

INHALTSVERZEICHNIS

aus:
Bernhard Witzmann:
Penetrationsverhalten und Eindringtiefe von Quecksilber aus Amalgamfüllungen in das
benachbarte Gewebe

1. EINLEITUNG

- 1.1. Vorwort
- 1.2. Geschichte von Amalgam
- 1.3. Physikalische / werkstoffkundliche Grundlagen
 - 1.3.1. Begriffsdefinition
 - 1.3.2. Quecksilber (Hg)
 - 1.3.3. Zusammensetzung / Elemente des Amalgam-Alloys
 - 1.3.4. Abbindungsreaktion von Amalgam
 - 1.3.4.1. Konventionelles / niederkupfer-, γ 2-hältiges / Silber- Zinn Amalgam
 - 1.3.4.2. Kupferreiches / Non γ 2 Amalgame
 - 1.3.5. Maßnahmen zur Senkung der Hg Emission aus Amalgamfüllungen
- 1.4. Grenzwerte und Quecksilberaufnahme
- 1.5. Toxikologie und Intoxikationssymptome durch Hg

2. MATERIAL

- 2.1. PROBEN
 - 2.1.1. Zahnproben
 - 2.1.2. Bonepellet
- 2.2. INSTRUMENTE
 - 2.2.1. ICP – MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry)
 - 2.2.2. LA – ICP – MS (Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry)

3. METHODE

- 3.1. PROBENERSTELLUNG
 - 3.1.1. Fixierung und Einbettung
 - 3.1.2. Zahnschnitte

3.2. ANALYSE UND GERÄTEKONFIGURATIONEN

- 3.2.1. Positionierung der Zahnschnitte in der Laser-Ablations-Einheit und Einstellung des Nd-YAG Lasers
- 3.2.2. Standard Protokoll für Zahnschnittmessungen und grafische Darstellung
- 3.2.3. Reihenfolge der Analyse
 - 3.2.3.1. Wurzelschnittablationen
 - 3.2.3.2. Kronenschnittablationen
 - 3.2.3.2.1. Ablation an einer retinierten nicht gefüllten Zahnkrone
 - 3.2.3.2.2. Ablation an retinierten nachträglich gefüllten Zahn
 - 3.2.3.2.3. Ablation an amalgamgefüllten Zähnen

3.3. DATENAUSWERTUNG

- 3.3.1. Analysemethode
- 3.3.2. Verwendung eines internen Normierungsstandards
- 3.3.3. Hg-Hintergrundabdampfung und dynamische Blankkorrektur
 - 3.3.3.1. Einschätzung der Verunreinigung der Versuchseinheit durch Hg
- 3.3.4. Grafische Darstellung der Datenbearbeitung
- 3.3.5. zahninterne Auswertung der analysierten Daten
- 3.3.6. Beurteilung des Hg-Anstieges in der zusätzlich ablatierten Zahnhartsubstanz, bzw. innerhalb unterschiedlicher Dentinbereiche
- 3.3.7. Ausblick : Kalibrierungsstandards und Korrelationsfaktoren für die Quantifizierung der Hg Signale

4. ERGEBNISSE

4.1. Ergebnisse der amalgamgefüllten Zähne

- 4.1.1. Zahn 2324
 - 4.1.1.1. ablationsbahn-interne Analyse der Daten
 - 4.1.1.2. zahnkronen-interne Analyse der Daten
 - 4.1.1.3. Grafische Darstellung der ablationsbahn-internen & zahnkronen-internen Anstiege der Hg/Ca Werte

4.1.2. Zahn 2326

4.1.2.1. ablationsbahn-interne Analyse der Daten

4.1.2.2. zahnkronen-interne Analyse der Daten

4.1.2.3. Grafische Darstellung der ablationsbahn-internen &
zahnkronen-internen Anstiege der Hg/Ca Werte

4.1.3. Zahn 2327

4.2. Ergebnisse des nachträglich gefüllten Zahnes 2310

4.3. Ergebnisse der retinierten, nicht gefüllten Zähne

4.3.1. Zahn 2329

4.3.2. Zahn 2331

5. DISKUSSION

6. ZUSAMMENFASSUNG

ABBILDUNGS - / TABELLENVERZEICHNIS

LITERATURVERZEICHNIS

ANHANG

1 EINLEITUNG:

1.1 Vorwort:

Amalgam ist seit seiner Einführung vor mehr als 150 Jahren als plastischer Füllstoff in der Zahnheilkunde das am häufigsten diskutierte und dadurch unweigerlich das am besten erforschte Füllungsmaterial in diesem Fachgebiet.

Kein anderer Füllstoff vereint in scheinbar so offensichtlicher Weise Vorteile hinsichtlich Verarbeitung, Langlebigkeit, Kosten und somit sozialmedizinischer Möglichkeit einer ökonomischen Füllungstherapie und dem Nachteil einer möglichen Toxikologie.

Die unbestrittene toxische Wirkung der Schwermetalle dieses Füllstoffes auf den Gesamtorganismus, vor allem die von Quecksilber (Hg), welches als das giftigste nicht radioaktive Element angesehen wird [29], haben für lange Zeit für heftige Diskussion zwischen Amalgam-Gegnern und -Befürwortern gesorgt, welche die in Hinsicht einer Kosten-Nutzen Rechnung betrachteten Vorteile dieses Füllstoffes weit in den Schatten stellten bzw. noch heute stellen (Mutter et al. 2005).

Neuere Untersuchungen geben Grund zur Annahme, dass die durch zahlreiche Metaanalysen und Reviews postulierte Unbedenklichkeit von Amalgamfüllungen auf Studien mit nicht unwesentlichen methodischen Fehlern beruht. (Mutter et al. 2005) [29].

Desweiteren werden von Amalgamkritikern sämtliche derzeit geltenden Grenzwerte von Hg und alle Studien, die auf einer Beurteilung der tatsächlichen körperlichen Belastung durch Hg mittels Biomonitoring der aktuellen Blut und Urin Hg-Konzentration in Frage gestellt. Dies wird dadurch begründet, daß die Bluthalbwertszeit von resorbiertem Quecksilberdampf nur 3 Tage, jedoch die Halbwertszeit von oxidiertem und an Proteine gebundenem Hg^{2+} in nicht erneuerungsfähigen Organen (z.B. Gehirn) mehre Jahre bis Jahrzehnte beträgt. [29/ 5, 66 – 69]

Diese auch über die Fachliteratur hinaus und zum Teil unwissenschaftlich sehr emotional geführte Diskussion, hat zu einer in der Bevölkerung eher kritischen und ablehnenden Einstellung zu Amalgam, sowie zu einer breiten Verunsicherung geführt.

Es verwundert daher nicht, dass sich ein Großteil der wissenschaftlichen Arbeiten bezüglich Amalgam auf dieses stigmatisierte Thema bezieht.

