



Untersuchung nutzungsbedingte Belastungen – Gefährdungsbeurteilung und Sanierungskonzept

Fabrikgebäude Luxram, Güterstrasse 3, 6410 Goldau

Auftraggeber: **Gemeinde Arth, Abteilung Bau-Planung**
Rathausplatz 6, 6415 Arth

Bericht von: Ecosens AG
Grindelstrasse 5, CH-8304 Wallisellen
Tel. +41 (0)44 839 47 77, Fax. +41 (0)44 839 47 70
ecosens@ecosens.ch, www.ecosens.ch

Projektleiter: Pascal Diefenbacher, Dr. sc. ETH

Erstellt am: 12. Oktober 2021

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	1
1.1	Ausgangslage und Zielsetzung	1
1.2	Durchgeführte Untersuchungen	1
1.3	Haftungsbeschränkung	2
2	UNTERSUCHUNG RAUMLUFT UND STAUB	2
2.1	Vorgehen	2
2.2	Richt- und Grenzwerte Innenraumluft und Staub	2
2.3	Analysenresultate Raumluft	4
2.4	Analysenresultate Staub	5
3	UNTERSUCHUNG BAUSUBSTANZ	6
3.1	Beurteilung der Belastungssituation der Bausubstanz	6
3.2	Analysenresultate Bausubstanz	7
4	GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG / SANIERUNGSZIEL	10
4.1	Aktuelle Nutzung	10
4.2	Sanierungsziel für Zukünftige Nutzung	11
5	SANIERUNGSSTRATEGIE	12
5.1	Modell zur Berechnung der Raumluftkonzentration	12
5.2	Dokumentierte Sanierungen in Deutschland	13
5.3	Rückschlüsse für die Sanierungsstrategie	14
6	BAULICHE SANIERUNGSMASSNAHMEN	15
6.1	Sanierungsstrategie	15
6.2	Überprüfung Sanierungserfolg	16
6.3	Gesundheits- und Umweltschutz	17
7	ENTSORGUNG DER BELASTETEN BAUSUBSTANZ	17
8	AUSSAGEN ZUR WIRTSCHAFTLICHEN MACHBARKEIT	19
9	SCHLUSSFOLGERUNGEN	23
	ANHANG	25

1. EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Das Fabrikgebäude (Umbau 1917) der ehemaligen Glühlampenfabrik Luxram Licht AG besitzt gemäss dem denkmalpflegerischen Bericht einen erheblichen Eigenwert und hat bezüglich des Ortsbilds eine grosse Bedeutung. Zur Abklärung der Schutzfähigkeit des Gebäudes wurde im Jahr 2019 durch die Brandenburg & Müller Architekten, die Ecosens AG und die Henauer Gugler AG ein Bericht erstellt.¹

Aus den historischen Untersuchungen ist bekannt, dass in den Obergeschossen dieses Gebäudes zur Herstellung von Glühlampen und Schaltungen Quecksilber verwendet wurde. In der technischen Untersuchung² wurden sehr hohe Quecksilberbelastungen auf diversen Aussenflächen dieses Areals festgestellt. Zudem wurden in einem Sammelschacht erhöhte Konzentrationen von chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) nachgewiesen.

Bisher wurden allerdings keine Untersuchungen zur nutzungsbedingten Belastung der Bausubstanz des Fabrikgebäudes sowie zur Belastung der Raumluft durchgeführt. Aus diesem Grund konnten im Bericht zur Abklärung der Schutzfähigkeit keine abschliessenden Aussagen zur aktuellen Nutzung des Gebäudes sowie zu einer zukünftigen sensiblen Nutzung dieses Gebäude abgegeben werden.

Die Ecosens AG wurde von der Gemeinde Arth mit der Untersuchung der Bausubstanz des Fabrikgebäudes auf nutzungsbedingte Belastungen (Quecksilber und CKW) beauftragt.

1.2 Durchgeführte Untersuchungen

Zur Erkundung der aktuellen Belastungssituation des Gebäudes wurden Raumluftmessungen durchgeführt sowie der Staub beprobt. Zudem wurden die nutzungsbedingten Belastungen der Bausubstanz mittels Kernbohrungen und Materialprobenahmen bestimmt. Die Resultate dieser Untersuchungen dienen als Grundlage zur Ermittlung der Denkmalschutzfähigkeit des Fabrikgebäudes und zur groben Planung von nötigen Sanierungsmassnahmen.

Die durchgeführten Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf die ehemaligen Lager- und Fabrikationssäle im EG bis 1. DG, in denen wahrscheinlich Quecksilber zur Produktion von Leuchten und Schaltungen eingesetzt wurden.

¹ Fabrikgebäude Luxram, Güterstrasse 3, 6410 Goldau – Abklärung der Schutzfähigkeit. Bericht vom 8. Mai 2019

² Nordteil LUXRAM Areal (KbS-Nr. 02_B007) Güterstrasse 1, 3 und 5, Arth-Goldau /SZ – Voruntersuchung: Technische Untersuchung. Dr. Heinrich Jäckli AG, Bericht vom 25. November 2016

1.3 Haftungsbeschränkung

Dieser Bericht wurde von Ecosens AG verfasst. Sein Inhalt sowie die darin getroffenen Feststellungen reflektieren nach bestem Wissen den Kenntnisstand von Ecosens AG aufgrund der im Zeitpunkt der Abfassung zur Verfügung stehenden Informationen.

2 UNTERSUCHUNG RAUMLUFT UND STAUB

2.1 Vorgehen

Zur Bestimmung der Belastung der Raumlufte und des Staubs wurden folgende Untersuchungen durch die Ecosens AG durchgeführt:

- Bestimmung der Quecksilber (Hg)-Konzentration der Raumlufte an zwei Stellen im 1. DG (3.OG) sowie in Raummitte des 2. und 1. OG am 4. August 2021.
- Bestimmung der Hg-Konzentration der Raumlufte im grossen Lagerraum im EG am 15. September 2021.
- Stockwerksweise Beprobung des Staubs (1. – 2. OG sowie 1. – 2. DG) am 4. August 2021.

Die Probenahme der Raumlufte erfolgte auf graphitisierter Aktivkohle und Silberoberfläche (in Serie geschaltet) mit einem Sammelvolumen von ca. 30 Litern. In der ARGUK Umweltlabor GmbH erfolgte die thermische Desorption sowie die Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Die Analyse des Hausstaubs mittels AAS erfolgte ebenfalls in der ARGUK Umweltlabor GmbH.

2.2 Richt- und Grenzwerte Innenraumlufte und Staub

In der Schweiz existieren keine Grenz- und Richtwerte für Quecksilber in der Innenraumlufte und im Hausstaub in Wohn- und Büroräumlichkeiten. Für die Bewertung der Raumluftekonzentrationen werden deshalb üblicherweise die Richtwerte (RW) für die Innenraumlufte des Ausschusses für Innenraumrichtwerte des Deutschen Umweltbundesamts (AIR, vormals Ad-hoc Arbeitsgruppe) verwendet. Zusätzlich kann eine Bewertung mit dem Leitwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO) durchgeführt werden. Die folgende Tabelle 1 stellt die gültigen Richtwerte für Quecksilber zusammen:

Tabelle 1 Richtwerte für Quecksilber in der Innenraumluft

Typ	Richtwert (ng/m ³)	Bemerkungen
Richtwert I (Vorsorgewert)	35	Richtwert des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) ¹
Richtwert II (Interventionswert)	350	Richtwert des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) ¹
WHO Guideline Value	1'000	Jahresmittelwert für die Aussenluft ²
WHO Guideline Value (Langzeitexposition)	200	Tolerable Konzentration für eine lang andauernde Exposition gegenüber elementarem Quecksilberdampf ²
Maximale Arbeitsplatzkonzentration	50'000	Arbeitsplatzgrenzwert (MAK-Wert) der Suva

Im Fall von Quecksilber wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass der Interventionsrichtwert (RW II) nicht als Eingriffswert im sonst verstandenen Sinne zu betrachten sei. Seine Überschreitung weise vielmehr darauf hin, dass relevante Quellen im betroffenen Raum vorhanden sind, die unter Beachtung der Verhältnismässigkeit entfernt werden sollten. Keinen nennenswerten Beitrag zur Gesamtbelastung, wie sie durch anderer Aufnahmepfade (z.B. aus Amalgamfüllungen), verursacht werden können, liefern Raumlufkonzentrationen unterhalb des Vorsorgewerts (Richtwert I).

Der WHO Guideline Value für eine tolerable Langzeitexposition liegt mit 200 ng/m³ im Bereich zwischen dem RW I und RW II.

Der MAK-Wert der Suva gilt nur für Betriebe und Situationen in denen effektiv mit Quecksilber gearbeitet wird (8-Stunden-Mittelwert). Er ist zur Bewertung der Innenraumluft in Wohn-, Büro- und Gewerberäumen nicht geeignet.

Die Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungseinrichtung (AGÖF) führt basierend auf statistischen Erhebungen folgende Orientierungswerte für die Hg-Konzentration in Hausstaub auf:³

- Normalwert (50. Perzentil): 0.5 mg Hg/kg Staub
- Auffälligkeitswert (90. Perzentil): 1 mg Hg/kg Staub

Diese Orientierungswerte lassen keine Aussagen zu einer möglichen Personengefährdung zu. Liegt die Konzentration im Staub aber über dem Auffälligkeitswert kann von deutlichen Quecksilberkontaminationen in Innenräumen ausgegangen werden.

¹ Empfehlung: Richtwerte für die Innenraumluft – Quecksilber. Link, B. in Bundesgesundheitsblatt 2, 1999

² Preventing disease through healthy environments – exposure to mercury: a major public health concern. WHO, 2007

³ AGÖF-Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle im Hausstaub, 2004 (Publikation zurückgezogen)

2.3 Analysenresultate Raumluft

In der folgenden Tabelle 2 sind die nachgewiesenen Hg-Konzentrationen in der Raumluft (gesamtes Quecksilber auf beiden Sammlern) sowie die Bemerkungen zur Temperatur und dem Luftwechsel zum Zeitpunkt der Raumluftmessung aufgeführt. Die Räume wurden mindestens 8 h vor der Probenahme nicht gelüftet, allerdings sind in den meisten Stockwerken defekte Fensterscheiben vorhanden. Im 1. DG ist zudem ein Teil der Decke eingestürzt. Der detaillierte Laborbericht ist im Anhang A zu finden.

Tabelle 2 Übersicht Quecksilber-Konzentrationen in der Raumluft

Messort / (Proben-Nr.)	Quecksilber, gesamt [ng/m ³]	Temperatur, Luftwechsel
1. DG (3. OG), rechts / (5217/RL1)	1'720	19.0 °C, gut durchlüftet (diverse defekte Fenster)
1. DG (3. OG), links / (5217/RL2)	1'880	19.0 °C, gut durchlüftet (diverse defekte Fenster)
2. OG, Raummitte / (5217/RL3)	10'300	23.3 °C, schlechter durchlüftet (kaum defekte Fenster)
1. OG, Raummitte / (5217/RL4)	4'680	22.4 °C, relativ gut durchlüftet (einige defekte Fenster)
EG, grosser Lagerraum / (5217/RL5)	1'200	21.8 °C, schlecht durchlüftet (Fenster mit Brettern verschlossen)
Richtwerte I	35	
Richtwert II	350	

In der Raumluft der Produktionssäle in den Obergeschossen wurden sehr hohe Hg-Konzentrationen von 1'720 bis 10'300 ng/m³ gefunden. Die Hg-Konzentration im Lagerraum (EG) liegt mit 1'200 ng/m³ etwas tiefer.

