

Quecksilberbelastung in Zahnarztpraxen - früher und heute -

Gabriele Halsen,
Wolfgang Wegscheider
Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst
und Wohlfahrtspflege
Bereich Gefahrstoffe
Bonner Strasse 337
50968 Köln

Stand September 1997

Inhaltsverzeichnis:

- 1 Zubereitung und Anwendung von Amalgam im zahnärztlichen Bereich**
 - 1.1 Zubereitung und Anwendung von Amalgam bis ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)
 - 1.1.1 Verwendete Produkte und Anwendungsformen
 - 1.1.2 Arbeitstechniken
 - 1.2 Zubereitung und Anwendung von Amalgam ab ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)
 - 1.2.1 Verwendete Produkte und Anwendungsformen
 - 1.2.2 Arbeitstechniken
- 2 Chemische und physikalische Eigenschaften von Quecksilber**
- 3 Arbeitsplatzbewertung bezüglich der inhalativen und dermalen Aufnahme von Quecksilber**
 - 3.1 Arbeitshygienische Grenzwerte
 - 3.2 Messungen der Quecksilberkonzentration in der Luft
 - 3.2.1 Messverfahren
 - 3.2.2 Literaturlauswertung
 - 3.2.2.1 Raumlufkonzentration bis ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)
 - 3.2.2.2 Raumlufkonzentration ab ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)
 - 3.2.2.3 Expositionsspitzen früher und heute
 - 3.2.3 Auswertung von Messungen der BGW 1996
 - 3.3 Hautkontakt mit Quecksilber
 - 3.4 Biologisches Monitoring
 - 3.5 Quecksilber-Exposition anderer Berufsgruppen
- 4 Quellenverzeichnis**

1 Zubereitung und Anwendung von Amalgam im zahnärztlichen Bereich

Amalgame sind Legierungen des Quecksilbers (Hg) mit anderen Metallen. Sie entstehen durch Vermischen einer speziellen Feilung (Legierungspulver) und elementarem Quecksilber zu einer plastischen Masse, die nach kurzer Zeit erhärtet und das Quecksilber dabei als intermetallische Phase einbindet.

Amalgame werden seit rund 150 Jahren in der konservierenden Zahnheilkunde als plastisches Füllmaterial verwendet. Im Laufe der Jahre fanden jedoch in zunehmendem Maße auch andere Füllmaterialien Anwendung. Im Jahr 1965 wurden in 52 % der Fälle auf den Füllungswerkstoff Silberamalgam zurückgegriffen, im übrigen wurden Silikat- oder Steinzementfüllungen, in geringem Umfang auch Kunststoff Füllungen eingesetzt /7/.

Seit der Einführung zusammengesetzter Kunststofffüllungsmaterialien, sogenannter Composita, wurde Amalgam, insbesondere im Frontzahnbereich, weiter verdrängt.

Im Jahre 1992 sprach das damalige Bundesgesundheitsamt (BGA) eine Anwendungsbeschränkung für Amalgam aus. Hiernach durfte Amalgam ausschließlich im Bereich von kautragenden Flächen zum Einsatz kommen. Für den Frontzahnbereich oder auf Zahnflächen, die nicht überwiegend Kaulast zu tragen haben, wurde die Verwendung anderer zahnärztlicher Werkstoffe empfohlen /20/. Im April 1995 ordnete das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte weitere Anwendungsbeschränkungen an, z.B. für Patienten mit Nierenfunktionsstörungen, Schwangere und Kleinkinder.

Infolge der allgemein verbesserten Zahnprophylaxe bei den Patienten, weiterentwickelter Alternativfüllungsmaterialien und der immer wieder diskutierten gesundheitlichen Belastung von Patienten durch Amalgamfüllungen, ist der Umfang der Amalgamverarbeitung in den Zahnarztpraxen inzwischen stark rückläufig. Die werkstofflichen Eigenschaften von Amalgam sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch noch unübertroffen. Den Verbrauchsmengen zufolge wurden in den vergangenen zwei Jahren etwa zu gleichen Teilen Amalgamfüllungen und alternative Füllungen gelegt. Für Kassenpatienten ist Amalgam zur Zeit noch das Material für die Regelversorgung. Eine eindeutige Abschätzung der zukünftigen Anwendungshäufigkeit lässt sich nicht vornehmen, zumal eine Empfehlung vom Juli 1996 für die kassenzahnärztliche Versorgung eine Mengengrenzung für alternative Werkstoffe auf 1 % vorsieht.

Nach Auskunft der Bundeszahnärztekammer verwenden etwa 80 % der Zahnärzte noch regelmäßig Amalgam.

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Tätigkeiten zusammengestellt, die den Umgang mit Quecksilber im zahnärztlichen Bereich kennzeichnen bzw. kennzeichneten. Daneben ist aufgeführt, wodurch jeweils die Gefahr der Quecksilber-Einwirkung entsteht. Das Gefährdungspotential ist von der jeweiligen Arbeitstechnik abhängig. Die Arbeitstechniken, die sich im Laufe der Jahre auch unter dem Aspekt der Arbeitssicherheit erheblich verbesserten, sind in den Abschnitten 1 und 1.2.2 näher beschrieben.

Tabelle 1: wesentliche Tätigkeiten beim Umgang mit Amalgam

Tätigkeiten	Gefahr der Hg-Einwirkung durch:
<ul style="list-style-type: none"> • Dosieren von Quecksilber und Feilung • Mischen von Quecksilber und Feilung 	Hg-Dampf - bei Kupferamalgam insbesondere beim Erhitzen -, Hautkontakt, Verschütten von Quecksilber und damit verbunden Kontamination des Raumes durch Hg-Kügelchen in Spalten und Ritzen, kontaminierte Mischeinrichtungen können eine kontinuierliche Dampfquelle darstellen
<ul style="list-style-type: none"> • Nachkneten des plastischen Amalgams • Anreichen der Amalgamportion • Kondensieren und Schnitzen des Amalgams 	Quecksilberdampf, Hautkontakt
<ul style="list-style-type: none"> • Polieren der Amalgam- Oberfläche • Ausbohren von Amalgam Füllungen 	verstärkte Quecksilberdampfbildung aufgrund erhöhter Temperatur, Aerosolbildung
<ul style="list-style-type: none"> • Desinfektion/ Reinigung Hg-kontaminierter Instrumente und Geräte 	Quecksilberdampf, Hautkontakt
<ul style="list-style-type: none"> • Aufbewahren und Entsorgen von Amalgamabfällen 	kontinuierliche Dampfquelle, Hautkontakt Verschütten

1.1 Zubereitung und Anwendung von Amalgam bis ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)

Der Umfang der Amalgamverarbeitung lässt sich in Abhängigkeit von der Praxisgröße mit etwa 2000-3000 gelegter Füllungen pro Jahr beschreiben.

1.1.1 Verwendete Produkte und Anwendungsformen

Es wurden Silberamalgame, teilweise auch Kupferamalgame verwendet. Goldamalgame wurden nur im Einzelfall eingesetzt.

Die Feilung wurde meist in Form von Pulver oder Spänen, eingesetzt. Quecksilber wurde als flüssiges Metall in Tonflaschen mit weitem Hals oder in Flaschen mit Schwanenhals verwendet.

Silberamalgame (*gamma- 2- Amalgam*)

Silberamalgame- auch als Edlamalgame bezeichnet- entsteht durch Vermischen etwa gleicher Gewichtsanteile einer speziellen Feilung und Quecksilber. Das ausgehärtete Amalgam besteht in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Feilung aus unterschiedlichen intermetallischen Phasen. Die früher verwendete Zusammensetzung führte zur Bildung der gamma-2-Phase (Sn₈ Hg); daher auch die verbreitete Bezeichnung gamma- 2- Amalgam. Die gamma- 2- Phase korrodiert sehr leicht, was zu einer geringeren Haltbarkeit der Füllungen und verstärkter Quecksilber-Abgabe an den Körper von Amalgamträgern beiträgt.

Bei der Zusammensetzung der Feilung bezog man sich lediglich auf eine Übereinkunft der Fédération Dentale International (FDI).

Zusammensetzung der Feilung nach FDI-Spezifikation 1967:

Silber 65 Gew-% minimal, Zinn 29 Gew-% maximal, Kupfer 6 Gew-% maximal, Zink 2 Gew-% maximal. Da einige Legierungen durch chemische Umsetzung voramalgiiert wurden, um dadurch die Benetzung beim Verreiben mit Quecksilber zu begünstigen, wird auch ein Maximum für den Quecksilber- Gehalt angegeben (3 Gew-%).

Kupferamalgam

Kupferamalgame sind stark korrosionsanfällig und werden im Laufe der Zeit unter Freisetzung von Quecksilber angegriffen. Sie wurden daher hauptsächlich zur Behandlung von Milchzähnen eingesetzt.

Kupferamalgame enthalten einen höheren Quecksilberanteil. Sie bestehen aus 35 Gew-% Kupfer (Cu) und ca. 65 Gew-% Quecksilber.

Bis in die 60er Jahre hinein wurde häufiger mit Kupferamalgam gearbeitet. Seit Bestehen des Bundesinstitutes für Arzneimittel und Medizinprodukte 1978 wurde kein Antrag auf Zulassung von Kupferamalgam gestellt, d. h. es existiert kein zugelassenes Kupferamalgam nach Arzneimittelgesetz.

In den neuen Bundesländern war der Einsatz von Kupferamalgam in der Kinderstomatologie bis in die 80er Jahre verbreitet. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass einige Ärzte auf die Behandlung von Kindern spezialisiert waren.

1.1.2 Arbeitstechniken

Die im folgenden aufgeführten Tätigkeiten wurden überwiegend von den Zahnarzthelferinnen ausgeführt. Obwohl bei vielen Tätigkeiten ein Hautkontakt mit Quecksilber gegeben oder möglich war, wurde in der Regel ohne Hautschutz gearbeitet. Zahnarzt war Quecksilber- Dampf vor allem beim Kondensieren und Ausbohren ausgesetzt, da er sich, bedingt durch seine Arbeitsposition, in unmittelbarer Nähe zur Quecksilber- Dampfquelle befindet. Eine effektive Absaugung am Zahn war in westdeutschen Praxen etwa ab 1970 vorhanden, in ostdeutschen teils erst ab 1990. Die genannten Tätigkeiten wurden in der Regel im Behandlungsraum, der über Fenster zu lüften war, durchgeführt.

- ***Dosieren***

Feilung und Quecksilber mussten dem Mischungsverhältnis entsprechend zunächst dosiert werden. Die Anteile wurden teils nach Augenmaß und Plastizitätsgrad bemessen, teils mittels Amalgamwaage oder spezieller Dosiergefäße dosiert. Etwa ab 1960 wurden überwiegend vollautomatische Dossier- und Mischgeräte, sogenannte Amalgamatoren eingesetzt, die bis heute in einigen Praxen Verwendung finden.

Amalgamatoren sind Mischgeräte, die die Feilung und das Quecksilber zuerst dosieren und dann zum plastischen Amalgam verarbeiten. Die Vorratsbehälter mussten nach Bedarf, zu damaligen Zeiten ca. alle 2 Wochen, mit flüssigem Quecksilber bzw. Feilung gefüllt werden.

Das Einfüllen von Quecksilber aus den üblicherweise verwendeten Schwanenhalsflaschen war nach Aussage von Zahnarzthelferinnen in der Regel sauber durchführbar.

Verunreinigungen an der Einfüllstelle am Tank waren jedoch bei fast allen Geräten sichtbar. Ebenso konnten ausgehärtete Amalgampartikel in der Mischkapsel die Dichtungsqualität vermindern, so dass beim Triturieren feinste Quecksilber- Teilchen austreten konnten.

In der ehemaligen DDR bestand die Anweisung, Amalgamatoren grundsätzlich in eine Auffangwanne

zu stellen, um eine Verunreinigung des Bodens zu vermeiden. Eine regelmäßige Pflege und Wartung der Geräte erfolgte im allgemeinen nicht.

Die in Deutschland gebräuchlichsten Typen waren der Dentomat, früher Non- Zinkomat, der Duomat von Degussa und der Amalgamiser von De Trey- Amalgamated Dental Co. Bei den beiden erstgenannten handelt es sich um geschlossene Systeme. Die fertige Amalgamportion wird in einer Mischkapsel aufgefangen.

Der Amalgamiser stellt ein offenes System dar (offener Amalgamator). Das zubereitete Amalgam fiel auf ein kleines, unter das Gerät geschobenes Tablett. Nach jeder Mischung waren verstreute Quecksilber- Tröpfchen unter dem Gehäuse zu finden, so dass die Verwendung von Amalgamisern zu einer vergleichsweise höheren Quecksilber Grundbelastung der Raumluft beitrug /7 /.

In einigen Praxen wurden auch Vibratoren mit Dauermischkapseln bzw. Mehrfachkapseln aus Plastik oder Metall eingesetzt. Hier mussten Feilung und Quecksilber offen dosiert, d.h. entsprechend dem Mischungsverhältnis abgewogen und dann manuell in eine Mischkapsel gegeben werden. Diese Geräte wiesen demnach ein im Vergleich zu Amalgamatoren höheres Gefährdungspotential auf. Es wurden Kapseln mit und ohne Pistill eingesetzt. Das Pistill konnte den Kapselboden von Plastikapseln leicht beschädigen oder Verunreinigungen am Kapselverschluss konnten die sichere Dichtung beeinträchtigen. Gerätebeispiele sind der S. S. White Amalgamiser und Wig- L- Bug /7/.

- ***Mischen der Feilung mit dem Quecksilber (Trituration)***

Früher wurden Feilung und Quecksilber mittels Pistill im Glasmörser, kräftig unter Druck ca. 1,5- 2 Minuten angerieben. Die Paste wurde teils mit dem Finger glattgestrichen /6, 16/ . Wurde der Mörser freihändig benutzt und nicht auf einer Unterlage (Tisch, Tablett) aufgesetzt, konnte der Fußboden durch Quecksilber verunreinigt werden.