Fragestellungen wie Freisetzung von Hg aus dentalen Füllungen, Freisetzung unter funktioneller Belastung, Resorptionsverhalten und Anreicherung unterschiedlicher Hg-Verbindungen im menschlichen Organismus, damit verbundene akute und chronische Vergiftungszeichen, Dosis- Wirkungs- Beziehungen, Definition von Grenzwerten (MAK / BAT) etc. wurden ausgiebig untersucht. (siehe Kapitel 1.5)

Interessant scheinen auch Studien mit vergleichendem Charakter, welche die aus Amalgamfüllungen aufgenommene Menge an Hg, mit der über die Nahrung und Umwelt aufgenommenen Menge verglichen und somit die Hg-Belastung aus dentalen Füllungen in Relation zur natürlichen exogenen Belastung beschreiben.(siehe Kapitel 1.4)

Trotz der Unzahl an Untersuchungen gibt es auch derzeit keine international einheitliche anerkannte Meinung über das gesundheitliche Risiko von Amalgam.

Ziel unserer Studie war es mittels LA- ICP – MS (Laser ablation – inductively coupled plasma – mass spectrometry) das Penetrationsverhalten von Hg aus Amalgamfüllungen und dessen Anreicherung in der Zahnhartsubstanz und Pulpa zu untersuchen.

1.2 Geschichte von Amalgam :

Erste Verwendung einer Silber-Zinn-Hg-Paste als Zahnfüllmaterial wird in das 6. vorchristliche Jahrhundert in China datiert. Im abendländischen Kulturkreis finden sich um 1528 bis 1601 erste Niederschriften von Kupferamalgam. Als eigentlicher dentaler Füllstoff wird Amalgam jedoch erst in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts beschrieben (1819 Bell, England) [2].

Das erste konventionelle Silberamalgam mit etwa 65% Silber, 29% Zinn, 6% Kupfer (niederkupferhältiges Amalgam) wurde 1896 von Black beschrieben [9].

1963 entwickelten Innes und Yeudelis durch Hinzufügen von eutektischen Silber-Kupfer-Partikeln (72 Gew% Silber, 28 Gew% Kupfer) das erste non γ_2 Amalgam (high copper dispersand Amalgam / HCD – Amalgam) [11].

Eine von Mahler et al. 1970 publizierte Arbeit deutet auf die klinische Überlegenheit der HCD-Amalgame mit erheblicher Verminderung der korrosionsanfälligen γ_2 -Phase hin [11].

1974 stellte Asgar den HCSC-Amalgam Alloytyp (high cooper single composition Legierung) vor, welcher im Gegensatz zum HCD-Amalgam ein Pulver homogener Morphologie als Grundlage aufweist.

Die heute gängigen HCD und HCSC-Amalgame haben einen Kupfergehalt von bis zu 30 % (hochkupferhältiges Amalgam).

1.3 Physikalische / werkstoffkundliche Grundlage :

1.3.1 Begriffsdefinition:

Der Begriff „Amalgam“ klassifiziert alle Legierungen mit Quecksilbers (Hg).

Das mit Hg zu vermengende metallische Pulver (Voramalgamierungspartikel) wird als „Alloy“ bezeichnet. Der Ausdruck „Feilung“ stammt von der ursprünglichen Herstellungsform durch Zerspannung von gegossenen Baren.

1.3.2 Quecksilber (Hg):

Quecksilber ist ein chemisches Element im Periodensystem der Elemente mit dem Symbol Hg und der Ordnungszahl 80. Quecksilber ist ein Metall und zwar das einzige neben Brom, das bei Normalbedingungen flüssig ist. Aufgrund seiner hohen Oberflächenspannung benetzt Quecksilber seine Unterlage nicht, sondern bildet wegen seiner starken Kohäsion abgeplattete einzelne Tröpfchen. Es ist wie jedes andere Metall elektrisch leitfähig.

Quecksilber bedeutet ursprünglich lebendiges Silber. Das Wort Hydrargyrum ist zusammengesetzt aus den griechischen Wörtern hydor „Wasser“ und argyros „Silber“, sowie dem lateinischen Suffix -um. Der Ausdruck ist somit latinisiertes Griechisch und kann mit „flüssiges Silber“ übersetzt werden.

Die Gefahr einer Vergiftung oder Allergisierung durch Quecksilber ist darauf zurückzuführen, dass dieses Metall bereits bei Zimmertemperatur in geringen Mengen verdampft.

Allgemein		Mohshärte	1,5
Serie	Übergangsmetalle	Schmelzpunkt	234,32 K (−38,83 °C)
Gruppe, Periode, Block	12, 6, d	Siedepunkt	629,88 K (356,73 °C)
Aussehen	silbrig weiß	Molares Volumen	14,09 · 10 ^{−6} m ³ /mol
Massenanteil an der Erdhülle	4 · 10 ^{−5} %	Verdampfungswärme	59,229 kJ/mol
Atomar		Schmelzwärme	2,295 kJ/mol
Atommasse	200,59 u	Dampfdruck	0,0002 Pa bei 234 K
Atomradius (berechnet)	150 (171) pm	Spezifische Wärmekapazität	140 J/(kg · K)
Kovalenter Radius	149 pm	Chemisch	
Van-der-Waals-Radius	155 pm	Oxidationszustände	1, 2
Elektronenkonfiguration	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	Oxide (Basizität)	Hg ₂ O, HgO (leicht basisch)
Elektronen pro Energieniveau	4,5 eV	Normalpotential	0,851 V (Hg ²⁺ + 2e [−] → Hg)
Austrittsarbeit	4,5 eV	Elektronegativität	2,00 (Pauling-Skala)
1. Ionisierungsenergie	1007,1 kJ/mol		
2. Ionisierungsenergie	1810 kJ/mol		
Physikalisch			
Aggregatzustand	Flüssig		
Kristallstruktur	Rhomboedrisch		
Dichte	13546 kg/m ³ bei 293,15 K		

Tabelle 1: allgemeine, atomare, physikalische und chemische Eigenschaften von Quecksilber

[Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilber> - Zugriffsdatum: 27.06.07]

Isotope					
Isotop	NH	t _{1/2}	ZM	ZE MeV	ZP
¹⁹² Hg	{syn.}	4,85 h	ε	0,700	¹⁹² Au
¹⁹³ Hg	{syn.}	3,80 h	ε	2,340	¹⁹³ Au
¹⁹⁴ Hg	{syn.}	444 a	ε	0,040	¹⁹⁴ Au
¹⁹⁵ Hg	{syn.}	9,9 h	ε	1,510	¹⁹⁵ Au
¹⁹⁶ Hg	0,15 %	Stabil			
¹⁹⁷ Hg	{syn.}	64,14 h	ε	0,600	¹⁹⁷ Au
¹⁹⁸ Hg	9,97 %	Stabil			
¹⁹⁹ Hg	16,87 %	Stabil			
²⁰⁰ Hg	23,1 %	Stabil			
²⁰¹ Hg	13,18 %	Stabil			
²⁰² Hg	29,86 %	Stabil			
²⁰³ Hg	{syn.}	46,612 d	β ⁻	0,462	²⁰³ Tl
²⁰⁴ Hg	6,87 %	Stabil			
²⁰⁵ Hg	{syn.}	5,2 min	β ⁻	1,531	²⁰⁵ Tl
²⁰⁶ Hg	{syn.}	8,15 min	β ⁻	1,308	²⁰⁶ Tl

Tabelle 2: Isotope von Quecksilber

[Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilber> - Zugriffsdatum: 27.06.07]

1.3.3 Zusammensetzung / Elemente des Amalgam-Alloys :

Neben den Hauptbestandteilen Silber (Ag), Zinn (Sn), und Kupfer (Cu), findet man teilweise geringe Anteile von Zink (Zn), Palladium (Pd) und Indium (In), welche die mechanischen Eigenschaften in Hinblick auf Korrosionsverhalten, Kantefestigkeit, mechanische Festigkeit und dem Fließverhalten (Creep) beeinflussen.

1.3.4 Abbindungsreaktion von Amalgam :

Wegen des niedrigen Schmelzpunktes (- 38,9 C°) reagiert flüssiges Hg schon bei Raumtemperatur mit anderen Metallen. Dabei kommt es zur Bildung von neuen kristallinen Phasen mit unterschiedlichen mechanischen und physikalischen Eigenschaften.

Nach Anmischung des Alloys (der metallischen Feilung) mit dem flüssigen Quecksilber (Hg) im Verhältnis 1:1 („Trituration“) kommt es an den äußeren Schichten der Alloy-Partikel zu Lösungsprozessen mit Freisetzung der metallischen Bestandteile (Ag / Sn / Zn / Cu). Bei Überschreitung der Sättigungskonzentrationen kommt es zur Ausfällung neuer kristalliner Phasen mit höher liegendem Schmelzpunkt, und dadurch zum Aushärten der Legierung.

Die Geschwindigkeit der Abbindungsreaktion und die mechanischen Eigenschaften der ausgehärteten Legierung sind abhängig von der Partikelgröße, der Partikelform (spanförmig, sphärisch, sphäroid, gemischt), vom Hg-Gehalt und einer eventuellen Präamalgamierung.

Durchschnittlich beträgt die Verarbeitungszeit fünf bis 15 Minuten. Die endgültige Aushärtung von Amalgam wird erst nach 24 Stunden (u.U. bis zu sieben Tagen) erreicht.

Danach liegt je nach verwendetem Alloytyp eine inhomogene feste Legierung mit unterschiedlichen Anteilen von neugebildeten kristallinen Phasen (γ_1 , γ_2 , η und ϵ) und nicht verbrauchten Ursprungspartikeln (γ -Phase, Ag/Cu Eutektikum, Cu_3Sn) vor.

Zeitlebens bestehen Reaktionen der einzelnen Bestandteile v.a. bei massiver mechanischer Belastung der Füllung (Abrasion, Bruxismus, massiven Kaugummikauen) mit dem u.a. dadurch freiwerdenden Hg.

1.3.4.1 Konventionelles, niederkupfer-, γ_2 -hältiges Silber- Zinn Amalgam:

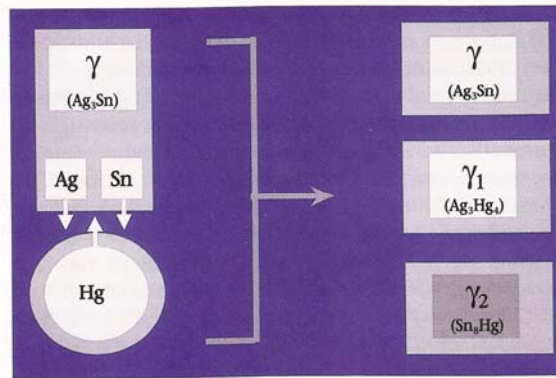
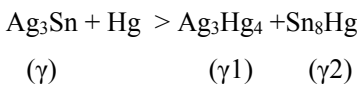


Bild 1: Phasenzusammensetzung von konventionellem Amalgam

[Quelle: Kamann W. / Die Amalgamfüllung / Deutscher Zahnärzterverlag 2003]

Die Amalgamierung erfolgt nach vereinfachter Reaktionsformel:



Herkömmliches Amalgam zeichnet sich im Wesentlichen durch eine Silber (Ag) / Zinn (Sn) Legierung (γ -Phase) mit geringen Konzentrationen an Zusätzen wie Kupfer (Cu) und Zink (Zn) aus.

Der Ag-Gehalt der Feilung sollte nicht unter 65%, und der Sn- Gehalt nicht über 29% liegen. Ag der γ -Phase kann 2- 6% durch Kupfer ersetzt werden mit zusätzlicher Bildung von Cu_3Sn . Nach Trituration der γ -Phase mit Hg kommt es zur teilweisen Lösung der γ -Partikel mit Freisetzung von Sn und Ag. Ab einer Sn-Konzentration von 26,8% in der übersättigten Lösung kommt es zur Ausfällung einer unedlen, sehr weichen, zur Korrosion (d.h. Oxidation mit Sauerstoff an Oberflächen und der Bildung einer Oxidschicht) neigenden Sn/Hg-Phase (γ_2 -Phase), und einer edleren Ag/Hg-Phase (γ_1 -Phase).

Die für γ_2 -Amalgame typische korrosionsbedingte Freisetzung von Hg aus der unedlen γ_2 -Phase, führt einerseits zu einer höheren intraoralen Hg-Abdampfung und andererseits zu einer permanenten erneuten Reaktion des freiwerdenden Quecksilbers mit Teilen der unverbrauchten γ -Phase.

Langfristig führt dies zu einer Expansion der Füllung (merkuruskopische Expansion), wodurch es zu einem anscheinenden „Herausquellen“ der Füllung aus der Kavität kommt.

1.3.4.2 Kupferreiche, Non γ_2 Amalgame :

Das Bestreben die Bildung der unedlen, korrosionsanfälligen γ_2 -Phase zu verhindern bzw. erheblich zu reduzieren, führte zur Entwicklung der HCD- (high copper dispersant) Amalgame und später der HCSC- (high copper single composition) Amalgame (60% Ag, 27% Sn, 13- 30% Cu).

HCD-Amalgame (high copper dispersant):

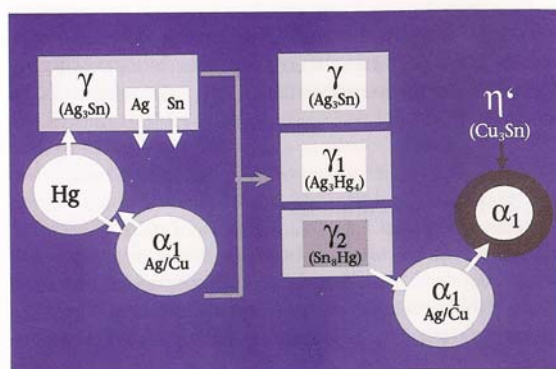


Bild 2: Phasenzusammensetzung von HCD-Amalgam

[Quelle: Kamann W. / Die Amalgamfüllung / Deutscher Zahnärzterverlag 2003]

Die Feilung dieser Legierung besteht aus einer dem konventionellen Amalgamen identischen Ag/Sn-Phase (γ -Phase) und einem beigemengten Ag/Cu-Eutektikum (α_1 -Phase) mit 72 Gew% Ag und 28 Gew% Cu. Die Abbindeungsreaktion mit Hg verläuft zum Teil wie oben beschrieben unter kurzfristiger Bildung einer Sn/Hg-Phase (γ_2 -Phase).

Die γ_2 -Phase bzw. das daraus freiwerdende Sn reagiert jedoch an der Oberfläche von benachbarter Ag/Cu-Eutektikum Partikel mit freiwerdendem Cu zu Cu_6Sn_5 (η -Phase), welches weiter zur noch edleren Cu_3Sn (ϵ -Phase) reagiert. Die Bildung bzw. das Verweilen von γ_2 -reichen Bezirken nach Abbindeung wird durch die Inhomogenität des metallischen Pulvers begünstigt.

Zum anderen Teil reagiert das aus der γ -Phase freiwerdende Sn direkt (ohne Reaktion zu γ_2) mit den Ag/Cu-Partikeln wie oben beschrieben. Dadurch kommt es nur stellenweise durch schlechte Mischung zur Überschreitung der Sättigungskonzentration von Sn und damit zur temporären Bildung einer γ_2 -Phase.

HCSC – Amalgame (high copper single composition):

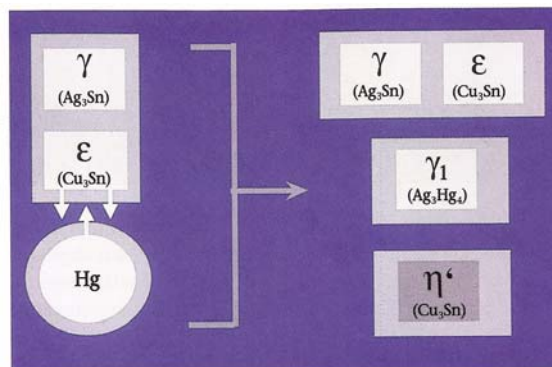


Bild 3: Phasenzusammensetzung von HCSC Amalgam

[Quelle: Kamann W. / Die Amalgamfüllung / Deutscher Zahnärzterverlag 2003]

Bei diesen Amalgamen kommt es im Gegensatz zu den HCD-Amalgamen zu keiner Bildung einer γ_2 -Phase. Das metallische Pulver besteht aus einem homogenen, fein verdünnten Kugelalloy aus der üblichen γ -Phase (Ag_3Sn) und der ϵ -Phase (Cu_3Sn).

Bei der Abbindeungsreaktion reagiert das aus der γ -Phase durch Hg gelöste Sn direkt am selben Partikel mit der ϵ -Phase (Cu_3Sn) zur Sn-reichen η -Phase (Cu_6Sn_5).

1.3.5 Maßnahmen zur Senkung der Hg Emission aus Amalgamfüllungen:

Beimengung von **Palladium**:

Dies soll die Freisetzung von Hg und die Korrosionsanfälligkeit vermindern. Nachteil ist die geringere Kantenfestigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Amalgamen.

Beimengung von Indium :

Indium kann entweder dem Alloy oder dem flüssigem Hg beigemischt werden.

Studien von Okabe et al. 1994 [10] konnten zeigen, dass die Hg-Emission indirekt proportional zur Konzentration von In bei Verwendung eines binären Hg-In Flüssigalloys ist.

Powell et al. 1989 [11] veröffentlichte eine Studie bei der 2 – 14 % Indium den hochkupferhaltigen Voramalgamierungspartikeln (pulverförmiges Alloy) beigemischt wurde, was ebenfalls zu einer signifikanten Senkung der Hg Abdampfung führte.

Durch die Verwendung von Indium soll die Gesamtmenge an Hg in der ausgehärteten Legierung und der Dampfdruck der Hg-freisetzenden Phasen reduziert werden. Weiters scheint es zu einer effektiveren und schnelleren Oxidschichtbildung (Indium-Oxide neben Sn- und Zn-Oxiden) an den Grenzflächen zu kommen.

Hg-freie Amalgame / Gallium :

Es wurde versucht Hg durch Gallium (einem Metall mit etwas höher liegendem Schmelzpunkt als Hg und geringerem Dampfdruck) zu ersetzen. Die Trituration erfolgt mit flüssigen Gallium (62 – 65 %), dem Indium (19 – 25 %) und Zinn (13 – 16 %) beigemischt ist. Das Voramalgamierungspulver / Alloy unterscheidet sich nur geringfügig von dem modernen kupferhaltigen Alloys.

Nachteile dieser Legierung sind die schwierige Kondensierbarkeit und die hohe Sensitivität gegenüber Feuchtigkeit, welche zu starker Expansion und damit zu Frakturgefahr der Zahnhartsubstanz führt, sowie die auf Dauer geringe Kantenfestigkeit, starke Korrosion und Verfärbung.

Zn Gehalt :

Ferracane JL et al 1995 [12] konnte zeigen, daß im Gegensatz zu niederkupferhaltigen Amalgamen, hochkupferhaltige Amalgame bei höheren Zn-Gehalt weniger Hg abdampfen. Dies wird auf die Bildung einer stabileren Oxidschicht zurückgeführt, nachteilig ist hierbei jedoch eine geringere Kantenfestigkeit der Füllungen.

1.4 Grenzwerte und Quecksilberaufnahme

Durch Sensationsmeldungen rund um Amalgam, die immer wieder in den Medien auftauchen, wird die Bevölkerung sensibilisiert und mit der Angst vor dem giftigen Quecksilber verunsichert. Wissenschaftliche fundierte Grundlagen und Erkenntnisse sollen Spekulationen und irreführende Behauptungen ausmerzen und die ewige Diskussion letztendlich verstummen lassen, jedoch werden selbst diese immer wieder in Frage gestellt und Amalgam ist weiterhin mit negativer Assoziation behaftet. (Wirz 1990)

Trotz aller vermeintlichen Anschuldigungen wurden vielmehr klare Tendenzen zur Somatisierung gefunden, es bestand in keinem Fall eine Korrelation zwischen der Menge an Amalgam und somatischen Symptomen oder psychologischen Effekten. (Langworth et al. 2002; Müller-Fahlbusch und Wöhning 1983)

Jedoch wurde in einer Studie von Hultman et al. 1998 ein Test an Ratten durchgeführt, die nach Legen von Amalgamfüllungen eine signifikante Aktivierung des Immunsystems zeigten. Die Quecksilberkonzentration nahm in den speichernden Organen in folgender Reihenfolge signifikant zu: Niere, Milz, Kleinhirn, Okzipitallappen, Leber, Thymus. Das Verhältnis von Amalgambelastung in Relation zum Körpergewicht Mensch/Ratte wurde berücksichtigt.

Die von der WHO festgelegte Dosis für die duldbare Gesamtaufnahme an Quecksilber bei der Allgemeinbevölkerung liegt bei 45 µg/Tag. (WHO inorganic mercury, environmental health criteria, 118, Genf 1991)

Fakt ist, dass mehr als die Hälfte des aufgenommenen Quecksilbers aus dem Genuss von Fischen und Fischprodukten stammt (Gabrio et al. 2003), es handelt sich hierbei um organisch gebundenes Hg, v.a. in Form von Methylquecksilber, welches bis zu 90 Prozent gastrointestinal resorbiert wird und dessen Toxizität weit geringer zu sein scheint (etwa 1/20). Protektive Faktoren wie etwa die Omega-3-Fettsäuren und Selen, wirken offensichtlich der Methyl-Hg-Belastung durch Fisch entgegen. (Mutter et al. 2005)

Bestätigt ist jedoch, dass die Urin- und Blutwerte in punkto Quecksilber mit der Anzahl an Amalgamfüllungen korrelieren. (Gabrio et al. 2003)

Als obere Grenze der Konzentrationen in Blut und Urin gelten die BAT-Werte, die biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte. Diese liegen für Blut bei 50 µg/l und für Urin bei 200µg/l laut WHO-Festlegung. (Kröncke et al. 1980)

Die Werte im Blut liegen bei amalgamverarbeitenden Zahnärzten und Helferinnen signifikant höher als bei Kontrollgruppen, im Urin waren die Unterschiede wesentlich kleiner, jedoch lagen die Werte noch immer unter den angegebenen Grenzwerten. (Wirz 1973) Ebenso wurden Effekte auf das Nervensystem registriert und in den „Amalgamgruppen“ eine signifikant höhere Anzahl an Symptomen festgestellt. (Langworth et al., 1997)

Nach Legen einer Amalgamfüllung kommt es beim Patienten zu einem Quecksilberanstieg in Blut und Urin, der nach vier Tagen sein Maximum erreicht und nach zwei Wochen wieder zur Norm zurückkehrt. Angemerkt muss hier jedoch werden, dass selbst in solchen Fällen die Werte nur etwa 50% des durch die Nahrung aufgenommenen Quecksilbers ausmachen. (Schneider 1976)

Nach Resorption der unterschiedlichen Hg-Formen kommt es beim Menschen im Blut zu einer teilweisen oxidativen Bindung von Hg in Erythrozyten bzw. zur Lösung des elementaren Hg im Plasma (bei Hg-Dampf 50% Erythrozytenbindung, 50% Plasmalösung / bei Methyl- Hg >90% Erythrozytenbindung).

Nur das im Plasma gelöste, elementare Hg ist lipidlöslich und kann relativ rasch die Blut-Hirn-Schranke überschreiten und somit von Organen (v.a. Niere und Gehirn) aufgenommen werden. Dort wird es wie in den Erythrozyten zu Hg^{2+} oxidiert und sehr stark an Thiolresten (= Sulfhydrylgruppen / SH-Gruppen) von Proteinen (u.a. von Enzymen) gebunden. Dies führt zu einer irreversiblen Inhibition der Proteinfunktion und zu einer Akkumulation des Schwermetalls im Körper. (Mutter et al. 2005-[29/5, 66-69])

Betont wird jedoch eindringlich, dass es nicht zulässig ist, von der aktuellen Blut und Urin Hg-Konzentration auf den tatsächlich im Körper gespeicherten Hg-Gehalt zurückzuschließen. Trotz normaler oder niedriger Quecksilberwerte im Blut und Urin können hohe Mengen in den Organen vorhanden sein. Somit sollten keine Aussagen ausschließlich anhand der noch immer als Goldstandard geltenden Blut- und Urinwerte getroffen werden, sondern zusätzlich zur Abschätzung klinischer Symptome der Hg-Organengehalt miteinbezogen werden. (Mutter et al. 2005, laut einer Studie von Drasch et al. 1997)

Der Grenzwert laut WHO für Quecksilberdampf in der Luft als Dauerbelastung beträgt $1 \mu g/m^3$. Der Grenzwert für eine kurzzeitige Hg-Belastung liegt bei $500 \mu g/m^3$. (WHO

recommended health based limits in occupational exposure to heavy metals, WHO technical report series no. 647, Genf 1980)

Der durchschnittliche Quecksilbergehalt der Praxisluft während eines Arbeitstages liegt bei nur noch $0,004 \text{ mg/m}^3$ ($= 4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), weit unter dem MAK-Wert, der maximalen Arbeitsplatzkonzentration, die mit $0,05 \text{ mg/m}^3$ ($= 50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) angegeben wird. (Wirz und Valent 1985) Diese Konzentrationen ergeben einen Anhaltspunkt für die Hg-Konzentration, die bei einer täglichen Arbeitszeit von acht Stunden noch nicht schädlich ist.

Nach einer Studie von Hellwig et al. ist die absolute Menge abgegebenen Quecksilbers aus gelegten Füllungen in den ersten zwei Tagen am größten und zwar zwischen 25 und $35 \mu\text{g}/50 \text{ mm}^2$, für finierte Füllungen zwischen 20 und $25 \mu\text{g}/50 \text{ mm}^2$, vom dritten Tag an, werden sowohl von der frisch gelegten als auch von der finierten etwa $2 \mu\text{g}/\text{Tag}$ abgegeben.

Zahlreiche Studien befassten sich mit dem freiwerdenden Quecksilber aus Amalgamfüllungen, sogar Kaugummikauen soll eine geringe Menge des Stoffes freisetzen (Mitchell et al. 2005), was mit einem eindeutigen Quecksilberanstieg im Urin und Blut belegt werden konnte. (Gebel et al. 1996, Sallsten et al. 1996)

Nach einer Studie von Ott et al. erhöht sich die Quecksilberkonzentration der Ausatemluft nach Kaugummikauen nicht signifikant und auch ohne erkennbare toxikologische Relevanz. Messungen ergaben, dass die tägliche Dosis an freiwerdendem Quecksilber (unter Normalbedingungen) bei durchschnittlich $20 \mu\text{g}$ liegt, bei Patienten mit 12 oder mehr Füllungen $29 \mu\text{g}$, bei denjenigen mit vier oder darunter $8 \mu\text{g}$. Somit tragen Amalgamfüllungen erheblich an der täglich aufgenommenen Quecksilbermenge bei. (Vimy MJ, Lorscheider FL, 1985)

Die Aufnahme von Hg aus dentalen Füllungen erfolgt großteils (ca. 80 %) respiratorisch über die Lunge infolge von Inhalation von abgedampftem Quecksilber. [Lehrbuch]

Das über den Speichel verschluckte, von Füllungen abgeriebene, anorganische Quecksilber wird je nach Literatur zwischen 0,01 % [Lehrbuch] bzw. 0,05 -0,1% [29/6] gastrointestinal resorbiert. Der Rest wird direkt über die Mundschleimhaut und via Diffusion durch den Zahn über die Pulpa aufgenommen. [29/14, Lehrbuch ___]

1.5 Toxikologie und Intoxikationssymptome durch Hg :

Wie schon anfangs erwähnt gilt Quecksilber als das giftigste nichtradioaktive Element (Mutter et al 2005).

Nach neueren Untersuchungen wird angenommen, dass schon bei Hg- Exposition im Niedrigdosisbereich, welche unter den derzeit geltenden Grenzwerten liegen, zu Symptomen bei besonders amalgamempfindlichen Personen kommen kann, deren Häufigkeit auf ein bis vier Prozent geschätzt wird (Mutter et al. 2005-29/ 101,2). Hierbei interessant ist, dass diese Personen in einer Untersuchung signifikant häufiger das Apolipoprotein E4-Allel (statt E2) aufwiesen, welches mit einer verminderten Fähigkeit zur Entgiftung von Schwermetallen in Zusammenhang gebracht wird [29/122]. Ebenfalls dürfte ein niedriger Selen-Spiegel mit einer Amalgamsensitivität korrelieren (Mutter et al. 2005-[29/212,213]).

Nach Resorption und Verteilung von Hg im Organismus kann es zu einer Vielzahl von organspezifischen Symptomen und unspezifischen neurophysiologischen und kognitiven Auffälligkeiten kommen.

Symptome wie Ataxie, Anorexie, Verdauungsproblemen, metallischer Geschmack, Schlaf-, Seh-, und Nierenstörungen werden mit Hg-Belastung in Verbindung gebracht. Schon geringen Dosen sollen im Zusammenhang mit Appetitsverlust, erhöhtem Schmerzempfinden, Depressionen, Psychosen, Energieverlust und erhöhtem Blutdruck stehen [56].

Unspezifische Symptome wie chronische Müdigkeit, Kopfschmerzen, Migräne, Konzentrationsstörungen und Vergesslichkeit wurden ebenfalls beschrieben (Mutter et al. 2005-[29])

Weiters wurden sogar Thesen aufgestellt, die Quecksilber bzw. Amalgam mit Alzheimer in Verbindungen brachten, solche Vermutungen konnten aber nicht belegt werden, denn wenn Quecksilber ein krankheitsbegünstigender Faktor wäre, dann müsste die Häufigkeit der Alzheimer-Krankheit bei Personen mit häufigem Fischkonsum besonders hoch sein. Nach einer französischen Studie ist aber das Gegenteil der Fall (Barberger Gateau P et al. 2002). (Hierzu muß aber auf die Aussage von Mutter et al. verwiesen werden, die besagtes Methyl-Hg aus Fischen als weniger toxisch einstuft.) Außerdem müssten Personen die mit Quecksilber beruflich in Berührung kommen, eine erhöhte Krankheitswahrscheinlichkeit

aufweisen, aber auch dafür gibt es keinen Beleg (Gun RT et al. 1997). Ferner wäre zu erwarten, dass ein Zusammenhang zwischen der Konzentration von Quecksilber im Gehirn bei Patienten mit Alzheimer bestehen müsste, neuropathologische Untersuchungen haben solche Beziehungen aber bisher nicht überzeugend nachweisen können. (Jarup et al. 1999) Rein experimentell konnte aber nur Hg alle alzheimerartigen strukturellen und biochemischen Zellveränderungen auslösen, andere vorhandene Metalle wirken zusätzlich synergistisch. Das erhöhte Risiko für eine AD-Erkrankung könnte außerdem durch das Vorhandensein des Apolipoproteins E4-Allels und das verringerte Risiko bei Trägern des ApoE2-Allels erklärbar sein. (Mutter et al. 2005)

Mittels therapeutischer Gabe von hirngängigen Chelatbildnern, welche sulfhydrylaffine, zweiwertige Schwermetalle wie Zink, Kupfer und auch Hg binden können, konnte neuerdings eine erfolgversprechende Therapieoption bei AD-Kranken gefunden werden. (Mutter et al. 2005- [142, 143])

Ein Zusammenhang mit multipler Sklerose, welcher ebenso debattiert wurde, konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. (Moreau T, Loudenot V, 1999)

Das während der Schwangerschaft die Placenta-Schranke überschreitende Hg scheint pränatal Einfluß auf die embryonale Entwicklung zu haben (Mutter et al. 2005-29/43) und es gibt Mutmaßungen, daß die pränatale maternale Hg- Belastung mit der Entstehung von Autismus assoziiert werden könnte. (Mutter et al. 2005, [29/44])

Auch die Fertilität von Assistentinnen, welche mit Amalgam in Kontakt kommen wurde untersucht und ergab eine verminderte Fruchtbarkeit bei diesen Frauen, weitere Untersuchungen sind zu diesem Thema aber noch notwendig um eindeutig gestützte Aussagen zu liefern. (Rowland 1994)

Auch ob die Anzahl der Amalgamfüllungen mit der Konzentration im Fruchtwasser korreliert und sich daraus etwaige Schäden ergeben könnten, wurde untersucht. Miteinbezogen wurden alle anderen Faktoren der Quecksilberaufnahme, wie etwa Fischkonsum etc. Es fanden sich keine signifikant höheren Werte bei Frauen mit Amalgamfüllungen und weiters auch keine Hinweise auf schädliche Effekte auf die Schwangerschaft oder die Feten. (Luglie et al. 2003)

In einer Untersuchung von Dunsche et al. im Jahre 2003 an Patienten mit oralem Lichen planus wurde festgehalten, dass eine Besserung bei Entfernung der Füllungen in 97% eintritt.

Somit wurde vorgeschlagen, bei derartigen pathologischen Veränderungen die Füllungen zu tauschen, da eine Heilung in den meisten Fällen zu erwarten ist.

1.6 Analyse von Hg in Zähnen:

Um die Aufnahme von Quecksilber in die Zahnhartsubstanz und die Pulpa beurteilen zu können, wurden 1997 in einer Studie von Hörsted-Bindslev et al. Meerschweinchen Amalgamfüllungen gesetzt und 17 – 28 Monate in situ belassen. Nach Extraktion und Dekalzifikation wurden die Zähne auf ihren Gehalt an Quecksilber mittels Licht- und Elektronenmikroskop untersucht. Alle amalgamgefüllten Zähne wiesen Spuren von Hg auf, während die compositgefüllten Kontrollzähne kein Hg enthielten. Quecksilber konnte in den Odontoblasten, Dentinkanälchen und in geringem Maß sogar im Nervengewebe nachgewiesen werden. Das Ziel der Studie, welches auch erreicht wurde, war der Nachweis, dass Quecksilber in den Dentintubuli zur Pulpa transportiert wird. Das Bedecken des Kavitätenbodens mit Glasionomierzement verhinderte die Penetration des Quecksilbers nicht. (Hörsted-Bindslev et al. 1997)

In einer ähnlichen Studie von Lentz et al. im Jahr 1989 wurde Hunden Amalgamfüllungen gelegt, um herauszufinden, ob Hg in die Pulpa diffundiert. Die amalgamgefüllten Zähne wurden anschließend in einem Abstand von einer Stunde, einem Tag, sieben Tagen und drei Monaten extrahiert, die Pulpa exponiert und mittels atomaren Absorptionsspektrophotometer auf ihren Hg-Gehalt untersucht. Die Resultate zeigten ein Maximum an Hg bei den Zähnen, die nach sieben Tagen extrahiert wurden, danach jene nach einer Stunde und einem Tag. In jeder Pulpa wurde jedoch eindeutig Hg nachgewiesen.

Dieses Resultat konnte in weiteren Studien bestätigt werden, welche zeigten, dass die Hg-Konzentration in der Pulpa amalgamgefüllter Zähne erhöht ist, und die Hg-Konzentrationen von der Kavitätentiefe und der Füllungsgröße abhängig zu sein scheint (Schiele et al. 1987). Hg lässt sich jedoch ausschließlich in amalgamgefüllten Zähnen nachweisen (Carvalho et al. 2002).

