

Aus der Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung  
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Einflussfaktoren auf die Wahl des Füllmaterials im Molarenbereich

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Zahnmedizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Doreen Asmus  
aus Löbau

Mainz, 2023

Tag der Promotion: 17. April 2023

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	II
Tabellenverzeichnis.....	V
1 Einleitung / Ziel der Dissertation.....	1
1.1 Hintergrund.....	1
1.2 Ziel der Arbeit .....	2
2 Literaturdiskussion .....	4
2.1 Füllungsmaterialien .....	4
2.1.1 Amalgam.....	5
2.1.2 Dentalkomposite und Kompomere (Kunststoff).....	7
2.1.3 Zemente.....	10
2.1.4 Goldeinlagefüllungen.....	12
2.1.5 Keramikeinlagefüllungen .....	14
2.2 Einflussfaktoren auf die Wahl des Füllmaterials.....	16
2.3 Besonderheiten des Molarenbereichs .....	18
3 Material und Methoden.....	20
3.1 Studiendesign.....	20
3.2 Patientenkohorte .....	20
3.3 Datenextraktion und Variablen .....	20
3.3.1 Alterskategorie.....	21
3.3.2 Tiefe der Kavität.....	21
3.3.3 Fläche der Füllung.....	22
3.3.4 DMFT-Index.....	23
3.4 Datendarstellung .....	23
3.5 Statistische Auswertung .....	23
4 Ergebnisse .....	24
4.1 Stichprobenbeschreibung.....	24
4.2 Korrelationen zwischen Füllungsmaterialien und demographischen Faktoren .....	30
4.3 Medizinische Faktoren.....	42
4.4 DMFT-Werte.....	48
4.5 Fazit der Ergebnisdarstellung.....	50
5 Diskussion .....	54
5.1 Diskussion der Ergebnisse .....	54
5.2 Diskussion der Methode .....	62
5.3 Schlussfolgerungen .....	63
5.4 Ausblick .....	64
6 Zusammenfassung.....	66
7 Abstract .....	68
8 Literaturverzeichnis .....	69

## Abkürzungsverzeichnis

AODES	Academy of Operative Dentistry European Section
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
Bis-DMA	Bisphenol-A-Dimethacrylat
Bis-EMA	Bisphenol-A-Glykoldimethacrylat
BIS-GMA	2,2-Bis[4-(2-hydroxy-3-methacryloyloxypropoxy)phenyl]propan
Bis-MPEPP	2,2-Bis-[(4-Methacryloxypolyethoxy)phenyl]propan
BPA	Derivate von Bisphenol A
BZÄK	Bundeszahnärztekammer
CAD/CAM	computergestützten Konstruktion/Fertigung
CEREC	Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics
DMFT	Decayed missing filled teeth
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
PC-Bis-GMA	polycarbonatmodifiziertes Bis-GMA
PKV	Private Krankenversicherung
TEGDMA	1,6-Bis-(Urethan-ethyglykol-methacrylat)2,4,4-trimethylhexan (UEDMA) und Triethylenglykoldimethacrylat
UNEP	United Nations Environment Programme

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteile der verwendeten Materialien für dreiflächige Füllungen im Seitenzahnbereich; Stand 2014 (Schulze & Maxson, 2021, S. 4).....	4
Abbildung 2a:1Zweiflächige Amalgamfüllung an Zahn 15 und einflächige Amalgamfüllung an Zahn 14.....	6
Abbildung 2b:4Zweiflächige Amalgamfüllung an Zahn 24, einflächige Amalgamfüllung an 25 mit deutlichen Frakturlinien und dreiflächige Amalgamfüllung an 26.....	6
Abbildung 2c:3Zweiflächige Amalgamfüllung an Zahn 17.....	6
Abbildung 2d:4Dreiflächige Amalgamfüllung an Zahn 46 und zweiflächige Amalgamfüllung an Zahn 47.....	6
Abbildung 2: Amalgamfüllungen von Prämolaren und Molaren (Bildarchiv: Willershausen).....	6
Abbildung 3a:1Dreiflächige Kunststofffüllung an Zahn 16.....	7
Abbildung 3b:2Zweiflächige Kunststofffüllung an Zahn 15.....	7
Abbildung 3c:3 Einflächige Kunststofffüllung.....	7
Abbildung 3d:4Vierflächige Kunststofffüllung.....	7
Abbildung 3: Kunststofffüllung von Prämolaren und Molaren (Bildarchiv: Willershausen).....	7
Abbildung 4a:1 Einflächige Glasionomerfüllung an Zahn 47.....	10
Abbildung 4b:2 Dreiflächige Glasionomerfüllung an Zahn 46.....	10
Abbildung 4: Glasionomerzementfüllung an Molaren (Bildarchiv: Willershausen)....	10
Abbildung 5a: Zweiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 24 Goldteilkrone an Zahn 25 vierflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 26 und Zahn 27.....	12
Abbildung 5b: Zweiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 35 Goldvollgußkrone an Zahn 36 und Zahn 37.....	12
Abbildung 5c: Zweiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 27 mit Kaufläche aus Keramik.....	12
Abbildung 5d: Zweiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 35, dreiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 36 und zweiflächige Goldeinlagefüllung Zahn 37.....	12
Abbildung 5: Goldinlay an Molaren (Bildarchiv: Willershausen).....	12
Abbildung 6a:1 Zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 35.....	14
Abbildung 6b:2 Zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 35 am Gipsmodell.....	14
Abbildung 6c:3 Kavitätenpräparation für Keramikeinlagefüllungen, zweiflächig an Zahn 35, Keramikteilkrone an Zahn 36 und zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 37.....	14

Abbildung 6d:4 Zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 35, Keramikeilkrone an Zahn 36 und zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 37.....	14
Abbildung 6: Keramikinlays an Prämolaren und Molaren (Bildarchiv: Willershausen).....	14
Abbildung 7: Kaukraft und Kauzyklen (Weilenmann, 2022, S. o. S.) .....	19
Abbildung 8: Karies-Stadien (DentNet, 2022, S. o. S.).....	22
Abbildung 9: Flächen einer Füllung (Klein, 2018, S. o. S.).....	23
Abbildung 10: Alle 10.552 Zähne, aufgeschlüsselt nach Befund .....	25
Abbildung 11: Alle 10.552 Zähne, aufgeschlüsselt nach Befund und Zahnposition .....	26
Abbildung 12: Alle 10.552 Zähne, aufgeschlüsselt nach Füllungsmaterialien.....	27
Abbildung 13: Alle 4497 Zähne mit Füllung, aufgeschlüsselt nach Füllungsmaterial und Zahnposition. ....	28
Abbildung 14: Anzahl der Füllungen pro Patient. ....	29
Abbildung 15: Anzahl verschiedener Füllungsmaterialien pro Patient .....	30
Abbildung 16: Alter der Patienten in Jahren .....	31
Abbildung 17: Geschlechterverteilung der Patientenkohorte .....	32
Abbildung 18: Versicherungsstatus der Patientenkohorte.....	33
Abbildung 19: Wohnortverteilung der Patientenkohorte .....	34
Abbildung 20: Prozentuale Verteilung der Kategorien nach Altersgruppen .....	35
Abbildung 21: Prozentuale Verteilung der Füllungen nach Geschlecht .....	36
Abbildung 22: Prozentuale Verteilung der Füllungen nach Versicherungsstatus der Patienten .....	37

Abbildung 23: Prozentuale Verteilung der Füllungen in Abhängigkeit vom Wohnort der Patienten.....	38
Abbildung 24: Prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit von der Alterskategorie.....	39
Abbildung 25; Prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit vom Geschlecht der Patienten .....	40
Abbildung 26: Prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit vom Versicherungsstatus der Patienten.....	41
Abbildung 27: Prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit vom Wohnort der Patienten.....	42
Abbildung 28: Verteilung der Tiefe der Kavitäten für alle Zähne mit Füllungen (N = 4497) .....	45
Abbildung 29: Verteilung der Füllungsmaterialien für die verschiedenen Tiefenangaben.....	46
Abbildung 30: Verteilung der Fläche für alle Zähne mit Füllungen.....	47
Abbildung 31: Verteilung der Füllungsmaterialien für die verschiedenen Flächenangaben.....	48
Abbildung 32: Verteilung der DMFT-Werte für Patienten mit Füllungen .....	49
Abbildung 33: DMFT-Wert und Materialien .....	50

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Forschungsfragen.....	2
Tabelle 2: Variablen und Kategorien .....	20
Tabelle 3: Stichprobenprävalenz der Befunde für alle Patienten und Zähne .....	24
Tabelle 4: Stichprobenprävalenz der Füllungsmaterialien für alle Patienten und Zähne. ....	26
Tabelle 5: Verteilung der Angaben für die Tiefe der Kavität für alle Zähne mit Füllungen.....	43
Tabelle 6: Verteilung der Angaben für die Fläche für alle Zähne mit Füllungen.....	44
Tabelle 7: Ergebnistabelle .....	51



# 1 Einleitung / Ziel der Dissertation

## 1.1 Hintergrund

Die Kariesprävalenz (d. h. die Anzahl kariöser, fehlender, gefüllter Zähne, DMFT) ist in vielen europäischen Ländern bei Personen mit hohem Einkommen seit Jahrzehnten rückläufig, während weltweit ein Anstieg der Kariesprävalenz und eine zunehmende Polarisierung, d. h. eine ungleiche Verteilung dieser Prävalenz zu beobachten ist (Schwendicke, et al., 2015). Unbehandelte kariöse Läsionen an bleibenden Zähnen sind nach wie vor die am weitesten verbreitete Erkrankung und betrafen 2016 weltweit 2,4 Milliarden Menschen (Kassebaum, et al., 2015).

Trotz der großen Erfolge, die in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) im Bereich der Mundgesundheit erzielt wurden, ist Karies nach wie vor auch bei uns ein ernstes Problem. Mit fast 33.000 Fällen pro 100.000 Einwohner ist Karies auch in Deutschland die häufigste Erkrankung. Da Karies die Hauptursache für Zahnverluste bis zum fünften Lebensjahrzehnt darstellt, kann man davon ausgehen, dass die von dieser Erkrankung ausgehende Gesamt- und Langzeitbelastung noch höher angesehen werden muss (Kassebaum, et al., 2015). Die Kosten für die Behandlung von Karies sind erheblich, da Füllungen und prothetische Versorgungen, angesichts der begrenzten Lebensdauer dieser Restaurationen, in der Regel nach einigen Jahren erneuert werden müssen (Kanzow, et al., 2017).

Kariesepidemiologischen Daten aus Deutschland deuten auf einen nachhaltigen Rückgang der Karieserfahrung in jüngeren Altersgruppen hin; was mit Daten aus anderen Ländern übereinstimmt (Dobloug & Grytten, 2015). Parallel dazu altert die Bevölkerung in der BRD erheblich. So machen Personen, die 65 Jahre und älter sind, heute 22% der Bevölkerung aus; dieser Anteil wird bis 2030 auf 28% ansteigen. Da in dieser wachsenden Altersgruppe mehr Zähne erhalten bleiben, steigt auch die absolute Zahl der kariesgefährdeten Zähne. Sowohl die Morbidität als auch die demografische Dynamik von Karies werden einen erheblichen Einfluss auf den künftigen Behandlungsbedarf haben.

Wenn die Schädigung der Zahnhartsubstanz dauerhaft ist, besteht die am häufigsten angewandte Behandlung darin, die Kavität zu reinigen und sie mit einem Füllungsmaterial zu versorgen, um die Form und Funktion des Zahns wiederherzustellen. Primärkaries ist der häufigste Grund für das Einsetzen von

Füllungen. Kariesläsionen (Prädilektionsstellen) sind am häufigsten auf den Kauflächen sowie im Approximalbereich der Seitenzähne zu finden (Nascimento, et al., 2010). Sekundärkaries ist für 60% aller Ersatzrestorationen in der typischen Zahnarztpraxis verantwortlich, aber es wurde kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Art der Restaurationsmaterialien und dem Ort der Karies sowie der Zusammensetzung der Mikroflora festgestellt (Mo, Bao, Lai, Wang, & Li, 2010).

Die Bewertung von klinischen Trends hinsichtlich materialtechnischer Erneuerungen der zur Verfügung stehenden Füllungsmaterialien und die Projektion künftiger Kariesprävalenzen sind für Kliniker und für die Ressourcenzuweisung seitens der Krankenkassen von Bedeutung.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden retrospektiven Studie war es daher, die klinische Anwendung diverser Füllungsmaterialien für den Molarenbereich in einer deutschen Zahnklinik über einen Zeitraum von 10 Jahren zu dokumentieren und die Anwendung der Materialien mit verschiedenen Variablen zu korrelieren (s. Tab. 1).

Aus dieser Intention leiten sich die folgenden Forschungsfragen ab:

**Tabelle 1: Forschungsfragen**

Nr.	Forschungsfrage
1	Welches Füllungsmaterial wird für Molaren verwendet?
2	Wie stellt sich die Altersverteilung in der Patientenkohorte dar?
3	Wie groß ist der Anteil privatversicherter Patienten?
4	Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Alter und den verwendeten Füllungsmaterialien?
5	Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den

	verwendeten Füllungsmaterialien?
6	Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Versicherungsstatus und den verwendeten Füllungsmaterialien?
7	Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Wohnort (Stadt/Land) und den verwendeten Füllungsmaterialien?
8	Besteht ein Zusammenhang zwischen der Tiefe der Kavität und der Fläche und den verwendeten Füllungsmaterialien
9	Besteht ein Zusammenhang zwischen der Größe des DMFT und den verwendeten Füllungsmaterialien?

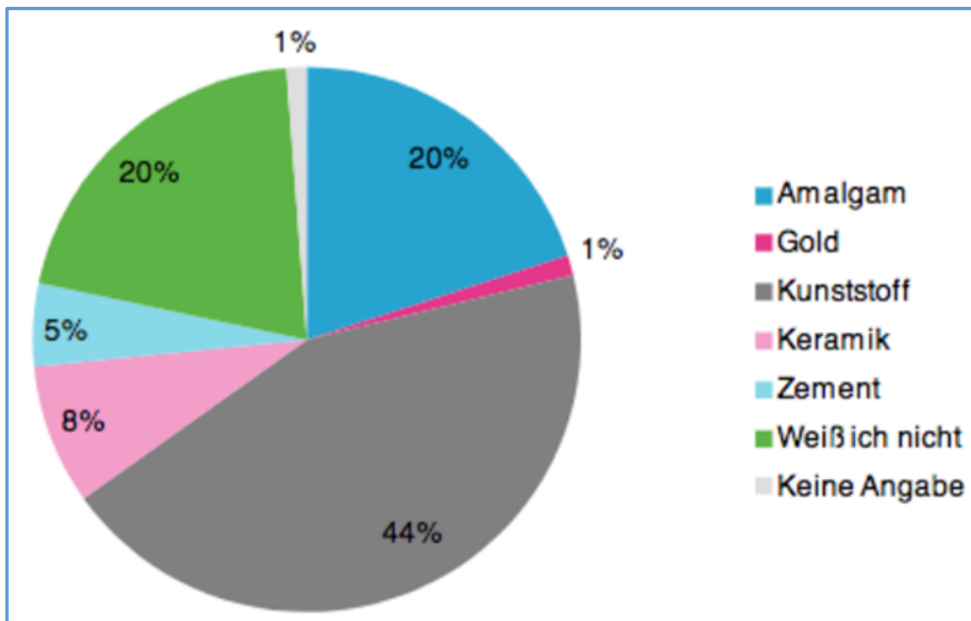
## 2 Literaturdiskussion

### 2.1 Füllungsmaterialien

Die Wahl des besten Materials für die Wiederherstellung der anatomischen Strukturen, welches auch einen akzeptablen Widerstand gegenüber den Kaukräften bietet, ist nach wie vor umstritten.

Als plastische Füllungsmaterialien stehen Amalgam, Kunststoffe (Kompomere und Komposite) und Glasionomere zemente oder klassische Zemente zur Verfügung. Bei den Einlagefüllungen werden Goldinlays (metallbasierte Werkstoffe) und Keramikinlays eingesetzt.

Bei einer Umfrage im Rahmen des Barmer GEK-Zahnreports wurden folgende Anteile der verwendeten Materialien für dreiflächige Füllungen im Seitenzahnbereich dokumentiert (s. Abb. 1).



**Abbildung 1: Anteile der verwendeten Materialien für dreiflächige Füllungen im Seitenzahnbereich; Stand 2014 (Schulze & Maxson, 2021, S. 4)**

Allerdings entstand diese Grafik aufgrund von Patientenbefragungen. Die Patienten wussten bei etwa jeder fünften Füllung nicht, aus welchem Material diese besteht.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Patienten ebenfalls mit Füllungen aus Amalgam, Kunststoff oder Zement und Gold- und Keramikinlays versorgt, die heute im Wesentlichen für die Restauration von Seitenzähnen verwendet werden.

Diese Füllmaterialien werden im Folgenden vorgestellt:

### 2.1.1 Amalgam

Dentale Amalgame sind Metalllegierungen. Sie sind seit mehr als 150 Jahren ein in Deutschland verwendetes vorhersagbares und kostengünstiges Restaurationsmaterial. Ihre Verwendung und Erfolgsquote sind gut dokumentiert. Vorteile des Amalgams als Füllungsmaterial für Molaren sind die relativ unkomplizierte und fehler-tolerante Verarbeitung in der Mundhöhle und seine sehr gute Haltbarkeit.

Materialtechnisch ist Amalgam ein ideales plastisches Füllungsmaterial für den Seitenzahnbereich. Es ist nach der Abbindephase ungefähr so hart wie der Schmelz und ähnelt dem Schmelz im Abriebverhalten; es ist druckstabil und dimensionsstabil und schafft einen randspaltfreien Übergang zum Zahn (MEDECO GmbH, 2022).

Die Metallmischung der heute verwendeten Non-Gamma-2-Phasen-Silberamalgame besteht aus ca. 50% Quecksilber und die zugefügten Metalle aus  $\geq 40\%$  Silber,  $\leq 32\%$  Zinn,  $\leq 30\%$  Kupfer,  $\leq 5\%$  Indium,  $\leq 3\%$  Quecksilber und  $\leq 2\%$  Zink. Diese Amalgame sind sehr korrosionsbeständig, da der Kupferanteil reduziert und der Zinngehalt erhöht wurde (Mitchell, Koike, & Okabe, 2007).

Amalgame sind die kostengünstigsten Materialien für die Restauration von Seitenzähnen. Ihre Verwendung in der Zahnmedizin ist jedoch rückläufig, vor allem wegen ihres unästhetischen Aussehens und der Bedenken wegen ihres hohen Quecksilbergehalts von über 50% (Mitchell, Koike, & Okabe, 2007). Da Quecksilber ein Stoff ist, der sowohl für die menschliche Gesundheit als auch für die Umwelt giftig sein kann, hat das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) das Minamata-Übereinkommen über Quecksilber ins Leben gerufen, das darauf abzielt, *"die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor anthropogenen Emissionen und Freisetzungen von Quecksilber und Quecksilberverbindungen zu schützen"* (UNEP, 2013).

Das Minamata-Übereinkommen empfiehlt einen schrittweisen Ausstieg aus der Verwendung von Quecksilber, einschließlich der Verwendung von Amalgam in der Zahnmedizin; insbesondere verpflichten sich die Vertragsparteien, die das Übereinkommen ratifiziert haben, zur Annahme von mindestens zwei der neun

vorgeschlagenen Ausstiegsmaßnahmen (UNEP, 2013). Das Übereinkommen ist am 16. August 2017 international in Kraft getreten und wurde bis Februar 2021 von 127 Regierungen weltweit ratifiziert (UNEP., 2017).

Für die Bundesrepublik Deutschland gibt es ebenfalls politische Ansätze zum schrittweisen Amalgamausstieg (Schulze & Maxson, 2021). Die geplanten 26 neuen Maßnahmen werden in dem „Nationalen Aktionsplan zur schrittweisen Verringerung von Dentalamalgam“ zusammengefasst (Schulze & Maxson, 2021). Ab dem 01.07.2018 darf Dentalamalgam EU-weit nur noch in medizinischen Ausnahmefällen bei Kindern unter 15 Jahren, Schwangeren und Stillenden verwendet werden (Nobmann, 2019).

Die folgenden Abbildungen zeigen diverse Füllungen von Prämolaren und Molaren mit Amalgam (s. Abb. 2).



Abbildung 2a: Zweiflächige Amalgamfüllung an Zahn 15 und einflächige Amalgamfüllung an Zahn 14.



Abbildung 2b: Zweiflächige Amalgamfüllung an Zahn 24, einflächige Amalgamfüllung an 25 mit deutlichen Frakturlinien und dreiflächige Amalgamfüllung an 26.



Abbildung 2c: Zweiflächige Amalgamfüllung an Zahn 17.



Abbildung 2d: Dreiflächige Amalgamfüllung an Zahn 46 und zweiflächige Amalgamfüllung an Zahn 47.

**Abbildung 2a - 2d: Amalgamfüllungen von Prämolaren und Molaren (Bildarchiv: Willershausen)**

### 2.1.2 Dentalkomposite und Kompomere (Kunststoff)

Ein Komposit besteht aus einer Mischung oder Kombination von anorganischen Füllkörpern (Glasbestandteile,  $\text{SiO}_2$ ) und anorganischen reaktiven Verbindungen, die sich in Form und chemischer Zusammensetzung unterscheiden und im Wesentlichen durch Polymerisationsprozesse eine chemische Verbindung eingehen.

Die nächste Abbildung zeigt Prämolaren und Molaren, die mit Kompositfüllungen versorgt wurden (s. Abb. 3).



Abbildung 3a: Dreiflächige Kunststofffüllung an Zahn 16.



Abbildung 3b: Zweiflächige Kunststofffüllung an Zahn 15.



Abbildung 3c: Einflächige Kunststofffüllung an Zahn 26.



Abbildung 3d: Vierflächige Kunststofffüllung an Zahn 14 und Zahn 15.

### Abbildung 3a - 3d: Kunststofffüllung von Prämolaren und Molaren (Bildarchiv: Willershausen)

Allgemein und vereinfacht ausgedrückt, bestehen Verbundwerkstoffe aus zwei Hauptbestandteilen: der organischen Matrix und den anorganischen Füllstoffen. Die Matrix bildet ein Netzwerk, das das strukturelle Skelett des Verbundwerkstoffs darstellt, und der Füllstoff verleiht dem Verbundwerkstoff seine mechanischen Eigenschaften (Willems, Lambrechts, Braem, Celis, & Vanherle, 1992). Dabei muss

der Füllstoff eng durch Zusatz von Silanen mit der Matrix verbunden sein, um seine Aufgabe zu erfüllen. Je nach der vorherrschenden Form (Länge, Breite, Dicke) können die Füllstoffe als kugelförmig, als Fasern oder als Mikropartikel klassifiziert werden. Der prozentuale Volumenanteil des Füllstoffs in der Regel 40% bis 60% ist entscheidend für die Eigenschaften eines Komposits. Metalle, Keramiken und Polymere können entweder die Matrix oder den Füllstoff bilden. Pigmente, Antioxidantien, Inhibitoren, Konservierungsmittel und antimikrobielle Mittel sind weitere mögliche Nebenbestandteile von Kompositen und sind für die Farbauswahl wesentlich (Willems, Lambrechts, Braem, Celis, & Vanherle, 1992).

Dentalkomposite sind Polymer-Keramik-Materialien, bei denen Methacrylat- und Dimethacrylatmonomere zur Matrix polymerisieren und Gläser, Keramiken oder Glaskeramiken als sphärische Füllstoffe eingearbeitet werden. Zu den am häufigsten verwendeten Dimethacrylatmonomeren gehören 2,2-Bis[4-(2-hydroxy-3-methacryloyloxypropoxy)phenyl]propan (BIS-GMA), 1,6-Bis-(Urethan-ethyglykol-methacrylat)2,4,4-trimethylhexan (UEDMA) und Triethylenglykoldimethacrylat (TEGDMA). Um die Bindung zwischen dem Füllstoff und der Matrix zu gewährleisten, werden die Füllstoffpartikel mit Silan-Kopplungsmitteln beschichtet, die eine Methacrylgruppe enthalten, die mit den matrixbildenden Dimethacrylatmonomeren copolymerisieren kann, sowie funktionelle Gruppen, die mit dem Füllstoff interagieren können. Die Qualität und der Umfang der Silanbeschichtung beeinflussen die Eigenschaften der Verbundwerkstoffe erheblich (Condon & Ferracane, 1997).

Die früheren Komposite hatten mechanische Eigenschaften, die für ein Restaurationsmaterial etwas kritisch waren. Ein ideales Restaurationsmaterial sollte Eigenschaften aufweisen, die denen des Hartgewebes entsprechen, das es ersetzen soll. Moderne Komposite werden diesen Anforderungen weitgehend gerecht. Aus struktureller Sicht ist die Anpassung des Elastizitätsmoduls der wichtigste Aspekt. Die Übereinstimmung mit der Druckfestigkeit, der Bruchzähigkeit, dem Wärmeausdehnungskoeffizienten und anderen Eigenschaften ist zweitrangig. Das Modul von Dentin beträgt ca. 18 GPa und das von Schmelz ca. 80 GPa; das Modul von Hybrid- und Seitenzahnkompositen liegt zwischen 15 und 25 GPa. Hybrid- und Seitenzahnkomposite haben eine ausreichende Steifigkeit, um Dentin zu ersetzen, erreichen jedoch nicht die Steifigkeit von Schmelz (Ruse, 1999).



Kompomere wurden als eine neue Klasse von Dentalmaterialien vermarktet, die die Vorteile von Kompositen (das "comp" in ihrem Namen) und Glasionomeren ("omer") vereinen sollten. Diese Materialien bestehen aus zwei Hauptbestandteilen: Dimethacrylatmonomer(en) mit zwei Carboxylgruppen in ihrer Struktur und einem Füllstoff der Glasbestandteile beinhaltet. Das Verhältnis der Carboxylgruppen zu den Kohlenstoffatomen beträgt etwa 1:8. Diese Materialien härten primär durch ionische Bindungen aus und es werden auch radikalische Polymerisationsreaktion ausgelöst. Kompomere sind jedoch nicht in der Lage, sich mit Zahnhartsubstanz stabil zu verbinden (Martin, Paul, Luthy, & Scharer, 1997).

Aufgrund ihrer Struktur und ihrer Eigenschaften gehören diese Materialien zur Klasse der dentalen Komposite. In Anbetracht des geringen Volumenanteils des Füllstoffs und der unvollständigen Silanisierung des Füllstoffs wurde die These aufgestellt, dass es sich um minderwertige Komposite handelt und diese eher als provisorische Füllungen betrachtet werden sollten. Sowohl in vitro- als auch in vivo-Untersuchungen haben diese Erwartung bestätigt. Für diese Materialien wurden ein niedrigerer Biegeelastizitätsmodul, Druckfestigkeit, Biegefestigkeit, Bruchzähigkeit und Härte, sowie deutlich höhere Abnutzungsraten im Vergleich zu klinisch bewährten Hybridkompositen berichtet (Meyer, Cattani-Lorente, & Dupuis, 1998).