Weiterhin wurden Hilfsmittel wie der Degussa- Amalgam- Handmischer oder ein mit der Bohrmaschine in Bewegung gesetzter Schüttelapparat verwendet.

Später setzten sich insbesondere die oben beschriebenen Amalgamatoren oder auch Vibratoren mit Dauermischkapsel durch.

Zur Bildung von Kupferamalgam ist vor dem Mischen eine Erwärmung erforderlich: Quecksilber und Kupfer wurden auf einem langstieligen Amalgamlöffel oder in einem feuerfesten Reagenzglas offen erhitzt. Das Reagenzglas wurde teils nach Entfernung des Amalgams mit einem Korken verschlossen.

- ***Nachkneten des Amalgams***

Nach der Mischung war ein Nachkneten erforderlich. Dies erfolgte im Handballen, in Leinensäckchen, Lederlappchen oder Amalgamknetgummis. Überschüssiges Quecksilber wurde teils über dem Waschbecken oder dem Boden ausgedrückt. Hautschutz wurde in der Regel nicht verwendet.

- ***Anreichen der Portion***

Das Amalgam wurde in kleinen Portionen teils gedreht und mittels Amalgamträger zum Einbringen in das Zahnloch (Kavität) angereicht, teils wurde eine Amalgampistole verwendet.

- ***Kondensieren und Schnitzen***

Das Amalgam muss unter starkem Druck meist manuell kondensiert werden. Zur Erhaltung der Plastizität oder zur besseren Durchknetung während des Füllungslegens wurde das Amalgam teils mit bloßen Fingern bearbeitet.

Das auf der Oberfläche herausgepresste Quecksilber wurde abgesaugt. Der quecksilberreiche Überschuss wurde abgetragen und die Füllungsfläche durch Schnitzen in die endgültige Form gebracht. Poliert wurde früher kaum.

- **Ausbohren von Füllungen**

Bis 1960 wurden fast ausschließlich Elektromotoren mit einer Drehzahl von 40 000 min⁻¹ eingesetzt. Durch aufgesetzte Winkelstücke konnte unter- oder übersetzt werden, maximal auf eine Drehzahl von 160 000 min⁻¹.

Danach wurden sowohl in den alten als auch den neuen Bundesländern luftbetriebene Turbinenbohrer mit Drehzahlen von etwa 300 000 min⁻¹ verwendet. Zeitgleich wurde ab 1960 die Wasserspraykühlung beim Ausbohren eingeführt. Nach Aussage eines führenden Ausrüsters im Dentalbereich wurde die Speichelabsaugung etwa im Zeitraum 1966-1971 eingeführt, die Trockenabsaugung am Zahn erst nach 1970.

- **Aufbewahren und Entsorgen von Quecksilberresten**

Quecksilber wurde häufig in den Hausmüll oder über das Kanalsystem entsorgt. In einigen Praxen wurde Quecksilber in geschlossenen Behältern (unter Wasser) gesammelt und anschließend sachgerecht entsorgt.

- **Desinfektion /Reinigung Hg-kontaminierter Instrumente und Geräte**

Quecksilberkontaminierte Instrumente wurden wie andere Instrumente desinfiziert und gereinigt, Geräte bei Bedarf gereinigt. Sichtbare Verunreinigungen von Quecksilber oder Amalgam wurden manuell oder sofern vorhanden mittels Absauganlage entfernt.

Amalgampistolen wurden regelmäßig zerlegt und von Amalgamresten gesäubert.

1.1.1 Zubereitung und Anwendung von Amalgam ab ca. 1970 bzw. ab 1980 (heutige neue Bundesländer)

Der Umfang der Amalgamverarbeitung war in den letzten Jahren rückläufig.

Einer von der BGW durchgeführten Befragung von Zahnärzten zufolge wurden im Jahr 1996 in Praxen, die Amalgam verarbeiteten, in den alten Bundesländern etwa 100-500 Amalgam - Füllungen jährlich gelegt, in den neuen Bundesländern war das Aufkommen mit etwa 500-1500 Füllungen jährlich erwartungsgemäß höher. Die Zahl der ausgebohrten Füllungen liegt im Bereich von 100-1300 pro Jahr. Einige Praxen betreiben inzwischen in größerem Umfang den Austausch von Amalgam gegen Alternativfüllungsmaterialien. Hier werden jährlich bis zu 2500 Füllungen ausgebohrt.

1.2.1 Verwendete Produkte und Anwendungsformen

Im betrachteten Zeitraum wurden in den alten Bundesländern fast nur noch Silberamalgame verwendet. In den neuen Bundesländern wurden Kupferamalgame bis in die 80er Jahre hinein eingesetzt (siehe Abschnitt 1.1.1).

Das Legierungspulver kann aus spanförmigen und/oder kugelförmigen Partikeln bestehen.

Quecksilber und Legierungspulver werden häufig bereits vordosiert eingesetzt, hauptsächlich in Form von Einmalkapseln, die beide Komponenten enthalten. Vordosierte Kapseln sind in Abhängigkeit vom Quecksilbergehalt in den Varianten schnellhärtend, normalhärtend und langsamhärtend erhältlich. Teils werden Presslinge der Legierung in Tablettenform und in Folie eingeschweißte Quecksilberportionen verwendet. (Produktbeispiel= Epoque 2000 Duett,

Fa. Nordiska Dental GmbH, Schweden)

Der Hauptlieferant von Quecksilber, Fa. Degussa, stellt seit Juli 1994 kein Quecksilber für die Anwendung im Dentalbereich mehr her.

Silberamalgame

Zunächst wurden noch gamma-2 Amalgame (siehe Abschnitt 1.1.1), ab 1992 ausschließlich gamma-2-freie Amalgame (Non-gamma-2-Amalgame) eingesetzt, da diese in noch geringerem Maße korrosionsanfällig sind.

Die Rahmencusammensetzung, die in der Informationsschrift des BGA /20/ veröffentlicht ist, gibt die Bandbreite der Zusammensetzung geprüfter gamma-2-freier Amalgame an. Der Hersteller darf hiervon abweichen, sofern keine gesundheitlichen Bedenken bestehen.

Rahmencusammensetzung des Legierungspulvers für gamma-2-freie Amalgame nach BGA1992 /20/:

Ag 40 Gew.-% minimal, Sn 32 Gew.-% maximal, Cu 30 Gew.-% maximal, Zn 2 Gew.-% maximal, Hg 3 Gew.-% maximal.

Exemplarische Produktzusammensetzungen für gamma-2-freie Amalgame sind:

- SDI-Amalgam, Permite C (Fa. Southern Dental Industrie GmbH, Köln) Legierung: 56 Gew.-% Ag, 27,9 Gew.-% Sn, 15,4 Gew.-% Cu, 0,5 Gew.-% In, 0,2 Gew.-% Zn
Das Verhältnis von Quecksilber zu Legierung kann sein:
800 mg Legierung: 696 mg Quecksilber (schnellhärtend)
800 mg Legierung: 736 mg Quecksilber (normalhärtend)
800 mg Legierung: 768 mg Quecksilber (langsamhärtend)
800 mg Legierung: 752 mg Quecksilber (ECT, extended carving time)
- Dispersalloy (Fa. Johnson und Johnson):
69,5 Gew.-% Ag, 17,7 Gew.-% Sn, 11,8 Gew.-% Cu, 1 Gew.-% Zn

Weitere Produktbeispiele für gamma-2-freie Amalgame: Valiant, Sybralloy, Solila Nova, Ana 2000, Vivalloy HR, Duraloy, Si-Am-Kap, Oralloy Magicap S.

Produktbeispiele für gamma-2-Amalgame: Amalcap Plus und Luxalloy

1.2.2 Arbeitstechniken

Im Laufe der Jahrzehnte verbesserten sich die Arbeitstechniken u.a. hinsichtlich des Arbeitsschutzes deutlich: In westdeutschen Praxen wurde ca. ab 1970 überwiegend vollautomatisch dosiert und gemischt. Kurz nach der Einführung der Speichelabsaugung (1966-1971) etwa seit 1971-1976 waren die Praxen mit einer effektiven Trockenabsaugung ausgerüstet, so dass beim Ausbohren Quecksilberdämpfe und zerstäubtes Quecksilber heute direkt am Zahn mittels Absaugkanüle abgesaugt werden. Das Nachkneten von Amalgam vor dem Einbringen in den Zahn entfällt völlig. Als zusätzliche Tätigkeit kommt die Politur von Amalgamfüllungen hinzu, die heute nach dem Legen obligatorisch ist.

Der Auskunft ostdeutscher Zahnärzte sowie Literaturangaben zufolge wurde in der ehemaligen DDR bis 1980 noch häufig manuell dosiert und im Mörser gemischt /29/.

Der überwiegende Teil der ostdeutschen Praxen war erst ab 1990 mit effektiven Absaugsystemen ausgestattet, davor wurden zum Teil selbstkonstruierte Anlagen mit unterschiedlicher Absaugleistung eingesetzt. Viele Praxen arbeiteten nur mit Speichelabsaugung.

Seit ca. 1990 werden in vielen Praxen zum Schutz vor Infektionen bei allen üblichen

zahnärztlichen Tätigkeiten Handschuhe, häufig auch Mundschutz getragen. Gelegentlich werden darüber hinaus Brille oder Gesichtsschutz verwendet, letzterer insbesondere beim Ausbohren zum Schutz vor Verletzungen durch abplatzende Zahnteilchen.

Die Behandlungsräume sind im allgemeinen nur über Fenster zu lüften, die Fußböden wischbar und fugenlos.

Im folgenden sind die Arbeitstechniken im Umgang mit Quecksilber zusammengestellt und näher erläutert, die etwa ab 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer) in den Praxen überwiegend anzutreffen waren:

- **Dosieren**

Die überwiegende Zahl der westdeutschen Praxen setzte im Zeitraum 1970 bis 1985 ausschließlich vollautomatische Dosier- u. Mischgeräte, die in Abschnitt 1 näher beschriebenen Amalgamatoren, ein /7/. In ostdeutschen Praxen wurden die Geräte etwa von 1980 bis 1993 verwendet.

Bei den Geräten ist das Befüllen des Vorratsbehälters mit Quecksilber erforderlich.

Etwa ab 1985 setzte sich in westdeutschen Praxen zunehmend die Verwendung vordosierter Einmalkapseln durch. Vom Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte /20/ werden die Kapseln ausdrücklich propagiert. In den Kapseln befinden sich getrennt voneinander, fertigportioniert, im oberen Teil Quecksilber und im unteren Teil die Feilung.

Neben den Einmalkapseln existieren auch Preßlinge der Legierung in Tablettenform und in Folie eingeschweißte Quecksilberportionen. Beide Komponenten werden mit einer Pinzette in eine Mehrfachkapsel überführt (1 Kapsel für 50 Portionen) und wie Einmalkapseln weiterbehandelt.

- **Mischen von Feilung und Quecksilber (Trituration)**

Im Zeitraum 1970 bis 1985 (1980-1993 heutige neue Bundesländer) wurden überwiegend Amalgamatoren verwendet (siehe Abschnitt 1.1.2).

Die ab 1985 (1993 heutige neue Bundesländer) bis zum heutigen Zeitpunkt überwiegend verwendeten vordosierten Einmalkapseln und Mehrfachkapseln werden in Kapselmischgeräten gemischt. Die Kapseln werden in die Gabel des Mischgerätes eingespannt und max. 30 Sekunden gemischt. Es handelt sich hierbei um ein geschlossenes System. Beim Mischvorgang wird kein Quecksilberdampf freigesetzt. Das Gerät kann nicht verunreinigt werden. Vorausgesetzt wird hierbei die Verwendung dichter Kapseln. Durch die beim Mischungsvorgang erzeugte Reaktionswärme kann beim Öffnen der Kapsel kurzzeitig Hg-Dampf entweichen. Gerätebeispiele sind Silamat, Silamix, Wig-L-Bug, und McShirley- Amalgamator /7, 32/.

In den neuen Bundesländern sind Kombinationsgeräte im Einsatz. Es handelt sich dabei um alte - zumeist vom Hersteller zuvor gereinigte - Dentomaten, die zur parallelen Nutzung als Kapselmischer umgebaut wurden.

Bei den ersten im Handel befindlichen Kapseltypen wurde das Quecksilber durch Drehbewegung des Schraubdeckels (Mühlbauer-Schraubkapsel) oder durch Daumendruck (Ivoclar-Vivadent-Kapsel) in den Mischraum gedrückt. Produktbeispiele hierfür sind Anacap, Quickalloy, Silveralloy und Amalcap. Bei Kapseltypen, bei denen sich ein Folienkissen mit Quecksilber ungeschützt oben auf der Kapsel befand (z. B. Mühlbauer-Kapsel Typ 2), war ein Hautkontakt möglich. Bei diesen Modellen konnte auch beim Triturieren infolge von Beschädigungen Quecksilber verspritzt werden /7/.

Bei den heute gebräuchlichen sogenannten selbstaktivierenden Kapseln wird der Kontakt zwischen Quecksilber und Feilung selbständig beim Mischen durch Zerstörung der trennenden

Membran hergestellt. Einige Typen enthalten ein Pistill. Produktbeispiele für selbstaktivierende Kapseln sind: Dispersalloy- Kapseln, Solila Nova Kapseln, UnisonKapseln, Valiant-Kapseln, Amaicap Plus (Fa. Vivadent), Vivacap-HR (Fa. Vivadent), Permite C (SDI-Amalgam), Si-Am-Kap (Fa. Merz und Co Dental) u. Oralloy Magicap S (Fa. Dental Produkte)

- **Anreichen von Amalgamportionen**

Sofern Kapseln verwendet werden, muss die Membran mittels Spatel auf einer Arbeitsfläche von der Amalgamportion getrennt bzw. das Pistill entfernt werden. Das plastische Amalgam wird in ein kleines Gefäß aus Edelstahl, Glas oder Kunststoff gegeben und dort mit einer Amalgampistole, in der das Amalgam bereits vorkondensiert wird, aufgenommen und angereicht. Ein Hautkontakt sowie eine Verunreinigung der Arbeitsfläche ist bei diesen Tätigkeiten möglich. Vereinzelt wird die Portion auch direkt mit einem Amalgamträger oder -stopfer angereicht.

