Chromate am Arbeitsplatz

Exposition durch Staubentwicklung bei der Handhabung gebrauchter Isolationsmaterialien
Messungen und Analysen bei Handhabung kontaminierter Wärmedämmungen – Chromate am Arbeitsplatz

von Lloyd Hopes, Markus Sommer und Florian Sommer

5. Februar 2025

Version 1.1 · November 2026

Zusammenfassung

Diese Feldbeobachtung **erweitert die Erkenntnisse** der **Feldstudie** und der **Feldbeobachtung FB01** um **spezifische Untersuchungen zur Chrom(VI)-Exposition** durch Staubentwicklung **bei** der **gewöhnlichen Handhabung gebrauchter Isolationsmaterialien**. Die durchgeführten Messungen simulieren **realistische Arbeitsbedingungen**, wie sie **typischerweise bei Wartungs- und Demontagearbeiten an Motoren und Turbinen** auftreten.

Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Chrom(VI)-Belastung der Umgebungsluft durch die bloße Manipulation kontaminierter Isolationselemente.

Mit einer gemessenen Konzentration von etwa 1,0 µg/m³ wird die Toleranzkonzentration gemäß TRGS 910 (1,0 µg/m³) erreicht bzw. überschritten.

Diese Befunde unterstreichen die Notwendigkeit umfassender Schutzmaßnahmen selbst bei scheinbar unkritischen Tätigkeiten wie der Zwischenlagerung (Abb.2) oder Sortierung gebrauchter Isolationsmaterialien am Arbeitsplatz. Dämmelemente, wie sie in Abb.3 gezeigt werden, sind gewöhnlich für eine weitere Verwendung vorgesehen, auch weil die Kontaminierung nicht oder nur unzureichend bekannt ist und erst durch ein Schnelltestverfahren angezeigt wird.

Im Rahmen dieser Untersuchungen gelang es auch, den Faserflug mit kontaminierten Stäuben ein wenig sichtbar zu machen (Abb.1)



Abb.1 Faserflug



Abb.2 Lagerung

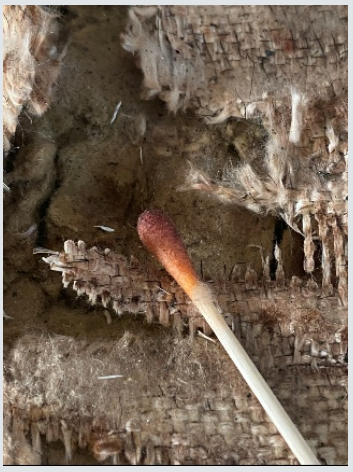


Abb. 3 Weiterverwendung

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Die vorangegangenen Studien (Feldstudie und Feldbeobachtung FB01) haben die grundlegende Problematik der Chromatbildung durch die Verwendung (erd-)alkalimetallhaltiger Hochtemperaturdämmungen auf chromhaltigen Heißteilen dokumentiert. Ein bisher wenig beachteter Aspekt ist die potenzielle Gefährdung durch die Handhabung bereits kontaminierter Isolationsmaterialien nach ihrer Demontage.

1.2 Zielsetzung

Diese Feldbeobachtung untersucht gezielt die Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen bei typischen Manipulationen gebrauchter Isolationselemente, wie sie im Rahmen von Wartungs- und Servicearbeiten routinemäßig durchgeführt werden. Von besonderem Interesse ist die Quantifizierung der Hintergrundbelastung durch aufgewirbelte Faserstäube, die potenziell mit Chromaten kontaminiert sind.

Ziel dieser Folgeuntersuchung ist es, basierend auf der Feldstudie und Feldbeobachtung FB01 auf versteckte und unerwartete Gefährdungen durch sechswertige Chromverbindungen bei Hautkontakt, aber auch auf **die Exposition von krebserregenden und chronisch umweltschädlichen Substanzen bei Arbeiten mit Isolationsteilen hinzuweisen** und zeigt einmal mehr, dass sowohl das mit diesen Arbeiten betraute Personal, als auch mit anderen Arbeiten betraute Personen, die sich zum Teil zufällig in der beschriebenen Arbeitsumgebung befinden, gefährlichen Gesundheitsrisiken ausgesetzt sind.