Dentalkunststoffe wurden vorrangig als Reaktion auf die hohe Nachfrage nach zahnfarbenen Restaurationen entwickelt. Der Bereich der Komposit-Dentalrestaurationen entwickelt sich ständig weiter, z. B. bei der Harzformulierung, der Füllstoffbeladung und -modifikation sowie den Aushärtungsmethoden und -mechanismen. Die Indikationen von Kompositmaterialien haben sich von den Frontzähnen auf eingeschränkte Seitenzahnrestaurationen und sogar auf belastete Seitenzahnrestaurationen als Amalgamsubstitut oder -alternative ausgeweitet. Weitere Vorteile von Kompositrestaurationen sind ihr konservatives Design und ihre Reparierbarkeit (Moraschini, Alto, & Dos Santos, 2015). Die Wahl von Amalgam als bevorzugtes Material für die Restauration von Seitenzähnen wurde allmählich durch Komposit ersetzt, was wahrscheinlich auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen ist; darunter die Präferenz von Patienten und Zahnärzten (Espelid, et al., 2006).

Aber es werden auch hinsichtlich der geringen potenziellen Toxizität von Kompositmaterialien Bedenken geäußert, da diese Derivate von Bisphenol A (BPA) enthalten (z. B. "Bisphenol-A-Diglycidylmethacrylat (Bis-GMA), Bisphenol-A-

Dimethacrylat (Bis-DMA), polycarbonatmodifiziertes Bis-GMA (PC-Bis-GMA), ethoxyliertes Bisphenol-A-Glykoldimethacrylat (Bis-EMA), 2,2-Bis-[(4-Methacryloxypropyl)phenyl]propan (Bis-MPEPP) (Dursun 2016) (Dursun, Fron-Chabouis, Attal, & Raskin, 2016).

### 2.1.3 Zemente

Die Basis von Glasionomerzementen ist es ein (Natrium-) Calciumfluoraluminosilikatglas. Kalzium- und Aluminiumionen aus dem Glas vernetzen die Acryl-Maleinsäure-Itaconsäure-Copolymerketten, was zur Aushärtung von Glasionomerzementen führt. Die Carboxylgruppen der Polyalkeno-Ketten können das Kalzium des Hydroxylapatits chelatisieren, um den Zement an mineralisierte Zahnhartsubstanz zu binden. Die Fähigkeit, sich an mineralisierte Zahnhartsubstanz zu binden, ist ein großer Vorteil (Nicholson, 1998).

Die Bilder zeigen Molaren, die mit Glasionomerzement gefüllt sind (s. Abb. 4).



Abbildung 4a: Einflächige Glasionomerfüllung an Zahn 47.



Abbildung 4b: Dreiflächige Glasionomerfüllung an Zahn 46.

### Abbildung 4a und 4b: Glasionomerzementfüllung an Molaren (Bildarchiv: Willershausen)

Bei der Säure-Base-Reaktion, die zur Aushärtung von Glasionomerzementen führt, werden Calcium-, Aluminium-, Natrium-, Fluorid- und Silikat-Ionen aus dem säurelöslichen Glas freigesetzt. Eine fluoridreiche Kieselgelschicht umgibt die nicht umgesetzten Glaspartikel. Die Sorption-Desorption des Wassers ermöglicht einen Ionenaustausch zwischen Hydroxyl- (OH-) und Fluoridionen (F-) - Ionen mit

ähnlichen Radien. Infolge dieses Austauschs kann Fluorid bedingt aus der Oberfläche an die Umgebung freigesetzt werden (Nicholson, 1998).

Strukturell gesehen ist ein Glasionomerzement ein Verbundwerkstoff, bei dem die nicht umgesetzten Glaspartikel den Füllstoff und die mit Calcium-Aluminium vernetzten Polyalkenoat-Ketten die Matrix bilden. Die Reaktionsprodukte, die die Glaspartikel umgeben, vermitteln eine enge Bindung zwischen dem Füllstoff und der Matrix. Ionische Bindungen sind für die Vernetzung der Polymerketten und das Abbinden des Zements verantwortlich; es gibt jedoch eine große Anzahl von Sekundärbindungen, die eine wichtige Rolle bei der Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der Zemente spielen. Glasionomerzemente sind spröde, haben einen niedrigen Elastizitätsmodul, sind schwach in der Spannung und haben eine geringe Bruchzähigkeit. Ihre relativ schlechten mechanischen Eigenschaften schränken ihre Verwendung als Restaurationsmaterial ein. Im Laufe der Jahre wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern und gleichzeitig ihre beiden Hauptvorteile beizubehalten: Haftung an hartem Zahngewebe und Fluoridabgabe (McLean, 1992).

Eine Verbesserung wurde durch das Aufpfropfen ungesättigter Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen auf die Polyalkenoat-Hauptkette, durch den Einbau von (Di)methacrylat-Monomeren in die Zusammensetzung oder durch beides erreicht (Wilson, 1990). Das Vorhandensein ungesättigter Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen ermöglicht die kovalente Vernetzung der Matrix durch radikalische Polymerisationsreaktionen (chemisch oder lichtaktiviert). Eine kovalent vernetzte Matrix kann die mechanischen Eigenschaften der ausgehärteten Zemente erheblich verbessern. Diese Zemente werden von der Pulpa gut vertragen, obwohl aufgrund der Freisetzung von Harzbestandteilen (z. B. Hydroxyethylmethacrylat) Bedenken hinsichtlich der Biokompatibilität geäußert wurden (Hamid, Okamoto, Iwaku, & Hume, 1998). Harzmodifizierte Glasionomerzemente behalten die Fähigkeit, sich über die Carboxylgruppen der Polyalkenoatkomponente an hartes Zahngewebe zu binden und sie haben ähnliche geringe Fluoridfreisetzungswerte wie Glasionomerzemente (Mitra, 1991).

### 2.1.4 Goldeinlagefüllungen

Zahnrestaurationen aus Gold sind in der Regel inert und sehr gewebeverträglich. Sie können so geformt werden, dass sie die natürliche Zahnmorphologie nachahmen. Goldguss nutzt sich in gleichem Maße ab wie Zahnschmelz und nutzt das Gegengebiss nicht ab (keine Abrasionen der Antagonisten). Es verfügt über eine ausreichende Festigkeit, um den Kaukräften standzuhalten, ohne sich zu verbiegen oder zu brechen und hält oft ein ganzes Patientenleben lang. Es bietet auch die Möglichkeit der teilweisen Abdeckung, des Erhalts und der Unterstützung der natürlichen Zahnschmelzsubstanz (Grennell, 2017) (s. Abb. 5).



Abbildung 5a: Zweiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 24, Goldteilkronen an Zahn 25, vierflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 26 und Zahn 27.



Abbildung 5b: Zweiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 35, Goldvollgußkronen an Zahn 36 und Zahn 37.



Abbildung 5c: Zweiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 27 mit Kaufläche aus Keramik.



Abbildung 5d: Zweiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 35, dreiflächige Goldeinlagefüllung an Zahn 36 und zweiflächige Goldeinlagefüllung Zahn 37.

**Abbildung 5a - 5d: Goldinlay an Molaren (Bildarchiv: Willershausen)**

Durch die physiologische Kaufunktion kommt es an natürlichen Zähnen zu Abrasionen. Analog dazu können auch kleine Lakunen oder Abriebareale in Goldinlays entstehen. Diese lassen sich manchmal mit Goldfolie ausbessern. Durch einen gegossenen Goldrand kann bei sorgfältiger Verarbeitung die Randspaltbildung zwischen Zahnhartsubstanz und Gold bis auf 20 µm minimiert werden (Grennell, 2017). In einer Welt, in der gehäuft Bedenken hinsichtlich Toxizität vorliegt, bietet Gold die beste Restauration mit der geringsten Toxizität. In der heutigen Zeit, in der die durchschnittliche Lebenserwartung stark gestiegen ist, muss die Langlebigkeit von Zahnersatz berücksichtigt werden. Hier sind Goldinlays eine sehr gute Wahl und stellen auch heute noch den „Gold-Standard“ von Restaurationen dar (Grennell, 2017).

Allerdings ist die Verwendung von Gold, von der Vorbereitung bis zur Fertigstellung, sehr anspruchsvoll sowie zeit- und kostenintensiv. Alle Verfahrensschritte bei der Herstellung des Inlays müssen hundertprozentig korrekt sein (Grennell, 2017). Gegossene Goldinlays werden erfolgreich als Füllungsmaterialien vor allem im Seitenzahnbereich eingesetzt. Sie bieten eine sehr gute Biokompatibilität und chemische Stabilität (Donovan, Simonsen, Guertin, & Tucker, 2004). Sekundärkaries, Zahn-Frakturen und Retentionsverluste sind die Hauptgründe für das Versagen von Goldinlays (Studer, Wettstein, Lehner, Zullo, & Schärer, 2000). Klinische Studien haben gezeigt, dass Risse in Zähnen, die mit Goldinlays restauriert wurden, häufiger zu beobachten sind als bei herkömmlichen Werkstoffen auf Kunststoffbasis. Das thermische Verhalten von Gold kann sich von dem der natürlichen Zähne unterscheiden, was sich auf die thermische Spannungsverteilung auswirkt. Diese thermische Belastung wird für Risse im Zahn und ein Versagen der Restauration verantwortlich gemacht (Seo, Yi, Shin, & Park, 2012).

### 2.1.5 Keramikeinlagefüllungen

Keramikinlays und auch Teilkronen bieten eine ästhetische Alternative zu Metallrestaurationen der Klasse I oder II. Sie werden vor allem bei gefährdeten Seitenzähnen mit intakten bukkalen und lingualen Wänden eingesetzt. Diese Restaurationen bieten die Möglichkeit, die Zahnstruktur zu erhalten und gleichzeitig die mechanischen Vorteile der modernen Adhäsivtechnik zu nutzen, die den gefährdeten Zahn stabilisieren kann.

Die folgende Abbildung zeigt eine Versorgung mit Keramikrestaurationen an Zähnen im Seitenzahnbereich (s. Abb. 6).



Abbildung 6a: Zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 35.



Abbildung 6b: Zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 35 am Gipsmodell.



Abbildung 6c: Kavitätenpräparation für Keramikeinlagefüllungen, zweiflächig an Zahn 35, Keramikteilkrone an Zahn 36 und zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 37.



Abbildung 6d: Zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 35, Keramikteilkrone an Zahn 36 und zweiflächige Keramikeinlagefüllung an Zahn 37.

#### Abbildung 6a - 6d: Keramikinlays an Prämolaren und Molaren (Bildarchiv: Willershausen)

Die frühen Dentalkeramiken konnten wegen der relativ geringen Festigkeit der Feldspatkeramik nur begrenzt im Seitenzahnbereich eingesetzt werden und Frakturen stellten eine häufige Komplikation dar. Dies führte im Laufe der Zeit zur

Entwicklung von Keramiken mit höherer Festigkeit. In den frühen 1970er Jahren leistete Duret Pionierarbeit bei der Anwendung der computergestützten Konstruktion/Fertigung (CAD/CAM) in der Zahnmedizin (McLaren, 2011). Etwa zehn Jahre später entwickelten Mörmann et al. das erste System für die wirtschaftliche Restauration ästhetischer Keramik am Behandlungsstuhl (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics, CEREC), mit welchem Inlays aus vorgebrannten Keramikblöcken in der Zahnarztpraxis hergestellt werden konnten (McLaren, 2011). Die daraus resultierenden Restaurationen wiesen eine nicht optimale Anpassung (grosser Randspalt) auf und erforderten eine erhebliche intraorale okklusale Umgestaltung. In jüngerer Zeit besteht die Möglichkeit, für Keramikinlays im Seitenzahnbereich ein höherfestes Keramikmaterial zu verwenden oder alternativ ein hochfestes Keramikernmaterial mit einer transluzenten ästhetischen Verblendung zu verblenden (Cramer, Stansbury, & Bowman, 2011).

Kontraindikationen für Keramikinlays bestehen im Gebiss von Patienten mit schlechter Plaquekontrolle oder aktiver Karies. Da lange Zeit Porzellanbruch als Hauptgrund für das Versagen von Keramikinlays angegeben wurde, sollte auch heute noch eine starke Belastung vermieden werden, wie sie u.a. bei Patienten mit Bruxismus gegeben ist. Unter diesen Umständen stellt die Sprödigkeit der Keramik ein höheres Risiko für diese Versorgungen dar. Bei einer ungünstigen Okklusion, einer okklusalen Anordnung mit Gruppenfunktion oder bei Patienten, die Anzeichen für parafunktionelle Aktivitäten wie Bruxismus oder Zähneknirschen zeigen, ist Vorsicht geboten (Rosenstiel, Land, & Fujimoto, 2006). Wenn es nicht möglich ist, ein absolut trockenes Umfeld aufrechtzuerhalten, sollten alternative Versorgungen in Betracht gezogen werden. Dementsprechend können Präparationen mit tiefen zervikalen subgingivalen Erweiterungen und andere klinische Situationen, in denen eine Trockenhaltung problematisch ist, eine Kontraindikation darstellen (Rosenstiel, Land, & Fujimoto, 2006).

Zu den Herausforderungen bei Keramikrestaurationen gehören die Schwierigkeiten bei der Herstellung eines präzisen okklusalen Kontakts. Es hat sich gezeigt, dass Porzellanrestaurationen im Laufe der Zeit häufig mit einem erheblichen Schmelzverschleiß des antagonistischen natürlichen Zahnes einhergehen. Diese Abnutzung ist auf den Gleitkontakt zwischen dem natürlichen Zahn und der Keramikrestauration zurückzuführen. Die Verwendung von niedrig schmelzenden

Keramikmassen reduziert den Schmelzverschleiß *in vitro*; was gut mit klinischen Berichten übereinstimmt (Clelland, Agarwala, Knobloch, & Seghi, 2003).

## **2.2 Einflussfaktoren auf die Wahl des Füllmaterials**

In den letzten 30 Jahren werden zahnfarbene Kompositfüllungen in zunehmendem Maße auch im kaulasttragenden Molarenbereich erfolgreich eingesetzt. Das wurde aufgrund der materialtechnischen Neuentwicklungen und Weiterentwicklungen der Kunststoffe möglich. Während Inlays in erster Linie bei ausgedehnten und/oder schwer zugänglichen Kavitäten bevorzugt werden, beweisen direkte Kompositfüllungen vor allem bei kleineren Defekten grosse Vorteile. Es kann minimalinvasiv präpariert werden, die Füllung ist reparierbar und kann gegebenenfalls erweitert werden. Zudem sind Kunststofffüllungen erheblich preiswerter als Einlagefüllungen. Daher werden Komposite auch im Seitenzahnbereich von der Academy of Operative Dentistry European Section (AODES) als Füllungsmaterial der ersten Wahl empfohlen.

In der deutschen S1-Handlungsempfehlung (Kurzversion) „Kompositrestaurationen im Seitenzahnbereich“ der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) werden folgende Indikationen angegeben: Primärrestauration, Klasse-I- und Klasse-II-Kavitäten, Sekundärrestauration, Versorgung wurzelkanalbehandelter Zähne, Reparaturrestaurationen, Anhebung tiefliegender Kavitätenränder für indirekte Restaurationen (margin elevation technique) oder R2-Technik bei direkten Versorgungen (AWMF, 2016).

Damit überschneidet sich der Indikationsbereich mit den Indikationen für Inlays. Allerdings sind Kunststoffe bei unterminierenden Läsionen den Inlay-Materialien und auch dem Amalgam überlegen (AWMF, 2016).

Amalgamrestaurationen dagegen haben sich anwendungstechnisch, im Gegensatz zu den Anforderungen der adhäsiven Befestigung, als wesentlich unkomplizierter erwiesen, wenn eine absolute Trockenlegung problematisch ist. Die Herstellung eines Approximalkontakts bei einer Amalgamrestauration ist einfach, da das Material kondensierbar ist und zudem leicht expandiert. Die Mikroleckage von Amalgamrestaurationen kann durch die Verwendung von Bonding reduziert werden,



während gleichzeitig die postoperative Sensibilität, die Entzündung der Pulpa und das Auftreten von Rezidivkaries verringert werden können. Das dunkle Aussehen und die Besorgnis über die Umweltbelastung bleiben jedoch weitere Nachteile (Bonsor, 2011).

Zahnzemente sind in der Regel Zahnfarben, aber sie verleihen dem gefüllten Zahn trotzdem ebenfalls kein natürliches Aussehen. Zudem ist der Zement relativ weich und vor allem die Kanten halten dem Kaudruck der Seitenzähne nicht stand. Daher ist ihre Lebensdauer beim Einsatz im Molarenbereich sehr eingeschränkt. Der Hauptindikationsbereich sind daher Aufbaufüllungen oder provisorische Restaurationen im Vorfeld einer Versorgung mit Zahnkronen (Mitra, 1991).

Gegossene Goldinlays sind weiterhin der „Gold-Standard“, an dem sich alternative Versorgungen messen lassen müssen. Die Langlebigkeit eines gut angefertigten Goldinlays ist nach wie vor unübertroffen. Sie sind extrem haltbar und beständig und führen zu minimalem Verschleiß an Antagonisten. Im Gegensatz zu Amalgam ist das Material nicht korrosionsanfällig. Goldinlays sind nach wie vor eine praktikable Lösung, wenn eine hohe Festigkeit erforderlich ist, wie beispielsweise bei Molaren, die hochgradig durch den Kaudruck belastet werden. Wenn das Aussehen und die Kosten für den Patienten von geringer Bedeutung ist, ist Gold, insbesondere für größere Restaurationen, das Füllungsmaterial der ersten Wahl (Hopp & Land, 2013).

Mit Keramikinlays hingegen kann der Zahnarzt eine hervorragende Farbanpassung an die umgebende natürliche Zahnschubstanz erreichen. Vorausgesetzt, dass die richtige Farbe gewählt und die Restauration mit der richtigen Transluzenz hergestellt wird, können Keramikinlays fast nicht von dem zu restaurierenden Zahn unterschieden werden. Im Vergleich zu direkten Kompositrestaurationen im Seitenzahnbereich haben sie bessere physikalische Eigenschaften, und wenn die Präparationsränder im Schmelz liegen, bieten Keramikinlays im Vergleich zu Amalgam oder Gold die Möglichkeit einer geringeren Mikroleckage. Allerdings können die aktuellen Adhäsivsysteme die Mikroleckage nicht vollständig beseitigen, insbesondere wenn die zervikalen Ränder im Dentin liegen (Jackson, 2012).

Zu den Indikationen für Keramikinlays gehören die meisten der typischen Indikationen für Goldinlays - mit der zusätzlichen Anforderung einer zahnfarbenen Restauration. Keramikinlays können anstelle einer Gold- oder Amalgamfüllung bei Patienten verwendet werden, die eine Klasse-II-Restauration benötigen und bei der

die bukkalen und lingualen Wände intakt sind. Sie bieten eine praktikable Alternative, wenn eine übermäßige Isthmusbreite die Verwendung einer direkten Kompositrestauration im Seitenzahnbereich ausschließt. Keramikinlays sind stabiler als direkte Kompositmaterialien im Seitenzahnbereich und bieten bessere physikalische Eigenschaften als letztere, da der begrenzte Grad der Polymerisationsschrumpfung bei direkten Kompositmaterialien im Seitenzahnbereich deren Festigkeit einschränkt (Cramer, Stansbury, & Bowman, 2011). Der Vorteil von Keramikinlays gegenüber Kompositmaterialien kann jedoch durch die möglicherweise erforderliche zusätzliche Sitzung, die für die Behandlung erforderliche höhere Qualifikation und die höheren Kosten der verwendeten Materialien eingeschränkt werden. Die Abnutzung der Restauration, die bei Kompositmaterialien im Seitenzahnbereich vermehrt auftritt, ist bei Keramikinlays in der Regel kein klinisches Problem, während letztere eine vergleichbare oder sogar bessere Ästhetik bieten (Hopp & Land, 2013).

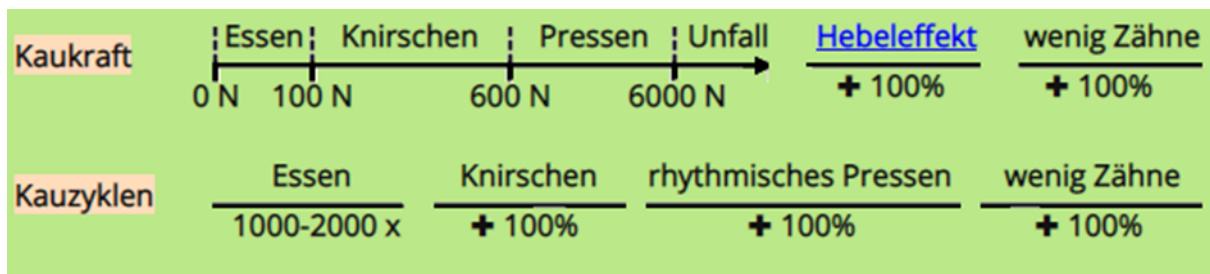
### **2.3 Besonderheiten des Molarenbereichs**

Der Molarenbereich bildet das Hauptkaudruckzentrum im mastikatorischen System. Das bedeutet, dass hier die höchsten Kaudrücke bei der Zerkleinerung von Nahrung und/oder beim Knirschen oder Pressen entstehen. Füllungen im Molarenbereich sind daher besonders hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt. Eine aktuelle Studie von Lee et al. (2021) konnte jedoch zeigen, dass die Okklusionskraft nicht durch die Art des Zahnersatzes oder das verwendete Füllungsmaterial beeinflusst wird.

Die maximale Bisskraft ist bei gesunden Personen höher als bei Personen mit Kiefergelenkserkrankungen. Außerdem nimmt die Bisskraft bis zum Alter von 20 Jahren tendenziell zu; bleibt bis zum Alter von 40 bis 50 Jahren konstant und nimmt dann ab (Alam & Alfawzan, 2020). Bei den meisten Kaudruckmessungen werden empfindliche elektronische Sensoren verwendet. Diese Geräte können einen großen Bereich von Kräften (50-800 N) mit einer Genauigkeit von 10 N und einer Präzision von 80% erfassen. Das Spektrum der Okklusionskraft ist bei den Probanden sehr unterschiedlich und hängt mit patientenspezifischen Faktoren wie Alter, Geschlecht, teilweiser oder vollständiger Zahnlosigkeit, dem Vorhandensein eines Kieferdefekts, der Zahnstellung, dem orthognathen Profil und der Größe der vertikalen Okklusionsdimension zusammen (Lee, Salinas, & Wiens, 2021).

Die Kaukraft beim Zerkleinern gekochter Nahrung ist relativ klein und liegt etwa im Bereich bis 30 N. Sie kann jedoch beim Kauen harter Nahrung schnell auf etwa 200 N ansteigen. Je weicher die Nahrung ist, desto weniger Kauzyklen werden benötigt. Bei normaler Ernährung werden täglich circa 658 Kauzyklen mit jeweils etwa 50 N durchgeführt. Dabei entsteht ein Druck von 0,5 MPa, der auf 1 cm<sup>2</sup> Zahn- bzw. Füllungsoberfläche lastet. Beim nächtlichen Knirschen oder Pressen wurden sogar Spitzenwerte von 600 N pro Zahn gemessen (Weilenmann, 2022).

Die folgende Grafik zeigt die Belastung durch Kaukraft und Kauzyklen, der Füllungen im Molarenbereich dauerhaft ausgesetzt sind (s. Abb. 7).



**Abbildung 7: Kaukraft und Kauzyklen** (Weilenmann, 2022, S. o. S.)

Bei Amalgamfüllungen im Molarenbereich kann es durch die hohe Belastung nach einigen Jahren zu einer Dentinermüdung unter der Füllung und zu einem Bruch des Dentins kommen. Dann muss der Zahn oftmals überkront werden. Bei Keramikinlays besteht das Problem, dass das Material meist bruchfester ist als die natürliche Zahnhartsubstanz. Daher besteht hier zusätzlich die Gefahr der Schädigung des Antagonisten (Weilenmann, 2022).

Bei der Gestaltung von Füllungen im Molarenbereich sollte beachtet werden, dass in den Fissuren der Kauflächen Spannungsspitzen entstehen, die zu Höckerfrakturen führen können. Daher sollten die Höcker unabhängig vom Füllungsmaterial generell flach gestaltet werden (Weilenmann, 2022).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Studiendesign

Das Studiendesign der vorliegenden Arbeit ist das einer retrospektiven Datenanalyse. Die Rohdaten wurden Patientenkarteien und radiologischen Bildgebungen (Panoramaschichtaufnahmen, Einzelzahnlfilme) aus den Jahren 2009 bis 2019 entnommen.

#### 3.2 Patientenkohorte

Die Patientenkohorte bestand aus 1072 erwachsenen Personen (> 18 Jahre), die in einer deutschen Universitätszahnklinik (Mainz) von verschiedenen Behandlern in den Jahren 2009 bis 2019 eine Füllungstherapie im Molarenbereich erhalten hatten. Die Patienten wurden konsekutiv nach dem Datum ihrer Behandlung inkludiert. Ausschlüsse aufgrund von Vor- und/oder Grunderkrankungen gab es nicht. Die Datenerfassung konzentrierte sich auf die Anzahl der Zähne mit Füllungen im Molarenbereich und nicht auf die Anzahl der Patienten, da die allermeisten Studienteilnehmer mehrere Füllungen hatten.

#### 3.3 Datenextraktion und Variablen

Die Extraktion der Daten wurde vom Autor der vorliegenden Arbeit persönlich durchgeführt und in eine Excel-Tabelle eingetragen. Folgende Parameter wurden für jeden Patienten dokumentiert (s. Tab. 2):

**Tabelle 2: Variablen und Kategorien**

	<b>Variablen</b>	<b>Kategorien</b>
Demographische Angaben	Alter	< 34 Jahre, 34 bis 46 Jahre, 47 bis 59 Jahre und > 59 Jahre.
	Geschlecht	männlich, weiblich
	Versicherungsstatus	GKV, PKV, Selbstzahler
	Wohnort	Postleitzahl (Stadt, Land)
Angaben zur	Anzahl der	unversorgt/ fehlend, gefüllt,

Therapie	behandelten Zähne im Molarenbereich und Art der Versorgung	prothetisch versorgt, ohne Befund
	Anzahl und Art der Füllungen im Molarenbereich	Amalgam, Goldinlay, Keramikinlay, Kunststoff, Zement
Angaben zur Kavität	Tiefe	ohne Befund, Schmelz, Schmelz-Dentin-Grenze, Dentin, Caries profunda, prothetisch versorgt, Wurzelbehandlung, zutiefst zerstört
Angabe zur Ausdehnung der Füllung	Fläche	ohne Befund, F1, F2, F3, F4, prothetisch versorgt, Zahn fehlt, F5
Angabe zum Gebisszustand	DMFT-Wert	Wertebereich von 0 bis 28

Im Folgenden werden die Kategorien, die nicht selbsterklärend sind, näher erläutert.

### 3.3.1 Alterskategorie

Ausgehend vom Mittelwert des Alters der Patienten in Lebensjahren wurden vier Gruppen gebildet. Während die Gruppe mit den jüngsten und den ältesten Patienten jeweils einen größeren Altersbereich abdeckte, waren die Alterssprünge in den beiden mittleren Gruppen auf einen Zeitraum von 12 Jahren begrenzt. Damit wurde dem Umstand Rechnung getragen, dass sehr junge Patienten weniger Füllungen im Molarenbereich benötigen und dass die Defekte bei den älteren Patienten in der Regel vermehrt prothetisch versorgt werden.

### 3.3.2 Tiefe der Kavität

Die Kategorien für die Tiefe der Kavität (ohne Befund, Schmelz, Schmelz-Dentin-Grenze, Dentin, Caries profunda, prothetisch versorgt, Wurzelbehandlung, zutiefst zerstört) richten sich nach den Stadien einer Karies von der Initialkaries bis hin zur tiefen Zerstörung des Zahnes (s. Abb. 8).



