

2,47KX

20KV WD:22MM

S:00347 P:00000

20UM

AM 12



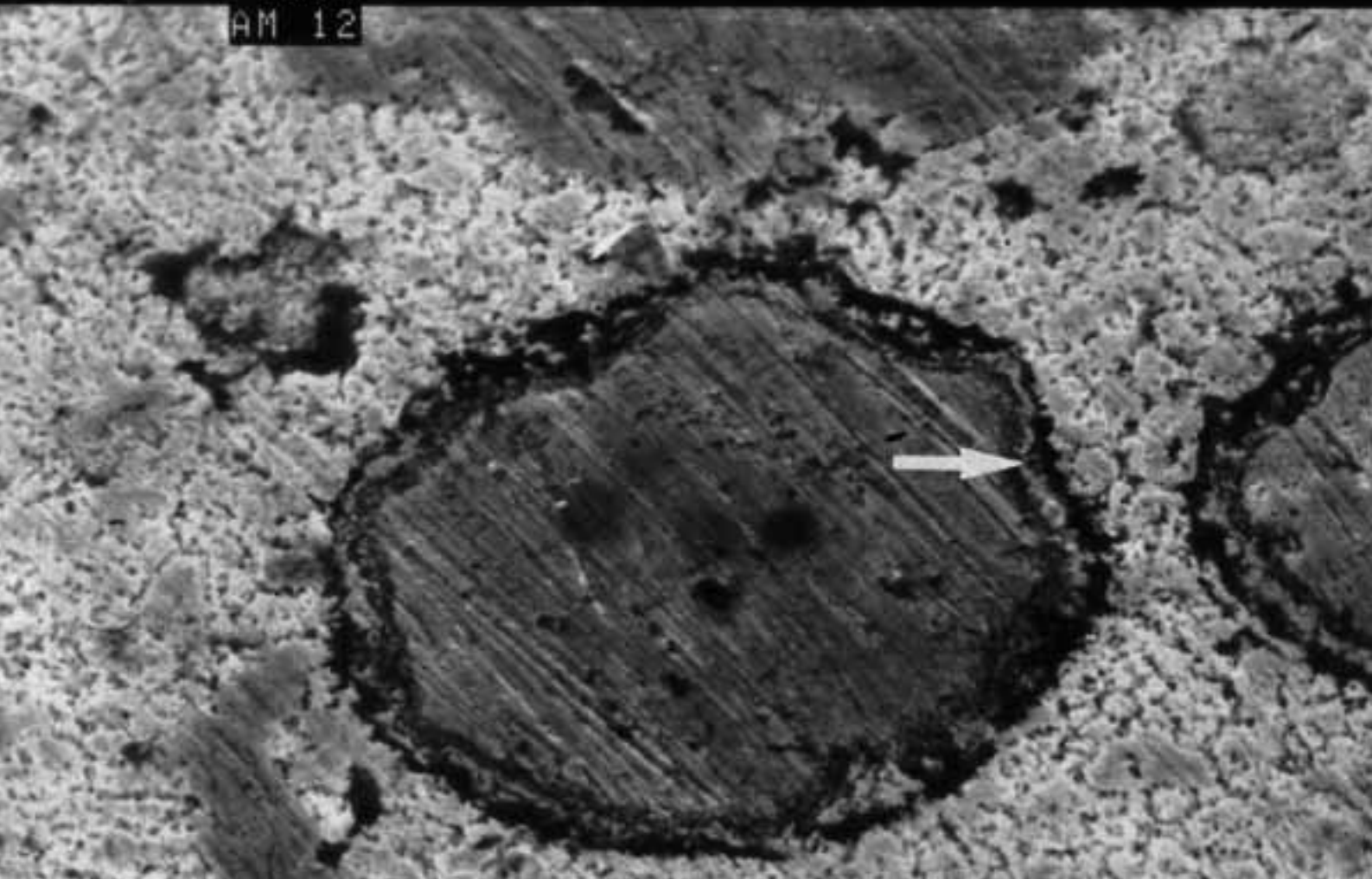
2,47KX

20KV WD:22MM

S:00347 P:00000

20UM

AM 12



# Amalgam – eine Glaubensfrage?

## Übersicht und Wertung aktueller Literatur

Hermann Metzler\* und Carlo Metzler\*\*

Schlüsselwörter:  
Quecksilber, Amalgam, Recycling

Korrespondenzadressen:

\*Dr. sc. techn. dipl. ing. chem. Hermann Metzler  
Eggmattweg 2, CH-4312 Magden  
Tel. 061 841 17 20

\*\*Dr. med. dent. Carlo Metzler  
Centro l'Uovo di Manno, CH-6928 Manno-Lugano  
Tel. 091 604 51 31, Fax 091 604 51 43

Mehrere hundert Literaturstellen wurden auf alte und neue Erkenntnisse durchgearbeitet. In vier Kapiteln werden vergessene und neue Fakten erwähnt. Im ersten Abschnitt wird auf die natürlichen und anthropogenen Quecksilberbilanzen eingegangen. Im zweiten Teil werden Quecksilber und seine Verbindungen als Gift beschrieben. Im dritten Kapitel wird das Amalgam als Legierung (metallisches Gemisch) beleuchtet. Physikalisch-chemische Eigenschaften sowie Korrosion und thermische Zersetzung werden berücksichtigt. Im vierten Absatz wird auf Entsorgung und Recycling eingegangen. Amalgam ist dabei eher als stabile «Silberlegierung» und nicht als labile Quecksilberverbindung zu betrachten. Ein teures, energieverschleissendes und zusätzliche Expositionen verursachendes Recycling ist nicht notwendig. Es existieren weltweit (noch) keine behördlichen Vorschriften, in denen Dentalamalgam explizit erwähnt wird.

(Texte français voir page 763)

## Einleitung

Amalgam wird in der Zahnheilkunde seit 150 Jahren verwendet. Es war Alchemisten, Metallurgen und Pharmazeuten schon lange bekannt, dass Quecksilber Metalle wie Gold und Silber lösen konnte und durch Erhitzen die gelösten Metalle wieder

zurückgewonnen wurden. Auch akute und chronische Vergiftungen mit Quecksilber sind ausgiebig beschrieben worden. Das grosse aktuelle Interesse für Amalgam-Nebenwirkungen erinnert an analoge Situationen beim Saccharin, Jod, Aspirin und Formaldehyd. Nicht repräsentative Versuchsanordnungen mit zum Teil unsinniger Sättigung von Versuchstieren führten zu falschen Verallgemeinerungen und Schlussfolgerungen. Mit den heute zur Verfügung stehenden Datenbanken ist es jedem Naturwissenschaftler möglich, sich eine Dokumentation über alle aufgeworfenen Probleme aufzubauen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die meisten professionellen Datenbanken nur die letzten dreissig Jahre vollständig abdecken. Dem seriösen Forscher bleibt der Gang in die Bibliotheken nicht erspart, wenn er weiter zurückgehen will. Im Internet sind in einem riesigen, undifferenzierten Chaos einzelne relevante Publikationen zu finden, wenn man die zur Verfügung stehenden Mittel differenziert anzuwenden weiss. Die Autoren wurden von Kollegen gebeten, das Problem Amalgam-Recycling näher abzuklären, was differenziert unter Berücksichtigung der verschiedenen Formen des Quecksilbers geschehen soll. Dazu gehören auch globale und anthropogene Quecksilberbilanzen und -kreisläufe. Der Aufwand schien angebracht, da die letzte deutschsprachige Monographie über Amalgam 1992 veröffentlicht wurde (IDZ, 1992).



Oben: REM-Aufnahme einer Kugel eines Non- $\gamma_2$ -Amalgams vom Dispersionstyp mit EDX-Analyse vom Zentrum der Kugel (—>)

En haut: Cliché réalisé au MEB d'une particule sphérique d'un amalgame non- $\gamma_2$ , de type amalgame à phases dispersées, avec analyse EDX du centre de la bille (—>)

Unten: REM-Aufnahme der gleichen Kugel wie oben mit EDX-Analyse. Beachtenswert ist die Reaktionszone am Kugelrand (—>), bestehend aus Hg, Ag, Sn und Cu.

En bas: Cliché réalisé au MEB de la même particule sphérique que celle plus haut, avec analyse EDX. A noter: la présence d'une zone de réaction à la périphérie de la bille (—>). Elle est composée de Hg, Ag, Sn et Cu.

## Quecksilberbilanzen und -kreisläufe

In der Folge wurde die Reihenfolge von globalen Daten bis zu Teilbereichen im Menschen festgelegt.

**Boden:** Seit Menschengedenken liegt der naturgegebene Teil im Boden bis 1 m Tiefe bei 100 Millionen Tonnen. Auf Kulturfleichen kommen zusätzlich durch Agrochemikalien in einer 10 cm dicken Humusschicht von 0,039 mg/kg (Wiese in Niederösterreich) bis 1,8 mg/kg (Reisfeldschlamm in Japan), Mittelwert für Europa: 120 g/ha. (ULLMANN, 1984a). Quecksilber im Boden ist die Hauptquelle für Lebensmittelkontamination. Quecksilber verdampft aus dem Boden, wird aber aus der Luft auch wieder angereichert (zusätzlich zum natürlichen Dampfdruck, Exhalationen aus Vulkanen, Verbrennung fossiler Brennstoffe, Müllverbrennung). Es kann mit einer natürlichen Emission in die Luft von ca. 100 000 t/Jahr gerechnet werden. Eine jährliche anthropogene Gesamtproduktion von ca. 10 000 t führt zusammen mit den schon vorhandenen Quecksilberprodukten zu einer künstlichen Emission von ca. 20 000 t/J, d.h. etwa 20% der Natur. Andere Quellen gehen bis auf 5% hinunter.

**Wasser:** Der Gehalt der Ozeane liegt bei 70 Mio t. Durch natürliche Gewässeremissionen (Erosion) kommen jährlich 5000 t dazu. Dies führt zu einer durchschnittlichen ubiquitären Konzentration im Wasser (auch Trinkwasser) von 10 ng/l, d.h. 0,01 microg/l, d.h. 0,00001 mg/l. Die deutsche Trinkwasser-, Mineral- und Tafelwasser-Verordnung setzt einen Schwellenwert von 0,001 mg/l.

