Zahn kann durch unterschiedliche Ursachen geschädigt werden. Die häufigste Ursache für Defekte der Zahnhartsubstanz ist die Karies [2]. Karies tritt lokalisiert durch das Zusammenwirken potenziell pathogener Mikroorganismen (Haupterreger: *Streptococcus mutans*) und ökologischer Faktoren auf. Durch eine infektiöse Übertragung der Erreger und die Zufuhr von Kohlehydraten entstehen Säuren, welche bei ausreichender Wirkungsdauer die Zahnhartsubstanzen demineralisieren und auflösen können. Entscheidende Faktoren sind hier vor allem die Mundhygiene, Ernährung und Speichel der jeweiligen Patienten [2]. Des Weiteren können Schäden durch mechanische oder chemische Reize verursacht werden. Mechanische Defekte umfassen dabei die (1) Attrition: Abrieb antagonistischer Zahnhartsubstanzen, (2) Abrasion: Zahnhartsubstanzverlust durch Fremdkörperabrieb und (3) keilförmige Defekte im Zahnhalsbereich: Zusammenspiel von Parafunktionen und Putztechnik. Chemische Defekte werden hingegen als Erosionen bezeichnet. Diese entstehen durch wiederkehrende, direkte Säureeinwirkung, beispielsweise durch eine falsche Ernährung (zu hoher Säuregehalt der Getränke und Lebensmittel) oder allgemein-medizinische Erkrankungen wie die Bulimie (Schädigung durch Magensäure) [2]. Unabhängig von der Ursache müssen Verluste der Zahnhartsubstanz häufig für die

Wiederherstellung der physiologischen Kaufunktion ausgeglichen werden. Hierfür stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung.

Prinzipiell lassen sich indirekte und direkte Restaurationen unterscheiden. Eine direkte restaurative Therapie erfolgt in der Regel in Form einer einfachen Füllung. Wenn aufgrund der Defektgröße jedoch keine verlässliche Verankerung einer direkten Restauration mehr möglich, oder die Stabilität der Restsubstanz gefährdet ist, ist die Indikation für eine indirekte Versorgung gegeben. Die eindeutige Klassifizierung, bis zu welcher Defektgröße ein Zahn noch mit einer direkten Restauration in Form einer Füllung versorgt werden kann, wird in der Literatur dabei nicht klar definiert [3]. Tabelle (Tab.) 1 gibt eine grobe Orientierungshilfe, welche die Auswahl der richtigen Restaurationsart erleichtern, in einem spezifischen Behandlungsfall einem aber nicht die Entscheidung abnehmen kann [2,4]. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass so bald einer oder mehrere Höcker eines Zahnes zerstört sind, es sich empfiehlt den Zahn mit einer indirekten Restauration wiederherzustellen, da direkte Restaurationen in Form von Füllungen den auftretenden Druck- und Scherkräften nicht auf Dauer standhalten können. Dabei sind indirekte den direkten Restaurationen auch hinsichtlich der okklusalen und approximalen Kontakte, der Oberflächenbeschaffenheit und dem Randschluss überlegen [5,6].

1.2 Arten von indirekt gefertigten Einzelzahnversorgungen

Indirekte Restaurationen werden in der Regel in einem zahntechnischen Labor angefertigt und lassen sich grob in Inlays, Onlays, Overlays, Teilkronen und Vollkronen unterteilen. Die Definitionen der Restaurationstypen sind dabei je nach Literaturangabe fließend. Kleinere okklusale Defekte können mit einem Inlay versorgt werden, wenn der Substanzdefekt den überwiegenden Teil der Kaufläche nicht bedeckt. Dabei ist auch eine Restauration der Approximalkontakte möglich. Größere Defekte, bei denen auch die inneren Höckerabhänge bis zu den Höckerspitzen gefasst werden, nennt man Onlay. Beim Overlay hingegen werden neben einem großen Teil der Kaufläche die Höckerspitzen mit gefasst und umgreifen diese bis an die äußeren Höckerabhänge. Bei der klassischen metallischen Teilkrone werden in der Regel beide Approximalkontakte in die Restauration mit einbezogen [2]. Sie endet an den Stützhöckern meist mit einer abgeschrägten Stufe, während die Scherhöcker einen Außenschliff erhalten. Es gilt, bestimmte Regeln bei der Präparation zu befolgen, um eine maximale Retention bei

minimalem Substanzabtrag sicher zu stellen. Es ist darauf zu achten, dass der okklusale Kasten eine Kavitätentiefe von mindesten 1,5 mm hat. Dieser okklusale Kasten darf nicht unter sich gehend präpariert sein und weist bei flachen Kavitäten eine Divergenz der Wände von ca. 10° auf. Bei größeren und tieferen Kavitäten kann die Divergenz zur Erleichterung der Einschubrichtung vergrößert werden. Weniger Divergenz sorgt für eine erhöhte primäre über die Friktion haftende indirekte Befestigung, birgt aber mögliche Risiken mit Blick auf die Einschubrichtung. Für die approximalen Kästen gilt, dass die Extensionsflächen leicht in okklusale Richtung divergieren und in einem Winkel von 40° auf die äußere Zahnwölbung auslaufen [2,7]. Keramische Teilkronen werden hingegen ohne scharf begrenzte approximale Kästen und Stufen präpariert. Dentalkeramiken benötigen einen Zahnstumpf mit abgerundeten Konturen. Stufen oder zu spitze Winkel lösen Zugspannungen aus, die zu einem Bruch der keramischen Restaurationen führen können. Sie werden bei der Eingliederung in der Regel adhäsiv auf den Zähnen befestigt, was mehr Freiheiten bei den Präparationsdesigns zulässt. Die wesentliche Gemeinsamkeit der metallischen und keramischen Teilrestaurationen ist es, möglichst viel gesunde Zahnhartsubstanz zu erhalten. Im Vergleich hierzu ist es bei einer Vollkrone erforderlich, einen gleichmäßigen zirkulären, sowie okklusalen Abtrag von mindestens 0,7 – 2,0mm (in Abhängigkeit vom gewählten Restaurationsmaterial) mit einem optimalen Winkel von 6 – 8° zu präparieren [2,7]. Dies führt häufig zu mehr Abtrag von gesunder Zahnhartsubstanz.

Tabelle 1: Indikation restaurativer Maßnahmen in Abhängigkeit von der okklusalen bzw. approximalen Defektausdehnung.

| | Okklusale Defektausdehnung | | | | Approximale Defektausdehnung | | | |
|---|----------------------------|--------|------|--------------|------------------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | klein | mittel | groß | Höckerersatz | zervikal Schmelz | zervikal Dentin | weit apikal | weit bukkingual |
| Amalgamfüllungen | -/+ | + | - | -(+) | + | + | - | - |
| Inlay (Goldguss) | - | + | - | - | + | + | + | + |
| Teilkrone (Goldguss) | - | - | + | + | + | + | + | + |
| Direkte Kompositfüllungen | + | + | (+) | -(+) | + | (+) | -(+) | -(+) |
| Adhäsiv befestigtes Keramikinlay | - | + | + | + | + | (+) | - | + |

Legende: (1) + geeignet; (2) – ungeeignet; (3) (+) bedingt geeignet; Abwandlung durch den Autor Rehm, P. (modifiziert nach Klaiber et al. 1992) [2,4].

Indirekte Restaurationen aus Goldlegierungen galten in der Vergangenheit als „Goldstandard“ [8] und zeichnen sich durch eine verhältnismäßig leichte Verarbeitung, sowie Beständigkeit und ihre hohe Duktilität aus. Gerade die Duktilität macht die Goldlegierungen so beliebt. Sie verschafft dem Werkstoff Gold die Eigenschaft sich unter Scherbelastung vor einem Bruch dauerhaft plastisch zu verformen. Somit sind Stressfrakturen wie etwa bei keramischen Restaurationen nicht existent. Auch bei einer möglichen Abnutzung nach einer eingestellten Front-Eckzahn-Führung führt die Duktilität des Goldes zu weniger Balancen und Hyperbalancen im Gegensatz zu Keramikaufflächen [9–11]. Die Formbarkeit des Goldes ermöglicht hier einen Ausgleich ohne die antagonistische Substanz zu abradieren [8]. Zahnersatz aus Goldlegierungen

wird seit über 140 Jahren gefertigt [12] und stellt somit ein erprobtes Material für die Wiederherstellung von verloren gegangener Zahnschubstanz dar.

Aufgrund der sich stetig ändernden Anforderungen an Präzision, Stabilität und Ästhetik indirekt gefertigter Restaurationen werden regelmäßig neue Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften durch die Industrie auf dem Dentalmarkt vorgestellt. Generell können Metalllegierungen, Dentalkeramiken und Kompositmaterialien unterschieden werden. Mittlerweile sind jedoch auch diverse Hybridmaterialien erhältlich, die versuchen die jeweiligen Vorteile der unterschiedlichen Materialien zu kombinieren. Die Anfertigung metallischer Restaurationen ist dabei in den letzten Jahren eher rückläufig, da der Wunsch nach hochästhetischen Restaurationen in der Gesellschaft an Bedeutung gewonnen hat. Trotz der Möglichkeit metallische Werkstoffe zu verblenden, ist die Ästhetik nicht mit den modernen Vollkeramiken vergleichbar. Häufig spielen auch das allergene Potenzial von Metalllegierungen (insbesondere des enthaltenen Palladiums) und die Kosten, die bei hochedlen Metalllegierungen im Vergleich zu Dentalkeramiken anfallen bei den Patienten eine Rolle [13]. Die glatten Oberflächen und die geringere Oberflächenspannung von Dentalkeramiken führen außerdem zu einer geringeren PlaqueRetention [14].

Nichtsdestotrotz sind auch für vollkeramische Restaurationen Nachteile dokumentiert. Die Hauptgründe für Misserfolge liegen im Bruch der keramischen Verblendung oder einer Fraktur der kompletten Restauration [15–17]. Des Weiteren unterliegt das Präparationsdesign für Keramiken zwar weniger strikten Anforderungen, die dadurch notwendige adhäsive Befestigung kann jedoch andere behandlungsspezifische Schwierigkeiten mit sich bringen. So ist eine absolute Trockenlegung beispielsweise obligat, was bei subgingival liegenden Präparationsrändern erschwert oder sogar unmöglich sein kann. Außerdem kann der weiter oben bereits beschriebene Nachteil eines erhöhten allergenen Potenzials metallischer Legierungen [13] auch bei den verschiedenen Befestigungskompositen eine Rolle spielen [18]. Eine weitere bekannte Komplikation bei der adhäsiven Befestigung kann eine postoperative (Hyper-) Sensibilität darstellen [19]. Auch bezüglich der Randschlüsse sind je nach Art der Keramiken und der Herstellungsverfahren unterschiedliche Ergebnisse in der Literatur dokumentiert, während die Randspalten bei hochgoldhaltigen Teilkronen auf einem konstant niedrigen Niveau beschrieben werden [20–22].

1.3 Forschungsstand

Bei der kritischen Auswahl der Restaurationsart und des Restaurationsmaterials sollten vorliegende wissenschaftliche Erkenntnisse in die Entscheidung mit einfließen. Das Hauptziel sollte dem Langzeiterhalt der ursprünglichen Zahnfunktion gelten, während die Ästhetik zweitrangig sein sollte. Diese Entscheidung stellt sich aufgrund diverser Faktoren im klinischen Praxisalltag nicht immer leicht dar. Zum einen werden keine eindeutigen Indikationsgrenzen in der Literatur beschrieben [3] und zum anderen fehlen Langzeitstudien, die statistisch signifikante Ergebnisse zu den unterschiedlichen indirekten Restaurationsarten liefern. Vorhandene Studien variieren in ihren Ergebnissen zu den Erfolgsraten zwischen 70 und 96% nach einer Beobachtungszeit von 5 bis 11 Jahren [23,24]. Die heterogenen Ergebnisse resultieren unter anderem durch zu kurze Untersuchungszeiträume [24,25] und unterschiedliche Behandlungskonzepte in Punkten wie Präparationsdesign, Technik, Abformung und der Wahl der Materialien und Laborabläufe [23].

1.4 Entwicklung der Fragestellung

Das Ziel dieser Studie war die Auswertung vorhandener klinischer Daten aus einer privaten Zahnarztpraxis mit Blick auf die Langzeitüberlebens- und Erfolgsraten von Teilkronen aus einer hochgoldhaltigen Legierung (engl.: partial-coverage crowns manufactured from high noble metal alloys, hnPCCs). Diese sollten retrospektiv analysiert und statistisch ausgewertet werden. Die Arbeitshypothese dieser Untersuchung war, dass hnPCCs trotz der starken und stetig steigenden Nachfrage nach vollkeramischen Restaurationen eine evidenzbasierte Therapieoption für die Restauration von zerstörter Zahnhartsubstanz mit einer guten Langzeitprognose darstellen.

2 Methodik

Für die Auswertung wurden klinische Daten vorliegender Behandlungsfälle aus einer privaten zahnärztlichen Praxis herangezogen und eine retrospektive Fallstudie entworfen. Die Genehmigung erfolgte durch die Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Deutschland (Antragsnummer: EA4/135/19). Alle untersuchten hnPCCs wurden in der Studienpraxis durch die Autoren der vorliegenden Publikation H.D. und W.L. angefertigt. Die klinischen Nachuntersuchungen und die damit einhergehenden primären Datenerhebungen erfolgten ebenfalls durch H.D. [1]. Die somit vorliegenden und anonymisierten Patientendokumentationen wurden durch den Autor Rehm, P. retrospektiv ausgewertet und statistisch analysiert. Da zu keinem Zeitpunkt der Studie patientenrelevante Daten, wie Namen oder Adressen aus der Patientenakte für die Auswertung verwendet wurden, bedurfte es nach Abstimmung mit der Ethikkommission keiner Einverständniserklärung der betroffenen Patienten.

Die Einschlusskriterien für die Berücksichtigung in dieser Studie waren: (1) die Versorgung mit mindestens einer hnPCC im Zeitraum zwischen 09/1983 und 09/2009 in der Studienpraxis; (2) eine mindestens zwei Mal jährlich erfolgte Kontrolluntersuchung; (3) je nach Notwendigkeit regelmäßige professionelle Zahnreinigungen (PZR) oder unterstützende Parodontitis-Therapien (UPT) [1]. Die Patienten, auf die diese Kriterien zutrafen, wurden zwischen 09/2016 und 03/2017 nachuntersucht und die entsprechenden Befunde dokumentiert. Aufgrund der Einschlusskriterien und des langen Studienzeitraumes konnten einige der behandelten Patienten nicht eingeschlossen werden, da sie teilweise verstorben oder verstorben waren. Insgesamt erfüllten 1325 hnPCCs bei 266 Patienten die geforderten Kriterien und konnten in der Studie berücksichtigt werden. Zum Zeitpunkt der Therapie bestand kein Bestreben eine Studie durchzuführen und somit auch kein Konflikt oder etwa eine Beeinflussung mit Blick auf die Therapieentscheidung.

Die Versorgung mit hnPCCs wurde erst nach erforderlichen und erfolgreich abgeschlossenen Vorbehandlungen geplant und umgesetzt. Alle Präparationen erfolgten nach den Präparationsregeln von Schulz-Bongert [7] mit einer definierten Präparationsgrenze und dem Anlegen von Kästen für mehr Retention. Idealerweise wurden die lasttragenden Höcker um 1,2 - 1,5mm und die Scherhöcker um 1,0mm reduziert. Okklusale Kästen wurden vorzugsweise mit einer Tiefe von 2,0mm, einer Breite von 1,5mm und einem Konus von 3-10° präpariert. Beide Approximalkontakte

wurden aufgelöst und ebenfalls mit einem Konus von 3-10° präpariert. Nicht funktionelle Höcker und die Präparationsränder wurden abgeschrägt (Bevel 0,3 – 1,0mm, Angulation 30°, Abbildung, Abb. 1a). Ein Substanzabtrag von mindestens 0,8mm war erforderlich, um die Mindeststärke des Restaurationsmaterials zu erreichen. Unter Zuhilfenahme von Lupenbrille und Mikroskop wurden die Präparationen überprüft. Die anschließenden Abformungen erfolgten mit Hydrokolloid-Abformmaterial (Aqualoid Green, The Belpport Company, Camarillo, CA, USA) und für das Abformmaterial speziell angepassten Abformlöffeln (DC Hydrocolloid Abdrucklöffel, DentalCentral GmbH, Hamburg, Deutschland, Abb. 1b) Es wurden zwei Abformungen des mit hnPCCs zu versorgenden Kiefers genommen, um ein zusätzliches, ungesägtes Meistermodell zu erstellen. Das mehrfache Ausgießen eines Hydrokolloidabdrucks entsprach dabei nicht den gesetzten Qualitätsansprüchen des Behandlers und ist auch nicht Materialkonform. Da es sich bei Hydrokolloid um ein reversibel-thermoplastisches Abformmaterial auf Alginatbasis handelt ist eine permanente Kühlung des Materials unerlässlich. Durch das Vorhandensein eines praxiseigenen Zahntechniklabors, wurde der Transportweg und die Zeit bis zum Ausgießen des Abdruckes, auf ein Minimum reduziert. Die Abformungen der Gegenkiefer wurden jeweils mit Alginat (Alginat rosa regular set, Omnident Prisman GmbH, Lorsch, Deutschland) und einem Rim-Lock Abformlöffel (Rim-Lock Abdrucklöffel, Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutschland) durchgeführt. Obligatorisch wurde eine Gesichtsbogenübertragung zum Zweck einer kiefergelenkbezogenen Übertragung der Modelle in den Artikulator (Whip mix, Whip Mix Corp., Louisville, USA; SAM, SAM® Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland; Artex CR, Amann GIRRbach AG, Pforzheim, Deutschland) durchgeführt. Bissregistrierungen wurden in habitueller Okklusion mit Wachsplatten (Integra Miltex, IntegraLifeSciences Service France, Saint-Priest, Frankreich) und einem temporären Zement (TempBond NE, KerrHawe SA, Bioggio, Schweiz) durchgeführt. Der Dawson-Griff wurde verwendet, um den Biss in zentrischer Position zu halten, falls mehrere Restaurationen mit Verlust der Stützzonen angefertigt wurden und/oder eine temporomandibuläre Dysfunktion (TMD) vorlag. In ausgeprägten Fällen einer TMD wurde nach einer Schienentherapie und durch Langzeitprovisorien die neue Zentrik über mindestens drei weitere Monate erprobt.

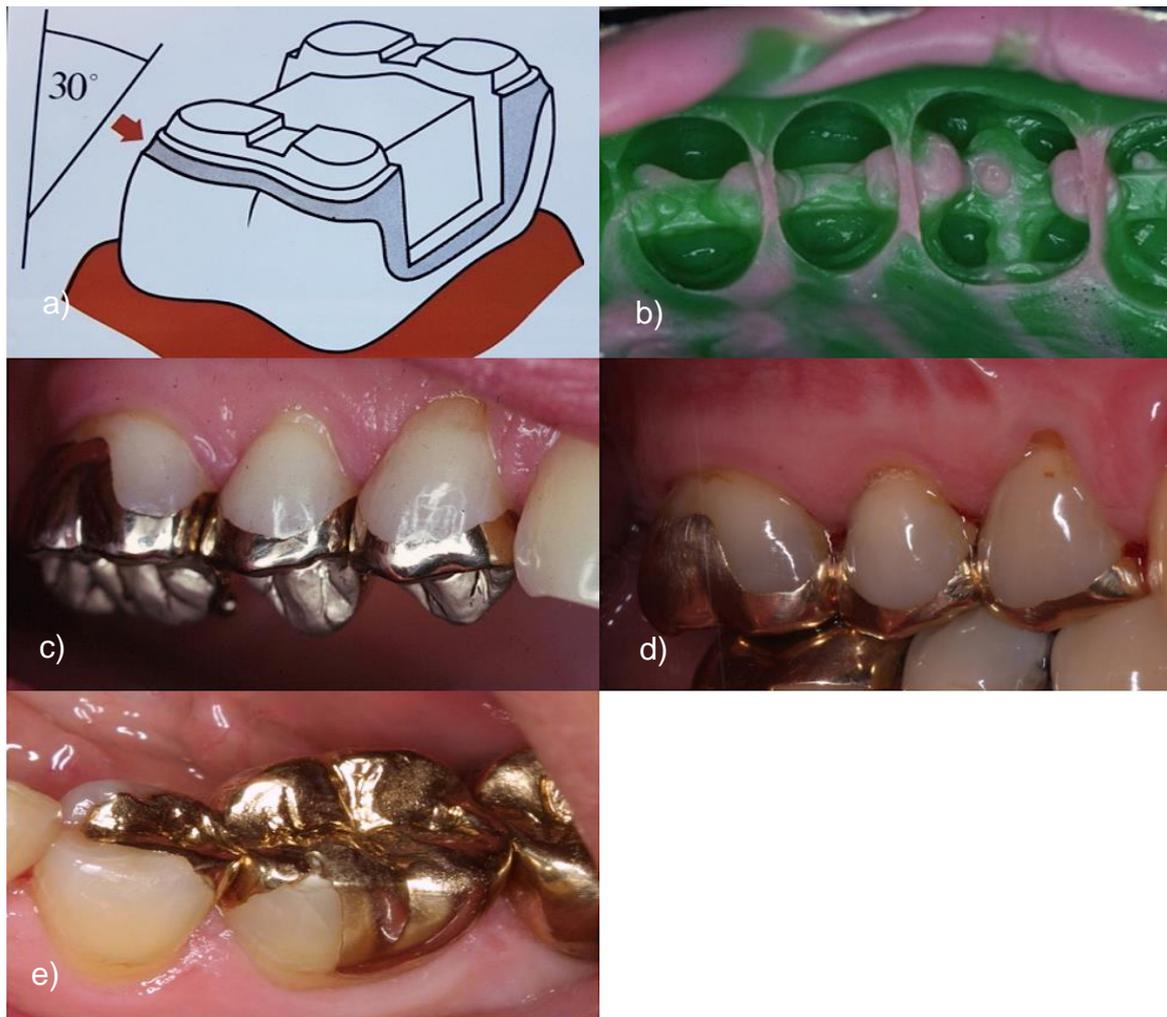


Abbildung 1: Beispielhafte Bilder bezüglich des Arbeitsablaufs.