Die Belastungen der Raumluft liegen in allen untersuchten Räumlichkeiten deutlich über dem Interventionsrichtwert (RW II) des deutschen Umweltbundesamts (UBA) von 350 ng/m³. Die Belastung der Raumluft besteht zu einem überwiegenden Teil aus elementarem Quecksilber. Der WHO Guideline Value für eine tolerable Langzeitexposition gegenüber elementarem Quecksilberdampf von 200 ng/m³ wird ebenfalls in allen Räumlichkeiten deutlich überschritten.

Die sehr starke Belastung der Raumluft ist insofern überraschend, als dass in allen untersuchten Räumen defekte Fenster vorhanden waren, die den Luftwechsel signifikant erhöhen. Zudem waren die Lufttemperaturen für den Sommer (zumindest im 1. DG) relativ tief. Aus der Literatur ist bekannt, dass bei Quecksilber erhebliche Konzentrationsunterschiede zu verschiedenen Jahreszeiten auftreten können, da erhöhte Oberflächentemperaturen von belasteten Baumaterialien die Hg-Emissionen und somit die Konzentrationen in der Raumluft stark erhöhen.¹

¹ Quecksilber im Innenraum. Mertens, J.; Grimm, B in Gebäudeschadstoffe und Innenraumluft, Band 12 S. 7 – S. 28, 2020

Der Umstand, dass im 2. Obergeschoss die höchsten Konzentrationen gemessen wurden, lässt sich wahrscheinlich teilweise dadurch erklären, dass in diesem Raum die Temperatur am höchsten und der Luftwechsel am geringsten war. Bei intakten und geschlossenen Fenstern (z.B. nach Umbau) und sommerlichen Temperaturen wären voraussichtlich in allen Stockwerken noch höhere Konzentrationen zu erwarten.

Aufgrund der historischen Untersuchung (HU) wurde davon ausgegangen, dass grössere Mengen an Quecksilber vor allem im 1. DG verwendet wurden. Die vorliegenden Analysenresultate zeigen aber, dass in sämtlichen Geschossen des Gebäudes eine starke Quecksilberbelastung der Raumluft besteht.

2.4 Analysenresultate Staub

In der folgenden Tabelle 3 sind die Hg-Konzentration im Staub dargestellt. Der Laborbericht ist in Anhang A zu finden.

Tabelle 3 Übersicht Quecksilber-Konzentrationen im Staub

Messort / (Proben-Nr.)	Quecksilber [mg/kg Staub]	Bemerkungen
2. DG / (5217/S2)	80	Grosse Menge abblätternder Farbe von Dachbalken
1. DG / (5217/S1)	38	-
2. OG / (5217/S3)	32	-
1. OG / (5217/S4)	110	Grosse Menge an defekten Glühbirnen in Zwischenboden
AGÖF-Auffälligkeitswert	1	Gilt für 7-Tage-Staub

Die Quecksilber-Belastung des Staubs liegt mit 32 – 110 mg/kg ebenfalls in einem sehr hohen Bereich. In Innenräumen gilt Staub (7-Tage-Staub) ab 1 mg Hg/kg als auffällig. Aufgrund der nicht vorhandenen Nutzung resp. Reinigung der oberen Geschosse des Gebäudes ist die Liegedauer des Staubs zwar deutlich länger, dennoch ist die Belastung des Staubs stark auffällig und deutet auf das Vorhandensein von grossen Quecksilber-Quellen hin.

Im Zwischenboden unterhalb des 1. Obergeschosses wurden bei der Untersuchung grosse Mengen an zerbrochenen Glühbirnen gefunden. Diese wurden früher mit einem Förderband im Zwischenboden in den Erker des Gebäudes zur Entsorgung befördert. Es ist möglich, dass diese Glühbirnen-Abfälle der Grund für die maximale Staubbelastung im 1. OG darstellen. Die Untersuchung der Staubbelastung zeigen ebenfalls, dass sämtliche Obergeschosse des Gebäudes (inkl. Dachstuhl) belastet sind. Eine Eingrenzung der Kontamination auf einzelne Gebäudebereiche oder Geschoss kann nicht gemacht werden.

3 UNTERSUCHUNG BAUSUBSTANZ

Zur Bestimmung der nutzungsbedingten Belastungen wurde die Bausubstanz mittels 17 Kernbohrungen und zwei oberflächlichen Materialproben beprobt. Es wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Beprobung des Bodenaufbaus der Stockwerke 1. OG, 2. OG und DG mittels 2 – 4 Kernbohrungen (Tiefe ca. 10 cm) pro Etage.
- Beprobung des Wandaufbaus (1. OG, 2. OG, DG) mit 2 Kernbohrung pro Etage
- Aus statischen Gründen wurde die Betonrippendecke nicht mit Kernbohrungen sondiert. Stattdessen wurde die Decke im 1. und 2. OG mit einem Hammer oberflächlich beprobt.

Bei den Kernbohrungen hat sich gezeigt, dass der Aufbau der Böden und Wände pro Stockwerk jeweils weitgehend identisch war. Aus diesem Grund wurden aus den verschiedenen Bohrungen vom gleichen Stockwerk und Bauteil Mischproben erstellt. Diese Mischproben wurden im Labor der Bachema AG auf Quecksilber und stichprobenartig zusätzlich auf chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) untersucht.

3.1 Beurteilung der Belastungssituation der Bausubstanz

In der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) werden Grenzwerte für Quecksilberkonzentration in der Bausubstanz für verschiedene Entsorgungswege aufgeführt (siehe Kapitel 7). Auf der Basis dieser Grenzwerte lassen sich allerdings keine Aussagen treffen, welchen Effekt eine bestimmte Kontamination der Bausubstanz auf die Belastung der Raumluft hat. Vergleichsdaten zu Quecksilberkontaminationen in Baumaterialien, die für eine orientierende Bewertung der notwendigen Sanierungsmassnahmen herangezogen werden können, fehlen in der Schweiz. Aus dem Verlauf eines Sanierungsprojekts in Deutschland wurde anhand von 24 durchgeführten Materialuntersuchungen eine orientierende Einordnung von Kontaminationsgraden vorgenommen.¹ Die Tabelle 4 stellt die Ergebnisse dieser Einordnung dar.

¹ *Quecksilber im Innenraum. Mertens, J.; Grimm, B in Gebäudeschadstoffe und Innenraumluft, Band 12 S. 7 – S. 28, 2020*

Tabelle 4 Orientierende Einstufung von Kontaminationsgraden

Quecksilber-Konzentration [mg/kg]	Kontaminationsgrad	Sanierungsrelevanz in den Literaturbeispielen
<0.1	sehr gering kontaminiert	nein
0.1 bis <0.5	gering kontaminiert	wahrscheinlich nein
0.5 bis <5	deutlich kontaminiert	ja, schwerpunktmässig bei grossflächigen Anwendungen
5 bis <50	stark kontaminiert	ja
>50	sehr stark kontaminiert	ja

Die Autoren dieser Veröffentlichung weisen darauf hin, dass diese Einstufung in verschiedenen Kontaminationsgrade durch die Untersteilung aller bestimmten Quecksilberkonzentrationen in verschiedene Grössenordnungen vorgenommen worden sei, da für eine statistische Auswertung zu wenig Messdaten vorgelegen hätten. Die Angaben zur Sanierungsrelevanz seien deshalb ebenfalls nur orientierend zu verstehen und unter Berücksichtigung der weiteren baulichen Gegebenheiten anzuwenden. Damit sind beispielsweise die Möglichkeit hoher Temperatureinwirkungen sowie das Ausmass des Materials im Raum zu verstehen.

Aus Sicht des Gutachters ist diese Einstufung nachvollziehbar und wird in Ermangelung weiterer Vergleichsdaten für die Bewertung des Kontaminationsgrads der untersuchten Bausubstanz in diesem Projekt verwendet (farbliche Codierung in Tabelle 5).

3.2 Analysenresultate Bausubstanz

Die folgende Tabelle 5 stellt die Resultate der Analysen der Bausubstanz auf Quecksilber und CKW dar (nach Bauteilen getrennt). Die Auflistung der Materialien zeigt den Aufbau der jeweiligen Bauteile auf der Basis der Kernbohrungen (Bohrtiefe ca. 10 cm). Der Laborbericht ist im Anhang A zu finden.

Tabelle 5 Übersicht Quecksilber-Konzentrationen in der Bausubstanz

Stockwerk	Proben-Nr.	Material	Quecksilber [mg/kg]	CKW [mg/kg]
Wände				
1. DG	5217/BS1	Verputz	38	<BG
	5217/BS4	Backsteine	1.3	n.a.
2. OG	5217/BS2	Verputz	24	<BG
	5217/BS5	Backsteine	3.5	n.a.
1. OG	5217/BS3	Verputz	29	<BG
	5217/BS3	Backsteine / Beton	1.7	n.a.
Decken				
2. OG	Mischprobe	Betonrippendecke	52	n.a.
1. OG	Mischprobe	Betonrippendecke	420	n.a.
Böden				
1. DG	5217/BS7	Holzzement	5.3	<BG
	5217/BS8	Holzdielen	3.9	n.a.
	5217/BS9	Beton	3.9	<BG
2. OG	5217/BS10	Holzzement	0.23	1.3
	5217/BS11	Beton	0.1	n.a.
1. OG	5217/BS12	Spanplatten	0.45	n.a.
	5217/BS13	Eichenparkett	8.3	<BG
	5217/BS14	Holzdielen	4.1	n.a.
<BG = Konzentration unterhalb der Nachweisgrenze, n.a. = nicht analysiert Die farbliche Codierung entspricht folgender Einstufung (Details siehe Tab. 4)				
gering kontaminiert		deutlich kontaminiert		
stark kontaminiert		sehr stark kontaminiert		

Belastung durch Quecksilber (Hg)

Die Analyse des Wandputzes im 1. OG – 1. DG ergab Konzentrationen von 24 bis 38 mg/kg. Das darunterliegende Mauerwerk wies noch Konzentrationen von 1.3 bis 3.5 mg/kg auf. Damit sind die Wandputze als stark kontaminiert einzustufen. Die Mächtigkeit des Putzes betrug in allen Sondagen ca. 3 cm. Das Mauerwerk unter dem Putz ist mit 1.3 bis 3.5 mg/kg deutlich kontaminiert.

Die Belastung der Betonrippendecke, die im 1. und 2. OG besteht, ist mit 52 resp. 420 mg/kg sogar noch deutlich höher also die des Wandputzes. Dieses Bauteil wird deshalb als sehr stark kontaminiert eingestuft. Dazu muss aber angemerkt werden, dass eine Sondage der Betonrippendecke mittels Kernbohrungen nicht möglich war. Es wurde eine Materialprobe der obersten Schicht (ca. 5 mm) mit einem Hammer entnommen. Da die Belastung tendenziell mit der Tiefe abnimmt, ist die Belastung des gesamten Bauteils wahrscheinlich geringer. Es ist aber anzunehmen, dass auch

bei einer durchgängigen Beprobung dieses Bauteils eine deutliche bis starke Kontamination resultieren würde.

Diese starken Belastungen der Wände und Decken in diesem Gebäude lassen sich wahrscheinlich dadurch erklären, dass in diesem Gebäude grössere Mengen metallisches Quecksilber verwendet wurden. Gemäss Aussage eines ehemaligen Arbeiters wurden pro Monat rund 100 bis 150 kg reines Quecksilber umgesetzt. Nach der Arbeit wurden die Quecksilber-Reste jeweils in eine Rille des Parketts gewischt. Es ist bekannt, dass metallisches Quecksilber über Jahrzehnte verdampfen und dadurch die Raumluft belasten kann. Über die Zeit führen erhöhte Belastungen der Raumluft auch zu einer deutlichen Belastung der Wand- und Deckenoberflächen (Sekundärkontaminationen).

Bei den Bodenaufbauten ist die Sachlage etwas komplizierter, da gewisse Schichten der Aufbauten mit grosser Wahrscheinlichkeit erst nach Beendigung der Verwendung von Quecksilber eingebaut wurden. Im 1. DG ist der Holzzement mit einer Hg-Konzentration von 5.3 mg/kg stark kontaminiert, die darunterliegenden Holzdielen und der Konstruktionsbeton sind ebenfalls noch deutlich kontaminiert. Trotz der sehr hohen Raumluftkonzentrationen in diesem Geschoss ist der Bodenaufbau im 2. OG nur gering mit Quecksilber kontaminiert. Dies lässt sich wahrscheinlich dadurch erklären, dass der Bodenaufbau erst nach dem Ende des Einsatzes von grossen Mengen elementaren Quecksilbers (bis ca. 1960) erstellt wurde. Auch visuell macht der Bodenaufbau einen relativ neuen Eindruck. Im 1. OG ist das Eichenparkett stark kontaminiert und auch die darunterliegenden Dielen sind deutlich kontaminiert.

Aus den durchgeführten Untersuchungen der Bausubstanz lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- In sämtlichen untersuchten Geschossen wurden Belastungen in der Bausubstanz nachgewiesen. Die Schlussfolgerungen aus den Resultaten der Raumluftmessungen, wonach das gesamte Gebäude Hg-Belastungen aufweist, können somit bestätigt werden.
- Die Verwendung von grossen Mengen an Quecksilber im Gebäude führte via Gasphase zu einer starken Sekundärkontamination der Wand und Deckenoberflächen. Es ist damit zu rechnen, dass sämtliche Oberflächen, die der Raumluft ausgesetzt sind, eine gewisse Quecksilber-Belastung aufweisen.
- Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Belastung der Bausubstanz und der Raumluftkonzentration in den einzelnen Geschossen. Die Belastung der Raumluft im 2. OG war mit Abstand am höchsten, wohingegen die Bausubstanz in anderen Geschossen teilweise deutlich stärker belastet war. Diese Beobachtung lässt sich dadurch erklären, dass die Belastung der Raumluft noch von weiteren Parametern wie dem Luftwechsel sowie der Temperatur abhängt. Zudem kann nicht ausgeschlossen werden, dass in den Geschossen Belastungs-Hot-Spot oder

sogar Depots von elementarem Quecksilber bestehen, die bei den Sondagen nicht tangiert wurden.

Belastung durch chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)

Im 1. OG und im 1. DG wurden in der Bausubstanz keine Hinweise auf CKW gefunden (alle Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze). Im 2. OG wurden im Holzzement hohe CKW-Belastungen von 1.3 mg/kg nachgewiesen. Damit wird der Verdacht bestätigt, dass in diesem Gebäude auch CKW eingesetzt wurden. Bezüglich einer möglichen Gesundheitsgefährdung für Gebäudenutzer sind die CKW zwar zu beachten, im Vergleich zum Quecksilber wahrscheinlich aber eher von untergeordneter Bedeutung.

4 GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG / SANIERUNGSZIEL

4.1 Aktuelle Nutzung

Bei einer normalen Nutzung des Gebäudes geht eine mögliche Gesundheitsgefährdung primär von der Quecksilberbelastung der Raumluft aus. Da die Hg-Konzentration in allen untersuchten Räumen die Richtwerte des UBA und des WHO-Werts für eine Langzeitexposition übertreffen, kann eine Gesundheitsgefährdung bei einem längeren Aufenthalt in diesen Räumen nicht ausgeschlossen werden. Es ist zudem damit zu rechnen, dass sich die Belastung der Raumluft mit intakten Fenstern und einer allfälligen Beheizung der Räumlichkeiten noch verstärken würde.

Im aktuellen Zustand des Gebäudes wird deshalb von einer Nutzung des Gebäudes mit längeren Personenaufenthaltszeiten (z.B. für Büro- oder Wohnräume) dringend abgeraten.

Die Räume im Erdgeschoss des Gebäudes sind vermietet und werden als Lager genutzt. Die gemessene Hg-Konzentration im grossen Lagerraum überschreitet mit 1'200 ng/m³ zwar die Richtwerte für einen langfristigen Aufenthalt, der MAK-Wert der Suva (50'000 ng/m³) wird allerdings deutlich unterschritten. Aufgrund der Nutzung als Lager wird davon ausgegangen, dass die Mieter sich pro Monat nur einige Stunden in den Lagern aufhalten. Aus Sicht des Gutachters ist die Lagernutzung aus toxikologischer Sicht mit folgenden Einschränkungen tolerierbar:

- Kein dauerhafter Personenaufenthalt in den Lagern (z.B. Büroarbeitsplatz)
- Keine Lagerung von sensiblen Gegenständen (z.B. Lebensmitteln)
- Als Vorsichtsmassnahme wird empfohlen die gelagerten Gegenstände vor einem weiteren Gebrauch feucht abzuwischen
- Bei Reinigungs- oder Bautätigkeiten, bei denen Staub freigesetzt wird, ist das Tragen einer Staubmaske (FFP3) empfohlen

4.2 Sanierungsziel für Zukünftige Nutzung

Gemäss den uns vorliegenden Informationen wird eine Umnutzung des Gebäudes in Wohnungen oder Büroflächen angestrebt. Aufgrund der hohen Personenaufenthaltszeit von 8 – 10 h pro Tag (Büros) sowie einem potenziellen Daueraufenthalt von 24 h in Wohnungen sind die Anforderungen an die Raumluftqualität bei diesen Nutzungsformen hoch.

Im vorliegenden Fall müsste das Ziel der Sanierung deshalb sein, dass durch die Sanierungsmassnahmen die Quecksilberbelastung so weitgehend entfernt wird, dass im Gebäude anschliessend langfristig eine gesundheitlich unbedenkliche Nutzung möglich ist. Üblicherweise wird der Vorsorgerichtwert (35 ng/m^3) als Zielwert festgelegt. Im Fall von Quecksilber liefert eine Belastung der Raumluft unterhalb des Vorsorgerichtwerts keinen nennenswerten Beitrag zur Hg-Gesamtbelastung der Nutzenden. Eine Festlegung des WHO Guideline Values (tolerable Konzentration für eine Langzeitnutzung) von 200 ng/m^3 als Sanierungsziel ist aus Sicht des Gutachters nicht sinnvoll. Bei diesem höheren Sanierungsziel wäre die Akzeptanz der Restbelastung durch die zukünftigen Gebäudenutzer wahrscheinlich nicht gegeben, was zu einer geringeren Ertragserwartung führen könnte.

In der Schweiz sind dem Verfasser kein dokumentierten Fallbeispiele von durchgeführten Quecksilbersanierungen bekannt. In zwei Fallbeispielen in Deutschland gaben die involvierten Gesundheitsämter und Arbeitsmediziner die Unterschreitung des RW I für die dauerhafte Raumnutzung ohne weitere Nutzungsbeschränkungen als Sanierungszielwert vor.¹ Dieser Zielwert wurde insbesondere mit dem Potenzial von Quecksilber zur Schädigung des ungeborenen Kindes im Mutterleib begründet.

¹ Praxisbeispiele zu erhöhten und verbreiteten Quecksilberbelastungen in Innenräumen. Mertens, J.; Mertens, J.; Köhler, M; Weiss, N, in *Umwelt, Gebäude & Gesundheit, AGÖF e.V.*, 2019

5 SANIERUNGSSTRATEGIE

5.1 Modell zur Berechnung der Raumlufkonzentration

Die vorgängige Abschätzung der Wirkung einer Sanierung auf die Belastung der Raumluf ist schwierig. Die Faktoren mit dem grössten Einfluss auf die Konzentration sind das Raumvolumen, die Quellstärke der Emissionen sowie der Luftwechsel. Anhand folgender Formel kann die Änderung der Luftkonzentration in Abhängigkeit vom Luftwechsel bei geschlossenen Räumen errechnet werden:¹

$$dC_i/dt = Q/V + nC_a - AC_i - nC_i$$

C_i : Innenraumluf-Konzentration (mg/m³)

Q : Quellstärke (mg/h)

V : Raumvolumen (m³)

n : Luftwechsel (h⁻¹)

C_a : Aussenluft-Konzentration (mg/m³)

A : Abbau-Faktor

t : Zeit

Da im Ausgleichszustand im zeitlichen Verlauf keine Änderung der Konzentration zu erwarten ist, wird der Term $dC_i/dt = 0$. Zudem ist die Hg-Konzentration in der Aussenluft wahrscheinlich vernachlässigbar und der Abbaufaktor ist als gering einzuschätzen. Deshalb kann die Innenraumlufkonzentration resp. der Quellterm im vorliegenden Fall nach der folgenden vereinfachten Formeln berechnet werden:

$$(1) \quad C_i = Q/(V \cdot n)$$

Die obenstehende (vereinfachte) Formel zeigt, dass die Luftkonzentration direkt proportional zum Luftwechsel, dem Raumvolumen und der Quellstärke ist. Da im Rahmen der Sanierung das Gebäudevolumen nicht massgeblich verändert wird, ist davon auszugehen, dass eine Verdoppelung des Luftwechsels zu einer Halbierung der Quecksilberkonzentration in der Luft führt. Der identische Zusammenhang gilt auch für den Quellterm.

Rechenbeispiel

Im 2. OG des untersuchten Gebäudes wurde eine maximale Hg-Konzentration von rund 10'000 ng/m³ gemessen. Somit liegt die Konzentration beinahe einen Faktor 300 über dem Vorsorgerichtwert (und Sanierungszielwert) von 35 ng/m³. Geht man in diesem einfachen Rechenbeispiel davon aus, dass bei einem Umbau das Raumvolumen sowie der Luftwechsel konstant bleiben, so müsste die Quellstärke um 99.6 % reduziert werden, um den Vorsorgerichtwert zu erreichen. Selbst bei einem Einbau einer Lüftung mit einem 4-fachen Luftwechsel ($n=4$) müsste die Quellstärke noch um rund 98.6 % reduziert werden, um den Vorsorgerichtwert zu erreichen.

¹ Formel aus Richtlinie VDI 4300 Bl. 1

Es handelt sich hierbei um eine theoretische Berechnung. In der Realität sind noch diverse weitere Parameter wie die Temperatur und Oberflächenbeschaffenheit der Materialien zu beachten. Dennoch zeigt dieses Rechenbeispiel, dass eine Erreichung des Vorsorgerichtwerts nur durch eine extreme Reduktion der Quellstärke und somit durch eine grossflächige Entfernung oder Abdichtung von belasteten Materialien möglich ist.

5.2 Dokumentierte Sanierungen in Deutschland

Nach unserem Kenntnisstand bestehen in der Schweiz keine Berichte von Quecksilbersanierungen in Innenräumen. Aus Deutschland sind folgende Sanierungen dokumentiert:

Wohngebäude mit 5 Wohneinheiten¹

Bei Renovierungsarbeiten kam es zur Freisetzung eines in der Decke eingeschlossenen flüssigen Quecksilberreservoirs unbekannter Herkunft. Eine erste Untersuchung des Schadensraums ergab Raumlufkonzentrationen von bis zu 470'000 ng/m³. In den umliegenden Wohnungen wurden ebenfalls stark erhöhte Werte gemessen. Bei der ersten Dekontamination und Sanierung wurde die Wohnung feucht gereinigt und die Holzdecke bis auf die Balkenlage ausgebaut. Diese Tätigkeiten erfolgten unter technischem Luftwechsel. Zusätzlich wurde die Wohnung ausgeheizt. Die erste Kontrollmessung nach der Sanierung ergab eine Konzentration von 1'800 bis 2'500 ng/m³. In der Folge wurden diverse Materialproben von Bauteilen entnommen und auf Quecksilber untersucht. Auf der Basis dieser Untersuchung erfolgte der komplette Rückbau der stark kontaminierten Materialien (obere Wand- und Deckenschichten sowie die Dielenhölzer des Fussbodens). Durch diese Rückbaumassnahmen konnte die Belastung im Schadensraum auf 180 ng/m³ gesenkt werden. Gemäss einer Schätzung lagen die Kosten für die Sanierung (inkl. der anderen vier Wohneinheiten, die hier nicht im Detail diskutiert wurden) bei etwa 150'000 €.

Quecksilberbelastete Zahnstation²

Beim Umbau einer ehemaligen Zahnstation (Zahnarztpraxis) zu einem Wohnhaus wurde bei einer stichprobenartigen Untersuchung der Bausubstanz festgestellt, dass diese eine extreme Quecksilber-Belastung aufwies. Es stellte sich heraus, dass das Gebäude durch die Verwendung von quecksilberhaltigem Amalgam als Füllmaterial für Zähne stark belastete war. In der Folge wurden Messungen zur Bestimmung der Raumlufbelastung durchgeführt. In einem nicht verschlossenen und ungeheizten Kellerraum wurde dabei eine Hg-Konzentration von 880 ng/m³ gemessen. Zur Reduzierung der Belastung wurde der Kellerraum (und auch weitere belastete Räume) entrümpelt und sämtliche Oberflächen abgesaugt. In der ehemaligen Zahnarztpraxis wurden sämtliche Wand- und Deckenputze mit Pressluftmeisseln

¹ Praxisbeispiele zu erhöhten und verbreiteten Quecksilberbelastungen in Innenräumen. Mertens, J.; Mertens, J.; Köhler, M; Weiss, N, in *Umwelt, Gebäude & Gesundheit*, AGÖF e.V., 2019

² Sanierung einer quecksilberbelasteten Zahnstation – Probleme bei der Konversion eines Sanitätsgebäudes zum Wohnhaus in *Umwelt, Gebäude & Gesundheit*, AGÖF e.V., 2004

entfernt. Zusätzlich wurden zwei Wände mit einer Trockenfräse bis in 1 cm Tiefe abgefräst. Im sanierungsbedürftigen Kellerraum wurden die Innenflächen der Beton-Aussenwände bis in 1 cm Tiefe abgefräst. Der Betonfussboden musste aufgrund der Belastungen (68 mg/kg in oberster Schicht) sogar komplett entfernt werden. Anschliessend erfolgte eine Feinreinigung. Durch diese Sanierungsmassnahmen konnte die Luftbelastung im Kellerraum auf 68 ng/m³ gesenkt werden. Die Mehrkosten für die Sanierungsarbeiten im gesamten Gebäude werden mit rund 500'000 € beziffert.

5.3 Rückschlüsse für die Sanierungsstrategie

Zur Erreichung des Sanierungsziels, müsste im vorliegenden Objekt die Hg-Belastung der Raumluft um bis zu einem Faktor 300 reduziert werden. Die Modellrechnung zeigt, dass dafür eine massive Reduktion der Quellstärke nötig wäre.

Obwohl die Belastung der Raumluft resp. der Bausubstanz in den aufgeführten Beispielen nicht direkt mit dem Fabrikgebäude vergleichbar ist, zeigen die Sanierungsbeispiele, dass für eine deutliche Reduktion der Luftbelastung grossflächige Sanierungsmassnahmen nötig sind. Obwohl die Schadensräume weitgehend in den Rohbauzustand versetzt wurden, wurden nach Abschluss der Sanierung immer noch eine deutliche Restbelastung der Raumluft nachgewiesen. Diese lag bei beiden Beispielen deutlich über einem Sanierungszielwert von 35 ng/m³.

Die aufgeführten Sanierungsbeispiele zeigen ausserdem, dass bei Quecksilber erhebliche Konzentrationsunterschiede zu verschiedenen Jahreszeiten auftreten können (bis Faktor 6). Eine erfolgreiche Sanierungskontrollmessung im Winter oder Frühjahr muss also nicht bedeuten, dass der Zielwert auch im Sommer eingehalten wird.

6 BAULICHE SANIERUNGSMASSNAHMEN

In sämtlichen untersuchten Proben der Bausubstanz wurden geringe bis sehr starke Quecksilber-Kontaminationen nachgewiesen. Die Konzentrationen liegen in einem Bereich, der für Sekundärkontaminationen üblich ist. Bei Materialien, mit direktem Kontakt zum Quecksilber wären deutlich höhere Konzentrationen zu erwarten (> 1'000 mg/kg).

Die ziemlich homogenen Konzentrationen im Verputz zeigen, dass Quecksilber auf allen Stockwerken eingesetzt wurde. Die Konzentrationen im Bodenaufbau unterscheiden sich stärker, was wahrscheinlich durch die unterschiedlichen Erstellungsjahre (vor resp. nach Quecksilbernutzung) zu begründen ist. Hinsichtlich einer möglichen Sanierung müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Die Analysen haben gezeigt, dass sämtliche beprobten Wandoberflächen (Wandputze) stark belastet sind. Auch die darunterliegenden Backsteine sind noch deutlich belastet.
- Mit Ausnahme des Bodenaufbaus im 2. OG, der wahrscheinlich neueren Datums ist, sind auch die Bodenaufbauten deutlich bis stark kontaminiert.
- Die Betonrippendecke ist im 1. und 2. OG sehr stark kontaminiert.
- Gemäss den Aussagen eines ehemaligen Beschäftigten wurden die Quecksilber-Reste abends in die Ritzen des Holzparketts gewischt. Es ist deshalb möglich, dass sich in den Hohlräumen (z.B. oberhalb der Betonrippendecke) noch elementare Quecksilber-Depots befinden.

6.1 Sanierungsstrategie

Der Effekt von Sanierungstätigkeiten auf die Belastung der Raumluft ist im Vorhinein kaum abzuschätzen. Aufgrund der sehr hohen Belastung der Raumluft und der starken und grossflächigen Belastung der Bausubstanz sind voraussichtlich folgende Massnahmen nötig:

Wände: Entfernung und Entsorgung des gesamten Wandputzes (ca. 3 cm Mächtigkeit) im Gebäude bis auf Backsteine, allenfalls ist vor dem Wiederaufbau des Verputzes eine Inhibierung oder Abdichtung der Backsteine (deutlich belastet) durch eine gasdichte Folie nötig. Die Leichtbauwände im 3. OG müssten ebenfalls zurückgebaut werden.

Decken: Aufgrund der sehr starken Kontamination der Betonrippendecke, kann diese nicht im aktuellen Zustand belassen werden. Da ein Abtragen (min. 1 cm) der oberflächlichen Schichten wahrscheinlich aus technischen und statischen Gründen nicht möglich ist, muss die Betonrippendecke voraussichtlich komplett rückgebaut und entsorgt werden. Vor dem Rückbau der Betonrippendecke sind die Hohlräume

auf der Oberseite auf mögliche Depots von elementarem Quecksilber zu untersuchen.

Böden: Aufgrund der Belastungssituation (und des voraussichtlichen Rückbaus der Betonrippendecke) müssten die Bodenaufbauten in allen Stockwerken komplett zurückgebaut werden. Es muss beachtet werden, dass der Holzzement im 2. OG und im 1. DG zusätzlich asbesthaltig sind. Die entsprechenden Vorgaben der Suva bezüglich der Asbestsanierung sind einzuhalten.

Dachgeschoss: Falls ein Ausbau des Dachgeschosses zu Wohnraum stattfinden soll, ist die Belastungssituation der Dachbalken detailliert zu überprüfen. In Abhängigkeit der Kontamination ist eventuell ein Abtragen der obersten Schicht oder ein luftdichter Einschluss der Dachbalken nötig.

Andere Bauteile: Die Kontamination des Beton-Treppenhauses ist aktuell nicht bekannt. Aufgrund der Belastungssituation im gesamten Gebäude ist damit zu rechnen, dass auch in diesem Bereich zumindest eine oberflächliche Belastung des Betons vorliegt. Evtl. ist ein Abfräsen der obersten Schicht oder ein Abdichten der Treppe (z.B. mittels Fliesen) nötig.

Zusätzliche Massnahmen: Um die Luftbelastung nach Sanierung weiter zu senken, könnte das Gebäude während einiger Zeit ausgeheizt und stark durchlüftet werden. Der Einbau einer auf die zukünftige Nutzung abgestimmten Lüftungsanlage ist unbedingt zu empfehlen. Aufgrund des Ausmasses der voraussichtlich nötigen Sanierungsarbeiten ist es empfehlenswert, wenn vorgängig die Belastungssituation der Bausubstanz detaillierter bestimmt wird. Dies könnte mittels eines direktanzeigenden Messgeräts (Röntgenfluoreszenz (XRF)) oder Laboranalysen erfolgen. Zudem wird eine Pilotsanierung in einem räumlich abgegrenzten Teilbereich des Gebäudes empfohlen, um zu überprüfen, ob mit den vorgeschlagenen Massnahmen das Sanierungsziel erreicht werden kann.

6.2 Überprüfung Sanierungserfolg

Auch bei Durchführung sämtlicher oben genannter Sanierungsmassnahmen kann nicht garantiert werden, dass das Sanierungsziel erreicht wird. Angesichts der aktuellen Belastung der Raumluft wäre insbesondere die Erreichung eines Sanierungsziels von 35 ng/m³ (RW I) eine Herausforderung.

Um die Unsicherheit hinsichtlich des Erfolgs der Sanierung zu reduzieren, empfiehlt sich eine Mustersanierung eines abgetrennten Raums.

Es werden folgende Messungen zu Überprüfung des Sanierungserfolgs vorgeschlagen:

- Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten und einer Feinreinigung sollte das Gebäude für mindestens zwei Wochen ausgelüftet werden. Anschliessend werden die Lüftungsöffnungen der Sanierungszone für mindestens 8 Stunden verschlossen und Kontrollmessungen durchgeführt (Ausgleichskonzentration).

- Erst nach der Auswertung dieser Kontrollmessungen sollte mit dem Wiederausbau des Gebäudes begonnen werden.
- Die Raumlufmessungen zur Überprüfung des Sanierungsziels werden nach dem Einbau und der Einregulierung der Lüftung unter Nutzungsbedingungen durchgeführt.

