

Diplomarbeit

Der Einsatz von Amalgamalternativen unter besonderer Berücksichtigung der zahnärztlichen Allgemeinpraxis

eingereicht von

Theodor Lefkopoulos

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnheilkunde (Dr. med. dent.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Klinischen Abteilung für Zahnerhaltung, Parodontologie und
Zahnersatzkunde**

Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit

unter der Anleitung von

Univ. ZA Dr.med.dent. Alexander Behlau

Ao. Univ.-Prof. Dr. Karl Glockner

Graz, am 24.05.2024

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 24.05.2024

Theodor Lefkopoulos eh.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Univ. ZA Dr.med.dent. Alexander Behlau und Ao. Univ.-Prof. Dr. Karl Glockner für die Unterstützung, das schnelle Feedback und die exzellente Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken.

Weiters möchte ich mich bei den Bediensteten der Zahnklinik Graz bedanken, die ihr Wissen gerne mit mir geteilt, mir jede Frage beantwortet und mich inspiriert haben.

Meiner ganzen Familie, besonders meinen Eltern und meiner Omi, möchte ich meinen größten Dank aussprechen. Sie haben immer die richtigen Ratschläge, ein offenes Ohr und haben mich in jeder bedenklichen Lebenslage mit den richtigen Worten unterstützt und motiviert.

In Gedenken an meine Großeltern möchte ich mich für alles bedanken, was ich von ihnen lernen durfte. Ihr Einfluss hat für mich eine große Bedeutung für das Studium, sowie das gesamte Leben und hat mich zu dem gemacht, der ich heute bin.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Freund*innen bedanken, die auch in schwierigen Zeiten niemals von meiner Seite gewichen sind und immer für mich da gewesen sind. „Ihr habt mein Leben und meine Studienzeit zu einem Erlebnis gemacht, an das ich mich gerne erinnere und nie wieder vergessen werde!“

Zusammenfassung

Einleitung

Seit über 6500 Jahren werden in der Zahnheilkunde unterschiedliche Materialien zur Sanierung eingesetzt. Im Laufe der Zeit wurden stets neue Werkstoffe entwickelt. Vor mehr als 150 Jahren wurde das heutzutage sehr verbreitete, erfolgreiche und von den Krankenkassen bezahlte Material „Amalgam“ erstmals eingesetzt. Aufgrund des Anteiles an Quecksilber kamen immer mehr Bedenken angesichts der Auswirkungen auf die Gesundheit und Umwelt auf. Im Jahr 1956 wurde in Japan, Minamata Bay, erstmals die lähmende und unheilbare Wirkung einer Quecksilbervergiftung an zwei Schwestern erkannt und fotodokumentiert. Daraufhin wurden tausende weitere Fälle identifiziert. Da Amalgam von großer Relevanz für die Patien*innenversorgung ist, wurde angesichts dieser Tragödie 2013 bei der Minamata-Konvention über Quecksilber ein „Phase-down“, in dem ein zeitliches Auslaufen für die Verwendung von Amalgam für Zahnärzt*innen geplant wurde, beschlossen. In anderen Industriezweigen wurde hingegen die Abschaffung von Quecksilber, namens „Phase-out“, festgelegt, welcher dem „Phase-down“ in der Zahnmedizin ebenfalls folgen wird. Am 21.02.2024 wurde der vorläufige Plan zur Änderung der Verordnung vom „Permanent Representatives Committee“ gestattet. Sollte dieser vom Europäischen Parlament genehmigt werden, würde mit dem 01.01.2025 ein Amalgamverbot herrschen. Bei strenger medizinischer Indikation dürften Füllungen aus Amalgam jedoch weiterhin gelegt werden. In dieser Arbeit werden die Auswirkungen eines Amalgamverbotes auf Zahnärzt*innen, sowie auf Patient*innen dargestellt und analysiert. Weiters werden Materialien, die an Stelle von Amalgam als Kassenleistung in Frage kommen könnten, erörtert, beurteilt und ihre Funktionalität mit Amalgam verglichen.

Material und Methodik

Mittels PubMed, Google-Scholar, Google, online zugänglichen Richtlinien, sowie Bibliotheken und Onlinebibliotheken wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Es wurde ein Überblick über die allgemeine

Situation und eine exakte Analyse der Frage: „Können Amalgamalternativen Amalgam in zahnärztlichen Allgemeinpraxen ersetzen?“ durchgeführt.

Ergebnis

Das Ziel der Behandlung von Karies ist die Behebung des Defektes und das Verhindern des Wiederauftretens. Um dies zu erreichen sind folgende Punkte entscheidend: Randspaltbildung, Fluoridfreisetzung, pH-Beständigkeit, Farbstabilität, Adhäsion, Härte, Bruchfestigkeit und Lebensdauer. Es zeigt sich eine große Differenz bei den genannten Eigenschaften zwischen den Amalgamalternativen sowie im Vergleich zu Amalgam.

Diskussion

Im Falle des „Phase-outs“ im Jahr 2025 wird es durch die verkürzte Auslaufzeit zu einigen Herausforderungen kommen. Zahnärzt*innen müssten sich den neuen Gegebenheiten anpassen und im Umgang mit den Alternativen Erfahrung sammeln. Krankenkassen müssten umgehend einen Plan für die dadurch entstandenen zusätzlichen Kosten erstellen und können sich durch das eingeschränkte Zeitfenster schlechter adaptieren. Für die Patient*innen käme es dadurch zu einer Einschränkung der konservierenden Behandlungsoptionen und möglicherweise zu einer zusätzlichen finanziellen Belastung. Einerseits würden insgesamt 208 Millionen Euro zusätzliche Kosten in der EU anfallen, andererseits käme es jedoch zu einer Reduktion des Quecksilberverbrauchs von 114,4 Tonnen. Bisher wurde kein optimales Amalgamersatzmaterial entdeckt. Mithilfe der noch sehr eingeschränkten Datenlage über die Eigenschaften der Ersatzmaterialien kann eine, an die Bedürfnisse der Patient*innen angepasste, Füllung eruiert werden. Um dieses Vorgehen zu optimieren, müssen künftig groß angelegte prospektive Langzeitstudien durchgeführt werden.

Konklusio

Amalgam gilt weiterhin trotz der Entwicklung neuer Alternativen als eines der besten Materialien für den Einsatz als Kassenfüllung. Bei der Wahl des alternativen Materials sollten die individuellen gesundheitlichen Situationen der Patient*innen, Allergien und die Materialeigenschaften miteinbezogen

werden, um trotz des Amalgam „Phase-outs“ die bestmögliche Behandlung zu ermöglichen.

Abstract

Introduction

Various materials have been used in dentistry for over 6500 years. New materials have been developed over the course of time. More than 150 years ago, the material "amalgam", which is very common today, successful and paid for by health insurances, was used for the first time. Due to the mercury content, concerns about the effects on health and the environment have been growing. In 1956, in Minamata Bay, Japan, the paralysing and incurable effects of mercury poisoning on two sisters were recognised and photodocumented for the first time. As a result, thousands more cases have been identified. As amalgam is of great relevance for patient care, a "phase-down" was decided at the Minamata Convention on Mercury in 2013 in view of this tragedy, in which the use of amalgam for dentists was planned to be phased out over time. In other industries, however, the abolition of mercury, called "phase-out", has been established, which will also follow the "phase-down" in dentistry. On 21 February 2024, the provisional plan to amend the regulation was approved by the "Permanent Representatives Committee". If this is approved by the European Parliament, amalgam would be banned from 1 January 2025 onwards. However, amalgam fillings may still be placed if there are strict medical indications. In this paper, the effects of an amalgam ban on dentists and patients are presented and analysed. In addition, materials that could be considered for use instead of amalgam are discussed, assessed and their functionality compared with amalgam.

Material and Methods

An extensive literature search was carried out using PubMed, Google-Scholar, Google, online guidelines, libraries and online libraries. An overview of the general situation and an exact analysis of the question: "Can amalgam alternatives replace amalgam in general dental practices?" was carried out.

Results

The aim of treating caries is to eliminate the defect and prevent recurrence. In order to achieve this, the following points are decisive: microleakage, fluoride

release, pH-resistance, colour stability, adhesion, hardness, fracture resistance and durability. There is a large difference in the characteristics mentioned between the amalgam alternatives and in comparison to amalgam

Discussion

In case of a “phase-out“ in 2025, there will be a number of challenges due to the shortened phase-out period. Dentists would have to adapt to the new circumstances and gain experience in dealing with the alternatives. Health insurances would have to immediately draw up a plan for the additional costs incurred and would be less able to adapt due to the limited time window. For patients, this would result in a reduction in conservative treatment options and possibly increased costs. On the one hand, a total of 208 million euros in additional costs would be incurred in the EU, but on the other hand, there would be a reduction in mercury consumption of 114.4 tonnes. So far, no optimal amalgam replacement material has been discovered. The still very limited data available on the properties of the replacement materials can be used to determine a filling that is customised to the patient's needs. In order to optimise this procedure, large-scale prospective long-term studies must be carried out in future.

Conclusion

Despite the development of new alternatives, amalgam is still considered one of the best materials for use as a dental filling. When choosing an alternative material, the patient's individual health situation, allergies and material properties should be taken into account in order to provide the best possible treatment despite the amalgam “phase-out“.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Zusammenfassung	III
Abstract	VI
Inhaltsverzeichnis	VIII
Abkürzungen und deren Erklärung	XI
Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XVI
1 Einleitung	1
1.1 Zahnfüllungen im geschichtlichen Überblick	1
1.2 Amalgamfüllungen	1
1.2.1 Konsequenz	3
1.2.2 Toxizität	5
1.3 Minamata-Konvention	6
2 Material und Methode	8
3 Problematik	9
3.1 Probleme beim Amalgam „Phase-out“	9
3.1.1 Die Auswirkungen der Abschaffung von Amalgam	12
3.1.2 Lösungen für die Probleme beim Amalgam „Phase-out“	17
3.2 Weiterentwicklung der Füllungsmaterialien in der Zahnheilkunde ..	18
3.3 Amalgamersatzmaterialien	19
3.3.1 Ausgeschlossene Ersatzmaterialien	20
3.3.2 Mögliche Alternativen	20
3.3.3 Glasionomierzement	21
3.3.3.1 Geschichte der GIZ	25

3.3.3.1.1	Erste Generation	25
3.3.3.1.2	Schnell abbindende Zemente	25
3.3.3.1.3	Zweite Generation	26
3.3.3.1.4	Verstärkte GIZ	26
3.3.3.1.5	Disperse Phasengläser	26
3.3.3.1.6	Faserverstärkte Gläser	27
3.3.3.1.7	Metallverstärkter GIZ	27
3.3.3.1.8	Glas Carbomer	28
3.3.3.1.9	Resinmodifizierte Glasionomerzemente	28
3.3.3.1.10	Hochviskoser Glasionomerzement	28
3.3.3.1.10.1	Ketac Molar	29
3.3.3.1.10.2	Glas-Hybrid	29
3.3.3.1.10.2.1	Equia Forte	29
3.3.3.2	Zirconomer	29
3.3.3.3	DeltaFil	30
3.3.4	Alkasite	30
3.3.4.1	Cention N	30
3.3.4.2	Cention Forte und Cention	31
3.3.5	Kompomer	31
4	Ergebnisse	33
4.1	Vergleich und Eigenschaften	33
4.1.1	Randspalt	33
4.1.2	Farbstabilität (Ästhetik)	36
4.1.3	Anwendungsgebiete	36
4.1.4	Fluoridfreisetzung	36
4.1.5	Adhäsion	39
4.1.6	Toxizität	40

4.1.7	Härte und Bruchfestigkeit	41
4.1.8	pH-Beständigkeit	43
4.1.9	Lebensdauer	44
5	Diskussion	48
5.1	„Phase-out“	48
5.2	Alternativen	49
5.3	Ausblick in die Zukunft der Kariestherapie	53
5.4	Probleme	53
6	Konklusion	56
7	Literaturverzeichnis	59

Abkürzungen und deren Erklärung

£	Pfund
°C	Grad Celsius
4-AETA	4-Methacryloxyethyltrimellithsäureanhydrid
ABA	Activa BioActive
Ag	Silber
al.	alia
Al ₂ TiO ₅	Aluminiumtitanat
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid
ART	atraumatische restaurative Behandlung
ASPA	Alumino-Silikat-Polyacrylsäure
Ca ²⁺	Calciumionen
CHX	Chlorhexidin
CNC	Computer numeric-controlled
CNF	Cention Forte
Cu	Kupfer
CXS	Ceram.x Spectra ST
d	Tag
DE	Deutschland
DK	Dänemark
Dr.	Doktor
EQF	Equia Forte
EU	Europäische Union

F ⁻	Fluoridion
FDI	Federation Dentaire Internationale
FJI	Fuji II LC
GI	Glasionomer
GIZ	Glasionomerzement
h	Stunde
HEMA	Hydroxyethylmethacrylat
Hg	Quecksilber
HR	Kroatien
HU	Ungarn
ISO	internationale Normierungsorganisation
IT	Italien
KTM	Ketac Molar
L	Lactobacillus
LC	light-cured
LU	Luxemburg
LV	Lettland
MeHg	Methylquecksilber
MIH	Molaren – Inzisiven – Hypomineralisation
Min	Minute
Mio	Million
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MO	mesial-okklusal

MOD	mesial-okklusal-distal
MPa	Mega-Pascal
<i>N</i>	Newton
NHS	National Health Service
NL	Niederlande
OH-	Hydroxidion
OLL	orale lichenoid Läsion
PBS	Phosphate buffered saline
pH	pondus hydrogenii
PO ₄ ³⁻	Orthophosphat
ppm	Parts per million
RSC	Riva self-cure
S	Streptococcus
SAR	Silberamalgamrestauration
SC	self-cured
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
SFO	Surefil one
SI	Slowenien
SK	Slowakei
Sn	Zinn
t	Tonne
TEGDMA	Triethylenglycoldimethacrylat
TiO ₂	Titandioxid

UDMA	Urethandimethacrylat
USPHS	United States Public Health Systems
Wnt	Wingless/Int1
Zn	Zink
ZrO2	Zirconiumdioxid
γ	Gamma

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globaler Quecksilberkreislauf[15].....	5
Abbildung 2: Durchschnittliche Zeit und Kosten von Amalgam und Komposit[21].....	9
Abbildung 3: „Phase-out“ Zeitpunkt Auswirkungen[22]	11
Abbildung 4: Preisdifferenzen der Materialien in unterschiedlichen Ländern[22]	14
Abbildung 5: Randdichtigkeit von Amalgam, Komposit und Zirconomer[43].	34
Abbildung 6: Fluoridfreisetzung von Zirconomer und GIZ in ppm[42]	38
Abbildung 7: Fluoridfreisetzung von Giomer, Zirconomer, Glasionomer und Cention in ppm[44].....	39
Abbildung 8: Bruchfestigkeit von Cention, Bonded Cention und Komposit bei minimalinvasiven und ausgedehnten Präparationen[47]	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Reihung der unterschiedlichen Glasionomerezemente in Bezug auf ihre Eigenschaften[61]	47
Tabelle 2: Zusammenfassung der Stärken und Schwächen der Amalgamalternativen	58

1 Einleitung

1.1 Zahnfüllungen im geschichtlichen Überblick

Die ältesten Belege für prähistorische Zahnheilkunde stammen aus dem Neolithikum und sind auf wenige Fälle beschränkt. Es wurde ein über 6500 Jahre alter menschlicher Unterkiefer in Slowenien entdeckt, dessen linke Eckzahnkrone die Spuren einer Füllung mit Bienenwachs trägt. Der Eingriff zielte vermutlich darauf ab, die Empfindlichkeit des Zahns zu lindern, die entweder von freiliegendem Dentin und/oder den Schmerzen beim Kauen durch den abgebrochenen Zahn herrührt. Unter der Voraussetzung, dass die Füllung noch zu Lebzeiten der Person eingesetzt wurde, wäre dies der früheste bekannte direkte Beweis für eine therapeutisch-palliative Zahnfüllung.[1] Es wurden im Laufe der Zeit Restaurationsmaterialien aus Knochen, Elfenbein, Wachse, Alaun, Honig, gemahlenem Kitt, Perlenpulver, weißer Corelle, Blei, Zinn, Gold, Amalgam, Guttapercha, Darcet, Silikatzement, Harzen, Glasionomerezement und dergleichen angefertigt.[2]

In den Jahren 1833-1850 führten die zwei Brüder Crawcours aus Frankreich Amalgam-Füllmaterial unter dem Namen Royal Mineral Succedaneum ein.[3]

Um die Nachteile der Amalgamlegierung mit niedrigem Kupfergehalt zu überwinden, entwickelte Dr. William Youdelis 1963 ein Amalgam mit hohem Kupfergehalt, das die langfristige Randdichtigkeit verbesserte.[2]

1.2 Amalgamfüllungen

Zahnärztliches Amalgam ist seit mehr als 150 Jahren eines der am häufigsten verwendeten Restaurationsmaterialien.[4] Die Langlebigkeit, Erschwinglichkeit und einfache Handhabung machen Amalgam zu einem der wichtigsten Materialien in der restaurativen Zahnheilkunde. Wegen dieser Eigenschaften hat Amalgam bei Zahnärzt*innen große Popularität erlangt.[5]

Es ist eine Pulverlegierung aus Silber, Zinn und Kupfer, die mit dreifach destilliertem Quecksilber zu einer weichen, formbaren Masse verrieben wird. Diese wird in einer Kavität verdichtet und härtet dort aus. Vorteile davon sind eine ausreichende Druckfestigkeit von mehr als 400 MPa, sie ist kostengünstig und leicht zu verarbeiten. Außerdem ist sie röntgenopak und besitzt die Fähigkeit zur Selbstversiegelung durch Korrosionsprodukte. Schwächen weist sie durch das metallische Aussehen sowie ihre Neigung, in der Mundhöhle zu korrodieren auf.[6] Das Resultat der Trituration von Amalgam und der anschließenden Aushärtung ist eine Matrixstruktur aus Ag_2Hg_3 (γ -1-Phase) und Sn_8Hg (γ -2-Phase), die die ursprünglichen Legierungspartikel mit Ag_3Sn (γ -Phase) umgibt. Ein Verbindungsnetz wird von der γ -2-Phase gebildet. Diese Phase hält der Belastung am wenigsten stand und korrodiert am schnellsten.[7] Darüber hinaus ist Amalgam unter Spannung spröde und nicht adhäsiv. Das ist der Grund dafür, dass eine nicht minimalinvasive Zahnpräparation notwendig ist, um eine mechanische Retention und eine ausreichende Dicke zu gewährleisten, um Brüchen vorzubeugen.[6]

Zahnamalgam wird aufgrund seiner hervorragenden mechanischen Eigenschaften und seiner Haltbarkeit, insbesondere bei großen Kavitäten, immer noch verwendet. Es ist eine Kombination aus Legierungspartikeln und Quecksilber, die etwa 50 % Quecksilber in elementarer Form enthält. Insgesamt nimmt die Verwendung alternativer Materialien wie Komposit, Glasionomere, Keramik und Goldlegierungen aufgrund ihrer ästhetischen Eigenschaften oder wegen angeblicher gesundheitlicher Bedenken im Zusammenhang mit Hg zu. In Anbetracht dessen ersuchte die Kommission den Wissenschaftlichen Ausschuss „Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)“ um eine Stellungnahme zur Sicherheit von Zahnamalgam und alternativen Zahnersatzmaterialien. Laut der im Mai 2008 angenommenen Stellungnahme des SCENIHR ist Zahnamalgam ein sicheres Material für die restaurative Zahnheilkunde. Der Austritt von Quecksilber aus Amalgam geschieht hauptsächlich während des Legens, Entfernens und in einem geringen Maße auch über die gesamte Lebensdauer der Restauration. Abgesehen von vereinzelt auftretenden allergischen Reaktionen auf eines der