Legende: a) Präparationsdesign mit einer Abschrägung (bevel) von 30° zur Minimierung des Zementspalts [7]; b) Abformung mit Hydrokolloid; c) "Knöpfe" zur leichteren Entfernung nach der Einprobe; d) hnPCCs nach 30 Jahren in situ; e) hnPCCs, die nicht alle Höcker abdecken; Abwandlung und Übersetzung durch den Autor Rehm, P [1].

Im Labor wurden Modelle aus Klasse 4 Gips (Implantat-Rock, picodent, Wipperfürth, Deutschland) durch den Zahntechniker W.L. erstellt und gesockelt (suppen-sockler picodent, Wipperfürth, Deutschland). Anschließend erfolgte die Artikulation mit Gips (pico-arti neue Edition, picodent, Wipperfürth, Deutschland) in die weiter oben erwähnten Artikulatoren. Die Modellation der hnPCCs erfolgte konventionell durch Aufwachsen (S-U-Ästhetikwachs, SchulerDental, Ulm, Deutschland) nach gnathologischen Gesichtspunkten. Anschließend wurde mit gipsgebundener Einbettmasse (easysoft picodent, Wipperfürth, Deutschland) eingebettet und alle

Restaurationen aus einer hochgoldhaltigen Legierung gegossen (Degolor M, DentsplySirona, Bensheim, Deutschland). Die anschließende Aufpassung erfolgte sowohl auf den Sägemodellen als auch den Kontrollmodellen. Die ausgearbeiteten hnPCCs wurden mit noch mattierten Kauflächen zur Überprüfung der approximalen und okklusalen Kontakte mittels Zahnseide und Okklusionsfolie 12 μm (HANEL Okklusionsfolie, schwarz und rot, Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Schweiz) temporär eingesetzt und angepasst. Zur besseren Ein- und Ausgliederung der hnPCCs während der Anpassungen, wurden die Restaurationen mit kleinen „Knöpfen“ versehen, um die Kronenränder nicht zu beschädigen (Abb. 1c). So konnten die hnPCCs nach den Anpassungen durch den Zahnarzt vor der Zementierung im Labor final ausgearbeitet und poliert werden. Alle hnPCCs wurden konventionell mit Zinkoxid-Phosphatzement (Harvard schnell härtend, Richter and Hoffmann, Berlin, Deutschland) zementiert. Zum Abschluss wurden die Zementreste entfernt und erneut die Okklusion mit Shimstockfolie 8 μm überprüft (HANEL Shimstockfolie 8mm 8 μ metallic, Colène/Whaledent AG, Altstätten, Schweiz).

Bestandteil der Kontrolluntersuchungen, nach (falls notwendig) erfolgter PZR oder UPT, waren die Aktualisierung der Anamnese und Zahn- beziehungsweise restaurations-bezogene Parameter. Für die Bewertung der hnPCCs wurden (1) restaurations-, (2) parodontal- und (3) zahnbezogene Faktoren herangezogen [26]. Die Bewertung der Restaurationen umfasste unterschiedliche Parameter, die mit den modifizierten United States Public Health Service-Kriterien (USPHS) vergleichbar waren (Tab. 2) [26–28]. Für die Überprüfung der geforderten Kriterien wurden alle taktilen Untersuchungen mithilfe einer doppelendigen Dentalsonde (EX9, HuFriedy, Chicago, USA) durchgeführt. Tast- oder sichtbare Perforationen von hnPCCs führten zu einem Ausschluss für die Bewertung als Erfolg. Die verwendeten Kriterien in Bezug auf die USPHS Kriterien wurden wie folgt kategorisiert: (1) Randschluss; (2) anatomische Form; (3) Oberflächenbeschaffenheit. Jedes der Kriterien wurde mit A, B, C (und/oder D) bewertet, wobei A die höchsten und C bzw. D die niedrigsten Bewertungen waren. Restaurationen mit einer Bewertung von A wurden als Erfolg gewertet, während Bewertungen mit C oder D als Misserfolg erfasst wurden. Für eine A-Bewertung mussten die folgenden Kriterien erfüllt sein: 1) Randschluss - Randspalt nicht erkennbar, Sonde bleibt nicht hängen, keine Verfärbung sichtbar; 2) Anatomische Form - Korrekte Kontur mit festen Approximalkontakten (überprüft mit gewachster Zahnseide, Ausnahme: Diastema-Situation), keine Abrasionsfacetten an den Restaurationen, keine

Abrasionsfacetten an den Gegenzähnen; 3) Oberflächenbeschaffenheit - glatte, glasierte oder glänzende Oberfläche (Tab. 2).

Tabelle 2: Individuell angepasste Kriterien für die klinische Bewertung von Inlays und Onlays unter Verwendung der modifizierten Kriterien des United States Public Health Service nach Ryge & Cvar (1971) [27], zusammengestellt von S. P. Studer et al. (2000) [28].

| | |
|----------------------|---|
| 1) Marginal adaption | |
| A | Margin not discernible, probe does not catch, no discoloration visible |
| B | Probe catches on onlay margin but no gap; gap or chipping on probing, with enamel exposed, but polishable; slight discoloration visible, but polishable |
| C | Gap or chipping with dentin or liner exposed; distinct discoloration visible, not polishable, not acceptable, secondary caries |
| D | Partial fracture, fracture, luxation or mobile (loose) restoration, fracture of abutment tooth |
| 2) Anatomic form | |
| A | Correct contour with tight proximal contacts (checked with waxed dental floss) (exception: diastema situation), no wear facets on restoration, no wear facets on opposing teeth |
| B | Slightly under- or over-contoured, weak proximal contact; small wear facets on restoration, diameter ≤ 2 mm; and/or same on opposing teeth |
| C | Distinct under- or over contoured, missing proximal contact; large wear facets on restoration, diameter ≤ 2 mm; and/or same on opposing teeth |
| 3) Surface texture | |
| A | Smooth, glazed, or glossy surface |
| B | Slightly rough or dull surface |
| C | Surface with deep pores, rough, or unevenly distributed pits, cannot be refinished |

Eine B-Bewertung wurde als Überleben, nicht jedoch als Erfolg gewertet. Eine B-Bewertung erfolgte für Restaurationen mit geringfügigen Defekten, die die Zahnhartsubstanz, das Pulpa- oder Parodontalgewebe nicht gefährdeten oder die wegen Lockerungen wieder befestigt, in irgendeiner Weise repariert (z.B. poliert) oder geringfügig invasiv therapiert (bspw. kleine okklusale Deckfüllung bei einer Perforation) werden konnten. Die Kriterien waren: 1) Randschluss - Sonde verfängt sich am Rand der hnPCC, ohne Spalt; Spalt oder Abplatzungen beim Sondieren, mit freiliegendem Schmelz, aber polierbar; leichte Verfärbung sichtbar, aber polierbar; 2) Anatomische Form - leicht unter- oder überkonturiert, schwacher Approximalkontakt; kleine Abnutzungsfacetten an der Restauration, Durchmesser ≤ 2 mm und/oder gleiches an den Antagonisten; 3) Oberflächenbeschaffenheit - leicht raue oder stumpfe Oberfläche (Tab. 2).

Für eine C- oder D-Bewertung galt: 1) Randschluss - C: Spalt oder Chipping mit freiliegendem Dentin oder Zement; deutliche Dislokation sichtbar, nicht polierbar, nicht akzeptabel, Sekundärkaries; D: Teilfraktur, Fraktur, Luxation oder bewegliche (lose) Restauration, Fraktur des Pfeilerzahns; 2) Anatomische Form - C: Ausgeprägte Unter- oder Überkontur, fehlender Approximalkontakt, große Abnutzungsfacetten an der

Restauration, Durchmesser $\leq 2\text{mm}$ und/oder dasselbe an den Antagonisten; 3) Oberflächenbeschaffenheit - C: Oberfläche mit tiefen Poren, rau oder ungleichmäßig verteilten Grübchen, nicht nachpolierbar. Pfeilerzähne mit Primärkaries, endodontischer Behandlung oder Extraktionen, wurden generell mit C bewertet, und galten in dieser Studie über hnPCCs als Misserfolg (Tab. 2). Dies galt auch für hnPCCs die entfernt wurden, um als Pfeiler für neuen Zahnersatz (bspw. Brücken- oder Teleskopversorgungen) zu fungieren.

Zur Beurteilung der parodontalen Verhältnisse wurden die Taschentiefen an vier Stellen pro Zahn (mesio-bukkal, disto-bukkal, disto-lingual, mesio-lingual) gemessen (WHO-Sonde, E. Hahnenkratt GmbH, Königsbachstein, Deutschland) und bei Taschentiefen bis zu 4mm als gesund und somit erfolgreich eingestuft [29–31]. Zusätzlich wurden die Lockerungsgrade der Zähne nach den Kriterien von Miller [31] wie folgt kategorisiert: (0) "physiologische Mobilität", gemessen auf Kronenebene: der Zahn ist innerhalb der Alveole ca. 0,1-0,2mm in horizontaler Richtung beweglich; (I) erhöhte Mobilität der Zahnkrone: maximal 1mm in horizontaler Richtung; (II) visuell erhöhte Mobilität der Zahnkrone: mehr als 1mm in horizontaler Richtung; (III) starke Mobilität der Zahnkrone: sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung, die die Funktion des Zahns beeinträchtigen [31]. Die Bewertungen (0) und (I) wurden als Erfolg gewertet, wobei (II) nur als Überleben und (III) als Misserfolg gewertet wurde.

Des Weiteren mussten für eine Bewertung als Erfolg die Vitalitäts- und Perkussionstests unauffällig sein. Vitalitätstests wurden mit Schaumstoffpellets und Kältespray (Omnident Kältespray, Prisman GmbH, Lorsch, Deutschland) durchgeführt. Zähne, die vor einer prothetischen Behandlung wurzelkanalbehandelt wurden, wurden von den Vitalitätstests ausgeschlossen. Perkussionstests dienten dem Ausschluss apikaler Entzündungen und wurden in vertikaler und horizontaler Richtung mit einem dentalen Mundspiegel (MH1, HuFriedy, Chicago, USA) durchgeführt. Die Beurteilung beider Tests wurden vom Autor der Publikation H.D. dokumentiert. Hyper- und Hyposensibilitäten, Schmerzen oder ein auffälliger Klopfeschall führten zu weiterer Diagnostik. Diese umfasste beispielsweise Röntgenbilder bei Vorliegen von Beschwerden oder einem Verdacht auf apikale sowie parodontale Veränderungen. Die radiologische Diagnostik erfolgte nicht standardisiert bei jeder halbjährlichen Sitzung. Nur bei entsprechender Indikation wurden für weitere diagnostische Zwecke Röntgenbilder angefertigt. Dies umfasste ebenfalls die Diagnostik von Zähnen und Strukturen, welche für diese Studie nicht relevant waren.

Zusätzlich wurden die folgenden Parameter durch den Autor Rehm, P. in die statistische Auswertung mit einbezogen: (1) Geschlecht (männlich, weiblich), (2) Alter bei Eingliederung der hnPCCs; (3) Datum der Eingliederung der hnPCCs; (4) Lokalisation der hnPCCs auf jeweiligem Zahn (Eckzahn, erster/zweiter Prämolare, usw.), (5) Kiefer (Oberkiefer, Unterkiefer); (6) versorgter Quadrant (I, II, III oder IV); (7) Gesamtzahl der Restaurationen und (8) Datum der Nachuntersuchung. Für die statistische Analyse wurden die Patienten basierend auf der Anzahl der Fälle und der erhaltenen Restaurationen in vier gleich große Gruppen eingeteilt, um Aussagen über gegebenenfalls auftretende statistische signifikante Unterschiede zu ermöglichen. In die erste Gruppe wurden Patienten unter 37 Jahren aufgenommen, die zweite Gruppe umfasste Patienten im Alter zwischen 37 und 44 Jahren, die dritte Gruppe Patienten im Alter zwischen 44 und 51 Jahren und die vierte Gruppe Patienten im Alter von über 51 Jahren. Die Einteilung orientierte sich grob an der fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) [32], konnte aber aufgrund der ungleichmäßigen Verteilung der Fallzahlen nicht exakt übernommen werden. Für die Bewertung als erfolgreiche hnPCCs, mussten alle der oben definierten Studienparameter als „erfolgreich“ bewertet worden sein.

Nachdem die analogen Daten aus den Recall-Untersuchungen für die retrospektive Untersuchung anonymisiert wurden, erfolgte die Erfassung und Digitalisierung der erhobenen Ergebnisse in tabellarischer Form. Bei insgesamt 266 Patientenfällen mit 1325 hnPCCs wurden Daten wie das Geschlecht und Alter, der Zeitpunkt der Eingliederung und die Lokalisation der Restaurationen für die deskriptive Statistik erhoben. Die metrischen Variablen wurden als Mittelwerte und Mediane dargestellt, während die Streuungsmaße als Standardabweichungen und Quartile angegeben wurden. Die kategorisierten oder nominalen Daten wurden als absolute und relative Häufigkeiten angegeben. Erfolgsstatistiken wurden mit Kaplan-Meier-Analysen für die unterschiedlichen Faktoren Geschlecht, Alter, Zeitpunkt der Eingliederung und Lokalisation durchgeführt. Die so angefertigte Darstellung der gewonnenen Ergebnisse stellen das Risiko für den Verlust einer hnPCC in der jeweiligen Kategorie dar. Die am längsten beobachteten Patienten stehen am Ende der Kurve. Durch die reduzierte Anzahl an Patienten unter Risiko steigt auch die Unsicherheit der Schätzung für das Risiko zum späteren Zeitpunkt. Die Konfidenzintervalle werden breiter. Kontinuierliche Daten wurden nach Quartilen kategorisiert, so dass das Überleben in den vier Gruppen verglichen werden konnte (Geschlecht, Alter, Lage, Quadranten und Kiefer, Art der

Zähne). Mit dem Log-Rank-Test wurde der Einfluss der Co-Variablen (Geschlecht, Alter bei Eingliederung mit der hnPCC, Lokalisation, Anzahl) auf die Erfolgswahrscheinlichkeit verglichen. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Statistische Analysen wurden mit SPSS (Version 24.0, IBM, New York, USA) für Windows (Windows 10, Microsoft Corporation, Redmond, USA) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Zur Nachuntersuchung wurden im Zeitraum von 09/2016 bis 03/2017 1325 hnPCCs erfasst und anhand der in Material und Methoden geforderten Parameter untersucht. Diese 1325 hnPCCs wurden bei 266 Patienten zwischen 09/1983 und 09/2009 eingegliedert. Das mittlere Alter der Patienten betrug $44,5 \pm 10,7$ Jahre zum Zeitpunkt der Eingliederung. Nach einer mittleren Beobachtungszeit von $18,8 \pm 5,7$ Jahren waren von 1325 hnPCCs noch 1258 hnPCCs in situ (Abb. 2 und 3) was einer Gesamtüberlebensrate von 94,9% entspricht.

Einunddreißig Patienten wurden mit einer einzigen hnPCC (11,7%), 47 (17,7%) mit 2, 37 (13,9%) mit 3, 35 (13,2%) mit 4, 24 (9%) mit 5, 65 (24,4%) mit 6-10, 26 (9,8%) mit 11-15 und ein einzelner Patient mit 16 (0,4%) hnPCCs versorgt. Männer wurden mit 692 (52,2%) und Frauen mit 633 (47,8%) hnPCCs versorgt. Die Verteilung der hnPCCs auf die unterschiedlichen Zähne stellte sich dabei wie folgt dar: 1077 Molaren (81,3%), 246 Prämolaren (18,6%) und 2 Eckzähne (0,2%).

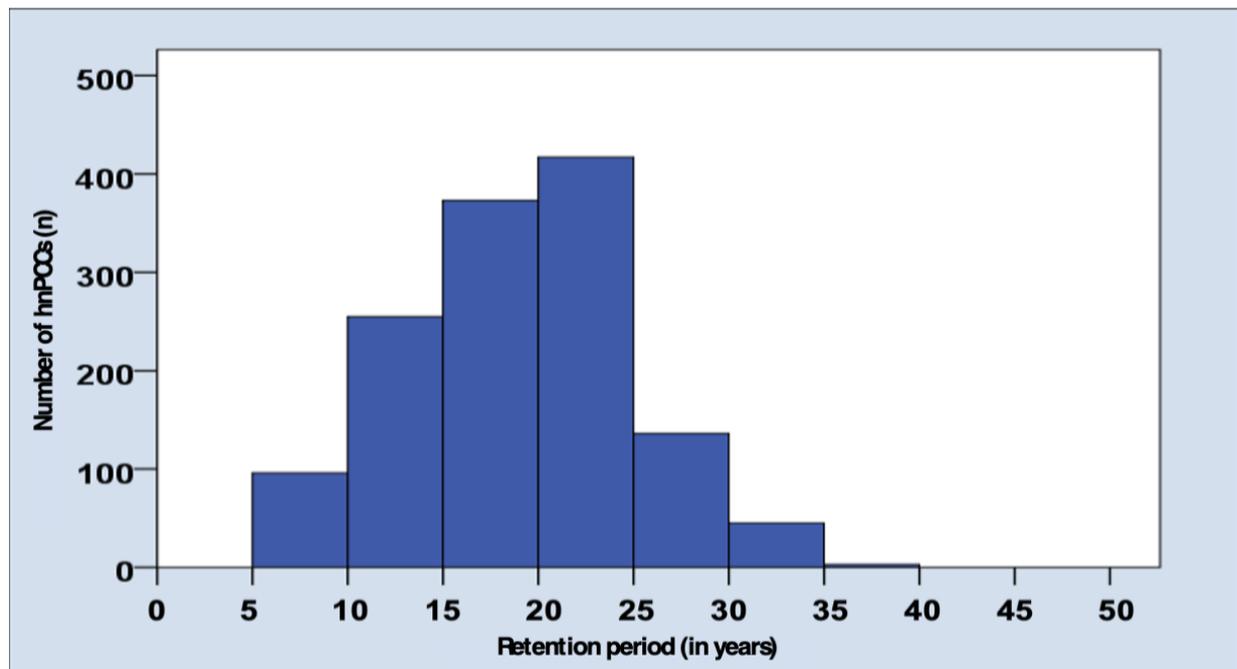


Abbildung 2: Balkendiagramm mit den Überlebensraten der untersuchten hnPCCs [1].