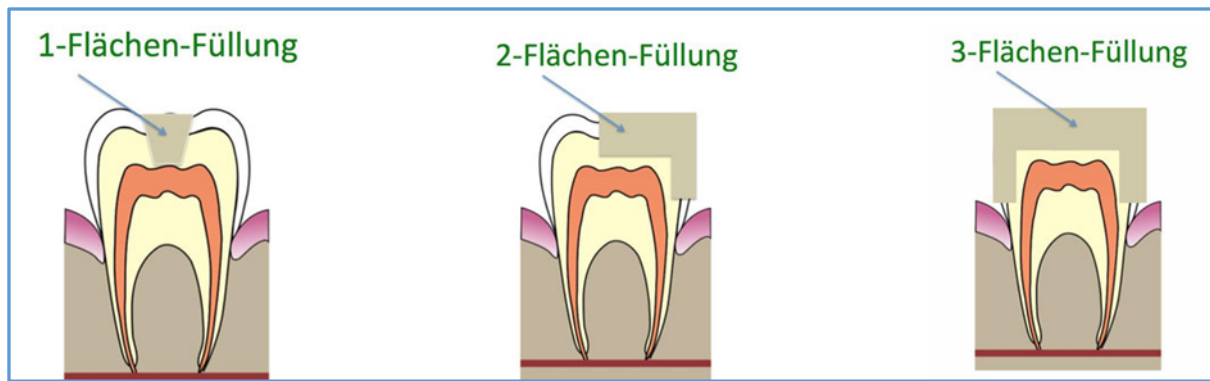
**Abbildung 8: Karies-Stadien** (DentNet, 2022, S. o. S.)

Es wurden jedoch die „Zwischenkategorien“ der Erreichung der Schmelz-Dentin-Grenze und die Gruppe der prothetisch behandelten Zähne und wurzelbehandelten Zähne zusätzlich gebildet, da diese Differenzierungen einen möglichen Einflussfaktor für die Wahl des Füllungsmaterials darstellen (z. B. Zementfüllungen bei wurzelbehandelten Zähnen).

### 3.3.3 Fläche der Füllung

Die Kategorien für die Dokumentation der Flächen richteten sich danach, wie viele Flächen (oder Teilflächen) des Zahnes von der Füllung ersetzt wurden. So entspricht beispielsweise eine Füllung der Klasse F1 einer einflächigen okklusalen Füllung. Wohingegen beispielsweise eine Füllung, die die mesiale, die okklusale und die distale Fläche eines Zahnes betrifft (MOD-Füllung) als dreiflächig bezeichnet wird. Ein Zahn, bei dem alle (Teil)-Flächen betroffen sind, wird der Gruppe F5 zugeordnet. Da dieses Ausmaß des Defektes jedoch oftmals nicht durch eine Füllungstherapie versorgt werden kann, wurde die Kategorie „prothetisch versorgt“ und „Zahn fehlt“ zusätzlich eingefügt.

Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die Einteilung (s. Abb. 9).



**Abbildung 9: Flächen einer Füllung** (Klein, 2018, S. o. S.)

### 3.3.4 DMFT-Index

Zur Beurteilung des allgemeinen Gebisszustandes und des Kariesrisikos wurde in der vorliegenden Arbeit der DMFT-Index erhoben. Dabei steht der Buchstabe D für decayed (kariös), M für missing (fehlend aufgrund von Karies), F für filled (gefüllt wegen Karies) und T für teeth (vorhandene Zähne) (Moradi, Bolbanabad, Moinafshar, & Adabi, 2019).

Der Index wird seit über 70 Jahren weltweit als wichtigster Index für die Bewertung des Status der Mund- und Zahngesundheit verwendet. Er bestimmt die Anzahl der kariösen Zähne, die Anzahl der behandelten Zähne und die Anzahl der aufgrund von Karies fehlenden Zähne (Moradi, Bolbanabad, Moinafshar, & Adabi, 2019).

Ein DMFT-Index von Eins bedeutet, dass von allen Zähnen (28 Zähne ohne Weisheitszähne) ein Zahn entweder kariös oder fehlend oder gefüllt ist. Im permanenten Gebiss können sich demnach Werte zwischen 0 und 28 ergeben.

## 3.4 Datendarstellung

Die Darstellung der Daten erfolgte entweder tabellarisch oder in Form von Balkendiagrammen. Die Kategorien wurden farblich kodiert.

## 3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung und Visualisierung erfolgte im IMBEI der Universität Mainz in R 3.6. Metrisch skalierte Variablen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-

Test auf Normalverteilung getestet. Verteilungen kategorialer Variablen wurden mit  $\chi^2$ -Tests verglichen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt lag eine Angabe für  $n = 10.552$  Zähne vor, während für 23.464 Zähne keine Informationen vorlagen. Von diesen 10.552 Zähnen waren 1.865 Zähne fehlend oder unversorgt (17,7%); 4.497 Zähne waren gefüllt (42,6%); 1.981 Zähne waren prothetisch versorgt (18,8%) und 2.209 Zähne wurden als befundfrei eingestuft (20,9%).

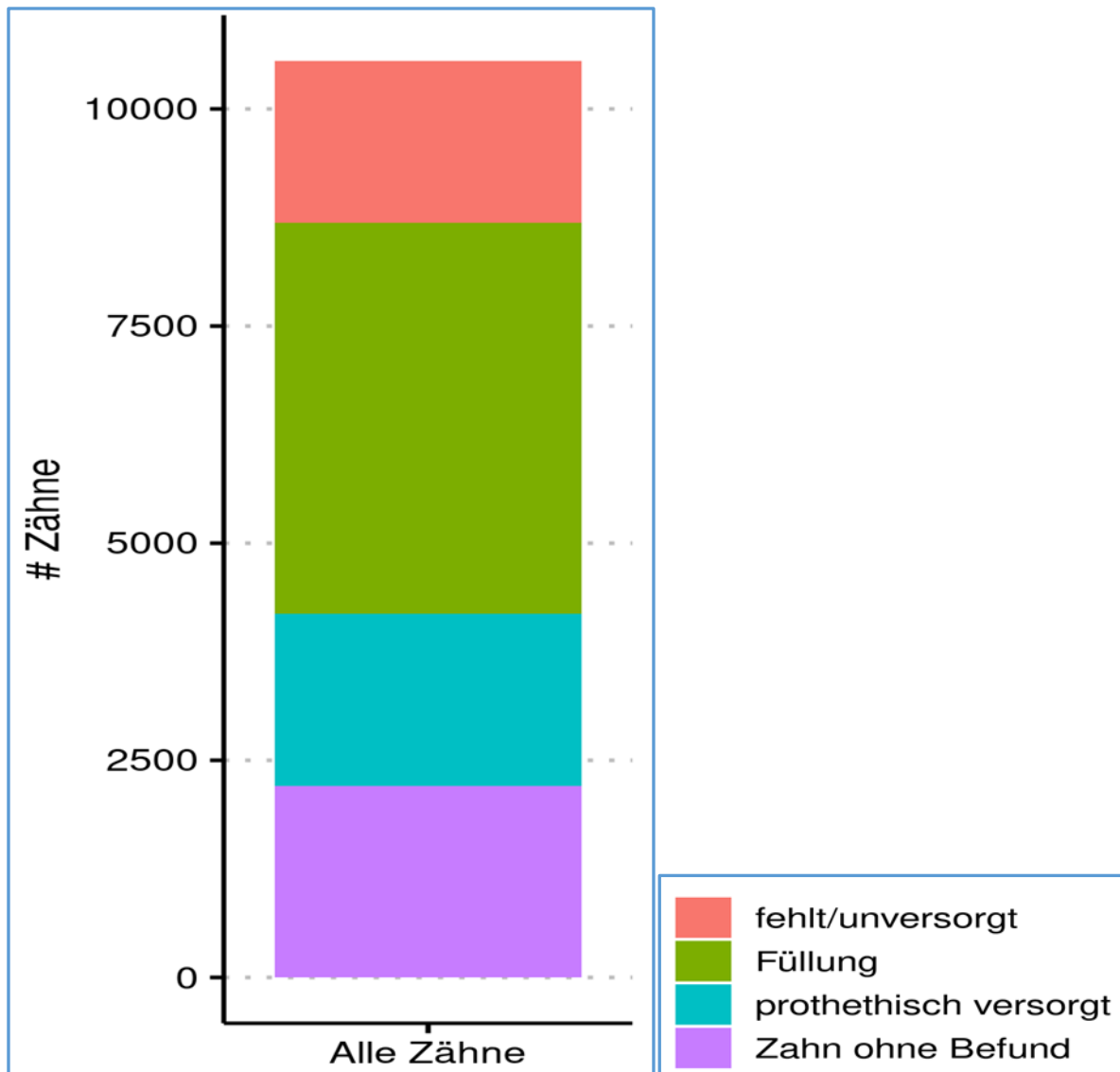
Die folgende Tabelle listet die absoluten Zahlen und die prozentuale Verteilung der Befunde (s. Tab. 3).

**Tabelle 3: Stichprobenprävalenz der Befunde für alle Patienten und Zähne**

Befund	Anzahl	Prozent
fehlt/unversorgt	1865	17,7
Füllung	4497	42,6
prothetisch versorgt	1981	18,8
Zahn ohne Befund	2209	20,9
<b>Gesamt</b>	<b>10552</b>	<b>100</b>

Die folgende Grafik veranschaulicht die Verteilung von Befunden in der Patientenstichprobe. Die Farbmarkierungen veranschaulichen die Anzahl der inkludierten Zähne, die unversorgt oder fehlend, gefüllt, prothetisch versorgt oder ohne Befund waren (s. Abb. 10).





**Abbildung 10: Alle 10.552 Zähne, aufgeschlüsselt nach Befund**

Eine Füllung war bei 42,6% der Zähne vorhanden. Die meistverwendeten Füllungsmaterialien waren Kunststoff (66,3%) und Amalgam (24,9%), während Goldinlays (6,5%) vergleichsweise selten, Keramikinlays (1,7%) und Zementfüllungen (0,6%) sehr selten vorkamen.

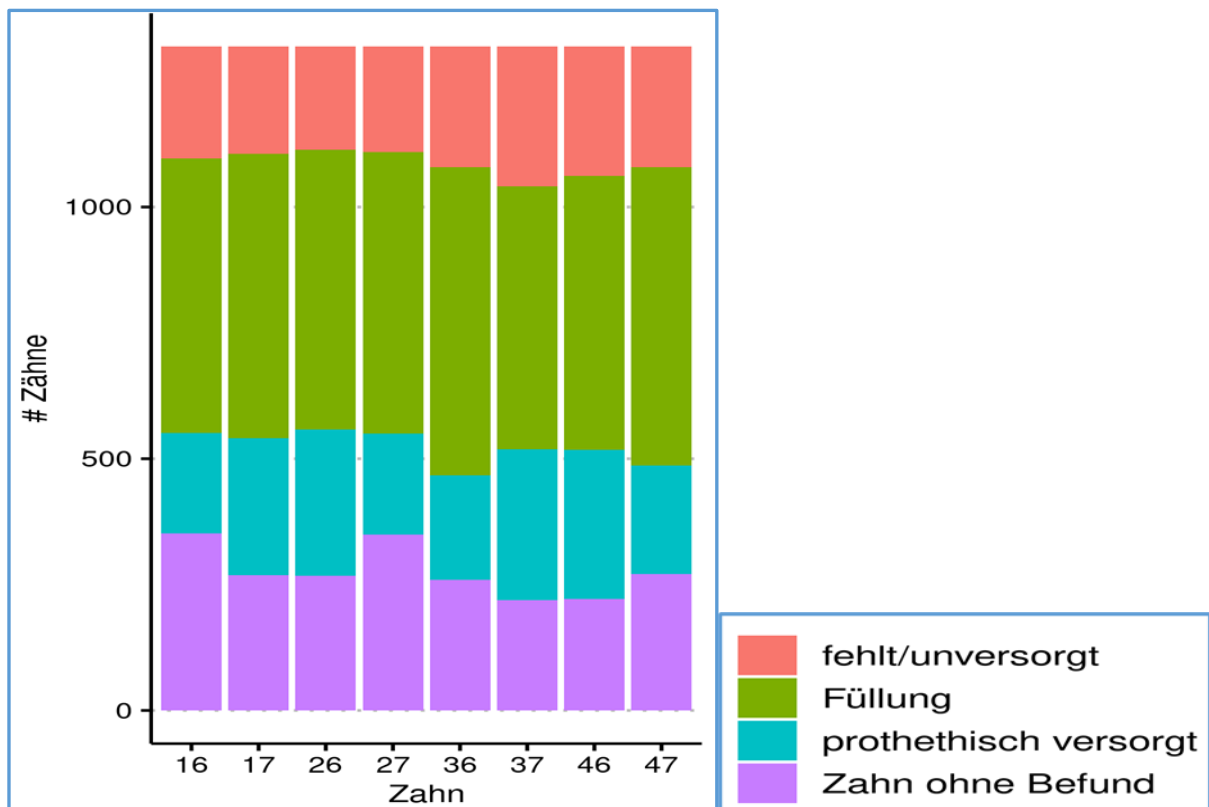
Die nächste Tabelle listet die absoluten Zahlen und die prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien (s. Tab. 4).

**Tabelle 4: Stichprobenprävalenz der Füllungsmaterialien für alle Patienten und Zähne.**

Füllung	Anzahl	Prozent
Amalgam	1121	24,9
Goldinlay	291	6,5
Keramikinlay	76	1,7
Kunststoff	2983	66,3
Zement	26	0,6
<b>Gesamt</b>	<b>4497</b>	<b>100</b>

Die nächste Grafik zeigt die Verteilung von Füllungsmaterialien in der Patientenstichprobe in Abhängigkeit von der Position der Zähne.

Die Farbmarkierungen veranschaulichen die Anzahl der inkludierten Zähne, die unversorgt oder fehlend, gefüllt, prothetisch versorgt oder ohne Befund waren. Die Molaren im dritten Quadranten (Zahn 36,37) waren etwas häufiger fehlend oder unversorgt als die ersten und zweiten Molaren in den anderen Quadranten. Auch waren diese Zähne etwas seltener ohne Befund (s. Abb. 11).

**Abbildung 11: Alle 10.552 Zähne, aufgeschlüsselt nach Befund und Zahnposition**

Die Verteilung der Befunde unterschied sich signifikant zwischen den Quadranten ( $\chi^2_9 = 50,5$ ,  $p < ,001$ ), aber nicht zwischen der Zahnposition 6 und 7 ( $\chi^2_3 = 0,3$ ,  $p = ,966$ ).

Des Weiteren wurde die Verteilung der Füllungsmaterialien grafisch dargestellt. In Abbildung 12 wird die unterschiedliche Verteilung der Füllungsmaterialien deutlich. Hier dominieren eindeutig die Kunststoff-Füllungen und die Versorgungen mit Amalgam. Auffällig ist der relativ geringe Anteil von Keramikinlays im Erfassungszeitraum.

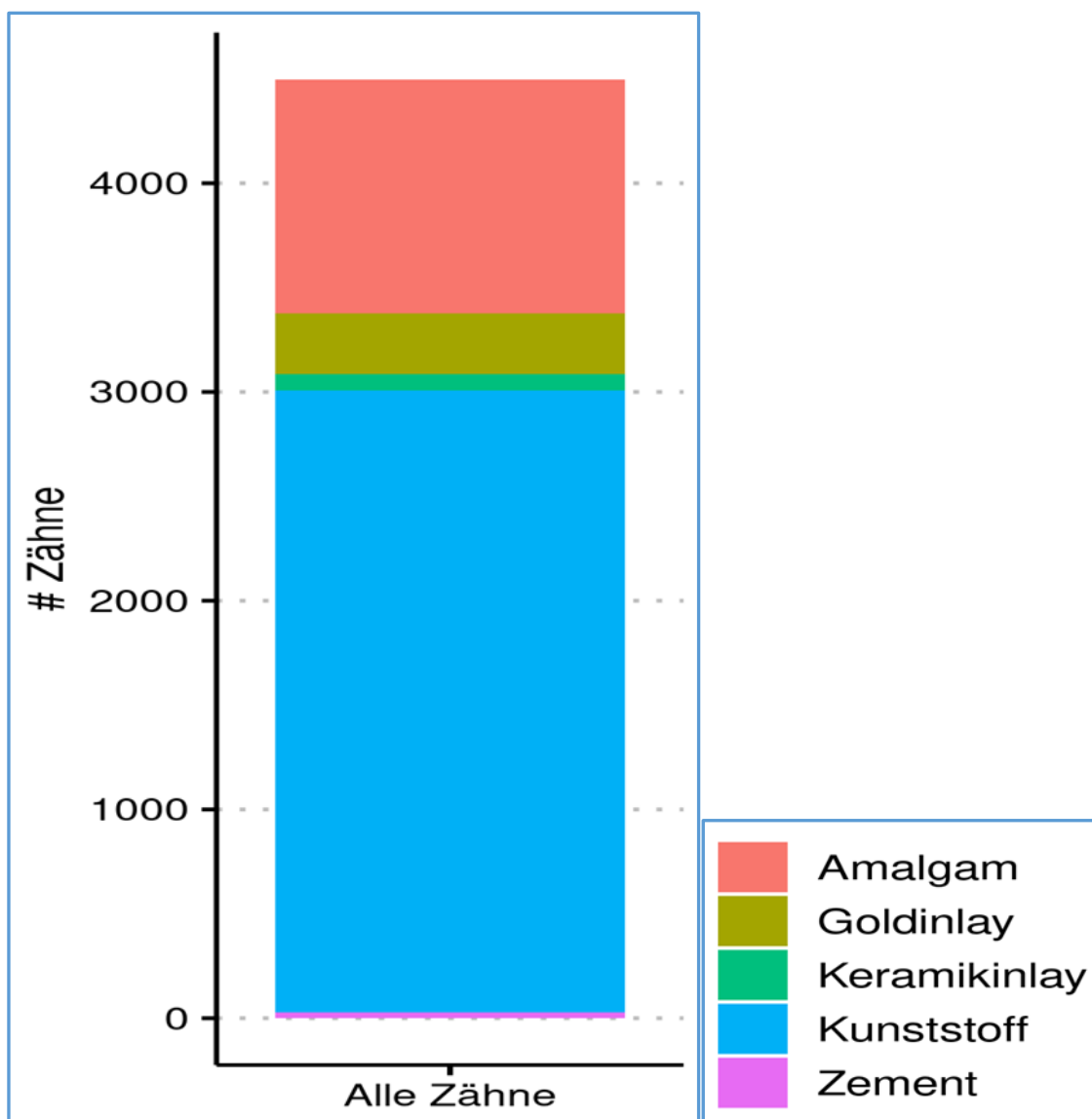
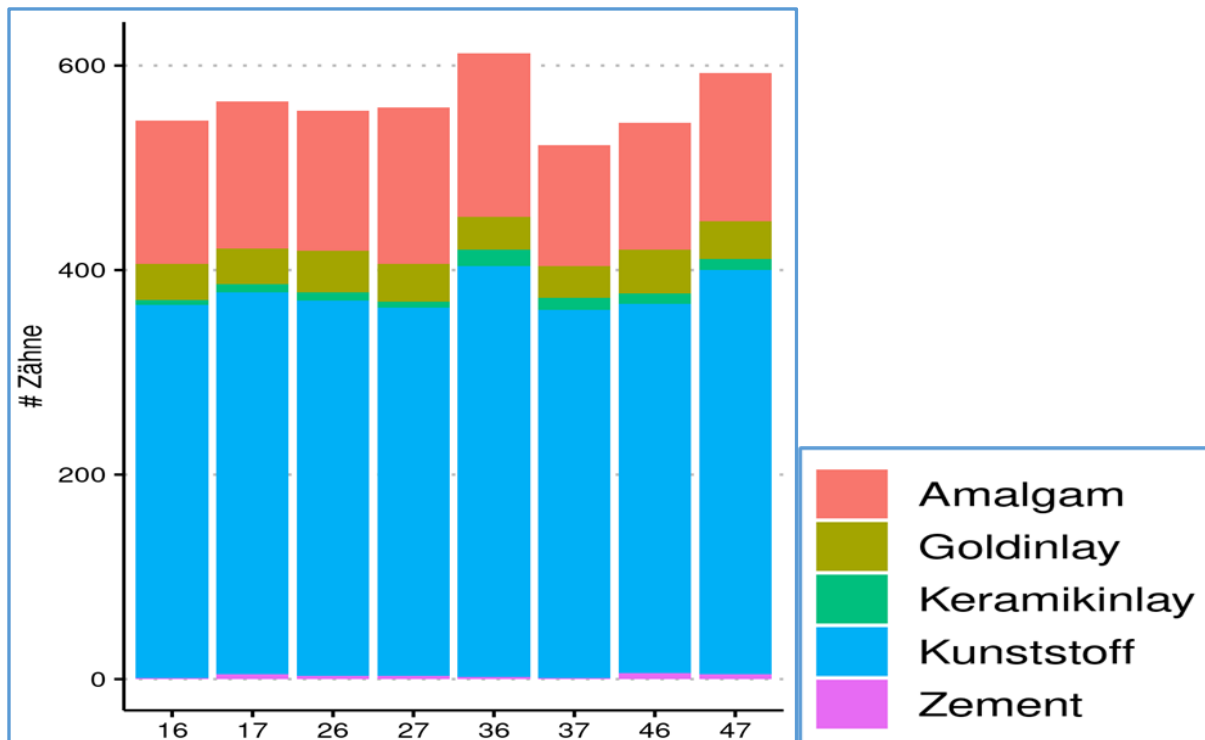


Abbildung 12: Alle 10.552 Zähne, aufgeschlüsselt nach Füllungsmaterialien

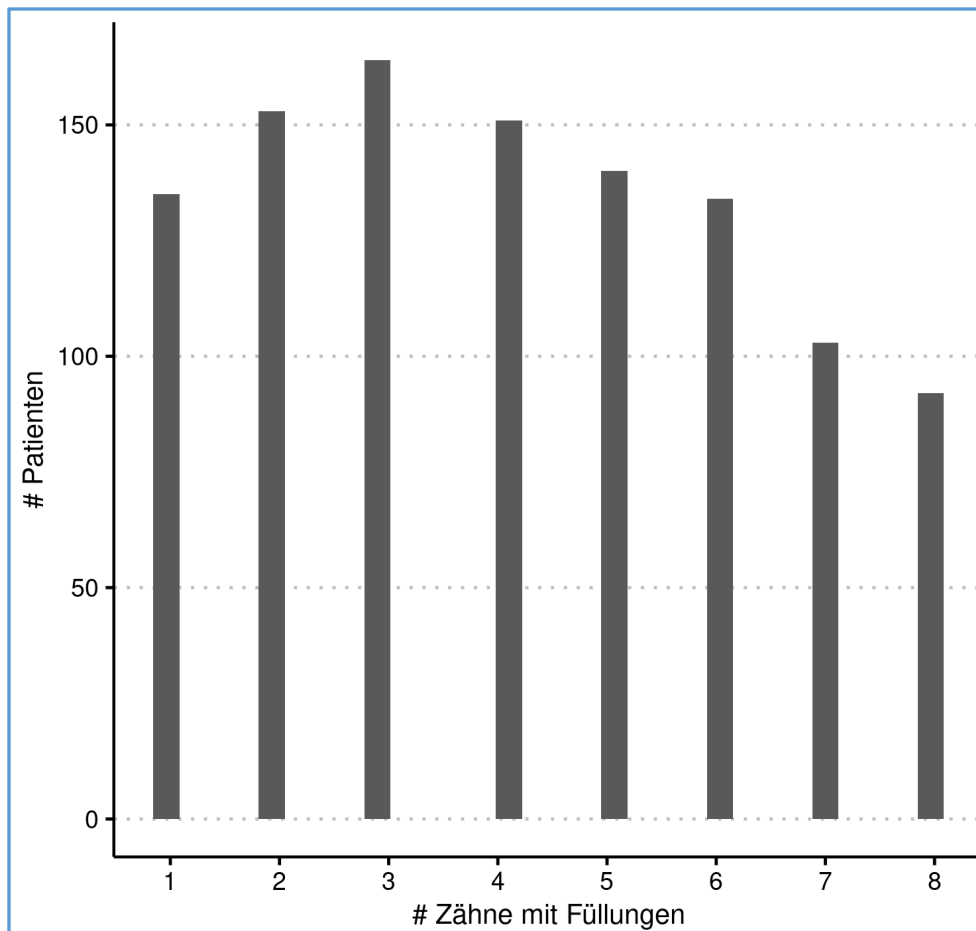
Aus der folgenden Grafik wird ersichtlich, dass die Zähne 36 und 47 am häufigsten gefüllt worden waren und dass dafür vermehrt Kunststoffmaterialien verwendet worden waren (s. Abb. 13).



**Abbildung 13: Alle 4497 Zähne mit Füllung, aufgeschlüsselt nach Füllungsmaterial und Zahnposition.**

Die Verteilung der Füllmaterialien unterschied sich nicht signifikant zwischen Quadranten ( $\chi^2_{12} = 16,6$ ,  $p = ,163$ ) oder Positionen ( $\chi^2_4 = 0,6$ ,  $p = ,968$ ). Der Unterschied in der Befundverteilung zwischen den Quadranten war getrieben von einem höheren Anteil fehlender oder unversorgter Zähne sowie einem niedrigeren Anteil befundfreier Zähne in Quadranten 3 und 4.

Im Folgenden werden nur noch die 4497 Zähne mit Füllungen betrachtet. Diese konnten 1072 verschiedenen Patienten zugeordnet werden, die folglich im Mittel vier Zähne mit Füllungen hatten. Die Anzahl der Füllungen pro Patient lag zwischen 1 und 8, mit einer leicht linkssteilen Verteilung (s. Abb. 14).



**Abbildung 14: Anzahl der Füllungen pro Patient.**

Die meisten Patienten hatten Füllungen aus dem gleichen- oder zwei verschiedenen Materialien, während nur 35 Patienten Füllungen aus drei oder vier verschiedenen Materialien hatten (s. Abb. 15).