Im Normalfall würde man die nach der Deinstallation motorennah gestapelten Bauteile ohne spezielle Arbeitsschutzkleidung behandeln und nach der Demontage vorsortieren und somit staubfördernd im Arbeitsbereich ablegen und dabei auch als potentielles Gesundheitsrisiko bzw. auch als potentielles Umweltrisiko platzieren. Diese Handhabe wird seit Jahrzehnten praktiziert, ohne dass man sich bislang der doppelten Gefährdung für Mensch und Umwelt bewusst war.

Auch natürlicher Durchzug oder künstliche Belüftung kann dann dazu führen, dass einatembare Chrom(VI)-Verbindungen freigesetzt und inhaliert werden.

Es sei ebenfalls darauf hingewiesen, dass die Servicetechniker, die solche Arbeiten durchführen, keine Isolierer sind und die Verarbeitung der Isolationselemente ehr als notwendige Nebetätigkeit durchführen.

Servicetechniker für Motoren von Blockheizkraftwerken oder Notstromaggregaten, wie man sie auch in öffentlichen Gebäuden wie Krankenhäusern u.a. Einrichtungen findet, sind eher Mechaniker, Elektriker, aber keineswegs mit der Isoliertechnik betrautes Personal.

Auf Basis dieser Erkenntnisse soll nun **ein Maßnahmenpaket entwickelt werden**, das **Mensch und Umwelt gemäß bestehenden Vorschriften der Arbeitssicherheit schützt** und eine **verlässliche und belastbare Handlungsempfehlung schafft, die Gefährdung durch KMR-Stoffe korrekt einzuschätzen**.

1.3 Reaktionsmechanismus und chemische Grundlagen Chrom(VI)-Verbindungen

[keine Änderung gegenüber Feldstudie (1.2)]

Die Verwendung von (erd-)alkalimetallhaltigen Wärmedämmungen im Hochtemperaturbereich (bis 650°C) kann zur Bildung von Chrom(VI)-Verbindungen führen. Der Prozess läuft dabei in mehreren Stufen ab:

- Bereits bei normaler Luftfeuchtigkeit reagieren die in den Isolationsmaterialien enthaltenen Calciumoxide mit Wasser zu Calciumhydroxid: $CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$
- Das entstehende Calciumhydroxid bildet als starke Base eine alkalische Lösung, die die Passivschicht des Edelstahls chemisch angreift.

  Dies führt zu:
- Lokalen Beschädigungen der Schutzschicht
- Entstehung von Spannungsrissen
- Lochfraßkorrosion, wenn auch in geringem Umfang
  Diese Beeinträchtigungen der Legierung setzen unter anderem Chrom(III)-oxid (Cr_2O_3) aus der Passivschicht frei.
- Unter den vorherrschenden Bedingungen (erhöhte Temperatur, Sauerstoffzufuhr) wird dann das freigesetzte Chrom(III) zu Chrom(VI) oxidiert.

Die beschriebenen Prozesse werden durch verschiedene Faktoren wie Abrieb, Alterung oder Verschleiß der Isolationsmaterialien noch verstärkt, da hierdurch kontinuierlich neue reaktive Oberflächen entstehen.

Die Gesamtreaktion zur Bildung von Calciumchromat lässt sich wie folgt zusammenfassen:

$2\ Cr_2O_3 + 4\ CaO + 3\ O_2 = 4\ CaCrO_4$

1.3.1 Problemstellung

Die Problematik der Chrom(VI)-Entstehung durch insbesondere calciumhaltige Isolationsmaterialien wurde lange Zeit von der Industrie unterschätzt oder bewusst heruntergespielt.

Die Isolationsbranche verwendet seit Jahrzehnten Materialien, die ursprünglich als Asbestersatzstoffe entwickelt wurden, ohne dass deren Potential zur Bildung von Chromaten , insbesondere Calciumchromat, anfänglich erkannt wurde.

In den 1970er und 1980er Jahren stand die Chromatbildung durch das Vorhandensein (erd-) alkalimetallhaltiger Verbindungen bei Hochtemperatur-Kontakt mit chromhaltigen Heißteilen nicht im Fokus der Unternehmen und Entwickler.

Gelbliche Ablagerungen, die bei der Deinstallation von Isolierungen auftraten, wurden fälschlicherweise als harmlose Schwefelbildungen eingestuft.