Amalgambestandteile, kann mit der Verwendung von Dentalamalgam laut „SCENIHR“ kein Gesundheitsrisiko verbunden werden. Bei der Herstellung einiger Amalgamalternativen werden niedermolekulare Stoffe verwendet. Durch diese können ebenfalls allergische Reaktionen ausgelöst werden. Obwohl es bei den Alternativen keine Hinweise auf einen Zusammenhang mit neurologischen oder anderen Erkrankungen gibt, sind diese nicht auszuschließen, da über sie nur wenig wissenschaftliche Daten vorliegen.[8]

Der Quecksilberanteil von Amalgam und die Publizierung des „Minamata-Übereinkommens“ im Jahr 2013, welches die Freisetzung von Quecksilber (Hg) in die Umwelt verringern soll, hat erneut für erhöhtes Aufsehen in der Bevölkerung gesorgt.[9]

Mögliche negative Einflüsse auf die Gesundheit und Umwelt durch Emissionen und inadäquate Entsorgung führten zu Bedenken, obwohl die Verwendung von Amalgam weit verbreitet ist und Vorteile hat.[10]

Diese Abwägungen haben zu einer unaufhörlichen Kontroverse über Amalgam geführt. In den kommenden Jahren wird es auch ohne ein Amalgamverbot zu einer Verminderung der Amalgamfüllungen kommen (natürlicher „Phase-down“), da Patient*innen Komposite, aufgrund ihrer Ästhetik oft favorisieren. Das graue Aussehen der Amalgamfüllungen ist nicht mehr zeitgemäß. Die Schwierigkeit bei den zahnfarbenen Alternativen ist derzeit immer noch die finanzielle Belastung, die Dauer der Behandlung und ihre Haltbarkeit. Diese Problematik betrifft in erster Linie Patient*innen, die sich für Kassenleistungen entscheiden.[9]

1.2.1 Konsequenz

Amalgam wird routinemäßig zur Füllung von Karies im Seitenzahnbereich verwendet. In Entwicklungsländern ist es aufgrund seiner Wirksamkeit und relativ geringen Kosten nach wie vor das Restaurationsmaterial der Wahl. Die Umweltauswirkungen der Entsorgung und die Freisetzung von Hg im Körper sorgt allerdings für Bedenken hinsichtlich der Verwendung von Amalgamfüllungen.[11] Zu bedenken gibt es aber, dass Zahnärzt*innen und

Zahnärzthelfer*innen Quecksilber in höheren Mengen ausgesetzt sind als die restliche Bevölkerung. Besonders in der Vergangenheit wurden zahnmedizinische Vorgehensweisen mit einem erhöhten Quecksilberverbrauch in Verbindung gebracht. In vielen Ländern scheint es seit 1990 zu einem sorgfältigeren Umgang gekommen zu sein.[12]

In der Allgemeinbevölkerung hingegen gelangt der Großteil an Quecksilber aus Meeresfrüchten (MeHg), anorganisches Quecksilber (I-Hg) aus Lebensmitteln und aus Zahnamalgamrestorationen in den Körper. Besonders Menschen, die häufig Fisch essen, weisen eine erhöhte MeHg Konzentration im Gehirn auf, während die I-Hg Konzentration im Gehirn durch Amalgamrestorationen erhöht wird.[13]

Darüber hinaus gibt es immer noch keine geeigneten Referenzwerte für Hg in Haaren und Zehennägeln.[12] Eine Unterscheidung zwischen den Quecksilberarten ist notwendig, um die Auswirkungen verschiedener Expositionsquellen, insbesondere der Exposition gegenüber Zahnamalgam, auf das Hg im Gehirn zu bewerten. Das I-Hg im Blut und in der Okzipitalrinde sowie das Gesamt-Hg in der Hypophyse und der Schilddrüse stehen mit der Anzahl der Zahnamalgamoberflächen zum Zeitpunkt des Todes in Zusammenhang.[13] In weiterer Folge gelangt, sobald Amalgamfüllungen gelegt wurden, Quecksilber durch Ausscheidungen, Feuerbestattungen und Beerdigungen in die Umwelt. Eine durchschnittliche Überlebensdauer der Füllung von 15-20 Jahren führt auch nach dem „Phase-out“ zu einer Quecksilberemission durch Bestattungen.[14]

Quecksilber ist im natürlichen Zustand meistens nicht frei in der Umwelt zugänglich und somit nicht gefährlich. Durch menschliche Einflüsse gelangen große Mengen an Hg in die Umwelt und können über Jahrtausende im Umlauf bleiben. Dieser Prozess wird „Globaler Quecksilberkreislauf“ genannt. Schlussendlich gelangt das in Amalgam enthaltene Quecksilber ebenfalls in diesen Kreislauf. Besonders bedenklich ist das hochgiftige Methylquecksilber, das sich im Wasser bildet, von Tieren aufgenommen wird und auf diesen Weg über die Nahrung in den menschlichen Organismus gelangt. In der

nachfolgenden Grafik wird dieser Prozess von der „European Environment Agency“ veranschaulicht.[15]

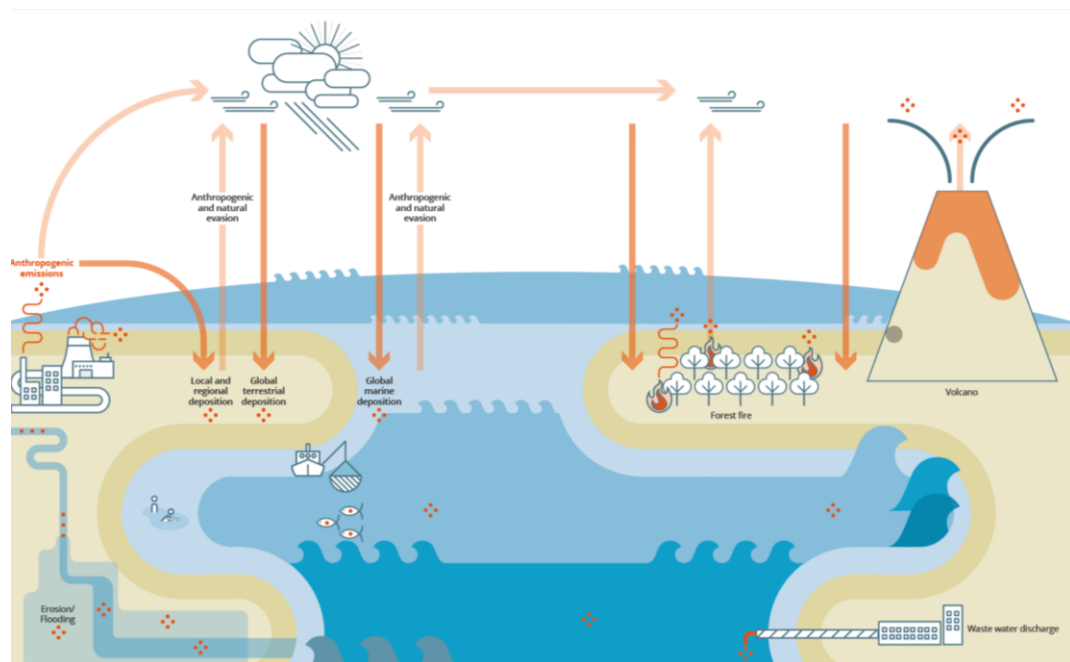


Abbildung 1: Globaler Quecksilberkreislauf[15]

Ein „Phase-out“ im Jahr 2025 würde das potenzielle Risiko von Amalgam verringern.[16] Dennoch sind die derzeitigen Alternativen mit deutlich erhöhten Kosten der zahnärztlichen Behandlung verbunden.[17]

1.2.2 Toxizität

Durch Materialien, welche in der zahnärztlichen Praxis verwendet werden, können bei Patient*innen allergische Reaktionen ausgelöst werden, die sich in einem umfangreichen klinischen Bild äußern. Vor allem bei alten Silberamalgamrestaurationen ist das Risiko erhöht, da korrosive Schäden und eine raue, schwärzliche Oberfläche entstehen. Dadurch werden Metallionen und Korrosionsprodukte freigesetzt. Vereinzelt lösen diese in der angrenzenden Mundschleimhaut eine toxische und irritierende Reaktion aus und führen zu Läsionen.[18]

Im Zusammenhang mit Silberamalgamrestaurationen (SAR) treten selten auch Lichenoide auf.[18] Die Inzidenz liegt jedoch nur bei unter 0,3% für alle

zahnmedizinischen Materialien im Allgemeinen.[8] Meistens ist dies nur bei alten und korrodierten Restaurationen der Fall. Sie sind grundsätzlich weiß, papulös-makulär und asymptomatisch. Die Entfernung der Füllung führt in den meisten Fällen zur Genesung. Eine orale lichenoidale Läsion (OLL) kann nicht vom oralen Lichen planus unterschieden werden, außer dass sich die Ätiologie auf einen direkten kausalen Faktor zurückführen lässt. Ein Beispiel dafür ist eine SAR.[18]

Amalgamfüllungen führen zu einer kontinuierlichen Dampfexposition durch elementares/anorganisches Quecksilber, ein Element, welches für seine Toxizität bekannt ist und mit einer Reihe von Gesundheitsschäden, einschließlich neurologischer und renaler Auswirkungen, in Verbindung gebracht wird.[10] Als Biomarker für die Hg-Dampfbelastung werden Urin, Blutserum, Haare und Zehennägel verwendet. In zahlreichen Studien weist zahnärztliches Personal eine höhere Hg-Konzentration im Urin auf als die Durchschnittsbevölkerung.[12] Bei den Patient*innen sind die gesundheitlichen Auswirkungen der Hg-Belastung nach wie vor sehr umstritten. Die Dosis der Hg-Exposition ist abhängig von dem individuellen Verhalten, wie zum Beispiel: Kauen, Zähneputzen, Bruxismus und weiteren Faktoren.[10]

In der Umwelt ist Hg allgegenwärtig und kommt in der Erdkruste vor. Aus diesem Grund ist die Bevölkerung einer kleinen, jedoch im Urin und Blut messbaren Dosis Hg ausgesetzt. Amalgamfüllungen können diesen Wert minimal erhöhen, haben aber bei gesunden Patient*innen keine klinische oder praktische Relevanz. [19]

1.3 Minamata-Konvention

In Japan, Minamata Bay, wurde 1956 erstmals die lähmende und unheilbare Wirkung einer Quecksilbervergiftung bei zwei Schwestern im Alter von fünf und zwei Jahren diagnostiziert. Die Geschichte ihrer Schicksale verbreitete sich. Daraufhin wurden etliche Male ähnliche Erkrankungen aufgrund von Hg beobachtet und der Name Minamata-Krankheit etablierte sich. 9.000 Tonnen

Hg werden jedes Jahr in die Atmosphäre, ins Wasser und am Land freigesetzt. Es ist ein globales Problem. Die größte Quelle für Quecksilberemissionen ist der Goldbergbau, dicht gefolgt von der Kohleverbrennung, der Nichteisenmetallproduktion und der Zementherstellung. Alle Menschen sind Quecksilber in einem bestimmten Maß ausgesetzt. Die Minamata-Konvention hat deshalb das Ziel, Investitionen für die quecksilberverwendende Industrie, in erneuerbare Energien, Natur, Forschung und Entwicklung umzulenken.[20] Das globale Abkommen (Minamata-Konvention über Quecksilber 2013) schrieb die schrittweise Abschaffung von Quecksilber aus Umweltgründen vor. Auch die Verwendung von Amalgam wird, da in dem Material Quecksilber enthalten ist, in Zukunft untersagt werden. Das Europäische Parlament stimmte der Verordnung über Quecksilber (Verordnung [EU] 2017/852 2017) zu, die einen sogenannten „Phase-down“ ab Juli 2018 vorsieht. Laut Verordnung sollte die Durchführbarkeit eines „Phase-out“ bis optimalerweise 2030 geprüft werden.[21]

2 Material und Methode

Die Thematik „Der Einsatz von Amalgamalternativen unter besonderer Berücksichtigung der zahnärztlichen Allgemeinpraxis“ wurde mittels einer ausführlichen Literaturrecherche untersucht, um einen Überblick über die allgemeine Situation und eine exakte Analyse der Frage „Können Amalgamalternativen Amalgam in zahnärztlichen Allgemeinpraxen ersetzen?“, darlegen zu können.

Anhand PubMed, Google-Scholar, Google, online zugänglichen Richtlinien, sowie Bibliotheken und Onlinebibliotheken wurde eine Suche mit den Schlüsselwörtern: „Phase-out“, Amalgam, Glass ionomer cement, Giomer, Equia Forte, Glass Carbomer, Mercury, Toxicity, Ketac Molar, Fluoride, Cention, Caries treatment, Minamata Convention, Beautifil, Zirconomer, Microleakage, Alkaside, Amalgam alternatives, FDI, European Commission und Regenerative dentistry, in unterschiedlichen Kombinationen durchgeführt.

Relevante Artikel wurden untersucht und Wesentliches aufgeschrieben. In diesem Prozess wurden durch die Literaturangaben der Artikel neue passende Publikationen entdeckt und in den Prozess inkludiert. Literatur, die aufgrund des Abstracts nicht die adäquate Thematik wiedergibt, wurde ausgeschlossen. Leitlinien und gesetzliche Vorgaben wurden studiert und in die Arbeit miteinbezogen.

Daraufhin wurde mit dem Schreiben der Arbeit unter Berücksichtigung der Verwendung möglichst aktueller Studien über Amalgamalternativen begonnen und die laufenden Änderungen in der derzeit sehr debattierten Thematik des Amalgam „Phase-outs“ berücksichtigt, dargestellt und die daraus schließenden Konsequenzen diskutiert.

3 Problematik

3.1 Probleme beim Amalgam „Phase-out“

Durch den Amalgam „Phase-out“ sind Zahnärzt*innen dazu verpflichtet, die Verwendung von Amalgam in einem kurzen Zeitraum einzustellen.[5] Nur in Ausnahmefällen darf Amalgam nach dem „Phase-out“ weiterhin bei bestimmten medizinischen Indikationen verwendet werden.[22] Diese könnten zum Beispiel eine Allergie auf die Bestandteile der Alternativen, oder unbeherrschbare Feuchtigkeit in der Region, der zu restaurierbaren Läsion sein.[23]

Laut der Studie von Lynch et al., kommt es besonders im Faktor Zeit und Geld zu den größten Problemen.[5]

Die durchschnittlichen Privatgebühren für Restaurationen mit Komposit und Amalgam und die dafür eingeplanten Termine wurden von Bailey et al. im Jahr 2022 für Zwei- und Dreiflächenfüllungen berechnet.[21]

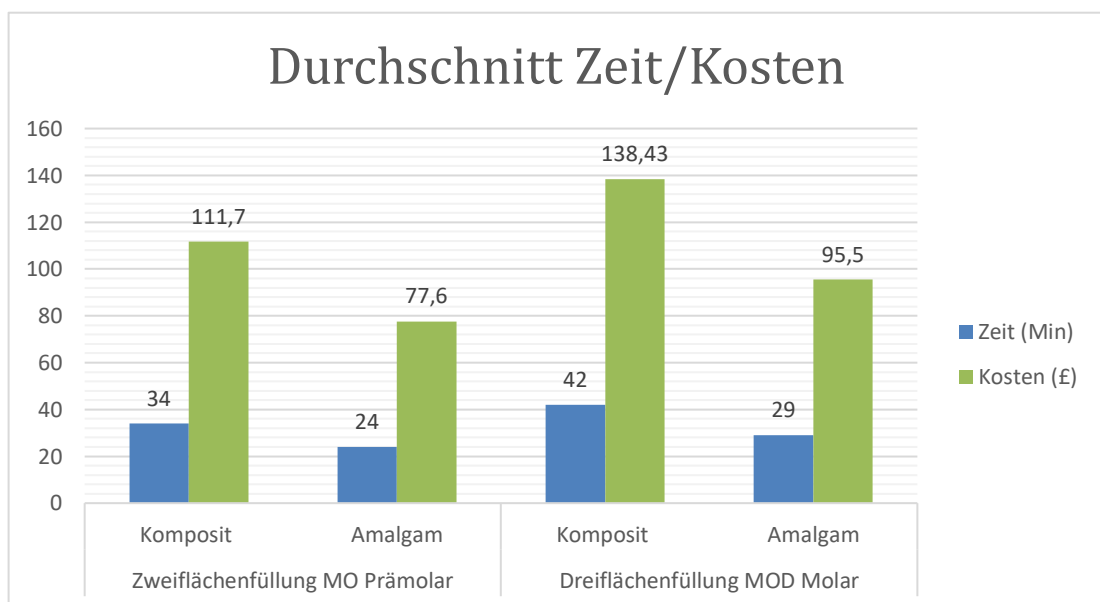


Abbildung 2: Durchschnittliche Zeit und Kosten von Amalgam und Komposit[21]

Die Einfuhr und das Inverkehrbringen von quecksilberhaltigen Produkten ist in der EU seit 2017 verboten.[14][23] Dennoch werden weiterhin

quecksilberhaltige Produkte, wie zahnmedizinisches Amalgam hergestellt und exportiert. Diese Tatsache ist eine wesentliche Ursache für die Hg-Verschmutzung in den Drittstaaten.[14] In Ländern mit einem niedrigen Einkommen, wie Kenia, fallen nur 8 % der gesamten Staatsausgaben auf die Gesundheitsversorgung. Die Mundgesundheit erhält davon magere 0,0016 %. In derartigen Regionen war die Versorgung der Patient*innen mit Karies schon vor dem „Phase-out“ eine Herausforderung. Nach der Abschaffung von Amalgam wird sich die Situation intensivieren, wenn keine praktischen und kosteneffizienten Alternativen gefunden werden. Angesichts dieser Tatsache muss eine Überarbeitung der Lehrpläne an den zahnmedizinischen Universitäten geschehen, um die Prävention von Karies und die Erforschung geeigneter Ersatzmaterialien und Alternativen zu fördern.[6]

Die Suche nach gleichwertigen oder überlegenen Alternativen gegenüber etablierten Materialien, unter Berücksichtigung von Biokompatibilität und Umweltverträglichkeit, macht die Entwicklung von Biomaterialien langwierig und kostspielig. Diese finanzielle Belastung wird schließlich an die Patient*innen weitergegeben und schränkt den Zugang zu fortschrittlichen restaurativen Behandlungsoptionen ein. Es mangelt an Strategien und gutem Willen des Staates, in die Förderung der Mundgesundheit und die Prävention von Krankheiten zu investieren und sie umzusetzen.[6]

Kompositmaterialien sind zum Beispiel eine derartige Alternative zu Amalgam. Sie wurden so entwickelt, dass sie ausreichend mechanische Eigenschaften besitzen, um für Restaurationen im Seitenzahnbereich geeignet zu sein, aber zu bedenken gibt es, dass diese Materialien ebenfalls toxisch für den Menschen und ein Risiko für die Umwelt sein können.[11]