- **Kondensieren und Schnitzen des Amalgams**

Die anschließende schichtweise Kondensation erfolgt im allgemeinen manuell mit Stopfern.

Die Absaugung wird eingesetzt, sofern Amalgampartikel aus dem Mund des Patienten entfernt werden müssen und sofern der Einsatz arbeitstechnisch möglich ist. Überschüssiges Quecksilber wird beim Kondensieren heute nicht mehr herausgedrückt, da die Dosierung inzwischen sehr exakt ist (vollautomatische Dosierung, vordosierte Kapseln).

Vereinzelt wurde maschinell kondensiert (Amalgamvibratorkopf, Bergendal oder KaVolIntra-Amalgamkondensatorkopf 66GD /25/).

Die Ultraschallkondensation war wenig verbreitet, da sie u. a. Pulpairritationen verursachen kann.

Das Kondensieren und Schnitzen schließt den Vorgang des Legens von Füllungen (Dosieren, Mischen, Anreichen), der insgesamt etwa 3 - 4 Minuten in Anspruch nimmt, ab.

- **Polieren von Amalgamfüllungen**

Polierer werden nur mit Elektromotoren betrieben. Es wird im allgemeinen mit niedrigen Drehzahlen, geringer Anpresskraft und mit Wasserspraykühlung gearbeitet, um das Auftreten von Reibungswärme zu vermeiden.

Die geschnitzte Füllung wird zunächst mit einem Finierer vorbehandelt (Drehzahl ~15 – 180 00 min⁻¹) und anschließend mit Gummipolierern unterschiedlicher Körnung (Drehzahl ~ 5 000 min⁻¹) poliert. Bis auf wenige Ausnahmen wird beim Polieren abgesaugt. Die Dauer eines Poliervorganges liegt bei ca. 1 Minute.

- **Ausbohren von Amalgamfüllungen**

Füllungen werden in der Regel mit Turbinenbohrern (200 000 - 300 000 U/min), teils mit etwas langsamer drehenden elektrogetriebenen Winkelstücken (etwa 160 000 U/min oder vereinzelt mit Schnelllaufbohrern (10 000-30 000 U/min) ausgebohrt. Dabei werden Wasserspraykühlung sowie Absaugung am Zahn und Speichelabsaugung parallel eingesetzt. Die Entfernung einer Amalgamfüllung inklusive Nacharbeit (z. B. das Entfernen von Karies) dauert ca. 2 Minuten.

Um die Belastung der Patienten zu minimieren, wird in den letzten 5 Jahren vermehrt mit Kofferdam gearbeitet. Es handelt sich hierbei um eine perforierte Latexmembran, die über die

Mundhöhle gespannt wird und den zu behandelnden Zahn dicht gegen die Mundhöhle abschließt.

- **Aufbewahren und Entsorgen von Amalgamresten**

Seit 1990 muss Abwasser von Behandlungsplätzen über einen Amalgamabscheider mit mindestens 95 %igem Wirkungsgrad abgeleitet werden. Der durch Zentrifugation abgetrennte Amalgamschlamm wird in einem Auffangbehälter gesammelt. Der Zustand des Amalgamabscheiders ist alle 5 Jahre durch einen Sachkundigen zu überprüfen /19/. Nach Aussage der Zahnärztekammer sind die Praxen heute flächendeckend mit Amalgamabscheidern ausgestattet. Sammelbehälter für Quecksilberabfälle werden in den Behandlungsräumen meist in Schränken, sonst in gesonderten Räumen aufbewahrt.

Die Entsorgung von Quecksilberabfällen ist bei der überwiegenden Zahl der Praxen über Hersteller oder einen Entsorgungsbetrieb geregelt. Dies trifft auch für Praxen zur Zeit der ehemaligen DDR zu.

- a) Überschussamalgam und andere feste Quecksilberabfälle (z. B. Zähne, Inhalte von Sieben)

Obengenannte Quecksilber-Reste werden fast ausschließlich in Behältern unter Wasser oder Fixiersalzlösung aufbewahrt.

Die Behälter sind teils dicht verschlossen, teils befindet sich eine Öffnung im Deckel, die ein servicefreundliches Einbringen der Abfälle ermöglichen soll.

Die Aufbewahrung unter Wasser wurde in Praxen der ehemaligen DDR durch regelmäßige Belehrungen und Kontrollen sichergestellt.

- b) Leere Amalgamkapseln

Die Kapseln werden meist nach Gebrauch verschlossen und trocken in geschlossenen, teils auch offenen Behältern gesammelt.

Sofern Kapseln mit Stößeln verwendet werden, werden diese bei der Entsorgung in der leeren Kapsel mit eingeschlossen. Einige Praxen verwenden spezielle Sammelbehälter, die im Deckel ein Absorbens enthalten (z. B. CAP-Sammelbehälter, Fa. Vivadent). In seltenen Fällen werden die Kapseln direkt in den Hausmüll entsorgt.

- c) Mit Amalgam kontaminierte Einwegartikel (z. B. Tücher, Tupfer etc.)

Die überwiegende Zahl der Praxen entsorgt diese Abfälle in den Hausmüll.

- d) Amalgamschlämme aus dem Abscheider

Die Amalgamabscheidetöpfe mit Amalgamschlamm werden entweder direkt nach dem Wechsel dicht verschlossen und an einen Entsorgungsbetrieb gegeben, oder sie werden vor der Entsorgung mit aufgelegtem Deckel bis zur vollständigen Auffüllung aufbewahrt.

Der Auffangbehälter muss ca. 1-2 x jährlich gewechselt werden. Darüber hinaus müssen einige Filter und Siebe von Amalgamabscheidern und Absauganlagen, die Amalgampartikel enthalten können, nach den Angaben des Herstellers in gewissen Zeitabständen gereinigt werden. In Abhängigkeit vom Gerätetyp können dies sein: Grobteilfilter am Mundspülbecken (etwa 1-2 x jährlich entleeren, auswaschen), Schwerteilesammler und Tropfwanne (1-2 x jährlich entleeren), Filter an der Selektivablage (1 x wöchentlich wechseln).

- ***Desinfektion/Reinigung Quecksilber-kontaminierter Instrumente und Geräte***

Durch die verbesserten Dosier-techniken befinden sich im allgemeinen keine Amalgamreste und Quecksilber-Reste mehr an den Instrumenten. Quecksilberkontaminierte Instrumente werden wie andere Instrumente desinfiziert und gereinigt. Die Kapselmischgeräte müssen nicht gereinigt werden. Dafür kommt seit Einführung der Amalgamabscheider 1990 die regelmäßige bzw. bedarfsweise Reinigung der Amalgamabscheidetöpfe hinzu. Letztere wird teilweise sehr aufwendig mit Bürsten etc. betrieben.

2 Chemische und physikalische Eigenschaften von Quecksilber

Quecksilber ist ein bereits bei Raumtemperatur flüssiges, schweres Metall. Seine Eigenschaft schon bei Raumtemperatur viele Metalle unter Amalgambildung anzugreifen, macht man sich bei der Anwendung im zahnärztlichen Bereich zunutze. Im Unterschied zu den übrigen metallischen Amalgamkomponenten wie Silber, Zinn, Zink, Kupfer (Dampfdruck Kupfer bei $810^{\circ}\text{C} = 7,05 \times 10^{-7}$ mbar), deren Dampfdruck bei Raumtemperatur kaum messbar ist, stellt sich bei Quecksilber in einem geschlossenen Behälter und bei 20°C ein Gleichgewichtsdampfdruck von 0,0016 mbar ein. Der Dampfdruck ist allein von der Temperatur abhängig und steigt mit dieser an. Quecksilber ist eine hochsiedende Flüssigkeit mit vergleichsweise niedrigem Dampfdruck. Zur Einordnung seien die Dampfdrücke folgender Flüssigkeiten bei 20°C genannt: Ether: 585 mbar, Wasser: 23 mbar, Anilin: 0,4 mbar.

Infolge seiner hohen Oberflächenspannung bildet Quecksilber bevorzugt Kugeln, die sich z. B. beim Verschütten sehr leicht im Raum verteilen können.

Quecksilber ist in Wasser und Salzlösungen nur gering löslich.

Amalgame sind Legierungen des Quecksilbers mit anderen Metallen. Die Amalgambildung kann exotherm oder endotherm (z. B. bei Gold) verlaufen. Die Flüchtigkeit von metallischem Quecksilber ist im Amalgam deutlich reduziert, wobei die heute gebräuchlichen gamma-2-freien Amalgame noch schneller abbinden und dabei weniger Quecksilber freisetzen als frühere Standardamalgame /33/.

Einige wesentliche Quecksilberdaten sind nachfolgend zusammengefasst:

Molekulargewicht: 201 g/mol

Schmelzpunkt: $-38,9^{\circ}\text{C}$

Siedepunkt: $356,7^{\circ}\text{C}$ (einatomiger Dampf) bei 1013 mbar

Dichte: $13,5\text{ g/cm}^3$

Dampfdruck bei 20°C : 0,0016 mbar

Dampfdruck bei 30°C : 0,0073 mbar

Dampfdruck bei 50°C : 0,0169 mbar

Dampfsättigungskonzentration bei 20°C : $0,013\text{ g/m}^3$

Dampfsättigungskonzentration bei 30°C : $0,03\text{ g/m}^3$

Dampfsättigungskonzentration bei 50°C : $0,13\text{ g/m}^3$

3 Arbeitsplatzbewertung bezüglich der inhalativen und dermalen Aufnahme von Quecksilber

Es sei hier vorangestellt, dass der Mensch auch außerhalb einer beruflichen Exposition einer Hg-belastung ausgesetzt ist. Neben der Belastung durch eigene Zahnfüllungen und die Aufnahme quecksilberhaltiger Nahrungsmittel ist der Mensch Hg-Immissionen ausgesetzt. 95% der Hg-Immissionen stammen dabei aus natürlichen Quellen wie Vulkanismus und Verwitterung bzw. Erosion, 5 % aus Emissionen der Industrie /31/. Hieraus ergibt sich eine allgemeine Quecksilberbelastung der Luft von ca. 10 bis 20 ng/m³ /1,3/.

Mit der Nahrung und über die Atemluft werden täglich 20 µg Quecksilber aufgenommen /30/.

3.1 Arbeitshygienische Grenzwerte

Quecksilberdämpfe sind giftig. Es besteht die Gefahr einer kumulativen Wirkung. Für Quecksilber sind eine Maximale Arbeitsplatzkonzentration und ein Biologischer Arbeitsplatztoleranzwert festgelegt.

Luftgrenzwert für Quecksilber am Arbeitsplatz nach TRGS 900 /50/:

Schichtmittelwert (MAK): 0,1 mg/m³ bzw. 0,01 ml/m³

Kurzzeitwert bis September 1996: 1mg/ m³ bzw. 0,1 ml/m³ als Mittelwert über 30 Minuten 1x pro Schicht

Kurzzeitwert ab Oktober 1996: 0,4 mg/m³ als 15 Minuten-Mittelwert

In der Schweiz und den USA gilt ein niedrigerer Luftgrenzwert von 50 µg Hg/m³.

In Literaturangaben werden Messwerte oberhalb dieses Wertes daher in der Angabe > 50 µg Hg/m³ zusammengefasst.

In der ehemaligen DDR galt von 1981 bis 1986 ein Grenzwert von 5µg Hg/m³, ab 1986 lag der Wert bei 50 µg Hg/m³..

Biologischer Arbeitsplatztoleranzwert für metallisches Hg und anorganische Quecksilberverbindungen nach TRGS 903 /53/:

BAT: 50 µg Hg/l im Vollblut, keine Beschränkung des Probenahmezeitpunktes

BAT: 200 µg Hg/l im Harn, keine Beschränkung des Probenahmezeitpunktes.

3.2 Messungen der Quecksilberkonzentration in der Luft

Quecksilber lässt sich zuverlässig mit sehr niedriger Erfassungsgrenze noch im Nanogramm Bereich pro m³ Luft erfassen. Zur Ermittlung der Quecksilberkonzentration in der Luft werden unterschiedliche Messverfahren eingesetzt.

3.2.1 Messverfahren

Kontinuierliche Messverfahren:

Durch kontinuierliche, direktanzeigende Messverfahren ist eine Überprüfung des Konzentrationsverlaufes und damit die Beurteilung von Kurzzeitwerten möglich. Gleichzeitig können auch gezielt Schadstoffquellen aufgespürt werden. Für Quecksilber-Messungen werden häufig Quecksilberdampfdetektoren bzw. Atomabsorptionsphotometer eingesetzt.

Das Verfahren beruht auf dem Atomabsorptionsprinzip. Quecksilberatome absorbieren im UV-Bereich bei einer Wellenlänge von 253,7 nm. Die Quecksilberkonzentration wird durch Messung der Lichtabsorption bei 253,7 nm im optischen Weg zwischen einer Hg-Dampfentladungslampe und Fotozellen bestimmt. Das Verfahren ist bei /15, 16, 21/ beschrieben.

Diskontinuierliche Messverfahren:

Bei der diskontinuierlichen Probenahme sind Probenahme und Analyse zeitlich und räumlich getrennt. Die Probenahme erfolgt über einen langen Zeitraum von ca. 2 h. Die Messergebnisse stellen somit die mittlere Konzentration über den Messzeitraum dar. Für Quecksilber werden häufig folgende Verfahren gewählt:

- Aktives Sammelverfahren

In der Luft enthaltenes Quecksilber wird durch eine aktive Probenahme mittels Pumpen auf geeigneten Adsorbentien, z. B. Jodkohle, angereichert. Das Quecksilber wird quantitativ in eine Permanganatlösung überführt und der Quecksilbergehalt der Messlösung anschließend flammenlos an einem Atom- Absorptions- Spektrometer bei einer Wellenlänge von 254 nm bestimmt /26/.