[...] – siehe Feldstudie

Die sich aus der Feldstudie ergebende Arbeitsumfang der Servicearbeiten würde zwangsläufig dazu führen dazu, dass ein Teil der beschriebenen Dämmelemente gelagert werden muss, da die Elemente normalerweise für eine Wiederverwendung vorgesehen sind.

Dieser Arbeitsumfang wurde simuliert, indem mehrere Dämmelemente, die aus unterschiedlichen Anwendungen und aufgrund baulicher Veränderungen vor Ort nicht mehr verwendet werden konnten oder grundsätzlich ausgetauscht werden sollten, separat gelagert wurden.

Es ist durchaus üblich, dass auf Baustellen oder in stationären Motorenhäusern gebrauchte Isolationselemente, sofern sie noch einigermaßen intakt sind, gelagert werden, um sie für provisorische Aufbauten als temporäre Wärmedämmung weiterzuverwenden.

Auch bei diesen Arbeiten ist es eher der Servicetechniker für Motoreninstandhaltung und nicht der Isolierer, wobei es erlaubt sei anzumerken, dass sich selbst ausgelernte Isolierer mit langjähriger Berufserfahrung nicht der Gefahren bewusst sind, die von alkali- und/oder erdalkalimetallhaltigen Dämmstoffen ausgehen können, wenn sie über eine längere Zeit Kontakt mit chromhaltigen Heißteilen hatten.

Die folgenden Abbildungen zeigen mehr als deutlich, wie unbesorgt mit Isolationsmaterial umgegangen wird, weil kaum jemand die potentielle Gefahr durch entstandene Chrom(VI)-Verbindungen kennt:



Abb.4 Cr6-Gefährdung



Abb.5 Cr6-Gefährdung



Abb.6 Cr6-Gefährdung

Abb.4: moderne Prüfstandsanlage der TU Berlin
Abb.5: Isolationsreste aus abmontierten Kesseln
Abb.6: alte Motorenisolierung (kontaminiert) in einem Gewächshaus für Zimmerpflanzen

1.4 Gesundheits- und Umweltrisiken [aus Feldstudie]

1.4.1 Gesundheitsrisiken und Krankheitsbilder

Chrom(VI)-Verbindungen sind als krebserzeugende Gefahrstoffe klassifiziert.

Bei der körpereigenen Reduktion von Chrom(VI) zu Chrom(III) entstehen **reaktive Zwischenprodukte, die DNA-Doppelstrangbrüche verursachen können, was das hohe karzinogene Potential dieser Verbindungen erklärt.**

Zu den spezifischen Krebserkrankungen gehören:

- **Bronchialkarzinom (Lungenkrebs)**
- **Nasennebenhöhlenkrebs**
- **Kehlkopfkrebs (Larynxkarzinom)**
- Bei hoher Exposition auch:

  Magenkrebs durch verschlucktes chromhaltiges Nasensekret

Neben den karzinogenen Wirkungen können **folgende akute und chronische Erkrankungen** auftreten:

- **Atemwegserkrankungen:**
- **Chronische Bronchitis**
- **Nasenschleimhautentzündungen**

- **Nasenseptumperforation ("Chromloch")**
- **Asthma bronchiale**
- **Hauterkrankungen:**
- **"Chrom-Ekzeme" (toxisches oder allergisches Kontaktekzem)**
- **Chromgeschwüre ("Chrome ulcers")**
- **Sensibilisierung mit lebenslanger Chromallergie**
- **Systemische Wirkungen:**
- **Nierenschäden**
- **Leberschäden**
- **Schädigungen des blutbildenden Systems**

Bereits geringe Konzentrationen in der Luft gelten als gesundheitsschädlich und können diese Erkrankungen auslösen. Das Risiko steigt mit der Expositionsdauer und -intensität.

1.4.2 Hautresorption und dermale Risiken

Chrom(VI)-Verbindungen sind als hautresorptiv eingestuft. Sie können die Hautbarriere durchdringen und über die Haut in den Körper aufgenommen werden. **Daher muss jeglicher Hautkontakt mit Chrom(VI)-Verbindungen strikt vermieden werden**. Dies erfordert entsprechende persönliche Schutzausrüstung, insbesondere geeignete Schutzhandschuhe und Schutzkleidung.

1.4.3 Umweltgefährdung

Chrom(VI)-Verbindungen sind als gewässergefährdend mit langfristigen schädlichen Folgen für aquatische Ökosysteme eingestuft. Sie können **über das Grundwasser in die Nahrungskette** gelangen und **akkumulieren sich in Organismen**. Die **hohe Mobilität von Chromaten** im Boden führt zu einer weiträumigen Verteilung, wodurch **Flora und Fauna nachhaltig geschädigt** werden können. **Besonders problematisch ist die lange Persistenz in der Umwelt, die zu einer dauerhaften Belastung von Ökosystemen führen kann.**

1.5 Regulatorischer Rahmen [aus Feldstudie]

1.5.1 Deutschland (TRGS 910)

Beurteilungsmaßstab: 1 µg/m³ (Toleranzkonzentration nach TRGS 910, herangezogen von der TRGS 561) | Akzeptanzkonzentration: für Chrom(VI)-Verbindungen nicht festgelegt
Unterhalb des Beurteilungsmaßstabs:

- Pflicht zur Umsetzung eines detaillierten Maßnahmenkonzepts
- Regelmäßige Expositionsmessungen
- Dokumentation aller Schutzmaßnahmen
- Gesundheitsüberwachung der Beschäftigten
- Schulungen und Unterweisungen
- Erstellung einer speziellen Betriebsanweisung
- Minimierungsgebot nach Stand der Technik
- Pflicht zur regelmäßigen Überprüfung von Substitutionsmöglichkeiten

TRGS 561
Die deutsche TRGS 561 „Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen" gilt seit dem 4. Mai 2026 in neuer Fassung. Abschnitt 3.3.4 beschreibt die Entstehung von Chrom(VI)-Verbindungen an chromlegierten Heißteilen, Abschnitt 5.9.3 nennt Alkali-/Erdalkalimetalloxide aus Dämmstoffen oder Montagepasten als Einflussfaktor.

Nach Abschnitt 5.9.3 Absatz 5 sind Schutzmaßnahmen nach den Abschnitten 4.1 und 4.2 sowie ergänzende Maßnahmen zu treffen, **wenn eine Chrom(VI)-Belastung vorliegt oder nicht auszuschließen ist**; dazu gehören persönliche Schutzausrüstung, staubarmes Arbeiten und die Substitutionsprüfung. Eine vorherige Messung ist dafür nicht Voraussetzung. Abschnitt 3.3.4 verlangt zudem besondere Schutzmaßnahmen bei Hautkontakt mit Chrom(VI)-Verbindungen.

1.5.2 Niederlande (Arbobesluit)

Grenzwert (SZW-Liste krebserzeugender Stoffe): 0,001 mg/m³ als Cr
Unterhalb des Grenzwerts:

- Verpflichtung zur weiteren Expositionsminimierung
- Anwendung des ALARA-Prinzips (As Low As Reasonably Achievable)
- Implementierung eines Actieplan Kankerverwekkende Stoffen (AKS)
- Regelmäßige arbeidshygiënische Messungen
- Registrierung exponierter Mitarbeiter
- Medizinische Überwachung

1.5.3 Großbritannien (COSHH)

Arbeitsplatzgrenzwert (EH40): 0,01 mg/m³ als 8-Stunden-Mittelwert, 0,025 mg/m³ für prozessbedingt erzeugtes Chrom(VI)Empfehlungen ab 1 µg/m³:

- Prinzipielles ALARP-Prinzip (As Low As Reasonably Practicable) bei KMR-Stoffe

1.5.4 Frankreich (VLEP)

Grenzwert: 1 µg/m³

Unterhalb des Grenzwertes:

- Principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable)
- Obligation de moyens (Verpflichtung zur Bereitstellung von Mitteln)
- Documentation des expositions professionnelles
- Surveillance médicale renforcée (SMR)
- Plan de prévention spécifique
- Formation et information des travailleurs
- Évaluation régulière des risques

2. Methodik



Abb.7 Filterpumpe SG 10-2



Abb.8 Cr6 Testkit TK01



Abb.9 Filtermembrane nach Test

2.1 Versuchsaufbau und Rahmenbedingungen

Die Untersuchungen wurden unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt, die typische Baustellensituationen simulieren. Gebrauchte Isolationselemente verschiedener Kontaminationsgrade wurden dabei wie bei üblichen Wartungsarbeiten gehandhabt.

2.1.1 Arbeitssituation:

Raumtemperatur: 22°C ± 2°C
Relative Luftfeuchtigkeit: 45% ± 5%
Effektive Arbeitszeit: 1 Stunde
Personal: 1 Servicetechniker, 1 Messtechniker

2.1.2 Untersuchte Materialien

:

Verschiedene gebrauchte Isolationselemente aus vorherigen Wartungsprojekten
Unterschiedliche Kontaminationsgrade (durch vorherige Schnell- und Wischtests verifiziert) (Abb.8)
Materialvarianten: textile Isolierungen in Form von Isoliermatratzen und Fasermatten

2.2 Messmethodik

2.2.1 Messtechnische Erfassung

Probenahmegerät: SG 10-2 (GSA) (Abb. 7)
Volumenstrom: 10 l/min (maximal)
Messzeit: 60 Minuten
Geschätzte Pumpeneffizienz: 95-98%
Theoretisches Gesamtvolumen: 600 Liter
Effektives Probenvolumen (bei 95% Effizienz): 570 Liter

2.2.2 Positionierung der Messtechnik

Pumpkopf oberhalb des Materiallagers platziert
Höhe: ca. 1,5 m über Bodenniveau
Position: zentral über dem

Manipulationsbereich
Abstand zu aktiven Handhabungszonen: ca. 0,5 m

2.3 Arbeitsablauf

Die Simulation umfasste typische Handhabungsszenarien:

Sortierung der demontierten Elemente | Stapelung nach Materialtyp und Größe
Normale manuelle Bewegungen und Umlagerungen | Keine gezielten staubfördernden Aktivitäten

Diese Aktivitäten entsprechen dem üblichen Umgang mit demontierten Isolierungsteilen auf Baustellen und repräsentieren damit realistische Expositionsszenarien.

2.4 Messgeräte und Analyseverfahren

2.4.1 Probenahmegerät SG 10-2 (GSA)

Das Probenahmegerät SG 10-2 wurde speziell für die Gefahrstoffmessung entwickelt und ist für die personengetragene sowie stationäre Probenahme von Gefahrstoffen bis 12 l/min nach EN 481 ausgelegt.

Technische Spezifikationen:
Volumenstrombereich: 1-12 l/min
Voreingestellter Volumenstrom für Cr(VI): 10 l/min
IFA-lizensierte Probenahmeköpfe
Messung des einatembaren Staubs (E-Staub, Gesamtstaub)

Qualitätssicherung:

Regelmäßige Wartung nach DGUV Information 213-505
Validierte Kalibrierung nach EN ISO/IEC 17025
Dokumentierte Funktionsprüfung vor jedem Einsatz
Kontinuierliche Volumenstrommessung während der Probenahme

2.4.2 Schnelltestverfahren SEEF ST01

Das SEEF ST01 Schnelltestverfahren dient der qualitativen Vor-Ort-Detektion von Chrom(VI)-Verbindungen.
Funktionsprinzip:
Kolorimetrische Detektion mit 1,5-Diphenylcarbazid (DPC)
Farbreaktion: violett bis rosa bei Cr(VI)-Präsenz
Farbintensität proportional zur Cr(VI)-Konzentration
Visuelle oder kolorimetrische Auswertung möglich

Leistungsmerkmale:
"Richtig-positive" Trefferquote: >99% | "Falsch-negativ"-Quote: <50%
Nachweisgrenze: etwa 0,1 µg Cr(VI) | Unmittelbare Ergebnisse vor Ort
Spezielle Entwicklung für chromatbelastete Wärmedämmungen

2.4.3 Mobiles Chrom(VI)-Labor SEEF TK01

Das TK01 ermöglicht eine erweiterte Vor-Ort-Analyse von Cr(VI)-Verbindungen mit laborähnlicher Präzision.
Analyseprinzip:
Patentiertes Verfahren zur Cr (VI)-Bestimmung
Minimierung von Interferenzen durch Zink und Aluminium
Verhinderung der Cr (VI)-Reduktion während der Analyse
Kolorimetrische Auswertung nach definierter Reaktionszeit

Technische Details:
Analysezeit: 45 Minuten
Simultane Analyse von bis zu 6 Proben
Temperaturgesteuerte Probenaufbereitung
Messbereich: 0,1-100 µg Cr(VI)
Reproduzierbarkeit: ±5%

2.4.4 Laboranalytische Methoden

Die finale Quantifizierung erfolgt durch akkreditierte Laboranalytik.
Probenaufbereitung:

- Filterextraktion nach standardisiertem Verfahren
  Aufbereitung in 10 ml Analysenlösung
  pH-Wert-Kontrolle und Matrixanpassung
  Berücksichtigung von Blindwerten

Analysemethode:

UV/VIS-Spektrophotometrie bei 540 nm
Kalibrierung mit zertifizierten Standards
Qualitätssicherung durch Ringversuche
Messunsicherheit: ±10%

3. Ergebnisse

3.1 Messergebnisse

3.1.1 Filterbelegung und Luftkonzentration

- Gemessene Chrom(VI)-Menge im Filter: 0,6 µg
- Effektives Probenvolumen (bei 95% Pumpeneffizienz): 0,57 m³
- **Berechnete Luftkonzentration: 1,05 µg/m³**

Die Berechnung erfolgt nach der Formel:

c [µg/m³] = m [µg] / V [m³]
c = 0,6 µg / 0,57 m³
c = 1,05 µg/m³

3.1.2 Bewertung im Kontext der Grenzwerte

- **Toleranzkonzentration (TRGS 910): 1,0 µg/m³**
- **Akzeptanzkonzentration (TRGS 910): für Chrom(VI)-Verbindungen nicht festgelegt**
- **Gemessene Konzentration: 1,05 µg/m³ (Mindestwert, Standardverfahren)**

Die ermittelte Konzentration liegt damit:

- **über der Toleranzkonzentration (!) und**
- **als Mindestwert anzusehen; der tatsächliche Wert kann nach den Angaben von SEEF B.V. zu Standardverfahren an calciumhaltigen Dämmstoffen deutlich höher liegen**

Die Luftprobe wurde von der GSA Schadstoffanalyse mbH nach einem Standardverfahren ausgewertet. Eine Wiederfindung dieses Verfahrens an calciumhaltigem Dämmstoffstaub ist nicht bestimmt. Für Standardverfahren an calciumhaltigen Dämmstoffen gibt SEEF B.V. Unterbefunde von 20 bis 30 Prozent in milden Fällen bis über 90 Prozent an; das von SEEF B.V. für diese Matrix entwickelte Verfahren erreicht nach denselben Angaben Wiederfindungen von über 80 Prozent. Die gemessenen Luftkonzentrationen sind deshalb als Mindestwerte zu verstehen. Die Staubproben der Gesamtstaubanalyse wurden im Labor von SEEF B.V. analysiert. (Quelle: SEEF B.V., Kennisbank, seefbv.com, Abruf November 2026)

3.2 Einflussfaktoren auf die Messergebnisse

3.2.1 Arbeitsplatzspezifische Faktoren

- Begrenzte Luftbewegung im Messbereich
- Keine zusätzliche Zwangsbelüftung
- Normale Handhabungsintensität ohne besondere staubfördernde Aktivitäten

3.2.2 Potenzielle Expositionserhöhung durch:

- Durchzug bei geöffneten Türen/Fenstern
- Intensivere Materialbewegungen/Längere Handhabungsdauer
- Parallellaufende Aktivitäten mehrerer Mitarbeiter

3.4 Bewertung der Verschleppungsrisiken

3.4.1 Direkte Arbeitsumgebung

Die unmittelbare Arbeitsumgebung stellt den Hauptexpositionsbereich dar, in dem durch mechanische Bearbeitung und Manipulation der Isolationselemente die höchsten Chrom(VI)-Konzentrationen in Form von Hintergrundexpositionen auftreten.

Die Freisetzung erfolgt dabei **sowohl durch direkte Arbeitsprozesse** als **auch durch sekundäre Aufwirbelungen**, wobei **insbesondere die Handhabung der Bauteile kritische Momente darstellen**.

Die Kontamination von Werkzeugen, Arbeitsgeräten und persönlicher Schutzausrüstung führt dabei zu einer stetigen Erweiterung des belasteten Bereichs.

Primäre Staubfreisetzung:

- Handhabung der Isolationskassetten
- Reinigungsarbeiten an kontaminierten Oberflächen

Sekundäre Staubaufwirbelung:

- Bewegungen des Wartungspersonals
- Luftströmungen durch Be- und Entlüftung
- Vibrationen durch laufende Aggregate
- Erschütterungen bei Werkzeuggebrauch

Kontaminationsausbreitung durch Arbeitsmittel:

- Werkzeuge und Messinstrumente
- