

Sanierung einer quecksilberbelasteten Zahnstation Probleme bei der Konversion eines Sanitätsgebäudes zum Wohnhaus

Ulrich Schneider

Einleitung

Die Problematik von Amalgam als Material für Zahnfüllungen ist seit vielen Jahren „in aller Munde“. Die Frage der Gesundheitsgefährdung ist umstritten. Auch existieren Veröffentlichungen über die Quecksilber-Belastung des Personals in Zahnarztpraxen [1]. Die mögliche Belastung der Bausubstanz einer Zahnarztpraxis durch den jahrelangen Einsatz von Amalgam ist auch in Fachkreisen bislang wenig beachtet worden. Die nachstehend beschriebenen Erfahrungen sollen dazu beitragen, die Aufmerksamkeit für diese Fragestellung zu erhöhen.



Bild 1: Ehemalige Zahnarztpraxis vor der Sanierung

Im Rahmen einer Kasernen-Konversion erlebte der Bauherr beim Umbau eines ehemaligen Sanitätsgebäudes zu einem Wohngebäude eine böse Überraschung. Während der bereits laufenden Umbaumaßnahmen wurde im Zuge einer gutachterlichen Überprüfung festgestellt, dass im Kellergeschoß des Gebäudes mehrere Amalgam-Abscheidungsanlagen existiert hatten, die den darüber liegenden Zahnarztpraxen angeschlossen waren (Bild 1). Eine stichprobenhafte Untersuchung von Ablagerungen auf den Fußböden der betreffenden Kellerräume zeigte extreme Quecksilbergehalte (bis zu ca. 90 g/kg = ca. 9 %!). Die Baumaßnahmen im Kellergeschoß wurden sofort eingestellt, der Keller wurde gesperrt. Die anschließenden Untersuchungen des Baustaubes im gesamten Gebäude zeigten jedoch, dass die laufenden Umbaumaßnahmen (u. a. Ausbau alter Abflussrohre) Kontaminationen mit dem Baustaub über alle Stockwerke verbreitet hatten. Während im Bereich der ehemaligen Zahnarztpraxen im Erdgeschoß ca. 70 mg/kg Quecksilber im Baustaub gefunden wurden, war es im Dachgeschoß des dreige-

schossigen Gebäudes noch knapp 1 mg/kg. Nach Vorlage dieser Ergebnisse hat der Bauherr die Baustelle auf Empfehlung des Gutachters vollständig stillgelegt und eine intensive Untersuchung sowie die Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen in Auftrag gegeben.

Quecksilber in Zahnarztpraxen

Zahn-Amalgam wird seit rund 150 Jahren als plastisches Füllmaterial von Zahnärzten verwendet. Nachdem 1992 erste Anwendungsbeschränkungen ausgesprochen wurden, ist der Amalgam-Einsatz inzwischen stark rückläufig. Dennoch sollen noch ca. 80 % der Zahnärzte regelmäßig Amalgam verwenden [1]. Die Quecksilberbelastung in Zahnarztpraxen rührt einerseits daher, dass Quecksilber, z. B. beim Zubereiten von Amalgam-Portionen verdampft und in Form von Aerosolen, z. B. beim Ausbohren oder beim Polieren von Amalgam-Oberflächen, freigesetzt wird. Andererseits sind bis 1990 Amalgam-Reste ungehindert über das Abflusssystem in die öffentliche Kanalisation abgeleitet worden. Dabei können durch den langjährigen Betrieb von Zahnarztpraxen große Amalgam-Mengen angefallen sein, die sich in den ableitenden Rohren sedimentiert und abgelagert haben. Seit dem 01.01.1990 sind bauartzugelassene Amalgam-Abscheideanlagen mit einem Abscheidegrad von mindestens 95 % für Zahnarztpraxen vorgeschrieben. Eine gesetzliche Regelung für den Umgang mit vor 1990 entstandenen Kontaminationen existiert nicht.

Untersuchungsergebnisse

Staub

Die vorgefundene Quecksilberbelastung im Baustaub (Tabelle 1) lag in einigen Kellerräumen im Grammbereich und nahm in den Geschossen von unten nach oben deutlich ab. Innerhalb der Geschosse gab es horizontal starke Belastungsunterschiede – die höchsten Belastungen fanden sich im Bereich des Treppenhauses, das den ehemaligen Zahnarztpraxen am nächsten lag.