- Passive Diffusionssammler

Sogenannte Schadstoffdosimeter enthalten eine Membran, die mit einer Goldschicht überzogen ist. Diese absorbiert spezifisch Quecksilber, das mit Gold ein Amalgam bildet. Zur Bestimmung des Quecksilber wird die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit gemessen. Ein Gerätebeispiel ist Hg-Monitor (3M) /13/

3.2.2 Literaturlauswertung

In der internationalen Literatur sind eine Fülle von Messungen zur Quecksilber-Konzentration in der Raumluft von Zahnarztpraxen dokumentiert. Die Zusammenfassung der Literaturdaten orientiert sich an den Arbeitstechniken. Es sind somit jeweils die Messwerte zusammengestellt, die charakteristisch für die Belastung der Beschäftigten im genannten Zeitraum sind.

3.2.2.1 Raumluftkonzentration bis ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)

Tabelle 2 gibt einen Überblick über Veröffentlichungen, die die Situation in Praxen beschreiben, in denen noch überwiegend ältere Arbeitstechniken angewendet wurden, wie sie in Abschnitt 1 beschrieben sind.

Kropp /6/ fand bei umfassenden Untersuchungen in 110 Praxen in Deutschland mittlere Raumluftkonzentrationen von 0,01 mg/m³. Böcker et al. /17/ ermittelten den gleichen Wert bei einem kleineren Kollektiv von 7 Praxen in der Schweiz.

Bei regelmäßiger Verarbeitung von Cu-Amalgam (ca. 12 % des gesamten Amalgamverbrauchs) stellte Kropp /6/ eine mittlere Raumluftkonzentration von 0,016 mg Hg/ m' (15 Praxen) fest. Die Hg-Konzentration lag damit um 70 % höher im Vergleich zu Praxen, in denen ausschließlich Silberamalgam verarbeitet wurde (0,0091 mg Hg/m³, 80 Praxen). Als Ursache hierfür wurde die Anmischtechnik gesehen, die bei Kupferamalgam ein Erhitzen erfordert, was zu einer stärkeren Hg-Verdampfung führt.

Wirz und Castagnola /16/ fanden bei Messungen in 32 für die Schweiz repräsentativen Praxen mit verschiedenen Amalgamverarbeitungsmethoden im Jahr 1977 durchschnittliche Raumluftkonzentrationen von 0,019 mg/m³ Luft. Die höchsten Belastungen mit Werten von 0,026 mg/m³ wurden in Praxen gefunden, die Mischgeräte mit offener Dosierung (Vibratoren) oder unsaubere Dentomaten verwendeten.

Bei Schneider /11/ wurden Raumluftmessungen in 19 Praxen in den USA mit unterschiedlichen Amalgamverarbeitungsmethoden durchgeführt. Die durchschnittliche Raumluftkonzentration lag bei 0,03 mg Hg/m³. Die missbräuchliche Verwendung eines Amalgamators führte in einer Praxis zu einer starken Hg-Kontamination mit Raumluftkonzentrationen bis zu 0,16 mg/m³.

Wirz et al. /13/ zitieren aus einer in den Jahren 1970-1973 in den USA durchgeführten Studie, bei

der in einem mit 416 Praxen sehr großen Untersuchungskollektiv folgende Raumlufkonzentrationen, bezogen auf die einzelnen Bundesstaaten, gemessen wurden:

70-90 % der Praxen kleiner als $0,05 \text{ mg/ m}^3$ Luft

8-17 % der Praxen zwischen $0,05$ und $0,1 \text{ mg/ m}^3$ Luft

5-13 % der Praxen größer als $0,1 \text{ mg/ m}^3$ Luft.

Tabelle 2 : Mittlere Quecksilberkonzentration in der Raumluft etwa bis 1970 (1980 heutige neue Bundesländer)

Autor/Jahr/ Land	Nummer im Quellenverzeichnis	untersuchte Objekte	Messort			mittlere Raumluftkonz. [mg Hg/m ³]	
			Raummitte	Nähe Fußboden	an der Person	Verwendung von Ag-Amalgam	auch Verwendung von Cu Amalgam
Kropp /64/D	/6/	110 Praxen	X			0,01	0,016/max: 0,04 (Einzelwert)
Wirz /77/ CH	/16/	32 Praxen	X	X		0,019	
Böcker/65/ D	/17/	7 Praxen	X			0,01	
Cooley /78/USA	/21/	1 Praxis	X			0,04 - 0,05	
Schneider/74/ USA	/11/	19 Praxen	X			0,03	
Council an Dental Materials and Devices/ Studie 70-73/USA	Verweis in /13/	416 Praxen		X		70-90 % : < 0,05	
Fransen/70/DDR	/28/	2 Kliniken			X	0,01-0,04	
Meubrink/ DDR	/29/	48 Praxen/Studie 79-84			X	< 0,03	

In Praxen der ehemaligen DDR lagen die mittleren Raumlufkonzentrationen im Bereich von 0,01-0,04 mg/m³ [128, 291]. Im Unterschied zu den alten Bundesländern wurden diese Konzentrationen jedoch, bedingt durch ältere Arbeitstechniken, bis in die 80er Jahre hinein vorgefunden. Fahrbare Zahnambulanzen waren nach Meubrink [29] meist stärker mit Quecksilber kontaminiert und wiesen Werte bis zu 0,05 mg/m³ auf.

Der gültige Luftgrenzwert von 0,1 mg/m³ wurde auch in früheren Jahren in der Regel eingehalten. In Abhängigkeit vom Umfang der Amalgamverarbeitung und der Höhe von kurzzeitig auftretenden Spitzenkonzentrationen kam es zwar im Laufe eines Arbeitstages kumulativ zu einer erhöhten Hg-Dampfkonzentration, die mittleren Raumlufkonzentrationen lagen jedoch im Bereich von 0,01 bis 0,05 mg/m³. Die in Einzelfällen gemessenen höheren Konzentrationen konnten die Autoren meist auf mangelnde Arbeitshygiene oder missbräuchliche Nutzung technischer Geräte zurückführen.

3.2.2.2 Raumlufkonzentration ab ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)

Die Raumlufkonzentration nahm im Laufe der Jahrzehnte mit Anwendung modernerer Arbeitsmethoden, wie sie in Abschnitt 1.2.2. beschrieben sind, weiter ab. Tabelle 3 gibt einen Überblick über Veröffentlichungen, in denen mittlere Raumlufkonzentrationen in Praxen in den 80er Jahren dokumentiert sind. Die Praxen verarbeiteten ausschließlich Silberamalgame.

Kessel et al [23] fanden bei Messungen in 19 deutschen Praxen mittlere Raumlufkonzentrationen von 0,003 mg/m³, gemessen am Behandlungsstuhl.

In 38 zahnärztlichen Praxen in der Schweiz [13] wurden während des Praxisbetriebes fortlaufend Messungen mit einer Mindestmessdauer von je 45 Minuten durchgeführt. Für den Vormittag und den Nachmittag wurden durchschnittliche Raumlufkonzentration von 0,0014 bzw. 0,0015 mg Hg/m³ gefunden. Bei den Untersuchungen wurde ein direktanzeigendes Messgerät mit Messort am Behandlungsstuhl und ein personengetragener Diffusionssammler eingesetzt, bei dem die Hg-Werte über den gesamten Arbeitstag aufsummiert wurden. Beide Messverfahren lieferten weitgehend übereinstimmende Resultate.

Bei Nilsson et al. [24] wurden bei Messungen in 82 Praxen in Schweden durchschnittliche Quecksilberkonzentrationen in der Luft von 0,0015 bis 0,0036 mg/m³ gemessen am Behandlungsstuhl festgestellt, die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt fand bei Untersuchungen in 3 Praxen ähnliche Werte von 0,002 bis 0,005 mg/m³ [31].

Sowohl im Atembereich der Beschäftigten, als auch am Behandlungsstuhl gemessen, treten sehr geringe Quecksilberkonzentrationen von maximal 0,005 mg/m³ auf.

Ergänzend sei angemerkt, dass nach Angaben der damaligen Bundesanstalt für Arbeitsmedizin im Zeitraum von 1982 bis 1990 in der ehemaligen DDR weder bei einem Zahnarzt noch bei einer stomatologischen Schwester eine Berufskrankheit durch Quecksilberintoxikation anerkannt wurde, obwohl der Grenzwert für Quecksilber bei 5 µgHg/m³ (1981-1986) bzw. 50 µg Hg/m³ (ab 1986) lag.

Abweichend hiervon wurden in 2 Studien aus Kanada [5] und den USA [12] höhere Werte gefunden.

Bei Skuba [5] traten bei 77 % von insgesamt 35 Praxen in der Atemluft der Beschäftigten Konzentrationen unterhalb von 0,02 mg/m³ auf, bei 23 % lag der Wert zwischen 0,02 und 0,049 mg/m³. Schichtmittelwerte oberhalb von 50 µg Hg/m³ wurden nicht gefunden. In den Praxen wurden keine vordosierten Kapseln verwendet, sondern ausschließlich Amalgamatoren. Höhere Belastungen ergaben sich bei den Praxen, in denen das Überschussamalgam noch ausgedrückt wurde, das Bohren und Polieren ohne Wasserspraykühlung durchgeführt wurde, Hg- Reste offen gelagert wurden und insgesamt eine schlechte Arbeitshygiene vorherrschte.

Die Studie von Chopp et al. /12/ erfasste ein sehr großes - und damit auch heterogenes - Kollektiv von insgesamt 592 Praxen in den USA im Zeitraum 1979 bis 1981. Angaben zur Probenahmedauer liegen nicht vor.

Bei 47 % der Praxen wurden in der Raumluft in Atemhöhe Hg-Dampfkonzentrationen unterhalb von $0,01 \text{ mg/m}^3$ gefunden, in 32 % der Praxen lagen die Werte maximal bei $0,02 \text{ mg/m}^3$. Höhere Belastungen von $0,02$ - $0,05 \text{ mg/m}^3$ und darüber konnten Praxen zugeordnet werden, die z.B. offene Amalgamatoren verwendeten oder Überschussamalgam ausdrückten. Konzentrationen oberhalb von $0,05 \text{ mg/m}^3$ wurden nicht differenziert dargestellt, da in den USA hier bereits der Grenzwert erreicht ist. Vergleichsweise traten bei nur 0,6 % der Praxen, in denen vordosierte Kapseln verwendet wurden, Werte oberhalb von $0,05 \text{ mg/m}^3$ auf, jedoch bei 9 % der Praxen, in denen das Quecksilber dosiert werden mussten.

Tabelle 3: Mittlere Quecksilberkonzentration in der Raumluft etwa ab 1970 (1980 heutige neue Bundesländer)

Autor/Jahr/ Land	Nummer im Quellenverzeichnis	untersuchte Objekte	Messort		mittlere Hg-Konz. . [mg Hg/m ³]
			Raummitte	an der Person	
Kessel /80/D	/23/	19 Praxen	am Stuhl		0,003
Wirz /85/ CH	/13/	38 Praxen	am Stuhl	X	0,0015
Nilsson / 86/S	/24/	82 Praxen	X		0,0015-0,0036
SUVA *	/31/	3 Praxen/1 Klinik			Praxen 0,002-0,005
Skuba/84/ Kanada	/5/	35 Praxen		X	77 % < 0,02 23 % : 0,02-0,049
Chopp /83/ USA	/12/	592 Praxen, Studie 79-81	in Atemhöhe		47 % < 0,01 32 % : 0,01-0,02 15 % : 0,02-0,05 5 % > 0,05

* Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern

3.2.2.3 Expositionsspitzen früher und heute

Beim unmittelbaren Umgang mit Hg, z. B. beim Dosieren, Mischen, Nachkneten, Legen, Beseitigen von verschüttetem Quecksilber oder beim Öffnen von Entsorgungsbehältern treten für wenige Sekunden bis Minuten Konzentrationen auf, die oberhalb der mittleren Raumlufkonzentration liegen. Diese kurzzeitig höheren Konzentrationen werden im folgenden als Expositionsspitzen bezeichnet. Insbesondere sind hier maschinelle Arbeitsvorgänge, bei denen es zur Aerosolbildung sowie zu einer verstärkten Quecksilberdampfbildung aufgrund erhöhter Temperatur an der Füllungs Oberfläche kommen kann, zu nennen: So das Ausbohren von Füllungen mit Turbinenbohrern, die Ultraschallkondensation oder das Polieren von Füllungen. Ohne effektive Absaugung können hierbei hohe Hg-Dampfkonzentrationen auftreten.

Die im folgenden zusammengestellten Literaturdaten repräsentieren die momentane Belastung der Beschäftigten für die Dauer des Arbeitsganges.

Die Probenahme erfolgte während des jeweiligen Arbeitsganges, bei dem Hg-Dampf entsteht.

Verwendung von Kupferamalgam

Sehr hohe Expositionsspitzen treten bei der Verarbeitung von Kupferamalgam auf. Die Hg-Dampfkonzentrationen überschreiten teils erheblich den Wert für die Maximale Arbeitsplatzkonzentration.

Ein Messergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Quecksilber-Expositionsspitzen bei Verwendung von Kupfer-Amalgam

Autor/Jahr/ Land	Nummer im Quellenverzeichnis	Arbeitsgang	Messort				Dauer des erfassten Arbeits- ganges [min]	Hg- Dampfkonz. für die Dauer des Arbeitsganges [mg/m ³]
			Raummitte	Nähe Fußboden	an der Person	in unmittelbarer Nähe der Hg-Dampfquelle		
Ketterl /64/D	/15/	Offene Zubereitung	X	X			30	max. 0,9 nach 3 Portionen
Mayer /68/ D	/10/	Erhitzen im Löffel			X		1	MW: 0,1; max. 1,0
Böcker/ 65/D	/17/	Erhitzen im Löffel				X	k.A.	EW: 2
Mayer/68/D	/10/	Mischen, Kneten			X		3	MW: 0,02
Ketterl/ 64/D	/15/	geschl. Zubereitung	X	X			30	max. 0,1 nach 3 Portionen
Böcker/65/D	/17/	Stopfen				X	k.A.	0,2-0,3
Böcker/65/D	/17/	Ausbohren ohne Spray				X	0,8	1-1,5; max. 1,7
Mayer/68/D	/9/	Ausbohren ohne Spray ohne Absaugung				Nachstellung Mundhöhle	k.A.	MW > 1
Böcker/65/D	/17/	Ausbohren mit Spray				X	0,8	0,3-0,4
Mayer/68/D	/9/	Ausbohren mit Spray ohne Absaugung				Nachstellung Mundhöhle	k.A.	MW > 1

EW: Einzelwert

MW: Mittelwert

k.A.: Keine Angaben

Ketterl et al. /15/ ließen im Abstand von je 10 Minuten Kupferamalgamportionen zubereiten. Das Erhitzen und das anschließende Mischen im Mörser dauerten jeweils 45 Sekunden. Jede Amalgamportion blieb für eine angenommene Verarbeitungszeit von 5 Minuten an der Luft liegen und wurde danach in ein Gefäß mit Wasser gegeben.