6.3 Gesundheits- und Umweltschutz

Die Sanierung des asbesthaltigen Holzzements muss durch eine Suva-anerkannte Fachfirma unter Einhaltung der Vorgaben aus der EKAS-Richtlinie Nr. 6503 entfernt und entsorgt werden.

Bezüglich der Sanierung von Hg-belasteter Bausubstanz bestehen in der Schweiz keine spezifischen Richtlinien. Während der Sanierung sind die Arbeitsplatzgrenzwerte (MAK-Werte) der Suva bezüglich Quecksilbers einzuhalten. Nach dem Stand der Technik orientiert man sich bei Sanierungen von schwermetallbelasteter Bausubstanz ebenfalls an der EKAS-Richtlinie Nr. 6503. Die Arbeiten sind durch instruierte Handwerker in abgegrenzten Zonen mit künstlicher Lüftung durchzuführen. Zur Verhinderung einer Verschleppung von belasteten Stäuben werden mindestens 1-Kammer-Schleusen empfohlen. Bei stark staubenden Arbeiten ist zudem eine Quellenabsaugung vorzunehmen.

Die persönliche Schutzausrüstung (PSA) muss aus mindestens einer P3-Halbmaske mit geeignetem Filter (Aktivkohle, resp. Gasfilter) sowie einem Schutzanzug bestehen. Zudem sind Handschuhe zu verwenden, die die Aufnahme von Quecksilber durch die Haut verhindern. Vor Durchführung der Sanierungsarbeiten ist ein detailliertes Arbeitssicherheitskonzept zu erstellen.

7 ENTSORGUNG DER BELASTETEN BAUSUBSTANZ

Bezüglich der Entsorgung gelten die Vorgaben der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA). Die Entsorgungswege sind abhängig von der Belastung der jeweiligen Bauteile. Beim vorliegenden Objekt sind für die meisten Bauteile voraussichtlich die Hg-Kontaminationen massgeblich für die Festlegung der Entsorgungswege (Ausnahme asbesthaltige Materialien). Tabelle 6 stellt die Hg-Grenzwerte für verschiedene Materialarten resp. Deponietypen dar.

Tabelle 6: Grenzwerte für Quecksilber gemäss VVEA

Materialart / Deponietyp	Grenzwert Hg [mg/kg TS]	Bemerkungen
Unverschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial	0.5	gem. VVEA, Anhang 3 Ziffer 1
Deponie Typ B	2	gem. VVEA, Anhang 5 Ziffer 2.3
Deponie Typ E	5	gem. VVEA, Anhang 5 Ziffer 5.2

Gemäss obenstehender Tabelle können somit Ausbruchmaterialien mit einer Quecksilberbelastung von maximal 5 mg/kg auf einer Deponie Typ E entsorgt werden. Bei Überschreitung dieses Grenzwerts ist eine vorgängige Behandlung der Abfälle nötig.

Im Rahmen einer Recherche wurde eine mögliche Annahmestelle für mineralische Bauabfälle mit einem Quecksilbergehalt von bis zu 500 mg/kg ausfindig gemacht. Es handelt sich um eine thermische Behandlungsanlage. Bei der thermischen Behandlung wird Quecksilber vom mineralischen Abbruch abgetrennt. Anschliessend kann das mineralische Material wiederverwertet werden. Aufgrund dessen, dass der Preis für die thermische Behandlung etwa dreimal höher ist, als die Entsorgung auf einer Deponie Typ E wird eine Separation des stark belasteten Materials durch bauliche Massnahmen empfohlen.

8 AUSSAGEN ZUR WIRTSCHAFTLICHEN MACHBARKEIT

Auf der Basis der bisher durchgeführten Untersuchungen wird in diesem Kapitel eine grobe Schätzung der Mehrkosten durch die nutzungsbedingten Belastungen dieses Gebäudes gemacht.

Die massgeblichen Faktoren für die Mehrkosten sind die Entsorgungskosten für die quecksilberbelastete Bausubstanz sowie der Mehraufwand für die Separierung und Triage dieser Materialien. Es werden ausdrücklich nur die belastungsbedingten Mehrkosten ausgewiesen. Die Kosten, die für den Rückbau von unbelasteten Materialien anfallen (inkl. Abbrucharbeiten, Gerüste etc.) sind somit nicht eingerechnet.¹ Auch ein möglicher anschliessender Neuausbau des Gebäudes (z.B. Konstruktion von neuen Zwischenböden) ist nicht eingerechnet.

Da gewisse Bauteile (z.B. die Holzement-Beläge) sowohl Quecksilber als auch Asbest enthalten, ist eine klare Abgrenzung der durch die Quecksilbernutzung entstandenen Mehrkosten nicht möglich. Die Kosten für die Sanierung der Asbest- und allenfalls PCB-haltigen Materialien gemäss dem vorliegenden Gebäudescreening² sind deshalb ebenfalls eingerechnet.

Die Kostenschätzung basiert auf vorhandenen Richtpreisen für Entsorgungs- und Sanierungsleistungen. Die durchgeführten Untersuchungen der Bausubstanz fokussierten sich auf die Fabrikationshallen. Es kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass im restlichen Gebäude noch kostenrelevante Belastungen vorhanden sind. Zudem sind in der Schweiz keine vergleichbaren Sanierungen von quecksilberbelasteter Gebäudesubstanz bekannt. Aus diesen Gründen ist die Unsicherheit der Kostenschätzung als sehr gross einzustufen (mindestens $\pm 30\%$). Zur Erstellung einer genaueren Kostenschätzung müsste eine detailliertere Untersuchung der Belastungssituation durchgeführt werden. Zusätzlich müssten die geplanten Sanierungs- oder Rückbaumassnahmen vorgängig definiert werden, um die Kosten der technischen Massnahmen besser abschätzen zu können.

In den folgenden Tabelle 7 und 8 sind die Annahmen, die zur Berechnung der Mehrkosten verwendet wurden, aufgeführt. Die Entsorgungskosten für die verschiedenen Abfallkategorien wurden aufgrund einer telefonischen Nachfrage bei Schadstoffsanierern und Entsorgungsunternehmen bestimmt. Es handelt sich dabei um Richtpreise, die in Abhängigkeit des Unternehmens resp. der zu entsorgenden Menge stark schwanken können.

¹ Die Kosten für einen Rückbau eines Gebäudes ohne Belastungen werden üblicherweise mit 20.- bis 50.- pro m³ umbautem Raum abgeschätzt. Beim vorliegenden Gebäude würden die Rückbaukosten ohne Belastungen deshalb etwa CHF 150'000.- bis CHF 300'000.- betragen. Diese Kosten sind in der vorliegenden Schätzung der Mehrkosten nicht enthalten. Zur Bestimmung der genauen Rückbaukosten der unbelasteten Bausubstanz müssten Offerten von Rückbauunternehmern eingeholt werden.

² Schadstoffgutachten – Gebäudeuntersuchung für Beurteilung Denkmalschutzfähigkeit (Screening), Luxram Fabrikationsgebäude, Güterstrasse 3, 6410 Arth. Ecosens AG, Bericht vom 26. März 2019.

Tabelle 7: Grobe Ausmasse des Gebäudes zur Berechnung der Mengen

Typ	Ausmass	Bemerkungen
Grundfläche gesamt	325 m ²	-
Geschosshöhe EG – 1. DG	4.5 m	mittlere Geschosshöhe
Bodenfläche Fabrikationssäle	300 m ²	
Wandfläche pro Etage	1'800 m ²	
Fläche Wandputz pro Etage	1'100 m ²	Abzüglich Fenster und Türen, Annahme 60 % der Wandfläche

Tabelle 8: Belastungsbedingte Mehrkosten für verschieden Abfallkategorien

Abfallkategorie	LVA Code	Mehrkosten pro t ¹	Genereller Entsorgungsweg
Stark verschmutztes Ausbruchmaterial (E-Material)	17 05 91 akb	90	Zementwerk / Deponie Typ E
Ausbruchmaterial, das durch gefährliche Stoffe verunreinigt ist	17 05 05 S	440	Zementwerk / Thermische Behandlung
Bauabfälle mit freien oder sich freisetzenden Asbestfasern	17 06 05 S	490	Deponie Typ E
Holz mit Schadstoffen	17 02 98 S	250 ²	KVA, Zementwerk

In der folgenden Tabelle 9 werden die Mehrkosten durch nutzungsbedingte Belastungen und Gebäudeschadstoffe bei einem Rückbau (Abbruch) des Gebäudes aufgeführt. Bei der Berechnung wird angenommen, dass das Backsteinmauerwerk (ohne Verputz) sowie das Betontreppenhaus als wenig verschmutztes Ausbruchmaterial (B-Material) entsorgt werden können. Für diese Bauteile wurden deshalb keine Mehrkosten eingerechnet.

Bei einer Weiternutzung des Gebäudes fallen die Kosten der Tabelle 9 (mit Ausnahme der Entsorgung des Dachstuhls) ebenfalls an. Zusätzlich sind in diesem Fall weitere Massnahmen nötig (z.B. Behandlung von Oberflächen, Pilotsanierung). Die Tabelle 10 stellt die entsprechenden Zusatzkosten bei einer Weiternutzung des Gebäudes dar.

¹ Im Vergleich zu wenig verschmutztem Ausbruchmaterial (B-Material, Verwertung oder Entsorgung auf Deponie Typ B), Annahme Entsorgungspreis von CHF 60.- pro Tonne.

² Im Vergleich zu Altholz ohne gefährliche Stoffe.

Table 9: Mehrkosten durch nutzungsbedingte Belastungen und Gebäudeschadstoffe bei **Rückbau** (Abbruch) des Gebäudes (Kosten für den Rückbau der unbelasteten Gebäudeteile nicht eingerechnet)

Mehrkosten für Entsorgung belasteter Bausubstanz				
Kategorie	Bauteile und Herkunft	Menge	Kosten [CHF]	Bemerkung
Stark verschmutztes Ausbruchmaterial	Fliesen und Kleber (EG), Betonunterlagsböden (2. OG, 1. DG)	ca. 115 t	10'000.-	-
Ausbruchmaterial, das durch gefährliche Stoffe verunreinigt ist	Betonrippendecken (1. / 2. OG), Gipsdecke (1.DG), Wandputze (EG-1.DG)	ca. 500 t	220'000.-	Annahme: Mittlere Mächtigkeit der Betonrippendecke = 0.2 m, Dichte 2.5 t/m ³
Bauabfälle mit freien oder sich freisetzenden Asbestfasern	Holzzement (2. OG, 1. DG), weitere Kleinvorkommen im Gebäude	ca. 20 t	10'000.-	-
Holz mit Schadstoffen	Bodenaufbauten (ZG, 1.OG – 2. DG), Dachstuhl (2. DG)	ca. 125 t	30'000.-	-
Zwischentotal, exkl. MWSt.			270'000.-	-
Mehrkosten für Separation belasteter Bausubstanz, Triagen und fachliche Begleitung				
Beschreibung der Position			Kosten [CHF]	Bemerkungen
Erstellung Sanierungszonen mit Schleusen und Unterdruckhaltung (EG – 1. DG)			40'000.-	Annahme: Eine grosse Sanierungszone pro Etage
Separation und Triage von Material (z.B. separate Entfernung Verputz, Holzzement) sowie zusätzliche Analysen zur definitiven Bestimmung der Entsorgungswege, Feinreinigung			120'000.-	Inkl. fachgerechte Zwischenlagerung der Materialien zur Verhinderung von Umweltbelastungen
Reserveposition zur Sanierung von bisher nicht identifizierten asbest- und PCB-haltigen Materialien (Schadstoffverdachte gemäss Gebäudescreening)			30'000.-	-
Fachliche Begleitung der Sanierungsarbeiten (Honoraraufwand Fachbauleitung)			50'000.-	Annahme: ca. 20 % der Mehrkosten für Entsorgung
Zwischentotal Separation, Triage und fachliche Begleitung exkl. MWSt			240'000.-	-
Total der Mehrkosten, exkl. MWSt			510'000.-	(Unsicherheit mindestens ± 30 %)

Tabelle 10: Zusatzkosten bei einer **Weiternutzung** des Gebäudes

Zusatzkosten bei einer Weiternutzung des Gebäudes		
Beschreibung der Position	Kosten [CHF]	Bemerkungen
Statische Massnahmen zur Abstützung der Aussenwände bei Entfernung der Zwischenböden, Erstellung von Gerüsten innerhalb des Gebäudes	50'000 – 200'000.-	Notwendigkeit und Kosten aktuell kaum abschätzbar
Abfräsen der obersten Schicht oder Abdichtung des Beton-Treppenhauses (z.B. mittels Fliesen) falls oberflächlich starke Hg-Belastung	0 – 20'000.-	Notwendigkeit müsste durch Materialproben bestimmt werden
Behandlung der Dachbalken im 2. DG (Abschleifen oder Abdichten)	10'000 – 20'000.-	Falls zukünftige Nutzung dieses Raums geplant
Zusatzaufwand für die Pilotsanierung (Erstellung abgeschlossener Raum, fachtechnische Begleitung)	20'000 – 30'000.-	-
Behandlung der Backsteinwände (Inhibierung oder Abdichtung mit Folie)	50'000 – 150'000.-	Notwendigkeit resp. Ausmass der Behandlung könnte bei Pilotsanierung bestimmt werden
Durchführung von Raumluftmessungen zur Kontrolle des Sanierungsziels	10'000 – 20'000.-	Annahme jeweils 10 Messungen in zwei verschiedenen Jahreszeiten
Total der Zusatzkosten bei Weiternutzung, exkl. MWSt	140'000 – 440'000.-	-
Mehrkosten durch belastungsbedingte Belastungen (Kosten gemäss Tabelle 9)	510'000.-	Kosten fallen bei einer Weiternutzung ebenfalls an
Gesamtkosten bei Weiternutzung (Zusatzkosten Weiternutzung + Mehrkosten durch nutzungsbedingte Belastungen)	650'000 – 950'000.-	(Unsicherheit mindestens ± 30 %)

9 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Gebäudesubstanz durch den jahrelangen Einsatz von Quecksilber stark kontaminiert ist. Entsprechend wurde eine Belastung der Raumlufte gefunden, die die geltenden Richtwerte für die Innenraumlufte um Grössenordnungen überschreitet.

Um die Belastung der Raumlufte auf ein Niveau zu senken, das langfristig eine gesundheitlich unbedenkliche Nutzung des Gebäudes als Büros oder Wohnungen ermöglicht, sind umfangreiche Sanierungsarbeiten nötig. Als Sanierungszielwert wird der RW I von 35 ng/m³ festgelegt. Bei dessen Erreichung geht von der Hg-Belastung der Raumlufte kein nennenswerter Beitrag zur Hg-Gesamtbelastung der Gebäudenutzer aus.

Die Mehrkosten durch nutzungsbedingte Belastungen und Gebäudeschadstoffe bei einem Rückbau des Gebäudes betragen schätzungsweise CHF 510'000.- exkl. MWSt. Massgebliche Kostenfaktoren sind dabei die Entsorgung der stark kontaminierten Betonrippendecke und des Wandputzes sowie die Zusatzaufwände für die Separierung des belasteten Materials der restlichen Bausubstanz. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass die Unsicherheit dieser Kostenschätzung aufgrund der unvollständigen Untersuchung des Gebäudes sowie dem Fehlen von vergleichbaren Sanierungsprojekten als hoch eingestuft wird.

Aufgrund der Wechselwirkung mit der Raumluftebelastung ist eine Sanierung der kontaminierten Bausubstanz auch bei einer Weiternutzung des Gebäudes nötig. Diese belastungsbedingten Mehrkosten fallen also auch in diesem Fall an. Bei einer Weiternutzung des Gebäudes ist mit Zusatzkosten von CHF 140'000 bis 440'000.- exkl. MWSt. zu rechnen. Die belastungsbedingten Gesamtkosten bei einer Weiternutzung betrage somit schätzungsweise CHF 650'000 bis 950'000.- Die grosse Spannweite dieser Kostenschätzung erklärt sich dadurch, dass die Notwendigkeit von statischen Massnahmen (z.B. Abstützung Aussenwände) sowie der Behandlung der Backsteinwände zum aktuellen Zeitpunkt nicht genau bestimmt werden kann.

Aufgrund der hohen Flüchtigkeit von Quecksilber und der damit verbundenen Möglichkeit zur Diffusion durch Baumaterialien kann der Effekt von Sanierungsarbeiten im Vorhinein nicht genau abgeschätzt werden. Die dokumentierten Sanierungen in Deutschland zeigen, dass eine Senkung der Luftbelastung auf ein unbedenkliches Niveau sehr anspruchsvoll ist. Trotz umfangreicher baulicher Massnahmen wurde in beiden Fällen das für das Fabrikgebäude vorgeschlagene Sanierungsziel nicht erreicht.

Es besteht deshalb trotz der in Tabelle 9 und 10 aufgeführten Sanierungsmassnahmen ein erhebliches Risiko, dass das Sanierungsziel von 35 ng/m³ nicht erreicht wird. Eine Garantie bezüglich des Sanierungserfolgs kann deshalb vom Gutachter nicht abgegeben werden.

Wallisellen, den 12. Oktober 2021

Ecosens AG



Michael Rüffer



Dr. Pascal Diefenbacher

ANHANG

Anhang A: Laborberichte

Anhang B: Fotodokumentation

Anhang A

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Schlieren, 12. August 2021
EA

Ecosens AG
Grindelstrasse 5
Postfach
8304 Wallisellen

Untersuchungsbericht

Objekt: BRA.5217

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Auftrags-Nr. Bachema	202108601
Proben-Nr. Bachema	36202-36223
Tag der Probenahme	05. August 2021
Eingang Bachema	06. August 2021
Probenahmeort	
Entnommen durch	Ecosens AG
Auftraggeber	Ecosens AG, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen
Rechnungsadresse	Ecosens AG, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen
Rechnung zur Visierung	Ecosens AG, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen
Bericht an	Ecosens AG, P. Diefenbacher, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen
Bericht per e-mail an	Ecosens AG, P. Diefenbacher, pdiefenbacher@ecosens.ch

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG



Simone Peter
Dr. sc. nat. / MSc Biologie

Objekt: BRA.5217
Auftraggeber: Ecosens AG
Auftrags-Nr. Bachema: 202108601

Probenübersicht

Bachema-Nr.	Probenbezeichnung	Probenahme / Eingang Labor
36202	F 5217/BS1, Verputz	05.08.21 / 06.08.21
36203	F 5217/BS2, Verputz	05.08.21 / 06.08.21
36204	F 5217/BS3, Verputz	05.08.21 / 06.08.21
36205	F 5217/BS4, Backsteine	05.08.21 / 06.08.21
36206	F 5217/BS5, Backsteine	05.08.21 / 06.08.21
36207	F 5217/BS6, Backsteine / Beton	05.08.21 / 06.08.21
36208	F 5217/BS7, Holzzement	05.08.21 / 06.08.21
36209	F 5217/BS8, Holz	05.08.21 / 06.08.21
36210	F 5217/BS9, Beton	05.08.21 / 06.08.21
36211	F KB9 Beton	05.08.21 / 06.08.21
36212	F KB9 Holzzement	05.08.21 / 06.08.21
36213	F KB10 Beton	05.08.21 / 06.08.21
36214	F KB10 Holzzement	05.08.21 / 06.08.21
36215	F KB11 Beton	05.08.21 / 06.08.21
36216	F KB11 Holzzement	05.08.21 / 06.08.21
36217	F KB12 Beton	05.08.21 / 06.08.21
36218	F KB12 Holzzement	05.08.21 / 06.08.21
36219	F Mischprobe 5217/BS11 (aus KB9 bis KB 12 Beton) Bachema-Nr. 36211 + 36213 + 36215 + 36217	05.08.21 / 06.08.21
36220	F Mischprobe 5217/BS10 (aus KB9 bis KB 12 Holzzement) Bachema-Nr. 36212 + 36214 + 36216 + 36218	05.08.21 / 06.08.21
36221	F 5217/BS12, Spanplatten	05.08.21 / 06.08.21
36222	F 5217/BS13, Holz	05.08.21 / 06.08.21
36223	F 5217/BS14, Holz	05.08.21 / 06.08.21

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Abkürzungen

W	Wasserprobe
F	Feststoffprobe
TS	Trockensubstanz
<	Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode.
{1}	Die Analysenmethode liegt zurzeit nicht im akkreditierten Bereich der Bachema AG.
{2}	Externe Analyse von Unterauftragnehmer / Fremdlabor.
{3}	Feldmessung von Kunde erhoben.

Akkreditierung

	<p>Die Resultate der Untersuchungen beziehen sich auf die im Prüfbericht aufgeführten Proben und auf den Zustand der Proben bei der Entgegennahme durch die Bachema AG. Der vollständige Prüfbericht steht dem Kunden zur freien Verfügung. Die Verwendung von Auszügen (einzelne Seiten) oder Ausschnitten (Teile einzelner Seiten) des Prüfberichts sowie Hinweise auf den Prüfbericht (z.B. zu Werbezwecken oder bei Präsentationen) sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet. Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch)</p>
--	--

Objekt: BRA.5217
Auftraggeber: Ecosens AG
Auftrags-Nr. Bachema: 202108601

Probenbezeichnung	5217/BS1, Verputz	5217/BS2, Verputz	5217/BS3, Verputz	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema	36202	36203	36204		
Tag der Probenahme	05.08.21	05.08.21	05.08.21		

Probenparameter					
Angelieferte Probemenge	kg	0.3	0.2	0.6	
Trockensubstanz (105°C)	%	99.3	99.5	98.4	

Elemente und Schwermetalle					
Quecksilber (direkt) AAS	mg/kg TS Hg	38	24	29	

Flüchtige organische Verbindungen					
Dichlormethan (Methylenchlorid) (TS)	µg/kg TS	<5	<5	<5	
Trichlormethan (Chloroform) (TS)	µg/kg TS	<5	<5	<5	
1,1,1-Trichlorethan (TS)	µg/kg TS	<5	<5	<5	
Tetrachlorkohlenstoff (TS)	µg/kg TS	<5	<5	<5	
Trichlorethen (Tri) (TS)	µg/kg TS	<5	<5	<5	
Tetrachlorethen (Per) (TS)	µg/kg TS	<5	<5	<5	
cis-1,2-Dichlorethen (TS)	µg/kg TS	<5	<5	<5	
Summe CLM (TS)	µg/kg TS	<20	<20	<20	
Vinylchlorid (TS)	µg/kg TS	<5	<5	<5	