Tab. 1: Quecksilber im Staub

	Hg (mg/kg TS)	
	min.	max.
DG	0,31	0,76
2. OG	0,19	1,51
1. OG	0,21	3,42
EG	0,17	71,60
KG	15,60	89.300,00

Bausubstanz

Eine Quecksilberkontamination der Bausubstanz, die eindeutig auf den Betrieb der Zahnarztpraxen zurückzuführen ist, lag im Kellerfußboden der Abscheiderräume (Tabelle 2) sowie in einigen Wandflächen im Keller und in den ehemaligen Praxisräumen im Erdgeschoß vor. Wie Tabelle 2 deutlich zeigt, beträgt die Eindringtiefe des Quecksilbers in die Bausubstanz kaum mehr als einen Zentimeter.

Verwunderung löste zunächst die Tatsache aus, dass in einer Vielzahl von Proben der Wandbeschichtungen (Putz und Farbe) im gesamten Gebäude deutliche Quecksilbergehalte nachweisbar waren (bis 20 mg / kg TS). Getrennte Analysen von Putz und

Wandfarben zeigten, dass die meist in mehreren Schichten vorhandenen Wandfarben teilweise deutlich quecksilberhaltig waren. Zumindest in den 60er Jahren wurde Wandfarben Phenylquecksilberacetat als Fungizid beigesetzt. [Dieses Thema sollte einem gesonderten Fachbeitrag vorbehalten bleiben.]

Tab. 2: Eindringtiefe des Quecksilbers im Kellerfußboden

Kernbohrung	Abschnitt	Hg (mg/kg TS)
KB 1 Estrich	0 - 2 mm	68,00
	2 - 10 mm	0,54
	> 10 mm	0,06
KB 2 Estrich	0 - 2 mm	26,00
	2 - 10 mm	0,12
	> 10 mm	0,07
KB 3 Estrich	0 - 2 mm	26,00
	2 - 10 mm	2,15
	> 10 mm	1,82
KB 4 Estrich	0 - 2 mm	13,00
	2 - 10 mm	3,60
	> 10 mm	0,86

Abwasserrohre

Das Abflusssystem der früheren Zahnarztpraxen war erwartungsgemäß extrem stark kontaminiert. Aus einem Abflussrohr am Zulauf zum ehemaligen Abscheider konnte nahezu reines Amalgam gewonnen werden (Quecksilbergehalt: 191.000 mg /kg TS = ca. 20 %). Aber die Verdampfungsneigung des Quecksilbers hatte darüber hinaus im gesamten Gebäude über die Kanalentlüftung zur Belastung der gusseisernen Rohre geführt. In der Kanalentlüftung im Dachgeschoß des Gebäudes fanden sich noch Ablagerungen im Rohrrinnen von bis zu 95 mg Quecksilber pro kg TS.

Raumluft

Erste Raumluftmessungen während der Untersuchungsmaßnahmen sollten den erforderlichen Arbeitsschutz sicherstellen. Die Messungen erfolgten zunächst mit direkt anzeigenden Prüfröhrchen, Nachweisgrenze < 50 µg / m³ und durch Adsorption an Hopcalite (Nachweisgrenze < 5 µg / m³) und erbrachten keinen Nachweis (zum Vergleich: der MAK-Wert liegt bei 100 µg / m³). Erst mit einer deutlich empfindlicheren Meßmethode (Trapping auf Goldoberfläche) konnte in einem nicht verschlossenen und ungeheizten Kellerraum eine deutliche Raumluftbelastung von 880 ng Quecksilber pro Kubikmeter Luft gemessen werden.

Bindungsformanalyse

Die umweltrelevanten Eigenschaften des Quecksilbers sind von seinen Bindungsformen abhängig. Zur Charakterisierung der Mobilität des Quecksilbers wurden beispielhaft eine Putzprobe, eine Staubprobe und eine Probe aus dem Kanalsystem näher untersucht. Nach den Analyseergebnissen liegt das Quecksilber in der Bausubstanz und im Staub entweder metallisch oder anorganisch gebunden vor – nicht nachweisbar flüssigkeits- und dampfflüchtig und auch kaum reaktiv. Nur die Ablagerungen im Kanalsystem zeigten deutliche Anteile an organisch gebundenem Quecksilber, das jedoch ebenfalls eine hohe Fixiertheit an die umgebenden Materialien aufwies.