**Luft:** Die natürlichen Emissionen in die Luft (Vulkane, Winderosion, Entgasung des Bodens) liegen bei 150 000 t Hg/J, die anthropogenen bei 20 000. In Saint-Anicet, Qc, Canada, wurden Konzentrationen von 1,4 ng/m<sup>3</sup> gemessen (POISSANT, 1995), in Walker Branch Watershed, Tennessee, US, 0,02 bis 0,39 ng/m<sup>3</sup> (LINDBERG, 1995), über der schwedischen Westküste von 2,6 bis 3,3 ng/m<sup>3</sup> (IVERFELDT, 1995), in Japan von ländlichen Umgebungen bis Autobahnachbarschaft 2,4 bis 6 ng/m<sup>3</sup> (HIOKI & ESAKA, 1993). Mit einer durchschnittlichen Grössenordnung von 1 ng/m<sup>3</sup> liegen wir kaum falsch. Es ist zu bedenken, dass wir uns hier an den analytischen Nachweisgrenzen befinden und die genannten Werte oft nur über Anreicherungsverfahren sicher bestimmt werden können. Die maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen variierten in Deutschland von 0,05 mg/m<sup>3</sup> (1984) über 0,1 mg/m<sup>3</sup> (1993) und liegen jetzt (1996) bei 0,08 mg/m<sup>3</sup>. Als durchschnittlicher Hg-Dampfgehalt in schweizerischen Zahnarztpraxen wurden 0,00153 mg/m<sup>3</sup> gemessen (WIRZ, 1993).

**Produktion und Verwendung:** Quecksilber wird aus Erzen durch Rösten bei 350–400° C hergestellt. Der Rohstoff Quecksilbersulfid sublimiert bei 580° C. 1987 war die Weltproduktion 6000 t, davon 30% für die Chloralkali-Industrie (Elektroden), 21% für Batterien, 20% für die Elektrotechnik, 15% für Farben in den USA, und 14% für sonstiges (Agrochemikalien, Beizmittel, Thermometer, Zahnfüllungen (HULPKE, 1993)). Die Quecksilberproduktion ist seit Jahren abnehmend.

Für die Halbmillionenstadt Götheborg wurde im Internet ein Materialfluss-Schema aufgestellt. 1991 wurden total 530 kg eingebracht und 450 kg ausgebracht. Die Luftemission war 70 kg. Anteile: Müllverbrennung 30%, Batterien 21%, Amalgam 18%, Elektrotechnik 9%, Fieberthermometer 8%, Energie (Öl und Kohle) 7% und Kremationen 2% (AXELSSON, 1995).

Der Makrokreislauf des Quecksilbers ist noch nicht beschrieben, es fehlen noch wesentliche Daten.

**Lebensmittel:** 70–90% von Hg werden über Lebensmittel, der Rest über Wasser und Luft aufgenommen. Die Rückstandshöchstmengen-Verordnung in Deutschland schreibt 0,5 bis 1 mg/kg (Maximalwerte beim Fisch) vor, d.h. 1 ppm, eine Schwelle, die oft überschritten wird. Die WHO empfiehlt eine vorläufige duldbare wöchentliche Aufnahmemenge von 0,35 mg für einen Mann von 70 kg und von 0,29 mg für eine Frau von 58 kg. (EISENBRAND & SCHREIER, 1995).

**Speichel:** Bei 198 jungen Männern wurde in Japan eine Speichelkonzentration von 1,48 ppb und bei 133 Probanden mit Amalgamfüllungen ein Mittel von 3,55 ppb gemessen (TAKAKU, 1982). Bei 18 Probanden in der Schweiz (11 mit, 7 ohne Amalgamfüllungen) wurden 11,6 ng/min resp. 2,1 ng/min in den Speichel abgegeben. Bei den Amalgamträgern wird pro Tag 1 microg in den Organismus aufgenommen, das sind 29,2 mg in einem langen Leben (80 Jahre nach den ersten Füllungen) (LUSSI, 1993).

**Mundluft:** Quecksilber in der Luft wäre bedeutend kritischer als im Speichel. Die Messungen sind allerdings extrem schwierig. Flächen, Massen, Oberflächenzustand, Passivierung, stöchiometrische Verhältnisse des Amalgams usw. haben relevante Einflüsse, die in den Veröffentlichungen kaum erwähnt werden. Von einer täglichen Sublimation von 3,4 microg kann ausgegangen werden (HALBACH, 1995). Das gäbe mit 80 Jahren nach den ersten Füllungen total 992,8 mg. Die Sublimation bedeutet aber noch nicht Aufnahme, Quecksilber ist nicht wasserlöslich und sehr reaktionsträge. Der grösste Teil des eingeatmeten elementaren Metalls wird schon beim nächsten Atemzug wieder ausgeatmet. Zu berücksichtigen ist hier auch die hohe Oberflächenspannung des Quecksilbers.

**Blut:** 395 Probanden mit verschiedenem Fischkonsum wurden untersucht. Ohne Fischnahrung wurden 1,8 ng/g, mit Fischkonsum 6,7 ng/g gefunden (SVENSSON, 1992). Der Blut-BAT (Biologischer Arbeits-Toleranzwert) ist 50 microg/l. 185 Frauen mit Amalgamoberflächen von 0 bis 780 mm<sup>2</sup> und ihre Neugeborenen wurden untersucht. Mütter und Kinder wiesen 0,4 resp. 0,5 microg/l auf. Eine Relation zu den Amalgamoberflächen wurde nicht gefunden. Hingegen führte hoher Fischkonsum zu einer Anreicherung in der Nabelschnur auch bei Frauen ohne Amalgamfüllungen. Alle Kinder waren gesund (STOZ, 1995).

**Urin:** Studenten der Zahnmedizin wurden vor und nach ihrem Kontakt mit Amalgam untersucht. Werte in microg Hg/g Kreatinin: Sommersemester vorher 0,53, nachher 2,49, Wintersemester vorher 1,46, nachher 2,56. Nach den Ferien hatten die Konzentrationen spontan stark abgenommen (PIEPER, 1989). Der BAT-Wert Harn ist 200 microg/l.

**Haar:** 125 Inuit-Schüler (Eskimos) in Grönland von 12 bis 17 Jahren wurden Tests unterworfen. Die Quecksilberkonzentrationen im Haar lagen zwischen 0,2 und 15,9 microg/g. Die Essgewohnheiten (Fisch) waren massgebend und nicht die Amalgamfüllungen. Es konnte in Psychotests kein Zusammenhang zwischen hohem Quecksilbergehalt und schwachen Leistungen in der Schule gefunden werden. Die heute lebenden Inuit haben den gleichen Quecksilbergehalt im Haar wie die Mumie des Qilaqitsoq-Inuit aus dem 15. Jahrhundert (TULINIUS, 1995).

*Weitere Organe:* In Autopsien im Raum Stockholm wurde folgende Verteilung gefunden: Hinterkopf-Hirnrinde 10,6, Unterbauchmuskel 3,3, Hypophyse 25 und Nierenrinde 229 microg/kg (WEINER, 1993). Die neueren Arbeiten aus dem deutschen und skandinavischen Raum bestätigen die Erkenntnisse, die bereits in der Schweiz gewonnen wurden (WIRZ, 1990).

*Kommentar:* Ähnlich wie im Makrokosmos ist es auch noch nicht möglich, aufgrund der vorliegenden Daten im menschlichen Organismus einen kompletten Kreislauf zu beschreiben. Quecksilber kann als Metall unverändert, halogeniert, oxydiert, methyliert etc. vorkommen und weist entsprechend seiner Formen sehr verschiedene Eigenschaften auf.

## Quecksilber als Gift

*Chemisch-physikalische Eigenschaften:* Quecksilber liegt als einziges Metall bei Zimmertemperatur in Flüssigform vor. Der Schmelzpunkt ist  $-38,84^{\circ}\text{C}$ , der Siedepunkt  $365,58^{\circ}\text{C}$ . Der hohe Dampfdruck von 1,6 mbar bei  $20^{\circ}\text{C}$  bewirkt, dass sich bei dieser Temperatur 13,6 mg Quecksilber im  $\text{m}^3$  Luft befinden können, was weit über dem MAK-Wert liegt ( $0,08\text{ mg/m}^3$ ) (ROEMPP, 1995a). Quecksilber gehört zu den sieben im Altertum bekannten Metallen.

*Reaktivität:* Quecksilber ist als Edelmetall reaktionsträge, passiert z.B. in elementarer Form den Verdauungstrakt unverändert und wird wieder als Metall ausgeschieden. Der Molekularbiologe Max Perutz fand schon vor 1962, dass Quecksilber und andere Schwermetalle in Proteinkristalle eingelagert werden, ohne die Anordnung der anderen Atome zu stören. In den Organismus eingebracht, vor allem durch Einatmen, aber auch durch die Haut, wird es zum Teil zum zweiwertigen Oxid metabolisiert. Quecksilberionen reagieren mit freien Schwefelgruppen von Proteinen und sind starke Enzyminhibitoren.

*Klassierungen:* Die EG klassiert elementares Quecksilber nur in gasförmigem Zustand als Gift, mit Gefahr kumulativer Wirkung beim Einatmen. Als Schutzmassnahme wird empfohlen, den Behälter dicht geschlossen zu halten und bei Unfall oder Unwohlsein sofort einen Arzt zuzuziehen. Anders verhält es sich bei den Quecksilberverbindungen: Die anorganischen Verbindungen von Quecksilber (Quecksilbersalze wie zum Beispiel Quecksilberchlorid und -sulfid) werden als sehr giftig klassiert, beim Einatmen, Verschlucken und bei der Berührung mit der Haut; die Gefahr kumulativer Wirkung bleibt. Die organischen Verbindungen von Quecksilber sind gleich klassiert wie die anorganischen mit einer Ausnahme: Methylquecksilber (Quecksilber-Metabolit bei Meerestieren!) ist in der deutschen MAK- und BAT-Wert-Liste in der strengsten Schwangerschaftskategorie A eingeteilt, mit dem sehr niedrigen MAK-Wert  $0,01\text{ mg/m}^3$ ! Diese Klassierungen werden durch die Chemikaliengesetze festgelegt. Deutschland klassierte Dentalamalgam ursprünglich nach den Arzneimittelgesetzen, und es existieren Beipackzettel-ähnliche Ärztekompandiumstexte für ein Produkt, das sicher nicht als Arzneimittel betrachtet werden kann. Für einige Amalgam-Marken wurden auch Sicherheitsdatenblätter nach amerikanisch-europäischem Muster editiert, analog der Chemikaliengesetze, die dem Chemiker paradox erscheinen. Dentalamalgam ist eigentlich, auch dem Laien offensichtlich, keine Chemikalie. Nach amerikanischem Usus ist es ein Artikel, eine Prothese, und als solche sollte es auch definiert und klassiert werden. Dentalamalgam wird in der EG

jetzt neu auch als Medizin-Artikel definiert, unterliegt in diesem Sinne also nicht den für Chemikalien erlassenen Gesetzesvorlagen. Im März 1997 liegt uns der 6. Entwurf einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe der EG-Kommission vor. Wie zum Beispiel elementares Quecksilber für Dentalamalgam nach den Kriterien der Medizin-Gesetze klassiert werden wird, ist aber den Autoren noch nicht ersichtlich. Es ist ein fachlicher Nonsens, Dentalamalgam als Quecksilberverbindung zu definieren. Parajuristische Spitzfindigkeiten, die entsprechende Naturgesetze nicht berücksichtigen, führen zu unnötigen und somit teuren Alibiübungen.

*Dosis, Ausscheidung, Symptome:* Quecksilbersublimat ( $\text{HgCl}_2$ ) gehört zu den stärksten Ätzgiften und kann infolge Magenperforation schon am ersten Tag tödlich wirken (ELSTNER, 1990).  $0,2\text{--}1\text{ g}$  ist die tödliche Dosis (MUTSCHLER, 1996). Sublimat ist nicht Quecksilber, es muss auch hier eindrücklich darauf hingewiesen werden, zwischen dem Element Quecksilber, seinen Verbindungen und Legierungen strikte zu unterscheiden. Es darf anekdotisch erwähnt werden, dass noch in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts Ärzte sogenannte Rollkuren durchführten: Die Patienten nahmen ohne schwere Folgen Quecksilber in flüssiger Form ein und wurden dann vom Arzt durchgerollt. Bei einer akuten Vergiftung mit Quecksilber und Hg-Verbindungen treten Metallgeschmack, Übelkeit, blutige Durchfälle, Unruhe, Tremor, Krämpfe, Lähmungen, Husten und Pneumonien auf. Die Dosis bei chronischen Vergiftungen kann vom MAK-Wert abgeleitet werden ( $0,08\text{ mg/m}^3$ ). Dies ist die Konzentration, der Arbeiter während einer achtstündigen Arbeitszeit ungeschützt ausgesetzt werden dürfen. Symptome sind Kopfweh, Schlafstörungen, Nervenstörungen, Sprachstörungen, Zitterschrift, Wutanfälle (Erethismus mercurialis), Delirien, Halluzinationen, geschwächtes Immunsystem und damit Tod an Infektionskrankheiten. Interessant ist in diesem Zusammenhang eine aktuelle Veröffentlichung aus Italien. Bei 33 Arbeitern, die Quecksilberdämpfen ausgesetzt waren, wurde eine sonst sehr seltene Sehunfähigkeit im Blaugelb-Bereich festgestellt (CAVALLERI, 1995). Als Halbwertszeiten der Ausscheidung über die Nieren werden Werte von 40–60 Tagen, aus dem Ganzkörper von 130–140 Tagen angegeben (SKARE & ENGVIST, 1990).

*Katastrophen:* Seit 1932 wurde oberhalb der Bucht von Minamata Acetaldehyd mit Quecksilber als Katalysator produziert. Bis 1969 wurde das Abwasser unbehandelt eingeleitet. Es traten immer mehr Sehstörungen, Lähmungen und Missbildungen auf. In der Bucht gefangene Fische wiesen einen Quecksilbergehalt bis  $50\text{ mg/kg}$  auf, davon 80% als Methylquecksilber. Nach UNEP (United Nations Environment Programm) haben von 1969 bis 1989 16 055 Einwohner Antrag auf Anerkennung eingereicht, 2213 wurden anerkannt. Ein ähnlicher Fall ereignete sich in Niigata. 900 bis 2000 Personen sind verstorben. 1971–72 wurde im Irak aus mit Quecksilberverbindungen geheiztem Saatgut Mehl hergestellt und Brot gebacken. Es soll 6000 Geschädigte und 500 Tote gegeben haben (HULPKE, 1993).

*Ungereimtheiten:* Zuerst wurde Jod als Desinfektionsmittel verketzert, dann sollte auch ein gutes Nachfolgemittel, Mercurchrom, (schwere?) Allergiefälle verursacht haben. Im Kinderhospital La Paz, Madrid, wurden von 1986–92 bei 840 Patienten 72 Arzneimittelallergien festgestellt. Bei den unmittelbaren Reaktionen waren Sulfonamide, Streptomycin, Beta-Lactame und Schmerzmittel betroffen. Bei den nicht unmittelbaren wurden

wieder Sulfonamide und Mercurchrom mit Kontaktdermatitis aufgezeigt (ANIBARRO, 1992). Es widerstrebt uns, auf die Tausenden von Toten hinzuweisen, die an einer Penicillinallergie gestorben sind, denn Millionen wurden durch Penicillin gerettet. Es stellt sich die Frage, wieviele Menschen an einer Jod- oder Mercurochromallergie verstorben sind oder dauernde Schäden davon getragen haben. Ein anderes Debakel sei hier auch erwähnt, obwohl es scheinbar nichts mit Quecksilber zu tun hat, SMON (Subakute Mielooptikoneuropathie). Vioform und Entero-Vioform haben Hunderttausende Kinder mit schwerem Durchfall gerettet, dann kam SMON aus Japan und nur aus Japan. Einige Fälle von Lähmungen, von denen behauptet wurde, dass sie nur auf die Anwendung von Vioform zurückzuführen waren, wurden aufgebauscht, die betroffene Firma hat bezahlt und das Produkt zurückgezogen. Später hat sich herausgestellt, dass Nickel in Zusammenhang mit Vioform der Auslöser war (TJALVE & STAHL, 1984), doch niemand war an dem Fall noch interessiert. Bevor man eine Substanz als Allergieauslöser verdächtigt, muss man sich über ihre Reinheit im klaren sein. Quecksilber ist sehr oft verunreinigt, da es fast alle Metalle löst. Auch bei den Kupferallergien muss unbedingt darauf geachtet werden, wieviel Nickel noch im Kupfer vorhanden ist.

*Neuere Epidemiologien:* Vorgängig soll ein typischer Fall von akuter Quecksilbervergiftung erwähnt werden: Eine vierköpfige Familie versuchte, Silber aus Amalgam zurückzugewinnen, und setzte sich dermassen hochkonzentrierten Quecksilberdämpfen aus, dass alle trotz Behandlung mit Dimercaprol im Spital starben (ROWENS, 1991). In der Quecksilberindustrie sind bei Arbeitern, die ihr ganzes Leben mit Quecksilber gearbeitet haben, keine solchen Fälle bekannt. Es ist leicht, sich vorzustellen, was bei Goldgräbern oder Neo-Alchemisten ohne Ausbildung und Erfahrung geschehen kann.

8157 Kinder von Zahnärztinnen, Assistentinnen und Zahntechnikerinnen wurden in Schweden nach der Geburt auf etwelche Gesundheitsschädigungen untersucht. Im Vergleich zur durchschnittlichen Kontrollgruppe wiesen sie eine signifikant unterdurchschnittliche Todesrate bei der Geburt auf, ohne erhöhte Rate von Spina bifida. Zwei weitere Gruppen von 78 und 220 Probandinnen bestätigten die Resultate. Die Autoren finden kein erhöhtes Reproduktionsrisiko in diesen Berufen (ERICSON & KALLEN, 1989). 1190 Arbeiter in der schwedischen Chloralkaliindustrie zeigten keine erhöhte Mortalität oder Krebsinzidenz (BARREGARD, 1990). In der norwegischen Chloralkaliindustrie wurden von 1953 bis 1989 674 Arbeiter untersucht, die mindestens 1 Jahr Quecksilberdämpfen ausgesetzt waren. Eine leicht erhöhte Rate (borderline) an Lungenkrebs wird dem Rauchen und Asbest zugeschrieben. Keine erhöhte Rate bei Nierenkrebs oder im Nervensystem konnte festgestellt werden, auch keine andere Schädigung des Nervensystems oder von sensorischen Organen (ELLINGSEN, 1993). In Italien wurden 1146 Pelzmützenhersteller untersucht, die von 1950 bis 1992 mit einem (welchem?) Quecksilberpräparat gearbeitet hatten. Nur bei den Arbeiterinnen wurde ein signifikanter Exzess von Lungenkrebs (welchem?) festgestellt. Rauchen soll nicht mitbeteiligt gewesen sein (MERLER, 1994), was nicht sehr plausibel erscheint, weil gerade in Europa in der Nachkriegszeit ein enorm starker Anstieg von Lungenkrebs bei Frauen stattgefunden hat. Es sei auch daran erinnert, dass gerade bei stäubenden Arbeiten mehr zur Zigarette gegriffen wird, was sich bei Arbeiten mit Asbest besonders fatal auswirkt und dort zu einer hundertfachen Inzidenz führt. In einer schwedischen Doktorarbeit wurden 587 Zwillinge mit einem Durchschnittsalter von 66 Jahren unter-

sucht. 25% hatten keine eigenen Zähne mehr, in der Gruppe mit eigenen Zähnen wurde ein Durchschnitt von 15 Amalgamfüllungen festgestellt. Die physische und mentale Gesundheit wurde untersucht. Es konnte kein negativer Effekt von Amalgam festgestellt werden, im Gegenteil, es wurde eine positive Korrelation zwischen Zahnfüllungen und Gedächtnis gefunden (BJORKMAN, 1995). Eine besonders originelle Untersuchung fand in Rom statt: 122 katholische Schwestern zwischen 75 und 102 Jahren, die in einer Residenz mit zahnärztlicher Praxis lebten, wurden acht neuropsychologischen Tests unterworfen, 22 hatten (noch) Zähne ohne Amalgam, 27 hatten keine eigenen Zähne mehr, 43 hatten Amalgamfüllungen mit 1–99 mm<sup>2</sup> und 30 mit mehr als 100 mm<sup>2</sup> Oberfläche. Nicht nur zeigte sich kein negativer Effekt von Amalgam, die älteren Schwestern waren mental gleich fit wie die jüngeren (SAXE, 1995). Auch ältere Zahnärzte bekommen ihren statistischen Bonus: Zwei Gruppen von Zahnärzten, 40 erfahrene mit Durchschnittsalter 41 und 19 Anfänger mit Durchschnittsalter 23 wurden einer Kontrollgruppe von 40 Doktoren (Mediziner?) mit je 20 mit mittlerem Alter von 46 und 28 gegenübergestellt. Die älteren Zahnärzte hatten in den psychomotorischen Tests raschere Reaktionszeiten, aber ein schlechteres Gedächtnis (RITCHIE, 1995). In Göteborg wurden 1462 Frauen medizinisch und zahnärztlich zuerst 1968/69 und dann 1980/81 gründlich untersucht, inklusive biochemische Analysen von Blut, Serum und Urin. Kein negativer Effekt von Amalgamfüllungen konnte festgestellt werden, insbesondere nicht auf die Nierenfunktion und den Status des Immunsystems (AHLQWIST, 1995).

*Kommentar:* In der Basler Zeitung vom 20. November 1996 wurde auf Seite 49 auf die Polemik hingewiesen, die eine Studie der Universität Tübingen verursacht hatte: Mit 17 500 Probanden wurde ein Zusammenhang zwischen Amalgamfüllungen und Quecksilberkonzentration im Speichel festgestellt. Wer unseren Dokumentationen bis jetzt aufmerksam gefolgt ist, wird sich mit den Autoren fragen: Na, und? Erstens musste das ein seriöser Dokumentalist im voraus schon wissen, diese Riesearbeit wäre wirklich nicht nötig gewesen, und zweitens sagt das weder positiv noch negativ irgend etwas zum Quecksilberstoffwechsel aus, was aus unserer Zusammenstellung zu ersehen ist. Die Quecksilberabgabe aus dem Amalgam ist bedeutend kleiner als diejenige aus den Lebensmitteln. Methylquecksilber aus dem Fisch ist teratogen, Quecksilber nicht und Amalgam schon gar nicht. Dem Erstautor ist bei seiner Arbeit als Chemiker und Dokumentalist die Frage aufgekommen: Warum ist das ubiquitäre Quecksilber noch nicht ein lebensnotwendiges Mineral oder Spurenelement geworden? Die relative Reaktionsträgheit ist bekannt. Es könnte einen weiteren Grund geben: Die Natur kann es günstiger und leichter haben als mit dem teuren und schweren Quecksilber. Internet-Praktiker finden eine ausgezeichnete Zusammenstellung von 42 sehr aktuellen Abstrakten, eine nach Angaben des Autors «subjektive», aus unserer Sicht durchaus objektive Selektion der Quellen (HEDEGARD, 1996).

## Amalgam

Das moderne Dentalamalgam ist eine Quecksilber-Silber-Kupfer-Zinn-Legierung, die manchmal auch noch Zink, auf keinen Fall aber Nickel enthalten kann resp. darf. Wenn die Mischungen stöchiometrisch exakt vorliegen und mit Automaten nach Gebrauchsanweisung hergestellt werden, enthält Dentalamalgam kein freies Quecksilber. Dieses ist in den Phasen (z.B. Ag<sub>2</sub>Hg<sub>3</sub>) gebunden. Amalgam ist recht gut korrosionsbeständig

gegen Speichel, weniger gegen Elektrolytlösungen, vor allem Halogeniden und Säurelösungen. Die Passivierung erfolgt mit Sauerstoff, Phosphaten und Schwefelverbindungen. Es ist sehr druckbeständig, hat ähnliche Ausdehnungskoeffizienten wie der Zahn und ist bakteriostatisch. Es gibt noch keinen anderen Werkstoff, der vergleichbar gute Eigenschaften aufweist (ULLMANN, 1984b und c, RATEITSCHAK, 1992). Es kann in der Kompliziertheit des Aufbaus seiner Eutektika und Phasen durchaus mit den Chrom-Molybdän-Wolfram-Legierungen des Eisens verglichen werden. Amalgame wurden schon im Rom der Kaiserzeit benutzt. Die Quadriga auf der Basilica von San Marco ist feuervergoldet: Das Gold wurde mit Quecksilber gelöst, aufgetragen und mit Hitze fixiert. 1527 beschrieb Paracelsus Salben mit fein verteiltem Hg oder HgO als Heilmittel gegen Syphilis (graue Salbe) (ROEMPP, 1995b).

**Korrosion:** Es existieren noch keine normierten Korrosionstests für Dentalamalgam, doch darf aufgrund der Tatsache, dass Amalgamfüllungen ein ganzes Leben lang beständig sein können, geschlossen werden, dass Korrosionen im Grenzbereich der analytischen Nachweismethoden stattfinden. In einer gut fundierten Arbeit wurden 18 Dentallegierungen, darunter 3 Standardamalgame, in ihrer Beständigkeit gegen zwei Elektrolyte geprüft und die Lokalpotentiale und Korrosionsströme gemessen (HOLLAND, 1991). Der Autor kommt zum Schluss, dass seine Methode zwar für die anderen Dentallegierungen, nicht aber für die Amalgame geeignet sei. Interessant ist, dass auch bei den Amalgamen die Zersetzungsspannung von Wasser (ca. 0,8 V) nicht erreicht wird, ab der erst ernste Korrosionerscheinungen auftreten. Pro Memoria sei hier die Spannungsreihe der Elemente, die in den meisten Dentalamalgamen enthalten sind in Volt aufgeführt: Zn -0,76, Sn -0,14, Cu +0,35, Ag +0,81, Hg +0,86. Die Differenzen zwischen Zn und Ag und Hg würden theoretisch für eine klassische Korrosion mit Wasserzersetzung ausreichen, wenn die Metalle als Elemente vorhanden wären. Dies ist nicht der Fall, ferner müssten die Passivierungen und Polarisierungen berücksichtigt werden. Bei Dispersalloy, Revalloy und Neo-Silbrin wurden Potentiale von -545, -657 und -178 mV gemessen. Da Gold ein Potential von +1,38 Volt aufweist, dürfte es nicht im direkten Kontakt mit Amalgamfüllungen und Elektrolyten verwendet werden.

**Passivierung:** Caulk Fine Cut Alloy, Spherallyoy und Dispersalloy wurden ursprünglich in einer künstlichen Speichellösung passiviert, bei nur 100 angesetzten mV wurde aber bei zwei Produkten die Passivierung aufgehoben, während sie bei Dispersalloy bis 700 mV standhielt (CAHOON & REGALBUTO, 1975). Polierte Oberflächen korrodieren wesentlich weniger als nicht polierte (BOYER & CHAN, 1978). Ein konventionelles Amalgam (ANA 68) wurde mit einem mit hohem Kupfergehalt (Dispersalloy) verglichen. Dispersalloy zeigte eine tiefergehende Korrosion mit Lösung von Zinnverbindungen, die aber von Phosphaten passiviert wurde (MOBERG & JOHANSSON, 1991). Gewisse kritische Potentialdifferenzen müssen je nach Phasen überschritten werden, bevor auch wieder phasenabhängig bestimmte Elemente in Lösung gehen (MAREK, 1993).

**Kommentar:** Speichel, Kochsalzlösungen, aber auch Fluoride sind sicher korrosionsfördernd. Wieweit Phosphate in Zahnpasten diese negativen Effekte aufheben können, ist uns nicht klar, es scheint trotzdem vernünftiger, die Fluoride in Tablettenform einzunehmen. Andererseits wird Kochsalz schon lange in Zahnpasten verwendet und Fluoride seit Jahrzehnten. Hier

bleibt ein Problem offen: Fluorid ist sicher gut für den Zahnschmelz, aber korrosiv für das Amalgam. Die älteren, erfahrenen Praktiker müssten Unterschiede festgestellt haben, falls die erwähnten Korrosionen überhaupt im klinischen Sinne relevant sind und nicht nur als spezielle Mikrokorrosionen, nachweisbar nur mit hochgezüchteter Analytik und praktisch ohne biologischen Belang. In einer guten Zusammenfassung wird auf die Bedeutung der Stöchiometrie und der Potentiale hingewiesen. Zusätzlich wurde festgestellt, dass in erster Linie Zinn aus den Amalgamen herausgelöst wird und nicht Quecksilber (GMELIN, 1972). In Anbetracht der Verwendung enormer Mengen von Zinn in der Konservenindustrie dürfte dies bei den Dentalamalgamen keine zusätzlichen Probleme geben.

**Allergien:** 18 Patienten mit oralem Lichen planus hatten eine signifikant höhere Lymphocytenaktivität gegen anorganisches Quecksilber (welches?) (STEJSKAL, 1996). 24 von 479 Patienten mit oralem Schleimhautsymptomen zeigten auch positive Patchtests: 13 mit oralem Lichen planus, 2 mit Leukoplakie, 4 mit Glossodynie (burning mouth syndrom), 3 mit Stomatitis, 2 mit rezidivierendem Angioödem. Alle mit Ausnahme von 2 zeigten allergische Reaktionen gegen Quecksilber (12) oder Gold (13). Zusätzlich hatte ein Patient eine Nickelallergie (contact with an orthodontic device) und ein anderer mit einer Goldkrone eine angebliche Goldallergie (ALANKO, 1996). 19 Patienten zeigten oralen Lichen planus im engen Kontakt mit Amalgam, bei 16 wurden die Füllungen entfernt. Bei 13 heilte der Lichen, 1 Patient zeigte eine Besserung. 1 Patient ohne Besserung entwickelte ein orales Schuppenzellkarzinom (PANG & FREEMAN, 1995). 13 Patienten mit oralem Lichen planus wurden im Patchtest auf Quecksilberchlorid (? , ätzend! siehe oben) positiv gefunden. Nach Entfernung des Amalgams zeigte sich bei allen, mit Ausnahme von einem eine Besserung (SMART, 1995). 51 Patienten mit oralem Lichen planus wurden näher untersucht. 17 hatten eine Quecksilberallergie, Kandidiasis wurde bei 13 diagnostiziert. Der Autor klassierte nach WHO-Kriterien, schreibt aber, dass die wahre Natur von Lichen planus-ähnlichen Verletzungen im Kontakt mit Amalgam noch besser abgeklärt werden müsse (OSTMANN, 1994). In einer schwedischen Stadt mit 80 000 Einwohnern wurden 137 Schulkinder mit Ekzem, allergischer Rhinokonjunktivitis und Asthma ausgewählt und ein Zusammenhang mit Amalgamfüllungen und sozialem Status gesucht. Mit Amalgam konnte keine Relation gefunden werden, aber die Kinder mit höherem Sozialstatus beklagten sich mehr über ihre Beschwerden (HERRSTROM & HOGSTEDT, 1994b). Eine ähnliche Untersuchung wurde auf 348 Schulkinder ausgedehnt und ein Zusammenhang mit Amalgam und zusätzlich mit Composit (welchem?) und Glasionomer gesucht. 44% hatten keine Amalgamfüllungen und signifikant mehr Asthma (HERRSTROM & HOGSTEDT, 1994a). An 88 Patienten mit Verdacht auf Amalgamallergie wurden Patchtests durchgeführt. Die Reaktionen waren so verschieden, dass auf beträchtliche individuelle Variationen geschlossen wird (BREHLER, 1993). In Österreich, wo begonnen wurde, Amalgam durch Palladium zu ersetzen, fand man eine hohe Allergierate von 8,3% gegen eine von 2,8%, die vorher in einer europäischen Studie gefunden wurde (ABERER, 1993). In einer dermatologischen Klinik in Helsinki wurden seit 1974 nur zwei Patienten mit Quecksilberdermatitis gefunden, eine Dentalassistentin, die Amalgam mit blossen Händen zubereitete, und ein Fall mit einem zerbrochenen Thermometer. Beide Patientinnen zeigten einen positiven Patchtest mit metallischem Quecksilber (KANERVA, 1993). 49 Patienten mit Symptomen der Mundschleimhaut wurden in zwei Gruppen geteilt, ei-

ne in der die krankhaften Veränderungen in Kontakt mit dem Amalgam waren und die andere mit weiter entfernten Symptomen. In der ersten Gruppe wurden signifikant mehr positive Patchtests gefunden und nach Ersatz des Amalgams auch eine wesentliche Verbesserung im Gegensatz zur zweiten Gruppe. Die Symptome der zweiten Gruppe scheinen keine Relation zum Amalgam zu haben und andere Ursachen wie Lichen planus sollten in Betracht gezogen werden (BOLEWSKA, 1990). Eine seriöse Patientenabklärung bei Amalgamproblemen ist immer aufwendig und sollte von Spezialisten gemacht werden (LUSSI & BUSER, 1997) (LÜBBE & WÜTHRICH, 1996).

*Kommentar:* In der Arbeitshygiene wird von Allergie gesprochen, wenn zwei von hundert Exponierten sensibilisiert werden, was mit Ig-Bestimmungen und Patchtests überprüft wird. Kritische Substanzen haben Molekulargewichte von 150 bis 350. Es muss klar zwischen reversiblen Irritationen und echten Allergien unterschieden werden, was bei ätzenden Agentien sehr schwierig ist. Im Kupfer ist fast immer noch Nickel enthalten. Es sei an die Schwierigkeiten mit den anfänglich nickelverunreinigten Kupferspiralen im Rahmen der Familienplanung erinnert. Für Kupfersensibilisierungen gibt es höchstens 20 gesicherte Fälle in der Weltliteratur. Nickel ist als Allergen in Kategorie 2, als Carcinogen in Kategorie 3 eingeteilt (siehe: Hausen, Brinkmann, Dohn, Lexikon der Kontaktallergene, ecomed).

Die Zahnärzte sollten ihren Patienten durch bessere Informationen die Angst nehmen, die ja auch wieder Ursache von Unsicherheit und Unwohlsein sein kann. Dazu könnte ein Artikel aus dem Internet beitragen, der allerdings nur auf englisch erscheint (PANIZZI, 1996). Auf deutsch liegt sinngemäss eine gute Zusammenfassung auf 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-Seite A4 vor, die tel quel verwendet werden könnte (JELKEN, 1996). In den USA klagte ein Patient dreifach Amalgamhersteller (Produktehaftung, Garantie und Nachlässigkeit) und je einmal den Zahnarzt (malpractice) und die American Dental Association ADA (negligent misrepresentation) ein wegen Beschwerden mit einer Amalgamfüllung. Die ADA wurde angeklagt, weil sie ihre Mitglieder instruierte, dass Amalgamfüllungen sicher seien. Die ADA wie die nationale Gesundheitsbehörde und das Institut für zahnärztliche Forschung beharren vor dem Gericht darauf, dass Amalgam ein sicheres, dauerhaftes und günstiges Material für Zahnfüllungen ist. Es gäbe keine glaubhafte wissenschaftliche Evidenz, dass Amalgam in nicht allergischen Patienten ein allgemeines Gesundheitsrisiko darstelle oder einen Zusammenhang mit irgendeiner Krankheit habe. Das Gericht hat die Gründe der ADA akzeptiert. Das ganze Verfahren sollte im November 1996 abgeschlossen sein (ADA, 1996). In der Schweiz bestehen noch keine gesetzlichen Bestimmungen über die Anwendung von Dentalamalgam. Die SSO hat Ende 1995 Empfehlungen herausgegeben, die den Vereinbarungen entsprechen, die in Schweden, Dänemark und Deutschland gelten. Am 14. Juni 1998 werden in der Schweiz die Richtlinien für Medizinprodukte der EG in Kraft treten. Zuletzt soll noch auf ein Buch hingewiesen werden, (VISSER, 1993). Alle neueren Veröffentlichungen mit zum Teil epidemiologischem Umfang bestätigen die Schlussfolgerungen, die mit geringeren Probandenzahlen auch schon publiziert wurden (WIRZ, 1992).

## Amalgam-Recycling

Entsorgung ist immer mehr ein Sicherheitsproblem. Produktesicherheit, Anlagensicherheit und Prozesssicherheit müssen überprüfbar und reproduzierbar sein. Die Abfalllieferanten ha-

ben selten mehr als eine Idee über Anlagen und Prozesse der Müllverwerter, aber sie müssen wissen, was für einen Abfall sie liefern, diesen deklarieren und im Falle von Sondermüll sogar spezifizieren können. Die Sicherheit eines Produktes wird definiert durch eine klassierbare Gefährlichkeit, die Menge, die Mobilität (Verbreitung), die Akkumulierbarkeit und die Persistenz (Abbaubarkeit). Das ist praktisch identisch mit der biologischen Relevanz eines Produktes, wobei an Stelle von Gefährlichkeit auch Wirksamkeit oder Nebenwirkung oder LOEL (lowest effective level) oder eine andere ähnliche Definition stehen kann. Objekte können sämtliche Organismen inklusive Pflanzen oder auch (nur) Organe sein. Risikoanalysen sind eine Arbeit für Experten, unabhängige Experten. Die EG nimmt von Firmen nur Vorschläge entgegen, die von den Behörden in den einzelnen EG-Ländern überprüft und bei Problemen von einer EG-Kommission überarbeitet werden. Es ist darum verständlich, dass die EG einen riesigen Aufwand betrieben hat, um die Produktesicherheitsdaten der bis jetzt in der EG angemeldeten Stoffe (130 000) zu vereinheitlichen und allen verfügbar zu machen (Right to know, Recht zu wissen). Dentalamalgam ist (noch) nicht klassiert, die Komponenten sind es. Im Environmental Chemical Data Information Network (ECDIN, 1996) stehen für jeden Internetbenutzer Produktedefinitionen, chemisch-physikalische Daten, toxikologische Bewertungen, öko-toxikologische Daten etc. zur Verfügung, die es möglich machen, mit bekannten Stoffen sichere Risikoanalysen durchzuführen.

*Quecksilber:* Die terrestrische Toxikologie wurde schon erwähnt. Es ist bekannt, dass das grosse Handicap des Quecksilbers die Anreicherung in den Wasserorganismen ist. Für Plankton ist Quecksilber giftig bis sehr giftig mit Wachstumsinhibitionen bei 0,005 mg/l und Mortalitäten (28–95%) bei 5 mg/l. Für Daphnien ist die letale Konzentration 0,005 mg/l und bei Fischen, je nach Fischart, 0,001–1 mg/l. Anreicherungen finden statt in Muscheln, Crevetten, Fischen, Biber, Seehund, Otter, Schlangen, Vögeln, Eiern, Reh, Rind etc. Im Rind sind zu finden: Nieren: 2,2 ppm, Leber: 0,57 ppm, Lunge: 0,06 ppm, Muskel: 0,023 ppm, Milz: 0,1 ppm. Hühnereier: 4,5 ppm. Spitzenwerte bei Otter, Leber (5,2 ppm), Seehund, Leber (4,8 ppm) und Waschbär, Leber (8 ppm).

*Silber:* Plankton-Inhibition bei 0,0013 mg/l, Mortalität bei 0,1 mg/l. Daphnien effektive Konzentration 50 = letale Konzentration 50 : 0,0011 bis 0,004. Auch hier Anreicherungen im ppm-Bereich in Kiemen, Leber und Ganzkörper. Silber wird jetzt noch als Bakterizid resp. Bakteriostatikum angewandt.

*Zinn:* Die Ratte ist auf Zinn besonders empfindlich. Bei Wasserorganismen sind keine Angaben zu finden, unproblematisch?

*Kupfer:* Seit langem wird Kupfer als Mittel gegen Algen verwendet. Inhibition bei 0,03 mg/l. Plankton, Inhibition bei 0,01 mg/l Mortalität bei 1 mg/l. Daphnien Mortalität bei 0,01 mg/l. Fisch, Inhibition bei 0,003–0,024 mg/l, Mortalität bei 0,4 g/l. Auch Kupfer wird angereichert: Rindsleber: 100–154 ppm, Schweinsniere: 5–19,5 ppm, Schweinsleber: 100–170 ppm. Kupfer ist essentiell für Pflanzen.

*Zink:* Plankton-Inhibition: 0,05, Mortalität: 50 g/l. Daphnien-Inhibition: 14 mg/l. Fisch-Inhibition: 0,05, Mortalität 3 mg/l. Konzentrationen im Rind: Blut: 1–3 ppm, Knochen: 60–90 ppm, Hirn: 30–50 ppm, Niere: 90–100 ppm, Leber: 25–140 ppm, Fleisch: 46–300 ppm. Zink ist ein Spurenelement.

*Mengen:* Weltweit werden durch Zahnärzte etwa 3000 t/J Quecksilber im Amalgam verarbeitet, in der Schweiz ca. 1 t (WIRZ, 1993). In Belgien werden etwa 5 t/J Amalgam gebraucht und etwa 2t/J werden entfernt, wobei der Amalgamabfall ins Abwasser oder in den Haushaltmüll geht. Nur 5% der Zahnärzte in Belgien brauchen einen Amalgamabscheider (DELIENS & DE DEYN, 1993). In der Schweiz sind in über 95% der Zahnarztpraxen Amalgamabscheider installiert. Die Installierung von Amalgamabscheidern ist sinnvoll, um die Immissionsgrenzwerte, speziell beim Klärschlamm, einhalten zu können.

*Entsorgung:* In Belgien wird Amalgam über Haushaltmüll entsorgt. Wo Sicherheit besteht, dass der Müll in eine geordnete Deponie geht und nicht in eine Müllverbrennung, ist das keine schlechte Lösung. Gute Verpackung und kurze Entsorgungswege sind ein Beitrag zur Sicherheit. Das Grundwasser wird in einer geordneten Deponie nicht gefährdet und solange kein saurer und oxidativer Einfluss das Amalgam wieder in seine Elemente resp. deren Verbindungen zersetzen kann, bleibt es Jahrtausende stabil. Damit wird ein Teil des Quecksilbers gebunden und seinem universalen Kreislauf entzogen. Die biologische Methylierung aus anorganischen Quecksilberverbindungen durch Meeresorganismen ist ein Sonderfall und trifft bei Amalgam im Boden nicht zu. Eine Wiederaufbereitung (Recycling) wäre nur angezeigt, wenn die im Amalgam enthaltenen Elemente als Rohstoffe rar würden, was noch nicht abzusehen ist.

*Recycling:* In der Patentliteratur konnten drei Methoden der Wiederaufbereitung gefunden werden: Destillation, oxidative Säureextraktion und Elektrolyse. Alle drei sind problematisch in bezug auf Energieverbrauch, zusätzliche Expositionen und Reinheit der erhaltenen Produkte (DESMET, 1984), (LEE & FUNG, 1981), (SCHWALOWSKY, 1994), (NYSANBAEVA & BUKHMAN, 1983). Schon der Transport und die Triage sind kritisch, besonders wenn empfohlen wird, das Amalgam unter Photochemikalienlösung aufzubewahren und zu transportieren. Eine transparente Ökobilanz zugunsten des Amalgamrecyclings konnte nicht gefunden werden.

*Kommentar:* Es besteht kein Anlass für eine komplizierte, unsichere und teure Lösung, weil noch gar kein Problem vorhanden ist. Sogar die äusserst strenge und mit drakonischen Strafen vorgehende EPA (Environmental Protection Agency, USA) fand, dass Dentalamalgam kein Umweltrisiko darstellt (FAN, 1992).

*Gesetzlichkeiten:* In der schweizerischen Technischen Verordnung über Abfälle wird Quecksilber und seine Verbindungen als Sondermüll bezeichnet (TVA, 1990), nicht aber explizit Amalgam. Es ist darum in den Listen der Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen auch nicht zu finden (VVS, 1989). Partikuläres Amalgam verursacht unter Normalbedingungen (keine oxidierenden Säuren) keine quecksilberhaltigen Abwässer, Bäder und Schlämme, die biologisch relevant sind. Bei den benutzten Analyseverfahren wurden die wesentlichen Unterschiede zwischen Quecksilber, Quecksilberverbindungen und Amalgam nicht berücksichtigt, was beim heutigen Stand des Wissens als Fehler bezeichnet werden kann. Es ist ein wesentlicher Unterschied, ob in einem Abwasser elementares Quecksilber, lösliche Verbindungen oder unlösliches Amalgam vorhanden ist. Auch in der deutschen Technischen Anlage Abfall (SCHENKEL, 1988) konnte Amalgam nicht gefunden werden. In beiden Ländern werden Quecksilber und Schwermetalle sowie ihre Verbindungen inklusive Schlacken über Immissionschwel-

len in Luft, Boden und Wasser reguliert. In der EG wird Amalgam in keiner Richtlinie oder Verordnung erwähnt (EWG, 1973, 1991, 1993, 1996). Auch in den USA wurde nach vielen Überprüfungen verschiedener behördlichen Gremien festgestellt: «There is no evidence to suggest that mercury from amalgam contaminates wastewater», und es konnten diesbezüglich keine gesetzlichen Regulierungen gefunden werden. Amalgam wird auch nicht als infektiöser Abfall klassiert (PRICE & DAVIS, 1996). Es existieren Empfehlungen für die Behandlung von Amalgamabfällen, die sehr weit gehen (Bundesamt für Umweltschutz, Schweiz, 1988; Columbia, 1996). Neuere Empfehlungen wurden auch von der Kommission für Praxishygiene und Umweltschutz der schweizerischen Zahnärztesgesellschaft herausgegeben (HAESLER, 1995). Die Gesetzeswerke der Schweiz sind erhältlich bei der Eidgenössischen Drucksachen- und Materialzentrale in Bern. Verordnungen und Richtlinien der EG werden in Luxemburg durch das Amt für Veröffentlichungen der EG herausgegeben.

## Diskussion

Wie differenziert die Problematik des Silberamalgams diskutiert werden muss, folgt aus den erwähnten Zitaten. Voraussetzung ist die Kenntnis der verschiedenen Zustandsformen der verwendeten Komponenten und deren unterschiedlichen Wirkungsweisen im biologischen Bereich. Eindeutig resultiert dabei der biologisch relevante, grosse Unterschied von Methylquecksilber im Vergleich zum stabil gebundenen Amalgamquecksilber. Es ist bemühend, wie wenig auf diese notwendige Differenzierung der verschiedenen Quecksilberformen und Verbindungen eingegangen wurde und immer noch wird, obwohl von Fachkreisen darauf hingewiesen wurde (RATEITSCHAK, 1992). Weiter stellten sich den Autoren wiederholt Fragen bezüglich der verwendeten Analysemethoden: Wurden in den zitierten Arbeiten Amalgamquecksilber und lösliche Quecksilberverbindungen getrennt bestimmt oder wurden alle Quecksilberverbindungen unabhängig von ihrer Löslichkeit als Gesamtmenge summiert? Präzise Angaben waren kaum zu finden. Quellen ohne entsprechende Differenzierung können somit bei einer ernstzunehmenden Diskussion nicht berücksichtigt werden. Weiter sollen bioenergetische Symptome in diagnostischen Grenzbereichen nicht zwingend den stofflichen Eigenschaften des Amalgams zugeschrieben werden. Entsprechend seriös sollte eine Abklärung durchgeführt werden.

## Schlussfolgerungen

Amalgam ist keine Glaubensfrage. Auf dem Dentalamalgamgebiet existiert ein Überschwang von Daten, Fakten und jeder Sorte von Veröffentlichungen. Es muss kaum noch etwas neu erarbeitet werden. Jeder darf sich aus diesem Wust aussuchen, was ihm am besten passt. Die Autoren kommen zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Amalgam darf ausser bei Allergikern nach dem heutigen Wissensstand als nicht gesundheitsschädigend eingestuft werden. Nicht allergologische, bioenergetische Grenzfälle können mit leider noch nicht wissenschaftlich gesicherten komplementären Diagnoseverfahren abgeklärt und bei Bedarf stufenweise saniert werden. Allerdings handelt es sich dabei um eine grosse Minderheit der Bevölkerung (1–3%).
2. Echter Amalgamersatz (gleiches Preis-Leistungs-Verhältnis) gibt es für okklusionstragende Füllungen in bleibenden Zähnen nach wie vor nicht. Die zur Zeit diskutierten Amalgamalternativen



(direkte Kunststofffüllungen, direkte und indirekte Kunststoff-Inlays, Computer- bzw. indirekt gefertigte Keramik-Inlays) stellen keinen Ersatz dar, da sie in Herstellung und Anwendung wesentlich aufwendiger und somit auch kostenintensiver sind. Diese Tatsache sollte vor allem von gesundheitspolitisch entscheidenden Gremien berücksichtigt werden, in deren Verantwortung die Erhaltung einer sozialen (Amalgam-)Mindestlösung liegt.