In einer Studie aus Japan aus dem Jahre 1972 untersuchten Kurosaki und Fusayama die Penetration von Amalgam Bestandteilen ins Dentin bei Menschen- und Hundezähnen. Man kam zur Erkenntnis, dass es von dem Zustand der Kavität beim Füllen abhängt, in welchem

Ausmaß die Elemente des Amalgams das Dentin penetrieren und verfärben. Die meisten der menschlichen Zähne, die untersucht wurden, wiesen Verfärbungen auf, während in Hundezähnen weder Verfärbungen noch Amalgambestandteile im normalen Dentin gefunden wurden. Der Kalziumgehalt des humanen Dentins war unter den Füllungen immer am geringsten, während bei den Hundezähnen eine ziemlich konstante Konzentration in allen Schichten nachgewiesen wurde. Mittels Elektronenmikroskop wurde nachgewiesen, dass v. a. Zinn und Zink vermehrt das Dentin penetrieren, jedoch kein Quecksilber oder Silber. Somit wurde durch dieses Experiment belegt, dass mittels Elektronenmikroskop zum damaligen Zeitpunkt kein Hg im Dentin nachgewiesen werden konnte, was spätere Studien mit anderen Untersuchungsmethoden jedoch widerlegen konnten.

Eine Pilotstudie von Hoffmann et al. im Jahre 2000 untersuchte speziell Quecksilber in menschlichen Zähnen erstmals mittels Laser-Ablations induktiv gekoppelten Plasma-Massen-Spektrometer (LA-ICP-MS). So konnte das Vorkommen nicht nur von Quecksilber, sondern auch anderen Bestandteilen des Amalgams qualitativ und quantitativ orts aufgelöst, bei minimaler Zerstörung der Probe erhoben werden.

Eine Untersuchung von Kang et al. im Jahre 2004 weist ebenfalls auf diese erfolgreiche Analyse-methode hin, mit welchem Schmelz hinsichtlich verschiedenstem Vorkommen an Metallen untersucht wurde.

2 MATERIAL:

2.1 Proben:

2.1.1 Zahnproben

Um das Eindringverhalten von Hg aus Amalgamfüllungen in die umgebende Zahnhartsubstanz zu untersuchen und dessen relative Menge und Verteilung mit nicht gefüllten Zähnen zu vergleichen, wurden drei Gruppen von zu untersuchenden Zahnproben erstellt:

- amalgamgefüllte Zähne (extrahiert)
- nicht gefüllte, retinierte Zähne (operativ entfernt)
- nachträglich amalgamgefüllter, retinierter Zahn (operativ entfernt)

Fünf amalgamgefüllte Zähne wurden nach deren Extraktion aus klinischen Gründen gesammelt und bis zu deren histologischen Fixierung und Einbettung tiefgekühlt gelagert.

Die Patienten gaben ein durchschnittliches Alter der Füllungen von fünf Jahren an.

Als Referenz wurden fünf retinierte, ungefüllte, mit der Mundhöhle nicht kommunizierende Zähne nach deren operativen Zahnentfernung auf dieselbe Weise aufbewahrt. Wir gehen davon aus dass jeglicher Hg Nachweis in dieser Gruppe auf systemische Hg Verteilung (Aufnahme von Hg durch die Nahrung) im Körper zurückzuführen ist.

Um eine etwaige Kontamination der benachbarten Zahnhartsubstanz durch die Säugung zu erfassen, wurde ein retinierter, operativ entfernter Zahn nachträglich extrakorporal, okklusal mit Amalgam gefüllt, und wie beschrieben eingebettet und gesägt. Der Patient war zum Zeitpunkt der operativen Zahnentfernung Amalgamfüllungsfrei.

Erhöhte Hg Werte und andere amalgamspezifische Elemente wie Sn, Zn, Ag in unmittelbarer Nachbarschaft zur Amalgamfüllung könnten auf eine Verschleppung der Elemente durch das Sägeblatt zurückzuführen sein.

	Blocknummer	Wurzelschnitte	Kronenschnitte	Anmerkung
retinierte Zähne	2328	1 - 6	7 - 11	
	2329	1 - 7	8 - 11	
	2330	1 - 7	8 - 12	möglicherweise während Säugung verunreinigt worden
	2331	1 - 6	7 - 10	
	2332	1 - 6	7 - 10	
	amalgamgefüllte Zähne	2323	1 - 9	halbiert
2324		1 - 10	halbiert	
2325		1 - 7	halbiert	
2326		1 - 8	halbiert	
2327		1 - 8	halbiert	
retinierter nachträglich amalgamgefüllter Zahn	2310	1 - 10	halbiert	Kontrollzahn für Verunreinigung durch Säugung

Tabelle 3: Auflistung der Eingbetteten und gesägten Zahnproben – Anzahl & Nummerierung der Kronen- und Wurzel-Schnitte (hellgrau: teilweise mittels LA-ICP-MS analysierte Wurzelschnitte / grau: mittels LA-ICP-MS analysierte Kronenschnitte)

2.1.2 Bonepellet:

Als Referenzmaterial für die Optimierung der Ablationsmethode wurde ein Pellet verwendet, das aus einem zertifizierten pulverisiertem Knochematerial (NIST 1468, NIST, Gettysborough, US) mit Hilfe eines PE Pulvers zu einem kompakten Pellet gepresst wurde [Lit. Diss. Stadlbauer 2006]

2.2 Instrumente:

2.2.1 ICP – MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry) :

Die Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma ist ein seit den 80er Jahren routinemäßig eingesetztes Verfahren zum quantitativ analytischen Nachweis von Spurenelementen in der anorganischen Elementaranalytik. Neben zahlreichen anderen Methoden (AAS – Atom Absorption / AES – Atom Emission / etc.) hat sich diese Methode v.a. zum Nachweis von Schwermetallen in kleinsten Konzentrationen bewährt.

Die Nachweisgrenze liegt bei den meisten Elementen des Periodensystems bei flüssigen Proben unterhalb von ng/l.

Für die Untersuchung in dieser Arbeit stand ein Perkin Elmer – Elan DCR II (Perkin Elmer, Ontario, Canada) zur Verfügung. Dabei handelt es sich um ein ICP-MS, das einen Quadrupol als Massenseparator verwendet.



Bild 4: PerkinElmer - Elman DCR II

[Quelle: <http://www.gongdong.andong.ac.kr> – Zugriffsdatum: 10.06.07]

Der Grundaufbau eines Quadrupol ICP – MS:

Der ICP–MS besteht aus einem induktiv gekoppelten Plasmagenerator (ICP), einem Blendensystem, einem Quatropol Massenspektrometer und einer Detektoreinheit.

Durch hochfrequenten Strom in einem Spulensystem wird zunächst Argongas ionisiert, wodurch es zur Ausbildung eines Ar-Ionen Plasmas kommt, welches eine Temperatur von 5000 – 10000 K hat. Fein verteilte Probenpartikel werden mittels Ar in das Plasma eingetragen und dort ionisiert.