Nach der Zubereitung von 3 Portionen Kupferamalgam, die offen im Löffel erhitzt wurden, trat eine Konzentration von $0,9 \text{ mg/m}^3$ auf, gemessen in der Raummitte 80 cm über dem Fußboden. Wurde das Kupfer im geschlossenen Reagenzglas erhitzt, lag die Konzentration bei maximal $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Weitere Untersuchungen bestätigen, dass insbesondere beim offenen Erhitzen im Löffel, wobei es leicht zu einer Überhitzung kommen konnte, hohe Hg-Dampfkonzentrationen entstehen konnten. Mayer et al. /10/ fanden bei insgesamt 190 Messungen in Kopfhöhe von Beschäftigten einen Maximalwert von 1 mg/m^3 , Böcker et al. /17/ im Laborversuch unmittelbar am Mischplatz einen maximalen Wert von 2 mg/m^3 .

Beim Mischen und Kneten von Kupferamalgam wurden Mittelwerte von $0,02 \text{ mg/m}^3$ /10/, für die Zeitdauer des Stopfens Mittelwerte von $0,2\text{-}0,3 \text{ mg/m}^3$ /17/ gefunden.

Auch beim Ausbohren treten für wenige Sekunden, bedingt durch die Temperaturerhöhung, hohe Spitzenkonzentrationen auf. Ohne Verwendung von Spray und Absaugung liegen die Werte bei $1\text{-}1,5 \text{ mg/m}^3$ /17, 9/, mit Spray bei $0,4 \text{ mg/m}^3$ /17/ bzw. $> 1 \text{ mg/m}^3$ /9/. Bei den Untersuchungen von Mayer /9/ handelt es sich um Laborversuche mit einer künstlichen Mundhöhle. Zur Quecksilberdampfbestimmung wurden spezielle Quecksilberdampfprüfröhrchen verwendet.

Eine Absaugung am Zahn war in den 60er Jahren, in denen häufig Kupferamalgam verarbeitet wurde, noch nicht üblich.

Die Messergebnisse lassen den Schluss zu, dass bei Praxen mit gehäufter Kupferamalgamverarbeitung (z. B. Kinderstomatologie) und offener Zubereitung die Anforderungen des Kurzzeitwertes im allgemeinen nicht erfüllt wurden.

Verwendung von Silberamalgam

a) bei Arbeitstechniken bis ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)

In Tabelle 5 sind Messwerte zur Höhe von Expositionsspitzen beim Umgang mit Silberamalgam zusammengestellt, wie sie speziell bei Arbeitstechniken bis ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer) üblich waren.

Tabelle 5: Quecksilber-Expositionsspitzen bei Arbeitstechniken bis 1970 (1980 heutige neue Bundesländer)

Autor/Jahr/ Land	Nummer im Quellenverzei chnis	Arbeitsgang	Messort				Dauer des erfassten Arbeits- ganges [min]	Hg- Dampfkonz. für die Dauer des Arbeits- ganges [mg/m ³]	Mittlere Raumluftkonz. bei Anwendung spezieller Arbeitstechniken [mg/m ³]
			Raummitte	Nähe Fußboden	an der Person	in unmittelbarer Nähe der Hg- Dampfquelle			
Ausbohren									
Böcker /65/ D	/17/	Ausbohren ohne Spray*				X	0,8	0,5-0,7; max 1	
Cooley/78/ USA	/21/	Ausbohren ohne Spray, ohne Absaugung*			X		0,5	0,6-1,0	
Reinhardt/83/ USA	/4/	Ausbohren ohne Spray, ohne Absaugung*				X	0,5	MW: 0,65; max. 0,93	
Mayer/75/ D	/22/	Ausbohren ohne Spray*				X	k. A.	MW: 1,26 bzw. > 3	
Mayer/68/ D	/9/	Ausbohren ohne Spray, ohne Absaugung*				Nachstellung Mundhöhle	k. A.	MW > 1	
Reinhardt/83/ USA	/4/	Ausbohren mit Spray ohne Absaugung				X	0,5	MW: 0,11; max. 0,21	
Mayer/75/ D	/22/	Ausbohren mit Wasserspray, ohne Absaugung				X	k. A.	MW: 0,027	
Böcker/65/ D	/17/	Ausbohren mit Spray ohne Absaugung				X	0,8	0,02 - 0,03	

Autor/Jahr/ Land	Nummer im Quellenver- zeichnis	Arbeitsgang	Messort				Dauer des erfassten Arbeits- ganges [min]	Hg- Dampfkonz. für die Dauer des Arbeits- ganges [mg/m ³]	Mittlere Raumluftkonz. bei Anwendung spezieller Arbeits- techniken [mg/m ³]
			Raummitte	Nähe Fußboden	an der Person	in unmittelbarer Nähe der Hg-Dampfquelle			
Mischen und Legen									
Kropp/64/D	/6/	Mischen im Mörser	X						0,01
Ketterl/64/D	/15/	Mischen im Mörser	X	X			120	max. 0,026 nach 12 Mischungen	
Böcker/65/D	/17/	Mischen im Mörser				X	0	MW: 0,03	
Wirz/77/CH	/16/	Offene Dosierung				X	k.A.	max. 0,04 nach 3 Mischungen	
Castagnola /73/CH	/7/	Vibrator				X	-	0,05-0,08 nach 10 Mischungen	
Castagnola /73/CH	/7/	Amalgamiser				X	-	>0,1 nach 8 Mischungen	
Chopp/83/ USA	/12/	Nachkneten	X						>0,05 (95 von 592 Praxen)
Ketterl/64/D	/15/	Legen incl. manuelles Anmischen	X	X			40	max. 0,025 nach 32 Füllungen	
Aufbewahren									
Castagnola /73/CH	/7/	Aufbewahren von Hg- Resten trocken, offen				X	-	max. > 0,1	

*Turbinenbohrer

MW: Mittelwert

k. A. : Keine Angaben

Ausbohren

Die höchsten Spitzenkonzentrationen, bedingt durch die Temperaturerhöhung, treten für wenige Sekunden bis Minuten beim trockenen Ausbohren von Silberamalgamplomben ohne Absaugung auf. Werden Turbinenbohrer eingesetzt und nicht abgesaugt, liegen die Werte im Bereich von 0,5 bis 21 mg/m³/4,9,17, 21/. Mayer /22/ führte Messungen mit einem direktanzeigenden Beckmann- Mercury- Vapormeter, Modell K 23, durch, wobei das Messgerät in verschiedenen Messpositionen, 25 cm von der Mundhöhle des Patienten entfernt, platziert war. In Abhängigkeit von der Messposition wurden hier besonders hohe Werte von 1,26 bzw. > 3 mg/m³ gefunden.

Wurde Spraykühlung eingesetzt, aber nicht abgesaugt, reduzierten sich die kurzzeitig messbaren Konzentrationen bereits auf Mittelwerte von 0,02 bis 0,1 mg/m³/4,17, 22/.

Mischen und Legen

Beim früher üblichen Mischen im Mörser traten für die Dauer des Mischvorganges Werte im Bereich von 0,03 mg/m³ auf.

Ketterl /1 5/ untersuchte 1964 die Raumluftbelastung beim Legen von Amalgamfüllungen. Hierzu wurden in einem Raum, in dem zuvor nicht mit Amalgam gearbeitet worden war, 32 Füllungen in 40 Minuten gelegt, wobei das Amalgam vorher manuell angemischt wurde. Die Raumluftkonzentration stieg mit der Zahl der Füllungen an, erreichte nach 40 Minuten ein Maximum von 0,025 mg Hg/ m³ und nahm nach 10 Minuten wieder ab. Wurde nur der reine Mischvorgang im Mörser nachgestellt, trat bereits nach dem Mischen von 12 Portionen ein vergleichbarer Wert auf. Zur Konzentrationsbestimmung wurde ein direktanzeigendes Messgerät eingesetzt, Messort war jeweils die Raummitte, in 80 cm Höhe über dem Fußboden.

In unmittelbarer Nähe des Mörsers gemessen, fand Böcker /17/ 0,03 mg/m³ (30 cm Abstand) als Mittelwert für 10 Portionen. Sind die Arbeitsgänge beendet, sinken die Konzentrationen am Mischarbeitsplatz im Laufe einer Stunde wieder auf den Wert von etwa 0,01 mg/m³ in der Raummitte ab.

Auf den durchschnittlichen Schichtmittelwert bezogen zeigten die von Kropp /6/ untersuchten Praxen, in denen regelmäßig Amalgam im Mörser angemischt wurde, mit einer mittleren Konzentration von 0,01 mg/m³ keinen Unterschied zu Praxen, in denen andere Mischtechniken eingesetzt wurden.

Bei Verwendung bestimmter Geräte konnten in unmittelbarer Nähe zum Gerät sogar höhere Konzentrationen auftreten.

Bei der offenen Variante von Amalgamatoren (Amalgamiser) stellten Castagnola et al. /7/ nach 8 Mischungen einen Wert oberhalb von 0,1 mg/m³, unmittelbar am Gerät gemessen, fest. Ebenso führte der Einsatz von Vibratoren, bedingt durch offene Dosierung und teils undichte Dauermischkapseln, nach 10 Mischungen zu Werten von 0,05 bis 0,08 mg/m³. Wirz et al. /16/ fanden bei unterschiedlichen Formen einer offenen Dosierung unmittelbar am Dosierarbeitsplatz mittlere Konzentrationen von 0,04 mg/m³.

Aufbewahren

Castagnola et al. /7/ stellten fest, dass ein in der Nähe des Messgerätes aufgestellter Behälter mit trocken, nicht verschlossen aufbewahrten Hg-Resten in etwa 4 Minuten die Konzentration auf einen Wert von 0,1 mg/m³ ansteigen lässt.

Den vorliegenden Messwerten zufolge waren beim üblichen Praxisbetrieb in den Jahren bis

ca. 1970 (bzw. 1980 heutige neue Bundesländer) die Anforderungen des Kurzzeitwertes eingehalten.

b) bei Arbeitstechniken ab ca. 1970 bzw. 1980 (heutige neue Bundesländer)

In Tabelle 6 sind Messwerte für Expositionsspitzen zusammengestellt, die bei Arbeitstechniken auftreten, die in den letzten 20 Jahren in den Praxen angewandt wurden. Expositionsmindernde Maßnahmen - hier sind vor allem das Dosieren und Mischen in geschlossenen Systemen, die Absaugung am Zahn sowie die Wasserspraykühlung zu nennen - führten zu einer Abnahme der Spitzenkonzentrationen.

Tabelle 6: Quecksilber-Expositionsspitzen bei Arbeitstechniken ab 1970 (1980 heutige neue Bundesländer)

Autor/Jahr/ Land	Nummer im Quellenver- zeichnis	Arbeitsgang	Messort				Dauer des erfassten Arbeits- ganges [min]	Hg- Konz, für die Dauer des Arbeitsganges [mg/m ³]	Mittlere Raumluftkonz.bei Anwendung spezieller Arbeitstechniken [mg/m ³]
			Raummitte	Nähe Fußboden	an der Person	in unmittelbarer Nähe der Hg Dampfquelle			
Mischen und Legen									
Wirz/77/CH	/16/	Mischen mit Dentomat				X	-	max. 0,025 nach 3 Mischungen, Dentomat sauber	
Wirz /77/CH	/16/	Mischen mit Dentomat				X	-	max. 0,043 nach 3 Mischungen Dentomat unsauber	
Castagnola/73/ CH	/7/	Mischen mit Dentomat				X	-	max. 0,035 bis 0,045 nach 10 Mischungen	
Kropp/64/D	/6/	Mischen mit Dentomat	X						0,0082
Ketterl/64/D	/15/	Mischen mit Dentomat	X	X			120	max. 0,045 nach 12 Mischungen	
Wirz/77/CH	/16/	Vordosierte Kap- seln, Kapselmischer				X	-	max. 0,017 nach 3 Mischungen	
Kessel/80/D	/23/	Legen				X	k.A.	MW: 0,007	
Kessel/80/D	/23/	Füllen Amalgampistole				X	k.A.	MW: 0,012	
Mayer/75/D	/22/	Maschinelles Kondensieren				X	wenige Sekunden	MW: 0,016; max. 0,03	
Chandler/71/ USA	/2/	Ultraschall- Kondensation				X	3	max. 0,02	
Polieren									
Mayer/75/D	/22/	Gummipolierer trocken				X	k.A.	MW: 0,029 bzw. 1,25	
Kessel/80/D	/23/	Polieren, trocken				X	k.A.	MW: 0,01	
Kessel/80//D	/23/	Polieren, naß				X	k.A.	MW: 0,005	
Ausbohren									
Cooley/78/USA	/21/	Ausbohren mit Absaugung und Spray			X		k.A.	0,02 - 0,05	
Skuba /84/ Kanada	/5/	Polieren, Ausbohren mit Spray und Absaugung			X		k.A.	<0,05	
Aufbewahren									
Castagnola/73/ CH	/7/	Hg-Reste unter Wasser				X	-	max. 0,03	

M W = Mittelwert;
k.A.= keine Angaben

Mischen und Legen

In unmittelbarer Nähe zum Mischgerät können kurzzeitig erhöhte Raumluftkonzentrationen auftreten, die denen beim manuellen Mischen im Mörser vergleichbar sind. Die Messwerte, die jeweils während wiederholter Mischvorgänge bei Verwendung von sauberen und auch unsauberen Dentomaten erhalten wurden, liegen im Bereich von 0,025 bis 0,05 mg/m³ / 7, 15,16/. Kropp stellte für Praxen, die Dentomaten nutzten, mittlere Raumluftkonzentrationen von 0,0082 mg/m³ fest.