3. Bei Entsorgung in geordneten Deponien besteht keine Gefahr für die Umwelt. Bis zum jetzigen Zeitpunkt vorgeschlagene Recyclingverfahren sind aufwendig, teuer, riskant und belasten die Umwelt wesentlich mehr. Eine transparente, positive Ökobilanz zugunsten des Amalgamrecyclings wurde bisher nicht veröffentlicht. Wissenschaftliche Arbeiten sollten als Methode differenzierte Analyseverfahren vorweisen können, in denen das Quecksilber in den biologisch unterschiedlich wirksamen Formen gemessen werden kann. Die Tatsache, dass in keinem Gesetzeswerk Amalgam explizit erwähnt wird und stillschweigend den Quecksilberverbindungen zugeordnet wird, kann als Chance gewertet werden, für Amalgam eine eigene Kategorie zu definieren. Die gängige Praxis in der Schweiz, Amalgam dem Recycling zuzuführen, widerspiegelt die grosse Sorgfaltspflicht, mit der das Problem Ende der achtziger Jahre angegangen wurde, das Motto lautete allgemein: im Zweifelsfalle Recycling! Die heutigen Daten sollten eine Reevaluation dieser Praxis zulassen können.

Die Autoren sind sich bewusst, dass gewisse Interessenvertreter, Ideologen und Journalisten nicht durch Fakten und Zahlen einsichtig werden. Diesen sei allerdings gesagt, dass sie einer grossen Mehrheit der Bevölkerung einen schlechten, aus unserer Sicht gar verwerflichen Dienst erweisen, wenn sie das moderne Dentalamalgam undifferenziert als «Gift» anprangern. Und dies vor allem in Zeiten sinkender Kaufkraft, wo für die Sanierung kariöser Läsionen okklusionstragender Zahnflächen Amalgam die einzig sozial vertretbare Langzeitlösung bleibt. Einklang herrscht nur bei einer Aussage: Die beste Zahnfüllung ist gar keine Füllung! Womit das gesamte Gebiet der Prophylaxe mit der Erhaltung gesunder Zähne angesprochen wird. Der Schritt zur Füllung ist schon ein erster Misserfolg und entsprechend mit Kompromissen behaftet. Einer dieser Kompromisse darf nach Absprache mit dem Patienten nach bestem heutigem Wissen und Gewissen Amalgam heissen.

## Verdankungen

Die Autoren danken den Professoren Dr. P. Hotz, Bern, Dr. F. Lutz, Zürich, und Dr. J. Wirz, Basel, für kritische Durchsicht und wertvolle Hinweise, den Kollegen Dr. E. Gusberti, Lugano, und Dr. S. Roh, Sierre, für die Übersetzung der Zusammenfassung in die italienische resp. französische Sprache.

## Summary

Several hundred written sources have been researched regarding old and new findings. Forgotten and new facts are covered in four chapters. One of the authors is a retired industrial chemist, and the other a dental surgeon. In the first section the natural and synthetic sources of mercury are explained. In every scientific study the ubiquity of mercury for billions of years must be taken into consideration. The second chapter looks at the toxicology of mercury and its compounds. Well known catastrophes in Japan and Iraq are depicted. Individual intoxications are hardly mentioned in literature. The third chapter is devoted to the dental amalgam, a silver alloy with

both physical-chemical properties, and corrosive and thermal behaviour. An attempt is made to define the mercury balance. The forth paragraph deals with the disposal and recycling of mercury. Many dental associations are currently discussing the possibility of recycling amalgam, which is rather a stable silver alloy than a volatile mercury compound. A controlled landfill disposal of dental amalgam will absorb a certain quantity of mercury during its lifecycle, and is positive. Recycling is expensive, energy consuming and causes additional exposure. Unless silver and mercury become rare metals, recycling should not be considered. As yet no worldwide regulatory procedures exist.

## Résumé

Après avoir consultés plusieurs centaines de références littéraires mentionnant des connaissances anciennes et récentes, les auteurs présentent en quatre chapitres (bilans et cycles mercuriels, combinaisons chimiques du mercure, amalgame, recyclage d'amalgame) de nombreuses notions oubliées ou nouvelles. L'auteur principal, chimiste honoraire dans l'industrie, n'est d'ailleurs lié à aucun groupe d'intérêts. Le paragraphe initial aborde le bilan mercuriel de la nature et du corps humain. L'ubiquité du mercure dans le sol, l'air, l'eau et les organismes depuis des milliards d'années doit être prise en considération dans les discussions traitant de ces sujets. La seconde partie décrit la toxicité du mercure et de ses combinaisons chimiques, rappelant quelques catastrophes connues ainsi que leurs causes. Des descriptions d'intoxications individuelles sont toutefois assez rares dans la littérature. Le troisième chapitre examine plus particulièrement l'amalgame comme alliage. Ses propriétés physico-chimiques ainsi que les effets de la corrosion et de la dégradation thermique sont étudiés pour essayer d'obtenir un bilan de ces ensembles de produits. Le dernier alinéa traite des problèmes de recyclage et d'élimination de l'amalgame. Celui-ci doit être considéré comme un alliage stable et non comme un composé mercuriel labile. Un dépôt dans une décharge correctement organisées permet la restitution lente du mercure dans son cycle universel et doit être considéré comme positif. Un recyclage onéreux, nécessitant beaucoup d'énergie et occasionnant un risque supplémentaire de contamination n'est pas nécessaire, d'autant qu'il n'existe (actuellement) aucune prescription légale en ce sens dans le monde.

## Literatur

- ABERER W, HOLUB H, STROHAL R, SLAVICEK R: Palladium in dental alloys – the dermatologists responsibility to warn? *Contact Dermatitis* 28: 163–165 (1993)
- ADA (American Dental Association): Response on Amalgam Article, Lawsuit. <http://www.ada.org/prac/position/bioprobe.html> (1996)
- AHLQUIST M, BENGSSON C, LAPIDUS L, LINDSTEDT G, LISSNER L: Concentrations of blood, serum and urine components in relation to number of amalgam tooth fillings in Swedish women. *Comm Dent Oral Epidem* 23: 217–221 (1995)
- ALANKO K, KANERVA L, JOLANSKI R, KANNAS L, ESTLANDER T: Oral mucosal disease investigated by patch testing with a dental screening series. *Contact Dermatitis* 34: 263–267 (1996)
- ANIBARRO BAUSELA B, BERTO SALORT J, GARCIA ARA M, DIAZ PENAJ, OJEDA CASAS J: Allergic drug reactions in children. *Anal Espan Pediatría* 36: 447–450 (1992)
- AXELSSON F: Mercury Balance for the Gothenburg Municipality,

- a material flow analysis. [http://vest.gu.se/homepages/bosse/xb\\_FAHgSumm.html](http://vest.gu.se/homepages/bosse/xb_FAHgSumm.html)
- BARREGARD L, JARRHOLM B, SALLSTEN G: Mortality and cancer incidence in chloralkali workers exposed to inorganic mercury. *Br J Ind Med* 47: 99–104 (1990)
- BJORKMAN L, PEDERSEN N, LICHTENSTEIN P: Physical and mental health related to dental amalgam fillings in Swedish twins. Thesis Institute of environmental medicine, Karolinska Institutet, Stockholm. ISBN 91-628-1507-5 (1995)
- BOLEWSKA J, HANSEN H, HOLMSTRUP P, PINDBORG J, STANGERUP M: Oral mucosal lesions related to silver amalgam restorations. *Oral Surg Oral Med and Oral Pathol* 70: 55–58 (1990)
- BOYER D, CHAN K: The effect of surface finish on the anodic polarization of a conventional spherical amalgam. *J Biomed Mater Res* 12: 541–545 (1978)
- BREHLER R, PANZER B, FORCK G, BERTRAM H: Quecksilbersensibilisierung bei Amalgamfüllungen. Beurteilung aus dermatologischer Sicht. *Deutsche Medizinische Wochenschrift (Stuttgart)* 118: 451–456 (1993)
- Bundesamt für Umweltschutz (Schweiz): Empfehlungen für die Entsorgung von quecksilberhaltigen Abwässern und Abfällen aus Zahnarztpraxen (1988)
- CAHOON J, REGALBUTO C: Electrochemical behaviour of some commercial dental amalgams in artificial saliva. *Biomater Med Device Artif Organs* 3: 411–427 (1975)
- CAVALLERI A, BELOTTI L, GOBBA F, LUZZANA G, ROSA P, SEGHIZZI P: Color vision loss in workers exposed to elemental mercury vapour. *Toxicol Lett* 77: 351–356 (1995)
- Columbia (district of) Dental Society, Maryland State Dental Association and Virginia Dental Association and Water Task Force Amalgam Waste. <http://aimservices.com/dcds/amalgam.htm> (1996)
- DELIENS L, DE DEYN B: What efforts are being made by dentists in the Flemish region for the limiting of amalgam rejection? *Rev Belg Med Dent* 48: 35–43 (1993)
- DESMET F, LEMAITRE L, VAN PETEGHEM A, D'HAUWERS R: Recovery of mercury from dental amalgam waste. *Mater Chem Phys* 11: 305–309 (1984)
- DESMET F, LEMAITRE L, VAN PETEGHEM A, D'HAUWERS R: Preparation of a dental amalgam alloy from dental amalgam waste. *J Mater Sci Lett* 3: 53–56 (1984)
- ECDIN (Environmental Chemical Data Information Network der EG), Ispra IT. <http://ulisse.ei.jrc.it/>
- EINECS, Annex to Commission Directive 93/72 EC of 1.9.93 adapting 67/548/EC, Official Journal of the European Communities L 258 A, 36: pp. 488 ff. (Ed.) and pp 434 ff. (As), 16.10.1993
- EISENBRAND G, SCHREIER P: *Lebensmittel-Chemie (Römpf)* 1. Aufl. G. Thieme, Stuttgart, pp. 705–706 (1995)
- ELLINGSEN D, ANDERSEN A, NORDHAGEN H, EFSKIND J, KIUUS H: Incidence of cancer and mortality among workers exposed to mercury vapour in the Norwegian chloralkali industry. *Br J Ind Med* 50: 875–880 (1993)
- ELSTNER P, STEPHAN U: *Fachlexikon ABC Toxikologie*, 2. Aufl. Thun, Frankfurt, pp 295–296 (1990)
- ERICSON A, KALLEN B: Pregnancy outcome in women working as dentists, dental assistants or dental technicians. *Int Arch Occup Environ Health* 61: 329–333 (1989)
- 75/442/EWG: Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1975 über Abfälle. *Amtsblatt Nr. L 194*: pp. 39 ff. vom 25.7.75
- 91/689/EWG: Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 über gefährliche Abfälle. *Amtsblatt Nr. L 377*: pp. 20 ff. vom 31.12.1991
- EWG Verordnung Nr. 259/93 des Rates vom 1. Februar 1993 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung von Abfällen in der, in die und aus der europäischen Gemeinschaft. *Amtsblatt Nr. L 30*, pp. 1 ff. vom 6.2.1993
- EG-Liste der zuständigen Behörden für die Durchführung der Verordnung zur Überwachung der Verbringung von Abfällen in der, in die und aus der Europäischen Gemeinschaft. *Amtsblatt Nr. C 327*, pp. 1 ff. vom 31.10.1996
- FAN P, CHANG S, SIEW C: Environmental hazard evaluation of amalgam scrap. *Dent Mater* 8: 359–361 (1992)
- Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie. 8. Aufl. Chemie, Weinheim, Teil C, System Nr. 61 Silber 35.6, Dental-Legierungen, pp. 491–496 (1972)
- HAESLER P A: Abfallentsorgung in der Zahnarztpraxis. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105: 1058–1064 (1995)
- HALBACH S: Estimation of mercury dose by a novel quantitation of elemental and inorganic species released from amalgam. *Int Arch Occup Environ Health* 67: 295–300 (1995)
- HEDEGARD L: Some articles in the mercury-/ amalgam-/ healthfield from 1995 (Abstracts), Subjective selection, updated 24 July 1996. <http://www.algonet.se/-leif/OldAbr95.html>
- HERRSTROM P, HOGSTEDT B: Dental restorative materials and the prevalence of eczema, allergic rhinoconjunctivitis and asthma in schoolchildren. Dental amalgam and allergy in schoolchildren. *Scand J Prim Health Care* 12: 3–8 (1994a)
- HERRSTROM P, HOGSTEDT B: Allergic diseases, dental health and socioeconomic situation of Swedish teenagers. Allergy, dental health and social situation. *Scand J Prim Health Care* 12: 57–61 (1994b)
- HIOKI T, ESAKA S: Kyoto-fu Eisei Kogai. *Kenkyusho Nenpo* 38: 104–107 (1993)
- HOLLAND R: Use of potentiodynamic polarization technique for corrosion testing of dental alloys. *Scand J Dent Res* 19: 75–85 (1991)
- HULPKE H, KOCH H, WAGNER R: *Umwelt Lexikon (Römpf)* 1. Aufl. Thieme, Stuttgart, 579 (1993)
- IDZ, Institut der deutschen Zahnärzte, *Amalgam Pro und Contra*, 3., erw. Auflage 1992, Deutscher Ärzte Verlag, Köln.
- IVERFELDT A, MUNTHE J, BROSSET C, PACYNA J: Long-term changes in concentration and deposition of atmospheric mercury over Scandinavia. *Water Air Soil Pollut* 80: 227–233 (1995)
- JELKEN M: Muss Amalgam wirklich entfernt werden? Die Welt (Frankfurt) vom 20. Januar 1997, Wissenschaft. <http://www.welt.de/970120/0120ws01.htm>
- KANERVA L, KOMULAINEN M, ESTLANDER T, JOLANKI R: Occupational allergic contact dermatitis from mercury. *Contact Dermatitis* 28: 28–28 (1993)
- LEE C, FUNG K: Recovery of silver and mercury from dental amalgam. *Resour Recovery Conserv* 5: 363–371 (1981)
- LINDBERG S, KIM K, MUNTHE J: The precise measurement of concentration gradients of mercury in air and over soils. A review of past and recent measurements. *Water Air Soil Pollut* 80: 383–392 (1995)
- LÜBBE J, WÜTHRICH B: Amalgamallergie und Amalgamkontrolle. *Schweiz Med Wochenschrift* 126: 1–5 (1996)
- LUSSI A: Die Quecksilberabgabe in die Mundflüssigkeit. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 103: 722–726 (1993)
- LUSSI A, BUSER D: Amalgamproblematik. Empfehlungen zur Patientenabklärung und Beratung. *Schweiz Med Wochenschr* 127: 398–405 (1997)
- MAREK M: The effect of the electrode potential on the release of mercury from dental amalgams. *J Dent Res* 72: 1315–1319 (1993)
- MERLER E, BOFFETTA P, MASALA G, MONECHI V, BANI F: A cohort study of workers compensated for mercury intoxication follow-

- ing employment in the fur hat industry. *J Occup Med* 36: 1260–1264 (1994)
- MOBERG L, JOHANSSON C: Release of corrosion products from amalgam in phosphate containing solutions. *Scand J Dent Res* 99: 431–439 (1991)
- MUTSCHLER E: *Arzneimittelwirkungen*, 7. Aufl. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, pp. 808–809 (1996)
- NYSANBAEVA Z, BUKHMAN S: Processing of metal amalgam waste. *Vestn Akad Nauk Kaz SSR* 1, 29–38 (1983)
- OSTMANN P, ANNEROTH G, SKOGLUND A: Oral lichen planus lesions in contact with amalgam fillings. A clinical, histologic and immunohistochemical study. *Scand J Dent Res* 102: 172–179 (1994)
- PANG B, FREEMAN S: Oral lichenoid lesions caused by allergy to mercury in amalgam fillings. *Contact Dermatitis* 33: 423–427 (1995)
- PANIZZI: BDA Fact File, Dental Amalgam Safety. <http://panizzi.shef.ac.uk/derweb/bda/fact04.html>
- PIEPER K, VISSER H, ISEMANN M, STALDER K: A prospective study on the mercury uptake of dental students. *Dtsch Zahnärztl Z* 44: 714–716 (1989)
- POISSANT L, RANCOURT P, HARVEY B: Relationship between atmospheric mercury vapour concentration measured in a rural site in Southern Quebec (Canada) with some environmental factors. *Pollut Atmos* 148: 52–60 (1995)
- PRICE R, DAVIS D: Hazardous and medical waste program. Information Paper. Management of waste dental amalgam. <http://chppm-meis.apgea.army.mil/hwwp/infopapers/amalgam/.html>
- RATEITSCHAK K: Amalgam – der bestuntersuchte Werkstoff der restaurativen Zahnmedizin. *Swiss Dent* 12: 7 (1992)
- RITCHIE K, MACDONALD E, HAMMERSLEY R, MCGOWAN D, DALE I, WESNES K: Psychomotor testing of dentists with chronic level mercury exposure. *J Dent Res* 74: 420 (1995)
- ROWENS B, GUERRERO-BETANCOURT D, GOTTLIEB C, BOYES R, EICHENHORN M: Respiratory failure and death following acute inhalation of mercury vapour. *Chest* 99: 185–190 (1991)
- RÖMPP: *Chemie-Lexikon*. 9. Aufl. G Thieme, Stuttgart, pp. 3737–3745 (1995a), pp. 142 (1995b)
- SAXE S, SNOWDOW D, WEKSTEIN M, SCHMITT F, WEKSTEIN D: Amalgam and elderly mental function. *J Dent Res* 74: 75 (1995)
- SCHENKEL W: Technical Instruction on waste. Minimum requirements in the Federal Republic of Germany. *Muell Abfall* 20: 237–242, 244–245 (1988)
- SCHWALOWSKY G, RAMP D, REIMER B, KALISCH J: Acidic leaching of amalgam-containing wastes with minor neutralization. DE 4339794A1 950518, Ger Offen 3 pp. (1994)
- SKARE I, ENGQVIST A: Urinary mercury clearance of dental personnel after a longterm intermission in occupational exposure. *Swed Dent J* 14: 255–259 (1990)
- SMART E, MACLEOD R, LAWRENCE C: Resolution of lichen planus following removal of amalgam restorations in patients with proven allergy to mercury salts. A pilot study. *Br Dent J* 178: 108–112 (1995)
- STEJSKAL V, FORSBECK M, CEDERBRANT K, ASTEMAN O: Mercury specific lymphocytes. An indication of mercury allergy in man. *J Clin Immunol* 16: 31–40 (1996)
- STOZ F, AICHAM P, JANOVIC S, STEUER W, MAYER R: Ist ein generelles Amalgam-Verbot gerechtfertigt? Untersuchungen an Müttern und Neugeborenen. *Z Geburtshilf Perinatol* 199: 35–41 (1995)
- SVENSSON B, SCHUTZ A, NILSSON A, AAKESSON I, AAKESSON B, SKERFVING S: Fish as source of exposure to mercury and selenium. *Sci Total Environ* 126: 61–74 (1992)
- TAKAKU S: Studies on mercury concentrations in saliva with particular reference to mercury dissolution from dental amalgam into saliva: Shika Gakuho 82: 385–406 (1982)
- TJALVE H, STAHL K: Effect of clioquinol on the uptake and distribution of nickel, zinc and mercury in mice. *Acta Pharm Toxicol* 55: 65–72 (1984)
- TULINIUS A: Mercury dental amalgam fillings and intellectual abilities in Inuit schoolchildren in Greenland. *Arctic Med Res* 54: 78–81 (1995)
- TVA, Technische Verordnung über Abfälle in der Schweiz (1990)
- Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie. 4. Aufl. Verlag Chemie, Weinheim, Bd. 19 pp. 665–670 (1984a), Bd. 19 pp. 576 (1984b), Bd. 21 pp. 353 (1984c), Bd. 10 pp. 7–8 (1984c)
- VISSER H: *Quecksilber-Exposition durch Amalgam*. 1. Aufl. Hüthig (1993)
- VVS, Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen der Schweiz (1989)
- WEINER J, NYLANDER M: The relationship between mercury concentration in human organs and different predictor variables. *Sci Total Environ* 138: 101–115 (1993)
- WIRZ J, IVANOVIC D, SCHMIDLI F: Quecksilberbelastung durch Amalgamfüllungen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100: 1292–1298 (1990)
- WIRZ J: Vorlesung Uni Basel (1993)
- WIRZ J: Die unbegründete Angst vor Amalgam. *Swiss Dent* 12: 9–16 (1992)