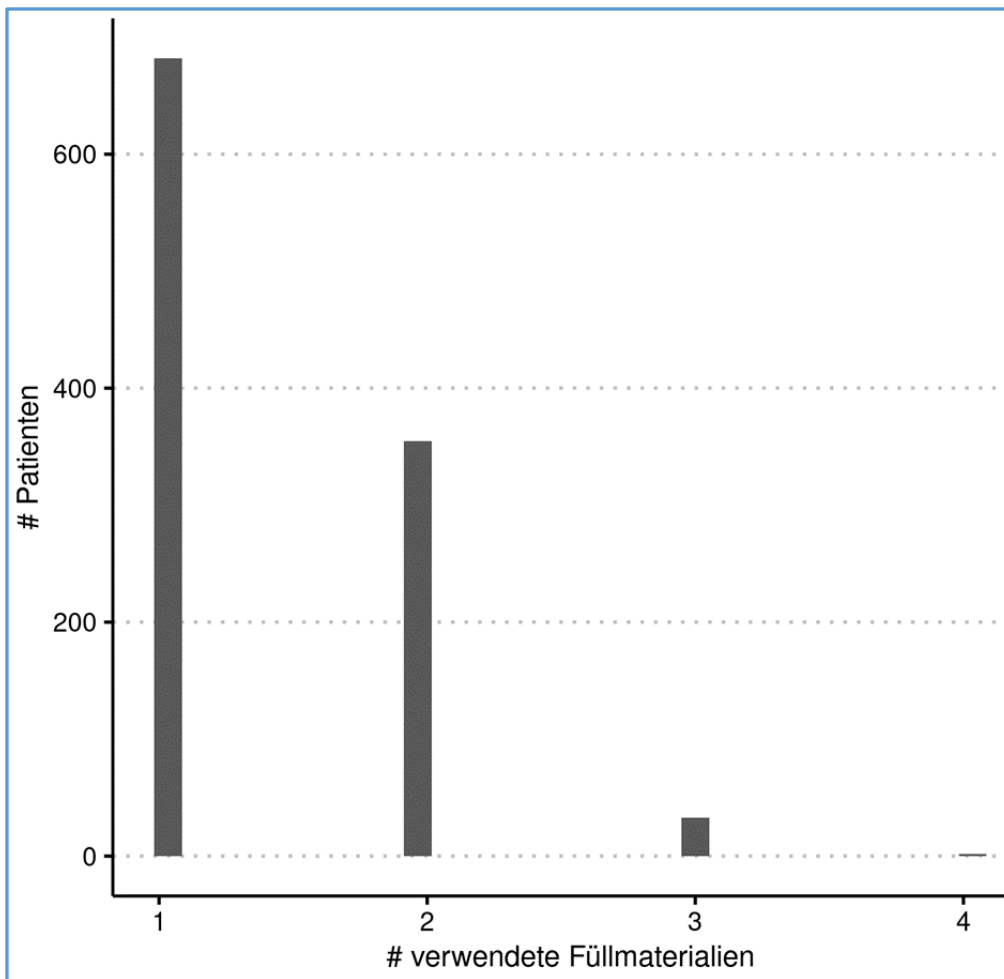


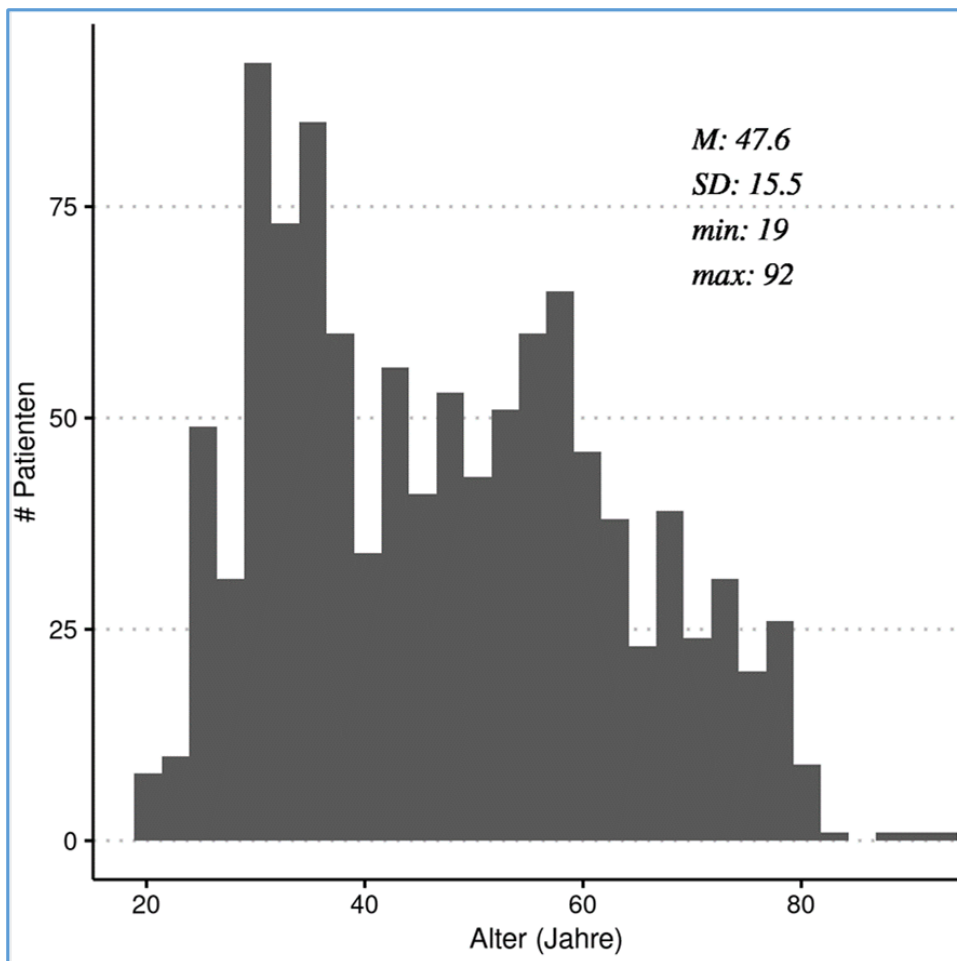
Abbildung 15: Anzahl verschiedener Füllungsmaterialien pro Patient

## 4.2 Korrelationen zwischen Füllungsmaterialien und demographischen Faktoren

In diesem Abschnitt wird der Zusammenhang zwischen den verwendeten Füllungsmaterialien einerseits und dem Geschlecht, Alter, Wohnort und Versichertenstatus der Patienten andererseits untersucht.

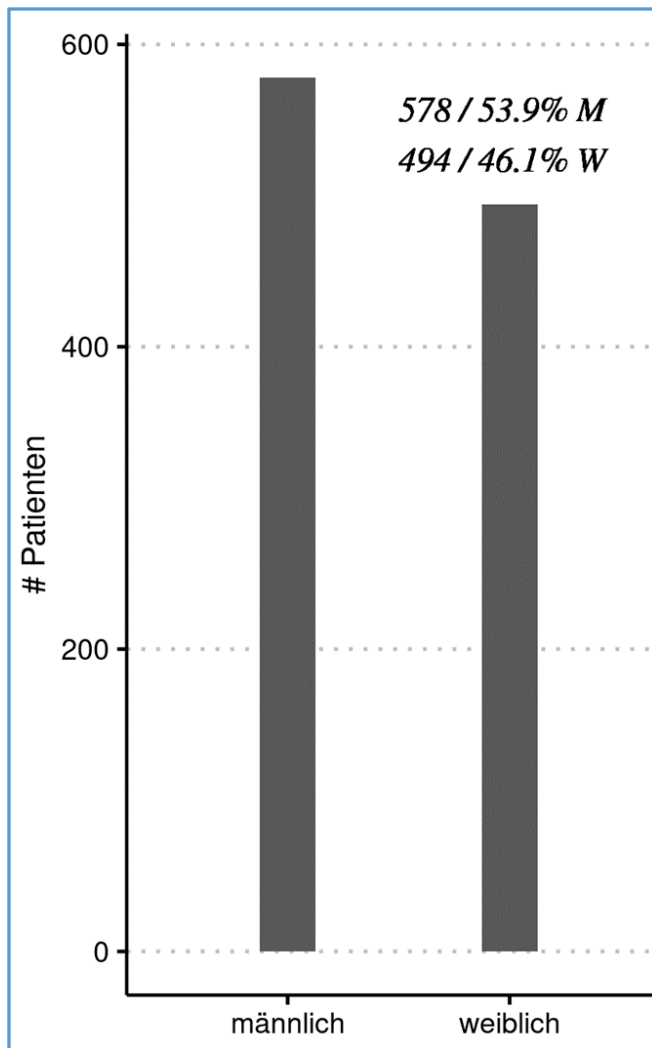
Abbildung 16 stellt die demographische Variable des Alters dar. Die Altersverteilung weist eine auffällige Häufung von Patienten zwischen ca. 30 und 40 Jahren auf. Die Verteilung weicht signifikant sowohl von der Normal- als auch von der Lognormal-Verteilung ab ( $p < ,001$ , Kolmogorov-Smirnov-Test) ab. Eine Patientin mit einem angegebenen Alter von 121 Jahren wurde als unplausibel entfernt.

Der Alters-Mittelwert wurde mit 47,6 Jahren berechnet. Die Standardabweichung betrug +/- 15,5 Jahre. Der jüngste Patient war 19 Jahre alt; das Lebensalter des ältesten Patienten lag bei 92 Jahren (s. Abb. 16).



**Abbildung 16: Alter der Patienten in Jahren**

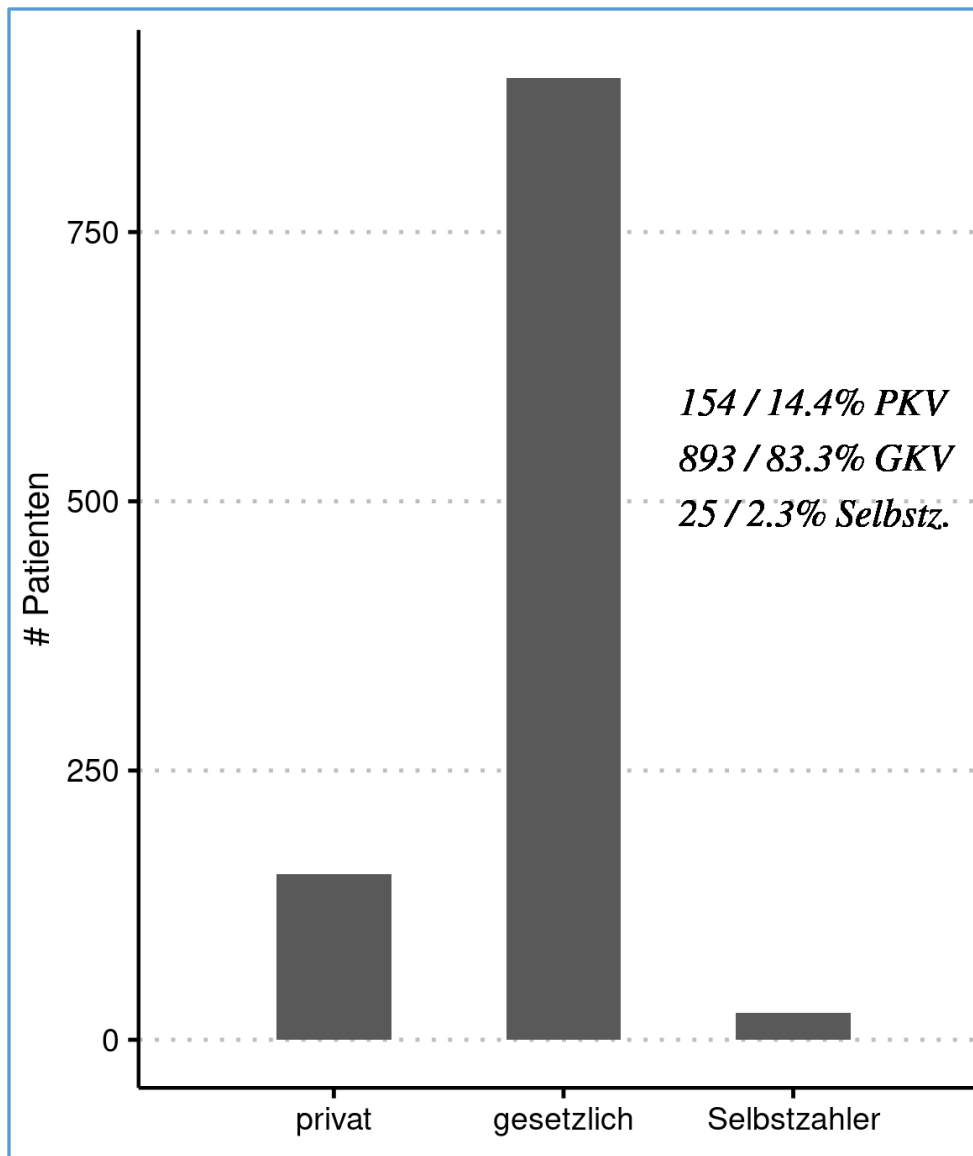
In der Gesamtkohorte von 1.072 Personen waren 578 männlich und 494 weiblich. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 53,9% vs 46,1% zugunsten der Männer (s. Abb. 17).



**Abbildung 17: Geschlechterverteilung der Patientenkohorte**

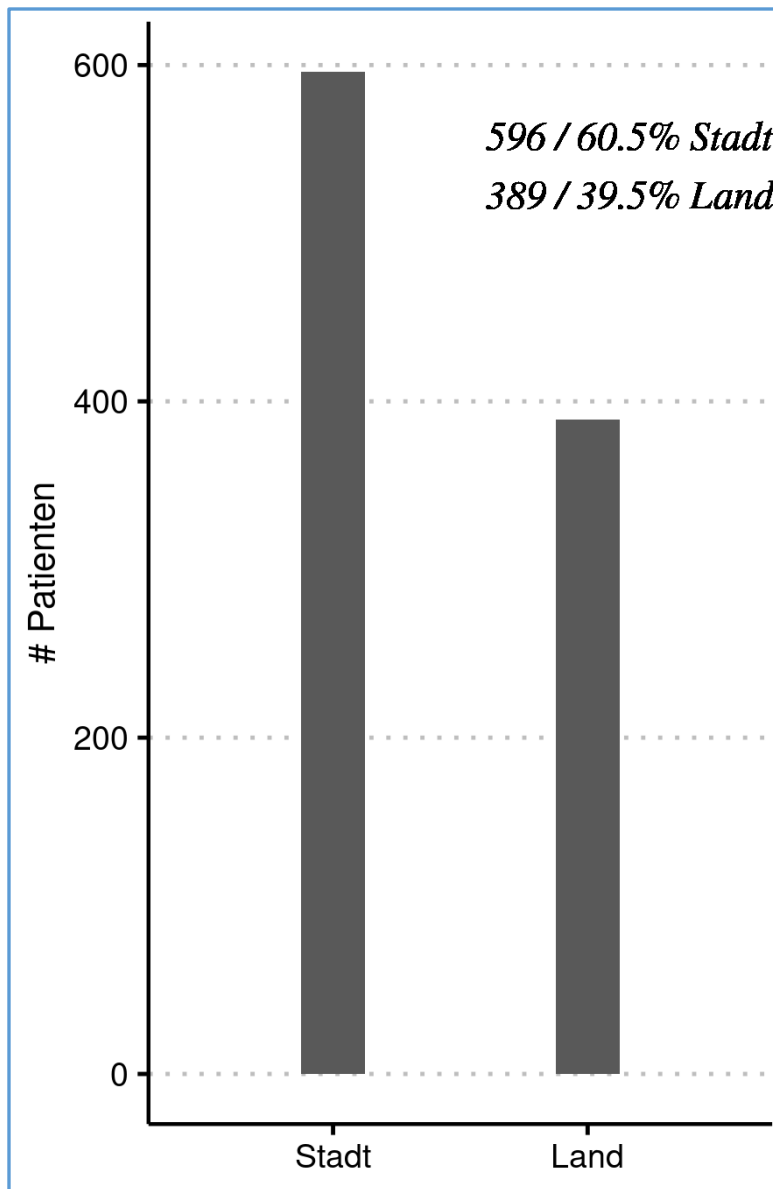
Die Stichprobe weist (wie die Gesamtbevölkerung) ein deutliches Überwiegen gesetzlich krankenversicherter Patienten auf. Insgesamt waren 893 Personen (83,3%) Mitglieder der gesetzlichen Krankenversicherung; 154 Individuen (14,4%) waren privat krankenversichert und 25 Patienten (2,3%) waren Selbstzahler (s. Abb. 18).





**Abbildung 18: Versicherungsstatus der Patientenkohorte**

Die letzte Grafik in diesem Abschnitt stellt die absoluten Zahlen der Patienten in Abhängigkeit von ihrem Wohnort in der Stadt oder auf dem Land dar. Der Anteil der Stadtbewohner betrug mit 596 von 1072 Patienten 60,5%; der Anteil der Landbewohner war mit 389 Individuen (39,5%) deutlich geringer (s. Abb. 19).



**Abbildung 19: Wohnortverteilung der Patientenkohorte**

Zur statistischen Prüfung wurde ein Quartils-Split für das Alter durchgeführt, d.h., die Patienten wurden in vier gleich große Altersgruppen aufgeteilt. Die Kategorien waren: < 34 Jahre, 34 bis 46 Jahre, 47 bis 59 Jahre und > 59 Jahre. Die Anzahl der Zähne ohne Befund nahm mit dem Alter deutlich ab; wohingegen die Anzahl der fehlenden oder unversorgten Zähne mit dem Alter zunahm. Die meisten Füllungen wurden in den beiden mittleren Altersgruppen gelegt. Der Anteil prothetisch versorgter Zähne nahm ab dem Alter von 47 Jahren deutlich zu (s. Abb. 20).

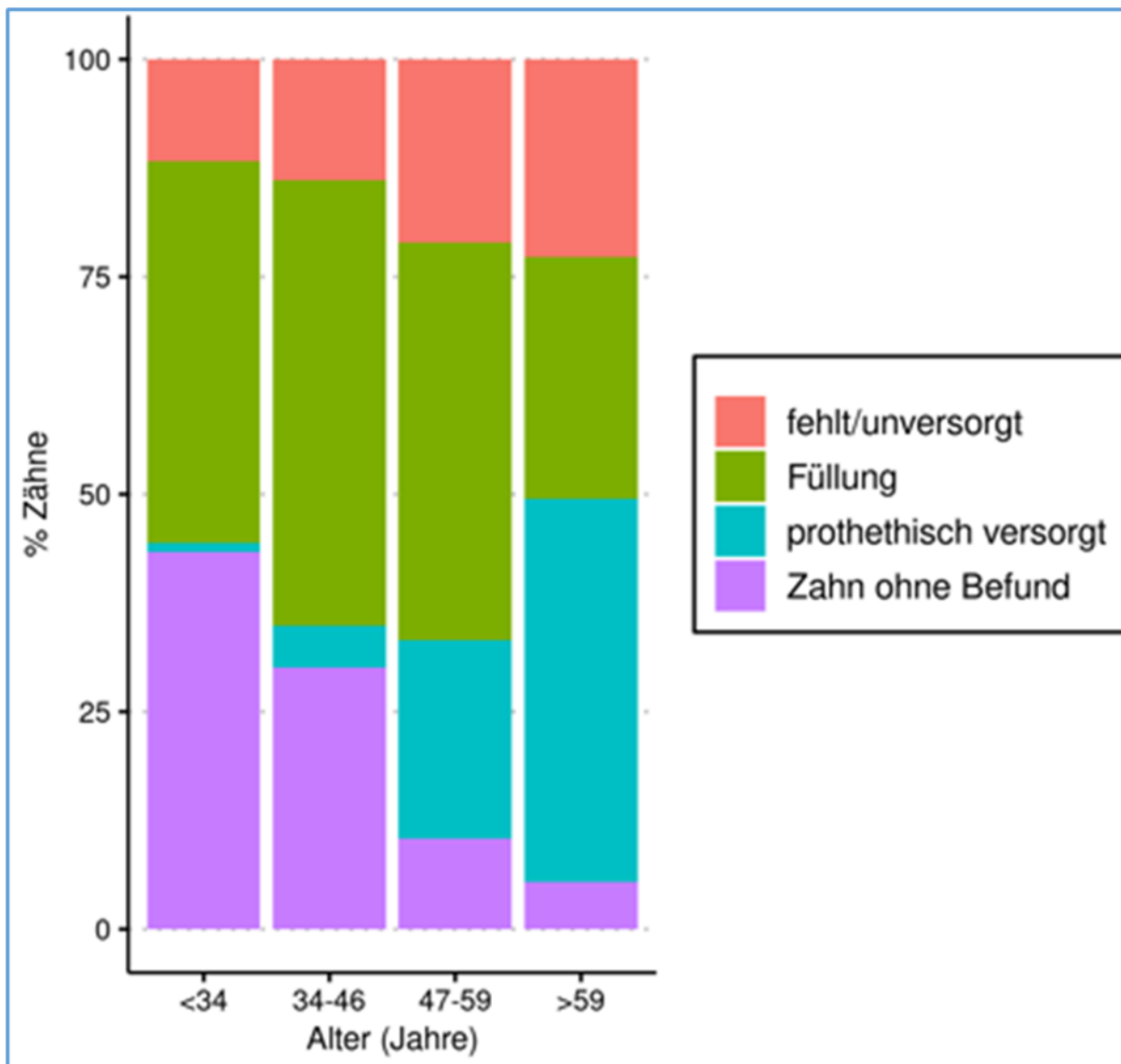
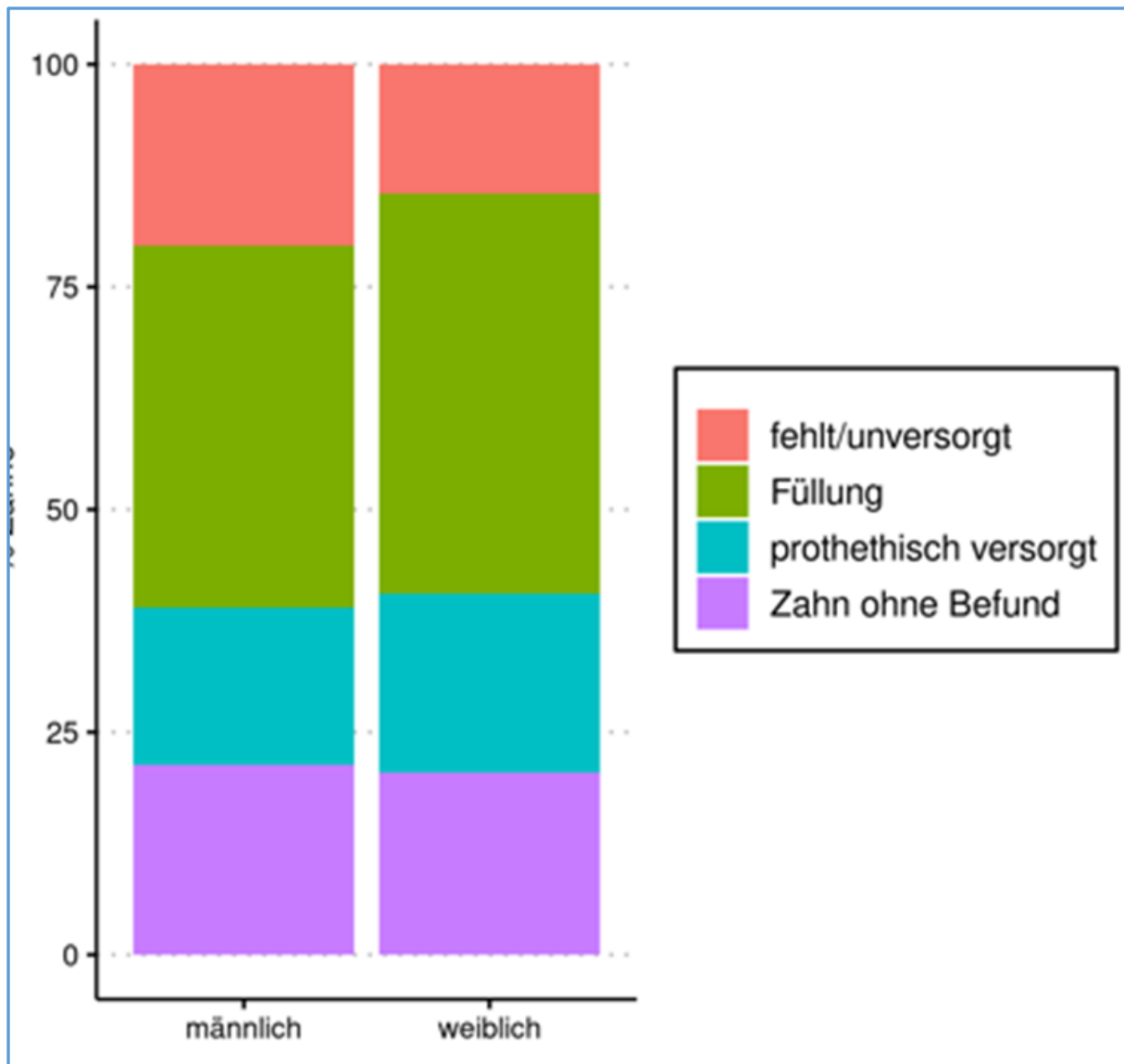


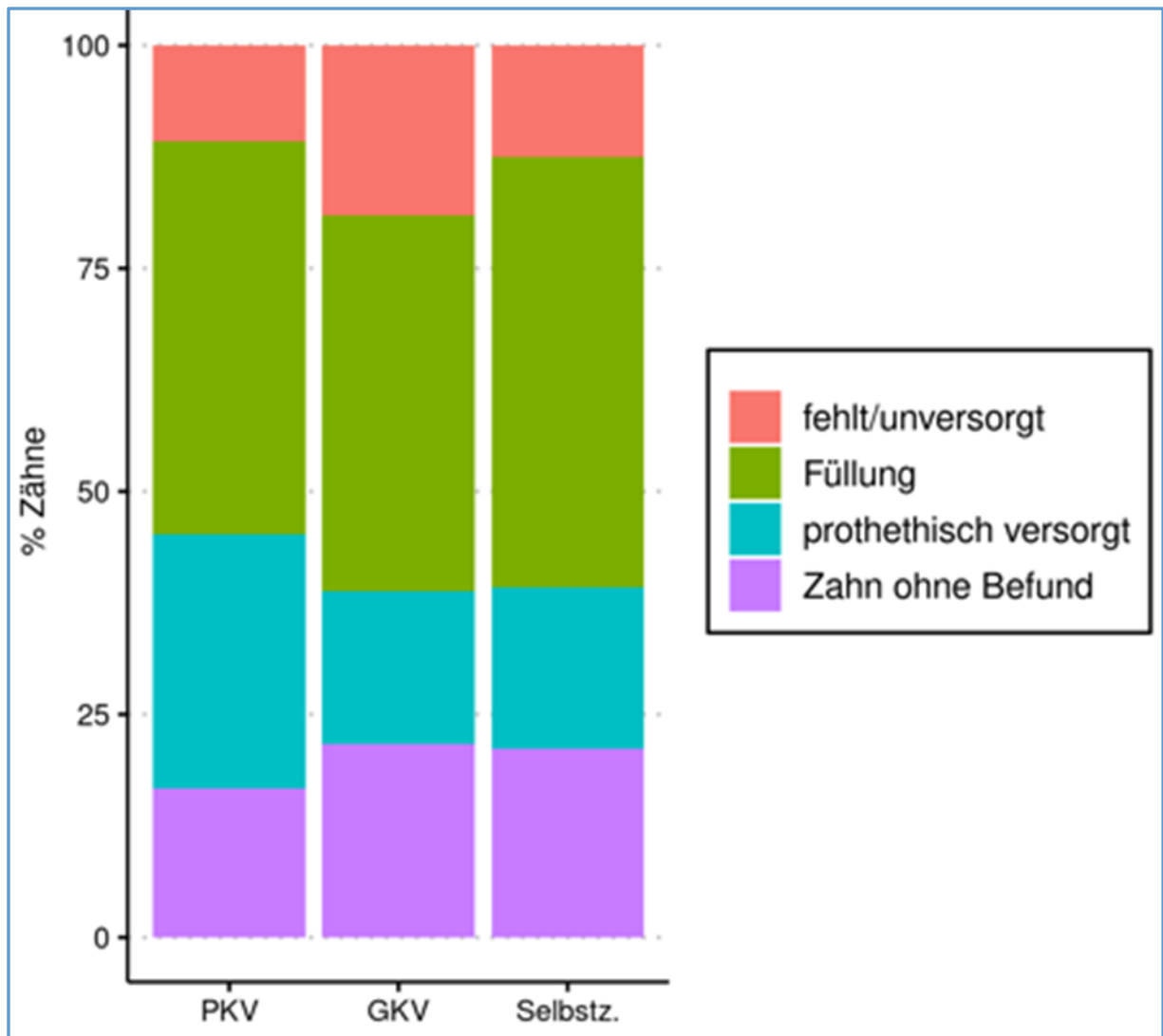
Abbildung 20: Prozentuale Verteilung der Kategorien nach Altersgruppen

Die prozentuale Verteilung der Füllungen nach Geschlecht verdeutlicht, dass Frauen mehr Füllungen bekamen und weniger unversorgte oder fehlende Zähne hatten. Der Anteil der prothetischen Versorgung und der Zähne ohne Befund war jedoch zwischen den Geschlechtern ausgeglichen (s. Abb. 21).