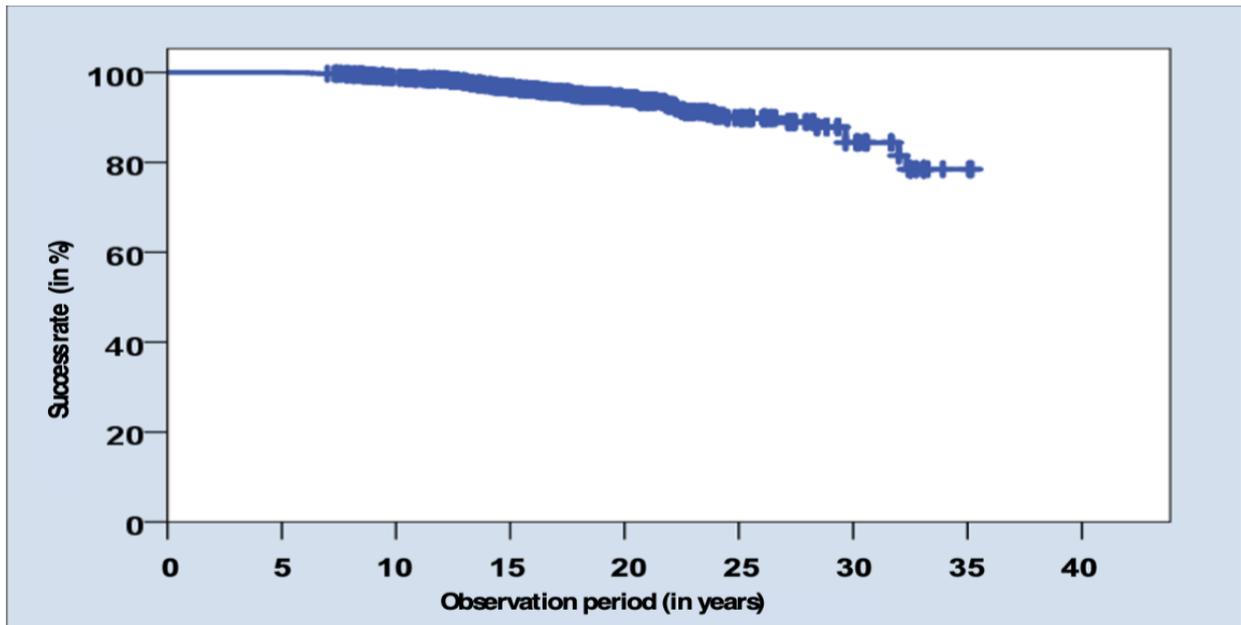


Abbildung 3: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse von hnPCCs über eine Zeitspanne von bis zu 35 Jahren. Zensierte Probanden sind in der Kurve durch Striche gekennzeichnet [1].

Die zweiten Molaren wurden am häufigsten mit einer hnPCC versorgt ($n = 564$, 42,6%), gefolgt von den ersten Molaren ($n = 421$, 31,8%). Dritte Molaren ($n = 92$, 6,9%) waren die am seltensten restaurierten Molaren. Die Verteilung auf Prämolaren war wie folgt: 85 erste Prämolaren (6,4%) und 161 zweite Prämolaren (12,2%). Eckzähne wurden zweimal restauriert (0,2%), um die Eckzahnführung wiederherzustellen (Tab. 3).

In Bezug auf die Lokalisation in den unterschiedlichen Quadranten ergab sich folgende Aufteilung: I. Quadrant $n = 336$ (25,4%), II. Quadrant $n = 332$ (25,1%), III. Quadrant $n = 330$ (24,9%) und im IV. Quadranten $n = 327$ (24,7%) hnPCCs. Daraus lässt sich ableiten, dass im Oberkiefer $n = 668$ (50,4%) und im Unterkiefer $n = 657$ (49,6%) Zähne mit hnPCCs versorgt wurden. Für die Aufteilungen in die vier unterschiedlichen Altersklassen wurden in der Gruppe der <37-Jährigen $n = 335$ (25,3%), bei den 37–44-Jährigen $n = 328$ (24,8%), in der Gruppe der 44–51-Jährigen $n = 330$ (24,9%) und bei den >51-Jährigen $n = 332$ (25,0%) hnPCCs eingegliedert (Tab. 3).

Tabelle 3: Einfluss der verschiedenen Variablen auf die Erfolgsraten der hnPCCs in absoluten Zahlen und in Prozent [1]. Abwandlung und Übersetzung durch den Autor Rehm, P.

| Variablen | Gesamtzahl hnPCCs | Prozent | Erfolgsraten | |
|----------------------|-------------------|----------|---------------------------------|--------------|
| | | | Gesamtzahl erfolgreicher hnPCCs | Prozent % |
| Geschlecht | | | | |
| männlich (132) | 692 | 52.2% | 652 | 94.2% |
| weiblich (134) | 633 | 47.8% | 592 | 93.5% |
| Altersgruppen | | | | |
| < 37 | 335 | 25.3% | 304 | 90.7% |
| 37 – 44 | 328 | 24.8% | 313 | 95.4% |
| 44 – 51 | 330 | 24.9% | 318 | 96.4% |
| > 51 | 332 | 25.0% | 309 | 93.1% |
| Lokalisation | | | | |
| Eckzahn | 2 | 0.2% | 2 | 100.0% |
| 1. Prämolare | 85 | 6.4% | 79 | 92.9% |
| 2. Prämolare | 161 | 12.2% | 154 | 95.7% |
| 1. Molare | 421 | 31.8% | 394 | 93.6% |
| 2. Molare | 564 | 42.6% | 530 | 94.0% |
| 3. Molare | 92 | 6.9% | 85 | 92.4% |
| Kiefer | | | | |
| Oberkiefer | 668 | 50.4% | 630 | 94.3% |
| Unterkiefer | 657 | 49.6% | 614 | 93.5% |
| Quadranten | | | | |
| I. | 336 | 25.4% | 312 | 92.9% |
| II. | 332 | 25.1% | 318 | 95.8% |
| III. | 330 | 24.9% | 307 | 93.0% |
| IV. | 327 | 24.7% | 307 | 93.9% |
| Total | 1325 | - | 1244 | 93.9% |

Von 1325 hnPCCs und deren Pfeilerzähnen zeigten 81 (6,1%) Komplikationen nach einer durchschnittlichen Verweildauer von $16,2 \pm 6,2$ Jahren. Vierzehn (17,3%) Restaurationen mit Komplikationen, die nicht die geforderten Kriterien erfüllten waren lediglich dezementiert und konnten ohne weiteren Aufwand wieder rezementiert werden. Diese Restaurationen wurden laut den modifizierten USPHS-Kriterien nicht als erfolgreich eingestuft, konnten aber in die Berechnung der Überlebensrate einbezogen werden. Die häufigsten Komplikationen waren parodontale Probleme bei $n = 29$ Zähnen (35,8%), die zu Extraktionen führten. Weitere Gründe für Misserfolge waren Perforationen (12,3%, $n = 10$), Karies (9,9%, $n = 8$), eine notwendige endodontische Behandlung nach Eingliederung (9,9%, $n = 8$), Sekundärkaries (8,6%, $n = 7$), Hemisektionen (4,9%, $n = 4$) oder eine Zahnfraktur (1,2%, $n = 1$, Abb. 4). Zwei der kariösen Zähne und der frakturierte Zahn mussten entfernt werden, was zum Verlust von insgesamt 32 versorgten Zähnen (2,4%) führte.

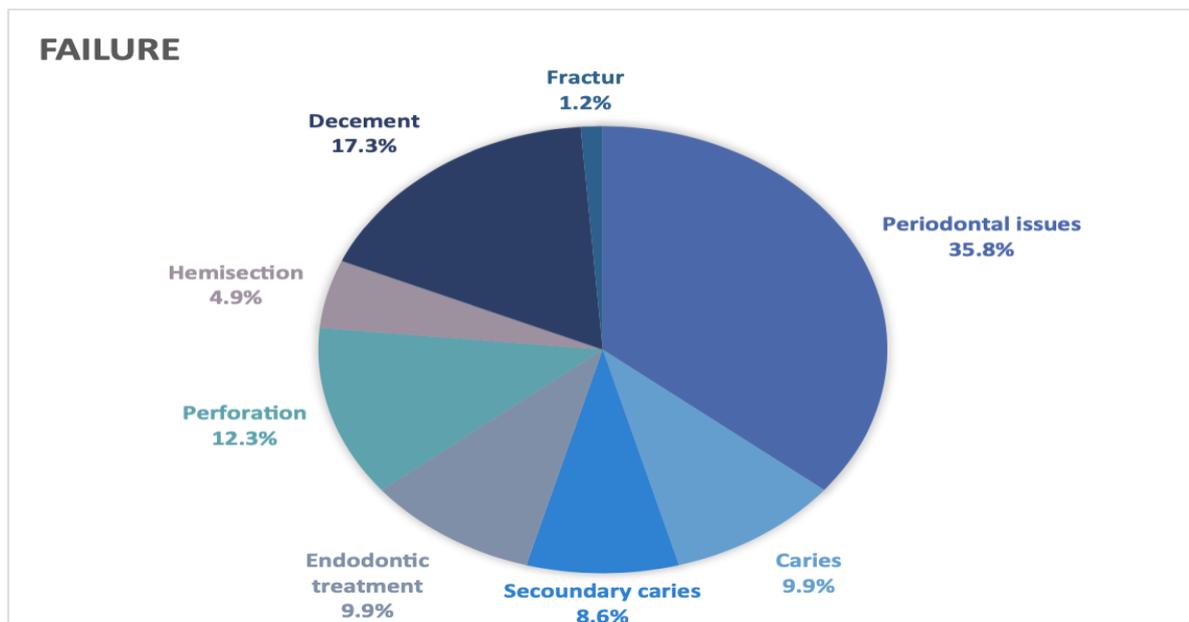


Abbildung 4: Kreisdiagramm zu den verschiedenen Gründen für den Verlust der untersuchten hnPCCs [1].

1244 hnPCCs erfüllten die definierten Erfolgsvoraussetzungen hinsichtlich der (1) restaurations-; (2) parodontal- und (3) zahnbezogenen Kriterien. Dies ergab eine Gesamterfolgsrate von 93,9% nach einer mittleren Beobachtungszeit von $18,8 \pm 5,7$ Jahren. Die untersuchten Parameter, die im Abschnitt "Material und Methoden"

beschrieben sind, zeigten unterschiedliche Auswirkungen auf die einzelnen Erfolgsraten (Tab. 3).

Für den Erfolg stellte das Geschlecht keinen statistisch signifikanten Einfluss ($p = 0,961$) hinsichtlich der Erfolgsrate dar. Bei Männern zeigten 40 hnPCCs und bei Frauen 41 hnPCCs Komplikationen und konnten daher nicht als Erfolg gewertet werden. Die dokumentierten Erfolgsraten betragen 94,2% bei den Männern und 93,5% bei den Frauen. Nach einem Beobachtungszeitraum von mehr als 30 Jahren nahm die kumulierte Erfolgsrate bei Frauen zwar stärker ab, stellte aber keinen statistisch signifikanten Unterschied dar (Abb. 5).

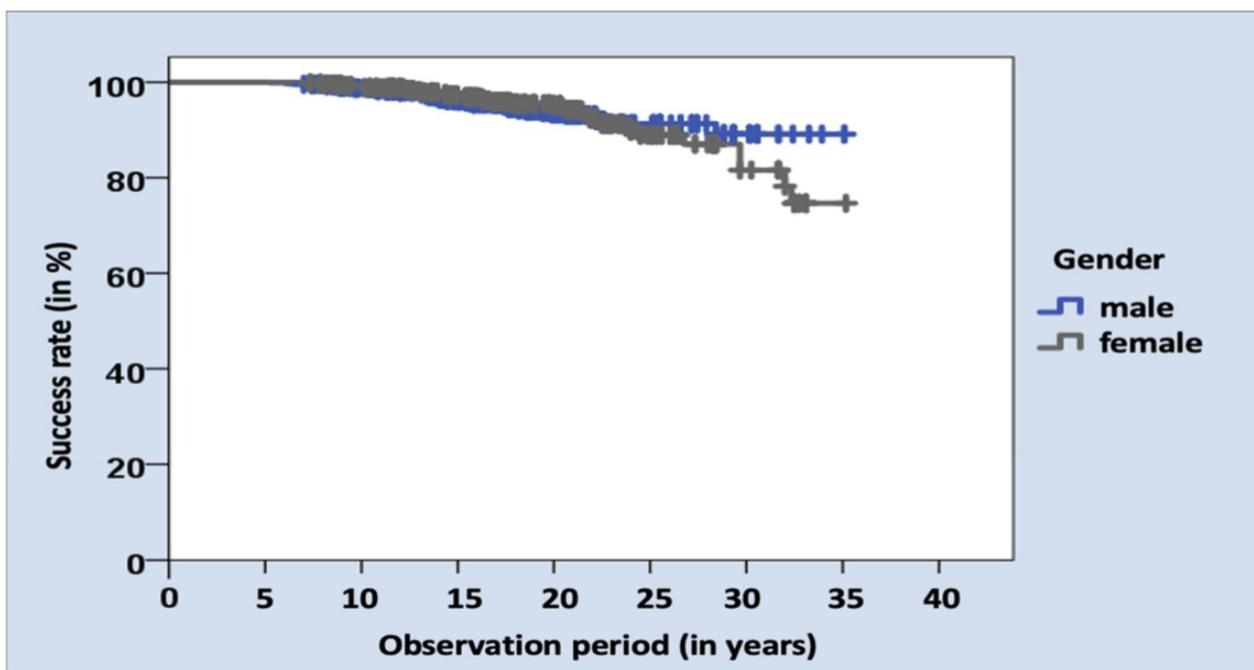


Abbildung 5: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse der hnPCCs bei den unterschiedlichen Geschlechtern und deren Erfolgsraten in Prozent in Jahren [1].

Die Erfolgsrate für die beiden mit hnPCCs versorgten Eckzähne lag bei 100%. Aufgrund der statistisch zu vernachlässigen Aussagekraft der geringen Anzahl, wurden die Eckzähne in den weiteren Untersuchungen und Auswertungen jedoch außer Acht gelassen. Zweite Prämolaren zeigten die höchsten Erfolgsraten mit 95,7%, dicht gefolgt von zweiten Molaren mit einer Erfolgsrate von 94,0%. Hier gilt es zu differenzieren, dass sich die Fallzahlen der zweiten Prämolaren ($n = 161$, 12,1%) im Gegensatz zu denen der zweiten Molaren ($n = 564$, 42,6%) enorm unterscheiden.

Erste Molaren zeigten eine Erfolgsrate von 93,6 %, erste Prämolaren von 92,9 % und dritte Molaren von 92,4 %. Die unterschiedlichen Erfolgsraten, für die jeweils

versorgten Zähne, stellten keinen statistisch signifikanten Unterschied dar ($p = 0,475$). Allerdings nahm auch hier die kumulierte Erfolgsrate, in diesem Fall für die dritten Molaren, nach etwa 30 Jahren stark ab (Abb. 6).

Weiterhin gab es keinen signifikanten Unterschied in den Erfolgsraten von hnPCCs im Oberkiefer ($n = 38$ Misserfolge, Erfolgsrate 94,3%) und im Unterkiefer ($n = 43$ Misserfolge, Erfolgsrate 93,5%, $p = 0,515$, Abb. 7).

Die Lokalisation der eingegliederten hnPCCs in Bezug auf die 4 unterschiedlichen Quadranten (I - IV) hatte ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Erfolgsraten ($p = 0,435$). Im ersten Quadranten zeigten $n = 24$ Restaurationen Komplikationen (Erfolgsrate 92,9%), im zweiten Quadranten $n = 14$ (Erfolgsrate 95,8%), im dritten Quadranten $n = 23$ (Erfolgsrate 93,0%) und im vierten Quadranten $n = 20$ (Erfolgsrate 93,9%, Abb. 8).

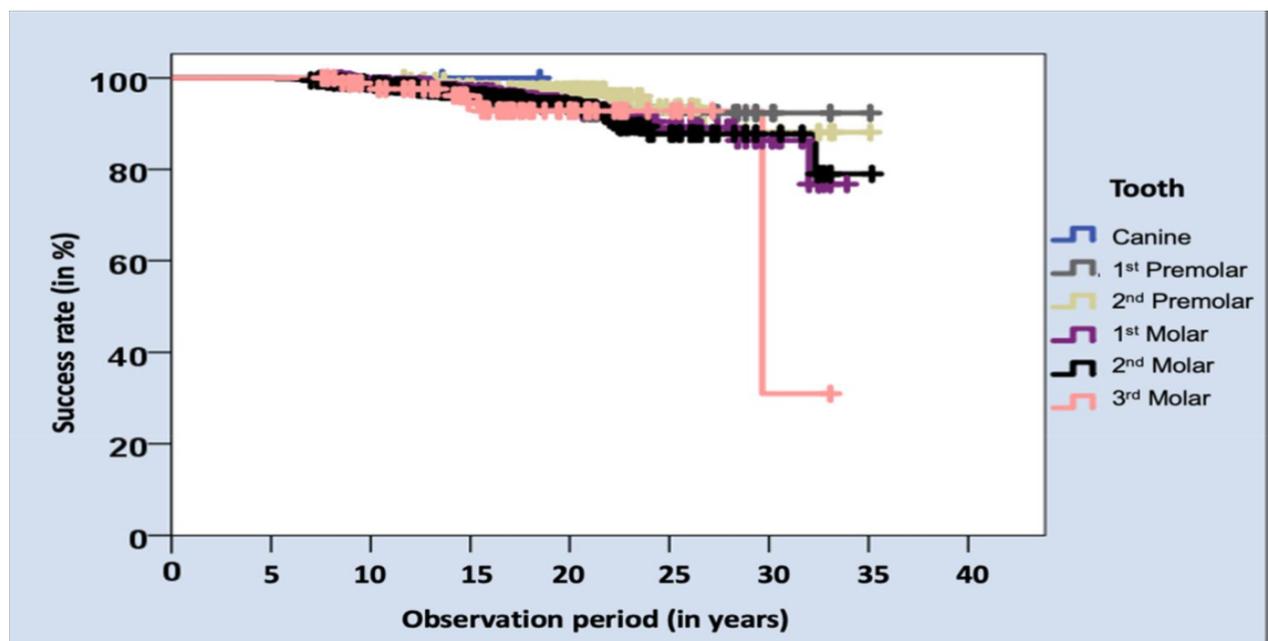


Abbildung 6: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse hinsichtlich der Erfolgsraten von hnPCCs bei der Versorgung der unterschiedlichen Zähne nach einem Beobachtungszeitraum von bis zu 35 Jahren [1].

Die Kaplan-Meier-Überlebensanalysen (Abb. 7 und 8) zeigen, dass die Erfolgsraten der hnPCCs im Unterkiefer nach einem Beobachtungszeitraum von 30 Jahren im Vergleich zu den anderen Gruppen, welche den Oberkiefer betreffen, deutlich abnahmen. Es konnte jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied berechnet werden (Unterkiefer zu Oberkiefer $p = 0,515$, I - IV Quadrant $p = 0,435$).

Die Erfolgsraten von hnPCCs für die unterschiedlichen Altersgruppen zeigten signifikante Unterschiede. Restaurationen von Patienten die jünger als 37 Jahre (Erfolgsrate 90,7%) und Patienten die älter als 51 Jahre waren (Erfolgsrate 93,1%) offenbarten statistisch signifikante ($p = 0,012$) schlechtere Erfolgsraten als Patienten in den dazwischenliegenden Altersgruppen (Erfolgsraten 95,4% und 96,4%). Patienten <37 Jahre hatten in 31 Fällen Komplikationen an Zähnen, die mit hnPCCs versorgt wurden. Patienten zwischen 37 und 44 Jahren mit 15 hnPCCs, Patienten im Alter zwischen 44 und 51 Jahren in 12 Fällen und Patienten >51 Jahre in 23 Fällen (Tab. 3, Fig. 9).

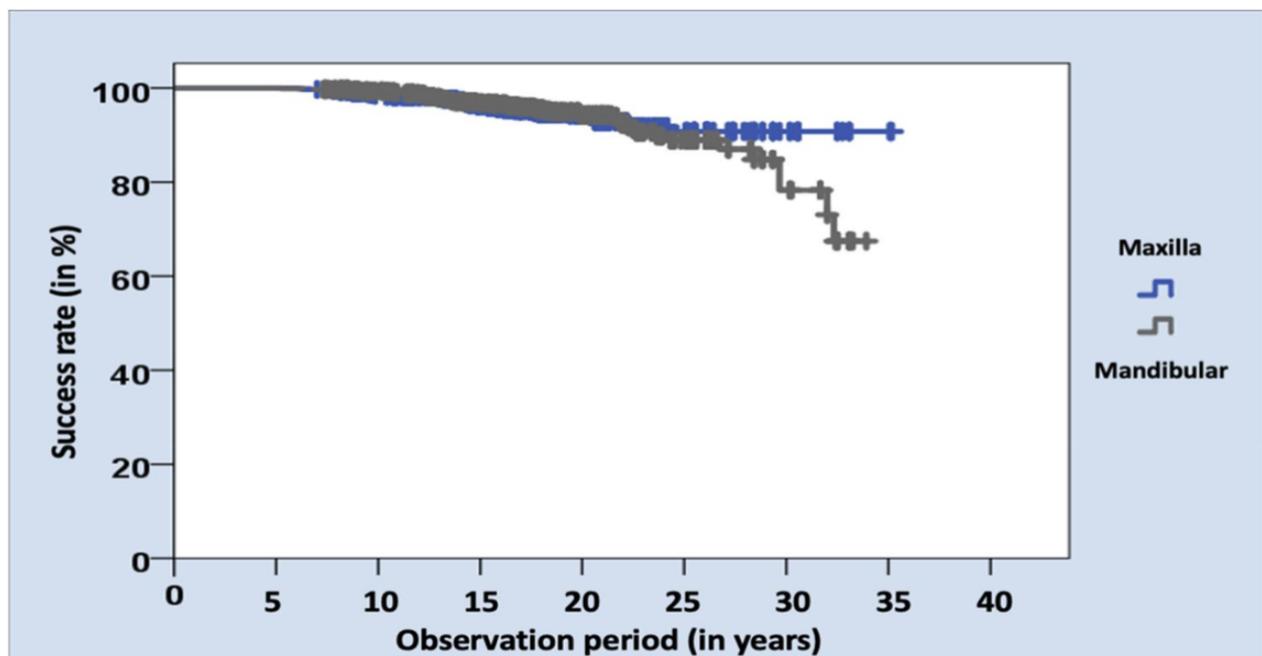


Abbildung 7: Kaplan-Meier-Überlebensrate hinsichtlich der Erfolgsraten von hnPCCs bei unterschiedlicher Verteilung im Ober- und Unterkiefer nach einem Beobachtungszeitraum von bis zu 35 Jahren [1].