Durch Eluat-Untersuchungen konnte zusätzlich nachgewiesen werden, dass auch bei hohen Quecksilberkonzentrationen im Feststoff nur relativ geringe Quecksilberanteile wasserlöslich sind.

Toxikologie und Sanierungsziele

Quecksilber, seine organischen und anorganischen Verbindungen sind toxisch. Es besteht die Gefahr einer kumulativen Wirkung. Die Toxizität des Quecksilbers hängt entscheidend von dessen Zustands- bzw. Bindungsform ab. Flüssiges Quecksilber ist weniger toxisch als Quecksilberdampf, anorganische Salze weniger als organische, fettlösliche und damit akkumulierbare Verbindungen.

Durch die so genannte Biomethylierung (Bildung des hochgiftigen Methylquecksilbers aus anorganischem Quecksilber) im lebenden Organismus (z. B. in Fischen) kann Quecksilber in die Nahrungskette gelangen.

Seitens des Bauherrn wurden die Sanierungsziele unmissverständlich festgelegt: Durch Sanierungsmaßnahmen ist die Quecksilberbelastung durch die ehemaligen Zahnarztpraxen so weitgehend zu entfernen, dass anschließend langfristig eine gesundheitlich unbedenkliche Wohnnutzung möglich ist.

Vor diesem Hintergrund waren die bereits vorliegenden bzw. in Diskussion befindlichen Richtwerte für Innenraumluft-Belastungen mit Quecksilber zu prüfen (Tabelle 3).

Tab. 3: Richtwerte für Quecksilber in der Innenraumluft [3, 4, 5]

Organisation/Autor	Richtwert in ng/m ³
Weltgesundheitsorganisation WHO (1994)	1000
Schlipköter et al (1989)	300
Länderausschuss für Immissionsschutz, LAI (1996)	50
Umweltbundesamt Innenraumkommission RW II (Gefahr)	(350) in Diskussion (Stand: 2000)
Umweltbundesamt Innenraumkommission RW I (Vorsorge)	(35) in Diskussion (Stand: 2000)

Eine für den konkreten Fall erstellte toxikologische Stellungnahme kommt zu dem Ergebnis, dass – unter Berücksichtigung einer unterschiedlich hohen Vorbelastung der zukünftigen Bewohner durch Zahnamalgam und Fischkonsum – eine Luftkonzentration von 50 ng/m³ Quecksilber zu keiner wesentlichen Gesundheitsbeeinträchtigung führen kann. Dieser Luftrichtwert entspricht dem nicht toxikologisch begründeten Wert des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) und in der Größenordnung dem in der Innenraumkommission des Umweltbundesamtes diskutierten Vorsorgewertes.

Auf dieser Grundlage wurde für die Erfolgskontrolle im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen ein Handlungswert von 100 ng/m³ in der Raumluft festgelegt – d. h. bei einer Raumluftbelastung von mehr als 100 ng/m³ sind zusätzliche Sanierungsmaßnahmen erforderlich.

Sanierungsdurchführung

Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse konnte das ehemalige Sanitätsgebäude in einen sog. Reinigungsbereich und einen sog. Sanierungsbereich (Schwarz-Bereich) aufgeteilt werden. Die unterschiedlichen Bereiche waren staubdicht voneinander abzutrennen. Nach der Durchführung der Reinigungsarbeiten in den Obergeschossen konnte der größte Teil des Gebäudes für die weiteren Umbaumaßnahmen durch Handwerksfirmen freigegeben werden. Während die Reinigung der Obergeschosse

(Entrümpelung und Absaugung sämtlicher Flächen) zwei Wochen dauerte, standen für die eigentlichen Sanierungsarbeiten im Erdgeschoß und im Kellergeschoß zwei Monate zur Verfügung. Die festgelegten Einzugsstermine für die Mieter setzten das Projekt unter hohen Zeitdruck.

Beräumung/Grobreinigung

Analog zum Reinigungsbereich wurde auch der Sanierungsbereich zunächst entrümpelt und der Baustaub von den Fußbodenflächen abgesaugt. In diesen Arbeitsabschnitt gehörte auch die sehr arbeitsaufwendige Reinigung von Baumaterial und Werkzeugen der zahlreichen Handwerksfirmen.