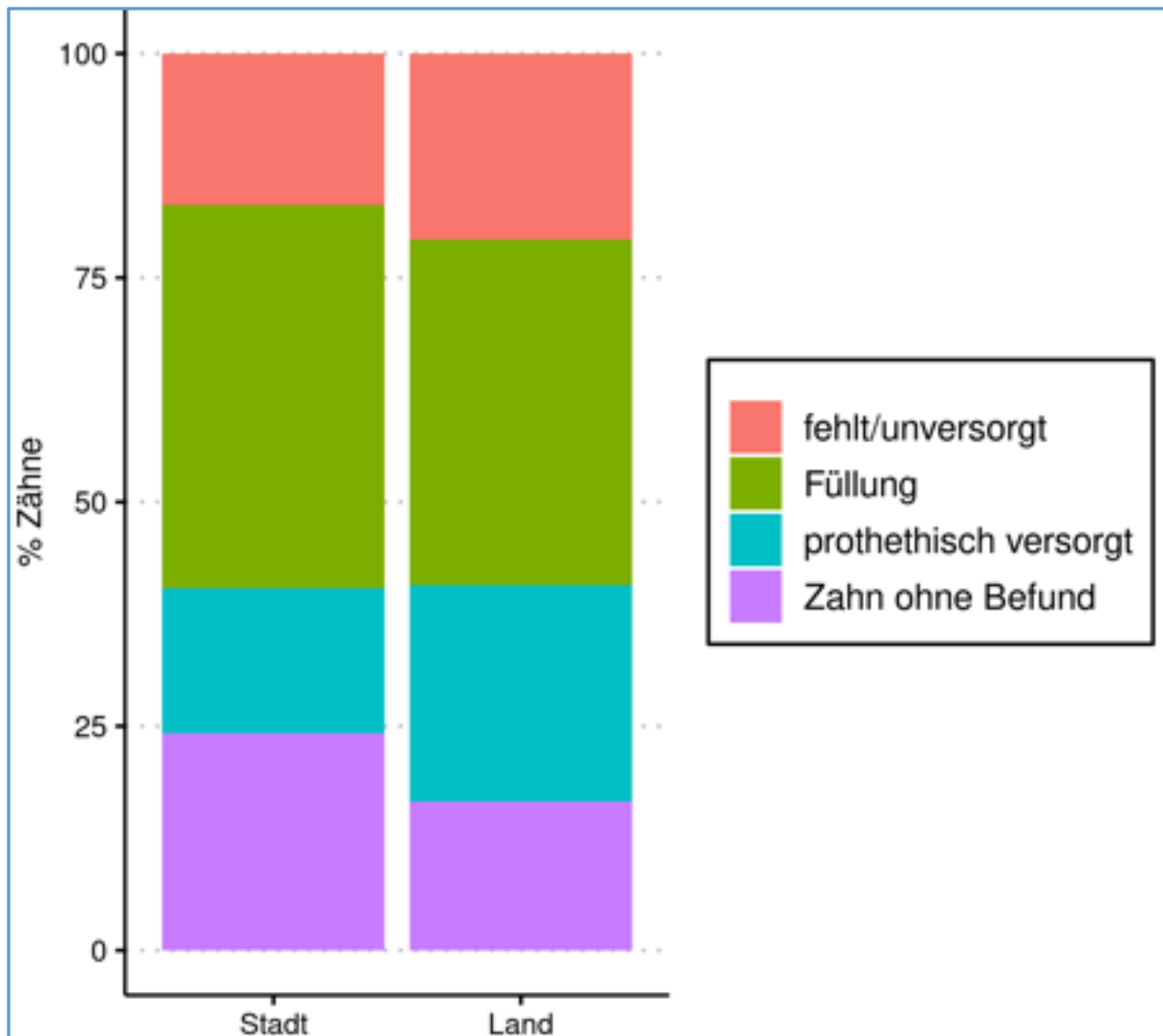
**Abbildung 21: Prozentuale Verteilung der Füllungen nach Geschlecht**

Hinsichtlich der prozentualen Verteilung der Füllungen nach Versicherungsstatus der Patienten war auffällig, dass der Anteil prothetisch versorgter Zähne bei den Privatversicherten deutlich größer war, als bei den gesetzlich versicherten Patienten. In der letztgenannten Gruppe war der Anteil fehlender oder unterversorgter Zähne am größten. Der Anteil der Füllungen war in allen drei Gruppen annähernd gleich (s. Abb. 22).



**Abbildung 22: Prozentuale Verteilung der Füllungen nach Versicherungsstatus der Patienten**

Die folgende Grafik zeigt, dass der Anteil der Zähne ohne Befund in der inkludierten Kohorte bei der Stadtbevölkerung größer war, als bei der Landbevölkerung. In der letztgenannten Gruppe gab es mehr prothetische Versorgungen und etwas mehr fehlende/unversorgte Zähne (s. Abb. 23).

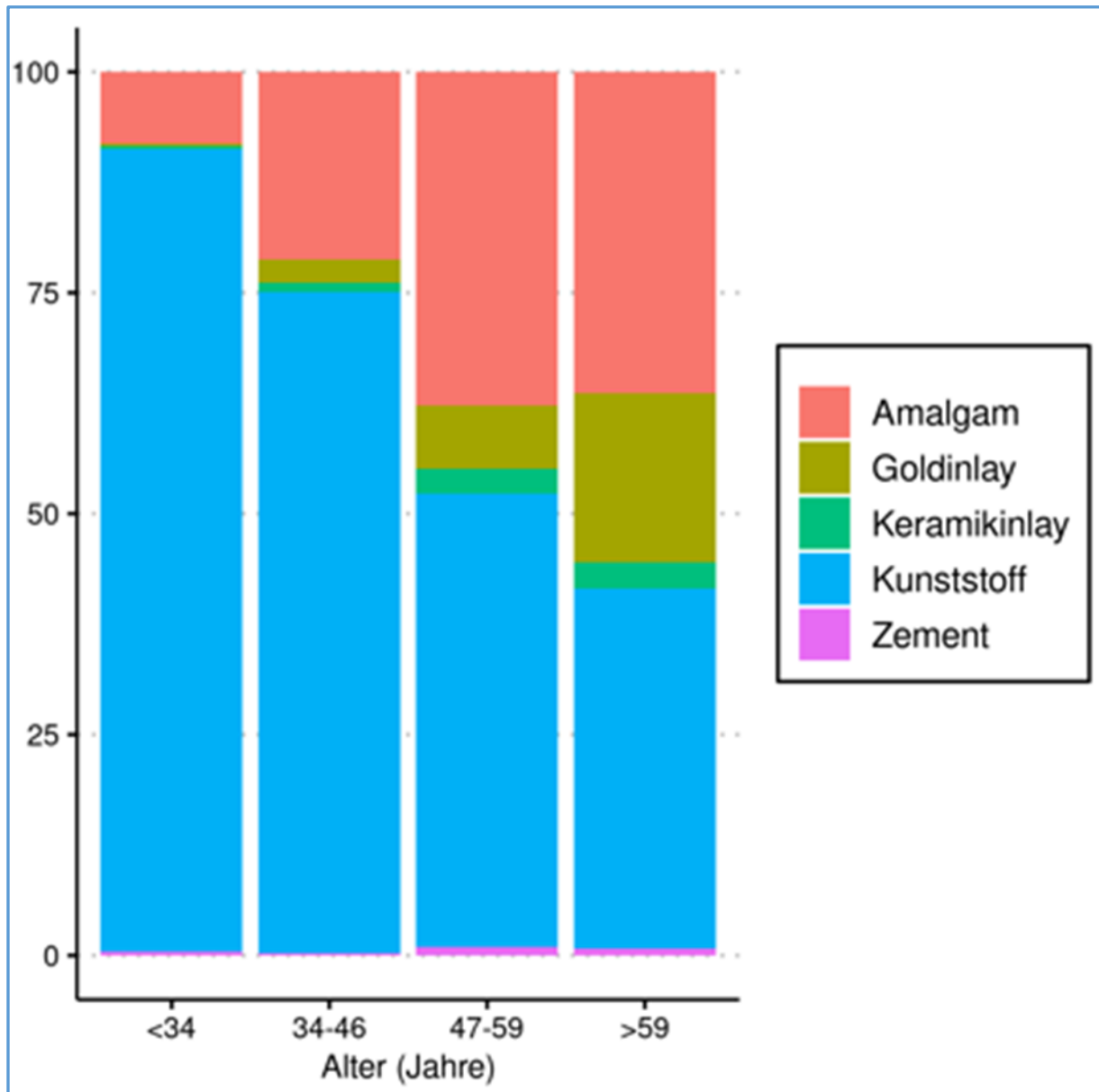


**Abbildung 23: Prozentuale Verteilung der Füllungen in Abhängigkeit vom Wohnort der Patienten**

Alle untersuchten demographischen Faktoren hatten einen signifikanten Einfluss sowohl auf die Verteilung der diagnostischen Kategorien (Alter:  $\chi^2_9 = 2209,8$ ,  $p < ,001$ ; Geschlecht:  $\chi^2_3 = 72,4$ ,  $p < ,001$ ; Versicherung:  $\chi^2_6 = 161,3$ ,  $p < ,001$ ; Wohnort:  $\chi^2_3 = 172,6$ ,  $p < ,001$ ) als auch auf die Verteilung der verwendeten Füllmaterialien (Alter:  $\chi^2_{12} = 882,2$ ,  $p < ,001$ ; Geschlecht:  $\chi^2_4 = 19,9$ ,  $p < ,001$ ; Versicherung:  $\chi^2_6 = 354,8$ ,  $p < ,001$ ; Wohnort:  $\chi^2_4 = 26,9$ ,  $p < ,001$ ).

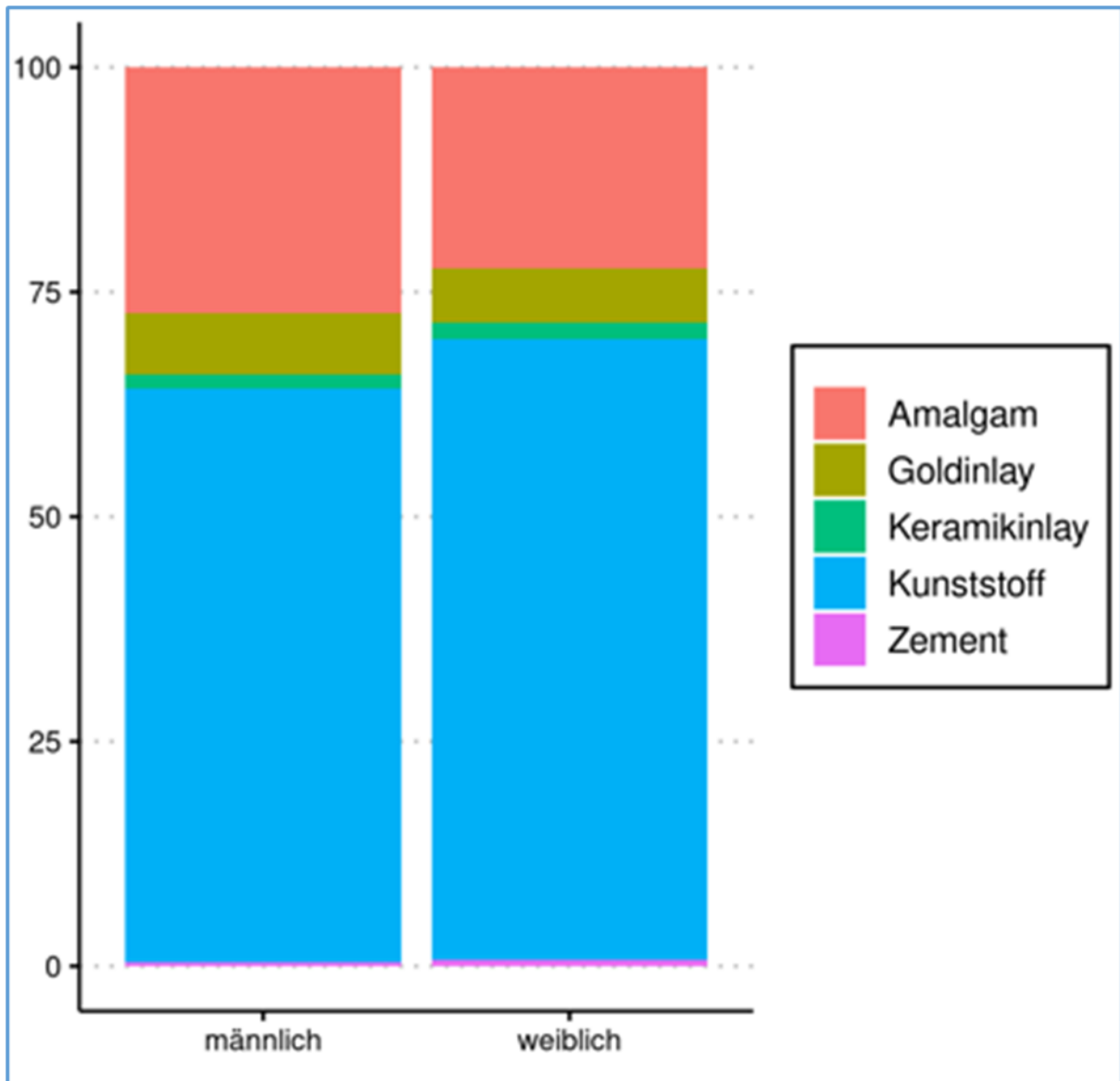
Beim Vergleich der Altersgruppen fällt eine Zunahme von Amalgam- und Goldfüllungen und Abnahme von Kunststofffüllungen mit zunehmendem Alter auf. Der Anteil von keramischen Inlays blieb in den drei höheren Altersgruppen nahezu

konstant; wohingegen diese Versorgung in der jüngeren Altersgruppe nicht vorkam (s. Abb. 24).



**Abbildung 24: Prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit von der Alterskategorie**

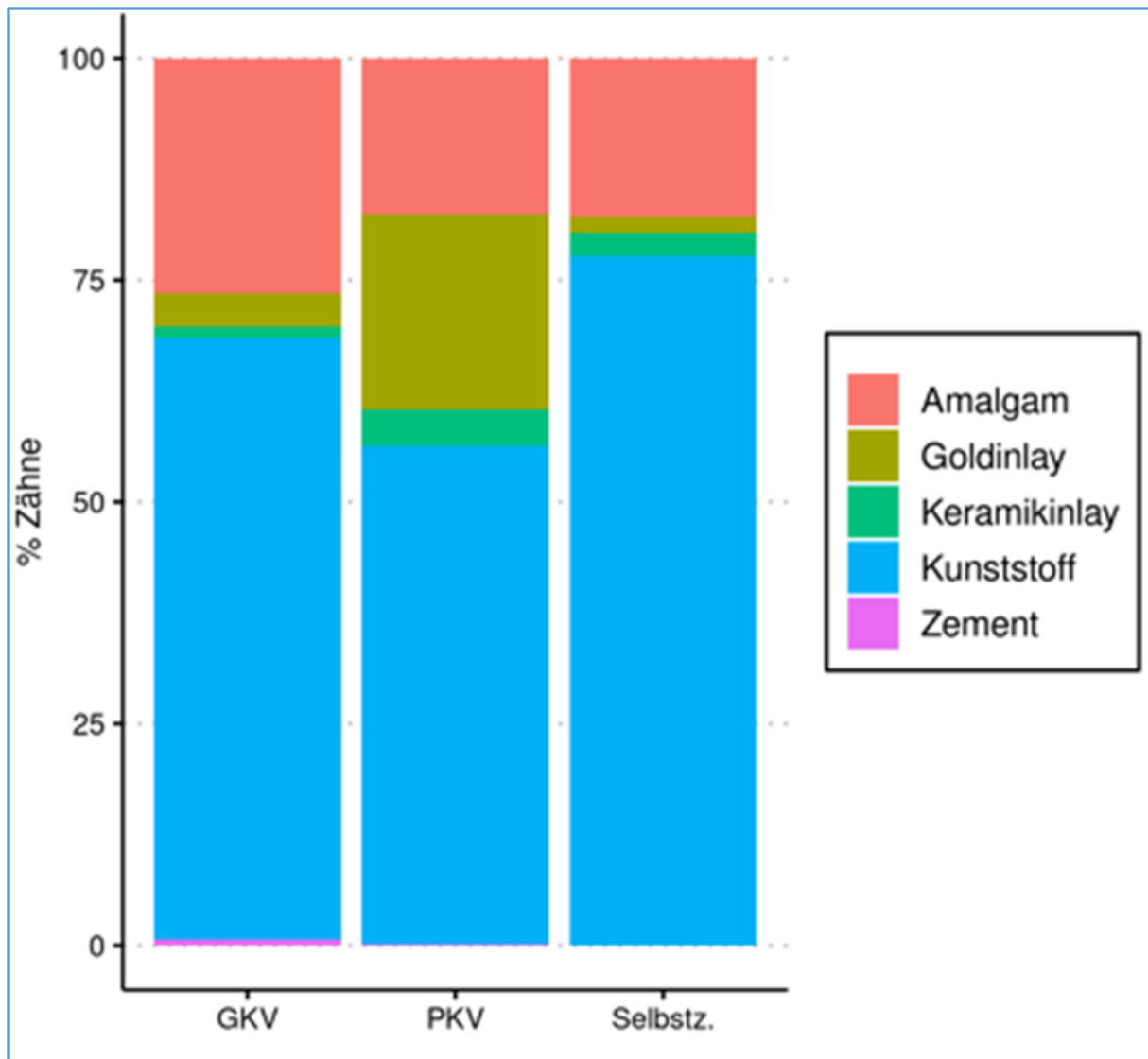
Bei der Betrachtung der prozentualen Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit vom Geschlecht der Patienten fällt auf, dass weibliche Patientinnen öfter Füllungen und seltener fehlende oder unversorgte Zähne sowie einen erhöhten Anteil an Kunststofffüllungen aufwiesen (s. Abb. 25).



**Abbildung 25; Prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit vom Geschlecht der Patienten**

Bei privat krankenversicherten Patienten fällt ein höherer Anteil prothetisch versorgter Zähne sowie ein deutlich erhöhter Anteil an Goldinlays auf. Zementfüllungen wurden nur in der Gruppe der Kassenpatienten gelegt. Auch war hier der Anteil an Amalgamfüllungen am höchsten (s. Abb. 26).





**Abbildung 26: Prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit vom Versicherungsstatus der Patienten**

Patienten mit Wohnort in der Stadt wiesen prothetisch versorgte Zähne zugunsten von Zähnen mit Füllungen auf, sowie einen höheren Anteil an Kunststoff- und Keramikfüllungen (s. Abb. 27).

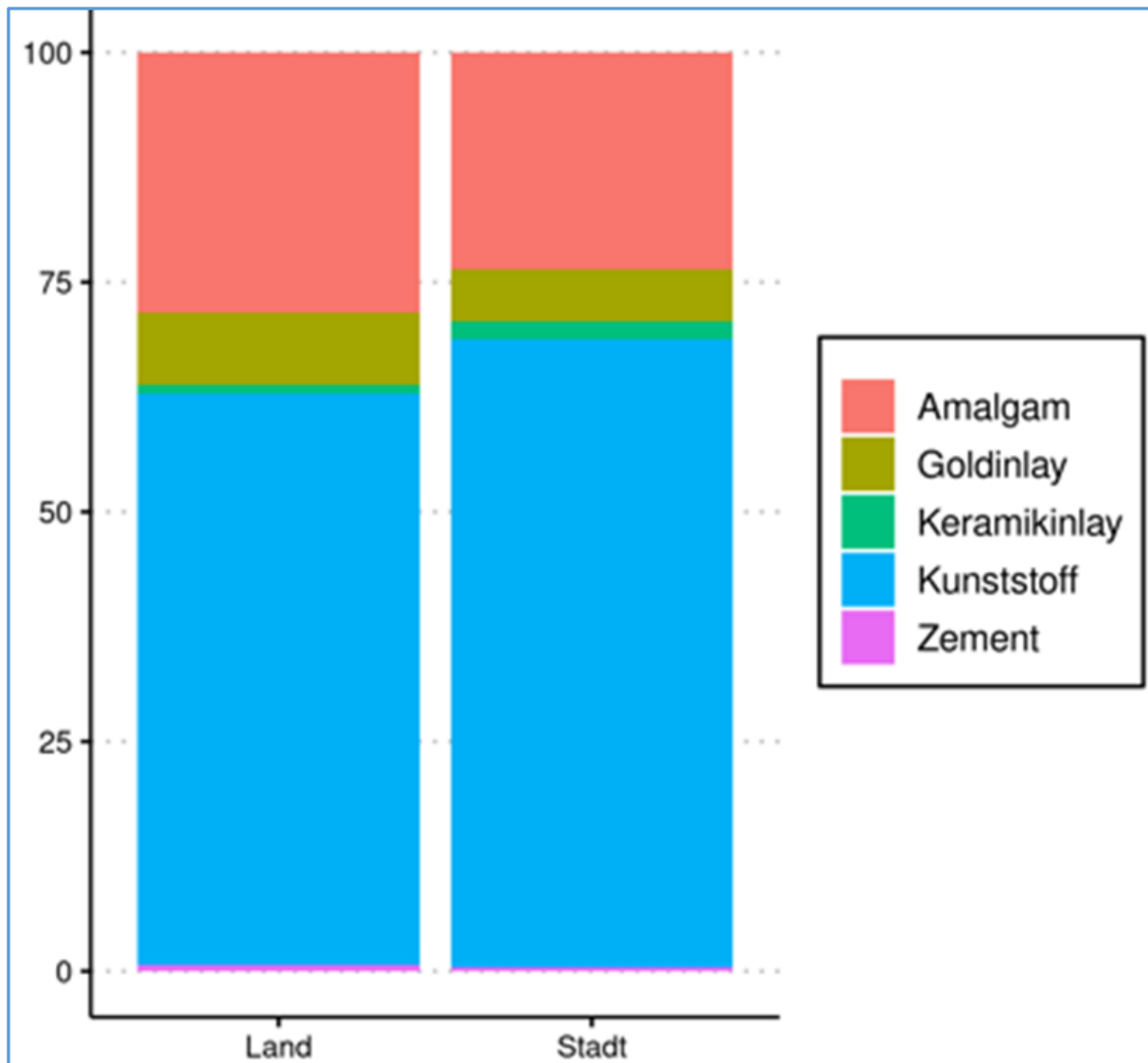


Abbildung 27: Prozentuale Verteilung der Füllungsmaterialien in Abhängigkeit vom Wohnort der Patienten

### 4.3 Medizinische Faktoren

In diesem Abschnitt wird der Zusammenhang zwischen den verwendeten Füllmaterialien einerseits und der Fläche und Tiefe der Kavität sowie dem DMFT-Wert andererseits untersucht.

Hinsichtlich der Tiefe der Kavität reichte diese in mehr als der Hälfte der Fälle (50,2%) bis in das Dentin. Mehr als jede vierte Kavität (28,2%) erreichte die Schmelz-Dentin-Grenze. Etwa jede 10. Kavität reichte entweder nur bis in den Schmelz (10,5%) oder war so tief, dass eine Caries profunda (5,1%) vorlag oder eine Wurzelbehandlung erfolgen musste (5,9%).

Die folgende Tabelle stellt die absolute Anzahl und den prozentualen Anteil der Füllungen in Abhängigkeit von der Tiefe der Kavitäten zusammen (s. Tab. 5).

**Tabelle 5: Verteilung der Angaben für die Tiefe der Kavität für alle Zähne mit Füllungen**

<b>Tiefe</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>
ohne Befund	3	0,1
Schmelz	475	10,5
Schmelz-Dentin-Grenze	1266	28,2
Dentin	2256	50,2
Caries profunda	231	5,1
prothetisch versorgt	1	0
Wurzelbehandlung	264	5,9
zutiefst zerstört	1	0
<b>Gesamt</b>	<b>4497</b>	<b>100</b>

Die nächste Tabelle listet absolute Anzahl von Füllungen in den Flächenkategorien und den prozentualen Anteil der Füllungen. Als Kategorien wurden unterschieden: ohne Befund, F1, F2, F3, F4, prothetisch versorgt, Zahn fehlt und F5.

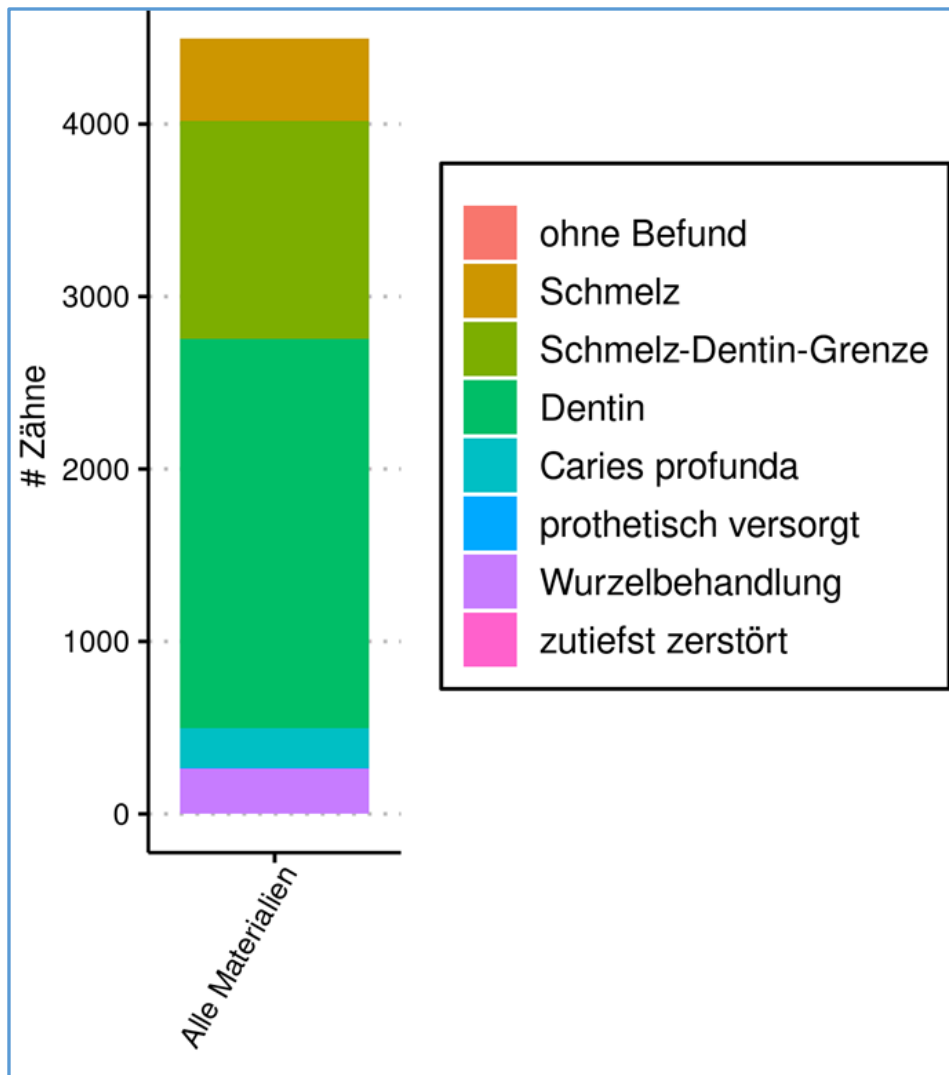
Fast die Hälfte der Füllungen (48,5%) waren einflächig und fast ein Drittel (28,6%) waren zweiflächig. Mit drei- und vierflächigen Füllungen wurde zusammen etwa jeder fünfte Zahn versorgt (18,2% und 4,3%) (s. Tab. 6).