Während in modernen Curricula die Prävention von Karies inkludiert ist, setzen primär in Entwicklungsländern Universitäten stets auf etablierte Lehrpläne der Zahnheilkunde. Diese beziehen sich auf die kurative Behandlung von Zahnkaries. Da es in diesen Ländern keine finanziellen Hilfsprogramme für die Prävention von Karies gibt, führte dies zu einer Diskrepanz in der zahnmedizinischen Versorgung. Zahnärzt*innen sind nur für eine fundamentale Behandlung ausgebildet. Die größte Befürchtung war, dass die Verabschiedung der Richtlinie, die Qualität der zahnärztlichen Ausbildung und

damit die Bereitstellung von Mundgesundheitsdiensten, aufgrund steigender Kosten, beeinträchtigen könnte.[6]

Durch den „Phase-out“ und die Verwendung von Amalgamalternativen entstehen zusätzliche Kosten in der EU, die von der Kommission für das erste Jahr nach dem Eintreten der Abschaffung geschätzt wurden. Sie betragen bei einem „Phase-out“ 208 Millionen Euro im Jahr 2025, 170 Millionen Euro im Jahr 2027 und 114 Millionen Euro im Jahr 2030. Die Verteilung der Kosten wird in den EU-Staaten unterschiedlich ausfallen. Die Gesundheitsbudgets sind jedoch so hoch, dass der „Phase-out“ nur eine geringe Auswirkung haben wird.[22]

Bis 2035 würde es, trotz der Verwendung in bestimmten medizinisch indizierten Situationen, bei einem „Phase-out“ im Jahr 2025 zu einer Reduktion der Quecksilberverwendung in Zahnrestorationen in der EU von 114,4 Tonnen, bei einem „Phase-out“ im Jahr 2027 zu 75,9 Tonnen und bei einem „Phase-out“ im Jahr 2030 zu 29,8 Tonnen kommen.[22]

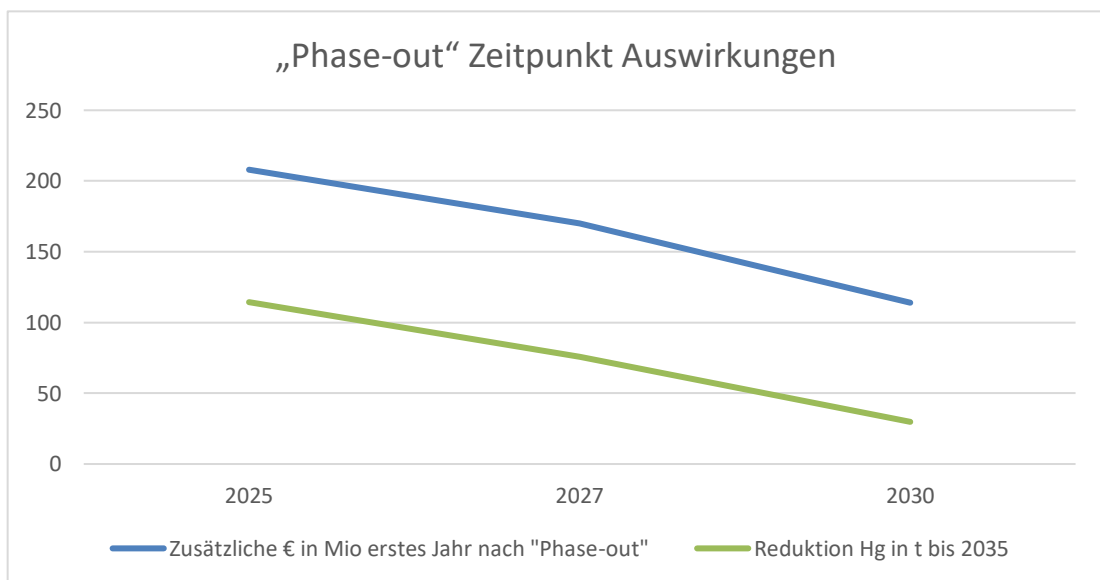


Abbildung 3: „Phase-out“ Zeitpunkt Auswirkungen[22]

Mitgliedsstaaten hatten bereits selbstständig den „Phase-out“ geplant, sodass die Maßnahmen der EU nur geringe zusätzliche finanzielle Auswirkungen auf sie haben wird. Die zusätzlichen Kosten, welche durch die

Amalgamalternativen entstehen, werden mit der steigenden Nachfrage und Verbesserung der Materialien im Laufe der Zeit immer geringer. Aufgrund der Umwelt und der Gesundheit ist 2025 der bevorzugte Zeitpunkt für die Abschaffung von Amalgam. [22]

Quecksilber wird auch nach dem „Phase-out“ weiterhin in die Umwelt gelangen. Dies ist aufgrund folgender Punkte der Fall:

1. Feuerbestattungen
2. Korrosion der Füllungen
3. Emissionen durch Entfernen der Füllungen
4. Defekte Amalgamabscheider
5. Falsche Entsorgung von Amalgam
6. Verbrennung von Amalgam durch Entsorgung im Restmüll
7. Durchschnittliche Lebensdauer von Amalgam von 15 Jahren
8. Füllungen mit einer überdurchschnittlichen Lebensdauer
9. Außerhalb der EU gelegte Amalgamfüllungen bei Einwander*innen

[22]

3.1.1 Die Auswirkungen der Abschaffung von Amalgam

Bei der Abschaffung von Amalgam würde es zu einer Einschränkung der Behandlungsmöglichkeiten kommen. Dem entgegengesetzt würden sich Vorteile für die Gesundheit und Umwelt ergeben.[22]

Je nach Vertrautheit der Zahnärzt*innen im Umgang mit den verschiedenen Alternativen kann der „Phase-out“ für sie von Vorteil oder Nachteil sein. Negative Auswirkungen könnten am Anfang spürbar sein, da der Prozess des Legens einer Füllung mit Amalgamalternativen komplizierter und damit kostspieliger ist. Allerdings könnte diese Tatsache künftig auch zu höheren Einnahmen der Zahnärzt*innen führen. Für die Kosten der Sammlung und sicheren Aufbewahrung der Abfälle müssen Zahnärzt*innen ebenfalls selbst aufkommen. Erst wenn die allerletzte Amalgamfüllung entfernt wurde, verschwindet diese finanzielle Belastung.[22]

Je früher es zu einem „Phase-out“ kommt, desto schneller werden die Preise für die Füllungslegung der Amalgamalternativen wegen des Zeitdrucks und verbesserter Qualifikation der Zahnärzt*innen sinken. Krankenversicherungen würden sich aber bei einem späteren „Phase-out“ besser an die Situation anpassen können. Sie hätten ausreichend Zeit, die Krankengeschichte der Patient*innen und ihre zahnärztlichen Behandlungen zu analysieren und somit die Versicherungsprämien an die Gegebenheiten zu adaptieren. Die Auswirkungen auf die Patient*innen werden je nach Staat sehr unterschiedlich ausfallen.[22]

In den meisten Ländern wird es vermutlich durch die Behandlung mit quecksilberfreien Alternativen zu einer Erhöhung der Gesamtkosten für die Patient*innen und/oder private Krankenversicherungen und Sozialversicherungssysteme kommen. Diese Kosten kommen aufgrund des Füllungsmateriales, der Arbeitskosten und der Langlebigkeit der Restauration zustande. Die geschätzten Gesamtkosten hängen sehr stark von der Kostendifferenz zwischen den Behandlungskosten mit Amalgam und den Alternativen ab. Der Kostenunterschied variiert je nach Land und ist nicht immer offengelegt. In der nachfolgenden Tabelle ist diese Differenz der Gesamtkosten angegeben.[22]

Preisdifferenzen

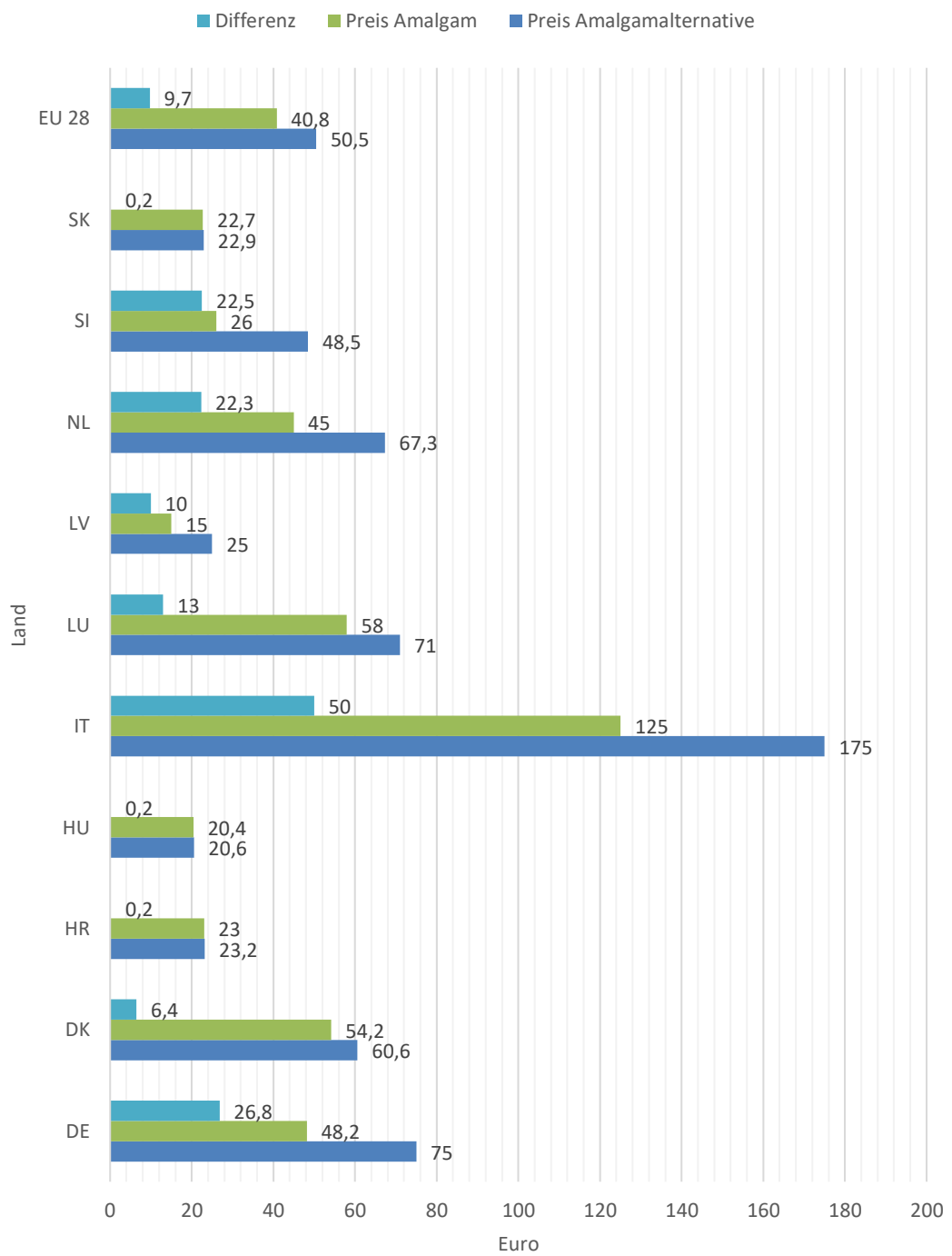


Abbildung 4: Preisdifferenzen der Materialien in unterschiedlichen Ländern[22]

Die anfallenden Kosten für die Füllungen der Patient*innen sind abhängig von folgenden Faktoren:

1. Höhe der Erstattung durch die Versicherung
2. Preis des Materials
3. Haltbarkeit der Restauration
4. Arbeitskosten des*der Zahnarztes*Zahnärztin

[22]

Der Anteil der Staatsausgaben für die zahnärztliche Versorgung ist mit über 60% der gesamten zahnmedizinischen Behandlungskosten in Frankreich und Deutschland am größten. Danach folgen die Kostenanteile der Länder Kroatien, Bulgarien, Luxemburg und der Slowakei. Die Finanzierung erfolgt hingegen in Griechenland, Spanien und Zypern überwiegend privat. In den Niederlanden herrscht ein freiwilliges Krankenversicherungssystem. Dieses macht über 60% der gesamten zahnärztlichen Ausgaben aus.[22]

Da ein vorzeitiger „Phase-out“ schwer umzusetzen ist, antwortete auf das Schreiben der „European Commission“[22] die „World Dental Federation“ (FDI)[24] im Jahr 2021, dass folgende Regeln zu beachten seien, um die Risiken für die Patient*innen, Zahnärzt*innen und die Umwelt zu minimieren:[24]

1. Ausschließliche Verwendung von Einweg-Amalgamkapseln nach Norm ISO 20749:2017 Zahnheilkunde - Gekapseltes zahnärztliches Amalgam
2. Direkten Körperkontakt mit frischem Hg und Amalgam vermeiden
3. Hochleistungsabsauganlagen beim Abtragen von Amalgam
4. Wasserkühlung
5. Reinigung von Hg-verschmutzten Instrumenten vor der Sterilisation oder der Desinfektion mittels hoher Temperaturen
6. Keine Reinigung der Abwasserleitungen mittels Bleichmitteln oder chlorhaltigen Mitteln
7. Aufbewahrung von Hg-Abfällen in undurchlässigen Behältnissen und Abgabe an eine Sammelstelle für Hg-Recycling

Aus diesen Gründen ist ein Training der berufstätigen Personen in Hinsicht auf die genannten Punkte notwendig.[24]

Es gibt keine Beweise, welche darauf hindeuten, dass Amalgamfüllungen gesundheitsschädigend sind. Vorsicht ist bei Patient*innen mit einer Allergie gegen einen Bestandteil von Amalgam, schweren Nierenerkrankungen und Schwangeren geboten. In diesen Fällen ist von der Verwendung von Amalgam abzuraten. Die Wahl des Restaurationsmaterials soll nach dem besten Patient*innenwohl, aktuellem Wissensstand, Berücksichtigung der Umwelt und klinischer Beurteilung von dem*der behandelnden Zahnarzt*Zahnärztin getroffen werden.[25]

Durch Amalgam kann es zu einer Verfärbung des Gewebes der Mundhöhle kommen. Sie wird Amalgamtätowierung genannt und muss nicht therapiert werden. Weiters können lichenoidale Läsionen durch eine Autoimmunreaktion oder eine Allergie auf eine Komponente von Amalgam auftreten. Der Austausch der Füllung durch eine Amalgamalternative kann zur Genesung führen. Für den „Phase-down“ sprechen der Nutzen für die Umwelt, die Invention preislich niedriger, sicherer, adhäsiver Alternativen mit hoher Qualität und die Kariesprävention.[25]

Der Artikel: „Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council“ forderte die folgenden Änderungen der Verordnung (EU) 2017/852:

1. „Phase-out“ ab dem 01.01.2025: Mit diesem Datum sollten in der EU keine Behandlungen mehr mit Amalgam durchgeführt werden, mit der Ausnahme, dass der*die Zahnarzt*Zahnärztin diese als unbedingt erforderlich erachtet.
2. Verbot der Herstellung und Export ab dem 01.01.2025 in der EU
[23]

Als Antwort darauf werden folgende Handlungen zur Einschränkung des Gebrauchs von Amalgam von der FDI befürwortet:

1. Verbesserte Prävention
2. Vermehrte Forschung und Entwicklung der Alternativen

3. Berücksichtigung der Umwelt bei der Verwendung und Entwicklung der Alternativen
4. Training in der Verwendung der Alternativen
5. Möglichst seltene Verwendung von Amalgam
6. Verwendung von Alternativen bei jungen Patient*innen
7. Verwendung von Alternativen bei Erstbehandlungen
8. Verwendung von Alternativen bei gesundheitlichen Risiken wie schweren Nierenerkrankungen, Allergien und Lichenoiden

[25]

Dem*Der behandelnden Zahnarzt*Zahnärztin ist es möglich, unter besonderen medizinischen und klinischen Gegebenheiten, Amalgam dennoch zu verwenden.[25]

3.1.2 Lösungen für die Probleme beim Amalgam „Phase-out“

Um den Amalgam „Phase-out“ erfolgreich durchführen zu können, muss es zu Änderungen des derzeitigen Systems kommen. Es müssen Ziele festgelegt werden, welche den Gebrauch des Materials reduzieren, wie zum Beispiel die Prävention von Karies, eine Reform der Versicherungsprogramme, welche Amalgam den Alternativen bevorzugen und eine Förderung von Einrichtungen, welche die Verwendung von quecksilberfreien Alternativen unterstützen. Dazu gehören zahnmedizinische Berufsverbände, Fakultäten und Versicherungen, die die Verwendung von Alternativen mit ausreichender Qualität simplifizieren. Weiters muss das Interesse an der Entwicklung von preiswerten, nicht zeitintensiven, wirksamen und qualitativ hochwertigen Alternativen vergrößert werden. Zahnmedizinische Einrichtungen müssen die bestmögliche Ausrüstung haben, um die Freisetzung von Hg in die Umwelt zu verringern und die Verwendung von Amalgam muss auf die gekapselte Form eingeschränkt werden.[20]

Es ist ein brauchbarer Plan für einen weltweiten Ausstieg aus der Verwendung von Zahnamalgam erforderlich. Durch Diskussionen, wie die Umsetzung des Minamata-Übereinkommens dynamisch gestärkt werden kann, um eine

sichere und umweltverträgliche globale orale Gesundheitsversorgung zu gewährleisten, kann dies erreicht werden und eine Lösung für die Debatte über Zahnamalgam gefunden werden.[10]

3.2 Weiterentwicklung der Füllungsmaterialien in der Zahnheilkunde

Zahnschmelz kann biologisch nicht repariert oder ersetzt werden.[26]

Die konservierende zahnärztliche Behandlung wird momentan mit anorganischen Materialien durchgeführt.[27] Die häufigste Ursache für das Versagen von Füllungen im Seitenzahnbereich ist die Fraktur des Restaurationsmaterials. Um dies zu vermeiden, wird fortlaufend an neuen Materialien geforscht, die eine Fluoridfreisetzung, verbesserte Ästhetik und eine bessere Bruchfestigkeit besitzen.[28]

Die Restaurative Zahnheilkunde hat sich in den letzten Jahren sukzessive von der Biokompatibilität zur Bioaktivität entwickelt. Das Interesse an Restaurationsmaterialien mit Ionenfreisetzung steigt mit dem Fortschritt der minimalinvasiven Zahnmedizin. Um Karies entgegenzuwirken, sollten bioaktive Restaurationsmaterialien antidemineralisierende und remineralisierende Eigenschaften besitzen.[29]

Ein minimalinvasiver Ansatz zur Behandlung von Karies ist die atraumatische restaurative Behandlung (ART). Bei dieser Technik wird mit Handinstrumenten demineralisierte Zahnhartsubstanz entfernt und mit einem adhäsiven Material die Kavität restauriert. Sie wurde für Menschen, die keine Möglichkeit haben konservative Therapien in Anspruch zu nehmen, von der Weltgesundheitsorganisation empfohlen.[30]

Hochviskoser Glasionomerzement (GIZ), welcher speziell für ART entwickelt wurde, punktet durch seine physikalischen und chemischen Eigenschaften wie die Adhäsion am Zahn, die Biokompatibilität und die chemische Abbindereaktion. Überdies verleiht ihm die Freisetzung von Fluorid präventive Eigenschaften.

Die verbesserten mechanischen Eigenschaften führen zu einer längeren Beständigkeit von Versiegelungen und Restaurationen bei bleibenden und Milchzähnen.[30]

Es zeigte sich aber laut Amorim et al. 2012 eine drastische Diskrepanz der Haltbarkeit in der Literatur. Sie reicht nach einem Jahr von 31% bis 100%.[31]

3.3 Amalgamersatzmaterialien

Während Amalgamfüllungen durch mechanisches Verkeilen in der Kavität ihren Halt gewinnen, führt bei den Alternativen eine chemische Reaktion zur Adhäsion.[32]

Laut „SCENIHR“ sind folgende Punkte für ein ideales Amalgamersatzmaterial von Bedeutung:

1. Ähnliche Eigenschaften wie der natürliche Zahn
2. Kostengünstig
3. Unbedenklich für den Menschen
4. Unbedenklich für die Umwelt
5. Eindringen von Bakterien, Nahrungsmitteln und Ionen aus dem Speichel (in den Randspalt) verhindern
6. Adhäsiv
7. Geringe bis keine Größenveränderung
8. Interaktion mit kariösem Dentin und Schmelz und die Wiederherstellung der Integrität
9. Breiter klinischer Einsatzbereich
10. Möglichst bruchfest
11. Reparierbar
12. Strapazierbar und abriebfest

[8]

3.3.1 Ausgeschlossene Ersatzmaterialien

Indirekte Restaurationen: Es wird nach der Kavitätenpräparation ein Abdruck intraoral genommen und mit diesem ein Modell angefertigt. Der*Die Zahntechniker*in kann dadurch die Restauration außerhalb der Mundhöhle herstellen. Meistens besteht diese aus Keramik oder einer Legierung. Es werden Materialien wie Gold, Silber, Kupfer, Palladium, Platin und Nickel verwendet.[8]

„Computer numeric-controlled“ (CNC) Fräsmaschinen wurden in den späten 1990er Jahren entwickelt, um eine exaktere Passung zu erreichen.[33] Für CNC-Fräsen oder Lasersintern werden Titan/Titan-Legierungen und Kobalt-Chrom-Legierungen verarbeitet.[8]

Diese Variante hat eine gute Haltbarkeit, erfordert aber das Entfernen von zusätzlicher Zahnhartsubstanz und ist kostenintensiv.[8]

3.3.2 Mögliche Alternativen

Direkte Restaurationen: Die Füllung wird direkt im Patient*innenmund hergestellt. Es werden Materialien wie Komposite, Zemente, Kompomere und Glasionomere verwendet. Letztendlich wird angesichts der finanziellen und zeitlichen Belastung eine direkte Technik bevorzugt.[8]

Die am häufigsten verwendete Alternative ist Komposit, obwohl diese mehr Zeit benötigt und sehr kostspielig ist.[21] Die preisliche Problematik kann mit dem englischen Gesundheitssystem „National Health Service“ (NHS) veranschaulicht werden. Um eine Komposit-Füllung anstelle von Amalgam zu ermöglichen, müsste es zu einer Erhöhung der NHS-Gebühren um 57,5% kommen. Weiters ist der Faktor Zeit eine der wertvollsten Ressourcen in der NHS-Zahnmedizin und das Setzen einer derartigen Füllung ist sehr arbeitsaufwendig. Aus diesen Gründen ist die Kompositrestauration kein möglicher Ersatz. Bei mäßig tiefen, zweiflächigen Approximal-Okklusalkavitäten benötigen die Zahnärzt*innen 1,61 mal mehr Zeit.[5]

3.3.3 Glasionomerzement

Nur wenn ein Material eine signifikante Säure-Basen-Reaktion als Teil seiner Abbindereaktion und eine kontinuierliche Fluoridfreisetzung aufweist, darf es Zement genannt werden.[34]

Glasionomerzemente bestehen aus basischem Glas, Wasser und einer wasserlöslichen Polymersäure. Diese drei Hauptbestandteile können auf verschiedene Arten zu einer viskösen Paste vermischt werden und härten daraufhin aus. Die genaue Menge der einzelnen Bestandteile wird von den jeweiligen Firmen nicht veröffentlicht. Es wird aber davon ausgegangen, dass eine unterschiedliche Aufteilung der Komponenten auf die Pulver- und wässrige Phase keine offensichtlichen Auswirkungen hat. Der Langzeiterfolg wird jedoch durch das Verhältnis von Pulver zu Flüssigkeit, die Konzentration der Polysäure, die Partikelgröße des Glaspulvers und das Alter der Proben beeinflusst. Ein Pauschalisieren der Eigenschaften ist infolgedessen nicht möglich. Auch die Aushärtung in optimalen Bedingungen stellt einen Faktor für den Erfolg dar. Das Mischen kann zum Beispiel auf einer Glasplatte mit einem Spatel händisch durchgeführt werden.[35]

Um eine einfachere Anwendung zu ermöglichen, wurden modifizierte Dosiersysteme entwickelt. Herkömmliche GIZ werden als Pulver und einer Flüssigkeit geliefert.[34]

Durch die Art des Vermischens und das Verhältnis von Pulver zu Flüssigkeit werden die physikalischen Eigenschaften beeinflusst.[35] Werden diese Bestandteile nicht exakt dosiert und vermischt, kann es zu erheblichen Abweichungen der mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften kommen.[34] Um diese Diversifikation zu unterdrücken, wurden folgende Systeme entwickelt:

1. Kapseln

In Kapseln sind die beiden Phasen durch eine Membran getrennt, die kurz vor dem Mischen zerbrochen wird und das Vermengen möglich macht. Daraufhin wird die Kapsel in einem automatischen Mischgerät schnell gerüttelt. In

diesem Schritt wird der Zement gemischt. Danach wird das Material aus der Kapsel in die Kavität gepresst. Zemente, die beim Handmischen in ausreichender Zeit aushärten, härten in Kapseln durch die Vibration zu schnell aus. Aus diesem Grund sind die Rezepturen an die Anwendung in Kapseln angepasst und sind weniger reaktiv.[35]

Kapseln steigern die Effizienz und vereinfachen die Durchführung.[34]

2. Paste

Es wird eine spezielle Kartusche und Materialspender verwendet, um eine mühelose Platzierung, regelrechte Dosierung und schnelles Mischen zu gewährleisten. Das Pastendosiersystem ist sehr zuverlässig.[34]

Nach seiner Einführung im Jahr 1980 hat sich Glasionomerezement als eine taugliche Alternative herausgestellt und führte zu einer Erweiterung der Behandlungsmöglichkeiten in der konservierenden Zahnheilkunde. Kalzium-Aluminium-Silikat-Glaspulver und einer wässrigen Lösung eines Acrylsäure-Homo- oder -Copolymers sind die Bestandteile des GIZ und verleihen ihm nützliche Eigenschaften wie:[34]

1. Geringe Adhäsion an der Zahnhartsubstanz
2. Adhäsion an unedlen Metallen
3. Freisetzung von Fluorid und dadurch eine antikariogene Wirkung
4. Thermische Kompatibilität mit dem Zahnschmelz
5. Biokompatibilität

[34]

Bislang gibt es kein Material, welches jedes Problem bewältigt. Aus diesem Grund wird immer weiter an GIZ geforscht. Die Rezepturen, Eigenschaften und die Handhabung von Glasionomerezementen haben sich für verschiedene klinische Anwendungen erheblich verändert.[34]

Zu den negativen Eigenschaften zählen:

1. Kurze Verarbeitungszeit
2. Lange Aushärtezeit

3. Geringe Bruchzähigkeit
 4. Sprödigkeit
 5. Geringe Verschleißfestigkeit
 6. Feuchtigkeitsverunreinigungen oder Austrocknung in den frühen Phasen der Abbindereaktion
- [34]

Diese Merkmale sind allerdings abhängig von der Zusammensetzung des Aluminosilikates und der in der Formulierung verwendeten Polyacrylsäure, der Teilchengröße des Glaspulvers, den relativen Anteilen der Bestandteile in der Zementmischung (Glas, Polyacrylsäure, Weinsäure, Wasser) und dem Mischverfahren.[34]

Aufgrund der Empfindlichkeit der frisch abgebundenen GIZ gegenüber Feuchtigkeit, sollten sie sofort mit Lack überzogen werden, um einen ausreichenden Schutz zu gewährleisten.[36]

Durch das Hinzufügen von anorganischen oder organischen Komponenten zu Glaspulvern oder Polyacrylaten wird versucht, die negativen Aspekte zu neutralisieren.[34]

Herstellerfirmen versuchen die mechanischen und ästhetischen Eigenschaften zu verbessern und auch deren antibakterielle Aktivität zu erhöhen, indem sie die Zusammensetzung von GIZ fortlaufend modifizieren.[37]

Wie oben beschrieben ist es wichtig, dass ein Füllungsmaterial dem echten Zahn in vollem Umfang ähnlich ist. Zusätzlich sollte eine Adhäsion am Zahnschmelz und Dentin gegeben sein. GIZ wurde so entwickelt, dass er diese Parameter so gut wie möglich erfüllt und ist das Ergebnis von Forschungen an Silikatzementen, bei denen Phosphorsäure in zahnmedizinischen Silikatzementen durch organische chelatbildende Säuren ersetzt wurde. Unterstützt wurde dies durch die Arbeit an Zinkpolycarboxylatzementen. Dabei wurde gezeigt, dass Zahnzemente, die die Fähigkeit der Adhäsion besitzen, aus Polyacrylsäure hergestellt werden können.[34]

Wenn man die beiden Komponenten vermischt, kommt es zu einer Abbindereaktion. Dabei werden die Säuregruppen durch die pulverförmige feste Glas-Base neutralisiert. Das Material hat durch die große chemische Vielfalt ein großes Potential für weitere Verbesserungen.[34]

Insbesondere in der Kinderzahnheilkunde bewährte sich GIZ wegen der kurzen Behandlungsdauer und müheloser Anwendung als äußerst nützliches Füllmaterial. Dennoch sollte auch hier darauf geachtet werden, dass keine ausgedehnten Kavitäten restauriert werden und die Belastung auf das Material von geringem Ausmaß ist.[38]

Zusammengefasst kann die Adhäsion von GIZ auf eine mikromechanische Verzahnung, die durch die Ätzung der Polysäurekomponente gebildet wird und einer echten chemischen Bindung, die durch ionische Bindungen zwischen den Carboxylatgruppen der Polysäuremoleküle und den Kalziumionen der Zahnoberfläche entsteht, zurückgeführt werden.[35]

GIZ ist für die Stabilisierung der Kariesausbreitung in einer Kavität, zusätzlich zur Excavation, optimal und kann durch das Legen einer provisorischen Glasionomierzementfüllung und ihrer Fluoridfreisetzung erreicht werden.[34]

Je nach Verwendung können GIZ in drei Typen eingeteilt werden:[35]

Typ I wird in einem relativ niedrigen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis (1,5:1 bis 3,8:1) hergestellt. Dies führt zu einer mäßigen Festigkeit, schnellen Aushärtung, sowie Wasserbeständigkeit und wird für die Zementierung von Kronen, Brücken, Inlays, Onlays und kieferorthopädischen Apparaturen verwendet.[35]

Typ II wird in zwei Untergruppen geteilt:

Typ II (i) wird in einem hohen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis (mindestens 3:1 und bis zu 6,8:1) hergestellt. Dies führt zu einer verbesserten Ästhetik. Diese Füllungen müssen aber 24 Stunden mit einem Lack oder Vaseline vor Feuchtigkeit geschützt werden. Sie werden im Frontzahnbereich verwendet.

Typ II (ii) wird in einem hohen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis (3:1 bis 4:1) hergestellt. Dies führt zu einem schnellen Abbinden und einer schnellen

Wasserresistenz. Sie werden für Reparaturen oder Füllungen im Seitenzahnbereich verwendet.[35]

Typ III wird in einem niedrigen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis (1,5:1) verwendet, um eine gute Auskleidung von Hohlräumen zu ermöglichen, oder in einem hohen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis (3:1 bis 6,8:1) eingesetzt, um als Dentinersatz zu fungieren.

Sie werden als Auskleidungs- oder Basiszement verwendet.[35]

3.3.3.1 Geschichte der GIZ

3.3.3.1.1 Erste Generation

Durch die unbefriedigende klinische Leistung und das Fehlen an Verbesserungsmöglichkeiten von dentalen Silikatzementen entstand der GIZ. Wilson et al. forschten an Zementen, die durch das Mischen von Dentalsilikatglaspulver mit wässrigen Lösungen verschiedener organischer Säuren, einschließlich Polyacrylsäure als flüssigem Zementbildner, hergestellt wurden. Diese Zementpasten waren nahezu unverarbeitbar, härteten langsam und träge aus, waren hydrolytisch instabil und wiesen eine geringe Reaktivität des Glases gegenüber dem Polymer auf.[34]

Wilson und Kent stellten 1972 den ersten Zement mit hohem Fluoridgehalt her. Er wurde ASPA (Alumino-Silikat-Polyacrylsäure) bezeichnet. Der erste GIZ wurde allerdings ASPA I genannt. Er härtete langsam aus, war bei der Aushärtung feuchtigkeitsempfindlich und hatte eine geringe Transluzenz.[34]

3.3.3.1.2 Schnell abbindende Zemente

1972 erforschten und 1976 veröffentlichten Wilson und Crisp die Lösung für die langsame Abbindung. Durch optisch aktive d-Weinsäure wurde die Verarbeitungszeit verlängert, die Manipulation verbessert und die Abbindegeschwindigkeit beschleunigt. Diese Weiterentwicklung wurde ASPA II genannt und wurde der erste praktische Glasionomierzement.[34]

1974 fügten Wilson und Crisp Methylalkohol zu Polyacrylsäure-Lösungen als ein Mittel, das die Ordnung der Strukturen in der Lösung hemmt und nannten den Werkstoff ASPA III. Im Mund kam es weiterhin zu Verfärbungen. Daraufhin entwickelten sie den ersten vermarktbareren Zement ASPA IV, indem sie ein Copolymer aus Acryl- und Itaconsäure synthetisierten, das sich in einer 50% wässrigen Lösung als unbegrenzt stabil erwies.[34]

3.3.3.1.3 Zweite Generation

Bei den wasserhärtenden Glasionomern werden als Flüssigkeit zur Zementbildung entweder Wasser oder eine wässrige Lösung von Weinsäure verwendet. Hierdurch wird eine niedrige Viskosität in den frühen Mischphasen, verbesserte Lagerfähigkeit und eine verbesserte Festigkeit erreicht, da das Molekulargewicht und die Polysäurekonzentration mit diesem System erhöht werden können. Zu den Produkten dieser Art gehören zum Beispiel: Chem – fil und Ketac – Cem.[34]

3.3.3.1.4 Verstärkte GIZ

Herkömmliche GIZ wurden für Kavitäten verwendet, die nur geringen Belastungen ausgesetzt sind, wie zum Beispiel: Klasse-V, Klasse-III Restaurationen und für die Füllung oder Versiegelung von Gruben und Fissuren, da sie eine niedrige Zugfestigkeit von (7 - 14 MPa) besitzen. Für die Verwendung in stark beanspruchten Bereichen musste der Zement in seiner Festigkeit verbessert werden.[34]

3.3.3.1.5 Disperse Phasengläser

Durch Phasentrennung können Gläser verändert werden. Es wurden neuartige Gläser entwickelt, die absichtlich große Mengen an dispergierten Phasen von verstärkenden Kristalliten enthalten. Diese verbesserten die Festigkeit. Als geeignete disperse Phasen erwiesen sich Korund (Al_2O_3), Rutil (TiO_2), Baddeleyit (ZrO_2) und Aluminiumtitanat ($Al_2 TiO_5$).[34]

3.3.3.1.6 Faserverstärkte Gläser

Um die Biegefestigkeit zu optimieren, wurden Aluminiumoxidfasern, Glasfasern, Siliziumdioxidfasern, Kohlenstofffasern und weitere zur bisherigen Zusammensetzung hinzugefügt. Sie waren aufgrund der schweren Mischbarkeit und geringen Beständigkeit gegen Abrasion nicht zu gebrauchen.[34]

3.3.3.1.7 Metallverstärkter GIZ

Mithilfe von Metallfasern konnte die Biegefestigkeit erhöht werden. Daraufhin wurde Amalgamlegierungspulver dem vorhandenen Zement beigemischt. Ein Beispiel für ein solches Material ist „Miracle Mix“. Es wurde für Stumpfaufbauten und bei Patient*innen mit einem hohen Kariesrisiko verwendet. Auch sie waren aufgrund der unausreichenden Ästhetik, Abriebfestigkeit und Versagen an der Grenzfläche zwischen Metall und Polyacrylatmatrix nicht erfolgreich.[34] Der Name Cermet-Zement wurde ebenfalls für diese Materialgruppe verwendet. Durch das gemeinsame Sintern von Metall- und Glaspulvern erreichten McLean und Gasser eine starke Bindung des Metalls an das Glas und die Lösung für das Problem der geringen Abrasionsbeständigkeit. Für die Herstellung des Glaspulvers wurden auslaugbare Calcium-Aluminium-Fluorosilikat-Gläser verwendet. Silber und Gold waren für diesen Zweck die am besten geeigneten Metalle. Im Vergleich zu GIZ konnte eine verbesserte Abriebfestigkeit und Biegefestigkeit erreicht werden. Dennoch konnte der Zement nur in kaum belasteten Bereichen eingesetzt werden, da die Festigkeit, der von Amalgam, nach wie vor unterlegen war. Weitere Beispiele für ein derartiges Material sind Ketac Silver und Alpha Silver.[34][38]

3.3.3.1.8 Glas Carbomer

Im Vergleich zum herkömmlichen Glasionomerzement weist er eine höhere Bioaktivität auf. Er enthält, zusätzlich zu den gängigen, weitere Bestandteile, wie einen höheren Anteil an Glas, Hydroxylapatit und Silikonöl. Die Aushärtung findet in zwei Reaktionen statt. Hierbei reagiert das Glas mit der Polysäure und das Hydroxylapatit mit der Polysäure. Glas Carbomere haben eine geringere Festigkeit und sind spröder als erfolgreiche herkömmliche Glasionomerzemente.[35]

3.3.3.1.9 Resinmodifizierte Glasionomerzemente

Die kontrollierte Aushärtung und die Feuchtigkeitsempfindlichkeit stellten trotz der vorherigen Verbesserungen immer noch ein Problem dar. Zur Neutralisierung der Schwachpunkte wurden GIZ und Resin von Kompositen kombiniert, um die positiven Eigenschaften beider Materialien zu nutzen. Dies führte zu einigen Vorteilen wie einer längeren Verarbeitungszeit, Aushärtung unter sichtbarem Licht, guten Adaptation und Haftung, akzeptablen Fluoridfreisetzung, Ästhetik ähnlich der von Kompositen und guten Festigkeitseigenschaften. Jedoch kam es auch zu einer begrenzten Aushärtungstiefe und Polymerisationsschrumpfungen.[34]

3.3.3.1.10 Hochviskoser Glasionomerzement

Um das Füllen der Kavität zu vereinfachen, wurde ein hochviskoses Glasionomer entwickelt. Es wurde entwickelt, um als Alternative zu Amalgam im Seitenzahnbereich verwendet zu werden. Aufgrund der Fluoridabgabe und Haftfähigkeit, ist es für die atraumatische restaurative Behandlungstechnik (ART) besonders gut geeignet. Diese Zemente übertreffen die resinmodifizierten Systeme durch eine reduzierte Feuchtigkeitsempfindlichkeit, geringe Löslichkeit in oralen Flüssigkeiten und einer schnelleren Aushärtung, die durch eine Neutralisationsreaktion ausgelöst wird. Beispiele für hochviskose Glasionomerzemente sind Fuji IX und Ketac Molar.[34]

3.3.3.1.10.1 Ketac Molar

Ketac Molar setzt sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

Pulver: Fluorsilikatglas, Strontium und Lanthan, Polyacrylsäure

Flüssigkeit: Polycarbonsäure, Weinsäure und Wasser.[39]

Es ist selbsthärtend und benötigt keine Vorbehandlung.[40] Dieses Material wurde mittlerweile genau untersucht und erreicht gute Ergebnisse.[30]

3.3.3.1.10.2 Glas-Hybrid

3.3.3.1.10.2.1 Equia Forte

Equia Forte Fil (GC America INC) ist ein hochviskoser GIZ mit einer Resinbeschichtung. Es handelt sich um ein metamorphes Glas, das aus feinem hochreaktivem Glas besteht, das in Glasionomeren dispergiert ist. Die starke Matrixstruktur führt zu einer Fluoridfreisetzung, verbesserten physikalischen Eigenschaften und einer erhöhten Verschleißfestigkeit. Es ist ein schnell abbindendes, selbstadhäsives und ästhetisches Restaurationsmaterial und ist in den Vita-Farben A1, A2, A3, A3.5, B1, B2, B3 und C4 erhältlich. Equia Forte Coat bildet eine glatte, feste, versiegelte und schützende Oberfläche. Durch den Coat wird die Verschleißfestigkeit, die Transluzenz und die Ästhetik verbessert.[41]

3.3.3.2 Zirconomer

Eine neue Klasse an Materialien sind die Zirconomere. Sie sollen die Festigkeit und Haltbarkeit mit den positiven Eigenschaften von GIZ kombinieren.[42] Zirconomere wurden durch Keramik- und Zirkonfüllstoffe verstärkt.[43] Aus diesem Grund sind sie für die Verwendung in belasteten Regionen geeignet.[42] Dieses Material wird händisch angemischt. Das Pulver wird auf zwei gleich große Portionen aufgeteilt, die erste Hälfte wird 5-10

Sekunden mit der Flüssigkeit vermischt und die zweite Hälfte hinzugefügt, bis eine dickflüssige Konsistenz erreicht wird. Insgesamt muss dies innerhalb von 30 Sekunden abgeschlossen sein.[44] Zirconomer ist ein selbsthärtendes GIZ und die Aushärtungszeit beträgt drei Minuten.[45]

3.3.3.3 DeltaFil

DeltaFil ist ein herkömmlicher Glasionomerzement mit dem Zusatz von elastomerischen Mizellen. Diese Modifikation wurde durchgeführt, um die Bruchfestigkeit und somit auch die Rissausbreitung zu verbessern und herkömmliche Glasionomerzemente zu übertreffen.[47]

3.3.4 Alkasite

Eine neue Materialklasse, welche resinbasiert ist und Ionen freisetzt wird Alkasit genannt. Ihr Name leitet sich von der alkalisierenden Eigenschaft durch die Freisetzung von Hydroxidionen (OH-) ab. Lediglich die Firma „Ivoclar Vivadent“ stellt derartiges her und entwickelt es stetig weiter.[29]

Hierbei handelt es sich um folgende Materialien:

3.3.4.1 Cention N

Cention N (Ivoclar Vivadent) ist ein resinbasiertes selbstadhäsives und selbsthärtendes Füllungsmaterial. Es gehört zu einer neuen Kategorie von Materialien, welche „Alkasite“ genannt werden und ist zahnfarben. Momentan ist es in der Farbe A2 erhältlich.[41] Die unlimitierte Bulk-Fill-Applikation ermöglicht eine verringerte Dauer der Behandlung, da keine aufwendige Schichttechnik wie bei Kompositen, aufgrund der begrenzten Polymerisationstiefe und Polymerisationsschrumpfung, erforderlich ist.[46]

Die Dimension von Füllungen hat einen Einfluss auf die Bruchfestigkeit und Randspalten. Cention N zeigte vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich der Bruchfestigkeit und Randspalten, in ausgedehnten Kavitäten.[47] Es wird für

die Versorgung von Defekten der Klasse I, II und des Zahnhalses bei bleibenden Zähnen verwendet.[41]

Cention N war das erste Material der Firma und wurde vor der Applikation handgemischt.[29]

3.3.4.2 Cention Forte und Cention

Cention Forte kam als Kapselform, gleich wie Cention, als Nachfolger von Cention N, auf den Markt. Der Unterschied der beiden Nachfolger besteht rein in der Art der Applikation. Die Zusammensetzung ist laut Hersteller identisch. Für die Verwendung von Cention Forte wird ein spezielles Adhäsivsystem empfohlen. Die drei Haupttypen an Füllern sind silanisiertes inertes Barium-Aluminium-Silikatglas, Calcium-Barium-Aluminium-Fluorosilikatglas, das Glasionomeren ähnelt und Calcium-Fluorosilikatglas oder „Alkasit“-Glas. Neben diesen Bestandteilen enthält Cention nach Angaben des Herstellers auch Ytterbiumtrifluorid und einen vorpolymerisierten Isofüller. Die flüssige Phase besteht aus Dimethacrylaten ohne saure Gruppen, die selbstklebende Eigenschaften verleihen würden. Es ist ein Bulk-fill Material, welches durch Photoinitiatoren und chemische Katalysatoren dualhärtend ist.[29] In einem in vitro Versuch wurde beobachtet, dass in Milchsäure (pH = 4,0) und künstlichem Speichel (pH = 6,4) Ca^{2+} , F^- und PO_4^{3-} Ionen freigesetzt werden, die zu einer Bildung von Apatit auf seiner Oberfläche führen.[48]

3.3.5 Kompomer

Bei der Suche nach verbesserten Füllungsmaterialien wurde ein neuer Mechanismus entwickelt. Ein weiterer Name für diese Materialgruppe ist Giomer. Es kommt zu einer Reaktion zwischen fluoridhaltigem Glas und flüssigen Polysäuren. Die vorreagierten Glaspartikel werden mit Harzen wie Urethandimethacrylat und Hydroxyethylmethacrylat und einem Katalysator vermischt, um die Polymerisation einzuleiten. Die Verwendung von selbstätzenden Primern erzeugt die Haftung. Die Primer enthalten Methacrylat-Resin wie 2-HEMA, 4-AETA, UDMA und TEGDMA sowie

vorreagierte Glasionomer-Füllstoffe. Der Haftvermittler setzt Fluorid frei. Eine klinische sechs Jahres Evaluierung zeigte eine verhältnismäßig hohe Misserfolgsrate bei Seitenzahnrestorationen.[8]

Ein Produkt dieser Kategorie ist Beautifil, das laut Herstellerangaben 2mm pro Schicht nicht überschreiten und jeweils 20 Sekunden lichtgehärtet werden sollte.[44]

4 Ergebnisse

4.1 Vergleich und Eigenschaften

Das Hauptziel der Behandlung von Karies ist ident mit dem anderer Erkrankungen. Die Funktion des geschädigten Organs soll erhalten oder wiederhergestellt werden, indem der Krankheitsprozess selbst gestoppt oder das Wiederauftreten verhindert wird.[37]

4.1.1 Randspalt

Für eine lange Haltbarkeit und eine qualitativ hochwertige Restauration ist es von großer Bedeutung, dass ein maximaler Verbund zwischen Zahn und Füllmaterial gegeben ist.[36]

Ein ideales Material wurde noch nicht gefunden. Amalgam ist vielseitig anwendbar und besitzt die Fähigkeit der Selbstabdichtung. Seine graue Farbe ist aber ein großer Nachteil. Bei anderen Materialien, wie zum Beispiel bei Komposit, kommt es zu einer Polymerisationsschrumpfung. Aufgrund dieser Schrumpfung entwickeln sich Randspalten.[43]

Patel et al. testeten die Randdichtigkeit 30 Klasse I Kavitäten nicht kariöser Zähne. Die Materialien Amalgam, Komposit und Zirconomer wurden nach Herstellerangaben in die Kavität eingebracht und 24 Stunden lang in destilliertem Wasser gelagert und anschließend zwischen 5 Grad und 55 Grad 500 mal thermozykliert. Danach wurde die Zahnoberfläche mit zwei luftdichten Lackschichten bestrichen und die Zähne in 0,5% Methylenblau getaucht. Um die Randdichtigkeit zu beurteilen, wurden die Zähne aufgeschnitten und unter dem Stereomikroskop betrachtet. Zirconomer wies die meisten Randspalten auf, gefolgt von Komposit. Am wenigsten Randspalten wies Amalgam auf. In dem nachfolgenden Histogramm wird das Ergebnis veranschaulicht.[43]

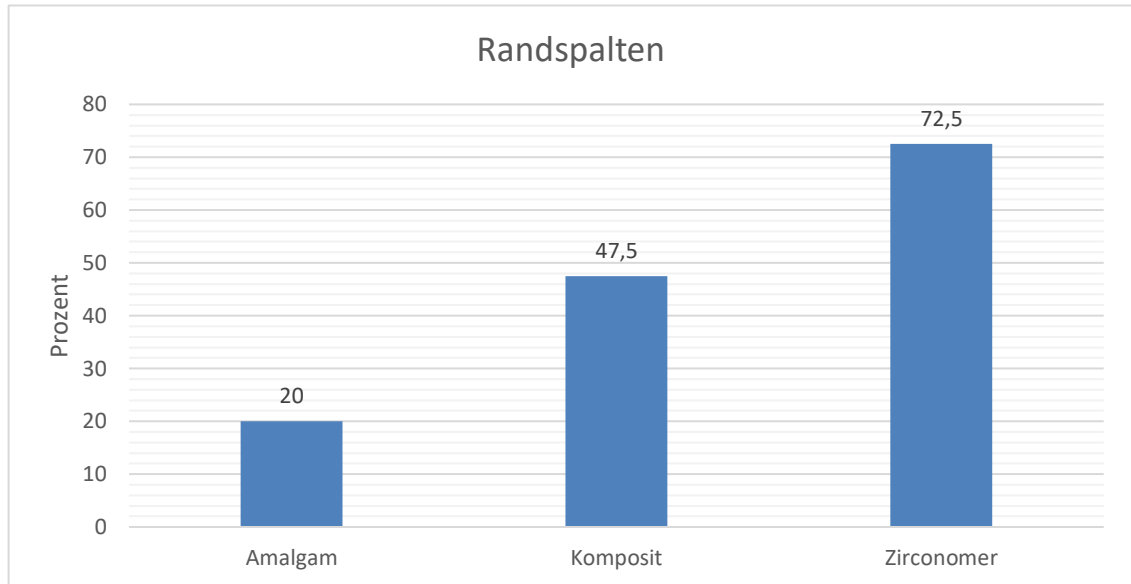


Abbildung 5: Randdichtigkeit von Amalgam, Komposit und Zirconomer[43]

Derzeit sind Amalgam und Komposit weit verbreitet. Obwohl neue Materialien wie Zirconomer publiziert werden, erweist sich Amalgam immer noch als eines der besten Materialien.[43]

Albeshti und Shahid unterteilten die Ausdehnung der Randspalten und damit der Farbpenetration von 0,5% Methylenblau in fünf Ergebnisse:[36]

0: Kein Eindringen von Farbe

1: Eindringen der Farbe bis zu 1/3 der Kavitätenwand

2: Eindringen der Farbe bis zu 2/3 der Kavitätenwand

3: Eindringen der Farbe auf die gesamte Kavitätenwand

4: Eindringen der Farbe auf die gesamten präparierten Kavitätenwände

[36]

Sie testeten die vier Materialien Zirconomer, Ketac Silver, Filtek Z500 (Komposit) und Dispersalloy (Amalgam). Bei allen Materialien kam es zu einem beträchtlichen Eindringen von Farbe. Deutlich am besten hat Amalgam mit einem Ergebnis von $(0,57 \pm 0,53)$ abgeschnitten. Zirconomer erreichte mit $(2,86 \pm 0,69)$ ein ähnliches Ergebnis wie Komposit $(2,86 \pm 1,06)$.

Ketac Silver erreichte mit $(3,71 \pm 0,48)$ das schlechteste Resultat in der Variable Randdichtigkeit.[36]

Zufolge der hydrophilen Eigenschaft von GIZ saugen sie die Farbe ebenfalls auf. Besagtes kann in weiterer Folge zu einem falsch positiven Ergebnis führen. Bei der Untersuchung auf Randspalten wurde eine gewisse Dehydrierung festgestellt, die zu einer vermehrten Aufnahme an Farbstoff geführt haben könnte.[36]

In der Studie von Kumari und Singh wurden im Jahr 2022 drei Restaurationsmaterialien miteinander verglichen. Zirconomer, Cention N und GC Fuji II wurden im Hinblick auf ihre Dentinscherftung und Randspaltenbildung untersucht. Cention N ist dualhärtend und wird mit einem Adhäsiv verwendet. In ihrem Versuch wurde das Material lichtgehärtet. Zirconomer und GC Fuji II sind selbsthärtend. Auf 30 Prämolaren wurden die Klasse-V Restaurationen nach dem Thermocycling mit 0,5 % Methylblau eingefärbt und beurteilt. Cention N wies wesentlich weniger Randspalten auf als Zirconomer und GC Fuji II.[45]

Firouzmandi et al. testeten Cention, Bonded Cention und Komposit auf ihre Randdichtigkeit und kamen in ihrer Studie auf das Ergebnis, dass es bei minimalinvasiven Präparationen keine signifikanten Unterschiede in der Randadaptation gibt. Bonded Cention erreichte mit (96.38% ± 4.60%) die beste Randadaptation. Cention erreichte (93.01% ± 4.54%) und Komposit (92.52% ± 4.06%). Bei den ausgedehnten Präparationen hingegen gab es deutliche Differenzen. Die höchste Adaptation erreichte Cention mit (95,15% ± 5,40%), gefolgt von Bonded Cention (90,95% ± 7,28%). Komposit erreichte nur (81,45% ± 7,54%). Es zeigt sich, dass das Volumen einen Einfluss auf die Randspaltenbildung hat. Cention N erwies sich als vielversprechend sowohl in den minimalinvasiven als auch in den ausgedehnten MOD-Kavitäten. In dieser Studie wurden die Proben 1000 mal thermozykliert.[47]

Aluminiumchlorid-Hämostatikum führte bei Giomeren zu höheren gingivalen Randspalten, wenn dieses nicht vollständig entfernt wurde.[49] Gleiches gilt auch für CHX zur Kavitätendesinfektion.[50]

4.1.2 Farbstabilität (Ästhetik)

Veränderungen in der Farbstabilität sind, unabhängig von Restaurationsmaterial und Beschichtung, im Laufe der Zeit nicht zu verhindern. Equia Forte Fil zeigte eine geringere Tendenz zur Verfärbung als Cention N. Dennoch kam es bei beiden Materialien zu Verfärbungen bei allen getesteten Getränken wie PBS, Tee, Cola und Kaffee.[41]

4.1.3 Anwendungsgebiete

Cention N und Equia Forte Fil werden bei bleibenden Zähnen für die Restauration von Klasse I, Klasse II und Zahnhalsdefekten genutzt.[41]

Aufgrund der guten mechanischen Eigenschaften kann Zirconomer improved als preiswertes Restaurationsmaterial in vielen klinischen Situationen eingesetzt werden.[51]

4.1.4 Fluoridfreisetzung

Bei der Kavitätenpräparation zur Kariestherapie werden oft nicht alle Bakterien entfernt. Mikroorganismen im Dentin und Randspalten können zu Sekundärkaries und in weiterer Folge zu einer Entzündung der Pulpa führen. Demineralisiertes Dentin kann in manchen Fällen bei der Präparation intakt gelassen werden, um ein Eröffnen der Pulpa zu vermeiden. Da dieses Dentin Mikroorganismen beinhaltet, muss zur Behandlung ein Material verwendet werden, das eine antibakterielle Wirkung gegen kariogene Bakterien aufweist. Eines der vorteilhaften Eigenschaften von GIZ ist eine hohe Fluoridfreisetzung, die eine solche Behandlung ermöglicht.[37] Streptococcus mutans, Streptokokken aus der Gruppe der sogenannten non-mutans-Streptokokken, Actinomyces und Lactobacillus sind an der Entstehung von Karies beteiligt.[52]

Eine Fluoridfreisetzung kann bei der Prävention von Karies wirksam sein, indem sie die primären Kariesbakterien reduziert.[53]

In der Studie von Schraeverus et al. wurde festgestellt, dass eine präventive Versiegelung von MIH betroffenen Seitenzähnen zu einer verringerten Wahrscheinlichkeit führt, Karies zu entwickeln. Zähne, die nicht mit GIZ versiegelt wurden, hatten eine 77% höhere Wahrscheinlichkeit, Karies zu entwickeln.[54]

Die antibakterielle Eigenschaft führte zu einem großen Interesse an GIZ. Łuczaj-Cepowicz et al. testeten vier Glasionomerezemente in ihrer Studie. Fuji Triage (GC), Fuji IX (GC), Ketac Molar (3M Espe) und Ketac Silver (3M Espe) wurden an den Bakterienstämmen *Streptococcus mutans*, *S. sanguis*, *S. salivarius* und *Lactobacillus casei* getestet. Das Wachstum aller vier Bakterienstämme wurde durch Fuji Triage gehemmt. *S. sanguis* wurde durch Fuji IX am stärksten gehemmt. Ketac Molar zeigte antibakterielle Aktivität gegen *S. sanguis* und *S. salivarius*, während Ketac Silver auch gegen *S. mutans* wirksam war. *L. casei* wurde durch keinen der Ketac Zemente im Wachstum gehemmt.[37]

Sagmak et al. testeten sieben glasionomerbasierte Materialien auf die Freisetzung von Fluorid. In ihrer Studie wurden ein hochviskoser GIZ (EQUIA/GC), zwei resinmodifizierte Glasionomere (Fuji II LC/GC, Photac Fil Quick Aplicap/3M Oral Care), zwei herkömmliche Glasionomere (Ketac Molar Easymix/3M, Fuji II/GC) und zwei Kompomere (Freedom/SDI, Dyract XP/Dentsply Sirona) überprüft. Eine Fluoridfreisetzung konnte bei allen festgestellt werden. Eine antimikrobielle Wirkung gegen *S. mutans* und *L. acidophylus* konnte nur bei den Kompomeren nicht aufgezeichnet werden. Die höchste Fluoridfreisetzung, im Vergleich zu den anderen getesteten Materialien der Studie, wurde bei Fuji II LC gemessen.[53]

Ein Material das Fluorid freisetzt ist besonders bei kariesaktiven Patient*innen zu bevorzugen. Zirconomere weisen laut Kukreja et al. eine signifikant höhere Fluoridfreisetzung auf als Glasionomerezemente.[42]

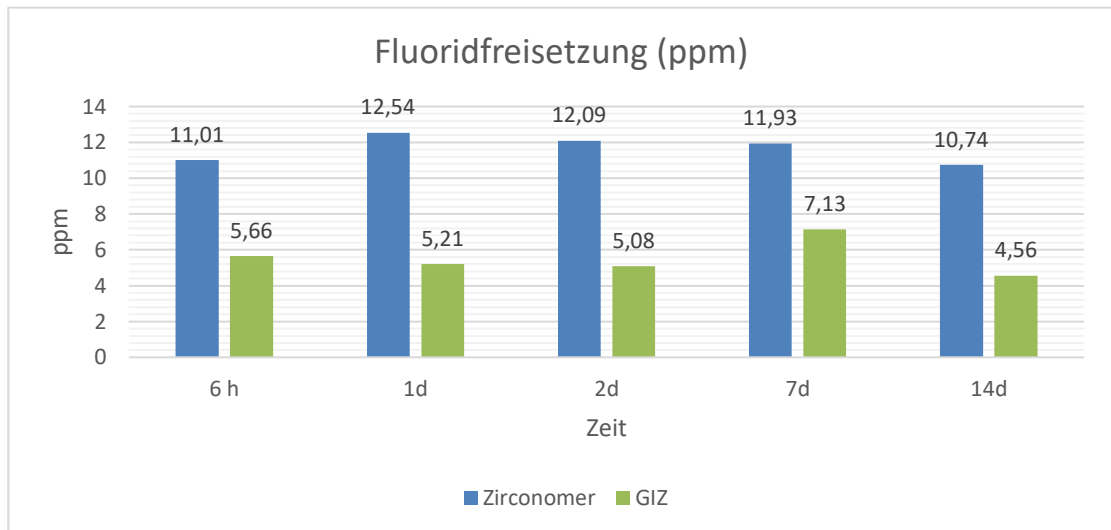


Abbildung 6: Fluoridfreisetzung von Zirconomer und GIZ in ppm[42]

Feiz et al. überprüften in ihrer Studie die Fluoridfreisetzung von einem resinmodifizierten GI, Zirconomer, Giomer (Beautifil) und Cention N. Giomer hatte über den gesamten Zeitraum die geringste Freisetzung an Fluorid, Zirconomer im Durchschnitt die höchste. Die genauen Ergebnisse sind in der nachfolgenden Grafik dargestellt.[44]

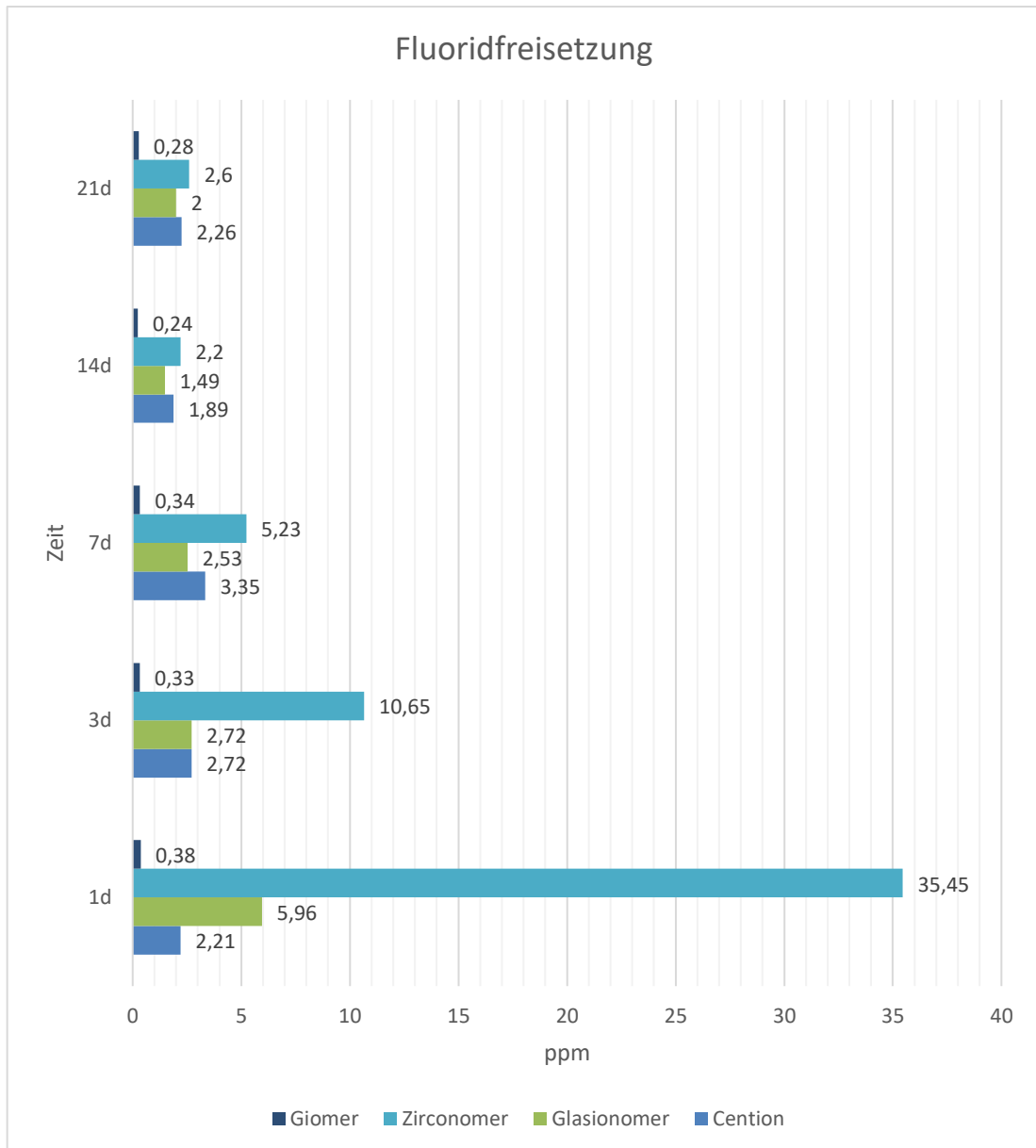


Abbildung 7: Fluoridfreisetzung von Giomer, Zirconomer, Glasionomer und Cention in ppm[44]

4.1.5 Adhäsion

Die Adhäsion ist wichtig, da sie Randspalten reduziert, für die Retention der Füllung sorgt und in weiterer Folge das Entstehen von Sekundärkaries verhindert.[35]

In der Studie von Kumari und Singh wurden im Jahr 2022 drei Restaurationsmaterialien miteinander verglichen. Zirconomer, Cention N

(lichthärtend und mit einem Adhäsiv) und GC Fuji II wurden an plan geschliffenen Okklusalfächen an 30 Prämolaren in einer zylindrischen Form nach den Herstellerangaben befestigt, einen Tag bei 100% Luftfeuchtigkeit gelagert und danach die Dentinscherhaftung beurteilt. Cention N wies die höchste und GC Fuji II die niedrigste Haftfestigkeit auf.[45]

Die Haftwerte von vier selbstadhäsiven Restaurationsmaterialien, die keine Vorbehandlung benötigen und vier Restaurationsmaterialien, die eine Vorbehandlung des Dentins benötigen, wurden von Sadeghyar et al. in einer Studie überprüft. An 160 Rinderzähnen wurde getestet, ob eine Vorbehandlung des Dentins von Vorteil ist oder nicht. Die getesteten Materialien waren Activa BioActive (ABA), Cention Forte (CNF), Ceram.x Spectra ST (CXS), Riva self-cure (RSC), Equia Forte (EQF), Fuji II LC (FJI), Ketac Molar (KTM) und Surefil one (SFO). Die maximal mögliche Belastung war bei den Materialien, die eine Vorbehandlung benötigen wesentlich höher als bei denen, die keine Vorbehandlung benötigen. Fuji II LC wies die höchste Rate an Versagen vor der Messung der Ergebnisse auf. Nur bei GIZ ohne Vorbehandlung kam es zu Defekten im Vorfeld. Surefil one wies in dieser Gruppe die höchste Haftkraft auf. Diese Studie zeigt, dass eine weitere Reduzierung der Behandlungsschritte bei derzeitigen Amalgamalternativen, wie zum Beispiel der Verzicht auf die Vorbehandlung des Dentins, wie es bei selbstadhäsiven Materialien der Fall ist, zu einer Reduzierung der Haftkraft führt.[40]

4.1.6 Toxizität

Im Gegensatz zu Amalgam gibt es keine Marker für die Exposition für die Bestandteile der Alternativen und keine ausreichenden Daten über ihre Toxizität. Weiters gibt es bei der Erhebung der Expositionswerte erhebliche Einschränkungen. Freigesetzte Ionen aus Glasionomeren, sowie die bei Komposit verwendeten Säuren und Monomere, die in Polymerisationsreaktionen nicht reagiert haben und daher im ausgehärteten Zustand weiter existieren, sind von großer Bedeutung. Moleküle, die bei Abbindereaktionen (Polymerisation und Säure-Base-Reaktion) verwendet

werden, sind chemisch aktiv und stehen im Verdacht beim Menschen toxische Wirkungen aufzuweisen. Diese Reaktionen finden sehr schnell statt und wandeln die meisten Moleküle in einen wenig reaktiven Zustand um, oder sie können nur sehr begrenzt diffundieren und auslaugen, da sie in einer festen Masse eingeschlossen sind. Es wird angenommen, dass der*die Patient*in während des Setzens der Füllung den Molekülen in geringem Maße ausgesetzt ist. Nachdem die Füllung gesetzt ist, ist die Freisetzung während ihrer Lebensdauer aber signifikant reduziert.[8]

4.1.7 Härte und Bruchfestigkeit

Eine Veränderung der Nanohärte ist über die Lebensdauer einer Füllung unvermeidbar. Die Oberflächenhärte ist sowohl für die Ästhetik als auch für die Langlebigkeit von Restaurationen von Bedeutung.[41]

Die Bruchfestigkeit von intakten Zähnen ist am höchsten. Darauf folgen absteigend der glasfaserverstärkte Komposit EverX Posterior, Cention N und abschließend unrestaurierte Zähne.[28]

Cention N, Zirconomer improved und der herkömmliche Glasionomerzement GC Gold Label Type IX Extra wurden in der Studie von Adsul et al. im Jahr 2022 verglichen. Die Härte und Biegefestigkeit von Cention N hat die von Zirconomer und GC Gold Label Type IX Extra übertroffen. Es konnte jedoch während der Lagerung im künstlichen Speichel bei jedem der drei Materialien eine Abnahme hinsichtlich beider genannten Eigenschaften von Tag 1 bis Tag 28 festgestellt werden.[51]

Nach 28 Tagen zeigte Equia Forte eine geringere Oberflächen-Nanohärte als Cention N. Bei beiden Materialien kam es im Laufe der Zeit zu einer Erhöhung der Nanohärte.[41]

Marovic et al. testeten vier Materialien. Alkasit Cention (Ivoclar Vivadent) im selbsthärtenden und im lichthärtenden Modus, Giomer Beautifil II (Shofu), den herkömmlichen Glasionomer Fuji IX (GC) und ein Komposit Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent). Es wurde die Biegefestigkeit, das Elastizitätsmodul und das

Weibull-Modul überprüft. Nach einem Tag, drei Monaten ohne beschleunigter Alterung und nach drei Monaten mit beschleunigter Alterung in Ethanol wurden die Ergebnisse gemessen. Die Löslichkeit und die Wasseraufnahme wurden bis zu einem Jahr lang bewertet. Beautifil II wies die höchste Biegefestigkeit, Elastizitätsmodul, Weibull-Modul und Alterungsbeständigkeit auf. Fuji IX wies schlechtere mechanische Eigenschaften als Cention auf und hatte laut Weibull-Modul die unzuverlässigste Verteilung der mechanischen Eigenschaften und die höchste Wasseraufnahme. Selbsthärtendes Cention erreichte nach ISO 4049 einen unzulässig hohen Wert in der Löslichkeit. Cention wird nur in der lighthärtenden Version empfohlen, da der Umwandlungsgrad höher ist und somit die Wasseraufnahmefähigkeit geringer und die mechanischen Eigenschaften besser als die von Fuji IX ist. Selbsthärtendes Cention führt kurz nach dem Einbringen zu einer geringeren Polymerisation des Materials, hoher Löslichkeit und schlechten mechanischen Eigenschaften.[29]

Firouzmandi et al. stellten einen Zusammenhang in der Ausdehnung und Art der Restauration und der Frakturfestigkeit fest. Die getesteten Materialien Cention, Bonded Cention und Komposit zeigten in minimalinvasiven Präparationen signifikante Unterschiede in der Bruchfestigkeit, während es bei den ausgedehnten Präparationen zu ähnlichen Ergebnissen kam. Die höchste Bruchfestigkeit wies Bonded Cention bei den minimalinvasiven Präparationen auf, während es bei den ausgedehnten Präparationen die niedrigste aufwies. Insgesamt kommt es bei kleinen Präparationen zu einer höheren Frakturresistenz als bei ausgedehnten Präparationen.[47]

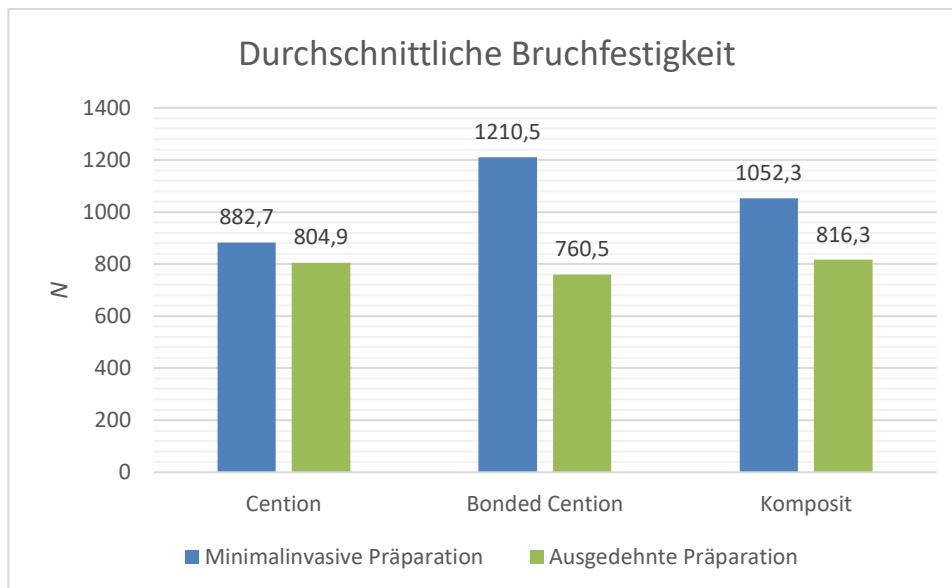


Abbildung 8: Bruchfestigkeit von Cention, Bonded Cention und Komposit bei minimalinvasiven und ausgedehnten Präparationen[47]

4.1.8 pH-Beständigkeit

Fuji IX GP, Riva, Ketac Molar und Chemfil Superior, wurden von Kłos et al. in unterschiedlichen Pufferlösungen mit pH-Werten von 5,42, 6,91 und 8,13, sieben Tage lang bei 37 °C gelagert und deren Auswirkungen auf die Glasionomere zemente untersucht. Die Ergebnisse fielen zwischen den einzelnen Materialien sehr unterschiedlich aus. Zu einer geringen Zunahme an Masse, aber einer hohen Druckfestigkeit und zu keinen Differenzen zwischen den unterschiedlichen Lösungen, kam es bei Ketac Molar. Während Fuji IX und Riva von den Puffern bei pH 6,91 und 8,31 negativ beeinflusst wurden, war dies bei Chemfil Superior bei jeder Lösung der Fall. Die Gründe für diese Varianz konnten nicht festgestellt werden. Der pH-Wert von 6,91 schädigte drei Zemente erheblich. Da dieser pH-Wert dem neutralen Wert am nächsten liegt, lässt sich ableiten, dass der Säuregehalt oder die Basizität nicht ausschlaggebend für dieses Resultat ist und eine unbekannte Wechselwirkung mit der Pufferlösung dafür verantwortlich sein muss.[55]

4.1.9 Lebensdauer

Im Jahr 1997 betrug die durchschnittliche Überlebenszeit für Amalgam 22,52 Jahre, Komposit 16,72 Jahre und Kronen schätzungsweise 26 Jahre. Nach 11,25 Jahren waren noch 75% der Glasionomere vorhanden.[56]

Hochviskose Glasionomerzemente weisen derzeit, besonders bei einflächigen atraumatischen Restaurationen, bessere Erfolgs- und Überlebensraten auf als herkömmliche Glasionomerzemente.[39]

Seit über 100 Jahren werden Studien über die Langlebigkeit der verschiedenen Restaurationsmaterialien durchgeführt. Infolge der angeführten Faktoren ist ein eindeutiges Deuten der Ergebnisse nicht möglich:[57]

1. Unterschiedlichen Validität der Studiendesigns wie: randomisierte, kontrollierte, prospektive, retrospektive, Kohorten- und Fallkontrollstudien
2. Hohe Drop-out-Raten in einigen Studien
3. Fehlen von Details in den Studien, wie zum Beispiel die Kavitätengröße [57]

Die vorhandenen Daten über die Langlebigkeit der unterschiedlichen Materialien zeigen nur die Tendenz, wie sich ein Füllungsmaterial verhalten kann. Querschnittliche, retrospektive Studien geben meist einen nur sehr groben Überblick über den Materialtyp und prospektive Studien liefern Informationen zu bestimmten Materialkombinationen, die nicht auf andere Kombinationen ebenfalls zutreffen müssen.[57]

Gurgan et al. testeten den GIZ Equia und den Mikrohybridkomposit Gradia Direct an 80 Klasse-I und 60 Klasse-II Kavitäten an 59 Patient*innen. Die Restaurationen wurden über sechs Jahre nach den modifizierten USPHS-Kriterien bewertet. Bei beiden Materialien variierten die klinischen Ergebnisse der Randadaptation und der Randverfärbung deutlich zwischen den Klasse-I und Klasse-II Restaurationen, während Equia und Gradia Direct dabei untereinander zu einem äquivalenten Ergebnis kamen. Bei Equia kam es zu

einer sukzessiven Abnahme der Farbübereinstimmung. Lediglich zwei Klasse-II Füllungen mit Equia fehlten nach vier Jahren. Beide Materialien zeigten eine gute Langlebigkeit.[58]

An 117 Milchzähnen an vier- bis achtjährigen Kindern wurde Ketac Molar (3M ESPE) und Vitro Molar (Nova DFL) getestet. Sie haben in der klinischen Studie von Pacheco et al. bei okkluso-proximalen ART-Restaurationen nach einem Jahr eine Überlebensrate von insgesamt 42,74 %. Die Erfolgsrate nach einem Jahr war bei Vitro Molar 34,48% und bei Ketac Molar 50,85%. Allerdings zeigen Metaanalysen eine große Divergenz.[30]

Klinke et al. untersuchten in ihrer Studie das klinische Verhalten von Equia Fil mit einer nanogefüllten Kunststoffbeschichtung und dem herkömmlichen Fuji IX G fast mit einer LC-Beschichtung. Die Beurteilung wurde nach den World Dental Federation (FDI) Kriterien für Restaurationsmaterialien durchgeführt. Nach einem Jahr, zwei Jahren, drei Jahren und vier Jahren wurden die 515 okklusalen Füllungen im Seitenzahnbereich mit Equia Fil mit einer nanogefüllten, lichthärtenden Kunststoffbeschichtung und die 486 mit Fuji IX GP fast mit einer LC-Beschichtung an den 643 Patient*innen kontrolliert. Die Füllungen wurden von 111 Zahnärzt*innen gelegt. In dieser Studie identifizierten die Autor*innen, durch Variation der unabhängigen Variablen: Kavitätengröße, dass dies das entscheidende Kriterium für den Erfolg der Füllung ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Material ersetzt werden muss, ist bei Klasse-II (zwei Oberflächen) 43 mal und Klasse-II mesial-okklusal-distal (drei Oberflächen) 296 mal höher als bei Klasse-I Füllungen. Bei Fuji IX GP ist die Chance größer, dass die Füllung erneuert werden muss, als bei Equia Fil. Das Equia-System wies ein besseres Gesamtergebnis und ein geringeres Versagen auf. Beide Materialien erreichten ein gutes und ähnliches Ergebnis bei Klasse-I Kavitäten. Die Restaurationen der Klasse-II erreichten bei Anwendung der FDI-Kriterien für klinische Studien zu einem hohen Anteil nur das Ergebnis einer unbefriedigenden bis schlechten Füllung.[59]

In der Studie von Messer-Hannemann et al. vom Jahr 2022 wurden DeltaFil, Fuji IX GP und Ketac Universal auf ihre Verschleißfestigkeit an Klasse-I Kavitäten in menschlichen Zähnen in einem Kausimulator getestet. DeltaFil

vollendete alle 1,2 Millionen Zyklen ohne ein Versagen einer Füllung. Bei Ketac Universal und Fuji IX GP erreichten nur 37,5 % der Restaurationen 1,2 Millionen Zyklen. DeltaFil erreichte die beste Abrasionsbeständigkeit. Dieses Ergebnis zeigt im Vergleich zu den getesteten Glasionomern eine verbesserte Verschleißfestigkeit und Langlebigkeit. Damit weist DeltaFil gute Voraussetzungen für den Einsatz in permanenten Klasse-I Restaurationen auf.[60]

Navarro et al. testeten in ihrer in vitro Studie im Jahr 2021 18 verschiedene Glasionomere. Die 21 Spezialist*innen waren sich einig, dass die primären Eigenschaften wie Druckfestigkeit, Mikrohärtigkeit, Säureerosion und Fluoridfreisetzung sowie die sekundären Eigenschaften, wie das Kontrastverhältnis und der Transluzenzparameter von Bedeutung sind, um eine Rangliste der Materialien erstellen zu können. Um die voraussichtliche Langlebigkeit der Füllung zu eruieren, wurden die primären Eigenschaften herangezogen und die Materialien darauf getestet. In diesem Prozess zeigte sich, dass die sieben Materialien: Ionomaster, Ion Z, Ionglass, Vitro Fil, Maxxion R, Magic Glass und Bioglass R nicht die ausreichenden Eigenschaften für eine Langzeitrestauration aufwiesen. Die Materialien Chemfil Rock, Equia Forte, Gold Label 2, Gold Label 9, Glass Ionomer Cement II, Ionofil Plus, Ionostar Plus, Ketac Molar Easymix, Riva self-cure, Vidrion R und Vitro Molar waren hingegen für Langzeitrestaurationen geeignet.[61] Die genaue Reihung der Materialien, in Bezug auf die Eigenschaften, sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt und können als Orientierung für die individuelle patient*innenorientierte Behandlung dienen.

Material	Rang Gesamt	Rang Mikrohärte	Rang Druckfestigkeit	Rang Säureerosion	Rang Fluoridfreisetzung
Equia Forte	1	1	1	11	12
Glass Ionomer Cement Type II	2	3	3	7	9
Gold Label 9	3	4	2	5	14
Ketac Molar Easymix	4	6	4	2	16
Ionofil Plus	5	9	5	4	8
Gold Label 2	6	2	6	9	17
Ionostar Plus	7	8	7	12	11
Chemfil Rock	8	7	9	6	18
Vidrion R	9	11	10	3	13
Vitro Molar	10	12	8	10	10
Riva	11	10	11	8	15
Ion Z	-	5	12	16	4
Ionomaster	-	16	15	1	6
IonGlass	-	13	13	13	7
Maxxion R	-	17	14	14	1
Vitro Fil	-	14	16	15	2
Bioglass R	-	15	18	17	5
Magic Glass	-	18	17	18	3

Tabelle 1: Reihung der unterschiedlichen Glasionomercemente in Bezug auf ihre Eigenschaften[61]

5 Diskussion

5.1 „Phase-out“

Während des Verfassens dieser Diplomarbeit wurde in Folge des Meetings vom 08.02.2024, am 21.02.2024 der vorläufige Plan für die Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2017/852 über Quecksilber in Bezug auf Dentalamalgam und andere mit Quecksilber versetzte Produkte, die Herstellungs-, Einfuhr- und Ausfuhrbeschränkungen unterliegen, vom „Permanent Representatives Committee“ gestattet. Sollte das Europäische Parlament diesen genehmigen, tritt das Gesetz in Kraft. Damit würde mit dem 01.01.2025 ein Amalgamverbot herrschen, außer der*die behandelnde Zahnarzt*Zahnärztin hält eine Behandlung mit Amalgam, aufgrund der vorliegenden speziellen medizinischen Situation des*der Patienten*Patientin, für unbedingt erforderlich. Eine Ausnahme besteht bei Mitgliedsstaaten, in denen kein anderes Material zu mindestens 90% erstattet wird und in denen Personen mit einem niedrigen Einkommen sozioökonomisch unverhältnismäßig stark betroffen sind. In diesem Fall darf das betroffene Land innerhalb von einem Monat nach Inkrafttreten, dies inklusive durchzuführender weiterer Maßnahmen der Kommission mitteilen und Amalgam bis zum 30.06.2026 verwenden.[62]

Für die Gesundheitssysteme ist Karies, eine der am weitesten verbreiteten Krankheiten, auch künftig eine erhebliche Belastung.[63] Ein „Phase-out“ im Jahr 2025 würde, wie oben bereits beschrieben, in der EU eine geschätzte Reduktion an Quecksilber von 114,4 Tonnen und im ersten Jahr nach dem Eintreten der Abschaffung zusätzliche EU weite Kosten von 208 Millionen Euro bedeuten.[22]

Durch diesen Beschluss würde es zu einem Benefit für die Umwelt und Gesundheit, aber auch zu einer Einschränkung der konservierenden Behandlungsoptionen und für die Patient*innen zu möglicherweise

zusätzlichen Kosten kommen, da ein alternatives Material verwendet werden müsste.[22]

Für die behandelnden Zahnärzt*innen kann das neue Gesetz sowohl von Nachteil sein, da das Legen der alternativen Füllungen komplizierter ist, mehr Zeit benötigt und somit zu mehr Kosten führt, als auch von Vorteil, indem dies schlussendlich zu höheren Einnahmen führen würde.[22] Bei der restaurativen Therapie mit Amalgamalternativen ist eine minimalinvasive Präparation relevant und führt zu einer komplexeren Behandlung.

Für die Patient*innen fallen die Auswirkungen je nach Staat unterschiedlich aus. Durch den raschen „Phase-out“ werden die Preise der Alternativen in kürzerer Zeit sinken. Versicherungen hingegen können sich durch das eingeschränkte Zeitfenster schlechter adaptieren.[22]

Trotz zahlreicher Studien gibt es keine Beweise dafür, dass Amalgamfüllungen zu negativen gesundheitlichen Konsequenzen führen.

Der Benefit dieses Beschlusses besteht hauptsächlich in seinem Einfluss auf die Umwelt.[25]

Die Forschung an besseren Amalgamalternativen ist momentan von wesentlicher Bedeutung, um die derzeitigen Einschränkungen und toxologischen Risiken zu neutralisieren.[8]

5.2 Alternativen

Um die aktuell bestmögliche Behandlung der Patient*innen zu gewährleisten, sollten die Patient*innenmerkmale für die Wahl des Füllungsmaterials berücksichtigt werden.[8]

Aufgrund der ständigen Entwicklung der Amalgamalternativen, der steigenden Langlebigkeit und der zunehmenden Erfahrung der Zahnärzt*innen mit den Materialien kommt SCENIHR zu dem Entschluss, dass sie als angemessene Alternative fungieren können. In bestimmten klinischen Situationen, wie zum Beispiel bei großen Kavitäten und hohem Kariesaufkommen, sind sie Amalgam dennoch weiterhin unterlegen.[8]

Glasionomerzemente sind durch ihre antibakteriellen Eigenschaften für die Prophylaxe von Sekundärkaries für temporäre und permanente Restaurationen geeignet.[37]

Die hohe Fluoridfreisetzung macht Zirconomer zu einem bevorzugten Material für Patient*innen mit einem hohen Kariesrisiko. Weiters verschaffen ihm die in Zirconomer vorkommenden Zirkoniumdioxidpartikel gute mechanische Eigenschaften. Deshalb kann dieser für belastete Restaurationen verwendet werden.[42]

Zirconomer erreicht nach drei Tagen die höchste Fluoridaufnahme in das Dentin. Allerdings wurde laut der Studie von Mulay et al. im Jahr 2022 bei Ketac N100 nach 42 Tagen eine höhere Fluoridaufnahme in das Dentin beobachtet als bei Zirconomer.[64]

Cention N bewältigt in vitro mehr Zyklen beim Thermocycling und bei dem Ermüdungstest als herkömmliche Glasionomerzemente. In nicht retentiven approximalen Kavitäten an Molaren ist für die Restauration aus diesem Grund Cention N den Glasionomerzementen vorzuziehen. Dennoch konnte Cention N in einer Universalprüfmaschine einer zyklischen Kraft, die größer ist als die Kaukraft, nicht standhalten. Eine retentive Form der Kavität ist empfohlen, um den Erfolg der Füllung trotz eines längeren Zeitraumes der Belastung zu gewährleisten. In dieser Studie wurden jedoch die Empfehlungen des Herstellers, wie die Applikation des Haftvermittlers und ein retentives Kavitätendesign nicht befolgt und die Studie wurde unter trockenen Verhältnissen durchgeführt, was nicht den Gegebenheiten in der Mundhöhle entspricht.[65]

In der in vitro Studie von Kumari und Singh vom Jahr 2022 erreichte Cention N sowohl in der Randspaltenbildung als auch bei der Dentinhaftung bessere Ergebnisse als Zirconomer und GC Fuji II.[45]

Aus diesen Gründen sind Cention N und Zirconomer improved einem herkömmlichen Glasionomerzement bei Restaurationen in belasteten Regionen vorzuziehen.[51]

Für Kavitäten an Milchzähnen und kleine nicht belastete Regionen im bleibenden Gebiss wurde GIZ verwendet. Der Artikel von Amalavathy et al.

betont, dass hochviskose Glasionomerezemente von Amalgamrestorationen hierbei nicht übertroffen werden. Ist der hochviskose Glasionomerezement mit einem Resin-Coating beschichtet, punktet er durch seine Feuchtigkeitsbeständigkeit, der einfachen Anwendung, der Fluoridfreisetzung und damit der antikariogenen Eigenschaft. Dennoch weisen kunststoffmodifizierte Glasionomere eine höhere Verschleißfestigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Glasionomerezementen auf.[41]

Seit der Einführung der Glasionomerezemente kam es zu einer mehrfachen Modifikation.[66] Beginnend mit ASPA I, führte die Entwicklung von den herkömmlichen bis zu den hochviskosen Glasionomerezementen und Glas-Hybriden.

Ihr Einsatzbereich wurde dadurch in den letzten Jahren erweitert. Vorteile von GIZ sind die Adhäsion, die Fluoridfreisetzung und ihre Farbe. Die Nachteile sind die Opazität, die Feuchtigkeitsempfindlichkeit, die geringe Härte und die kontinuierliche Materialermüdung. Aus diesen Gründen wurden sie in der Vergangenheit nur bei keiner starken okklusalen Belastung und ausreichender Zahnhartsubstanz eingesetzt.[66] Dennoch kann Glasionomerezement durch seine positiven Eigenschaften in vielen klinischen Situationen eingesetzt werden.[37] Er wird oft aufgrund seiner einfachen Handhabung als Ersatz für Amalgam verwendet. Dennoch ist er strenggenommen kein Amalgamersatzmaterial, da er unzureichende physikalische und chemische Eigenschaften besitzt.[40] Durch die fortwährende Anwendung dieser Alternativen konnten ihre positiven und negativen Eigenschaften festgestellt werden und in weiterer Folge immer mehr Nachteile durch die Forschung und Modifikation behoben werden. Infolgedessen entstehen fortlaufend leistungsfähigere Substanzen.[34]

Komposit würde eine sinnvolle Amalgamalternative darstellen. Dennoch scheidet dieses Material für diesen Zweck durch die komplizierte Applikation, die benötigte Zeit, um die Füllung zu legen und die erhöhten Kosten aus.[40] Weiters muss bei derartigen Materialien darauf geachtet werden, dass sie nicht mit Flüssigkeiten in Kontakt kommen. Im Gegensatz zu GIZ ist ihre Techniksensitivität sehr hoch.[67]

Derzeit entwickeln Firmen Restaurationsmaterialien, die im Vergleich zu Komposit schneller und einfacher zu verwenden sind.[40]

Bulk-Fill-Komposite können in weniger Zeit und geringerem Aufwand im Gegensatz zu herkömmlichen Kompositen platziert werden, da sie in einem Schritt bis zu einer Dicke von 5 mm polymerisiert werden können.[46] Ihr Nachteil ist jedoch die mangelhafte Ästhetik.[21] Weiters erreichen flowable Bulk-Fill-Restorationen eine geringere Randdichtigkeit als klassische Komposite.[68]

Bei der Restauration von Zähnen sollten die Folgekosten nicht unbeachtet bleiben. Eine anfänglich kostengünstige Restaurationsvariante kann unter Umständen durch das Auftreten von häufigeren Komplikationen zu vermehrten nachträglichen Kosten führen.[69]

Hinsichtlich der Gesundheit und der klinischen Einschränkungen gibt es sowohl bei den Amalgamalternativen als auch bei Amalgam Bedenken. Bei den Alternativen kann es durch organische und anorganische Stoffe in der Kavität und naheliegenden Geweben zu chemischen Reaktionen kommen. Eine ausreichende Untersuchung zu den gesundheitlichen Auswirkungen dieser Stoffe wurde noch nicht durchgeführt. Lediglich in in vitro Studien konnte sowohl ausgehend von den Monomeren eine Zytotoxizität für die Pulpa und Zahnfleischzellen als auch bei einigen Alternativen eine Mutagenität festgestellt werden. Die Langzeitfolgen davon sind nicht absehbar. Aus diesen Gründen ist die Erforschung der Toxizität und neuer Alternativen mit einer hohen Biokompatibilität von großer Bedeutung.[8]

Da in einigen Situationen, wie bei Füllungen in sehr stark belasteten Regionen oder bei Füllungen mit Höckerdeckungen, kein ausreichender Behandlungserfolg mit den derzeit kostengünstigen Amalgamalternativen gewährleistet werden kann, muss im Sinne der Patient*innen und der behandelnden Zahnärzt*innen eine Lösung gefunden werden. Zum Beispiel könnte diese Problematik durch eine Kostenübernahme der Kassen bei einer unverkennbaren Indikation behoben werden. Auch die Versicherungen würden durch das Verhindern von Folgekosten durch das Versagen kostengünstigerer Alternativen nachfolgend profitieren.

5.3 Ausblick in die Zukunft der Kariestherapie

Mittlerweile wird an dem Konzept der regenerativen Zahnmedizin geforscht. Das Ziel dabei ist eine biologische Reparatur über den Wnt-Signalweg zu erreichen. Dabei wurden bereits große Fortschritte erzielt. Die Zeit für die Remineralisierung und die verbesserte Funktionalität bleiben dennoch eine große Herausforderung. Die Bildung von reparativem Dentin kann laut neuen Forschungen durch die Mobilisierung der Stammzellen über den Wnt-Signalweg erreicht werden. Durch diesen Signalweg wird eine Kaskade von Molekülen, die an der Zell-zu-Zell-Kommunikation beteiligt sind, ausgelöst. Dies ist ein wesentlicher Faktor für die Stammzellenentwicklung und damit der Gewebereparatur. Hoffnung auf die Behandlung von Zahnkaries in naher Zukunft gibt ein bereits getestetes Medikament für die Behandlung von Alzheimer und anderen neurologischen Erkrankungen, das den Wnt-Signalweg aktiviert. Derzeit liegt der Fokus der Forschung auf den leicht zugänglichen Quellen, die nach der in-vitro-Expansion das odontogene Signal für das Bioengineering aufrechterhalten und damit lebensfähig sind. Dieses neuartige experimentelle Konzept basiert auf dem Wissen über die zugrundeliegenden Mechanismen der Zahnentwicklung und der biologischen Prozesse der Heilung und Reparatur. Das natürliche Heilungspotenzial des Zahngewebes führt dabei zur Wiederherstellung.[27]

5.4 Probleme

Während der Recherche zeigten sich teilweise unterschiedliche Ergebnisse in den Studien: Laut Ranadheer et al. wird Zirconomer als „weißes Amalgam“ dargestellt. In ihrer Studie kommt es bei dem Zirkoniumdioxid-modifizierten Glasionomierzement zu einer geringeren Randspaltbildung als bei Amalgam oder Miracle Mix. Die Anwendung von Amalgam zeigte das schlechteste Ergebnis.[70] Somit ist ihre Studie die einzige, in der Amalgam die meiste Randspaltbildung hat und Zirconomer die geringste. Ein Grund für diese Differenz der Ergebnisse könnte die Verwendung von 2% Methylenblau in der

Studie von Ranadheer et al. sein, da in den anderen bereits genannten Studien 0,5% Methylenblau verwendet wurde.

In der Studie von Feiz et al.[44] wird eine andere ppm Freisetzung als bei der Studie von Kukreja et al.[42] aus Zirconomer und Glasionomer angegeben. Ein möglicher Grund für diese Differenz ist, dass Feiz et al. die Probe erst nach dem Schütteln der Behälter entnommen haben und daraufhin mit 0,1 ml Gesamtpuffer verdünnt haben. Kukreja et al. hingegen verwendeten 1 ml Pufferlösung. Weiters könnte die sehr hohe Fluoridfreisetzung von Zirconomer am ersten Tag der Messung von Feiz et al. mit einer verzögerten Aushärtung von Zirconomer und damit dem Freisetzen an Volumen des Materials erklärt werden. Somit wäre es strenggenommen nicht die Fluoridfreisetzung, sondern die Abbindereaktion, die zu dem erhöhten Wert führt.

Überdies gab es eine nicht ausreichende Anzahl an Studien, welche die verschiedenen Amalgamersatzmaterialien untereinander verglichen und in einem noch geringeren Maße Studien, die Amalgam und Amalgamalternativen miteinander verglichen. Auch eine mangelnde Qualität und Personenzahl, sowie ein großer Anteil an in vitro Studien fielen auf. Durch die schnelle Modifikation und der steten Entwicklung neuer Materialien sind, aufgrund von Änderungen der Inhaltsstoffe und der Zusammensetzung, Langzeitstudien nur schwer durchführbar. Ein Vergleich der Studien ist aufgrund der unterschiedlichen Durchführung, Varianzen in der Bewertung der Ergebnisse und Überprüfung von differierenden Materialien unrealisierbar. Weiters gibt es wenige bis keine Langzeitstudien zu neuen Materialien.

Um viele dieser Unklarheiten zu beseitigen, müssen künftig groß angelegte prospektive Langzeitstudien durchgeführt werden, in denen die derzeit verfügbaren Amalgamalternativen klinisch überprüft werden und im Zuge dessen auf die gleiche Durchführung und Bewertung der Ergebnisse geachtet werden. Aus einer derartigen Studie könnte die optimale Füllung je nach Patient*innenbedürfnissen abgeleitet werden und anschließend daran möglicherweise eine Leitlinie erstellt werden. Das beste Material könnte darin identifiziert werden und infolgedessen könnte in nachfolgenden Forschungen,

durch bestimmte Modifikationen, ein Amalgamersatzmaterial, eventuell sogar ohne die Nachteile von Amalgam, gefunden werden.

6 Konklusion

Obwohl es mittlerweile eine große Anzahl an Amalgamalternativen gibt, hat sich noch keine als Amalgamersatz für alle klinischen Situationen erwiesen. Die Restauration mit den Alternativen kann zu komplexeren Behandlungen führen und sich auf die Kosten auswirken.[67]

Da bisher kein optimales Restaurationsmaterial für Kassenpatient*innen zur Verfügung steht, sollte die endgültige Wahl des Füllungsmaterials nach einer gründlichen Aufklärung individuell an die Patient*innen und die Situation angepasst werden. Folgende Punkte müssen beachtet werden:

1. Allergien
2. Individuelle gesundheitliche Situation der Patient*innen
3. Materialeigenschaften
4. Verfügbare Mittel
5. Defektgröße
6. Technische Möglichkeiten

[8]

Nach der im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten Literaturrecherche, kann folgende Zusammenfassung der Ergebnisse als Unterstützung zur Entscheidungsfindung, welche Amalgamalternative verwendet werden sollte, unter Berücksichtigung der genannten Aspekte, dienen:

Kriterium	Erste Wahl	Alternativen	Kontraindiziert
Patient*innen mit hohem Kariesrisiko / Fluoridfreisetzung (kurzzeitig)	Zirconomer	Ketac N100 Cention N Fuji II LC	Kompomer Gold Label 2 Gold Label 9 Ketac Molar Easymix Chemfil Rock Riva
Belastete Regionen / große Kavitäten	Cention N	Zirconomer (improved) Equia Forte Glass Ionomer Cement Type II	Ionomaster IonGlass Maxxion R Vitro Fil Bioglass R Magic Glass
Geringe Randspaltenbildung	Cention N	Zirconomer	Ketac Silver GC Fuji II
Farbstabilität	-	Equia Forte Fil	Cention N
Antibakterielle Eigenschaften	Fuji Triage	Fuji IX Ketac Molar	Kompomer
Adhäsion (ohne Vorbehandlung)	Surefil one	Equia Forte HT	Fuji II LC
Adhäsion (mit Vorbehandlung)	Activa BioActive	Cention Forte	Riva self-cure
Härte und Biegefestigkeit	Beautifil II	Cention N Zirconomer (improved)	GC Gold Label Type IX Extra Fuji IX
Volumensbeständigkeit	Beautifil II	Cention LC	Cention SC Fuji IX
pH-Beständigkeit	Ketac Molar Easymix	Vidrion R Ionofil Plus	Chemfil Superior Equia Forte Ionostar Plus Gold Label 2 Vitro Molar IonGlass Maxxion R Vitro Fil Bioglass R Magic Glass

Lebensdauer	Equia Forte	DeltaFil (Klasse-I Restaurationen) Glass Ionomer Cement Type II Gold Label 9	Vitro Molar Ketac Universal Fuji IX GP Ion Z Ionomaster IonGlass Maxxion R Vitro Fil Bioglass R Magic Glass
-------------	-------------	--	--

Tabelle 2: Zusammenfassung der Stärken und Schwächen der Amalgamalternativen

Jedoch reichen in einigen Situationen, wie bei Füllungen in sehr stark belasteten Regionen oder bei Füllungen mit Höckerdeckungen, die Eigenschaften der derzeitig preiswerten Amalgamalternativen noch nicht für einen ausreichenden Behandlungserfolg. Da eine ursprünglich kostengünstige Restaurationsvariante, durch das Auftreten häufigerer Komplikationen, zu erhöhten Folgekosten führen kann, sollte im Falle der genannten Gegebenheiten ein ausführliches Aufklärungsgespräch mit den Patient*innen geführt werden und eine Restauration, die nicht von den Versicherungen übernommen wird, wie zum Beispiel Komposit, in Betracht gezogen werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Bernardini F, Tuniz C, Coppa A, Mancini L, Dreossi D, Eichert D, et al. Beeswax as Dental Filling on a Neolithic Human Tooth. *PLoS One* 2012;7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044904>.
- [2] Singh H, Kaur M, Dhillon J, Mann J, Kumar A. Evolution of restorative dentistry from past to present. *Indian Journal of Dental Sciences* 2017;9:38–43. <https://doi.org/10.4103/0976-4003.201634>.
- [3] Hussain A, Khan FA. History of dentistry. *Chosen Ibo* 2014;2:106–10. <https://doi.org/10.4103/2321-4848.133850>.
- [4] Gallusi G, Libonati A, Piro M, Di Taranto V, Montemurro E, Campanella V. Is dental amalgam a higher risk factor rather than resin-based restorations for systemic conditions? A systematic review. *Materials* 2021;14. <https://doi.org/10.3390/ma14081980>.
- [5] Lynch CD, Arefeh Ahmadifard. Amalgam alternatives: replacing the irreplaceable? *Br Dent J* 2018;225:216.
- [6] Osiro OA, Kariuki DK, Gathece LW. The Minamata Convention on Mercury and its implications for management of dental caries in low- and middle-income countries. *Int Dent J* 2019;69:247–51. <https://doi.org/10.1111/idj.12461>.
- [7] Scholtanus JD, Özcan M, Huysmans MCDNJM. Penetration of amalgam constituents into dentine. *J Dent* 2009;37:366–73. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.01.009>.
- [8] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. The safety of dental amalgam and alternative dental restoration materials for patients and users 2015. <https://doi.org/10.2772/42641>.
- [9] Frankenberger R, Winter J, Schmalz G. Amalgam and alternatives—discussions on mercury reduction in the environment. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2021;64:847–55. <https://doi.org/10.1007/s00103-021-03355-4>.

- [10] Mackey TK, Contreras JT, Liang BA. The Minamata Convention on Mercury: Attempting to address the global controversy of dental amalgam use and mercury waste disposal. *Science of the Total Environment* 2014;472:125–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.115>.
- [11] Worthington H V., Khangura S, Seal K, Mierzwinski-Urban M, Veitz-Keenan A, Sahrman P, et al. Direct composite resin fillings versus amalgam fillings for permanent posterior teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2021. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005620.pub3>.
- [12] Aaseth J, Hilt B, Bjørklund G. Mercury exposure and health impacts in dental personnel. *Environ Res* 2018;164:65–9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.019>.
- [13] Björkman L, Lundekvam BF, Lægreid T, Bertelsen BI, Morild I, Lilleng P, et al. Mercury in human brain, blood, muscle and toenails in relation to exposure: An autopsy study. *Environ Health* 2007;6. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-6-30>.
- [14] European Commission. Commission Staff Working Dokument - Executive Summary of the Impact Assessment Report - Accompanying the document - Proposal for a - Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2017/852 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2017 on mercury as regards dental amalgam and other mercury-added products subject to manufacturing, import and export restrictions. Brussels: 2023.
- [15] European Environment Agency. The global mercury cycle 2018. https://www.eea.europa.eu/media/infographics/the-global-mercury-cycle/image/image_view_fullscreen.
- [16] European Commission. Commission Staff Working Document - Subsidiarity Grid - Accompanying the document - Proposal for a - Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2017/852 of the European Parliament and of the

Council of 17 May 2017 on mercury as regards dental amalgam and other mercury-added products subject to manufacturing, import and export restrictions. Brussels: 2023.

- [17] WHO Consensus Statement on Dental Amalgam. Seoul: 1997.
- [18] Lartitegui-Sebastiá MJ, Martínez-Revilla B, Saiz-Garcia C, Eguizabal-Saracho S, Aguirre-Urizar JM. Oral lichenoid lesions associated with amalgam restorations: A prospective pilot study addressing the adult population of the Basque country. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2012;17:545–9. <https://doi.org/10.4317/medoral.17733>.
- [19] Rathore M, Singh A, Pant VA. The dental amalgam toxicity fear: A myth or actuality. *Toxicol Int* 2012;19:81–8. <https://doi.org/10.4103/0971-6580.97191>.
- [20] United Nations Environment Programme. Minamata Convention on Mercury - Text and Annexes. 2019.
- [21] Bailey O, Vernazza CR, Stone S, Ternent L, Roche AG, Lynch C. Amalgam Phase-Down Part 1: UK-Based Posterior Restorative Material and Technique Use. *JDR Clin Trans Res* 2022;7:41–9. <https://doi.org/10.1177/2380084420978653>.
- [22] European Commission. Commission Staff Working Dokument - Impact Assessment Report - Impact Assessment - Accompanying the document - Proposal for a - Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2017/852 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2017 on mercury as regards dental amalgam and other mercury-added products subject to manufacturing, import and export restrictions. Brussels: 2023.
- [23] European Commission. Proposal for a - Regulation of the European Parliament and of the Council - amending Regulation (EU) 2017/852 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2017 on mercury as regards dental amalgam and other mercury-added products subject to manufacturing, import and export restrictions. Brussels: 2023.

- [24] FDI-Stellungnahme - Amalgam (Teil 1): Sicherer Umgang mit Amalgamabfällen und Quecksilber. Sydney: 2021.
- [25] FDI-Stellungnahme - Amalgam (Teil 2): Sichere Verwendung von Dentalamalgam und seine schrittweise Reduzierung. Sydney: 2021.
- [26] Farooq I, Bugshan A. The role of salivary contents and modern technologies in the remineralization of dental enamel: A narrative review [version 3; peer review: 3 approved]. *F1000Res* 2021;9. <https://doi.org/10.12688/f1000research.22499.3>.
- [27] Angelova Volponi A, Zaugg LK, Neves V, Liu Y, Sharpe PT. Tooth Repair and Regeneration. *Curr Oral Health Rep* 2018;5:295–303. <https://doi.org/10.1007/s40496-018-0196-9>.
- [28] Rajaraman G, Senthil Eagappan AR, Bhavani S, Vijayaraghavan R, Harishma S, Jeyapreetha P. Comparative evaluation of fracture resistance of fiber-reinforced composite and alcasite restoration in class I cavity. *Contemp Clin Dent* 2022;13:56–60. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_707_20.
- [29] Marovic D, Par M, Posavec K, Marić I, Štajdohar D, Muradbegović A, et al. Long-Term Assessment of Contemporary Ion-Releasing Restorative Dental Materials. *Materials* 2022;15. <https://doi.org/10.3390/ma15124042>.
- [30] Pacheco AL de B, Olegário IC, Bonifácio CC, Calvo AFB, Imparato JCP, Raggio DP. One Year Survival Rate Of Ketac Molar Versus Vitro Molar For Occlusoproximal Art Restorations: A Rct. *Braz Oral Res* 2017;31:1–8. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0088>.
- [31] de Amorim RG, Leal SC, Frencken JE. Survival of atraumatic restorative treatment (ART) sealants and restorations: A meta-analysis. *Clin Oral Investig* 2012;16:429–41. <https://doi.org/10.1007/s00784-011-0513-3>.
- [32] Akinmade AO, Nicholson JW. Review Glass-ionomer cements as adhesives Part I Fundamental aspects and their clinical relevance. *J Mater Sci Mater Med* 1993;4:95–101.

- [33] Svanborg P, Stenport V, Eliasson A. Fit of cobalt–chromium implant frameworks before and after ceramic veneering in comparison with CNC-milled titanium frameworks. *Clin Exp Dent Res* 2015;1:49–56. <https://doi.org/10.1002/cre2.9>.
- [34] Upadhya NP, Kishore G. Glass Ionomer Cement-The Different Generations. *Trends Biomater Artif Organs* 2005;18.
- [35] Sidhu S, Nicholson J. A Review of Glass-Ionomer Cements for Clinical Dentistry. *J Funct Biomater* 2016;7:16. <https://doi.org/10.3390/jfb7030016>.
- [36] Albeshti R, Shahid S. Evaluation of microleakage in Zirconomer®: A Zirconia reinforced glass ionomer cement. *Acta Stomatol Croat* 2018;52:97–104. <https://doi.org/10.15644/asc52/2/2>.
- [37] Łuczaj-Cepowicz E, Marczuk-Kolada G, Zalewska A, Pawińska M, Leszczyńska K. Antibacterial activity of selected glass ionomer cements. *Postepy Hig Med Dosw* 2014;68:23–8.
- [38] Dr. Roland Frankenberger und Dr. Norbert Krämer. Glasionomerzemente. Wolfgang-M Boer (Hrsg): *Metallfreie Restaurationen* 1999;1.
- [39] Neves AB, Lopes LIG, Bergstrom TG, Silva ASS da, Lopes RT, Neves A de A. Porosity and pore size distribution in high-viscosity and conventional glass ionomer cements: a micro-computed tomography study. *Restor Dent Endod* 2021;46. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e57>.
- [40] Sadeghyar A, Lettner S, Watts DC, Schedle A. Alternatives to amalgam: Is pretreatment necessary for effective bonding to dentin? *Dental Materials* 2022;38:1703–9. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.08.011>.
- [41] Kurinji Amalavathy R, Sahoo HS, Shivanna S, Lingaraj J, Aravinthan S. Staining effect of various beverages on and surface nano-hardness of a resin coated and a non-coated fluoride releasing tooth-coloured

restorative material: An in-vitro study. *Heliyon* 2020;6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04345>.

- [42] Kukreja R, Singla S, Bhadoria N, Pawar P, Gupta K, Khandelwal D, et al. An In Vitro Study to Compare the Release of Fluoride from Glass Ionomer Cement (Fuji IX) and Zirconomer. *Int J Clin Pediatr Dent* 2022;15:35–7. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2141>.
- [43] Patel MU, Punia SK, Bhat S, Singh G, Bhargava R, Goyal P, et al. An in vitro evaluation of microleakage of posterior teeth restored with amalgam, composite and zirconomer – A stereomicroscopic study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 2015;9:ZC65–7. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13024.6225>.
- [44] Feiz A, Nicoo MA, Parastesh A, Jafari N, Sarfaraz D. Comparison of antibacterial activity and fluoride release in tooth-colored restorative materials: Resin-modified glass ionomer, zirconomer, giomer, and cention N. *Dent Res J (Isfahan)* 2022;1.
- [45] Kumari A, Singh N. A comparative evaluation of microleakage and dentin shear bond strength of three restorative materials. *Biomater Investig Dent* 2022;9:1–9. <https://doi.org/10.1080/26415275.2022.2033623>.
- [46] Balkaya H, Arslan S, Pala K. A randomized, prospective clinical study evaluating effectiveness of a bulk-fill composite resin, a conventional composite resin and a reinforced glass ionomer in class II cavities: One-year results. *Journal of Applied Oral Science* 2019;27. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0678>.
- [47] Firouzmandi M, Alavi AA, Jafarpour D, Sadatsharifee S. Fracture Strength and Marginal Adaptation of Conservative and Extended MOD Cavities Restored with Cention N. *Int J Dent* 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5599042>.
- [48] Par M, Gubler A, Attin T, Tarle Z, Tarle A, Tauböck TT. Ion release and hydroxyapatite precipitation of resin composites functionalized with two

types of bioactive glass. *J Dent* 2022;118. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.103950>.

- [49] Kimyai S, Pournaghi-Azar F, Mohammadi N, Babri M. Effect of hemostatic agent on marginal gaps of class V giomer restorations. *J Clin Exp Dent* 2017;9:e672–6. <https://doi.org/10.4317/jced.53704>.
- [50] Kimyai S, Pournaghi-Azar F, Naser-Alavi F, Salari A. Effect of disinfecting the cavity with chlorhexidine on the marginal gaps of CI V giomer restorations. *J Clin Exp Dent* 2017;9:e202–6. <https://doi.org/10.4317/jced.53193>.
- [51] Adsul PS, Dhawan P, Tuli A, Khanduri N, Singh A. Evaluation and Comparison of Physical Properties of Cention N with Other Restorative Materials in Artificial Saliva: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2022;15:350–5. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2383>.
- [52] Strużycka I. The Oral Microbiome in Dental Caries. *Pol J Microbiol* 2014;63:127–35.
- [53] Sagmak S, Bahsi E, Ozcan N, Satici O. Comparative Evaluation of Antimicrobial Efficacy and Fluoride Release of Seven Different Glass-Ionomer-Based Restorative Materials. *Oral Health Prev Dent* 2020;18:521–8. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.a44140>.
- [54] Schraeverus MS, Olegário IC, Bonifácio CC, González APR, Pedroza M, Hesse D. Glass Ionomer Sealants Can Prevent Dental Caries but Cannot Prevent Posteruptive Breakdown on Molars Affected by Molar Incisor Hypomineralization: One-Year Results of a Randomized Clinical Trial. *Caries Res* 2021;55:301–9. <https://doi.org/10.1159/000516266>.
- [55] Kłos J, Czarnecka B, Nicholson JW. The interaction of dental glass-ionomer cements with buffer solutions. *Ceramics - Silikaty* 2021;65:120–4. <https://doi.org/10.13168/cs.2021.0010>.
- [56] Hawthorne WS, Smales RJ. Factors influencing long-term restoration survival in three private dental practices in Adelaide. *Aust Dent J* 1997;42:59–63. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1997.tb00099.x>.

- [57] Friedl K, Hiller KA, Friedl KH. Clinical performance of a new glass ionomer based restoration system: A retrospective cohort study. *Dental Materials* 2011;27:1031–7. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.07.004>.
- [58] Gurgan S, Kutuk ZB, Ergin E, Oztas SS, Cakir FY. Clinical performance of a glass ionomer restorative system: a 6-year evaluation. *Clin Oral Investig* 2016. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-2028-4>.
- [59] Klinko T, Daboul A, Turek A, Frankenberger R, Hickel R, Biffar R. Clinical performance during 48 months of two current glass ionomer restorative systems with coatings: A randomized clinical trial in the field. *Trials* 2016;17. <https://doi.org/10.1186/s13063-016-1339-8>.
- [60] Messer-Hannemann P, Samadi M, Böttcher H, Duy S, Duy D, Albrecht N, et al. Evaluation of a Method to Determine Wear Resistance of Class I Tooth Restorations during Cyclic Loading. *Materials* 2022;15. <https://doi.org/10.3390/ma15155440>.
- [61] Navarro MF de L, Pascotto RC, Borges AFS, Soares CJ, Raggio DP, Rios D, et al. Consensus on glass-ionomer cement thresholds for restorative indications. *J Dent* 2021;107. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103609>.
- [62] Council of the European Union. Outcome of proceedings - Interinstitutional File: 2023/0272(COD). Brussels: 2024.
- [63] Gomez J. Detection and diagnosis of the early caries lesion. *BMC Oral Health* 2015;15. <https://doi.org/10.1186/1472-6831-15-S1-S3>.
- [64] Mulay S, Galankar K, Varadarajan S, Gupta AA. Evaluating fluoride uptake of dentin from different restorative materials at various time intervals – In vitro study. *J Oral Biol Craniofac Res* 2022;12:216–22. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2021.12.005>.
- [65] Dhull KS, Dutta B, Pattnaik S, Samir P, Devraj IM. Comparative Evaluation of Adhesive Bond Strength of Conventional GIC and Cention N to Enamel and Dentin of Primary Teeth: An In Vitro Study. *Int J Clin*

Pediatr Dent 2022;15:412–6. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2410>.

- [66] Sidhu SK. Glass-ionomer cement restorative materials: A sticky subject? Aust Dent J 2011;56:23–30. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01293.x>.
- [67] FDI Policy Statement - Alternative direct restorative materials to dental amalgam. Sydney: 2023.
- [68] Hamza B, Zimmerman M, Attin T, Tauböck TT. Marginal integrity of classical and bulk-fill composite restorations in permanent and primary molars. Sci Rep 2022;12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18126-7>.
- [69] Schwendicke F, Kramer EJ, Krois J, Meyer-Lueckel H, Wierichs RJ. Long-term costs of post-restorations: 7-year practice-based results from Germany. Clin Oral Investig 2021;25:2175–81. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03529-5>.
- [70] Ranadheer E, Shah UD, Neelakantappa KK, Fernandes S. Comparative Analysis of Microleakage of Zirconia-infused Glass Ionomer Cement with Miracle Mix and Amalgam: An In Vitro Study. Cureus 2018;10. <https://doi.org/10.7759/cureus.3672>.