Bild 2: Ehemalige Zahnarztpraxis nach der Sanierung

Oberflächenbeschichtungen entfernen

In den Räumen der früheren Zahnarztpraxen im Erdgeschoß wurde der Putz von Wänden (1 bis 3 cm) sowie von verputzten Unterzügen mit Pressluftmeißeln entfernt. Die Decken im Erdgeschoß wiesen eine ca. 0,5 cm starke Putzschicht mit Grundierung und mehreren Farbanstrichen auf. Aus statischen Gründen mussten die Deckenfarben manuell abspachtelt werden.

In den Abscheiderräumen im Keller, wo aufgrund erhöhter Quecksilberbelastungen eine Bausubstanzsanierung erforderlich war, wurden vorsorglich sämtliche Farbanstriche von Wänden und Decken entfernt.

Die bereits erwähnte Quecksilberbelastung der Wandfarben hat den Bauherrn veranlasst, auch außerhalb des eigentlichen Sanierungsbereiches in den zukünftigen Wohnungen sämtliche alten Oberflächenbeschichtungen zu entfernen.

Wände/Fußböden abfräsen oder entfernen

In zwei Räumen im Bereich der früheren Zahnarztpraxen war quecksilberbelastetes Mauerwerk festgestellt worden. Zwei Wände konnten mit einer Trockenfräse bis in 1 cm

Tiefe abgefräst werden. Eine Zwischenwand ohne tragende Funktion wurde aus Zeitgründen vollständig abgerissen (Bild 2).

In den sanierungsbedürftigen Kellerräumen wurden Beton-Außenwände und eine gemauerte Wand bis in 1 cm Tiefe abgefräst bzw. abgeschleift. Der quecksilberbelastete Fußboden war in sechs Kellerräumen zu sanieren. In drei Räumen konnte der Fußboden bis in 1 cm Tiefe mit einer Bodenfräse im Trockenverfahren abgefräst werden. Aufgrund der Ergebnisse eines sanierungsbegleitenden Laborversuches (siehe unten) wurde in den drei ehemaligen Abscheiderräumen der Betonfußboden komplett entfernt.

Abwasserrohre ausbauen oder verdämmen

Die extrem hohen Quecksilberbelastungen durch Ablagerungen im Abflusssystem waren in erster Linie im Bereich der früheren Zahnarztpraxen und in den darunter liegenden Kellerräumen sowie in den Grundleitungen zu erwarten. Aufgrund der Entlüftungsfunktion waren außerdem fünf vertikale Abflussstränge aus gusseisernen Rohren durch verdampfendes Quecksilber bis in den Bereich des Dachgeschosses deutlich ($> 5 \text{ mg/kg}$) belastet. Der Ausbau musste aufgrund der Deckenstatik erschütterungsarm erfolgen und sämtliche Anschlüsse (Waschbecken, Bodeneinläufe, Verzweigungen etc.) berücksichtigen. Die Ausbaumaßnahmen außerhalb des Sanierungsbereiches erfolgten mit Hilfe lokaler Einhausungen. Aus Vorsorgegründen war darüber hinaus festgelegt worden, Abflussrohre auch ohne Nachweis einer Kontamination weitestgehend auszubauen – sofern die Gebäudestatik dies zuließ. Alle Abflussrohrstücke, die nicht entfernt werden konnten, wurden mit Beton verdämmt und mit Wasserglas versiegelt, um eventuelle Ausgasungen dauerhaft zu verhindern.

Die Kanalgrundleitungen und die Hausanschlüsse wurden gespült und anschließend mit einer Kamera befahren. Für die Spülung kam Wasser mit einem Zusatz von 1 % des Immobilisierungsmittels TMT 15 zum Einsatz, das anschließend aufgefangen und über eine mobile Abwasserbehandlungsanlage geleitet wurde. Zu den Kanalgrundleitungen lagen Bestandspläne nicht vor. Die Kamerabefahrung zeigte, dass die Leitungen außer den üblichen Muffenversätzen intakt waren, so dass ein unkontrolliertes Versickern von verunreinigten Abwässern kaum zu erwarten war. Auf den Ausbau der Kanalgrundleitungen, der auch aus statischen Gründen problematisch gewesen wäre, konnte somit verzichtet werden. Die vertikalen Anschlussstutzen und Bodeneinläufe aus Gusseisen wurden entfernt. Die Kanalgrundleitungen und Revisionsschächte wurden mit fließfähigem Dämmverfüllungsmittel verfüllt und die Öffnungen im Kellerfußboden mit Beton verschlossen.

Bodenuntersuchungen

Unterhalb der Kellersohle im Bereich von Rohrmuffen hatten Bodenproben punktuell Maximalgehalte bis zu 133 mg/kg Quecksilber gezeigt. Nach Entfernen des deutlich belasteten Erdreiches konnte die Kellersohle wieder verschlossen werden. In Abstimmung mit der zuständigen Umweltbehörde wurde außerhalb des Gebäudes ein Kanal-Hausanschluss exemplarisch aufgegraben, um etwaige Bodenkontaminationen durch defekte Steinzeugrohre feststellen zu können. Bodensanierungsmaßnahmen waren nicht erforderlich.

Feinreinigung

Nach Abschluss aller Sanierungsarbeiten mussten alle Räume im Erdgeschoß und Keller raumweise feingereinigt werden – durch gründliches Absaugen sämtlicher Oberflächen (Decken, Wände, Fußböden) und Feuchtreinigung der Fußböden, der bereits verbauten

Profilschienen sowie der Fensterbänke. Die feingereinigten Räume wurden nach sorgfältiger Abnahme durch die Fachbauleitung einzeln staubdicht mit Folien verschlossen, um eine sekundäre Kontamination zu verhindern. Feingereinigte und abgenommene Teilbereiche konnten sukzessive für die weiteren Umbaumaßnahmen freigegeben werden.

Sanierungsbegleitende Messungen

Arbeitsschuttmessungen

Im Rahmen der Arbeitsschutzmaßnahmen wurden an insgesamt fünf Arbeitstagen stationäre sowie personenbezogene Expositionsmessungen gemäß TRGS 402 durchgeführt. Die Messungen erfassten jeweils den Quecksilbergehalt im Staub und dampfförmiges Quecksilber. Als Grenzwerte galten der MAK-Wert für Feinstaub von 6 mg/m^3 und für dampfförmiges Quecksilber von $100 \text{ }\mu\text{g/m}^3$. Obwohl die Messungen vorzugsweise während sehr stark staubender Tätigkeiten durchgeführt wurden, konnten zu keinem Zeitpunkt MAK-relevante Quecksilberkonzentrationen im Staub oder in der Luft nachgewiesen werden.

Zur Eigenüberwachung der Sanierungsfirma kam ein kontinuierlich arbeitendes Messgerät zum Einsatz, das nach dem Prinzip der Goldamalgamierung arbeitet. Während der Sanierungsarbeiten, die in der Regel unter Atemschutz vorgenommen wurden, arbeitete das Messgerät mit einem Messintervall von 10 Minuten und einer Auslöseschwelle für ein akustisches Alarmsignal von $10 \text{ }\mu\text{g/m}^3$. Dieser Wert, der einer zehnfachen Unterschreitung des MAK-Wertes entspricht, wurde während der gesamten Sanierung zu keinem Zeitpunkt erreicht.

Laborversuch

Zur Abschätzung des Ausgaspotentials der zu sanierenden Bausubstanz wurde an ausgewählten Bausubstanzproben das Quecksilber-Ausgasverhalten im Labor simuliert. Je drei Bohrkern aus einem stark belasteten Fußboden im Keller und aus Wänden im Bereich der früheren Zahnarztpraxen wurden in zwei bzw. fünf Versuchsphasen im Labormaßstab untersucht (Tabelle 4). Die Versuche fanden unter worst-case-Bedingen statt: Temperatur 22 bis 25 °C, sehr geringer Luftaustausch.

Für die Bausubstanzproben aus dem Erdgeschoß konnte nach Entfernen der ca. 2 cm starken Putzschicht eine Reduzierung der Quecksilberkonzentration in der Luft um ca. 75 % erzielt werden. Damit galt das Sanierungsziel als erreicht, der Versuch konnte an dieser Stelle abgebrochen werden.