Aus diesem Plasma, das bei Normaldruck betrieben wird, werden die Ionen durch zwei mit Wasser gekühlten Konen (meist aus Nickel), die als Sampler und Skimmer bezeichnet werden, über ein Vorvakuum (Interface zwischen den Konen) in das Hochvakuum-System des Quadropol Massenspektrometers „gesaugt“. Hinter dem Skimmer befindet sich eine Stopplende, um den direkten Fotonenstrahl auf die Detektoreinheit zu verhindern. Nach dem Fokussieren in der sogenannten Ionenoptik, wird der Ionenstrahl im eigentlichen Massenspektrometer in Ionen von unterschiedlichem Masse zu Ladungszahl Verhältnis getrennt und auf einen Detektor beschleunigt.

Der Quadropol Massenspektrometer besteht aus vier parallel im Quadrat angeordneten Stabelektroden, zwischen denen Gleich- und Wechselfspannungen angelegt sind, durch welche jedes Ion unterschiedliche stabile und nicht stabile Flugbahnen durchläuft und am Ende durch einen Detektor erfasst wird. Durch sehr schnelles Wechseln der Spannungen im Quadropol lassen sich unterschiedliche Elemente (Isotope) sehr rasch hintereinander nachweisen.

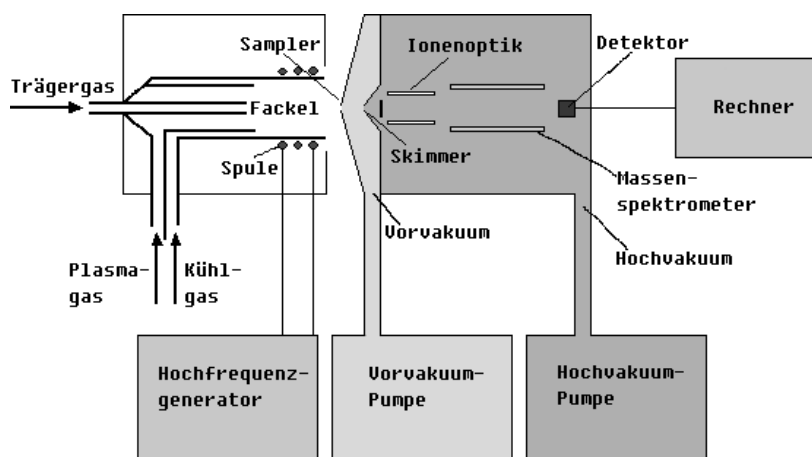


Bild 5: Grundaufbau eines ICP-MS

[Quelle: www.icp-ms.de/wasist.html - Zugriffsdatum 10.06.07]

Detaillierte Informationen über den Aufbau und die Funktionsweise finden sich in den

Büchern von Nelms und [Montaser \[Nelms, 2005 - NELMS Simon \(2005\): Inductively coupled plasma mass spectrometry handbook, Oxford \(UK\), Blackwell Publishing\]](#)

Deleted: Montaser [Lit – bekommst Du von mir].¶

Formatted: Not Highlight

Formatted: Font: 12 pt

Formatted: Font: 12 pt

2.2.2 LA-ICP-MS (Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry)

Der große Vorteil dieser Methode ist die Kombination des ICP-MS mit einer Laserablationseinheit, durch welche eine direkte Analyse einer Feststoffprobe ohne vorherige Aufbereitung bzw. Digestion ortsaufgelöst möglich ist. Gleichzeitig werden dabei wertvolle Proben nur minimal zerstört. Mit Hilfe des Lasers kann die Probenoberfläche „punktuell“ (spot) oder in Form eines Linienrasters (line scans) mit definierter Vorschubgeschwindigkeit, Material abgetragen. Mit Hilfe eines Ar-Gas Stromes werden die durch den Laser von der Oberfläche abgedampften Partikel direkt in das ICP-MS transportiert und auf den Elementgehalt analysiert.

Somit lassen sich mit diesem Verfahren unter anderem Schnittpräparate rasterförmig abfahren und dadurch Konzentrationsprofile bzw. Konzentrationsgefälle von Spurenelementen, Atomen und dessen Isotopen in einem Festkörper quantitativ nachweisen.

Als Laserablationseinheit wurde ein CETAC-LSX-200 Laser Ablation System (Cetac Technologies, Omaha, Nebraska ,USA) verwendet, welcher einen Nd-YAG Laser mit 1064 nm Wellenlänge zur Ablation verwendet.



Bild 6: Cetac-LSX 200

[Quelle : <http://www.cetac.com/pdfs/480069.pdf>]

Der Cetac-LSX 200 besteht aus dem Nd-YAG Laser, einem Blendensystem zur Regulation der Spotgröße, einer CCD Kamera, einer Zoomeinheit, einem Monitor und ein Binokular, einem Linsensystem zum fokussieren des Lasers bzw. der optischen Einheit, einer Lichtquelle und der Ablationszelle, welche über ein Schlauchsystem mit dem ICP verbunden wird.

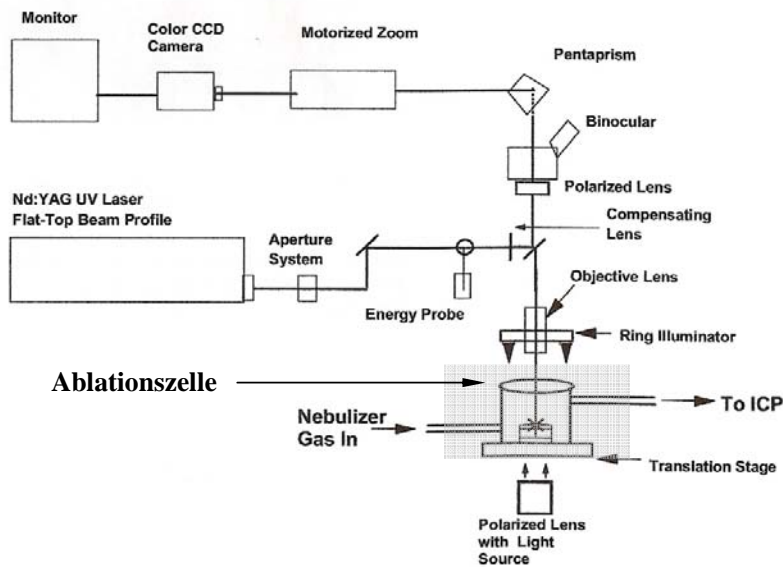


Bild 7: Aufbau des Cetac-LSX 200

Quelle:<http://www.cetac.com/pdfs/480069.pdf>

Literaturangabe :

1. Investigation of Humen Bio- monitoring of Heavy Metal Mobilization by means of LA-ICP -MS / C. Stadlbauer 2006
2. Investigation of mercury migration in human teeth using spatially resolved analysis by laser ablation-ICP-MS / E. Hoffman
3. Kai H. Schmidt & Antje Gebel / Institut für Mineralogie und mineralische Rohstoffe der TU Clausthal 1999 / <http://www.icp-ms.de>
4. Wikipedia / ICP - MS
5. LSX-200 Laser Ablation System Service Manual / <http://www.cetac.com/pdfs/480069.pdf>