Durch die Verwendung der heute üblichen vordosierten Einmalkapseln verringert sich die Quecksilberdampfbelastung auf Werte von 0,017 mg/m³ am Kapselmischgerät /16/. Unmittelbar beim Öffnen der Kapsel nach der Trituration sind 0,1 mg Hg/m³ messbar / 11/.

Für den Arbeitsgang des Füllens der Amalgampistole stellten Kessel et al. /23/ eine Konzentration von 0,012 mg/m³ in der Nähe des Patientenmundes in Atemhöhe der Helferin fest.

Für die Dauer der maschinellen Kondensation mittels Cavitron treten in unmittelbarer Nähe zum Patientenmund mittlere Konzentrationen von 0,016 mg/m³ auf /22/.

Beim allgemein verbreiteten manuellen Stopfen liegen die Werte im Bereich der Nachweisgrenze von 0,005 mg/m³.

Bei der Ultraschallkondensation, die jedoch wenig Verbreitung gefunden hat, treten kurzzeitige Konzentrationen von 0,02 mg/m³ auf /2, 7/. Bei dieser Technik entwickelt sich eine Wolke kleinster Hg-haltiger Teilchen von 1-100 µm Größe, die auch die alveolengängige Fraktion mit einem Durchmesser < 5 µm einschließt. Die Wolke ist bis zu einem Abstand von 60-90 cm über dem Zahn nachweisbar. Es werden hierdurch erhebliche Anteile an Quecksilber in die Umgebung verstreut, die im Laufe der Zeit kumulativ zu einer erhöhten Quecksilberdampfkonzentration führen /7/.

Polieren

Weitere Expositionsspitzen, hervorgerufen durch maschinelle Bearbeitung sowie Temperaturerhöhung (ca. 65 °C an der Füllungsoberfläche, /15/), ergeben sich bei der Politur von Amalgamfüllungen. Beim trockenen Polieren mit Gummipolieren fand Mayer /22/ je nach Position des Messgerätes am Patientenmund Werte von 0,029 und 1,25 mg/m³ (Spitze 3 mg/m³), Kessel et al./23/ konnten beim trockenen Polieren in der Nähe des Patientenmundes in Atemhöhe des Arztes 0,01 mg/m³ messen. Wurde - wie heute üblich - nass poliert, verringerte sich der Wert um die Hälfte.

Ausbohren

In den letzten Jahren wurde nahezu ausschließlich unter Einsatz von Wasserspraykühlung, Speichelabsaugung sowie Zahnabsaugung ausgebohrt. Die kurzzeitig auftretenden Spitzenkonzentrationen wurden dadurch stark reduziert. Cooley et al. /21/ stellten für jeweils wenige Sekunden während des Ausbohrns Werte zwischen 0,02 und 0,05 mg/m³ im Atembereich des Zahnarztes fest. Vergleichbare Ergebnisse fand Skuba /5/.

Aufbewahren

Quecksilberreste werden in den Praxen in den letzten Jahren im allgemeinen unter Wasser gelagert. Quecksilber löst sich geringfügig in Wasser und kann durch Wasser hindurchdiffundieren und verdampfen. Direkt oberhalb der Aufbewahrungsgefäße ist daher Hg-Dampf nachweisbar. Bei Castagnola et al. /7/ wurde mit einem Messgerät unmittelbar neben einem mit Wasser bedeckten offenen Hg-Restebehälter nach 4 Minuten ein Wert von 0,03 mg/m³ gemessen.

Hg-kontaminierte Sterilisatoren

In einzelnen Praxen wurden Heissluftsterilisatoren vorgefunden, die im geschlossenen Zustand /24/ oder bei Türöffnung /14/ Hg-Dampf abgaben. Es wurden Konzentrationen von 0,006 und 0,024 mg/m³ /24/ bzw. 0,75 mg/m³ /14/ in der Nähe dieser Geräte gemessen.

Fazit Expositionsspitzen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim Umgang mit Silberamalgam unter üblichen Praxisbedingungen (Tätigkeiten, räumliche Gegebenheiten) für den gesamten betrachteten Zeitraum die Anforderungen des Kurzzeitwertes eingehalten wurden. Die Belastung des Einzelnen muss jedoch, z. B. bei von den üblichen Bedingungen abweichender Arbeitsorganisation von Beschäftigten oder schwerpunktmäßiger Ausführung bestimmter Tätigkeiten in der Praxis, individuell beurteilt werden.

Bei einem hohen Anteil an Kupferamalgamverarbeitung wurden die Anforderungen des Kurzzeitwertes im allgemeinen nicht eingehalten.

3.2.3. Auswertung von Messungen der BGW 1996

Im Jahr 1996 wurden vom Messtechnischen Dienst der BGW in 9 Zahnarztpraxen standardisierte Expositionsmessungen nach TRGS 402/49/ durchgeführt.

Die Probenahme erfolgte mit einem diskontinuierlichen Messverfahren im Atembereich von Zahnarzt und HelferIn und zusätzlich mit einem direktanzeigenden Quecksilberanalysator im Atembereich des Zahnarztes. Die Messungen wurden auf der Basis eines vom Berufsgenossenschaftlichen Institutes für Arbeitssicherheit entwickelten Verfahrens durchgeführt, bei dem Quecksilber sowohl in Form von Aerosol als auch in Dampfform erfasst wird. Mit Hilfe des direktanzeigenden Quecksilberanalysators konnte die Grundbelastung in der Praxis sowie die Belastung bei einzelnen Tätigkeiten ermittelt werden.

Die Praxen waren durch folgende Rahmen- und Arbeitsbedingungen gekennzeichnet:

- Die Behandlungsräume hatten ein Raumvolumen von 20-45 m³
- Es wurden Silberamalgame mit einem Quecksilberanteil von 46 - 51 % eingesetzt.
- Das Amalgam wurde in 2 Praxen mit Amalgamatoren zubereitet, in 7 Praxen wurden vordosierte Kapseln verwendet.
- Die Absaugung wurde generell beim Bohren, fast überall auch beim Polieren und soweit möglich auch beim Legen eingesetzt.
- Die Amalgamfüllungen wurden mit Turbinen/Schnelllauf- oder Elektrobohrern entfernt. Je nach Ausführung wurden die Bohrer mit Drehzahlen zwischen 40.000 und 300.000 U/min. betrieben. Die Bohrer waren wassergekühlt und verfügten über eine Spraykühlung.
- In 2 Praxen wurde unter Zuhilfenahme eines Kofferdamms ausgebohrt
- Etwa 50 % der Beschäftigten trugen Mundschutz
- Etwa 50 % der Beschäftigten trugen Handschuhe

Zur Simulation ungünstiger Lüftungsverhältnisse waren die Fenster grundsätzlich geschlossen; die Türen waren soweit möglich geschlossen.

Die Anzahl der Patienten (bis zu sieben) bzw. die Anzahl der Amalgambehandlungen war für den Messzeitraum von 52 - 138 Minuten sehr hoch und entsprach, je nach Praxis, der jeweiligen Anzahl für mindestens eine Arbeitsschicht, in einigen Fällen sogar für mehrere Arbeitstage. Es wurde dennoch davon ausgegangen, dass die vorgefundene Expositionssituation auch über eine gesamte Arbeitsschicht von 8 Stunden gegeben sein kann.

Auf dieser Grundlage ergibt sich eine worst -case Einschätzung für die Gefahrstoffbelastung durch Quecksilberdampf und -aerosol im Atembereich von Zahnarzt und -helfer. Die Messergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt. Der in einigen Praxen bereits vor Beginn der Amalgambehandlung im Behandlungsraum messbare Grundlevel von bis zu $6 \mu\text{g Hg/m}^3$ ist in den Messergebnissen enthalten. Alle Quecksilberkonzentrationen sind kleiner oder gleich $10 \mu\text{g Hg/m}^3$.

Abbildung 1: Quecksilberbelastung in Zahnarztpraxen

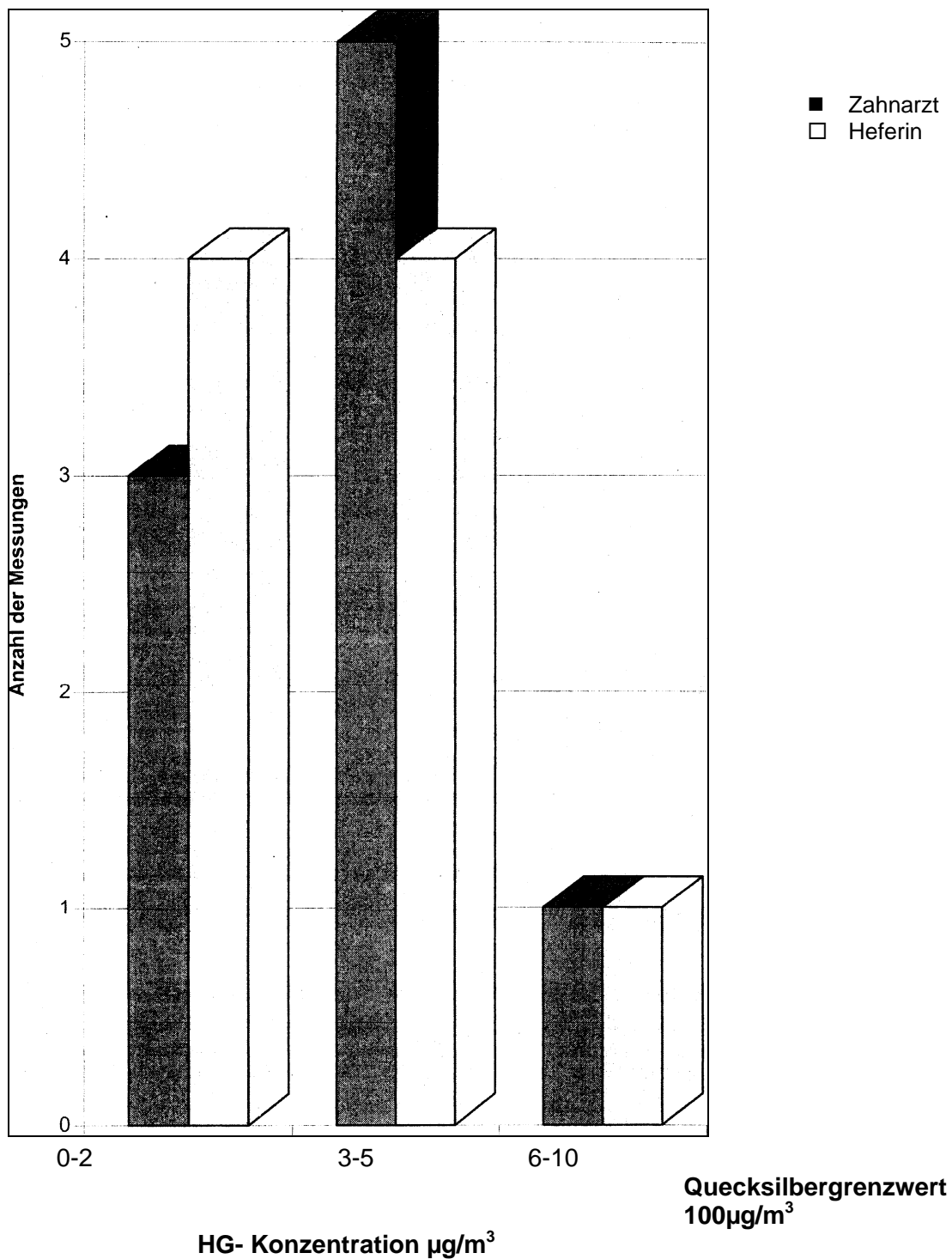
Für die Beurteilung von Gefahrstoffkonzentrationen wird allgemein ein Stoffindex errechnet, der sich als Verhältnis aus der ermittelten Konzentration und dem Grenzwert ergibt. Aus den Messergebnissen errechnet sich ein Stoffindex für Quecksilber von kleiner/gleich 0,1. Bei Stoffindizes kleiner oder gleich 0,1 kann davon ausgegangen werden, dass der jeweilige Gefahrstoffgrenzwert dauerhaft sicher eingehalten ist. Dies ist für Quecksilber unter den vorgefundenen Arbeitsbedingungen der Fall.

Die Grundbelastung im Raum, vor der Aufnahme der Tätigkeit, lag in den Praxen zwischen < 1 und $6 \mu\text{g Hg/m}^3$. Als Emissionsquellen, die unabhängig vom Umgang mit Quecksilber auftreten, sind dabei offene Abfallbehälter mit Überschussamalgam - in den aufgesuchten Praxen fast ausschließlich unter Wasser aufbewahrt - oder unverschlossen entsorgte Kapseln sowie Quecksilber zu nennen, das sich durch unsauberes Arbeiten im Raum befindet.

Die Entfernung einer Amalgamfüllung inklusive Nacharbeit (z. B. das Entfernen von Karies) dauert ca. 2 Minuten. Innerhalb dieser Zeit wurden für Sekunden Konzentrationen von $2-30 \mu\text{g Hg/m}^3$ ermittelt.

Das Legen einer Füllung dauert etwa 3-4 Minuten. Für diesen Vorgang wurden kurzzeitig Konzentrationen im Bereich von $2-20 \mu\text{g Hg/m}^3$ gemessen. Der Poliervorgang dauert etwa 1 Minute. Für mehrere Sekunden wurden Konzentrationen im Bereich von $3-24 \mu\text{g Hg/m}^3$ gemessen. Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes wurden zu keinem Zeitpunkt ermittelt. Die Kurzzeitwertbedingungen wurden somit ebenfalls eingehalten.

Quecksilberbelastung in Zahnarztpraxen



3.3 Hautkontakt mit Quecksilber

Quecksilber ist nicht als hautresorptiv eingestuft. Die Möglichkeit einer Aufnahme von elementarem Quecksilber über die Haut wird jedoch von mehreren Autoren nicht grundsätzlich ausgeschlossen.