**Tabelle 6: Verteilung der Angaben für die Fläche für alle Zähne mit Füllungen**

<b>Fläche</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>
ohne Befund	4	0,1
F1	2182	48,5
F2	1284	28,6
F3	818	18,2
F4	195	4,3
prothetisch versorgt	8	0,2
Zahn fehlt	2	0
F5	4	0,1
<b>Gesamt</b>	<b>4497</b>	<b>100</b>

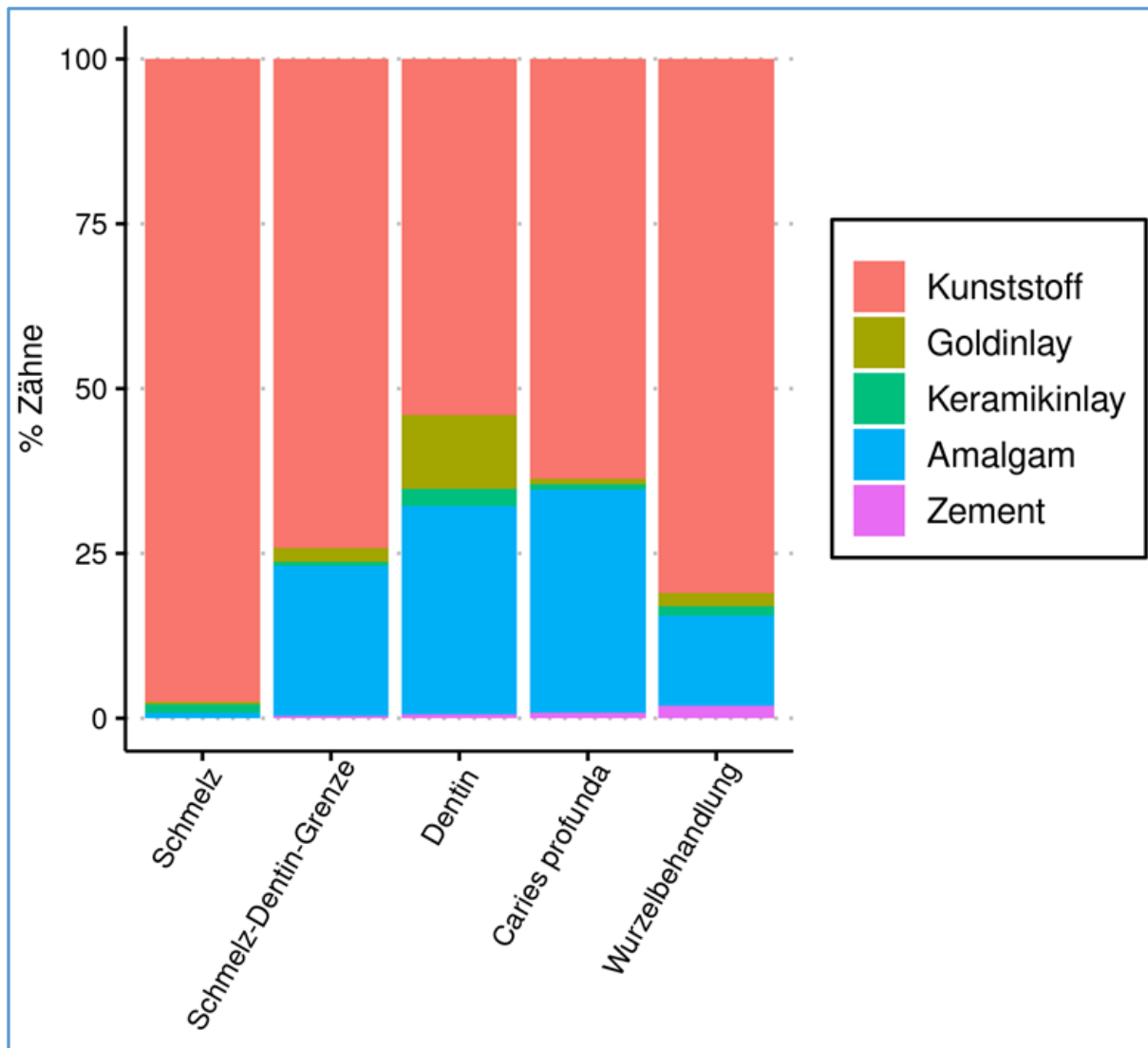
Für den Vergleich der Füllungsmaterialien wurden die Tiefe- und Flächenkategorien, die durch weniger als zehn Zähne repräsentiert wurden, von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Grafik 28 veranschaulicht die Verteilung der Tiefe der Kavitäten für alle Zähne mit Füllungen. Es wird deutlich, dass der weitaus größte Teil der Kavitäten bis ins Dentin oder bis an die Schmelz-Dentin-Grenze reichte. Zähne ohne Befund oder zutiefst zerstörte Zähne wurden nicht berücksichtigt.



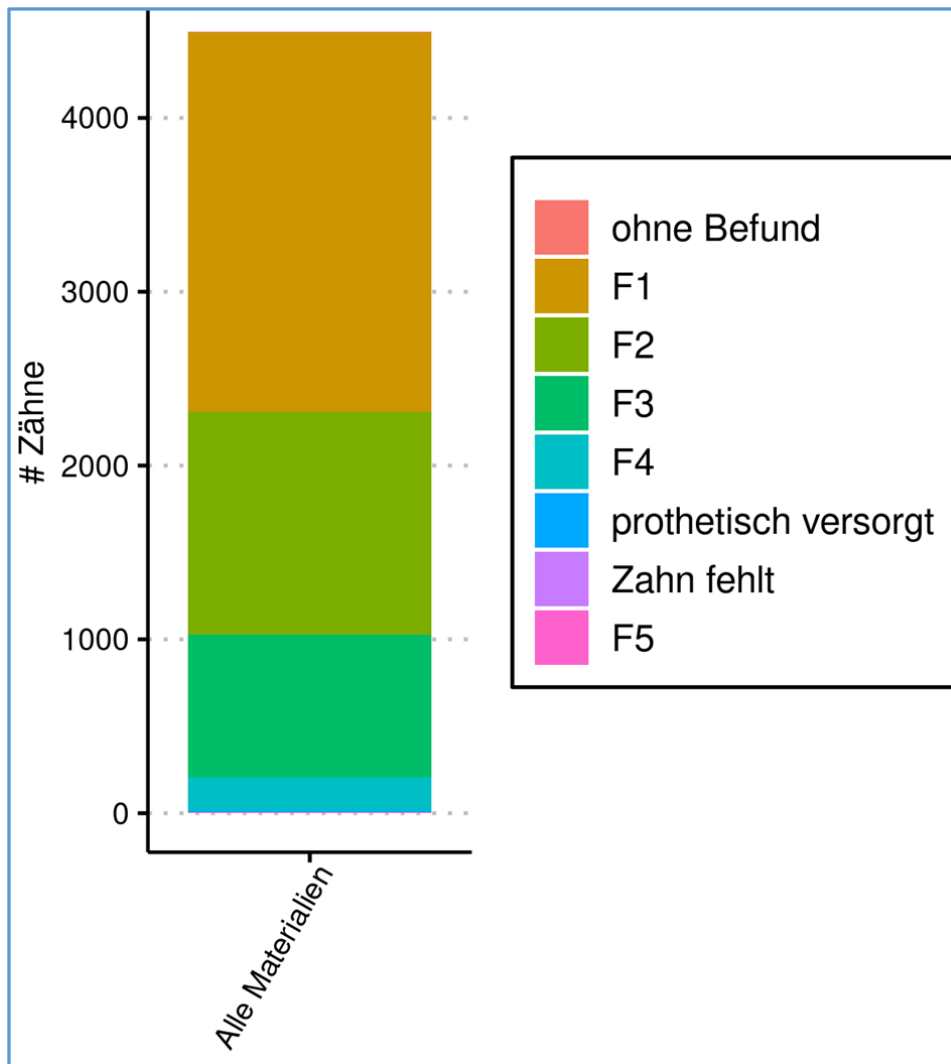
**Abbildung 28: Verteilung der Tiefe der Kavitäten für alle Zähne mit Füllungen (N = 4497)**

Die nächste Abbildung zeigt die Verteilung der Füllungen in Abhängigkeit von der Tiefe der Kavität. Hier wird der große Einsatzbereich der Kunststofffüllungen sichtbar. Sowohl flache Kavitäten als auch wurzelbehandelte Zähne wurde mit diesem Material versorgt. Gold- und Keramikinlays kamen überwiegend im Dentinbereich zum Einsatz. Zementfüllungen wurden fast ausschließlich zur Versorgung wurzelbehandelter Zähne oder für Zähne mit Caries profunda verwendet (s. Abb. 29).



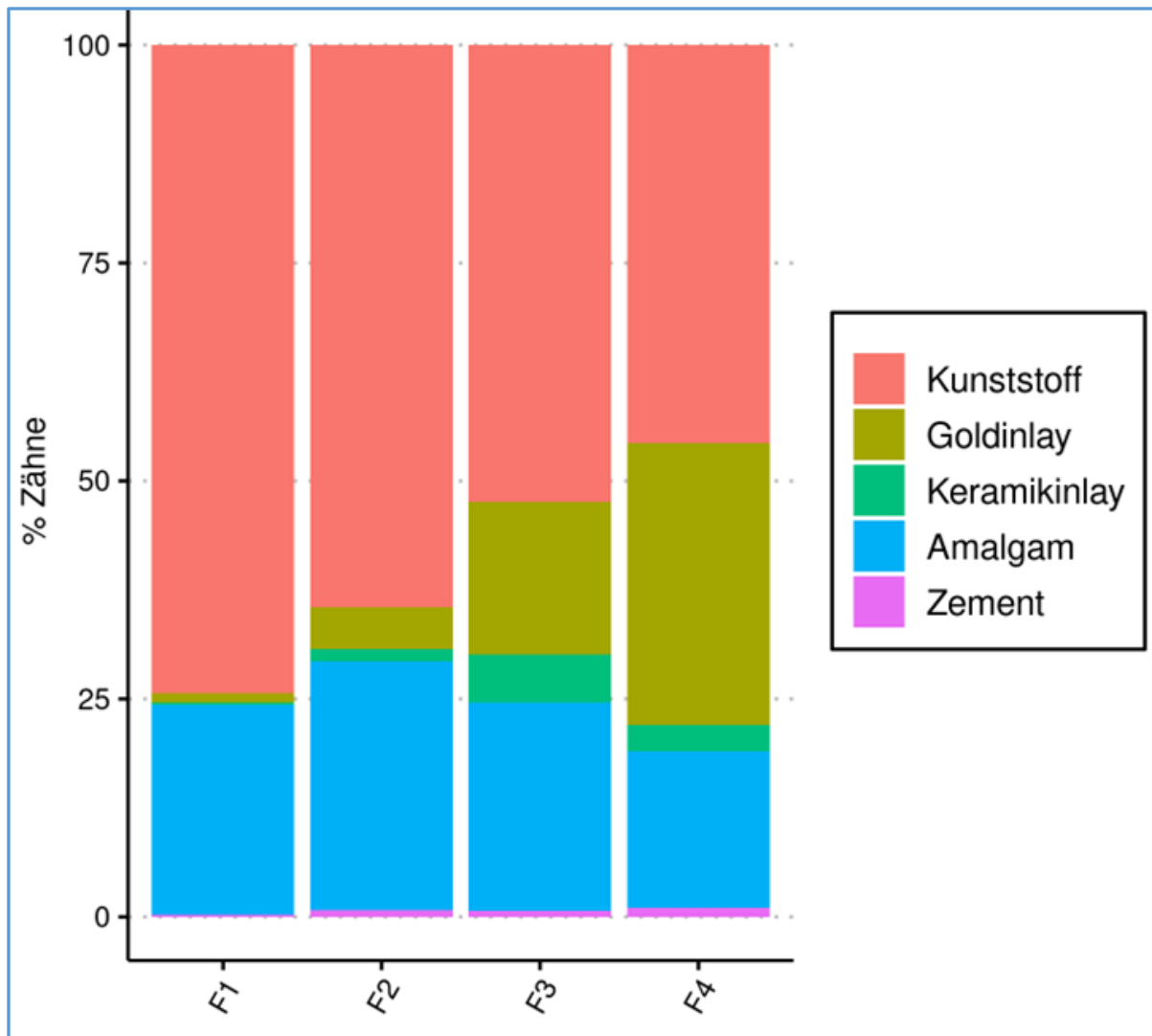
**Abbildung 29: Verteilung der Füllungsmaterialien für die verschiedenen Tiefenangaben**

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Häufigkeit der einflächigen Füllungen im Vergleich zu den zwei- und dreiflächigen Füllungen. Vierflächige Füllungen wurden seltener mit den untersuchten Füllungsmaterialien versorgt (s. Abb. 30).



**Abbildung 30: Verteilung der Fläche für alle Zähne mit Füllungen**

Die letzte Grafik in diesem Teil der Ergebnisdarstellung bezieht sich auf die Verteilung der Füllungsmaterialien für die verschiedenen Flächenangaben. Hier fällt insbesondere eine Verringerung des Anteils von Kunststofffüllungen zugunsten von Amalgamfüllungen für größere Tiefen, sowie ein höherer Anteil an Goldinlays bei größeren Flächen auf (s. Abb. 31).



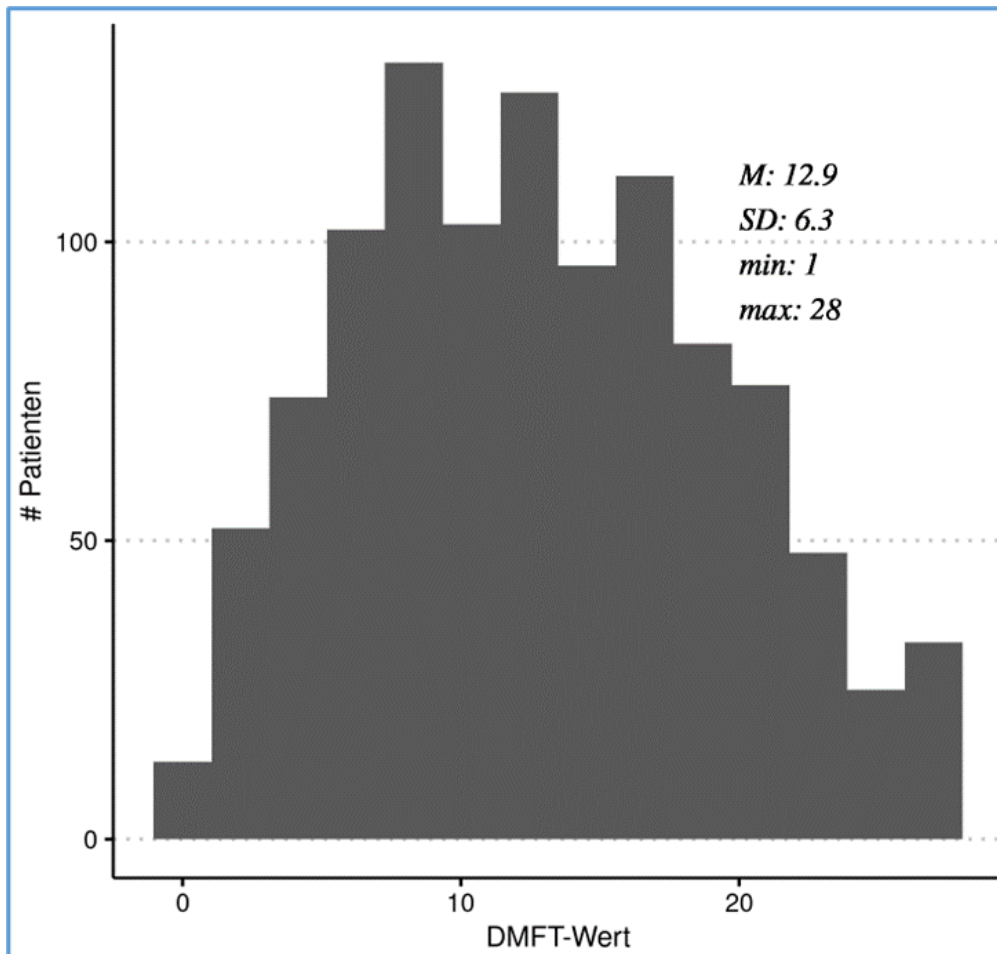
**Abbildung 31: Verteilung der Füllungsmaterialien für die verschiedenen Flächenangaben**

Die Verteilung der Materialien unterschied sich signifikant zwischen den Tiefe- ( $\chi^2_{16} = 514,2$ ,  $p < ,001$ ) und Flächenkategorien ( $\chi^2_{12} = 632,3$ ,  $p < ,001$ ).

#### 4.4 DMFT-Werte

Die folgende Abbildung stellt die Verteilung der DMFT-Werte für Patienten mit Füllungen dar. Die Verteilung wich signifikant von der Normalverteilung ab ( $p < ,001$ ). Der Mittelwert errechnete sich zu 12,9 mit einer Standardabweichung von +/- 6,3. Der kleinste registrierte DMFT-Wert war 1 und der höchste Wert war 28 (s. Abb. 32).





**Abbildung 32: Verteilung der DMFT-Werte für Patienten mit Füllungen**

Für die statistische Auswertung wurde ein Quartilssplit über die DMFT-Werte durchgeführt. Die Verteilung der verwendeten Materialien unterschied sich signifikant zwischen den Quartilen ( $\chi^2_{12} = 295,9$ ,  $p < ,001$ ), mit einem zunehmenden Anteil von Amalgamfüllungen und Goldinlays für höhere DMFT-Werte (s. Abb. 33).

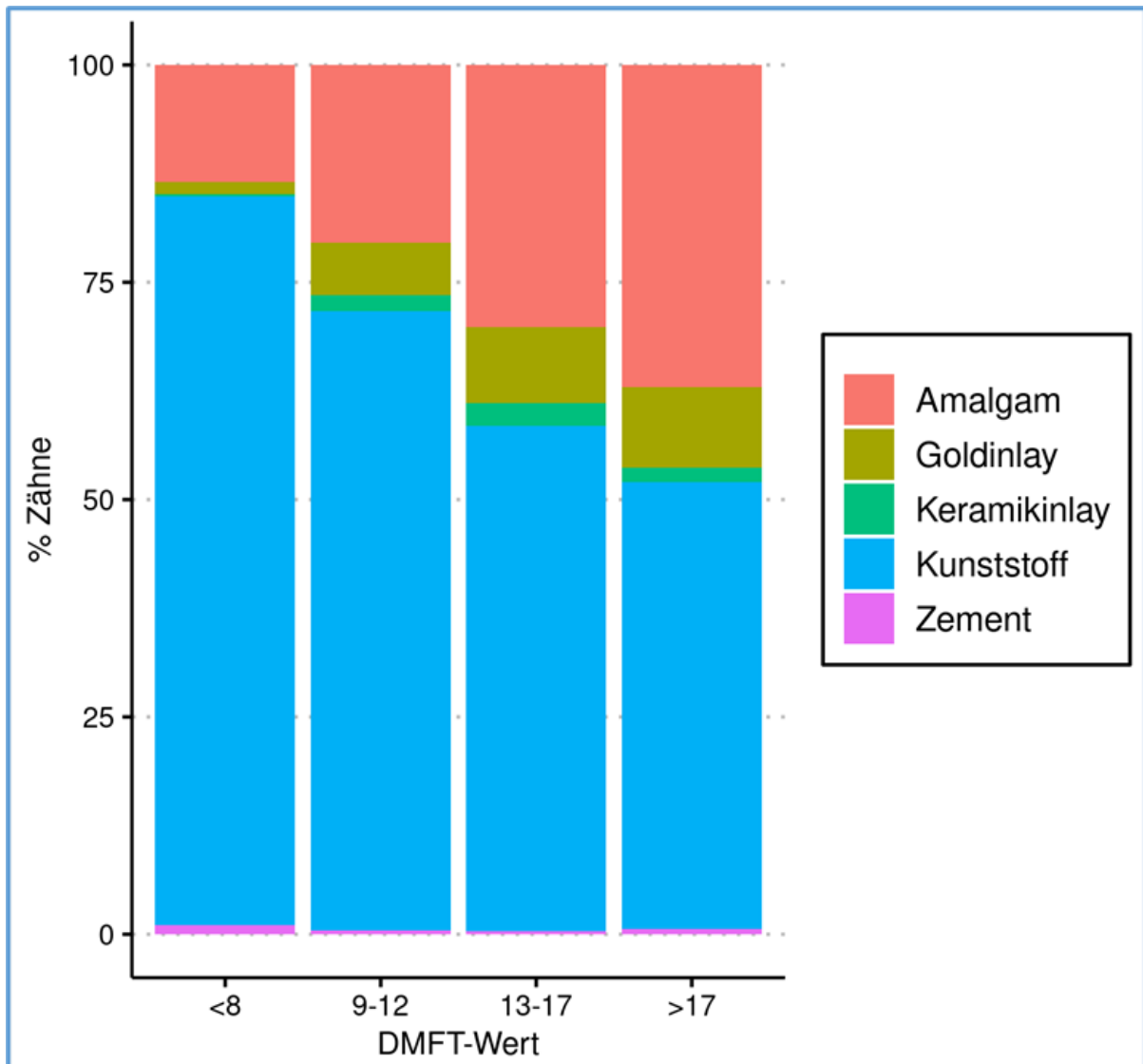


Abbildung 33: DMFT-Wert und Materialien

#### 4.5 Fazit der Ergebnisdarstellung

In der folgenden tabellarischen Ergebnisdarstellung werden alle wesentlichen Aussagen kurz zusammengefasst, anhand dieser Aussagen werden die Forschungsfragen beantwortet und statistisch belegt. Dabei sind Datenpool oder Forschungsfragen blau unterlegt, Die Antworten auf die Forschungsfragen hellblau unterlegt und die statistische Auswertung ist weiß unterlegt (s. Tab. 7).

**Tabelle 7: Ergebnistabelle**

Datenpool
Insgesamt lag eine Angabe für 10.552 Zähne von 1072 Patienten mit 4497 Füllungen vor.
n =10.552 Zähne; fehlend/unversorgt (17,7%); prothetisch versorgt (18,8%); befundfrei (20,9%); gefüllt 4.497 Zähne (42,6%). Die Verteilung der Befunde unterschied sich signifikant zwischen den Quadranten ( $\chi^2_9 = 50,5$ , $p < ,001$ ), aber nicht zwischen Zahnposition 6 und 7 ( $\chi^2_3 = 0,3$ , $p = ,966$ ).
Forschungsfrage 1: Welches Füllungsmaterial wird für Molaren verwendet?
Die meistverwendeten Füllungsmaterialien waren Kunststoff und Amalgam, während Goldinlays vergleichsweise selten, Keramikinlays und Zementfüllungen sehr selten vorkamen. Im Mittel hatte jeder Patient vier Zähne mit Füllungen. Die Anzahl der Füllungen/ Patient lag zwischen 1 und 8; mit einer leicht linkssteilen Verteilung. Die meisten Patienten hatten Füllungen aus dem gleichen oder zwei verschiedenen Materialien, während nur 35 Patienten Füllungen aus drei oder vier verschiedenen Materialien hatten.
Kunststoff (66,3%); Amalgam (24,9%); Goldinlays (6,5%); Keramikinlays (1,7%); Zementfüllungen (0,6%). Die Verteilung der Füllmaterialien unterschied sich nicht signifikant zwischen Quadranten ( $\chi^2_{12} = 16,6$ , $p = ,163$ ) oder Positionen ( $\chi^2_4 = 0,6$ , $p = ,968$ ).
Forschungsfrage 2: Wie stellt sich die Altersverteilung in der Patientenkohorte dar?
Die Altersverteilung weist eine auffällige Häufung von Patienten zwischen 30 und 40 Jahren auf.
Mittelwert 47,6 +/- 15,5 J.; Min 19 J. Max. 92 J.; 53,9% männlich; 46,1% weiblich. Alter und Geschlecht hatten einen signifikanten Einfluss auf die Verteilung der diagnostischen Kategorien (Alter: $\chi^2_9 = 2209,8$ , $p < ,001$ ; Geschlecht: $\chi^2_3 = 72,4$ , $p < ,001$ ;
Forschungsfrage 3: Wie groß ist der Anteil privatversicherter Patienten?
Die Stichprobe weist (wie die Gesamtbevölkerung) ein deutliches Überwiegen gesetzlich krankenversicherter Patienten auf.
83,3% GKV; 14,4% PKV; 2,3% Selbstzahler.

Der Versicherungsstatus hatte einen signifikanten Einfluss auf die Verteilung der diagnostischen Kategorien: Versicherung: $\chi^2_6 = 161,3$ , $p < ,001$ .
<b>Forschungsfrage 4: Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Alter und den verwendeten Füllungsmaterialien?</b>
Beim Vergleich der Altersgruppen fällt eine Abnahme befundfreier Zähne zugunsten fehlender oder prothetisch versorgter Zähne, sowie eine Zunahme von Amalgam- und Goldfüllungen und Abnahme von Kunststofffüllungen mit zunehmendem Alter auf.
Das Alter hatte einen signifikanten Einfluß auf die Verteilung der Füllungsmaterialien: Alter: $\chi^2_{12} = 882,2$ , $p < ,001$
<b>Forschungsfrage 5: Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den verwendeten Füllungsmaterialien?</b>
Weibliche Patientinnen hatten öfter Füllungen und seltener fehlende oder unversorgte Zähne sowie einen erhöhten Anteil an Kunststofffüllungen.
Das Geschlecht hatte einen signifikanten Einfluß auf die Verteilung der Füllungsmaterialien: Geschlecht: $\chi^2_4 = 19,9$ , $p < ,001$ ;
<b>Forschungsfrage 6: Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Versicherungsstatus und den verwendeten Füllungsmaterialien?</b>
Bei privat krankenversicherten Patienten fällt ein höherer Anteil prothetisch versorgter Zähne sowie ein deutlich erhöhter Anteil an Goldinlays auf.
Der Versicherungsstatus hatte einen signifikanten Einfluß auf die Verteilung der Füllungsmaterialien: Versicherung: $\chi^2_6 = 354,8$ , $p < ,001$ .
<b>Forschungsfrage 7: Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Wohnort (Stadt/Land) und den verwendeten Füllungsmaterialien?</b>
Patienten mit Wohnort in der Stadt wiesen prothetisch versorgte Zähne zugunsten von Zähnen mit Füllungen auf, sowie einen höheren Anteil an Kunststoff- und Keramikfüllungen.
Der Wohnort hatte einen signifikanten Einfluß auf die Verteilung der Füllungsmaterialien: Wohnort: $\chi^2_4 = 26,9$ , $p < ,001$
<b>Datenpool</b>
Die Tiefe der Kavität reichte in mehr als der Hälfte der Fälle bis in das Dentin. Mehr als jede vierte Kavität erreicht die Schmelz-Dentin-Grenze. Etwa jede 10. Kavität reichte entweder nur bis in den Schmelz oder war so tief, dass eine Caries profunda vorlag oder eine Wurzelbehandlung erfolgen musste.