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren
Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Probenbezeichnung	5217/BS4, Backsteine	5217/BS5, Backsteine	5217/BS6, Backsteine / Beton	5217/BS9, Beton	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema	36205	36206	36207	36210		
Tag der Probenahme	05.08.21	05.08.21	05.08.21	05.08.21		

Probenparameter					
Angelieferte Probemenge	kg	0.6	0.3	0.2	1.6
Trockensubstanz (105°C)	%				98.8

Elemente und Schwermetalle					
Quecksilber (direkt) AAS	mg/kg TS Hg	1.3	3.5	1.7	3.9

Flüchtige organische Verbindungen					
Dichlormethan (Methylenchlorid) (TS)	µg/kg TS				<5
Trichlormethan (Chloroform) (TS)	µg/kg TS				<5
1,1,1-Trichlorethan (TS)	µg/kg TS				<5
Tetrachlorkohlenstoff (TS)	µg/kg TS				<5
Trichlorethen (Tri) (TS)	µg/kg TS				<5
Tetrachlorethen (Per) (TS)	µg/kg TS				<5
cis-1,2-Dichlorethen (TS)	µg/kg TS				<5
Summe CLM (TS)	µg/kg TS				<20
Vinylchlorid (TS)	µg/kg TS				<5

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064



Objekt: BRA.5217
Auftraggeber: Ecosens AG
Auftrags-Nr. Bachema: 202108601

Probenbezeichnung	5217/BS7, Holzzement	5217/BS13, Holz	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	36208 05.08.21	36222 05.08.21		

Probenparameter

Angelieferte Probemenge	kg	0.7	0.2		
Trockensubstanz (105°C)	%	88.4	90.2		

Elemente und Schwermetalle

Quecksilber (gesamt) AFS	mg/kg TS Hg	5.3	8.3		
--------------------------	-------------	-----	-----	--	--

Flüchtige organische Verbindungen

Dichlormethan (Methylenchlorid) (TS)	µg/kg TS	<50	<50		
Trichlormethan (Chloroform) (TS)	µg/kg TS	<50	<50		
1,1,1-Trichlorethan (TS)	µg/kg TS	<50	<50		
Tetrachlorkohlenstoff (TS)	µg/kg TS	<50	<50		
Trichlorethen (Tri) (TS)	µg/kg TS	<50	<50		
Tetrachlorethen (Per) (TS)	µg/kg TS	<50	<50		
cis-1,2-Dichlorethen (TS)	µg/kg TS	<50	<50		
Summe CLM (TS)	µg/kg TS	<200	<200		
Vinylchlorid (TS)	µg/kg TS	<50	<50		

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00

Telefax
+41 44 738 39 90

info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Probenbezeichnung	5217/BS8, Holz	5217/BS12, Span- platten	5217/BS14, Holz	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	36209 05.08.21	36221 05.08.21	36223 05.08.21		

Probenparameter

Angelieferte Probemenge	kg	0.4	0.2	<0.1	
-------------------------	----	-----	-----	------	--

Elemente und Schwermetalle

Quecksilber (gesamt) AFS	mg/kg TS Hg	3.9	0.45	4.1	
--------------------------	-------------	-----	------	-----	--

Probenbezeichnung	KB9 Beton	KB10 Beton	KB11 Beton	KB12 Beton	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	36211 05.08.21	36213 05.08.21	36215 05.08.21	36217 05.08.21		

Probenparameter

Angelieferte Probemenge	kg	0.8	1.0	1.4	1.4	
-------------------------	----	-----	-----	-----	-----	--

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt: BRA.5217
Auftraggeber: Ecosens AG
Auftrags-Nr. Bachema: 202108601

Probenbezeichnung	Mischprobe 5217/BS11 (aus KB9 bis KB 12 Beton)					Referenzwert	
		Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	36219 05.08.21				

Elemente und Schwermetalle

Quecksilber (direkt) AAS	mg/kg TS Hg	0.10				
--------------------------	-------------	------	--	--	--	--

Probenbezeichnung	KB9 Holzzement	KB10 Holzzement	KB11 Holzzement	KB12 Holzzement	Referenzwert	
					Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	36212 05.08.21

Probenparameter

Angelieferte Probemenge	kg	0.2	0.2	0.2	0.2	
-------------------------	----	-----	-----	-----	-----	--

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Probenbezeichnung	Mischprobe 5217/BS10 (aus KB9 bis KB 12 Holz- zement)					Referenzwert	
		Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	36220 05.08.21				

Probenparameter

Trockensubstanz (105°C)	%	93.4				
-------------------------	---	------	--	--	--	--

Elemente und Schwermetalle

Quecksilber (gesamt) AFS	mg/kg TS Hg	0.23				
--------------------------	-------------	------	--	--	--	--

Flüchtige organische Verbindungen

Verbindung	Einheit	Wert					Referenzwert	
Dichlormethan (Methylenchlorid) (TS)	µg/kg TS	<5						
Trichlormethan (Chloroform) (TS)	µg/kg TS	<5						
1,1,1-Trichlorethan (TS)	µg/kg TS	75						
Tetrachlorkohlenstoff (TS)	µg/kg TS	22						
Trichlorethen (Tri) (TS)	µg/kg TS	34						
Tetrachlorethen (Per) (TS)	µg/kg TS	1'200						
cis-1,2-Dichlorethen (TS)	µg/kg TS	<5						
Summe CLM (TS)	µg/kg TS	1'300						
Vinylchlorid (TS)	µg/kg TS	<5						

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064



Bachema AG
Analytische Laboratorien

Schlieren, 21. September 2021
AH

Ecosens AG
Grindelstrasse 5
Postfach
8304 Wallisellen

Untersuchungsbericht

Objekt: BRA.5217

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Auftrags-Nr. Bachema	202110063
Proben-Nr. Bachema	42980-42985
Tag der Probenahme	16. September 2021
Eingang Bachema	
Probenahmeort	P. Diefenbacher, Ecosens AG
Entnommen durch	
Auftraggeber	Ecosens AG, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen
Rechnungsadresse	Ecosens AG, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen
Rechnung zur Visierung	Ecosens AG, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen
Bericht an	Ecosens AG, P. Diefenbacher, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen
Bericht per e-mail an	Ecosens AG, P. Diefenbacher, pdiefenbacher@ecosens.ch

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG



Felix Bühler
Dr. sc. nat. / Dipl. chem. ETH

Objekt: BRA.5217
Auftraggeber: Ecosens AG
Auftrags-Nr. Bachema: 202110063

Probenübersicht

Bachema-Nr.	Probenbezeichnung	Probenahme / Eingang Labor
42980 F	1.OG	/ 16.09.21
42981 F	1.OG (2)	/ 16.09.21
42982 F	Mischprobe 1 aus 1.OG + 1.OG (2) Bachema-Nr. 42980 + 42981	/ 16.09.21
42983 F	2.OG	/ 16.09.21
42984 F	2.OG (2)	/ 16.09.21
42985 F	Mischprobe 2 aus 2.OG + 2.OG (2) Bachema-Nr. 42983 + 42984	/ 16.09.21

Legende zu den Referenzwerten

VVEA Typ A (U)	Grenzwert für unverschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial gemäss der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA), Artikel 19, Absatz 1 (Wiederverwertung oder auf Deponie Typ A zugelassen). *Chrom-VI im Beton für Betonrecycling gemäss "Faktenblatt BAU 6: Beurteilung von schadstoffbelasteten mineralischen Bauabfällen (Beton, Asphalt)", KVU Ost.
VVEA Typ B	Grenzwert für auf Deponien des Typs B zugelassene Abfälle gemäss der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA).

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00

Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Abkürzungen

W	Wasserprobe
F	Feststoffprobe
TS	Trockensubstanz
<	Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode.
{1}	Die Analysenmethode liegt zurzeit nicht im akkreditierten Bereich der Bachema AG.
{2}	Externe Analyse von Unterauftragnehmer / Fremdlabor.
{3}	Feldmessung von Kunde erhoben.

Akkreditierung

	<p>Die Resultate der Untersuchungen beziehen sich auf die im Prüfbericht aufgeführten Proben und auf den Zustand der Proben bei der Entgegennahme durch die Bachema AG. Der vollständige Prüfbericht steht dem Kunden zur freien Verfügung. Die Verwendung von Auszügen (einzelne Seiten) oder Ausschnitten (Teile einzelner Seiten) des Prüfberichts sowie Hinweise auf den Prüfbericht (z.B. zu Werbezwecken oder bei Präsentationen) sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet. Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch)</p>
--	--

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt: BRA.5217
Auftraggeber: Ecosens AG
Auftrags-Nr. Bachema: 202110063

Probenbezeichnung	1.OG	1.OG (2)	Mischprobe 1 aus 1.OG + 1.OG (2)	Referenzwert	
				VVEA Typ A (U)	VVEA Typ B
Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	42980	42981	42982		

Probenparameter

Angelieferte Probemenge	kg	<0.1	<0.1				
-------------------------	----	------	------	--	--	--	--

Elemente und Schwermetalle

Quecksilber (direkt) AAS	mg/kg TS Hg			420		0.5	2
--------------------------	-------------	--	--	-----	--	-----	---

Probenbezeichnung	2.OG	2.OG (2)	Mischprobe 2 aus 2.OG + 2.OG (2)	Referenzwert	
				VVEA Typ A (U)	VVEA Typ B
Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	42983	42984	42985		

Probenparameter

Angelieferte Probemenge	kg	<0.1	<0.1				
-------------------------	----	------	------	--	--	--	--

Elemente und Schwermetalle

Quecksilber (direkt) AAS	mg/kg TS Hg			52		0.5	2
--------------------------	-------------	--	--	----	--	-----	---

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Ecosens AG
Herrn Dr. Pascal Diefenbacher
Grindelstr. 5
8304 Wallisellen
Schweiz

Vorab:

pdiefenbacher@ecosens.ch

Oberursel, den 11.08.2021
se/WM

Untersuchungsbericht

ARGUK-ID: 6107/2021
Projekt: BRA.5217

Sehr geehrter Herr Dr. Diefenbacher,

vielen Dank für Ihren Auftrag. Anbei erhalten Sie die Ergebnisse zur Untersuchung Ihrer Proben mit unserem Prüfbericht 2021-6107-1 und -2 sowie unsere Rechnung.

Für die Bewertung von Analysen sollten die verfahrensbezogenen Hinweise herangezogen werden, die Sie unserem Leistungsverzeichnis entnehmen können.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Wigbert Maraun
Dipl.-Chem.

Sofern mit dem Auftraggeber nicht anders vereinbart, werden bei der Analyse nicht verwendete Anteile von Proben für drei Monate nach Ausgang des Untersuchungsberichtes zurückgestellt. Nach Ablauf der Rückstellfrist werden Probenreste entweder von uns ordnungsgemäß entsorgt oder bei als Sonderabfall zu behandelnden Proben an den Auftraggeber auf dessen Kosten zurückgesandt. Es gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der ARGUK-Umweltlabor GmbH, einzusehen unter unserer Website www.arguk.de.