Bei der dermalen Hg-Exposition ist die persönliche Arbeitshygiene von besonderer Bedeutung. Edine Kontamination der Hände oder der Kleidung mit Quecksilber trägt zu einem Anstieg der Belastung der Atemluft sowie zur Verschleppung von Quecksilber in andere Bereiche bei. Wird zwischen den Arbeitsschritten z.B. gegessen oder geraucht, ist auch die orale Aufnahme von Quecksilber möglich. (Quecksilber kann u.a. auch über die Schuhsohlen verschleppt werden: Unter den Sohlen war Quecksilber nachweisbar /8/).

Handschuhe wurden in der Regel früher nicht getragen, in den letzten Jahren jedoch vom überwiegenden Teil der Beschäftigten.

Ein Hautkontakt ist möglich bei folgenden wesentlichen Tätigkeiten:

a) in früheren Jahren

- Dosieren: Benutzung der Amalgamwaage, Umfüllen in Dispenser, Befüllen des Vorratstanks am Amalgamator (ca. alle 2 Wochen), Einfüllen in Dauermischkapseln von Vibratoren
- Mischen: Anreiben im Mörser, glattstreichen
- Nachkneten des Amalgams
- Durchkneten beim Legen von Füllungen
- Entfernen von Verunreinigungen
- Reinigen Hg-kontaminierter Instrumente-, Mischeinrichtungen

b) in den letzten Jahren

- Dosieren: Befüllen des Vorratstanks am Amalgamator (in Abhängigkeit vom Umfang der Amalgamverarbeitung alle 2 Wochen bis 1x jährlich)
- Mischen: Verwendung vordosierter Kapseln mit Hg-Folienkissen, Trennung der Amalgamportionen von Membran oder Stößel
- Aufnahme von Amalgam in die Amalgampistole
- Entfernen von Verunreinigungen
- Reinigen Hg-kontaminierter Instrumente-, Mischeinrichtungen: Amalgampistole, Auffangbehälter für Amalgamschlamm

Der Nachweis einer Kontamination der Hände wurde von einigen Autoren durch Messung der Hg-Konzentration über den Händen erbracht.

Nach dem Kneten einer Silberamalgamportion in der ungeschützten Hand, wie es in den 60er Jahren üblich war, traten nach Angaben von Ketterl und Mitarbeitern /15/ in einem Abstand von 10 cm oberhalb der Hand Werte von 0,15-0,3 mg Hg/m³ Luft auf. Die Autoren weisen darüber hinaus nach, dass die Hg-Konzentration trotz intensiven Waschens nur allmählich wieder abnahm (nach 30 Minuten, 3x Waschen: 0,05 mg Hg/m³ Luft). Vergleichbare Messwerte sind auch bei Symington et al. /18/ beschrieben. Wirz und Mitarbeiter weisen auf die Kontamination der Hände hin, quantifizieren die Belastung jedoch nicht weiter /13/.

Kessel et al./23/ /1980/ fanden bei Untersuchungen von insgesamt 38 Beschäftigten im Jahr

1980 bei Zahnärzten in 1 cm Abstand über den Fingern Durchschnittswerte von $25 \mu\text{g Hg/m}^3$ und bei Zahnarzhelferinnen wesentlich höhere Werte von $80 \mu\text{g Hg/m}^3$, was dafür spricht, dass vor allem Helferinnen häufig das Silberamalgam mit den Fingern berühren.

Symington et al. weisen insbesondere auf die Problematik des Rauchens zwischen den Arbeitsschritten hin, da Quecksilber auf kontaminierten Zigaretten vollständig verdampft /18/ (Siedepunkt = $356,7 \text{ }^\circ\text{C}$).

Sofern in den Praxen Quecksilber ausschließlich in vordosierten Kapseln verwendet wird und Handschuhe beim Umgang mit Quecksilber bzw. Amalgam getragen werden, ist ein Hautkontakt nahezu ausgeschlossen. Dies beschreibt die Situation für den überwiegenden Teil der Zahnarztpraxen seit etwa 1990.

Eine andere Methode zur Arbeitsplatzbeurteilung wählte das Niedersächsische Umweltministerium, indem es 1992 eine Studie zur Hausstaubbelastung in niedersächsischen Zahnarztpraxen durchführen ließ. Hierzu wurden in 21 Praxen am Ende eines Arbeitstages Staubproben entnommen, die die täglich deponierte Hg-Masse repräsentieren. Die Bestimmung des Quecksilbers erfolgte durch Atomabsorptionsspektrometrie.

Die durchschnittlich auf dem Boden deponierte Hg-Masse betrug $41 \mu\text{g}$ pro Behandlungsraum. Dieser Wert entspricht dem Leitwert der WHO von $45 \mu\text{g}$, der als vertretbar für die tägliche Aufnahme an Gesamtquecksilber für eine 60 kg-Person angesehen wird. Die starke Streuung der Werte von minimal 10 ng bis maximal $600 \mu\text{g}$ pro Raum wurde auf die unterschiedliche Sorgfalt der Zahnärzte beim Umgang mit Quecksilber zurückgeführt. Im Rahmen einer Dissertation (Korff, Uni München) wurden ähnliche Ergebnisse gefunden.

3.4 Biologisches Monitoring

Biomonitoring-Verfahren gestatten es, die individuelle Belastung des Menschen zu erfassen. Die gesamte innere Quecksilberbelastung, hervorgerufen durch die Aufnahme quecksilberhaltiger Nahrungsmittel, durch Quellen aus der Umwelt, durch eigene Amalgamfüllungen sowie durch die beruflich bedingte inhalative und dermale Exposition, lässt sich integral durch Quecksilberanalysen im Blut bzw. Urin bestimmen. Die Urinwerte können auf das Harnvolumen, die Kreatininausscheidung und die Zeit bezogen sein.

Quecksilberkonzentrationen im Blut ändern sich in Abhängigkeit von der kurz vorher erfolgten Exposition mit Quecksilber. Sie werden in erheblichem Umfang durch die Aufnahme von Methylquecksilber aus fischreicher Nahrung beeinflusst. Die Quecksilberkonzentrationen im Urin dagegen werden nur geringfügig durch Methylquecksilber beeinflusst, da dieses vorwiegend im Stuhl ausgeschieden wird. Sie stellen ein Maß der Belastung beim Umgang mit Quecksilber während der vorangegangenen Wochen und Monate dar. Urinwerte korrelieren mit der Zahl der vorhandenen Amalgamfüllungen. Personen mit Amalgamfüllungen weisen eine höhere Quecksilberausscheidungsrate im Urin als Personen ohne Amalgamfüllungen auf /20/.

Die durchschnittliche Konzentration von Quecksilber im Blut und Urin der Normalbevölkerung liegt nach Angaben des damaligen BGA 1992 in Deutschland bei $1 \mu\text{g Hg/l}$. Die Angabe gilt ohne Differenzierung von Personen mit und ohne Amalgamfüllungen. In einer Zusammenstellung von Lewalter et al. /34/ werden folgende Angaben zur Hintergrundbelastung nicht beruflich exponierter Personen gemacht:

Matrix	Durchschnittswerte	Höchster gefundener Wert bzw. 95. Perzentile
Harn	ohne Amalgamfüllung 0,1- 0,3 µg/l 0,2 - 0,5 µg/g Kreatinin	1,0 µg/l 1,0 µg/g Kreatinin
	mit Amalgamfüllung 0,3 -1,0 µg/l 0,3 -1,0 µg/g Kreatinin	5,0 µg/l 5,0 µg/g Kreatinin
Blut	0,3 - 5,0µg/l	2,5µg/l

Für beruflich nicht Exponierte - hierzu zählen u. a. auch Kinder und ältere Personen -, die täglich 24 Stunden einer äußeren Belastung durch Quecksilber in der Umwelt oder der Nahrung ausgesetzt sind, schlägt die Kommission Human- Biomonitoring des Umweltbundesamtes folgende Kategorisierung für die Beurteilung von Quecksilberkonzentrationen im Blut oder Harn vor /34/:

1. Wert unauffällig:
 Urinwerte < 5 µg Hg/l
 Blutwerte < 3 µg Hg/l
2. Wert deutlich erhöht, Gesundheitsgefahr nicht erkennbar:
 Urinwerte 5 - 20 µg Hg/l
 Blutwerte 3 -10 µg Hg/l
3. Wert deutlich erhöht, Gesundheitsgefährdung auf längere Sicht nicht auszuschließen:
 Urinwerte > 20 µg Hg/l
 Blutwerte > 10 µg Hg/l

Für beruflich Exponierte ist der BAT-Wert als Beurteilungskriterium heranzuziehen. Der BAT-Wert für die Konzentration im Harn liegt bei 200 µg Hg/l, für die Konzentration im Blut bei 50 µg Hg/l. Er berücksichtigt auf der Basis naturwissenschaftlicher und arbeitsmedizinischer Erkenntnisse sowohl die Beziehung zwischen der äußeren Belastung in der Raumluft durch Exposition am Arbeitsplatz und einer daraus resultierenden Aufnahme in den Körper als auch die Beziehung zwischen dieser inneren Belastung und einer daraus resultierenden Beanspruchung (d. h. erkennbare physiologische bzw. pathophysiologische Veränderungen). Bei längerfristiger Exposition gegenüber Quecksilberdämpfen hat sich eine eindeutige Korrelation der Höhe der Raumluftkonzentration zur Quecksilberkonzentration im Blut der exponierten Personen gefunden. Ebenso besteht eine Korrelation dieser Blutkonzentration zur Ausscheidungsmenge im Urin.

Die Messung der Quecksilberkonzentration als Spontanausscheidung im Urin exponierter Personen (sinnvollerweise gemessen am Ende einer Arbeitswoche) spiegelt daher arbeitsmedizinisch gesichert die Expositionsbelastung wider. Die Untersuchungsmethode obliegt bei richtiger Durchführung einer hohen Genauigkeit und ist weitgehend unabhängig von außen beeinflussbaren Parametern. Anhand dieses BAT-Wertes lässt sich somit relativ sicher sagen, ob eine längerfristige Exposition vorgelegen hat, die Befürchtungen für eine gesundheitliche Beeinträchtigung rechtfertigen oder nicht.

Andere Untersuchungsmethoden zur Quecksilberbelastung und Beanspruchung bieten gegenüber dieser Methode keine toxikologisch besseren Aussagen. Da diese Methoden in der Regel wissenschaftlich nicht standardisiert sind, ist deren Aussagegehalt sogar eher schlechter. Dies gilt auch für die sogenannte DMPS- Methode. Durch Einnahme von 300 mg

des Komplexbildners 2,3-Dimercapto-l-propansulfonat Natriumsalz (DMPS, Dimaval) wird das vorwiegend im Nierengewebe deponierte Quecksilber mobilisiert und zusätzlich harngängig gemacht. Dadurch erhöht sich die Urinkonzentration gegenüber der Spontanausscheidung um das 5-20-fache /35/. Die Methode lässt aber keine bessere oder zusätzliche Aussage für das Maß der äußeren und inneren Belastung bzw. Beanspruchung durch anorganisches Quecksilber zu. Die DMPS- Methode lässt auch keine bessere, wissenschaftlich abgesicherte toxikologische Beurteilung gegenüber der Untersuchungsmethode für die BAT-Beurteilung zu. Im Gegensatz zur Spontanausscheidung ist die Ausscheidung von Quecksilber nach DMPS- Gabe von zusätzlichen Parametern (z. B. Resorptionsrate, Bioverfügbarkeit) abhängig.

Da mit der DMPS- Methode toxikologisch und arbeitsmedizinisch keine besseren Aussagen gegenüber der Messung der Spontanausscheidung von Quecksilber im Urin (BAT-Wert) gemacht werden, ggf. aber durch die Gabe des Medikamentes mit schweren Nebenwirkungen zu rechnen ist, ist diese Methode für die Beurteilung der Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz abzulehnen.

Im Rahmen der von der BGW durchgeführten Messungen in neun Zahnarztpraxen im Köln/Bonner Raum wurden bei 31 Beschäftigten Palladium, Silber, Zinn und Quecksilber im Urin bestimmt (in Abhängigkeit von der Unrinausscheidung/bezogen auf das Kreatinin). Die Messungen ergaben sehr geringe Mengen von den gemessenen Metallen im Urin, davon bei allen untersuchten Palladium und Silber unterhalb der Nachweisgrenze. Quecksilber und Zinn waren nachweisbar, jedoch lagen die gemessenen Werte für Quecksilber weit unterhalb (Faktor 2 - 10) der toxikologischen bedeutsamen Grenze von 5 µg Hg/l und der biologischen Arbeitsplatztoleranz (Faktor 20 - 70). Für Zinn existiert kein BAT-Wert. Die gefundenen Messergebnisse haben keine toxikologische Relevanz. Die Anzahl der Messungen und die Auswahl der Probanden lassen jedoch keine repräsentative Aussage zur internen Quecksilberbelastung von Zahnärzten bzw. zahnärztlichem Personal zu. Die gefundenen Ergebnisse decken sich jedoch mit Resultaten aus der Literatur.

Aussagefähige Literaturangaben zur Quecksilberbelastung des Zahnarztes und des Assistenzpersonals liegen etwa seit 1985 vor. Die berufliche Quecksilberexposition lässt sich nachweisen: Die Belastung ist etwa doppelt so hoch wie die der Durchschnittsbevölkerung /36, 37/. Für das Assistenzpersonal werden häufig höhere Werte als für den Zahnarzt gefunden. Die BAT-Werte werden im allgemeinen um mehr als eine Zehnerpotenz unterschritten.

Zander et al. /38/ fanden 1992 bei der Untersuchung von 22 Zahnärzten und 42 Helferinnen durchschnittliche Quecksilberkonzentrationen im Spontanurin von 1,4 µg Hg/l (max. 5,2 µg Hg/l, Ärzte) bzw. 3,7 µg Hg/l (max. 14,7 µg Hg/l, Zahnarthelferinnen). Sonstige Mitarbeiter in den Praxen, die keinen Umgang mit Amalgam hatten, wiesen Konzentrationen von 0,8 µg Hg/l (max. 5,5 µg Hg/l) auf, das Kollektiv von 29 beruflich nicht belasteten Personen einen Vergleichswert von (0,5 µg Hg/l (max. 4,1 µg Hg/l).

Skare et al. /39/ ermittelten bei Untersuchungen an insgesamt 314 schwedischen Zahnärzten bzw. zahnärztlichem Assistenzpersonal Durchschnittskonzentrationen von 3,4 µg Hg/l im Urin. Maximal traten Konzentrationen von 16 µg Hg/l auf. Die Kontrollgruppe wies eine nur geringfügig geringere Belastung von durchschnittlich 2,5 µg Hg/l Urin (max. 8 µg/l) auf.

Im Blut von 121 Zahnärzten und Zahnarthelferinnen wurden Werte von 3,8 µg Hg/l Blut (+ 2,1 µg Hg/l) für Zahnärzte und 3,5 µg Hg/l (+/- 2,8 µg Hg/l) für die zahnärztlichen Assistenten jeweils mit großer Streuung der Einzelwerte festgestellt /36/. Die zahlenmäßig etwa gleichgroße Vergleichsgruppe nicht beruflich Exponierter wies ähnliche Werte von 3 µg Hg/l(+/- 2,8 µg Hg/l) auf.

Insbesondere in der US-amerikanischen Literatur werden dagegen zum Teil erheblich

höhere Werte gefunden. In einer in den Jahren 1975 -1983 durchgeführten Untersuchung an 4272 US-amerikanischen Zahnärzten wurden Durchschnittswerte von 14,2 µg Hg/l Urin gefunden. 4,9 % der untersuchten Probanden wiesen Quecksilberkonzentrationen von mehr als 50 µg Hg/l auf und 1,3 % Werte von mehr als 100 µg Hg/l /40/. Dies spiegelt den in Abschnitt 3.3 dargestellten Befund wieder, dass die Raumluftbelastung in Praxen in den USA im Vergleich zu Praxen in Deutschland, der Schweiz und Schweden vergleichsweise hoch war.

3.5. Quecksilber-Exposition anderer Berufsgruppen

Der folgende Abschnitt soll eine Einordnung der Hg-Exposition des zahnärztlichen Personals in das Umfeld anderer ebenfalls beruflich Hg-exponierter Berufsgruppen aus dem industriellen Bereich ermöglichen.

Batterie-Herstellung, Herstellung Hg-haltiger Schalter, Leuchtreklamehersteller

Die BG für Feinmechanik und Elektrotechnik führte in den Jahren 1981-1995 Raumluftmessungen und personenbezogene Messungen mit direktanzeigenden Meßgeräten in diesen Arbeitsbereichen durch. Das arithmetische Mittel von 100 Messungen lag bei 0,05 mg/m³ (90 %-Wert: 0,07 mg/m³, 50 %-Wert: 0,003 mg/m³)

Es wurde die Einhaltung der MAK festgestellt. Vereinzelt traten jedoch Extremwerte auf

(max. 1,5 mg/m³ im Wartungs- und Reparaturbereich). Meist waren mangelnde hygienische Verhältnisse und damit verbundene Bodenverunreinigungen die Ursache für diese hohen Konzentrationen (persönliche Mitteilung Frau Dr. Böckler).

Herstellung von Thermometern, Chemikalienhersteller, Chloralkali-Elektrolyse

Exemplarisch sollen hier mittlere Raumluft-Konzentrationen genannt werden, die die BG Chemie bei einigen Betrieben mit Hg-Verarbeitung ermittelte (persönliche Mitteilung Dr. Huber):

- Herstellung von Thermometern: Die Grenzwerte werden eingehalten. Die mittlere Expositionshöhe liegt etwa bei 0,01 mg/m³.
- Produktion von Hg-salzen: Es wurden teilweise Grenzwertüberschreitungen festgestellt, beispielsweise vor 10 Jahren bei einem Betrieb mit Holzfußboden. Die Produktion war zum Zeitpunkt der Messung bereits eingestellt.
- Chloralkali-Elektrolyse (ehemalige DDR): Hier wurde eine erhebliche Überschreitung des Grenzwertes festgestellt. Der Boden war u.a. metertief kontaminiert.

4 Quellenverzeichnis:

- [1] J Legrum, W.: Pharmakologisch-toxikologische Aspekte. DMW, Jahrgang 115 Nr. 39, S. 1492 - 1444 (1990)
- [2] Chandler, H.H., Rupp, N. W., Paffenbarger, G. C.: Poor mercury hygiene from ultrasonic amalgam condensation. DADA, Vol. 82, S. 553-557 (1971)
- [3] Skare, I., Eng! L., Bergtröm, T. et al.: Mercury exposure of different origins among dentists and dental nurses. Scand J Work Environ Health,16, S. 340 - 347, (1990)
- [4] Reinhardt, J. W., Chiu Chan, K., Schulein, T.M. : Mercury vaporization during amalgam removal. The Journal of prosthetic Dentistry, Vol. 50, Nr. 1, S. 62 - 64, (1983)
- [5] Skuba, A.: Specialty Features-Survey for Mercury Vapour in Manitoba dental Offices Summer 1983. J. Canad. dent. Assn., No. 7. S. 517 - 522 (1984)
- [6] Kropp, R.: Untersuchungen über den Quecksilberdampfgehalt in der Luft zahnärztlicher Praxen. Zahnärztliche Mitteilungen, Nr. 23, S.1110 -1113 (1964)
- [7] Castagnola, L., Wirz, J.: Die Quecksilberverdampfung bei der Verarbeitung von Silberamalgam. SMfZ 83, Nr. 8, S. 922 - 946 (1973).
- [8] Rheinisch-Westfälischer TÜV: Erfahrungen aus der Messung von Quecksilberdampfkonzentrtionen in zahnärztlichen Praxen. Februar 1987
- [9] Mayer, R.: Quecksilberdampfmessungen beim Ausbohren von Amalgamfüllungen. DZZ 23, Heft 2. S.191-193 (1968)
- [10] Mayer, R., Jenatscke, F.: Die Quecksilberdampfkonzentration bei der Zubereitung von Kupfer Amalgam. DZZ 23, Heft 12, S.1453 -1456 (1968)
- [11] Schneider, M.: An environmental study of mercury contamination in dental Offices JADA, Vol. 89, S. 1092 -1098 (1974)
- [12] Chopp, G. F., Kaufmann, E. G.: Mercury Vapor Related to Manipulation of Amalgam and to Floor surface. Operative Dentistry, Nr. 8, S.23-27 (1983)
- [13] Wirz, J., Valent, I.: Quecksilberdämpfe in der Zahnarztpraxis. Schweiz. Mschr. Zahnmed. 95, Nr. 4, S.261- 280 (1985)
- [14] Rothwell, P. S., Framo, J. W.: Mecury Vapour hazards from hot air sterilises in dental practice. Brit. dent. J., Nr. 142, S.359 - 365 (1977)
- [15] Ketterl, W. und Lamprecht, K.: Zum Problem des Quecksilber-Dampfgehaltes in zahnärztlichen Räumen. DZZ 19, Heft 12, S.1104 -1109 (1964)
- [16] Wirz, J., Castagnola L.: Quecksilberdämpfe in der zahnärztlichen Praxis. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 87, Nr. 7 S. 570 - 577 (1977)
- [17] Böcker F. W. und Marxkors, R.: Untersuchungen über den Quecksilberdampfgehalt in der Luft bei der Verarbeitung von Amalgamen. Das Deutsche Zahnärzteblatt DDZ, Jahrgang 19, Heft 5, S. 127-129 (1965)

- [18] Symington, Jan S., Cross, J. D., Dale I. M. and Lenihan J.M.A.: Mercury Poisoning in Dentists. J. Soc. Occup. Med., Nr. 30, S. 37 - 39 (1980)
- [19] Verwaltungsvorschrift über die Genehmigung von Abwassereinleitungen aus Zahnarztpraxen in öffentliche Abwasseranlagen vom 05.03.1990
- [20] Informationsschrift des Bundesgesundheitsamtes: Amalgame in der zahnärztlichen Therapie - 1992 (zur Zeit in Überarbeitung)
- [21] Cooley, R.L., Barkmeier, W. W.: Mercury Vapor Emitted During Ultraspeed Cutting of Amalgam. J. Indiana Dental Association, Vol. 57, No. 2, S. 28 - 31 (1978)
- [22] Mayer, R.: Arbeitshygienische Untersuchungen bei der Verarbeitung von Silber –Zinn - Quecksilberlegierungen am zahnärztlichen Arbeitsplatz. Dtsch. Zahnärztl. Z. 30, S.181-188 (1975)
- [23] Kessel, R., Bencze, K., Hamm M., Sonnabend, E.: Untersuchungen über die Quecksilber Konzentrationen in der Raumluft, im Blut und im Urin bei zahnärztlicher Tätigkeit in Klinik u. freier Praxis. Dtsch. Zahnärztl. Z. 35, (1980), S.457-461.
- [24] Nilsson, B., Nilsson, B.: Mercury in dental practice. I. The working environment of dental personnel and their exposure to mercury vapor. Swed. Dent. J.10; S.1-14 (1986)
- [25] Riehte, P.: Farbatlanten der Zahnmedizin 6, Kariesprophylaxe und konservierende Therapie. Hrsg. K. H. Rateitschak, Thieme Verlag, Stuttgart (1994)
- [26] BIA - Arbeitsmappe - Messung von Gefahrstoffen 1. Lfg. VI/89 - Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
[28] Franzen et al.; Zur Belastung durch Quecksilberdampf in zahnärztlichen Praxisräumen.Z. ges. Hyg. XVI (1970), S.409 - 414.
- [29] Meubrink, H.; Winkel; Quecksilberexposition durch Amalgam -Anwendung in stomatologischen Einrichtungen AHJ (B) Schwerin.
- [30] Pschyrembel. Klinisches Wörterbuch, Verlag Walter de Gruyter, Berlin 1994
- [31] Schweizerische Blätter für Arbeitssicherheit: Quecksilber und seine Gefahren. Schweiz. Unfallversicherungsanstalt, Abt. Arbeitsmedizin, 6002 Luzern
- [32] Dünfinger, P., Klaiber, B.:Quecksilberdampf-abgabe aus Amalgamkapseln während Trituration und Lagerung. Deutsche Zahnärztl. Z 46 (1991), 9, S. 599-601
- [33] Mayer, R.: Quecksilberabgabe aus Amalgam und Quecksilberablagerung im Organismus/Toxikologische Bewertung. In: Amalgam - pro und contra (Inst. d. Dtsch Zahnärzte, Hrsg.), 5.117. Dtsch Ärzteverlag, Köln 1988.
- [34] Lewalter J. and Neumann H.-G.: Biologische Arbeitsstoff Toleranzwerte (Biomonitoring)
Teil VIII: Bewertung der Hintergrundbelastungen bei beruflich nicht-exponierten Personen. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 31,10 (1996), S.418-432

- [35] Schiele, R.: Die Amalgamfüllung-Verträglichkeit. Dtsch. Zahnärztl. Z 46, S.515-518 (1991) 8
- [36] Smetana, R., Meisinger V., Sperr W. und Jahn ü.: Quecksilberkonzentrationen im Blut bei Zahnärzten, zahnärztlichem Hilfspersonal und Probanden mit Amalgamfüllungen. Zbl. Arbeitsmed. 35 (1985)232-235
- [37] Nilsson, B., Gerhardsson L., and Nordberg G. F.: Urine mercury levels and associated symptoms in dental personnel. Sci. Total Environ. 94 (1990)179-185
- [38] Zander, D., Ewers. U., Freier, I. und Brockhaus, A.: Untersuchungen zur Quecksilberbelastung der Bevölkerung. IV. Quecksilberbelastung von Zahnärzten, Zahnärztinnen und Zahnarzhelferinnen. Zbl. Hyg.193, 318-328 (1992)
- [39] Skare, I, L. Eng, T., Bergström, T., Enggvist A, Weiner J.A. : Mercury exposure of different origins amon dentists and dental nureses. Sand J Work Environ Health (1990):16, S. 340-347
- [40] Naleway, C., Sakaguchi R., Mitchell E., Muller T., Ayer W. A., and Hefferren J.J. : Urinary mercury levels in US dentists,1975-1983 : review of Health Assessment Program. J. Am. Dent. Ass. 111 (1985) S.37-42

Weitere Vorschriften, Richtlinien und Empfehlungen

- [41] Fachinformationen des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte, Berlin, Nr. 4/95
- [42] ZH 1 /600.9 „Einwirkung von Quecksilber oder seiner Verbindungen“, Carl Heymanns Verlag KG, Köln
- [43] ZH1/125. „Quecksilber und seine Verbindungen“ Carl Heymanns Verlag KG, Köln
- [44] ZH 1 / 17 5 „Erste Hilfe bei Einwirkung gefährlicher chemischer Stoffe“, Carl Heymanns Verlag KG, Köln
- [45] VBG 100 „Arbeitsmedizinische Vorsorge“, BGW, Stand 1993 [46] VBG 103 „Gesundheitsdienst“, BGW, Stand 1995
- [47] Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung) vom 26. Oktober 1993, zuletzt geändert BGBl I 1996, S. 1498
- [48] TRGS 440 "Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz: Vorgehensweise (Ermittlungspflichten). BArb. BI. Nr.10/1996, S. 88
- [49] TRGS 402 „Ermittlung und Beurteilung der Konzentration gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen“, BArb. Bi. 9/1993, S. 77 zuletzt geändert BArb Bi. 3/1997, 76-68
- [50] TRGS 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz - Luftgrenzwerte - BArb B1. Nr. 10/1996, S. 88
- [51] Bekanntmachung der Liste der gefährlichen Stoffe und Zubereitungen nach § 4 a der Gefahrstoffverordnung

- [52] DFG: Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten, Verlag Chemie
- [53] TRGS 903 "Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte - BAT-Werte -, B Arb B1. Nr. 7-8/1995, S. 53