<p>Fast die Hälfte der Füllungen waren einflächig und fast ein Drittel waren zweiflächig. Mit drei- und vierflächigen Füllungen wurde zusammen etwa jeder fünfte Zahn versorgt.</p>
<p>Dentin 50,2%; Schmelz-Dentin-Grenze 28,2%; Schmelz 10,5%; Caries profunda (5,1%); Wurzelbehandlung (5,9%); 1-flächig 48,5%; 2-flächig 28,6%; 3-flächig 18,2%; 4-flächig 4,3%</p>
<p>Forschungsfrage 8: Besteht ein Zusammenhang zwischen der Tiefe der Kavität und der Fläche und den verwendeten Füllungsmaterialien?</p>
<p>Hier fällt insbesondere eine Verringerung des Anteils von Kunststofffüllungen zugunsten von Amalgamfüllungen für größere Tiefen, sowie ein höherer Anteil an Goldinlays bei größeren Flächen auf.</p>
<p>Die Verteilung der Materialien unterschied sich signifikant zwischen den Tiefe- (<math>\chi^2_{16} = 514,2</math>, <math>p &lt; ,001</math>) und Flächenkategorien (<math>\chi^2_{12} = 632,3</math>, <math>p &lt; ,001</math>).</p>
<p>Forschungsfrage 9: Besteht ein Zusammenhang zwischen der Größe des DMFT und den verwendeten Füllungsmaterialien?</p>
<p>Die Verteilung der DMFT-Werte für Patienten mit Füllungen wich signifikant von der Normalverteilung ab. Es gibt einen zunehmenden Anteil von Amalgamfüllungen und Goldinlays für höhere DMFT-Werte.</p>
<p>Mittelwert 12,9 +/- 6,3; min 1; max. 28; Die Verteilung der verwendeten Materialien unterschied sich signifikant zwischen den Quartilen (<math>\chi^2_{12} = 295,9</math>, <math>p &lt; ,001</math>).</p>

## 5 Diskussion

### 5.1 Diskussion der Ergebnisse

Während der Mastikation wirken Kaukräfte auf den okklusalen Bereich vor allem von Molaren ein. Eine Besonderheit der vorliegenden Studie ist, dass sie sich ausschließlich auf die Füllungstherapie bei Molaren bezieht. Insgesamt konnten in der vorliegenden Studie die Daten von 1.072 Patienten mit 10.552 Molaren ausgewertet werden. Diese Datenmenge ergibt sich aus dem langen Erhebungszeitraum von zehn Jahren. Etwa jeder vierte Molar ( $n = 4.497$  Zähne; 46,6%) wurde durch eine Füllung saniert. Die restlichen Zähne waren fehlend/unversorgt (17,7%); prothetisch versorgt (18,8%) oder befundfrei (20,9%).

Es konnte keine Vergleichsstudie gefunden werden, die die Zahnart (Molaren) ebenfalls als Einschlusskriterium für die inkludierten Zähne verwendete. So beziehen sich die Angaben einer multizentrischen Studie aus Norwegen über die Wahl der Füllungsmaterialien bei Kindern und Jugendlichen auf sämtliche Zähne mit Klasse II Restaurationen. Hier wurden 4.030 Füllungen bei 1.912 Patienten in einem Zeitraum von drei Jahren dokumentiert (Vidnes-Kopperud, Tveit, Gaarden, Sandvik, & Espelid, 2009).

Die meistverwendeten Füllungsmaterialien in unsere Stichprobe waren Kunststoff (66,3%) und Amalgam (24,9%). Goldinlays kamen vergleichsweise selten, Keramikinlays und Zementfüllungen kamen sehr selten vor.

Diese Ergebnisse entsprechen hinsichtlich des großen Anteils an Amalgamfüllungen nicht den Angaben in der Literatur. In der norwegischen Studie beispielsweise wurde von einem Kunststoffanteil von insgesamt 94,2% (Komposit 81,5%; Kompomer 12,7%) und einem Amalgamanteil von nur 4,6% der Füllungen berichtet. Allerdings waren dort die Patienten jünger und die Füllungen wurden nicht ausschließlich an Molaren gelegt. Doch auch der Barmer GEK Zahnreport aus dem Jahr 2014 weist für dreiflächige Füllungen einen geringeren Anteil von 20% an Amalgamfüllungen aus. In dem genannten Report sind jedoch auch nur 44% Kunststofffüllungen ausgewiesen, was im Vergleich zu unseren Ergebnissen sehr wenig erscheint (Schulze & Maxson, 2021).

Eine Fragebogenstudie aus Saudi-Arabien mit 400 klinisch tätigen Zahnärzten dokumentierte, dass die Mehrheit der Teilnehmer (80,7%) überhaupt kein Amalgam

mehr verwendete. Vielmehr zeigten die Zahnmediziner die Neigung, vorhandene, gut platzierte Amalgamrestaurationen durch Kunststofffüllungen zu ersetzen, was ihre in früheren Studien berichtete marktorientierte Haltung untermauert (Alkudhairi, 2016).

Ein Review der Autorengruppe Eltalah et al. (2018) stellte in einem Update einer früheren Untersuchung die Ergebnisse von 21 inkludierten Studien zusammen. Es lagen Informationen über 86.720 Restaurationen im Seitenzahnbereich vor, von denen 37.016 (42,7%) Neuversorgungen und 49.704 (57,3%) Ersatzversorgungen waren. Vergleicht man die Überprüfungszeiträume, so ist ein Rückgang der Amalgamrestaurationen von 56,7% (vor der Überprüfung 1998) auf 31,2% (nach der Überprüfung 1998) zu verzeichnen, während der Anteil der Kompositrestaurationen von 36,7% auf 48,5% anstieg. Am häufigsten wurde Amalgam in Nigeria (71% der Restaurationen), Jordanien (59% der Restaurationen) und im Vereinigten Königreich (47% der Restaurationen) verwendet. Komposit wurde am häufigsten in Australien (55% der Restaurationen), Island (53% der Restaurationen) und Skandinavien (52% der Restaurationen) verwendet. Sekundärkaries war der häufigste Grund für den Austausch von Restaurationen (bis zu 59% der Ersatzrestaurationen). Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass der Ersatz von Restaurationen immer noch mehr als die Hälfte der von Zahnärzten gelegten Restaurationen ausmacht und der Anteil der Ersatzrestaurationen weiter zunimmt. In den letzten Jahren ist ein Trend zur verstärkten Verwendung von Kompositmaterialien zu beobachten (Eltalah, Lynch, Chadwick, Blum, & Wilson, 2018).

Molaren spielen eine sehr wichtige Rolle im Kau-system, insbesondere weil sie die höchsten funktionellen Belastungen tragen. Aus diesem Grund sind hochwertige Materialien mit ähnlichen Eigenschaften wie der zu versorgende Zahn wünschenswert (Chun & Lee, 2014). Die steigende Nachfrage der Patienten nach ästhetischen Restaurationen und die Besorgnis über die Quecksilberbelastung durch Amalgam haben dazu geführt, dass nun auch Komposit-Restaurationen vermehrt im Molarenbereich eingesetzt werden. Die neue Generation von Kompositen ist auch für größere Kavitäten geeignet, da sie bessere physikalische Eigenschaften aufweist, die Zahnschicht erhalten und sich leichter anpassen lassen, so dass größere Schichten bis zu 4 mm eingefügt werden können (Van Dijken & Pallesen, 2015). Die Art des Restaurationsmaterials wirkt sich auf die klinische Leistung und Langlebigkeit der Füllungen aus. Die Füllung von großen Kavitäten im Molarenbereich kann einige

Einschränkungen und Herausforderungen mit sich bringen. Die Versagensrate von Restaurationen mit vier oder mehr Oberflächen ist viermal so hoch wie die von einflächigen Restaurationen, was auf Zahnfrakturen und Sekundärkaries zurückzuführen ist (Soares & Cavalheiro, 2010). Studien kamen zu dem Schluss, dass umfangreichere Restaurationen eine geringere klinische Leistungsfähigkeit aufweisen. Insbesondere nehmen die Überlebensraten mit zunehmender Größe der Restaurationen ab (McCracken, et al., 2013). Dieser Rückgang ist bei Kompositen deutlicher als bei Amalgam oder bei Inlays. McCracken et al. dokumentierte, dass nach fünf Jahren 14,2% der großen Amalgamrestaurationen und 19,8% der großen Kompositrestaurationen im Molarenbereich ersetzt werden mussten. In einer anderen Studie wurde festgestellt, dass die Überlebensrate bei Kavitäten im Molarenbereich bei 89,5% für Amalgam und 74,3% für Komposit lag (Bernardo, et al., 2007). Bei Kemaloglu et al. (2016) lagen die Überlebensraten nach Ablauf von drei Jahren jedoch für beide Materialien bei 100%. Allerdings kam es bei Komposit vereinzelt zu Abplatzungen, die jedoch klinisch keine Revision der Füllung erforderten. Aufgrund der aktuellen Entwicklungen in der Materialtechnologie werden Kunststoffkomposite inzwischen auch bei größeren Restaurationen im Molarenbereich in großem Umfang eingesetzt (Kemaloglu, Pamir, & Tezel, 2016).

Ziel einer Studie von Forss und Widström (2004) war, Informationen über die restaurative Zahnbehandlung von Erwachsenen in Finnland zu erhalten. Eine Zufallsstichprobe privater Zahnärzte wurde aus dem Register gezogen. Im Frühjahr 2000 wurde ihnen ein Fragebogen zugesandt, in dem sie aufgefordert wurden, Informationen über jede an einem normalen Arbeitstag ausgeführte Restauration zu erfassen. Insgesamt wurden 800 Zahnärzte angeschrieben und 548 antworteten. Die Zahnärzte meldeten das Einsetzen von 3.455 Restaurationen. Davon gehörten 5% zur Klasse I, 36% zur Klasse II, 13% zur Klasse III, 9% zur Klasse IV, 21% zur Klasse V und 16% zu den umfangreichen Restaurationen mit vier oder mehr Flächen (Forss & Widström, 2004). Damit entspricht die Verteilung bei den finnischen Patienten größenordnungsmäßig der Verteilung der Flächen der Füllungen der vorliegenden Arbeit (1-flächich 48,5%; 2-flächich 28,6%; 3-flächich 18,2%; 4-flächich 4,3%), wobei die finnischen Patienten mehr großflächige Füllungen aufwiesen. Möglicherweise wurden die großen Defekte hierzulande vermehrt prothetisch versorgt.



Insgesamt war Komposit auch in Finnland das häufigste Restaurationsmaterial, das in 79% der Fälle verwendet wurde, während Amalgam in 5%, Kompomere in 4 % und Glasionomere (konventionell oder kunststoffmodifiziert) in 7% der Fälle verwendet wurden. In 5% der Fälle wurde der Zahn mit indirekten Restaurationsmethoden wiederhergestellt, wobei entweder Gold oder Keramik verwendet wurde. Während der Anteil der indirekten Restaurationen in der vorliegenden Stichprobe vergleichbar war (5% in Finnland vrs. 8,2% Gold-oder Kermikinlays), war der Anteil der Amalgamfüllungen mit 5% deutlich geringer als in der vorliegenden Arbeit mit 24,9% (Forss & Widström, 2004). Dies ist vermutlich den rechtlichen Bestimmungen hinsichtlich der Verwendung von Amalgam in den skandinavischen Ländern geschuldet.

Palotie et al. (2017) bewerteten in einer auf Patientendokumenten basierenden retrospektiven Studie an 25- bis 30-jährigen finnischen Erwachsenen aus Helsinki die Langlebigkeit von zwei- und drei-flächigen Seitenzahnrestaurationen in Abhängigkeit von der Art des Zahns, der Größe der Restauration und dem verwendeten Restaurationsmaterial. Insgesamt wurden 5.542 zwei- und drei-flächige Komposit- und Amalgamrestaurationen im Seitenzahnbereich von 2002 bis 2015 indirekt verfolgt. Kompositrestaurationen bildeten die Mehrheit (93%). Die längsten medianen Überlebenszeiten und die geringsten Ausfallraten wurden für Zähne im Oberkiefer, für Prämolaren und für zwei-flächige Restaurationen festgestellt. Die mediane Überlebenszeit aller Restaurationen betrug 9,9 Jahre (95% CI 9,6, 10,2). Eine Erneuerung von Restaurationen trat im Oberkiefer seltener auf (AFR 4,0%) als im Unterkiefer (AFR 4,7%). Die mediane Überlebenszeit von Komposit-Restaurationen war bei zwei-flächigen-Restaurationen länger als bei drei-flächigen-Restaurationen: bei Prämolaren 12,3 vs. 9,6 Jahre ( $p < 0,001$ ) und bei Molaren 9,2 vs. 6,3 Jahre ( $p < 0,001$ ). Die mediane Überlebenszeit von zwei- und drei-flächigen-Restaurationen bei Prämolaren war länger als die bei Molaren (12,0 vs. 8,7 Jahre;  $p < 0,001$ ). Komposit und Amalgam erwiesen sich bei dreiflächigen Füllungen im Molarenbereich beide gleichermaßen als bedingt geeignet (Palotie, Eronen, Vehkalahti, & Vehkalahti, 2017).

Bei 65% der finnischen Füllungstherapien handelte es sich um den Ersatz von früheren Restaurationen. Sekundärkaries war der häufigste Grund für den Ersatz (36%, 52% bzw. 41% bei Komposit, Glasionomer und Amalgam). Weitere häufige Gründe waren Frakturen des Zahns oder der Restauration (23%, 11% bzw. 22% für

Komposit, Glasionomer und Amalgam) und verlorene Kompositrestaurationen (16%). Das mediane Alter der ausgefallenen Restaurationen betrug 15 Jahre für Amalgam, 6 Jahre für Komposit und 7 Jahre für konventionelles Glasionomer. Damit war die Langlebigkeit der direkten Füllungen mit zahnfarbenen Restaurationen kürzer als die von Amalgam (Forss & Widström, 2004).

Eine weitere Fragebogenerhebung von Heinikainen et al. (2002) bezog sich ausschließlich auf fiktive Revisionen von defekten Füllungen an den ersten bleibenden oberen Molaren. Die restaurativen Fälle wurden detailliert beschrieben, einschließlich Zahlenangaben zu vier klinischen Abweichungen, bei denen die zu ersetzende Füllung von der okklusalen Füllung bis zur gesamten klinischen Krone reichte. Für jeden Fall wählten die Befragten die optimale Behandlung aus acht Alternativen, die als Amalgamrestauration, direkte Kompositrestauration, prothetische Restauration (indirektes Komposit, gegossenes Goldinlay/-onlay, Keramikinlay/-onlay, Keramikkrone oder Brückenkonstruktion nach Zahnextraktion) neu klassifiziert wurden. Bei der Wiederherstellung der Okklusalfüllung wurde die Kompositrestauration zu fast 100% bevorzugt. Bei dreiflächigen Füllungen wählten nicht mehr als 10% Amalgam und 2% entschieden sich für Goldinlays.; der Rest wählte Komposit (Heinikainen, Vehkalahti, & Murtomaa, 2002).

In einer Fragebogenerhebung aus Kuwait hinsichtlich der Füllungsmaterialien im Seitenzahnbereich wurden 1000 Seitenzahnrestaurationen einbezogen, die von einer repräsentativen Stichprobe allgemeiner Zahnärzte, die im Gesundheitsministerium von Kuwait arbeiten, während der klinischen Routinepraxis eingesetzt wurden. Zahnärzte wählten Amalgam zu 30,8% der 1000 Restaurationen. Zahnärzte mit längerer Berufserfahrung (>15 Jahre) entschieden sich eher für Amalgam (OR=2,61, 95% CI=1,06, 6,40). Bei jüngeren Zahnärzten (≤30 Jahre) war die Wahrscheinlichkeit geringer, dass sie sich für Amalgam entschieden (OR=0,45, 95% CI=0,26, 0,77). Amalgam wurde eher bei Patienten mit schlechter Mundhygiene (OR=1,58, 95% CI=1,08, 2,32) und einer höheren Anzahl (≥4) von Restaurationen (OR=1,44, 95% CI=1,07, 1,94) mit großen Kavitäten (OR=6,33, 95% CI=3,88, 10,32) gewählt. Bei kleineren Kavitäten wurden eher zahnfarbene Restaurationen gewählt (Khalaf, Alomari, & Omar, 2014). Dieser Aspekt, dass das Alter der praktizierenden Zahnärzte möglicherweise auch in der vorliegenden Arbeit den relativ hohen Anteil von Amalgamfüllungen erklären könnte, ist sehr interessant. Die erforderlichen Daten zur Überprüfung dieser Hypothese lagen jedoch nicht vor.

In unserer Stichprobe wies jeder Patient im Durchschnitt vier Zähne mit Füllungen auf. Diese bestanden zumeist aus dem gleichen- oder zwei verschiedenen Materialien. Anhand der Prozentverteilung der Füllungsmaterialien könnte vermutet werden, dass dieser Materialmix dadurch zustande gekommen ist, dass insuffiziente Amalgamfüllungen nach und nach gegen Kunststofffüllungen ausgetauscht wurden. Der geringe Anteil von Goldinlays (6,5%) hängt möglicherweise mit den erheblichen Kosten dieser herstellungstechnisch aufwendigen Versorgungsform zusammen. Die Indikationen für die wenigen Zementfüllungen (0,6%) wurden vermutlich bei den wurzelbehandelten Molaren gesehen.

Auffällig ist, dass nur sehr wenige Keramikinlays (1,7%) eingesetzt wurden. Es ist zu vermuten, dass der Anteil deutlich größer gewesen wäre, wenn aktuellere Daten der beiden letzten Jahre vorgelegen hätten, da die computergestützte Fertigung dieser Inlays einen großen Aufschwung erfahren hat und die materialtechnischen Kennzahlen der verwendeten Keramiken verbessert werden konnten (Fathy, Hamama, El-Wassefy, & Mahmood, 2022).

Die Altersverteilung der Patienten unserer Arbeit wies eine deutliche Häufung im Bereich zwischen 30 und 40 Lebensjahren auf. Dieser Altersgipfel entspricht unseren Erwartungen und wird von den Ergebnissen des Barmer Gesundheitsreports gestützt (Schulze & Maxson, 2021). Bei Individuen mit einem hohen Kariesrisiko wird oftmals eine Füllungstherapie im jugendlichen Alter notwendig. Bei suboptimaler Mundhygiene sind hiervon die Molaren vermehrt betroffen. Im Laufe der Jahre müssen diese Füllungen dann erneuert werden und es kommen neue Erstversorgungen dazu. Daraus ergibt sich eine Addition der Füllungsindikationen bis ins mittlere Erwachsenenalter. In den älteren Patientengruppen überwiegen dann nach und nach die prothetischen Versorgungen.

Die Austauschraten für direkte Füllungen im Seitenzahnbereich liegen Berichten zufolge zwischen 37% und 70% (Owen, Guevara, & Greenwood, 2017). In einer retrospektiven Querschnittsstudie wurden Daten aus 600 zufällig ausgewählten zahnärztlichen Patientenakten des Militärs gesammelt. Es wurden alle direkten Füllungen im Seitenzahnbereich erfasst (n = 2.117), die bei den jungen Soldatinnen und Soldaten (Durchschnittsalter 26 Jahre) von März 2011 bis März 2013 eingesetzt worden waren. Davon waren 67,5% Erstversorgungen und 32,5% Ersatzversorgungen. Nur 6,4% der ersetzten direkten Zahnrestorationen waren

Amalgamrestaurationen; die übrigen ersetzen direkten Restaurationen waren Kompositrestaurationen. Am häufigsten wurden die Restaurationen der ersten Unterkiefermolaren ersetzt. Bei älteren Patienten war es wahrscheinlicher, dass eine bestehende Restauration ersetzt wurde (Owen, Guevara, & Greenwood, 2017).

Der Anteil privatversicherter Personen in der vorliegenden Stichprobe war mit 14,4% ungewöhnlich hoch. Nach Angaben des Verbandes der Ersatzkassen beträgt der Anteil der PKV Mitglieder 10,5% (Stand 2020 und 2021) (Verband der Ersatzkassen, 2022). Da sich dieser Prozentsatz in der Regel über die Jahre immer konstant im Bereich um die 10% errechnet, wäre es möglich, dass sich Patienten mit einer privaten Zahnzusatzversicherung als Privatpatienten haben behandeln lassen und nicht als Selbstzahler registriert wurden.

Erwartungsgemäß konnte die statistische Auswertung unserer Daten belegen, dass mit zunehmendem Alter weniger befundfreie Zähne und dafür mehr prothetisch versorgte oder fehlende Zähne registriert wurden. Auch scheinen die älteren Patienten nicht soviel Wert darauf zu legen, dass das Füllungsmaterial zahnfarben ist. Mit zunehmendem Lebensalter wurden mehr Goldinlays oder Amalgamfüllungen statt Kunststofffüllungen eingesetzt. Möglicherweise werden zukünftige Generationen der „best ager“ jedoch mehr Wert auf ästhetisch anspruchsvollere Versorgungen legen, da sie dem Ideal des „länger im Alter jung bleiben“ nachstreben. Dazu passen die Resultate der Auswertungen hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen dem Geschlecht und den verwendeten Füllungsmaterialien. Frauen hatten einen erhöhten Anteil an zahnfarbenen Kunststofffüllungen.

Insgesamt hatten weibliche Patienten in der vorliegenden Studie öfter Füllungen und seltener fehlende oder unversorgte Zähne als die Männer. Das entspricht einer Untersuchung der Barmer Ersatzkasse, die für das Jahr 2020 ermittelte, dass sich 76,2% der weiblichen und nur 67,8% der männlichen Versicherten in zahnärztlicher Behandlung befanden (Straub, 2021). Diese Geschlechterunterschiede lassen sich etwa ab dem frühen Erwachsenenalter nachweisen. Danach nimmt die Bereitschaft junger Männer im Vergleich zu jungen Frauen sich therapieren zu lassen überproportional stark ab. Erst bei hochbetagten Patienten gleicht sich dieses unterschiedliche Gesundheitsverhalten wieder an (Straub, 2021).

Auch das Ergebnis des Zusammenhangs zwischen dem Versicherungsstatus und der Wahl der Füllungsmaterialien entsprach unseren Erwartungen. Privatversicherte

Patienten hatten einen höheren Anteil prothetisch versorgter Zähne und einen deutlich höheren Anteil von Goldinlays als Patienten der GKV. Dieser Unterschied ist nicht medizinisch zu erklären, sondern hat finanzielle Gründe. Die Versorgung eines Molaren durch ein Goldinlay bezuschusst die GKV nur mit einem Betrag von etwa 50,- Euro. Ein Inlay aus diesem Material kostet jedoch je nach Größe zwischen 500,- und 800,- Euro. Den Differenzbetrag müssen gesetzlich versicherte Patienten entweder privat bezahlen oder durch eine private Zusatzversicherung abdecken (Mittler, 2022). Das ist insofern bedauerlich, da Goldinlays gleichzeitig die beiden Anforderungen erfüllen, einen niedrigeren Härtewert als der Schmelz und ähnliche oder höhere mechanische Eigenschaften als das Dentin zu haben. Daher besitzt Gold ideale mechanische Eigenschaften, um Dentin zu ersetzen (Chun & Lee, 2014).

Unsere Auswertungen ergaben zudem eine Diskrepanz zwischen dem Versorgungsgrad auf dem Land und in der Stadt. Stadtbewohner hatten mehr prothetisch versorgte Zähne und weniger Füllungen als Landbewohner. Auch dieses Problem ist bereits bekannt. Die Bundeszahnärztekammer (BZÄK) stellte Konzentrationsprozesse in den Städten fest, die unter anderem durch die MVZs (Medizinisches Versorgungszentrum) forciert würden. Auf der anderen Seite entsteht ein Versorgungsmangel in ländlichen Gebieten, da immer weniger junge Zahnärzte und Zahnärztinnen eine Hauszahnarztpraxis auf dem Land führen möchten (BZÄK, 2022).

Auch wurde bei der Stadtbevölkerung ein höherer Anteil an Kunststoff- und Keramikversorgungen registriert. Möglicherweise könnte das damit zusammenhängen, dass größere Versorgungsstrukturen eher in innovative CAD/CAM Techniken investieren können (BZÄK, 2022) oder dass Stadtmenschen mehr Wert auf zahnfarbene Molarenfüllungen legen.

In der vorliegenden Studie wurden überwiegend einflächige Füllungen (50,2%) und zweiflächige Füllungen (28,6%) gelegt. Dazu passen die Daten hinsichtlich der Tiefe der Kavitäten, die sich in der Mehrzahl der Fälle bis zur Schmelz-Dentin-Grenze oder bis ins Dentin ausdehnten.

Bei den tieferen Kavitäten und mehrflächigeren Füllungen kamen wenig Kunststoffe zum Einsatz. Hier wurden als Füllstoffe vermehrt Amalgam und Gold gewählt. Zähne von Patienten mit höheren DMFT-Werten wurden ebenfalls signifikant häufiger mit

diesen beiden Materialien gefüllt. Der Grund dafür war möglicherweise, dass diese Zähne einen hohen Zerstörungsgrad aufwiesen.

In unserer Studie wurde ein durchschnittlicher DMFT-Wert von 12,9 +/- 6,3 ermittelt. Das durchschnittliche Lebensalter der Patienten lag bei 47,6 Jahren mit einer Standardabweichung von +/- 15,5 Jahren. In der fünften deutschen Gesundheitsstudie (DMS V) wurde für das Jahr 2005 ein durchschnittlicher DMFT-Wert für die Altersgruppe 35-44 Jahre von 14,6 und für das Jahr 2014 von 11,2 errechnet. In der Gruppe der jüngeren Senioren (65-74 Jahre) lag der Wert im Jahr 2005 bei 22,1 und im Jahr 2014 bei 17,4 (DMS V, 2015).

Damit liegt der ermittelte DMFT-Wert der durchschnittlich 47-jährigen Patienten unserer Arbeit genau zwischen den beiden Werten aus dem Jahr 2014 und entspricht somit den Erwartungen. Im Vergleich zu anderen Ländern zeigen die Kinder und Jugendlichen in der BRD deutlich bessere Werte. Der DMFT von deutschen Teenagern lag im Jahr 2014 bei 0,5 und ist damit deutlich besser als beispielsweise Werte aus dem Iran, wo für diese Altersgruppe 6,6 errechnet wurde (Babaeekhou, Mehrizi, & Ghane, 2020).

## **5.2 Diskussion der Methode**

Die inkludierten Molarenfüllungen der vorliegenden Arbeit wurden in dem Erhebungszeitraum von 2009 bis 2019 über zehn Jahre hinweg gelegt. In Anbetracht der rasanten materialtechnischen und herstellungstechnischen Entwicklung, die vor allem Kunststoffmaterialien und Keramiken in den letzten Jahren erfahren haben, sind diese zehn Jahre ein langer Zeitraum. Möglicherweise hätte eine Auswertung nach dem Datum der Füllungslegung eine deutlichere Verschiebung des Anteils der Amalgamfüllungen zugunsten der Kunststofffüllungen und/oder der Keramikinlays ergeben. Somit hätte sich dann unter Umständen der im Vergleich hohe Anteil von Amalgamfüllungen vorwiegend durch die ersten Erhebungsjahre erklärt.

Die Beschränkung der inkludierten Zähne auf eine bestimmte Zahnart (Molaren) ist durchaus sinnvoll, wenn man die besonderen Kau- und Druckbelastungen bedenkt, denen die Füllungen in diesem Kieferbereich ausgesetzt sind. Leider sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit daher jedoch nur eingeschränkt mit den Resultaten von ähnlichen Studien zu vergleichen, die diese eine gleiche Differenzierung nicht

vornahmen. Hier wäre möglicherweise eine Erweiterung auf den gesamten Seitenzahnbereich aussagekräftiger gewesen oder hätte zumindest vergleichbare Ergebnisse generiert.