Neben der Gesamterfolgsrate von 93,9% sind auch die kumulativen Erfolgsraten von Interesse. Die Erfolgsrate nach 10 Jahren betrug 98,9%, nach 15 Jahren 96,7%, nach 20 Jahren 93,9%, nach 25 Jahren 87,5% und nach 30 Jahren 78,5% für hnPCCs. In der vorliegenden Studie wurden dabei 92,7% der Patienten in der Studienpraxis länger als 10 Jahre klinisch begleitet.

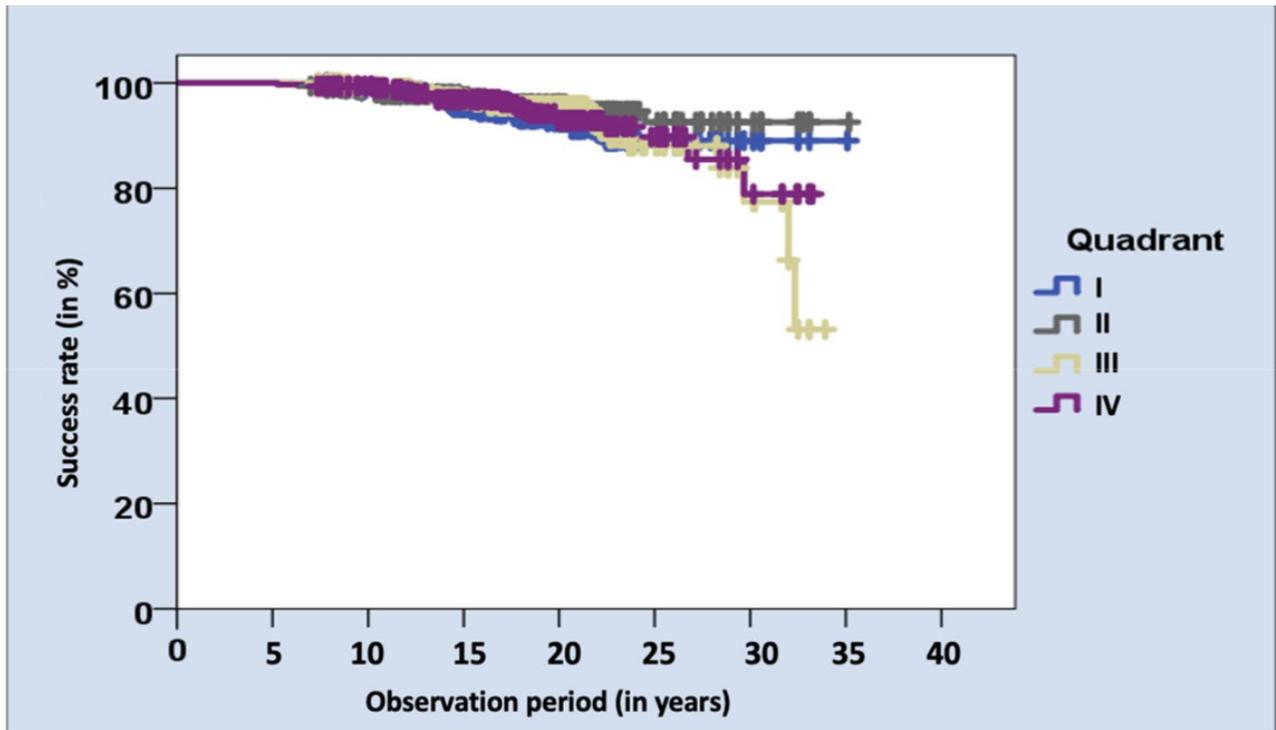


Abbildung 8: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse hinsichtlich der Erfolgsraten der untersuchten hnPCCs in allen vier unterschiedlichen Zahnquadranten [1].

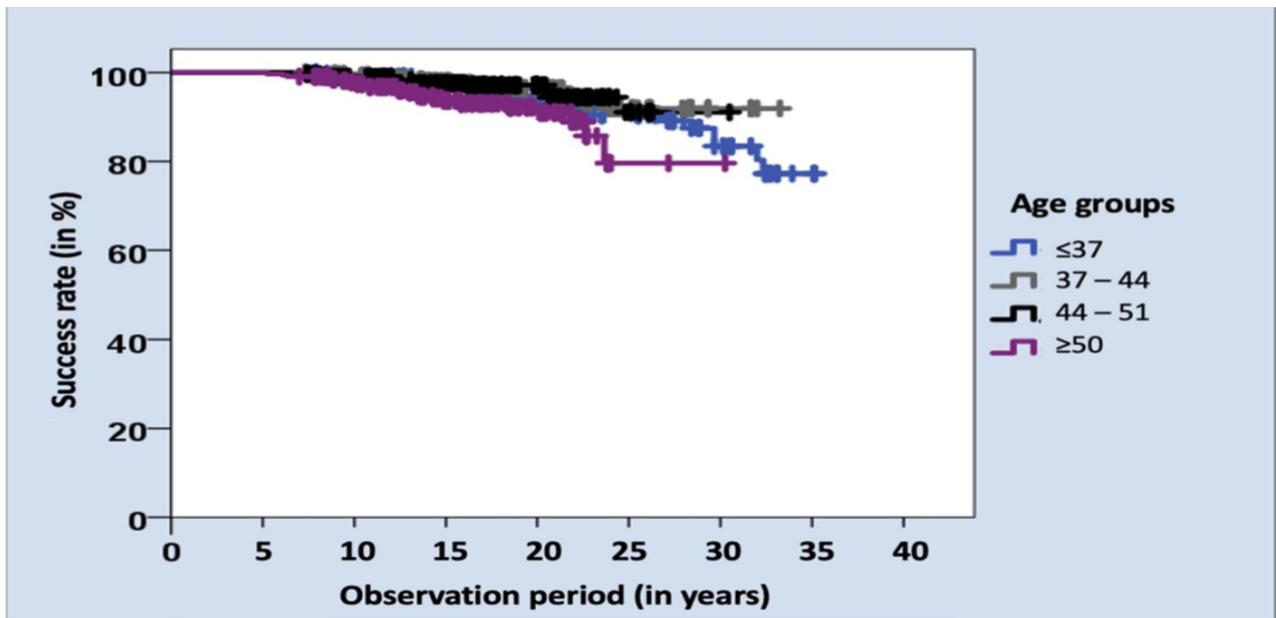


Abbildung 9: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse hinsichtlich der Erfolgsraten der untersuchten hnPCCs in den jeweiligen Altersgruppen [1].

4 Diskussion

4.1 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden die Überlebens- und Erfolgsraten von 1325 hnPCCs ausgewertet. Nach einem mittleren Beobachtungszeitraum von $18,8 \pm 5,7$ Jahren wurde eine Überlebensrate von 94,9% und eine Erfolgsrate von 93,9% ermittelt. Dabei zeigten 92,7% der untersuchten hnPCCs eine regelmäßige Nachbeobachtung von über 10 Jahren. Selbst die hnPCCs, für die Misserfolge dokumentiert werden mussten, wiesen im Mittel eine Verweildauer von $16,2 \pm 6,2$ Jahren auf. Diese Ergebnisse bestätigen die aufgestellte Arbeitshypothese.

4.2 Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand

Die vorhandene Literatur ermöglicht dem Praktiker kaum eine evidenzbasierte Entscheidung zu Gunsten einer bestimmten restaurativen Therapie mit möglichst hohem Langzeiterfolg zu treffen. Wenig Studien überschreiten einen Nachbeobachtungszeitraum von 10 Jahren (Tab. 4) und weisen daneben eine eher geringe Fallzahl, keine Homogenität bezüglich der verwendeten Materialien, kein einheitliches Behandlungsprotokoll und teilweise unterschiedliche Behandler auf [17,23,24,26,28]. Die in Tab. 4 aufgeführten Studien zu metallischen Restaurationen dokumentieren dabei eine mittlere Erfolgsrate von 80% bei einer durchschnittlichen Fallzahl von 234 Restaurationen nach im Mittel 9,2 Jahren. Im Vergleich dazu liegt die Erfolgsrate in dieser Studie bei 93,9% mit 1325 nachuntersuchten hnPCCs und einer mittleren Beobachtungszeit von 18,8 Jahren. Dieser Erfolg könnte durch das hochspezialisierte, erfahrene und in den Behandlungsabläufen eingespielte Team und das ausgereifte Behandlungskonzept erklärt werden. Denn andere Studien (Tab. 4) dokumentieren im Vergleich verschiedene Zahnärzte, Zahntechniker, Materialien und Präparationsdesigns [23]. Es wurde dabei häufig nicht deutlich, nach welcher Methodik die Präparationen erfolgten und ob die im Labor verwendeten Materialien einheitlich gewählt wurden. Ein regelmäßiger Recall der Patienten wurde dabei auch häufig nicht beschrieben [23,33]. Aufgrund dieser Punkte ist eine Standardisierung der Auswertungen und damit die Vergleichbarkeit der einzelnen Studien auch kritisch zu

betrachten. Die Ergebnisse sollten also mit Blick auf die untersuchten Parameter bewertet und eingeordnet werden.

Die Einschlusskriterien für die Berücksichtigung in dieser Studie waren: (1) die Versorgung mit mindestens einer hnPCC im Zeitraum zwischen 09/1983 und 09/2009 in der Studienpraxis; (2) eine mindestens zwei Mal jährlich erfolgte Kontrolluntersuchung; (3) je nach Notwendigkeit regelmäßige professionelle Zahnreinigungen (PZR) oder unterstützende Parodontitis-Therapien (UPT) [26]. Die Auswertung von so umfangreichen Patientendaten auf dieser Grundlage war nur möglich, weil die Patiententreue zu ihrem Behandler in Deutschland sehr hoch ist [44]. Besonders in ländlichen Regionen, wie der der privaten Studienpraxis, liegt die Patiententreue bei etwa 90% [44]. Die hohe Anzahl an nachuntersuchten Restaurationen in insgesamt 266 Patienten in Kombination mit einem sehr langen Beobachtungszeitraum erlaubt eine genauere Aussage hinsichtlich der Erfolgs- und Überlebenswahrscheinlichkeiten von Teilkronen aus hochedlen Metallegierungen.

Tabelle 4: Vergleichsstudien über die Überlebens-/Erfolgsraten von metallischen Restaurationen [1]. Abwandlung und Übersetzung durch den Autor Rehm, P.

| Autoren/Publicationen | Anzahl der untersuchten Restaurationen n | Durchschnittliche Untersuchungszeit (in Jahren) | Erfolgsraten (in %) und absolute Zahlen |
|---|---|--|--|
| Creugers et al. 1990 [34] | 203 | 5.0 | 62% (126) |
| Creugers et al. 1992 [35] | 203 | 7.5 | 75% (153) |
| Barrack and Bretz et al. 1993 [36] | 127 | 5.8 | 93% (118) |
| Samama et al. 1996 [37] | 145 | 5.7 | 83% (134) |
| Studer et al. 2000 [28] | 303 | 18.7 | 86% (261) |
| Aggstaller et al. 2008 [38] | 84 | 6.3 | 77% (72) |
| Opdam et al. 2011 [39] | 22 | 7.0 | 68% (18) |
| Botelho et al. 2014 [40] | 211 | 9.4 | 84% (278) |
| King et al. 2015 [41] | 771 | 13.0 | 81% (619) |
| Tanoue et al. 2016 [42] | 311 | 13.9 | 73% (327) |
| Najafi et al. 2016 [43] | 198 | 8.5 | 69% (137) |
| This study [1] | 1325 | 18.8 | 93.9% (1244) |

Den „klassischen“ metallischen Restaurationen stehen dabei keramische Restaurationen entgegen. Aus Studien geht hervor, dass mittlerweile vergleichbare Erfolge mit keramischen Teilkronen (engl.: ceramic partial-coverage crowns, cPCCs) erzielt werden können [45–47]. Eine gute Übersicht über die Erfolgsraten von cPCCs aus diversen Studien gewährt die Meta-Analyse von Morimoto et al. [45]. In dieser werden 14 Studien zu keramischen Restaurationen aus einem Zeitraum zwischen 1983 bis 2014 ausgewertet. Die gesammelten Ergebnisse in dieser Meta-Analyse beschrieben eine Erfolgsrate von 95% nach 5 Jahren und 91% nach 10 Jahren. Alle inkludierten Studien beinhalteten in-vivo Untersuchungen mit nicht vorselektierten Patienten, welche über mindestens 5 Jahre regelmäßig an Recall-Untersuchungen teilnahmen. Dabei wurde nicht klar definiert, welcher Zeitabstand als „regelmäßig“ definiert wird. Auch hier gilt es bei den Studien [45] kritisch auf die enormen Varianzen im Studienaufbau, bei den verwendeten Materialien (Adhäsivsysteme, Abdruckmaterial, verschiedene Keramiken) und der unterschiedlichen Nachbeobachtungszeit zu achten. Besonders die sich stetig weiterentwickelnden Adhäsivsysteme [48,49] erschweren eine adäquate Vergleichbarkeit. Dabei wurde bereits beschrieben, dass die adhäsive Befestigung ein entscheidender Faktor für den Erfolg von keramischen Restaurationen sein kann [45].

Die adhäsiven Befestigungsmaterialien haben sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiter entwickelt und verbessert [48,49]. So wird unter anderem angenommen, dass die moderneren, selbstkonditionierenden „Ein-Flaschen“ Adhäsivsysteme ein geringeres Risiko von postoperativen (Hyper-) Sensibilitäten bergen [19]. Kritisch beleuchtet werden muss jedoch weiterhin die obligate Trockenlegung bei der Verwendung adhäsiver Befestigungen. Liegt der Präparationsrand subgingival ist eine absolute Trockenlegung häufig nur erschwert, oder gar nicht möglich. Durch eine sogenannte „margin elevation“ kann mithilfe einer Kompositfüllung der subgingival liegende Kavitätenrand zwar auf ein supragingivales Niveau angehoben werden, in der Literatur kann jedoch nach aktuellem Stand der Forschung keine evidenzbasierte Empfehlung für oder gegen diese Technik ausgesprochen werden [50].

Trotz der hohen Erfolgsraten von 95% nach 5 Jahren und 91% nach 10 Jahren für keramische Restaurationen [45], ist die in dieser Studie dokumentierte Erfolgsrate von 93,9% für hnPCCs nach einer durchschnittlichen Beobachtungszeit von $18,8 \pm 5,7$ Jahren noch höher. Zum Vergleich: nach 5 Jahren, wie in den Studien der Meta-

Analyse von Morimoto et al. [45], liegen die Erfolgsraten in dieser Studie bei 100% und nach 10 Jahren bei 98,9%. Es gab nur drei Studien in Morimotos untersuchten Arbeiten [45] mit einem Beobachtungszeitraum von 15 Jahren. Die in diesen Studien genannten Erfolgsraten waren 81,5 % (Beier et al., 2012), 88,7 % (Otto und Schneider, 2008) und 89 % (Reiss, 2006) [45]. Die Tatsache, dass in dieser Studie nur Patienten mit regelmäßigen Nachuntersuchungen und/oder Reinigungen alle 6 Monate eingeschlossen wurden, zeigt eine hohe Compliance. Dies kann als positiver Einfluss auf die dokumentierten Überlebens- und Erfolgsraten angesehen werden und sollte auch als Verzerrung/Beeinflussung diskutiert werden. Eine Verzerrung der Ergebnisse ergibt sich insofern, als dass Patienten, die nicht an regelmäßigen Nachuntersuchungen teilgenommen haben, sofort ausgeschlossen wurden. Der Ausschluss eben dieser Patienten kann dazu führen dass die Ergebnisse positiv beeinflusst wurden.

4.3 Interpretation der Ergebnisse

Nicht unerwähnt sollte das in der Studie verwendete Abformmaterial bleiben. Bei Hydrokolloiden handelt es sich, um reversibel-thermoplastische Abformmaterialien. Einen großen Vorteil stellt die Hydrophilie der Hydrokolloide für den Gebrauch der intraoralen Abformungen dar. Besonders bei Abformungen der meist epi- bis subgingivalen Präparationsränder kommt es innerhalb der Sulci häufig zur erschwerten Trockenlegung. Dies kann vor allem bei anderen Abformmaterialien zu Problemen wie nicht vollständig dargestellte Präparationsränder führen. Bei den Hydrokolloiden ist diese Feuchtigkeit weniger problematisch und es können auch unter Feuchtigkeit hochpräzise Abformungen erzielt werden. Es gilt dabei allerdings zu berücksichtigen, dass die Verarbeitung von Hydrokolloid einen hohen apparativen Aufwand verlangt. Spezielle Abformlöffel müssen über Schläuche erst für die Verarbeitung erwärmt und anschließend für das Erstarren des Materials gekühlt werden. Dies stellt einen wesentlich höheren und techniksensitiveren Aufwand als alternative Abformmaterialien wie Silikone oder Polyether dar. Das Ausgießen muss außerdem innerhalb kürzester Zeit erfolgen, da es ansonsten zu Schrumpfungen kommt. Dies limitiert Praxen, welche über kein eigenes Labor verfügen, da für den Transport zum Fremdlabor spezielle Transportboxen mit einer entsprechenden Kühlvorrichtung benötigt werden.

Weitere Aufmerksamkeit sollte der verwendeten Legierung und ihren Materialeigenschaften gewidmet werden. In dieser Studie wurde Degulor M (eine

hochedle Metalllegierung) für die Herstellung aller hnPCCs verwendet. Die Duktilität von Goldlegierungen scheint einen entscheidenden Einfluss auf die Erfolgswahrscheinlichkeit zu haben. Es wird angenommen, dass Restaurationen aus hochedlen Goldlegierungen dem Härtegrad des natürlichen Schmelzes ihrer Antagonisten entsprechen und somit eine okklusale Stressreduktion gewährleisten [8]. Aufgrund der Eigenschaft von Gold, sich unter Scherspannung dauerhaft plastisch zu verformen, bevor es bricht, sind Spannungsfrakturen, wie sie bei keramischen Restaurationen auftreten können, nicht vorhanden. Auch bei dem möglichen Verschleiß von adjustierten Front-Eckzahn-Führungen wird angenommen, dass die Duktilität von Gold im Gegensatz zu keramischen Okklusalflächen zu weniger Hyperbalancen führt [10]. Ebenso wird davon ausgegangen, dass eine Restauration mit cPCCs im Seitenzahnbereich durch eine intakte Front-Eckzahn-Führung geschützt ist. Bei natürlicher Abrasion dieser Führung über Jahrzehnte ist dieser Schutz jedoch nicht mehr gegeben [8].

Darüber hinaus ist der Erfolg von hnPCCs von der Präparation und dem Restaurationsdesign abhängig. Besonderes Augenmerk wurde auf die Präparationsgestaltung gelegt und darauf, so viel Zahnschubstanz wie möglich zu erhalten. Es wurden abgeschrägte Präparationskanten verwendet, um Zementspalten zu minimieren [51]. Des Weiteren sollten okklusale Kontakte am Restaurationsrand vermieden werden, da dies eine erhöhte Frakturanfälligkeit mit sich bringt [2]. Die Abdeckung aller Höcker und damit der gesamten Okklusalfäche scheint die Stabilität der Restauration zu erhöhen, und die Restzahnschubstanz ist weniger von prismatischen Frakturen betroffen [23,52] (Abb. 1e). Diesbezüglich wären weitere Untersuchungen wünschenswert, um zu evaluieren in wie weit dies gleichermaßen für hnPCCs und cPCCs gilt.

Der Hauptgrund für eine Einstufung als erfolglose Restauration bei den hnPCCs waren parodontale Probleme. Diese Studie dokumentierte, dass die Erfolgsraten nach einem mittleren Alter von 51 Jahren signifikant schlechter wurden, wenn man die verschiedenen Altersgruppen miteinander vergleicht ($p = 0,012$, Tab. 3). Parodontale Erkrankungen nehmen mit dem Alter zu [53] und führen zu Zahnverlust durch Attachmentverlust, was wiederum zum Verlust der dazugehörigen Restaurationen führt. Ein höheres Alter als entscheidender Faktor für Misserfolge könnte darauf zurückzuführen sein, dass Patienten im oberen Quartil aufgrund motorischer Einschränkungen nicht mehr in der Lage sind, eine adäquate Mundhygiene zu

betreiben. Eine plausible Erklärung für die geringeren Erfolgsraten bei Patienten unter 37 Jahren ist dagegen schwieriger. Eine Vermutung könnte sein, dass junge Patienten, die bereits so früh mit Zahnersatz versorgt werden, sich ungesund ernähren (hoher Anteil an gesüßten Nahrungsmitteln und „fast food“) und/oder zusätzlich unter schlechterer Mundhygiene leiden und deswegen bereits in jungen Jahren Restaurationen benötigen. Entgegen der Misserfolgsgründe von hnPCCs in dieser Studie, zeigen die Auswertungen in klinischen Studien zu cPCCs, dass Chipping von Verblendkeramiken der häufigste Grund für Misserfolge war [15,16,18,45–47,54]. Es wurde auch beschrieben, dass Bruxismus und die fehlende Beteiligung von Höckern die Überlebensrate von cPCCs im Vergleich zu hnPCCs negativ beeinflussen [55–57].

4.4 Stärken und Schwächen der Studie

Die Ergebnisse dieser Studie stellen einen Mehrwert für den klinischen Alltag dar und verdeutlichen eine sehr gute Langzeit-Prognose für Teilkronen aus hochedlen Legierungen. Einschränkungen dabei sind hohe klinische Standards die der Kliniker einhalten muss und ein konsequentes Behandlungskonzept. Die Tatsache, dass in dieser Studie alle Schritte von der Diagnose bis zur Restauration von einem einzigen Zahnarzt und einem einzigen Zahntechniker in einer privat geführten Zahnarztpraxis durchgeführt wurden, muss auch als kritische Beeinflussung (Bias) diskutiert werden. Die Bewertung der eigenen Arbeit kann im Konflikt mit der notwendigen Objektivität stehen und so die Ergebnisse zusätzlich beeinflussen. Der Einbezug eines oder mehrerer externer Gutachter wäre wünschenswert gewesen, um objektivierbare Ergebnisse mit besserer Übertragbarkeit präsentieren zu können. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Ergebnisse in Studien mit verschiedenen Behandlern stets schlechter waren [23,28].

Eine retrospektive Untersuchung ist abhängig von der Auswahl und Dokumentation der vorhandenen Daten. Für die einzelnen Fälle wurden weniger Daten als ursprünglich gewünscht in den Aufzeichnungen dokumentiert und konnten daher nicht ausgewertet werden. So wäre eine mögliche Untersuchung der Passgenauigkeit des Randschlusses mit entsprechenden Mitteln (Innenabdruck der Approximalräume und anschließende mikroskopische Auswertung) beispielsweise eine zusätzliche Option für die Auswertungen gewesen. Außerdem war es aufgrund des Studiendesigns nicht möglich, nachträglich Studienkriterien zu ändern, unterschiedliche

Behandlungskonzepte zu bewerten oder eine Kontrollgruppe mit einzubeziehen. Der Vergleich zu Überlebensraten von cPCCs beim selben Patienten in Form einer Split-Mouth-Studie wäre für eventuelle zukünftige Untersuchungen eine Möglichkeit. Allerdings können nur Studien mit Reproduzierbarkeit, hohen Fallzahlen und einem möglichst langen Beobachtungszeitraum Auskunft über die Langzeitprognosen von Behandlungskonzepten geben.

5 Schlussfolgerungen

Für die Untersuchten Einflussfaktoren bezüglich des Geschlechtes, des Alters der Patienten zum Zeitpunkt der Eingliederung der Restauration, der Lokalisation auf unterschiedlichen Zähnen, in unterschiedlichen Kiefern oder Quadranten zeigten nur die Altersunterschiede einen signifikanten Unterschied ($p = 0,012$). Eine Erfolgsrate von 100% für die Versorgung der Eckzähne ist aufgrund der Anzahl von nur 2 versorgten Eckzähnen mit hnPCCs zu vernachlässigen. Teilkronen aus einer hochedlen Metalllegierung zeigten ein hervorragendes klinisches Langzeitverhalten mit einer Überlebensrate von 94,9% und einer Erfolgsrate von 93,9% nach einer klinischen Verweildauer von bis zu 30 Jahren. Das dokumentierte Behandlungskonzept hat somit nach wie vor seine Berechtigung in der modernen restaurativen Zahnheilkunde.

Der ausführende Behandler (Autor der Publikation H.D.) hat leider seine Tätigkeit im März 2022 niedergelegt und die Praxis aufgegeben. Dies macht eine erneute Nachuntersuchung der Patientenfälle unmöglich. Der aus dem langem Nachbeobachtungszeitraum entstandene prognostische Mehrwert konnte erfolgreich durch diese Studie gesichert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] P. Rehm, H. Derks, W. Lesaar, C. Spies Benedikt, F. Beuer, M.W.H. Böse, 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.* 1 (2021) 3. doi:10.1007/s00784-021-04063-8.
- [2] T. Hellwig, E./ Kilmek, J./ Attin, Einführung in die Zahnerhaltung, 6. Edition, Deutscher Zahnärzterverlag, 2013.
- [3] F. Angeletaki, A. Gkogkos, E. Papazoglou, D. Kloukos, Direct versus indirect inlay/onlay composite restorations in posterior teeth. A systematic review and meta-analysis, *J. Dent.* 53 (2016) 12–21. doi:10.1016/j.jdent.2016.07.011.
- [4] B. Klaiber, B., Hugo, Praxis der Zahnheilkunde Bd. 2: Kariologie und Füllungstherapie, 2nd ed., Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1998.
- [5] N.P.T. Innes, D. Ricketts, L.Y. Chong, A.J. Keightley, T. Lamont, R.M. Santamaria, Prefomed crowns for decayed primary molar teeth, *Cochrane Database Syst. Rev.* (2015). doi:10.1002/14651858.CD005512.pub3.
- [6] A.P. M. Pelka, G. Schmidt, Klinische Qualitätsbeurteilung von gegossenen Metallinlays und -onlays, *DZZ* 05/1996, 268-72. (1996).
- [7] J. Schulz-Bongert, Konzept der restaurativen Zahnheilkunde: Angewandte gnathologische Systematik, Siegfried Klages Verlag, Berlin, 1985.
- [8] R. V. Tucker, Why gold castings are excellent restorations, *Oper. Dent.* 33 (2008) 113–115. doi:10.2341/1559-2863(2008)33[113:WGCAER]2.0.CO;2.
- [9] G.J. Christensen, The coming demise of the cast gold restoration?, *J. Am. Dent. Assoc.* (1996). doi:10.14219/jada.archive.1996.0417.
- [10] M. Rykke, Dental materials for posterior restorations, *Dent. Traumatol.* (1992). doi:10.1111/j.1600-9657.1992.tb00233.x.
- [11] K. Eichner, H. Kappert, Zahnärztliche Werkstoffkunde und ihre Verarbeitung. Grundlagen und Verarbeitung. Band 1 und 2, in: K. Eichner, H.F. Kappert (Eds.), 8th ed., Thieme, Stuttgart, 2005: p. 432.
- [12] G.J. Christensen, Clinical and research advancements in cast-gold restorations, *J. Prosthet. Dent.* (1971). doi:10.1016/0022-3913(71)90150-8.
- [13] M. Augthun, M. Lichtenstein, G. Kammerer, Studies on the allergenic potential of palladium alloys, *Dtsch. Zahnärztl. Z.* (1990).

- [14] P.P. Boettger H, Rosenbauer K A, Die Oberfläche von Glaskeramikkronen (Dicor) und VMK-Kronen im rasterelektronenmikroskopischen Vergleich, 1989. doi:98:46-50.
- [15] A. Bindl, W.H. Mörmann, Survival rate of mono-ceramic and ceramic-core CAD/CAM-generated anterior crowns over 2-5 years., *Eur. J. Oral Sci.* 112 (2004) 197–204. doi:10.1111/j.1600-0722.2004.00119.x.
- [16] S.M. Reich, M. Wichmann, H. Rinne, A. Shortall, Clinical performance of large, all-ceramic CAD/CAM-generated restorations after three years: a pilot study., *J. Am. Dent. Assoc.* 135 (2004) 605–12. doi:10.14219/jada.archive.2004.0248.
- [17] M. Naumann, J. Ernst, S. Reich, P. Weißhaupt, F. Beuer, Galvano- vs. metal-ceramic crowns: Up to 5-year results of a randomised split-mouth study, *Clin. Oral Investig.* (2011). doi:10.1007/s00784-010-0429-3.
- [18] M. Dioguardi, D. Perrone, G. Troiano, L. Laino, F. Ardito, F. Lauritano, M. Cicciù, L. Lo Muzio, Cytotoxicity evaluation of five different dual-cured resin cements used for fiber posts cementation, e-Century Publishing Corporation, 2015. www.ijcem.com/ (accessed July 8, 2020).
- [19] S.M.H. Afifi, M.F. Haridy, M.R. Farid, Evaluation of Post-Operative Sensitivity of Bulk Fill Resin Composite versus Nano Resin Composite: A Randomized Controlled Clinical Study, *Open Access Maced. J. Med. Sci.* 7 (2019) 2335. doi:10.3889/OAMJMS.2019.656.
- [20] J.R. Gavelis, J.D. Morency, E.D. Riley, R.B. Sozio, The effect of various finish line preparations on the marginal seal and occlusal seat of full crown preparations, *J. Prosthet. Dent.* (2004). doi:10.1016/j.prosdent.2004.03.024.
- [21] T. Walther, Vergleichende Untersuchungen zur Paßgenauigkeit des Kronenrandes. Der Einfluß der Randabschrägung bei hohlkehligter Präparation und keramischer Verblendung, *Med Diss. Uni Tübingen.* (1985).
- [22] Jan H N Pameijer, Parodontale und okklusale Aspekte der Kronen- und Brückenprothetik, Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz, 1991.
- [23] R. Stoll, M. Sieweke, K. Pieper, V. Stachniss, A. Schulte, Longevity of cast gold inlays and partial crowns--a retrospective study at a dental school clinic., *Clin. Oral Investig.* (1999). doi:10.1007/s007840050086.
- [24] M. Federlin, J. Wagner, T. Männer, K.A. Hiller, G. Schmalz, Three-year clinical performance of cast gold vs ceramic partial crowns, *Clin. Oral Investig.* 11 (2007) 345–352. doi:10.1007/s00784-007-0158-4.

- [25] K.A.H. A Felden, G Schmalz, M Federlin, Retrospective clinical investigation and survival analysis on ceramic inlays and partial ceramic crowns: results up to 7 years., *Clin. Oral Investig.* 2 (1998) 161–167. doi:10.1007/s007840050064.
- [26] J. Wagner, K.A. Hiller, G. Schmalz, Long-term clinical performance and longevity of gold alloy vs ceramic partial crowns., *Clin. Oral Investig.* 7 (2003) 80–85. doi:10.1007/s00784-003-0205-8.
- [27] S.C. Bayne, G. Schmalz, Reprinting the classic article on USPHS evaluation methods for measuring the clinical research performance of restorative materials, *Clin. Oral Investig.* 9 (2005) 1–6. doi:10.1007/s00784-005-0017-0.
- [28] S.P. Studer, F. Wettstein, C. Lehner, T.G. Zullo, P. Schärer, Long-term survival estimates of cast gold inlays and onlays with their analysis of failures., *J. Oral Rehabil.* 27 (2000) 461–72. doi:10.1046/j.1365-2842.2000.00540.x.
- [29] N.P. Lang, A. Joss, T. Orsanic, F.A. Gusberti, B.E. Siegrist, Bleeding on probing. A predictor for the progression of periodontal disease?, *J. Clin. Periodontol.* 13 (1986) 590–596. doi:10.1111/j.1600-051X.1986.tb00852.x.
- [30] C. Tomasi, A.H. Leyland, J.L. Wennström, Factors influencing the outcome of non-surgical periodontal treatment: a multilevel approach, *J. Clin. Periodontol.* 34 (2007) 682–690. doi:10.1111/j.1600-051X.2007.01111.x.
- [31] M. SC, *Textbook of Periodontia*. 3rd ed., 3rd ed., The Blakestone Company, Philadelphia, 1950.
- [32] A.R. Jordan, W. Micheelis, Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V), *IDZ-Materialienreihe*, Bd. 35. (2016) 617.
- [33] C. Bentley, C.W. Drake, Longevity of restorations in a dental school clinic., *J. Dent. Educ.* 50 (1986) 594–600. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3463598> (accessed September 13, 2019).
- [34] N.H.J. CREUGERS, P.A. SNOEK, M.A. VAN'T HOF, A.F. KÄUYSER, Clinical performance of resin-bonded bridges: a 5-year prospective study. Part III: failure characteristics and survival after rebonding, *J. Oral Rehabil.* 17 (1990) 179–186. doi:10.1111/j.1365-2842.1990.tb01408.x.
- [35] N.H.J. Creugers, A.F. Kayser, M.A. Van't Hof, A Seven-and-a-half-year Survival Study of Resin-bonded Bridges, *J. Dent. Res.* 71 (1992) 1822–1825. doi:10.1177/00220345920710111101.
- [36] G. Barrack, W.A. Bretz, A long-term prospective study of the etched-cast restoration., *Int. J. Prosthodont.* 6 (n.d.) 428–34.

- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8297451> (accessed September 17, 2019).
- [37] Y. Samama, Fixed bonded prosthodontics: a 10-year follow-up report. Part II. Clinical assessment., *Int. J. Periodontics Restorative Dent.* 16 (1996) 52–9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8631611> (accessed September 18, 2019).
- [38] H. Aggstaller, F. Beuer, D. Edelhoff, P. Rammelsberg, W. Gernet, Long-term clinical performance of resin-bonded fixed partial dentures with retentive preparation geometry in anterior and posterior areas., *J. Adhes. Dent.* 10 (2008) 301–6. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18792701> (accessed September 17, 2019).
- [39] N.J.M. Opdam, E.M. Bronkhorst, M.S. Cenci, M.-C.D.N.J.M. Huysmans, N.H.F. Wilson, Age of failed restorations: A deceptive longevity parameter, *J. Dent.* 39 (2011) 225–230. doi:10.1016/j.jdent.2010.12.008.
- [40] M.G. Botelho, X. Ma, G.J.K. Cheung, R.K.S. Law, M.T.C. Tai, W.Y.H. Lam, Long-term clinical evaluation of 211 two-unit cantilevered resin-bonded fixed partial dentures, *J. Dent.* 42 (2014) 778–784. doi:10.1016/j.jdent.2014.02.004.
- [41] P.A. King, L. V. Foster, R.J. Yates, R.G. Newcombe, M.J. Garrett, Survival characteristics of 771 resin-retained bridges provided at a UK dental teaching hospital, *Br. Dent. J.* 218 (2015) 423–428. doi:10.1038/sj.bdj.2015.250.
- [42] N. Tanoue, Longevity of resin-bonded fixed partial dental prostheses made with metal alloys, *Clin. Oral Investig.* 20 (2016). doi:10.1007/s00784-015-1619-9.
- [43] A. Najafi, M. Ashraghi, J.-C. Chou, D. Morton, A. Zandinejad, Survival of cast-metal, resin-bonded fixed partial dental prostheses after nearly 20-year follow-up: A retrospective study, *J. Prosthet. Dent.* 116 (2016) 507–515. doi:10.1016/j.prosdent.2016.02.021.
- [44] W. Micheelis, W. Süßlin, Einstellungen und Bewertungen der Bevölkerung zur zahnärztlichen Versorgung in Deutschland – Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage 2011., (2012) 1–24. www.idz-koeln.de.
- [45] S. Morimoto, F.B.W. Rebello De Sampaio, M.M. Braga, N. Sesma, M. Özcan, Survival Rate of Resin and Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis, *J. Dent. Res.* (2016). doi:10.1177/0022034516652848.
- [46] Christian Thaller aus Augsburg, In- vitro Vergleich der Bruchfestigkeit und Randschlussverhalten von CAD- CAM- gefertigten Zirkoniumdioxidkronen, lasergesinterten und gegossenen Metallkeramikronen, Regensburg, 2008.

- https://epub.uni-regensburg.de/12233/1/Doktorarbeit_Druckversion.pdf.
- [47] M.B. Blatz, M. Vonderheide, J. Conejo, The Effect of Resin Bonding on Long-Term Success of High-Strength Ceramics, *J. Dent. Res.* (2018). doi:10.1177/0022034517729134.
- [48] P.C. Guess, S. Schultheis, M. Wolkewitz, Y. Zhang, J.R. Strub, Influence of preparation design and ceramic thicknesses on fracture resistance and failure modes of premolar partial coverage restorations, *J. Prosthet. Dent.* (2013). doi:10.1016/S0022-3913(13)60374-1.
- [49] H.R. Horn, Porcelain laminate veneers bonded to etched enamel., *Dent. Clin. North Am.* (1983).
- [50] J. Juloski, S. Köken, M. Ferrari, Cervical margin relocation in indirect adhesive restorations: A literature review, (2017). doi:10.1016/j.jpor.2017.09.005.
- [51] L.D. Gassiraro, Seven-step tooth preparation for a gold onlay, *J. Prosthet. Dent.* 71 (1994) 119–123. doi:10.1016/0022-3913(94)90018-3.
- [52] T. Donovan, R.J. Simonsen, G. Guertin, R. V. Tucker, Retrospective clinical evaluation of 1,314 cast gold restorations in service from 1 to 52 years, *J. Esthet. Restor. Dent.* (2004). doi:10.1111/j.1708-8240.2004.tb00034.x.
- [53] S.J.H.D.M. Kepschull, Ätiologie der Parodontitis – gibt es neue Erkenntnisse?: zm-online, (2018). https://www.zm-online.de/archiv/2018/01_2/zahnmedizin/aetiologie-der-parodontitis-gibt-es-neue-erkenntnisse-1/ (accessed April 14, 2020).
- [54] S.H. Tinschert J, Natt G, Latzke P, Schulze K, Heussen N, Vollkeramische Brücken aus DC- Zirkon – Ein klinisches Konzept mit Erfolg?, *Dtsch Zahnarztl Z.* (2007) 2.
- [55] R.J. Smales, S. Etemadi, Survival of ceramic onlays placed with and without metal reinforcement, *J. Prosthet. Dent.* (2004). doi:10.1016/j.prosdent.2004.03.011.
- [56] J.F. Roulet, Longevity of glass ceramic inlays and amalgam--results up to 6 years., *Clin. Oral Investig.* (1997). doi:10.1007/s007840050007.
- [57] F.K. Cobankara, N. Unlu, A.R. Cetin, H.B. Ozkan, The effect of different restoration techniques on the fracture resistance of endodontically-treated molars, *Oper. Dent.* (2008). doi:10.2341/07-132.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Philipp Rehm, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Die Wiederherstellung von Zahnhartsubstanzdefekten mit Teilkronen aus einer hochgoldhaltigen Legierung; The restoration of decayed teeth with partial-coverage crowns made from a high noble metal alloy“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen

Publikation: Rehm, P., Derks, H., Lesaar, W. et al. Restoration of 1325 teeth with partial-coverage crowns manufactured from high noble metal alloys: a retrospective case series 18.8 years after prosthetic delivery. *Clinical Oral Investigations* (2021).

<https://doi.org/10.1007/s00784-021-04063-8>

Accepted: 29 June 2021; Published 9 July 2021

Eigenanteil an Publikation:

Hiermit versichere ich, Philipp Rehm, dass ich im Rahmen der oben genannten Publikation die Vorbereitung, Planung des Designs der Publikation, Erhebung und statistischer Auswertung der Daten und Erstellung des Manuskripts in enger Absprache mit meinem Doktorvater maßgeblich erstellt habe.

Die Auswahl des Themas und der darin enthaltenden Fragestellung der Promotion wurden von mir getroffen und in enger Absprache mit meinem Doktorvater und dem Co-Autoren HD, der gleichzeitig auch der Behandler mit den zur Verfügung gestellten Behandlungsfällen war, getroffen und erarbeitet und ein Design für eine Studie konzeptualisiert.

Für die Erstellung der Publikation führte ich die Erfassung geeigneter Patientenfälle mit bereits versorgten Goldteilkronen in enger Absprache mit dem Co-Autoren HD durch. Den Datentransfer in tabellarischer Form und die statistische Auswertung, unter Zuhilfenahme des statistischen Beratungsangebotes der Charité führte ich nach Rücksprache mit meinen Betreuern mit dem Statistikprogramm SPSS und Microsoft Excel durch. Die daraus Entstanden Daten interpretierte und überstellte ich zur Veranschaulichung in die verwerteten Diagramme und Tabellen (mit Ausnahme von Tabellen 1,2). Die von Behandler HD zur Verfügung gestellten Abbildungen fügte ich zur Abbildung 1 zusammen und ergänzte diese mit Material aus der Literatur. Die Literaturrecherche erfolgte komplett Eigenständig bis auf die Auswahl einzelner Referenzen durch den Co-Autoren HD.

Ich erstellte den ersten kompletten Entwurf der gesamten Publikation (Abstract, Einführung, Material und Methoden, Ergebnisse und Diskussion) und stellte die Publikation nach ausführlich und kontinuierlichem Austausch und stetiger Rücksprache mit meinen Betreuern, insbesondere MB, FB, BS, fertig.

Etwaige Korrekturen durch die Reviewer wurden durch mich, in enger Absprache mit meinen Betreuern, vorgenommen.

Unterschrift, Datum und Stempel des/der erstbetreuenden Hochschullehrers/in

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

Auszug aus der Journal Summary List

**Journal Data Filtered By: Selected JCR Year: 2019 Selected Editions:
SCIE, SSCI Selected Categories: 'DENTISTRY, ORAL SURGERY &
MEDICINE' Selected Category Scheme: WoS
Gesamtzahl: 91 Journale**

| Rank | Full Journal Title | Total Cites | Journal Impact Factor | Eigenfactor Score |
|------|---|-------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | PERIODONTOLOGY 2000 | 5,159 | 7.718 | 0.006380 |
| 2 | JOURNAL OF CLINICAL PERIODONTOLOGY | 14,785 | 5.241 | 0.013050 |
| 3 | JOURNAL OF DENTAL RESEARCH | 20,557 | 4.914 | 0.019900 |
| 4 | DENTAL MATERIALS | 15,316 | 4.495 | 0.013480 |
| 5 | ORAL ONCOLOGY | 10,286 | 3.979 | 0.015780 |
| 6 | INTERNATIONAL ENDODONTIC JOURNAL | 7,453 | 3.801 | 0.006660 |
| 7 | JOURNAL OF PERIODONTOLOGY | 16,306 | 3.742 | 0.010160 |
| 8 | CLINICAL ORAL IMPLANTS RESEARCH | 14,178 | 3.723 | 0.013970 |
| 9 | Clinical Implant Dentistry and Related Research | 4,496 | 3.396 | 0.008290 |
| 10 | JOURNAL OF DENTISTRY | 9,650 | 3.242 | 0.011330 |
| 11 | JOURNAL OF ENDODONTICS | 16,952 | 3.118 | 0.012310 |
| 12 | International Journal of Oral Science | 1,204 | 3.047 | 0.002020 |

| | | | | |
|----|--|--------|-------|----------|
| 13 | JOURNAL OF PERIODONTAL RESEARCH | 4,315 | 2.926 | 0.004250 |
| 14 | Molecular Oral Microbiology | 993 | 2.905 | 0.001710 |
| 15 | Clinical Oral Investigations | 6,849 | 2.812 | 0.011490 |
| 16 | JOURNAL OF THE AMERICAN DENTAL ASSOCIATION | 6,967 | 2.803 | 0.005000 |
| 17 | Journal of Prosthodontic Research | 1,283 | 2.662 | 0.002160 |
| 18 | European Journal of Oral Implantology | 1,227 | 2.619 | 0.002230 |
| 19 | ORAL DISEASES | 4,463 | 2.613 | 0.005090 |
| 20 | JOURNAL OF ORAL PATHOLOGY & MEDICINE | 4,741 | 2.495 | 0.003850 |
| 21 | JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY | 12,491 | 2.444 | 0.008980 |
| 22 | Journal of Evidence-Based Dental Practice | 585 | 2.426 | 0.001060 |
| 23 | JOURNAL OF ADHESIVE DENTISTRY | 1,793 | 2.379 | 0.002150 |
| 24 | INTERNATIONAL JOURNAL OF ORAL & MAXILLOFACIAL IMPLANTS | 9,035 | 2.320 | 0.008400 |
| 25 | JOURNAL OF ORAL REHABILITATION | 5,827 | 2.304 | 0.004310 |



Restoration of 1325 teeth with partial-coverage crowns manufactured from high noble metal alloys: a retrospective case series 18.8 years after prosthetic delivery

Philipp Rehm^{1,2} · Hermann Derks³ · Wilfried Lesaar³ · Benedikt Christopher Spies⁴ · Florian Beuer² · Mats Wernfried Heinrich Böse²

Received: 8 March 2021 / Accepted: 29 June 2021
© The Author(s) 2021

Abstract

Objectives To evaluate long-term survival and success rates of conventionally cemented partial-coverage crowns (PCCs) manufactured from high noble metal alloys (hn).

Material and methods Restoration-, periodontal- and tooth-related criteria on patients, restored with a single or multiple conventionally cemented hnPCCs in a private dental office were collected from existing patient records. With regard to semi-annual follow-ups, data of the most recent clinical evaluations were considered. Kaplan–Meier and log-rank tests were used for statistical analyses. Level of significance was set at $p \leq .05$.

Results Between 09/1983 and 09/2009, 1325 hnPCCs were conventionally cemented on 1325 teeth in 266 patients (mean age: 44.5 ± 10.7 years). Due to various reasons, 81 hnPCCs showed complications, documenting a success rate of 93.9% after a mean observation period of 18.8 ± 5.7 years. Of these, additional 14 restorations were counted as survival, resulting in a survival rate of 94.9%. Most frequent complications were periodontal issues ($n = 29$, 35.8%). Significantly higher success rates were documented for hnPCCs of patients aged between 37 and 51 years ($p = .012$).

Conclusion Partial-coverage crowns from high noble metal alloys showed excellent survival and success rates after a mean observation period of 18.8 ± 5.7 years. Higher patient age was one of the risk factors.

Clinical Relevance According to the results of this study, hnPCCs still represent an excellent therapeutic option—even in modern dentistry.

Keywords Dental crowns · Partial-coverage crowns · High noble metal alloy · Prosthodontics · Dental materials · Tooth preservation · Gold alloy

Introduction

Dental structure can be damaged by various reasons and requires different conditional treatments to ensure the preservation of the remaining tooth substance. Defects can be restored in a direct and indirect approach. Limitations for both procedures exist, but a recommendation of when to use direct and indirect restorations is not clearly described in the literature [1]. However, for large defects with cusp involvement or complicated residual occlusal surfaces, mainly indirect techniques are used.

Indirect restorations have various advantages especially when used for defects that affect the stability of teeth and contain one or more cusps. Thereby, partial-coverage crowns (PCCs) are restorations for lost tooth structure, requiring a minimally invasive and technically challenging procedure,

✉ Philipp Rehm
philipp.rehm@charite.de

¹ Private Dental Office Dr. Rehm, Klückenhofstraße 1, 46459 Rees, Germany

² Department of Prosthodontics, Geriatric Dentistry and Craniomandibular Disorders, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin, Humboldt-Universität Zu Berlin, Aßmannshäuser Str. 4-6, Berlin, Germany

³ Private Dental Office Dr. Hermann Derks, Steinstraße 12, 46446 Emmerich am Rhein, Germany

⁴ Center for Dental Medicine, Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Medicine, Medical Center – University of Freiburg, University of Freiburg, Hugstetter Str. 55, 79106 Freiburg, Germany

while preserving more residual tooth substance compared to complete crowns (CCs). They are superior to direct restorations with regard to approximal and occlusal contacts, surface quality and marginal fit [2, 3]. Due to changing demands regarding precision, stability and esthetics, new materials with different characteristics are constantly introduced on the dental market. In general, metal alloys, dental ceramics and composite materials can be differentiated. Metal-based and metallic-colored restorations have been declining in recent years, because the desire for tooth-colored restorations has become more important in society. Despite the possibility of veneering metallic materials, they cannot match the esthetics of all-ceramic restorations and therefore became increasingly unpopular. The slightly allergenic potential of metal alloys (in particular the contained palladium) and the expense considering high noble metal alloys compared to dental ceramics should also be considered [4]. Additionally, the smooth surface and the low surface tension result in less plaque retention on dental ceramics compared to metal surfaces or enamel [5].

Nevertheless, ceramic restorations also have disadvantages compared to hnPCCs. The most frequent failures of these materials are veneering porcelain fractures or fractures in general [6–8]. Furthermore, a retentive preparation form is not mandatory for ceramic partial-coverage crowns (cPCCs), but in return, the complication-prone adhesive bonding is limited to situations with adequate moisture control. With regard to the variety of available composite resin cements, allergies were reported associated with these materials [9]. Results regarding marginal gaps vary enormously depending on the type of ceramics and the process of manufacturing whereas the marginal gaps for hnPCCs are documented at a low level in the literature [10–12].

High noble metal alloy restorations have been used for over 140 years to restore compromised teeth [13]. It should be critically evaluated whether ceramic restorations can compete with the clinical performance (“gold standard”) of hnPCCs [14]. Material characteristics such as a minimal risk of fracture, the advantages of ductility and the associated adaptation to the occlusal concept that changes over time (contact wear of loaded teeth) of hnPCCs were described in the literature [15–17]. Due to the ductility of gold, hnPCCs can adapt to different antagonistic materials like enamel and direct or indirect restorations of all kinds [18].

The long-term preservation of teeth and especially the preservation of masticatory function is one of the major goals in dentistry. Forecasts on the survival rate of partial crowns vary between 70 and 96% after 5 to 11 years in the literature [19, 20]. The heterogeneous results are often related to short observation periods [20, 21] and differences regarding the treatment procedure in terms of preparation technique, impressions, choice of material and laboratory procedures [19].

The aim of this retrospective case series was to investigate long-term survival and success rates of hnPCCs with already collected and available clinical data. It was intended to demonstrate the possibilities of a consistent clinical protocol and its strict implementation using materials long established. The working hypothesis is that hnPCCs continue their eligibility as an option for restorations of decayed teeth in dentistry with good long-term prognosis.

Material and methods

Study design and ethical request

The present study was designed as a clinical retrospective case series and ethical approval was given by the Ethical Committee of Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany (application number: EA4/135/19). All treatments, subsequent inspections and data collection were conducted in the private dental office of and by the authors H. D. and W. L. under a constant protocol.

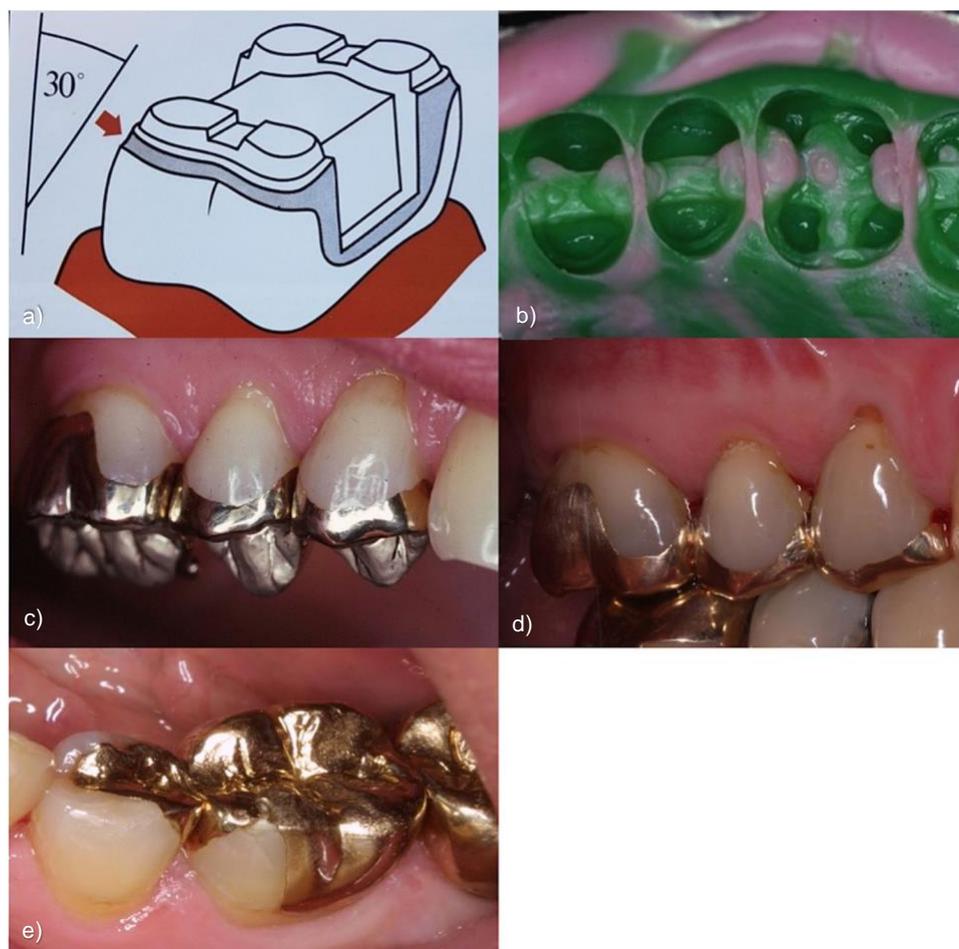
Anonymized data provided were retrospectively analyzed and statistically evaluated. Patient inclusion criteria were as follows: (1) Treated with at least one hnPCC between 09/1983 and 09/2009 in the private dental office of the author H. D.; (2) Attended at least twice a year for annual examination; (3) According to necessity, regular professional teeth cleanings or supportive periodontitis therapy has been implemented. In total, 1325 hnPCCs met the aforementioned inclusion criteria and were considered in this study.

Course of treatment

Following necessary and successful pretreatments, all teeth preparations were conducted according to the guidelines of Schulz-Bongert [22]. Ideally, the load-bearing cusps were reduced by 1.2–1.5 mm and the shear cusps by 1.0 mm. Occlusal boxes were preferably prepared with a depth of 2 mm, a width of 1.5 mm and a taper of 3–10 degrees. Both proximal contacts were dissolved and likewise prepared with a taper of 3–10 degrees. Non-functional cusps and the preparation margins were chamfered (Fig. 1a). A substance removal of at least 0.8 mm was required to meet the minimal thickness of the restoration material.

The subsequent impressions were made with a hydro-colloid impression material (Aqualoid Green, The Belpo Company, Camarillo, CA, USA) and hydrocolloid impression trays (DC Hydrocolloid Impression Tray, DentalCentral GmbH, Hamburg, Germany, Fig. 1b). Impressions of the opposing jaws were made with alginate (Alginat rosa regular set, Omnident Prisman GmbH, Lorsch, Germany) and Rim-Lock impression trays (Rim-Lock Impression Tray, Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany). An

Fig. 1 Exemplary pictures regarding preparation design, impression, and restorations with hnPCCs. **a** Preparation design with a bevel of 30° to minimize the cement gap [22, 23], **b** impression with hydrocolloid, **c** “buttons” for easier removal after fitting, **d** hnPCCs in situ after 30 years of service and **e** hnPCCs not covering all cusps causing increased risk of prismatic fracture [19, 24]



additional hydrocolloid impression was taken to fabricate an unsawn control model. Through the years, three different face bows and corresponding articulators were used (Whip mix, Whip Mix Corp., Louisville, USA; SAM, SAM® Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Germany; Artex CR, Amann Girrbach AG, Pforzheim, Germany). Bite registrations were performed in habitual occlusion with wax plates (Integra Miltex, IntegraLifeSciences Service France, Saint-Priest, France) and a temporary cement (TempBond NE, KerrHawe SA, Bioggio, Switzerland). The Dawson handle was used to take the bite in centric position in case several restorations were performed with loss of the support zones and/or a present temporomandibular disorder (TMD).

Lab models were fabricated from type IV plaster (Implant Rock, picodent, Wipperfürth, Germany) and mounted (pico-arti new edition, picodent, Wipperfürth, Germany) in the aforementioned articulators. The hnPCCs were conventionally modelled with wax (S-U-Ästhetikwachs, SchulerDental, Ulm, Germany) and embedded (gypsum-bonded investment, easysoft picodent, Wipperfürth, Germany). All restorations were cast from a high noble metal alloy (Degulor M, DentsplySirona, Bensheim, Germany) and fitted to the models. To simplify try-ins, the restorations were provided with small

buttons (Fig. 1c). If necessary, final adjustments (i.e. correction of occlusion) were performed on matted surfaces. All hnPCCs were conventionally cemented with zinc phosphate cement (Harvard, fast setting, Richter and Hoffmann, Berlin, Germany). Finally, static and dynamic occlusions were checked with 12- μ -thick occlusion foil (HANEL occlusion foil, black and red, Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Switzerland).

Study parameters

The regular clinical examinations included an update of the medical history, and dental and periodontal parameters. Success of each of the included hnPCCs in this study was determined considering (1) restoration-, (2) periodontal- and (3) tooth-related criteria [25].

The evaluation of restoration-related parameters included different aspects comparable to the modified United States Public Health Service criteria (USPHS modified by Cvar and Ryge) (Table 1) [26]. Initially, for a rating as success, examined hnPCCs had to be in situ and undamaged [25]. In order to verify that, tactile examination of the surfaces, marginal gaps and possibly presence of secondary caries

Table 1 Individually adapted criteria for clinical evaluation of inlays and onlays, using the modified United States Public Health Service criteria according to Ryge and Cvar (1971), compiled by S. P. Studer et al. [26]

| | |
|----------------------|---|
| 1) Marginal adaption | |
| A | Margin not discernible, probe does not catch, no discoloration visible |
| B | Probe catches on onlay margin but no gap; gap or chipping on probing, with enamel exposed, but polishable; slight discoloration visible, but polishable |
| C | Gap or chipping with dentin or liner exposed; distinct discoloration visible, not polishable, not acceptable, secondary caries |
| D | Partial fracture, fracture, luxation or mobile (loose) restoration, fracture of abutment tooth |
| 2) Anatomic form | |
| A | Correct contour with tight proximal contacts (checked with waxed dental floss) (exception: diastema situation), no wear facets on restoration, no wear facets on opposing teeth |
| B | Slightly under- or over-contoured, weak proximal contact; small wear facets on restoration, diameter ≤ 2 mm; and/or same on opposing teeth |
| C | Distinct under- or over contoured, missing proximal contact; large wear facets on restoration, diameter ≤ 2 mm; and/or same on opposing teeth |
| 3) Surface texture | |
| A | Smooth, glazed, or glossy surface |
| B | Slightly rough or dull surface |
| C | Surface with deep pores, rough, or unevenly distributed pits, cannot be refinished |

was performed with a double-ended dental probe (EX9, HuFriedy, Chicago, USA). Visible or palpable perforations of hnPCCs led to an exclusion from a rating as success.

The used criteria related to the USPHS were categorized as follows: (1) marginal adaption, (2) anatomic form and (3) surface texture. Each of the criteria was assessed as A, B, C or (D), where A was the highest and C/D the lowest rating. Restorations with an A rating were considered as success, whereas restorations with minor defects, not endangering the tooth structure, pulpal or periodontal tissues and could be renewed, reattached due to loosening, fixed in any way (i.e. polished) or received further invasively therapies were rated as B and therefore as survival.

Ratings with C or D were counted as failure. Abutment teeth with primary caries, endodontic treatment, periodontal treatment or extractions, and restoration used for other prosthodontic work were generally rated as C and therefore its restoration with hnPCCs as failure.

Circumferential periodontal pocket depths were measured (WHO probe, E. Hahnenkratt GmbH, Königsbach-Stein, Germany) at four sites per tooth (mesio-buccal, disto-buccal, disto-lingual, mesio-lingual) and classified healthy with pocket depths of up to 4 mm [27–29]. In addition, the degrees of loosening of the teeth were categorized according to the criteria of Miller [30] as follows: (0) “physiological mobility” measured at the crown level: the tooth is mobile within the alveolus approximately 0.1–0.2 mm in a horizontal direction; (I) increased mobility of the crown of the tooth: at most 1 mm in a horizontal direction; (II) visually increased mobility of the crown of the tooth: exceeding mobility of 1 mm in a horizontal direction; (III) severe mobility of the crown of the tooth: in both horizontal and

vertical directions impinging on the function of the tooth [30]. Ratings as (0) and (I) were considered as success, whereby (II) was only considered as survival and (III) as failure.

For a rating as success, the vitality (Omnicent Kältespray, Prisman GmbH, Lorsch, Germany) and percussion tests had to be inconspicuous. Vitality tests were performed with foam pellets and cold spray (Omnicent Kältespray, Prisman GmbH, Lorsch, Germany). Teeth that were treated with a root canal treatment prior to prosthodontic treatment were excluded from vitality tests. Percussion tests were used to preclude apical inflammation and were performed in vertical and horizontal direction with a dental mouth mirror (MH1, HuFriedy, Chicago, USA). The assessment of both tests was documented by the author H. D. Hyper- and hypo-sensibilities, pain or a noticeable, altered sound led to further diagnostics.

Additionally, the following parameters were included in the statistical analysis: (1) gender (male, female), (2) age at delivery, (3) date of delivery, (4) location of hnPCCs, (5) jaw (maxilla, mandible), (6) supplied quadrant (I, II, III or IV), (7) total number of restorations and (8) date of follow-up. For statistical analysis, the patients were divided into four groups of equal size based on the number of cases and received restorations in order to obtain a strong statistical significance. In the first group, patients under 37 years of age were included, the second group included patients aged between 37 and 44 years, the third group patients aged between 44 and 51 years and the fourth group patients aged above 51 years. The classification is roughly based on DMS V [31], but could not be adopted exactly due to the uneven distribution of case numbers.

For a rating as a successful hnPCC, all criteria had to be rated as success themselves following the above-defined criteria.

Statistical analysis

Including 1325 hnPCCs in 266 patients, data as gender, age, time of restoration in situ and localization were gathered for a descriptive analysis. The metric variables were presented as means and medians, while the scatter measures were presented as standard deviations and quartiles. The categorized or nominal data were given as absolute and relative frequencies. Success statistics were performed using Kaplan–Meier analyses. Continuous data were categorized by quartiles so that survival in the four groups could be compared (gender, age, location, quadrants and jaws, type of teeth). Log-rank test was used to compare the influence of co-variables (gender, age at loading with hnPCCs, location, quantity) regarding success probabilities. The significance level was set at $p < 0.05$. Statistical analyses were performed with SPSS (version 24.0, IBM, New York, USA) for Windows (Windows 10, Microsoft Corporation, Redmond, USA).

Results

Demographic data and survival

A total of 1325 hnPCCs were conventionally cemented between 09/1983 and 09/2009. In this study, previously anonymized data regarding patients with semi-annual follow-ups in a private dental office between 09/2016 and 03/2017 were evaluated (Table 2). One thousand two hundred and fifty-eight hnPCCs were still in situ at the time of this study after a mean observation period of 18.8 ± 5.7 years (Figs. 2 and 3), resulting in an overall survival rate of 94.9%.

All hnPCCs were conventionally cemented on teeth of 266 patients with a mean age of 44.5 ± 10.7 years at loading. Thirty-one patients were treated with a single hnPCCs (11.7%), 47 (17.7%) with 2, 37 (13.9%) with 3, 35 (13.2%) with 4, 24 (9%) with 5, 65 (24.4%) with 6–10, 26 (9.8%) with 11–15 and a single patient with 16 (0.4%). Six hundred and sixty-eight (50.4%) were cemented in the maxilla and 657 (49.6%) in the mandible (Table 2). Males were

Table 2 Influence of different variables on survival/success rates in absolute numbers and percentages

| Variable | Total number of hnPCCs | Percentages | Success rates | |
|---------------------|------------------------|-------------|-----------------------------------|-----------|
| | | | Total number of successful hnPCCs | Percent % |
| Gender | | | | |
| Male (132) | 692 | 52.2% | 652 | 94.2% |
| Female (134) | 633 | 47.8% | 592 | 93.5% |
| Age groups | | | | |
| < 37 | 335 | 25.3% | 304 | 90.7% |
| 37 – 44 | 328 | 24.8% | 313 | 95.4% |
| 44 – 51 | 330 | 24.9% | 318 | 96.4% |
| > 51 | 332 | 25.0% | 309 | 93.1% |
| Localization | | | | |
| Canine | 2 | 0.2% | 2 | 100.0% |
| 1st premolar | 85 | 6.4% | 79 | 92.9% |
| 2nd premolar | 161 | 12.2% | 154 | 95.7% |
| 1st molar | 421 | 31.8% | 394 | 93.6% |
| 2nd molar | 564 | 42.6% | 530 | 94.0% |
| 3rd molar | 92 | 6.9% | 85 | 92.4% |
| Jaw | | | | |
| Maxilla | 668 | 50.4% | 630 | 94.3% |
| Mandible | 657 | 49.6% | 614 | 93.5% |
| Quadrants | | | | |
| I | 336 | 25.4% | 312 | 92.9% |
| II | 332 | 25.1% | 318 | 95.8% |
| III | 330 | 24.9% | 307 | 93.0% |
| IV | 327 | 24.7% | 307 | 93.9% |
| Total | 1325 | - | 1244 | 93.9% |

Fig. 2 Bar chart representing the years of service of investigated hnPCCs

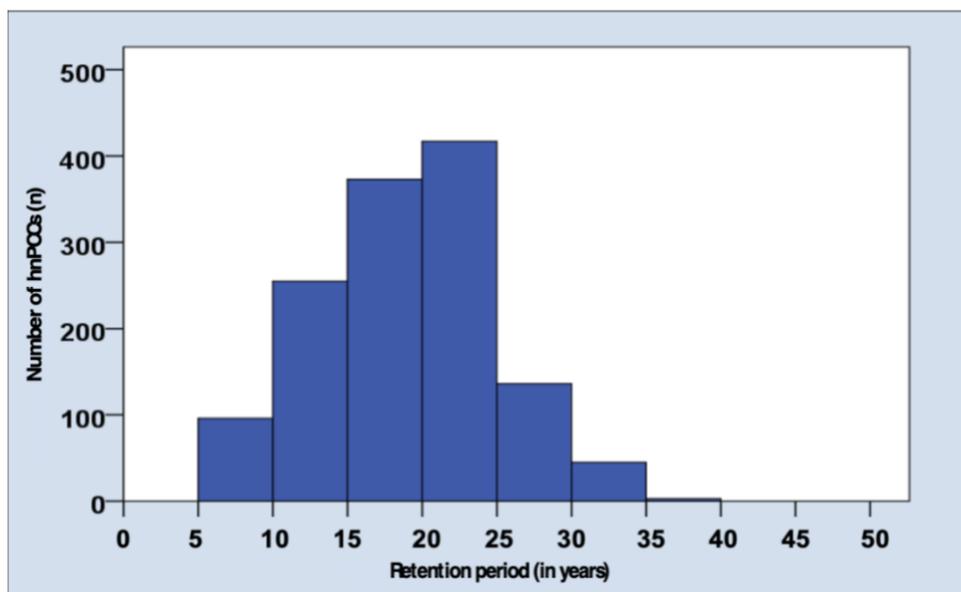
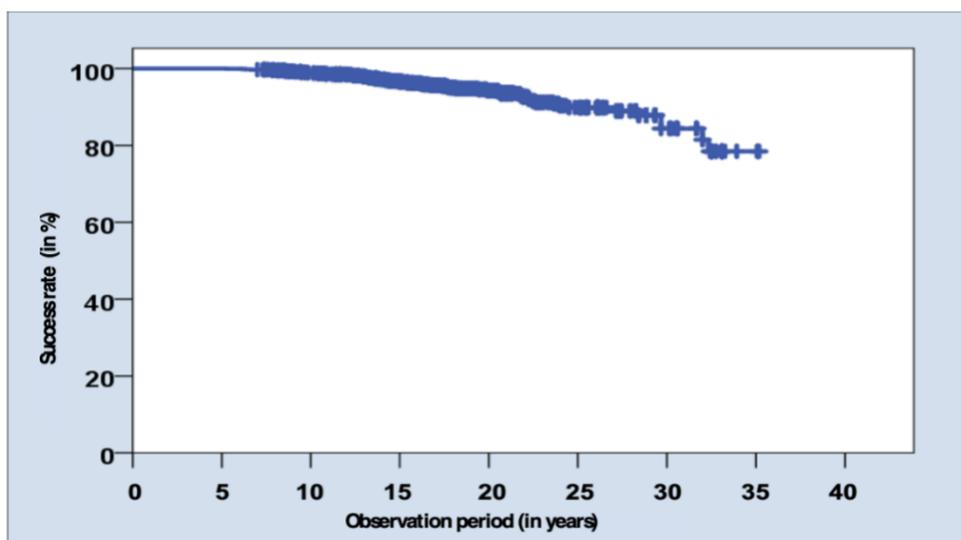


Fig. 3 Kaplan–Meier survival-analysis of hnPCCs up to 35 years. Censored subjects are indicated on the curve as tick marks



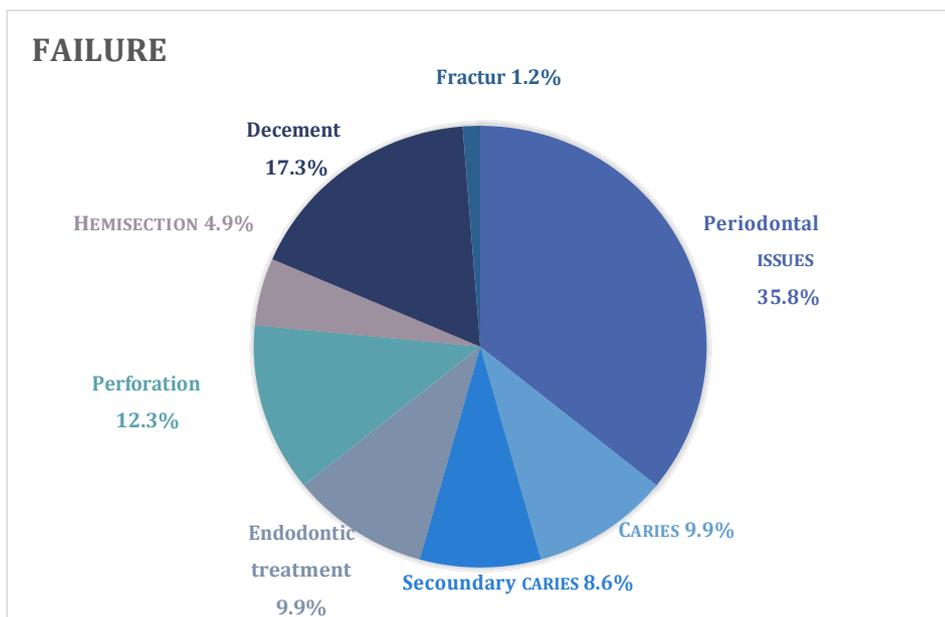
treated with 692 (52.2%) and females with 633 (47.8%) hnPCCs. The distribution of hnPCCs was as follows: 1077 molars (81.3%), 246 premolars (18.6%) and 2 canines (0.2%) were treated. Second molars were most frequently restored with hnPCCs ($n = 564$, 42.6%), followed by first molars ($n = 421$, 31.8%). Third molars ($n = 92$, 6.9%) were the least frequently restored molars. The distribution on premolars was as follows: 85 first premolars (6.4%) and 161 s premolars (12.2%). A canine tooth was restored twice (0.2%) in order to restore the canine guidance.

16.2 ± 6.2 years. Of these, 14 hnPCCs (17.3%) were re-cemented without additional efforts. These restorations were counted as survival but not as success. The most frequent complications were severe periodontal issues of $n = 29$ teeth (35.8%), which resulted in extractions. Other reasons for failure were perforations (12.3%, $n = 10$), caries (9.9%, $n = 8$), subsequently endodontic treatment (9.9%, $n = 8$), secondary caries (8.6%, $n = 7$), hemisection (4.9%, $n = 4$) or tooth fracture (1.2%, $n = 1$) (Fig. 4). Two of the decayed teeth and the fractured tooth had to be removed, resulting in the loss of 32 teeth (2.4%).

Complications

Of 1325 hnPCCs and its supporting teeth, 81 (6.1%) showed complications after a mean period in function of

Fig. 4 Pie chart regarding the different reasons for failure of investigated hnPCCs



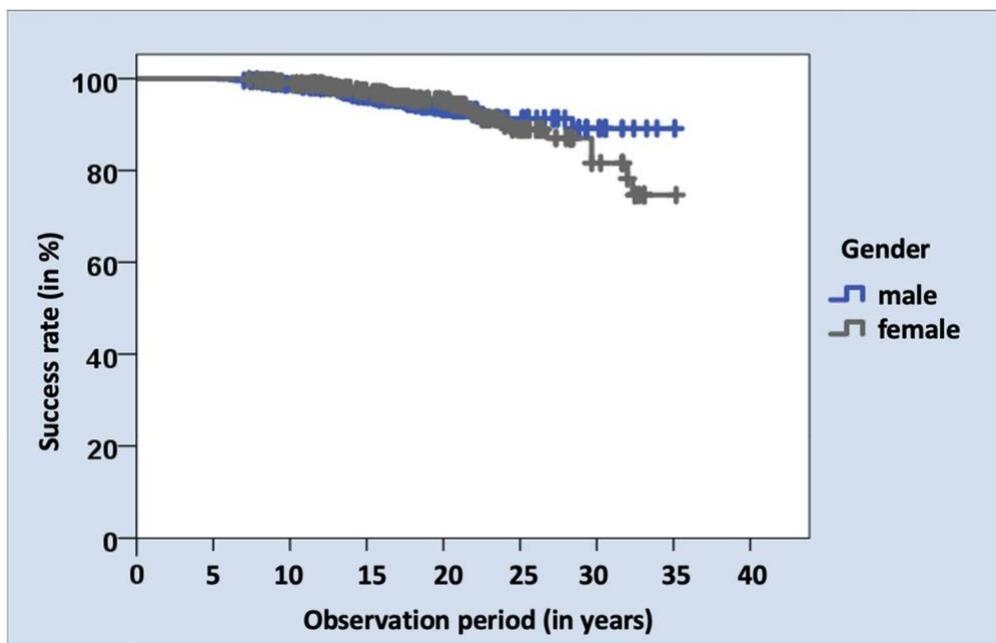
Success rates and influencing factors

One thousand two hundred and forty-four hnPCCs met the defined requirements for success regarding the restoration-, periodontal- and tooth-related criteria. This resulted in an overall success rate of 93.9% after a mean observation period of 18.8 ± 5.7 years. The investigated parameters described in the “Material and methods” section showed different impacts regarding the individual success rates (Table 2).

No statistically significant differences regarding its impact on success rates were documented for gender ($p = 0.961$). In men, 40 hnPCCs and in women 41 hnPCCs showed complications and therefore could not be rated as success. The documented success rates were 94.2% for men and 93.5% for women. Although after 30 years, the cumulated success rate in women decreased more strongly, it did not represent a statistical significant difference (Fig. 5).

The success rate for both the evaluated hnPCCs attached to canines was 100%, which, considered individually, could be neglected due to the small sample size. Second premolars

Fig. 5 Kaplan–Meier survival analysis between gender and success rates of hnPCCs in percent in years



showed the highest success rate with 95.7%, closely followed by second molars with 94.0%. First molars showed a success rate of 93.6%, first premolars of 92.9% and third molars of 92.4%. The different success rates did not represent a statistically significant difference ($p = 0.475$). However, again, the cumulated success rate, in this case for the third molars, decreased sharply after about 30 years of service (Fig. 6).

Furthermore, there was no significant difference in the success rates of hnPCCs in the upper jaw ($n = 38$ failures, success rate 94.3%) and the lower jaw ($n = 43$ failures, success rate 93.5%, $p = 0.515$, Fig. 7).

The localization of attached hnPCCs regarding the four quadrants (I.–IV.) neither revealed a significant impact on the success rates ($p = 0.435$). In the first quadrant, $n = 24$

restorations showing complications (success rate 92.9%), in the second $n = 14$ (success rate 95.8%), in the third $n = 23$ (success rate 93.0%) and in the fourth $n = 20$ (success rate 93.9%, Fig. 8).

Kaplan–Meier survival analyses (Figs. 7 and 8) revealed that the success rates of hnPCCs in the lower jaw clearly decreased after an observation period of 30 years, compared to the other groups. However, no statistically significant difference could be calculated.

The success rates of hnPCCs for the different age groups showed significant differences. High noble metal alloy PCCs of patients who were younger than 37 years (success rate 90.7%) and of patients older than 51 years (success rate 93.1%) revealed statistically significant ($p = 0.012$)

Fig. 6 Kaplan–Meier survival analysis regarding the success rates of hnPCCs restoring respective teeth after an observation period of up to 35 years

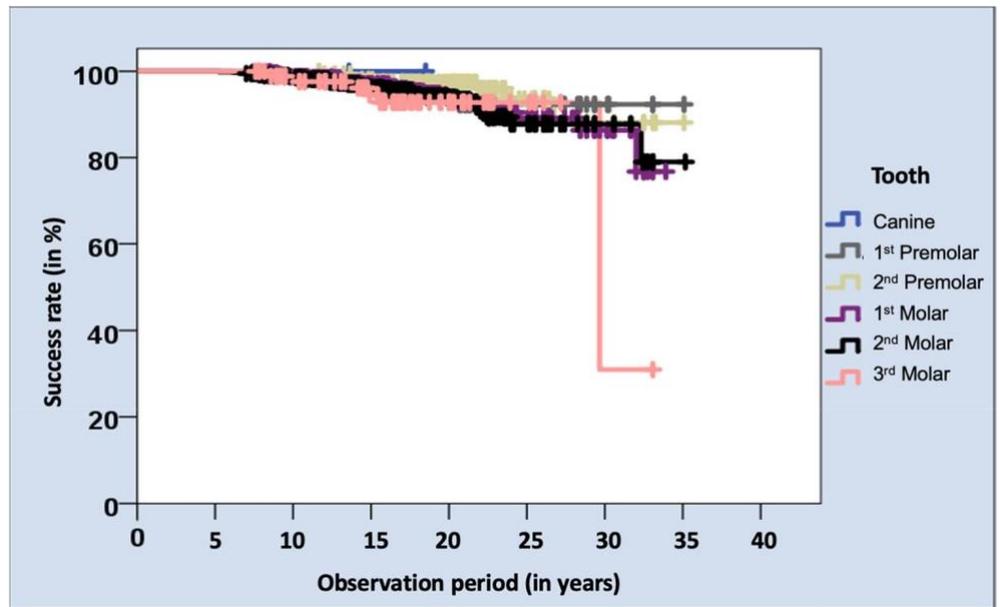


Fig. 7 Kaplan–Meier survival analysis regarding the distribution of hnPCCs located in the mandible and maxilla

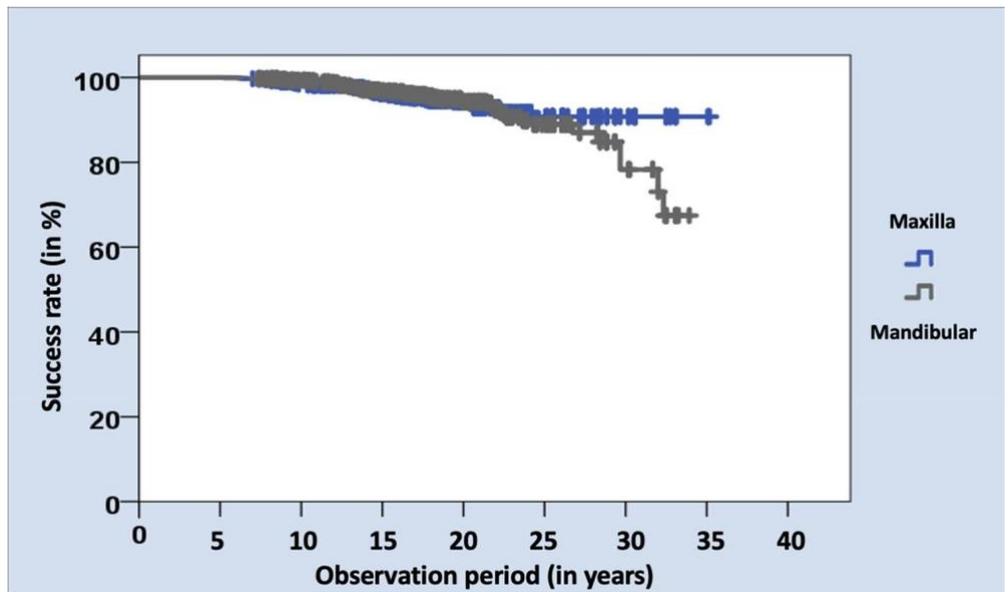
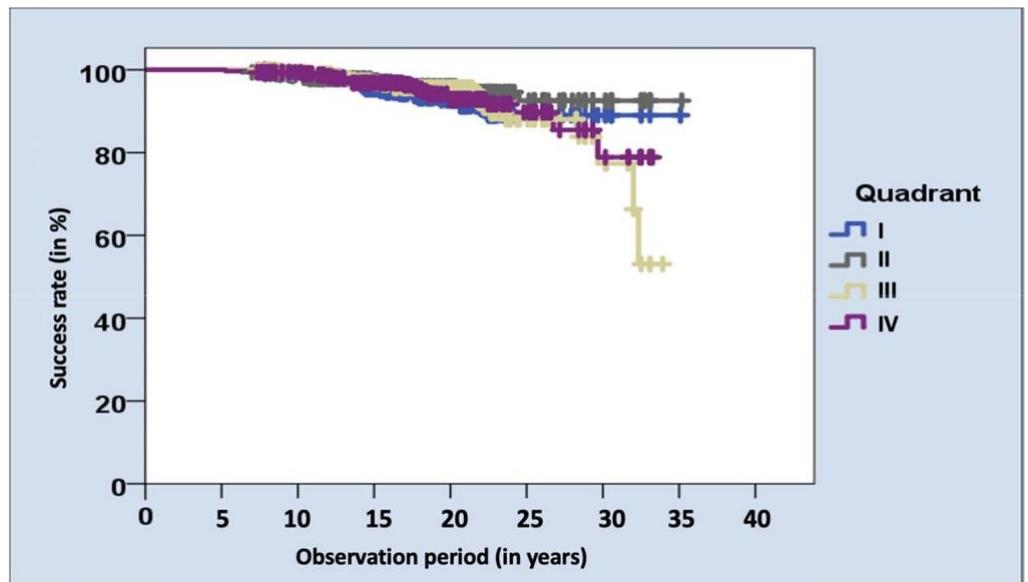


Fig. 8 Kaplan–Meier survival analysis regarding the success rates of investigated hnPCCs regarding all four dental quadrants



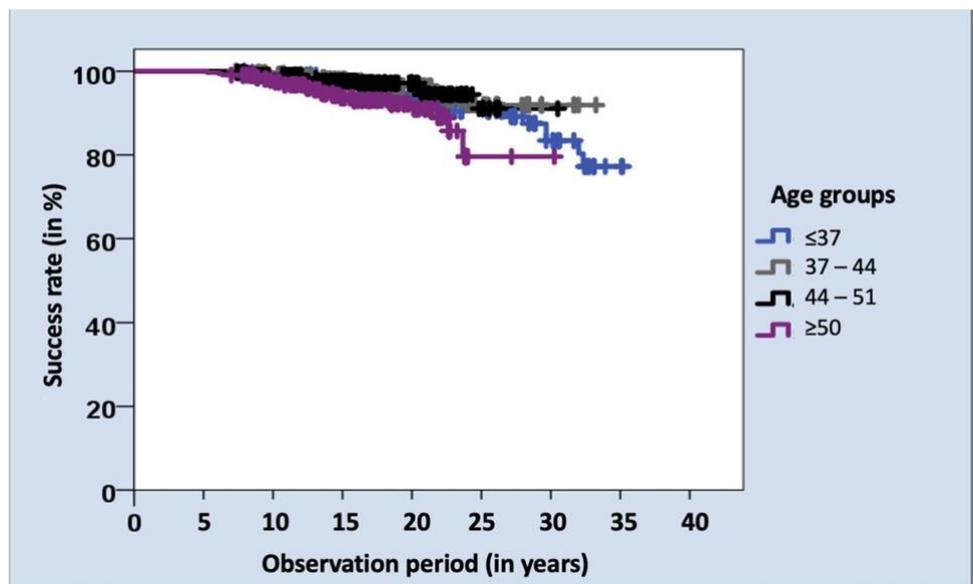
worse success rates than the middle age groups (success rates 95.4% and 96.4%). Patients < 37 years showed complications in 31 cases, patients between 37 and 44 years complications in 15 cases, patients between 44 and 51 years complications in 12 cases and patients > 51 years complications in 23 cases (Table 2, Fig. 9).

Besides the overall success rate of 93.9%, the cumulative success rates are of interest. The success rate after 10 years was 98.9%, after 15 years 96.7%, after 20 years 93.9%, after 25 years 87.5% and after 30 years 78.5% for hnPCCs. In the present study, 92.7% of the patients were clinically monitored for more than 10 years in the study practice.

Discussion

According to the results of this investigation, hnPCCs continue their eligibility as an option for restorations of decayed teeth in dentistry with excellent long-term prognosis supporting the working hypothesis. In the present retrospective study, the survival and success rates of 1325 hnPCCs were evaluated. A survival rate of 94.9% and a success rate of 93.9% were determined after a mean observation period of 18.8 ± 5.7 years. Thereby, 92.7% of the examined hnPCCs showed regular follow-ups for more than 10 years. Even the hnPCCs that had to be documented as unsuccessful showed a mean of 16.2 ± 6.2 years of service. This comprehensive

Fig. 9 Kaplan–Meier survival analysis regarding the success rates of investigated hnPCCs regarding different age groups



investigation was possible due to the fact that in Germany, the loyalty of a patient to his practitioner is specified with approx. 90% [32]. The high number of reexamined restorations in combination with a very extensive observation period allows for a more accurate prognosis regarding the success and survival probabilities of partial-coverage crowns manufactured from high-noble metal alloys.

With reference to existing literature, a reliable statement regarding long-term success rates of hnPCCs is difficult, since most studies did not exceed 10 years of follow-up data (Table 3). Additionally, the study designs were discussable regarding its number of investigated hnPCCs and materials [8, 25]. Compared to other studies, a success rate of 93.9% after a mean observation period of 18.8 ± 5.7 years is very high (Table 3). This might be explained by the highly specialized and experienced restorative team and the matured treatment concept. In comparison, other studies (Table 3) documented various dentists, dental technicians, materials and preparation designs [19]. Thereby, a regular recall of patients was not present [19, 33]. However, the fact that only patients with regular follow-ups and/or cleanings every 6 months were included in this study demonstrates the high compliance. This might be considered as positive influence on both survival and success rates documented and should also be discussed as bias.

Further attention should be paid to the used alloy and its material characteristics. In this study, Degulor M (a high noble metal alloy) was used for the manufacturing of all hnPCCs. The ductility of gold alloys seems to have a decisive influence regarding the probability of success. It is assumed that restorations made of high-gold alloys correspond to the degree of hardness of its antagonists and thus ensure occlusal stress reduction [18]. Due to the property of gold to permanently deform plastically under shear stress prior to fracture, stress fractures as those found in

ceramic restorations are not existent. Even with possible wear of adjusted front-canine guides, it is accepted that the ductility of gold leads to fewer hyperbalances in contrast to ceramic occlusal surfaces [16]. Likewise, it is assumed that a restoration with cPCCs in the posterior region is protected by an intact front-canine guide. In the case of natural abrasion of this guide over decades, this protection is no longer available [18].

Furthermore, success of hnPCCs is dependent on its preparation and restoration design. Special attention was paid to the preparation design and to maintain as much tooth structure as possible. Bevelled preparation edges were used to minimize cement gaps [23]. Covering all cusps and thus the entire occlusal surface appears to increase the stability of the restoration and residual tooth substance is less affected by prismatic fractures [19, 24] (Fig. 1e). Comparing hnPCCs with cPCCs, ceramic materials and adhesive bonding have improved in the last decades [42, 43]. Today, similar results to metal restorations can be achieved with cPCCs [34–36]. However, in clinical studies, chipping of veneering ceramics has been shown to be the most frequent reason for failure [6–8, 34–37]. It was also described that bruxism and the missing involvement of cusps negatively influence the survival rate of cPCCs compared to hnPCCs [38–40]. In a meta-analysis, Morimoto et al. [36] examined 14 studies on ceramic restorations from the period between 1983 and 2014; all of which were in vivo studies with non-preselected patients who participated in regular recalls for at least 5 years. The collected results in this meta-analysis described a success rate of 95% after 5 years and 91% after 10 years. It was assumed that the adhesive bonding was a decisive factor regarding the success of the ceramic restoration [36]. Although the documented success rates for cPCCs should be rated as very high, the investigated success rates of

Table 3 Comparative studies on survival rates of metallic dental restorations

| Authors/Publications | Number of investigated restorations | Mean observation period (in years) | Success rates (in %) and absolute numbers |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| Creugers et al. 1990 [34] | 203 | 5.0 | 62% (126) |
| Creugers et al. 1992 [35] | 203 | 7.5 | 75% (153) |
| barrack and bretz et al. 1993 [36] | 127 | 5.8 | 93% (118) |
| Samama et al. 1996 [37] | 145 | 5.7 | 83% (134) |
| Studer et al. 2000 [38] | 303 | 18.7 | 86% (261) |
| Aggstaller et al. 2008 [39] | 84 | 6.3 | 77% (72) |
| Opdam et al. 2011 [40] | 22 | 7.0 | 68% (18) |
| Botelho et al. 2014 [41] | 211 | 9.4 | 84% (278) |
| King et al. 2015 [44] | 771 | 13.0 | 81% (619) |
| Tanoue et al. 2016 [19] | 311 | 13.9 | 73% (327) |
| Najafi et al. 2016 [45] | 198 | 8.5 | 69% (137) |
| This study | 1325 | 18.8 | 93.9% (1244) |

hnPCCs in this study are even higher with 93.3% and with a mean observation period of 18.8 years.

The main reason for a rating as an unsuccessful restoration (hnPCC) were periodontal issues. This study documented that success rates became significantly worse after a mean age of 51 years comparing the different age groups with each other ($p = 0.012$) (Table 2). Periodontal diseases increase with age [41] and cause tooth loss due to loss of attachment, which in turn leads to loss of the respective restoration. Higher age as a decisive factor for success could be due to the fact that patients in the upper quartile are no longer able to maintain adequate oral hygiene due to motor limitations. In contrast, a plausible explanation for the lower success rates in patients under 37 years of age is difficult. An assumption might be that young patients receiving dental restorations already this early suffer from lack of compliance and dental hygiene.

The second most frequent complication were decementations of hnPCCs. Debonding of cPCCs occurred in 1% of the restorations ($n = 24$ of 4.854 cPCCs) and is therefore comparable with the documented decementation of 1.1% hnPCCs in this study but within a shorter observation period [36].

A main issue regarding the comparability of ceramic and metallic partial dental crowns are the various observation periods of the studies, especially for cPCCs. The success rate of cPCCs is documented with 95% after 5 years [36] and therefore comparable or even better than results for hnPCCs (Table 3), but within a shorter observation period. In the meta-analysis of Morimoto et al. on cPCCs, there were only three studies with a monitoring period of 15 years. The mentioned success rates were 81.5% (Beier et al., 2012), 88.7% (Otto and Schneider, 2008) and 89% (Reiss, 2006) [36]. Also, with regard to hnPCCs, few studies with longer observation periods than 10 years are available. Precisely, the very long observation period and number of cases are decisive strengths of the present study (Table 3). The results are therefore transferable to everyday clinical practice and present a strong statement, with the restriction that the treating clinician embodies high clinical standards and sticks to the treatment concepts. However, this should be the claim of every practitioner. While it can be stated that cPCCs show comparable success rates to hnPCCs in the first 5 years, the long-term prognoses of cPCCs are not yet clearly clarified. A retrospective investigation depends on the selection and documentation of the available data. For the individual cases, unfortunately, not as much data as desired were documented in the records and hence could not be analyzed. Furthermore, due to the design of this study, it was not possible to subsequently change study criteria, evaluate different treatment concepts or include a control group. However, only studies with reproducibility, high number of cases and a longest possible observation period can provide information on the long-term prognoses of treatment concepts. All steps

from diagnosis to restoration were performed by a single dentist and a single lab technician in a privately run dental practice. Over the entire treatment period, the used alloy and materials were the same and the workflow was standardized. This should of course also be critically discussed as bias, i.e. regarding objectivity towards the own work. Inclusion of an external reviewer would have been desirable to present more objective results with better transferability. Thereby, it should be noted that the results were worse in studies with various practitioners [19, 26].

Conclusion

Partial-coverage crowns fabricated from a high noble metal alloy exhibited an excellent clinical long-term performance with a survival rate of 94.9% and a success rate of 93.9% after a clinical service time of up to 30 years. The documented treatment concept is still entitled to be considered in modern restorative dentistry.

Author contribution

Philipp Rehm: data collection, data/statistical analysis/interpretation, drafting/ approval of article.

Hermann Derks:

concept/design, data collection, approval of article.

Wilfried Lesaar:

concept/design, data collection, approval of article.

Benedikt Christopher Spies:

concept/design, data analysis/interpretation, approval of article.

Florian Beuer:

concept/design, data analysis/interpretation, drafting/approval of article.

Mats Wernfried Heinrich Böse: Data analysis/interpretation, drafting/approval of article.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Declarations

Ethical approval All procedures performed in this study involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. The Ethical Committee of Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany, gave ethical approval for this study (application number: EA4/135/19).

Informed consent Informed consent was not necessary since all data were processed anonymously.

Conflict of interest The authors declare no competing interests.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source,

provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Angeletaki F, Gkogkos A, Papazoglou E, Kloukos D (2016) Direct versus indirect inlay/onlay composite restorations in posterior teeth. A systematic review and meta-analysis. *J Dent* 53:12–21
- Innes NPT, Ricketts D, Chong LY, et al (2015) Preformed crowns for decayed primary molar teeth. *Cochrane Database Syst. Rev.*
- Pelka M, G. Schmidt AP, (1996) Klinische Qualitätsbeurteilung von gegossenen Metallinlays und -onlays. *DZZ05(1996):268–272*
- Augthun M, Lichtenstein M, Kammerer G (1990) Studies on the allergenic potential of palladium alloys. *Dtsch Zahnärztl Z*
- Boettger H, Rosenbauer K A PP (1989) Die Oberfläche von Glaskeramikkronen (Dicor) und VMK-Kronen im rasterelektronenmikroskopischen Vergleich
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2004.00119.x>
- 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* 135:605–12. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2004.0248>
- Naumann M, Ernst J, Reich S, et al (2011) Galvano- vs. metal-ceramic crowns: Up to 5-year results of a randomised split-mouth study. *Clin Oral Investig.* <https://doi.org/10.1007/s00784-010-0429-3>
- Dioguardi M, Perrone D, Troiano G, et al (2015) Cytotoxicity evaluation of five different dual-cured resin cements used for fiber posts cementation. e-Century Publishing Corporation
- 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.* <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.03.024>
- Walther T (1985) Vergleichende Untersuchungen zur Paßgenauigkeit des Kronenrandes. Der Einfluß der Randabschrägung bei hohlkehligter Präparation und keramischer Verblendung. *Med Diss Uni Tübingen*
- Pameijer JHN (1991) Parodontale und okklusale Aspekte der Kronen- und Brückenprothetik. Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz
- Christensen GJ (1971) Clinical and research advancements in cast-gold restorations. *J Prosthet Dent.* [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(71\)90150-8](https://doi.org/10.1016/0022-3913(71)90150-8)
- Pameijer JHN (2004) [Gold partial restorations - quo vadis?]. *Ned Tijdschr Tandheekkd*
- Christensen GJ (1996) The coming demise of the cast gold restoration? *J Am Dent Assoc.* <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1996.0417>
- Rykke M (1992) Dental materials for posterior restorations. *Dent Traumatol.* <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1992.tb00233.x>
- Eichner K, Kappert H (2005) Zahnärztliche Werkstoffkunde und ihre Verarbeitung. Grundlagen und Verarbeitung. Band 1 und 2. In: Eichner K, Kappert HF (eds) 8th ed. Thieme, Stuttgart, p 432
- Tucker RV (2008) Why gold castings are excellent restorations. *Oper Dent* 33:113–115
- Stoll R, Sieweke M, Pieper K et al (1999) Longevity of cast gold inlays and partial crowns—a retrospective study at a dental school clinic. *Clin Oral Investig.* <https://doi.org/10.1007/s007840050086>
- Federlin M, Wagner J, Männer T et al (2007) Three-year clinical performance of cast gold vs ceramic partial crowns. *Clin Oral Investig* 11:345–352. <https://doi.org/10.1007/s00784-007-0158-4>
- (1998) Retrospective clinical investigation and survival analysis on ceramic inlays and partial ceramic crowns: results up to 7 years. *Clin Oral Investig* 2:161–167. <https://doi.org/10.1007/s007840050064>
- Schulz-Bongert J (1985) Konzept der restaurativen Zahnheilkunde: Angewandte gnathologische Systematik. Siegfried Klages Verlag, Berlin
- Gassiraro LD (1994) Seven-step tooth preparation for a gold onlay. *J Prosthet Dent* 71:119–123. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0022-3913(94)90018-3)
- 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.* <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2004.tb00034.x>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00784-003-0205-8>
- Studer SP, Wettstein F, Lehner C et al (2000) Long-term survival estimates of cast gold inlays and onlays with their analysis of failures. *J Oral Rehabil* 27:461–472. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2000.00540.x>
- Lang NP, Joss A, Orsanic T et al (1986) Bleeding on probing. A predictor for the progression of periodontal disease? *J Clin Periodontol* 13:590–596. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.1986.tb00852.x>
- Tomasi C, Leyland AH, Wennström JL (2007) Factors influencing the outcome of non-surgical periodontal treatment: a multilevel approach. *J Clin Periodontol* 34:682–690. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2007.01111.x>
- Müller Campanile V, Megally A, Campanile G et al (2019) Risk factors for recurrence of periodontal disease in patients in maintenance care in a private practice. *J Clin Periodontol* 46:918–926. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13165>
- SC M (1950) *Textbook of periodontia*, 3rd ed. The Blakestone Company, Philadelphia
- Jordan AR, Micheelis W (2016) Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). *IDZ-Materialienreihe* 35:617
- Micheelis W, Süßlin W (2012) Einstellungen und Bewertungen der Bevölkerung zur zahnärztlichen Versorgung in Deutschland—Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage 2011. 1–24
- Bentley C, Drake CW (1986) Longevity of restorations in a dental school clinic. *J Dent Educ* 50:594–600
- Christian Thaller aus Augsburg (2008) In-vitro Vergleich der Bruchfestigkeit und Randschlussverhalten von CAD-CAM-gefertigten Zirkoniumdioxidkronen, lasergesinterten und gegossenen Metallkeramik-kronen. Regensburg
- Blatz MB, Vonderheide M, Conejo J (2018) The effect of resin bonding on long-term success of high-strength ceramics. *J Dent Res.* <https://doi.org/10.1177/0022034517729134>
- Morimoto S, Rebello De Sampaio FBW, Braga MM, et al (2016) Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res*
- Tinschert J, Natt G, Latzke P, Schulze K, Heussen N SH (2007) Vollkeramische Brücken aus DC-Zirkon – Ein klinisches Konzept mit Erfolg? *Dtsch Zahnärztl Z*
- Smales RJ, Etemadi S (2004) Survival of ceramic onlays placed with and without metal reinforcement. *J Prosthet Dent.* <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.03.011>
- Roulet JF (1997) Longevity of glass ceramic inlays and amalgam—results up to 6 years. *Clin Oral Investig.* <https://doi.org/10.1007/s007840050007>

40. Cobankara FK, Unlu N, Cetin AR, Ozkan HB (2008) The effect of different restoration techniques on the fracture resistance of endodontically-treated molars. *Oper Dent*. <https://doi.org/10.2341/07-132>
41. Kepschull SJHDM (2018) Aetiologie der Parodontitis – gibt es neue Erkenntnisse?: *zm-online*. https://www.zm-online.de/archiv/2018/01_2/zahnmedizin/aetiologie-der-parodontitis-gibt-es-neue-erkenntnisse-1/. Accessed 14 Apr 2020
42. Guess PC, Schultheis S, Wolkewitz M et al (2013) Influence of preparation design and ceramic thicknesses on fracture resistance and failure modes of premolar partial coverage restorations. *J Prosthet Dent*. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60374-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60374-1)
43. Horn HR (1983) Porcelain laminate veneers bonded to etched enamel. *Dent Clin North Am*

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Komplette Publikationsliste

Artikel

Publikationsliste (Stand Mai 2022)

Philipp Rehm

Zahnarzt

E-Mail: philipp.rehm@charite.de

Jäger F, Jäger A, Temming A, Rehm P, Bumann A. Evaluation of various low-dose cone-beam computed tomography protocols in the diagnosis of specific condylar defects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021 Apr;159(4):491-501.e2. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.01.021. Epub 2021 Feb 1. PMID: 33541784.

Rehm P, Derks H, Lesaar W, Spies BC, Beuer F, Böse MWH. 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.* 2021 Jul 9. doi: 10.1007/s00784-021-04063-8. Epub ahead of print. PMID: 34241707.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater und Betreuer Prof. Dr. med. dent. Florian Beuer für meine Aufnahme als Doktoranden und die stets zeitnahe und freundliche Rückmeldung und Zusammenarbeit danken. Ein besonderer Dank gilt auch meinem beiden Zweit- und Drittbetreuern Prof. Dr. med. dent. Benedikt Spies und Dr. med. dent. Mats Böse für die intensive Betreuung und zielführende Unterstützung im Erstellen des Manuskriptes.

Zudem möchte ich mich bei allen Co-Autoren meiner Publikation bedanken. Ein besonderer Dank gilt hier Dr. med. dent. Hermann Derks, welcher durch die Bereitstellung der Daten aus seiner Praxis überhaupt erst diese Studie ermöglicht hat. Für seine zusätzlichen Anregungen und konstruktiver Kritik bei dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Alle beteiligten Autoren standen mir mit viel Geduld, Hilfsbereitschaft und großem Interesse mit Rat und Tat zur Seite. Ihre Einflüsse haben dazu beigetragen, dass diese Publikation in dieser Form vorliegt.

Zuletzt, aber nicht minder wichtig, möchte ich mich bei meiner Familie in Person meiner Eltern Rosemarie Rehm und Dr. med. dent. Leo Rehm und ganz besonders meiner Frau Dr. med. Nikolett Rehm-Sugár für ihre bedingungslose Unterstützung herzlich bedanken. Danke für euer Verständnis, eure Geduld und eure Bereitschaft mich im Privaten und auch beruflich zu entlasten.