PRÜFBERICHT 2021-6107-1

Seite 1 von 1

Auftraggeber	Probenahme*	Laboreingang	Prüfgut	Prüfauftrag
Ecosens AG Grindelstr. 5 CH-8304 Wallisellen	durch Auftraggeber	09.08.2021	Raumluft auf graphitisierter Aktivkohle-Sammler	Gesamt-Quecksilber,

Projekt*	Probe/Raum*
BRA.5217	s. Prüfergebnis

*Angaben des Probennehmers / Auftraggebers, [AN]: Artikel-Nr. lt. Leistungsverzeichnis

Prüfverfahren	
ARGUK 10108:	Untersuchung von Raumluft auf Gesamt-Quecksilber Probenahme auf graphitisierter Aktivkohle. Standardsammelvolumen 25-60 L, Durchfluss 0,2-0,4 L/min. Thermische Desorption. Aufkonzentration. Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Kalibration und Gehaltsbestimmung über externe Standards.
ARGUK 10208:	Untersuchung von Raumluft auf elementares Quecksilber Probenahme nach VDI 2267 Bl. 9 auf Gold- oder Silberoberfläche. Standardsammelvolumen 25-30 L, Durchfluss 0,2-0,4 L/min. Thermische Desorption. Aufkonzentration. Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Kalibration und Gehaltsbestimmung über externe Standards.
ARGUK 10308:	Untersuchung von Raumluft auf Quecksilber-II-chlorid (Sublimat) Probenahme auf Harzgranulat. Standardsammelvolumen 25-30 L, Durchfluss 0,2-0,4 L/min. Thermische Desorption. Aufkonzentration. Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Kalibration und Gehaltsbestimmung über externe Standards.
ARGUK 10408:	Untersuchung von Raumluft auf Gesamt-Quecksilber [Passive Probenahme] Nach Probenahme auf graphitisierter Aktivkohle. Standardexpositionsdauer 1-14 Tage. Thermische Desorption. Aufkonzentration. Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Kalibration und Gehaltsbestimmung über externe Standards.
ARGUK 10508:	Untersuchung von Raumluft auf elementares Quecksilber [Passive Probenahme] Nach Probenahme auf Edelmetallsammler. Standardexpositionsdauer 1-14 Tage. Thermische Desorption. Aufkonzentration. Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Kalibration und Gehaltsbestimmung über externe Standards.

Prüfergebnis								
	Probenart Probe Labor-Nr.	Raumluft 5217/RL1	Raumluft 5217/RL2	Raumluft 5217/RL3	Raumluft 5217/RL4	Richtwert RW I	Richtwert RW II	BG
	Expositionszeit [Sammelvolumen [L]]	610721-1	610721-2	610721-3	610721-4			[ng/m ³]
	CAS-Nr.							
	Quecksilber(II)chlorid, Sublimat	7487-94-7						5
	Quecksilber, elementar	7439-97-6	1300	1300	8800	4000		2
	Quecksilber auf Aktivkohle		420	580	1500	680		5
	Quecksilber, gesamt					35	350	5

Konzentrationen in ng/m³; nn: nicht nachweisbar, weniger als Bestimmungsgrenze BG; kein Messwerteintrag: lt. Auftrag nicht analysiert

 RW II: **Richtwert II:** RW-II-Wert ist deshalb im Falle von Quecksilber (Hg) nicht als Eingriffswert im sonst verstandenen Sinne zu betrachten, sondern seine Überschreitung weist darauf hin, dass relevante Quellen für eine Hg-Belastung in den betroffenen Räumen vorhanden sind, die unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit entfernt werden sollen.

 RW I: **Richtwert I** (Vorsorgewert): Bei Raumluftkonzentrationen unterhalb des Richtwertes I liefert die Raumluft keinen nennenswerten Beitrag zur Gesamtbelastung im Organismus.

Quelle: Richtwerte für die Innenraumluft – Quecksilber; Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2-99

 Oberursel, 11.08.2021
 ARGUK-Umweltlabor GmbH

 Dr. Wigbert Maraun
 Dipl.-Chem.

Ende des Prüfberichts.

PRÜFBERICHT 2021-6107-2

Seite 1 von 1

Auftraggeber	Probenahme	Laboreingang	Prüfgut	Prüfauftrag
Ecosens AG Grindelstr. 5 CH-8304 Wallisellen	durch Auftraggeber	09.08.2021	Hausstaub	Quecksilber

Projekt*	Probe/Raum*	Staubalter*	Staubfraktion
BRA.5217	s. Prüfergebnis		

*Angaben des Probenehmers / Auftraggebers, [AN]: Artikel-Nr. lt. Leistungsverzeichnis

Prüfverfahren
ARGUK 10208: Untersuchung von Hausstaub auf Gesamt-Quecksilber Thermische Desorption. Aufkonzentration. Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Kalibration und Gehaltsbestimmung über externe Standards

Prüfergebnis						
Probenart Probe Labor-Nr. Einwaage [g]	Hausstaub 5217/S1 610721-5 0,0048	Hausstaub 5217/S2 610721-6 0,0047	Hausstaub 5217/S3 610721-7 0,101	Hausstaub 5217/S4 610721-8 0,0049	Orientierungswerte* AGÖF- Auffälligkeitswert (90. Perzentil)	BG
Schwermetalle						
Quecksilber	38	80	32	110	1	0,05

Konzentrationen in mg/kg

nn: nicht nachweisbar, weniger als Bestimmungsgrenze (BG)

AGÖF-Orientierungswerte für Frischstaub („7-Tage-Staub“)

Oberursel, 11.08.2021

ARGUK-Umweltlabor GmbH

Dr. Wigbert Maraun
Dipl.-Chem.

Ende des Prüfberichts.

Ecosens AG
Herrn Dr. Pascal Diefenbacher
Grindelstr. 5
8304 Wallisellen
Schweiz

Vorab:

pdiefenbacher@ecosens.ch

Oberursel, den 22.09.2021
ag/SP

Untersuchungsbericht

ARGUK-ID: 6361/2021
Projekt: BRA.5217

Sehr geehrter Herr Dr. Diefenbacher,

vielen Dank für Ihren Auftrag. Anbei erhalten Sie die Ergebnisse zur Untersuchung Ihrer Probe mit unserem Prüfbericht 2021-6361-1 sowie unsere Rechnung.

Für die Bewertung von Analysen sollten die verfahrensbezogenen Hinweise herangezogen werden, die Sie unserem Leistungsverzeichnis entnehmen können.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Sonja Pfeil
Staatl. gepr. LM-Chem.

Sofern mit dem Auftraggeber nicht anders vereinbart, werden bei der Analyse nicht verwendete Anteile von Proben für drei Monate nach Ausgang des Untersuchungsberichtes zurückgestellt. Nach Ablauf der Rückstellfrist werden Probenreste entweder von uns ordnungsgemäß entsorgt oder bei als Sonderabfall zu behandelnden Proben an den Auftraggeber auf dessen Kosten zurückgesandt. Es gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der ARGUK-Umweltlabor GmbH, einzusehen unter unserer Website www.arguk.de.

PRÜFBERICHT 2021-6361-1

Seite 1 von 1

Auftraggeber	Probenahme*	Laboreingang	Prüfgut	Prüfauftrag
Ecosens AG Grindelstr. 5 CH-8304 Wallisellen	durch Auftraggeber am 04.08.2021	17.09.2021	Raumluft auf graphitisierter Aktivkohle-Sammler	Gesamt-Quecksilber, metallisches

Projekt*	Probe/Raum*		
BRA.5217	s. Prüfergebnis		

*Angaben des Probennehmers / Auftraggebers, [AN]: Artikel-Nr. lt. Leistungsverzeichnis

Prüfverfahren	
ARGUK 10108:	Untersuchung von Raumluft auf Gesamt-Quecksilber
Probenahme auf graphitisierter Aktivkohle. Standardsammelvolumen 25-60 L, Durchfluss 0,2-0,4 L/min. Thermische Desorption. Aufkonzentration. Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Kalibration und Gehaltsbestimmung über externe Standards.	
ARGUK 10208:	Untersuchung von Raumluft auf elementares Quecksilber
Probenahme nach VDI 2267 Bl. 9 auf Gold- oder Silberoberfläche. Standardsammelvolumen 25-30 L, Durchfluss 0,2-0,4 L/min. Thermische Desorption. Aufkonzentration. Analyse mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS). Kalibration und Gehaltsbestimmung über externe Standards.	

Prüfergebnis									
	Probenart Probe Labor-Nr.	Raumluft 5217/RL5 636121-1					Richtwert RW I	Richtwert RW II	BG
	Expositionszeit [Sammelvolumen [L]]	33,34							[ng/m ³]
CAS-Nr.									
Quecksilber(II)chlorid, Sublimat	7487-94-7								5
Quecksilber, elementar	7439-97-6	1200							2
Quecksilber auf Aktivkohle		9,1							5
Quecksilber, gesamt		1200				35	350		5

Konzentrationen in ng/m³; nn: nicht nachweisbar, weniger als Bestimmungsgrenze BG; kein Messwerteintrag: lt. Auftrag nicht analysiert

 RW II: **Richtwert II:** RW-II-Wert ist deshalb im Falle von Quecksilber (Hg) nicht als Eingriffswert im sonst verstandenen Sinne zu betrachten, sondern seine Überschreitung weist darauf hin, dass relevante Quellen für eine Hg-Belastung in den betroffenen Räumen vorhanden sind, die unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit entfernt werden sollen.

 RW I: **Richtwert I** (Vorsorgewert): Bei Raumluftkonzentrationen unterhalb des Richtwertes I liefert die Raumluft keinen nennenswerten Beitrag zur Gesamtbelastung im Organismus.

Quelle: Richtwerte für die Innenraumluft – Quecksilber; Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2-99

Oberursel, 22.09.2021

ARGUK-Umweltlabor GmbH

 Dr. Sonja Pfeil
 Staatl. gepr. LM-Chem.

Ende des Prüfberichts.

Anhang B

Fotodokumentation Ergänzende Untersuchungen



Abb. 1: Aussenansicht Nordfassade



Abb. 2: Aussenansicht Südfassade



Abb. 3: Raumluftmessung 1. DG, rechts (5217/RL1)



Abb. 4: Raumluftmessung, 1. DG, links (5217/RL2)



Abb. 5: Raumluftmessung 2.OG (5217/RL3)



Abb. 6: Raumluftmessung 1. OG (5217/RL4)



Abb. 7: Raumluftmessung EG (5217/RL5)



Abb. 8: Ansicht Betondecke (2.OG)



Abb. 9: Ansicht Dachstock



Abb. 10: Durchführung Kernbohrungen



Abb. 11: Bohrkern Wandaufbau 2. OG [Verputz anschl. Backsteine] alle Stockwerke weitgehend identisch



Abb. 12: Bohrloch Wandaufbau 1. OG



Abb. 13: Bohrkern Bodenaufbau 1. DG
[Holzzement, Holzdielen, Beton]



Abb. 14: Bohrloch Bodenaufbau 1. DG



Abb. 15: Bohrloch Bodenaufbau 1. DG,
Bereich ohne Holzzement
Sicht auf Hohlraum oberhalb Betondecke



Abb. 16: Bohrkern Bodenaufbau 2.OG
[Holzzement, Überzugsbeton]



Abb. 17: Bohrloch Bodenaufbau 2. OG



Abb. 18: Bohrkern Bodenaufbau 1. OG
[Spanplatte, Holzparkett, Holzdielen]



Abb. 13: Bohrloch Bodenaufbau 1. OG
Sicht in Zwischenboden



Abb. 14: Sicht auf Abfall aus
Glühbirnenproduktion im Zwischenboden



Abb. 15: Aussenansicht Erker



Abb. 16: Innenraum Erker mit Bauschutt



Abb. 17: Blick auf Förderband in Erker zur
Förderung Produktionsabfälle



Abb. 18: Beprobung Betonrippendecke