Der größte Teil der vorhandenen Fachliteratur konzentriert sich auf das Outcome der jeweils angewandten Füllungstherapie nach einer definierten Zeitspanne. Dieser Aspekt wurde in der vorliegenden Arbeit gar nicht berücksichtigt, da sich die Auswertung ausschließlich auf die Quantität der Füllungen und nicht auf die Qualität bezogen hat. Daher können anhand der Ergebnisse keinerlei Rückschlüsse gezogen werden, in wie weit die Wahl der Füllungsmaterialien im Erhebungszeitraum zu einer erfolgreichen Restauration der betroffenen Molaren geführt hat.

Allerdings decken sich beispielsweise die für Goldinlays und Amalgam in der Literatur empfohlenen Indikationsbereiche mit dem von uns erbrachten statistischen Nachweis, dass diese beiden Materialien vermehrt für tiefe Kavitäten und mehrflächige Füllungen verwendet wurden. Auch gibt die Höhe des DMFT-Wertes Hinweis darauf, dass ein höherer „Zerstörungsgrad“ des Gebisses vermehrt mit Füllungen aus diesen beiden Materialien therapiert wurde.

Die Patienten unserer Gesamtkohorte von 1.072 Personen waren zu 53,9% männlich und zu 46,1% weiblich. Weibliche Patientinnen hatten öfter Füllungen und seltener fehlende oder unversorgte Zähne sowie einen erhöhten Anteil an Kunststofffüllungen. Es wäre interessant gewesen auch die medizinischen Parameter wie Tiefe und Fläche der Füllungen und DMFT-Werte mit dem Geschlecht zu korrelieren. Aufgrund dessen, dass Frauen zahnärztliche Kontrollen und prophylaktische Leistungen stärker nachfragen als Männer, würde man beim weiblichen Geschlecht einen niedrigeren DMFT Index und ein früheres Kariesstadium erwarten.

### **5.3 Schlussfolgerungen**

In der Zusammenschau der Ergebnisse lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- (a) Direkte Füllungen mit Kunststoff (66,3%) oder Amalgam (24,9%) wurden im Molarenbereich am häufigsten verwendet. Zementfüllungen waren die Ausnahme.

- (b) Indirekte Füllungen mit Gold oder Keramik machen zusammen weniger als 10% aus.
- (c) Für tiefere Kavitäten, größere Flächen und höhere DMFT-Werte wurden eher Amalgamfüllungen oder Goldinlays anstelle der Kunststoffe verwendet.
- (d) Für den größten Anteil der ein- und zweiflächigen Füllungen wurde Kunststoff als Material gewählt.

## **5.4 Ausblick**

Der weltweite Ausstieg aus der Verwendung von Dentalamalgam im Rahmen des Minamata-Übereinkommens über Quecksilber ist eine wichtige Überlegung bei der Entscheidung, welches Füllungsmaterial im Molarenbereich verwendet werden sollte. Die Wahl des Materials hängt von der gemeinsamen Entscheidungsfindung von Zahnärzten und Patienten in der Klinik sowie von lokalen Richtlinien und Protokollen ab. In einem aktuellen Review der Cochrane Database (2021) gab es noch Hinweise darauf, dass Kompositrestaurationen eine fast doppelt so hohe Ausfallrate haben wie Amalgamrestaurationen. Das Risiko eines Bruchs der Restauration scheint bei Komposit-Restaurationen nicht höher zu sein, aber das Risiko der Entwicklung von Sekundärkaries ist wesentlich höher. Es ist jedoch zu beachten, dass die Kompositmaterialien in den Jahren seit der Durchführung der Studien, die die Grundlage für die primären Analysen für diese Übersichtsarbeit bildeten, erhebliche Verbesserungen erfahren haben (Worthington, et al., 2021).

Zukünftig wird sich der Trend für Füllungen im Molarenbereich vermutlich dahingehend weiter verstärken, dass diese vorzugsweise aus zahnfarbenen Materialien nachgefragt werden. Dafür bietet sich die CAD/CAM-Technologie in Kombination von modernen Intraoralscannern an, da hiermit auch indirekte Restaurationen weniger zeitaufwändig und kostengünstiger als bisher hergestellt werden können. Die Technologie ermöglicht die Fertigung von indirekten Inlays in einem einzigen Termin, wodurch sich die Gesamtbehandlungszeit verkürzt wird (Cappare, Sannino, Minoli, Montemezzi, & Ferrini, 2019).

Dennoch müssen die Grenzen der verschiedenen Techniken (analog und digital) bekannt sein, um den für jeden Fall am besten geeigneten Arbeitsablauf festzulegen, da die korrekte Handhabung des Materials und die angemessene Auswahl der Herstellungs- oder Adhäsivtechnik Schlüsselfaktoren für den Erfolg oder Misserfolg der Restauration sind (Angeletaki, Gkogkos, Papazoglou, & Kloukos, 2016).



Die Verwendung solcher Restaurationen hat aufgrund von Fortschritten in der Adhäsions- und Zementiertechnik zugenommen, die eine stärkere Verbindung zwischen dem Zahn und dem Restaurationsmaterial ermöglicht und somit haltbarer ist (Abduo & Sambrook, 2018).

Auch die Restaurationsmaterialien wurden von diesen Fortschritten beeinflusst und entwickelten sich von der Verwendung von Materialien wie Gold oder Amalgam, die sich seit langem als klinisch erfolgreich und biokompatibel erwiesen haben (Angeletaki, Gkogkos, Papazoglou, & Kloukos, 2016), zu aktuelleren Materialien wie Keramik (herkömmliche Feldspatkeramik, leuzitverstärkte Keramik, Lithiumdisilikatkeramik), Hybridmaterialien (Harz-Nanokeramik und Hybridkeramik) oder Kompositkunststoffen (Garaizabal, et al., 2019). Diese Materialien haben unterschiedliche chemische Zusammensetzungen, die die meisten ihrer klinischen Eigenschaften erklären. Keramische Werkstoffe sind zerbrechlich und bruchanfällig als Kompositwerkstoffe, obwohl sie härter sind als letztere und daher eine höhere Verschleißfestigkeit aufweisen. Aus demselben Grund können sie jedoch die Oberfläche des Gegenzahns abnutzen. Hybridmaterialien wiederum haben sowohl mit Keramik als auch mit Kompositmaterialien gemeinsame Eigenschaften und weisen ein Elastizitätsmodul auf, das dem des natürlichen Zahns ähnelt. Außerdem lassen sie sich ebenso wie Kompositmaterialien leicht anpassen, reparieren oder modifizieren (Garaizabal, et al., 2019).

Zudem könnten die materialtechnischen Verbesserungen der Flowable-Komposites diese zukünftig für direkte Füllungen im Molarenbereich interessant machen. Im Rahmen einer Dissertation wurden Füllungen mit fließfähigen Kompositen, angelehnt an die Aufwachstechnik nach Payne und Lundeen, mit Erfolg an experimentellen Kavitäten getestet. Die fließfähigen Komposites waren im Gegensatz zu den Kondensable-Kompositen in der Lage, sowohl die gesamte Kavität zu benetzen und so Mikroleakages zu verhindern, als auch genügend Standfestigkeit aufzubringen, um konvexe Höckerabhänge und somit ein natürliches Fissurenrelief zu gestalten (Mittelmaier, 2021).

## 6 Zusammenfassung

**Hintergrund:** Klinische Daten hinsichtlich der zur Verfügung stehenden und verwendeten Füllungsmaterialien für den Molarenbereich und die Projektion künftiger Trends sind für Kliniker und für die Ressourcenzuweisung seitens der Krankenkassen von Bedeutung.

**Ziel der Arbeit:** Ziel der vorliegenden retrospektiven Studie war es daher, die klinische Anwendung diverser Füllungsmaterialien für den Molarenbereich in einer deutschen Universitätszahnklinik über einen Zeitraum von 10 Jahren zu dokumentieren und die Anwendung der Materialien mit verschiedenen Variablen zu korrelieren. Insgesamt wurden 1072 erwachsenen Patienten mit 4497 Füllungen im Molarenbereich mit Restaurationen aus Amalgam, Kunststoff oder Zement und Gold- und Keramikinlays versorgt.

**Material und Methode:** Das Studiendesign der vorliegenden Arbeit ist das einer retrospektiven Datenanalyse. Die Rohdaten wurden Patientenkarteien und radiologischen Bildgebungen (Panoramaschichtaufnahmen, Einzelzahnfilme) aus den Jahren 2009 bis 2019 entnommen. Die Patienten wurden konsekutiv nach dem Datum ihrer Behandlung inkludiert. Ausschlüsse aufgrund von Vor- und/oder Grunderkrankungen gab es nicht.

**Ergebnisse:** (a) Direkte Füllungen mit Kunststoff (66,3%) oder Amalgam (24,9%) wurden im Molarenbereich am häufigsten verwendet. Zementfüllungen waren die Ausnahme. (b) Indirekte Füllungen mit Gold oder Keramik machten zusammen weniger als 10% aus. (c) Für tiefere Kavitäten, größere Flächen und höhere DMFT-Werte wurden eher Amalgamfüllungen oder Goldinlays anstelle von Kunststoffen verwendet. (d) Für den größten Anteil der ein- und zweiflächigen Füllungen wurde Kunststoff als Füllmaterial gewählt.

**Diskussion:** Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Füllungen sollten bekannt sein, um das für jeden Fall am besten geeigneten Füllungsmaterial auszuwählen, welches den besonderen Anforderungen im Molarenbereich gerecht wird. In der aktuellen Fachliteratur wird von dem Trend berichtet, dass sich die Verwendung von Materialien wie Gold oder Amalgam, die sich seit langem als klinisch erfolgreich und

biokompatibel erwiesen haben, hin zu aktuelleren Materialien wie Keramik, Hybridmaterialien oder Kompositkunststoffen verschiebt.

**Klinische Relevanz:** Dieser Trend wird sich für Füllungen im Molarenbereich vermutlich dahingehend verstärken, dass diese vorzugsweise aus materialtechnisch weiterentwickelten zahnfarbenen Materialien nachgefragt werden und der Anteil von Amalgamfüllungen und Goldinlays trotz ihrer erwiesenen Langlebigkeit sinken wird.

## 7 Abstract

**Background:** Clinical data regarding the availability and use of molar restorative materials and the projection of future trends are important for clinicians and for resource allocation by health insurance companies.

**Aim:** The aim of this retrospective study was to document the clinical use of various molar filling materials in a German dental clinic over a period of 10 years and to correlate the use of the materials with different variables. A total of 1.072 adult patients with 4.497 fillings in the molar region were treated with restorations made of amalgam, composite or cement and gold and ceramic inlays.

**Material and method:** The study design is a retrospective data analysis. The raw data were taken from patient files and radiological imaging (panoramic slides, single tooth films) from 2009 to 2019. Patients were included consecutively according to the date of their treatment. There were no exclusions due to previous and/or underlying diseases.

**Results:** (a) Direct fillings with composite (66.3%) or amalgam (24.9%) were most commonly used in the molar region. Cement fillings were the exception. (b) Indirect fillings with gold or ceramic together accounted for less than 10%. (c) For deeper cavities, larger surfaces and higher DMFT values, amalgam fillings or gold inlays were more likely to be used instead of composites. (d) For the largest proportion of one- and two-surface fillings, composite was chosen as filling material.

**Discussion:** The advantages and disadvantages of the different materials should be known in order to select the most suitable filling material for each case, which meets the special requirements in the molar region. Current literature reports a trend towards shifting from materials such as gold or amalgam, which have long been proven to be clinically successful and biocompatible, to more current materials such as ceramics, hybrid materials or composite resins.

**Clinical relevance:** This trend for tooth-coloured fillings in the molar region will intensify because materials have been further developed in terms of material technology. The proportion of amalgam fillings and gold inlays will decrease despite their proven longevity.

## 8 Literaturverzeichnis

- Abduo, J., & Sambrook, R. (2018). Longevity of Ceramic Onlays: A Systematic Review. *J. Esthet. Restor. Dent.*, S. (30):193-215.
- Alam, M., & Alfawzan, A. (2020). Maximum voluntary molar bite force in subjects with malocclusion: multifactor analysis. *Journal of International Medical Research.*, S. (48):19-27.
- Alkhudhairy, F. (2016). Attitudes of dentists and interns in Riyadh to the use of dental amalgam. *BMC Res Notes*, S. 9(1):488. .
- Alves de Carvalho, I., Marques, T., Araújo, F., Azevedo, L., Donato, H., & Correia, A. (2018). Clinical performance of CAD/CAM tooth-supported ceramic restorations: a systematic review. *Int J Periodontics Restorative Dent.*, S. 838):68-78.
- 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.*, S. (53):12-21.
- AWMF. (2016). *Kompositrestaurationen im Seitenzahnbereich; AWMF-Registernummer: 083-028.* Abgerufen am 30. August 2022 von <https://secure.owidi.de/documents/10165/1373255/kompositzsbkurz.pdf/ab01fec9-c1dc-4ab7-b9a3-1527c6b6a851>.
- Babaeekhou, L., Mehrizi, A., & Ghane, M. (2020). Streptococcus mutans, sugar consumption, and oral hygiene: Which one has more effect on decayed, missing, and filled teeth (DMFT) score in Iranian adults? *Dent Res J (Isfahan)*, S. 17(2):134-141.
- Bernardo, M., Luis, H., Martin, M., Leroux, B., Rue, T., & Leitão, J. (2007). Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. *J Am Dent Assoc.*, S. (138):775-783.
- Bonsor, S. (2011). Bonded amalgams and their use in clinical practice. *Dent Update*, S. 38(4):222–230.
- BZÄK. (2022). *Stadt und Land.* Abgerufen am 01. September 2022 von <https://www.bzaek.de/gesundheitspolitische-positionen-zur-bundestagswahl-2021/stadt-und-land.html>.
- Cappare, P., Sannino, G., Minoli, M., Montemezzi, P., & Ferrini, F. (2019). Conventional versus Digital Impressions for Full Arch Screw-Retained Maxillary Rehabilitations: A Randomized Clinical Trial. *IJERPH*, S. (16):829.
- Chun, K., & Lee, J. (2014). Comparative study of mechanical properties of dental restorative materials and dental hard tissues in compressive loads. *J Dent Biomech.* , S. (5):758736014555246.
- Clelland, N., Agarwala, V., Knobloch, L., & Seghi, R. (2003). Relative wear of enamel opposing low-fusing dental porcelain. *J Prosthodont*, S. 12(3):168–175.
- Condon, J., & Ferracane, J. (1997). In vitro wear of composite with varied cure, filler level, and filler treatment. *J Dent Res*, S. (76):1405-1411.
- Cramer, N., Stansbury, J., & Bowman, C. (2011). Recent advances and developments in composite dental restorative materials. *J Dent Res*, S. 90(4):402–416.
- DentNet. (2022). *Caries profunda – tiefgehende Karies.* Abgerufen am 31. August 2022 von <https://www.dentnet.de/ratgeber/caries-profunda-tiefgehende-karies>.

- DGCZ. (2022). *Inlays*. Abgerufen am 01. September 2022 von <https://www.dgcz.org/de/Technologie/Digitale-Zahnheilkunde/Chairside-Restaurationen/Inlays.html>.
- DMS V. (2015). *Fünfte Deutsche*. Berlin: BZÄK.
- Dobloug, A., & Grytten, J. (2015). A Ten-Year Longitudinal Study of Caries among Patients Aged 14–72 Years in Norway. *Caries Res*, S. (49):384-389.
- Donovan, T., Simonsen, R., Guertin, G., & Tucker, R. (2004). Retrospective clinical evaluation of 1,314 cast gold restorations in service from 1 to 52 years. *J Esthet Restor Dent*, S. 816):194-204.
- Dursun, E., Fron-Chabouis, H., Attal, J., & Raskin, A. (2016). Bisphenol A release: survey of the composition of dental composite resins. *Open Dentistry Journal* , S. (10):446-53.
- Eiserloh-Weil, & F. (2022). *Geschädigte Zähne erhalten*. Abgerufen am 01. September 2022 von <https://zahnheilkunde-kirchberg.de/leistungen/asthetische-zahnheilkunde/zahnerhaltung/>.
- Eltahlah, D., Lynch, C., Chadwick, B., Blum, I., & Wilson, N. (2018). An update on the reasons for placement and replacement of direct restorations. *J Dent*, S. (72):1-7. .
- Ernst, C. (2015). *Vom Gold-Standard zur Gold-Alternative*. Abgerufen am 01. September 2022 von [https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/prothetik/story/vom-gold-standard-zur-gold-alternative\\_\\_1229.html](https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/prothetik/story/vom-gold-standard-zur-gold-alternative__1229.html).
- Espelid, I., Cairns, J., Askildsen, J., Vibeke, Q., Gaarden, T., & Tveit, A. (2006). Preferences over dental restorative materials among young patients and dental professionals. *European Journal of Oral Sciences*, S. 114(1):15-21.
- Fathy, H., Hamama, H., El-Wassefy, N., & Mahmood, S. (2022). Clinical performance of resin-matrix ceramic partial coverage restorations: a systematic review. *Clin Oral Investig.* , S. 26(5):3807–3822.
- Forss, H., & Widström, E. (2004). Reasons for restorative therapy and the longevity of restorations in adults. *Acta Odontol Scand*, S. 62(2):82-6.
- Garaizabal, A., Panadero, A., Solá, V., Font, F., Estevan, F., Company, M., & Ruíz, S. (2019). Fracture Resistance of Partial Indirect Restorations Made With CAD/CAM Technology. A Systematic Review and Meta-Analysis. . *JCM*, S. (8):1932.
- Grennell, S. (2017). India meets the challenge and goes for gold. *Indian J Dent Res*, S. 28(2):119-120. .
- Hamid, A., Okamoto, A., Iwaku, M., & Hume, W. (1998). Component release from light-activated glass ionomer and compomer cements. *J Oral Rehabil*, S. (25):94-99.
- Heinikainen, M., Vehkalahti, M., & Murtomaa, H. (2002). Re-treatment decisions for failed posterior fillings by Finnish general practitioners. *Community Dent Health*, S. 19(2):98-103.
- Hopp, C., & Land, M. (2013). Considerations for ceramic inlays in posterior teeth: a review. *Clin Cosmet Investig Dent.* , S. (5):21-32.
- Jackson, R. (2012). Esthetic inlays and onlays. In G. Freedman, *Contemporary Esthetic Dentistry*. (S. 469-481). St Louis: Elsevier-Verlag.
- Kanzow, P., Hoffmann, R., Tschammler, C., Kruppa, J., Rödig, T., & Wiegand, A. (2017). Attitudes, practice, and experience of German dentists regarding repair restorations. *Clin Oral Investig*, S. (21):1087-1093.

- Kassebaum, N., Bernabe, E., Dahiya, M., Bhandari, B., Murray, C., & Mercenes, W. (2015). Global Burden of Untreated Caries: A Systematic Review and Metaregression. *J Dent Res*, 2015;94:650–658., S. (94):650-658.
- Kemaloglu, H., Pamir, T., & Tezel, H. (2016). A 3-year randomized clinical trial evaluating two different bonded posterior restorations: Amalgam versus resin composite. *Eur J Dent*, S. 10(1):16–22.
- Khalaf, M., Alomari, Q., & Omar, R. (2014). Factors relating to usage patterns of amalgam and resin composite for posterior restorations--a prospective analysis. *J Dent*, S. 42(7):785-92.
- Klein, P. (2018). *Zahnfüllung*. Abgerufen am 31. August 2022 von <https://www.apfeldental.at/zahnf%C3%BCllung/>.
- Lee, S., S. T., & Wiens, J. (2021). The effect of patient specific factors on occlusal forces generated: best evidence consensus statement. *Journal of Prosthodontics*, S. 30(S1):52–60.
- Lohbauer, U. (2018). Glasionomerezemente. In M. Rosentritt, *Werkstoffkunde in der Zahnmedizin; Teil II: zahnärztliche Materialien*. Stuttgart: Thieme-Verlag.
- Mainjot, A., Dupont, N., Oudkerk, J., Dewael, T., & Sadoun, M. (2016). From artisanal to CAD-CAM blocks: state of the art of indirect composites. *J Dent Res*, S. (95):487–495.
- Martin, R., Paul, S., Luthy, H., & Scharer, P. (1997). Dentin bond strength of Dyract Cem. *Am J Dent*, S. (10):27-31.
- McCracken, M., Gordan, V., Litaker, M., Funkhouser, E., Fellows, J., & Shamp, D. (2013). A 24-month evaluation of amalgam and resin-based composite restorations: Findings from The National Dental Practice-Based Research Network. *J Am Dent Assoc*, S. (144):583-593.
- McLaren, E. (2011). CAD/CAM dental technology. . *Compend Contin Educ Dent*, S. 32(4):73–82.
- McLean, J. (1992). Clinical applications of glass-ionomer cements. *Oper Dent*, S. (5):184-190.
- MEDECO GmbH. (2022). *Konservierende Zahnheilkunde*. Abgerufen am 30. August 2022 von <https://www.medeco.de/zahnheilkunde-dentalatlas/konservierende-zahnheilkunde/zahnfuellungen/plastische-fuellungen/>.
- Meyer, J., Cattani-Lorente, M., & Dupuis, V. (1998). Compomers: between glass-ionomer cements and composites. *Biomaterials*, S. (19):529-539.
- Mitchell, R., Koike, M., & Okabe, T. (2007). Posterior amalgam restorations - usage, regulation, and longevity. . *Dental Clinics of North America*, S. 51(3):573-89.
- Mitra, S. (1991). In vitro fluoride release from a light-cured glass-ionomer liner/base. *J Dent Res*, S. (70):75-78.
- Mittelmaier, K. (2021). *Ästhetisch-funktionelle Füllungen im Seitenzahnbereich mit FlowableKompositen - Möglichkeiten und Grenzen*. Nürnberg: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Mittler, M. (2022). *Inlay Kosten*. Abgerufen am 01. September 2022 von <https://www.kosten-beim-zahnarzt.de/inlay-kosten.html>.

- Mo, S., Bao, W., Lai, G., Wang, J., & Li, M. (2010). The microfloral analysis of secondary caries biofilm around Class I and Class II composite and amalgam fillings. *BMC Infectious Diseases*, S. (10):241.
- Moradi, G., Bolbanabad, A., Moinafshar, A., & Adabi, H. (2019). Evaluation of Oral Health Status Based on the Decayed, Missing and Filled Teeth (DMFT) Index. *Iran J Public Health*, S. 48(11): 2050–2057. .
- Moraschini, V. F., Alto, R., & Dos Santos, G. (2015). Amalgam and resin composite longevity of posterior restorations: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, S. 43(9):1043-50. .
- Nascimento, M., Gordan, V., Qvist, V., Litaker, M., Rinda, D., & Williams, O. (2010). Reasons for placement of restorations on previously unrestored tooth surfaces by dentists in the Dental Practice-Based Research Network. *Journal of the American Dental Association*, S. 141(4):441-448.
- Nicholson, J. (1998). Chemistry of glass-ionomer cements: a review. *Biomaterials*, S. 819):485-494.
- Nobmann, C. (2019). *Die neuen Regelungen zu Amalgam*. Abgerufen am 15. September 2022 von <https://www.zm-online.de/archiv/2018/13/titel/die-neuen-regelungen-zu-amalgam>.
- Owen, B., Guevara, P., & Greenwood, W. (2017). Placement and replacement rates of amalgam and composite restorations on posterior teeth in a military population. *US Army Med Dep J*, S. (2-17):88-94.
- Palotie, U., Eronen, A., Vehkalahti, K., & Vehkalahti, M. (2017). Longevity of 2- and 3-surface restorations in posterior teeth of 25- to 30-year-olds attending Public Dental Service-A 13-year observation. *J Dent*, S. (62):13-17.
- Rosenstiel, S., Land, M., & Fujimoto, J. (2006). *Contemporary Fixed Prosthodontics*. 4th ed. . St Louis: Elsevier-Verlag.
- Ruse, N. (1999). What Is a “Compomer”? *J Can Dent Assoc* 1, S. (65):500-504.
- Schulze, F., & Maxson, P. (2021). *Politische Ansätze zum Amalgam-Ausstieg in Deutschland*. IG Umwelt Zahnmedizin.
- Schwendicke, F., Dörfer, C., Schlattmann, P., Foster Page, L., Thomson, W., & Paris, S. (2015). Socioeconomic Inequality and Caries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Dent Res*, S. (94):10-18.
- Seo, D., Yi, Y., Shin, S., & Park, J. (2012). Analysis of factors associated with cracked teeth. *J Endod*, S. (38):288-292.
- Soares, A., & Cavalheiro, A. (2010). A review of amalgam and composite longevity of posterior restorations. *Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac*, S. (51):155-164.
- Straub, C. (2021). *Kein Corona-Effekt: Frauen nutzen Zahnmedizin häufiger als Männer*. Abgerufen am 01. September 2022 von <https://www.dents.de/newsartikel/kein-corona-effekt-frauen-nutzen-zahnmedizin-haeufiger-als-maenner/>.
- Studer, S., Wettstein, F., Lehner, C., Zullo, T., & Schäfer, P. (2000). Longterm survival estimates of cast gold inlays and onlays with their analysis of failures. *J Oral Rehabil*, S. 827):461-472.
- UNEP. (2013). *Minamata Convention on Mercury: text and annexes*. Abgerufen am 30. August 2022 von [www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/Minamata%20Convention%20on%20Mercury\\_booklet\\_English.pdf](http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/Minamata%20Convention%20on%20Mercury_booklet_English.pdf).



- UNEP. (2017). *Minamata Convention on Mercury. Countries: list of signatories and future parties.* Abgerufen am 30. August 2022 von [mercuryconvention.org/Countries/tabid/3428/language/en-US/Default.aspx](https://mercuryconvention.org/Countries/tabid/3428/language/en-US/Default.aspx).
- Van Dijken, J., & Pallesen, U. (2015). Randomized 3-year clinical evaluation of Class I and II posterior resin restorations placed with a bulk-fill resin composite and a one-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent.*, S. (17):81-88.
- Verband der Ersatzkassen. (2022). *Daten zum Gesundheitswesen: Versicherte.* Abgerufen am 01. September 2022 von [https://www.vdek.com/presse/daten/b\\_versicherte.html](https://www.vdek.com/presse/daten/b_versicherte.html).
- Vidnes-Kopperud, S., Tveit, A., Gaarden, T., Sandvik, L., & Espelid, I. (2009). Factors influencing dentists' choice of amalgam and tooth-colored restorative materials for Class II preparations in younger patients. *Acta Odontol Scand*, S. 67(2):74-9.
- Weilenmann, W. (2022). *Kompositfüllungen nach Zahnfrakturen.* Abgerufen am 31. August 2022 von <https://zahnarztweilenmann.ch/?Ordner=Wissenschaftliches&SO=Frakturresistent>.
- Willems, G., Lambrechts, P., Braem, M., Celis, J., & Vanherle, G. (1992). A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dent Mater*, S. (8):310-319.
- Wilson, A. (1990). Resin-modified glass-ionomer cements. *Int J Prosthodont*, S. (3):425-429.
- Worthington, H., Khangura, S., Seal, K., Mierzwinski-Urban, M., Veitz-Keenan, A., & Sahrman, P. (2021). Direct composite resin fillings versus amalgam fillings for permanent posterior teeth. *Cochrane Database Syst Rev*, S. 8(8):CD005620.