Tab. 4: Quecksilberausgasung ausgewählter Bausubstanzproben in 5 Versuchsphasen

Phase	Ausgasung EG (ng/m^3)	Ausgasung KG (ng/m^3)
I Originalzustand	269	1.929
II Schicht 1 cm entfernt	54 - 69	612
III Schicht 2 cm entfernt	-	670
IV Immomet-Lösung	-	1.160
V Lüftung	-	600

Bei den Fußbodenproben aus dem Keller sank die Quecksilberkonzentration nach Entfernen des oberen Zentimeters Beton von ca. 1.900 ng/m³ auf ca. 600 ng/m³. Nach Entfernen eines weiteren Zentimeters Beton konnte in Phase III keine Reduzierung der Quecksilberausgasung erreicht werden. Daraufhin wurde in Phase IV das Immobilisierungsmittel „Immomet“ (Degussa) aufgebracht, das jedoch zunächst das Gegenteil, nämlich eine Verstärkung der Quecksilberausgasung, bewirkte. Nach einer intensiven Lüftung der Versuchsanlage in Phase V stellte sich wieder ein Quecksilbergehalt in der Luft von ca. 600 ng/m³ ein. Das Ergebnis des Laborversuchs führte zu der Entscheidung, den Kellerfußboden in den hoch belasteten Räumen vollständig zu entfernen.

Raumluftmessungen (Erfolgskontrolle)

Zur Kontrolle des Sanierungserfolges fanden Raumluftmessungen unter definierten Bedingungen statt. Nach der Feinreinigung wurden die Räume einzeln staubdicht abgeschottet und vor Durchführung der Messung mindestens 24 Stunden verschlossen. Die Raumluftprobenahme erfolgte mit einer Pumpe der Fa. Dräger (Quantimeter 1000) und Trapping auf Goldoberfläche in einem Quarzröhrchen. Im Labor folgte die thermische Desorption und Detektion mittels CV-AFS.

Die Kontrollmessungen wurden vorzugsweise in Räumen durchgeführt, die vor der Sanierung stark belastet waren. Die in Tabelle 5 dokumentierten Ergebnisse der Messungen zeigen, dass das Sanierungsziel sowohl für den zukünftigen Wohnbereich im Erdgeschoß als auch für die Kellerräume in vollem Umfang erreicht wurde.

Tab. 5: Kontrollmessungen Raumluft

Raum	Hg-gesamt in der Raumluft (ng/m ³) vor Sanierung	Hg-gesamt in der Raumluft (ng/m ³) nach Sanierung
KG 05	-	50
KG 019	-	82
KG 028	-	20
KG 09	-	52
KG 024	880	68
KG 026	-	31
EG 32	-	32
EG 40/41	155	41
EG 42/43	-	20

Schlussbemerkungen

Der beschriebene Fall zeigt das Ausmaß einer Quecksilberkontamination durch vier ehemalige Zahnarztpraxen einer Kaserne und die Folgen für die laufende Umnutzung des ehemaligen Sanitätsgebäudes zu einem Wohngebäude. Die Fertigstellung der Wohnungen wurde um mehrere Monate verzögert und die zusätzlichen Kosten beliefen sich auf rund 500.000 EURO.

Zukünftig sollte im Rahmen von Konversionsprozessen den ehemaligen Sanitätsgebäuden – insbesondere wenn eine Zahnstation integriert war – besondere Aufmerksamkeit gelten.

Aber auch bei zivilen Zahnarztpraxen, die geschlossen und umgenutzt werden, dürfen entsprechende Untersuchungen nicht ausbleiben. Rechtzeitig geplante Sanierungsmaßnahmen können gezielt und kostengünstig durchgeführt werden.

Literaturhinweise

- [1] Berufgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (1997): Quecksilber in Zahnarztpraxen, Ausgabe September 1997
- [2] LAI, Länderausschuss für Immissionsschutz (1996): Immissionswerte für Quecksilber/Quecksilberverbindungen. LAI-Schriftenreihe, Band 10. Erich Schmidt Verlag
- [3] Schlipkötter et al (1989): Gutachten über die Wirkung umweltrelevanter Schadstoffe der Außenluft zur Ableitung von Immissionsgrenzwerten. Medizinisches Institut für Umwelthygiene, Düsseldorf
- [4] WHO, World Health Organisation (1994): Updating and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe. Report on the WHO Working Group on Inorganic Pollutants. Summary report. Düsseldorf, 24. bis 27. Oktober 1994, unveröffentlicht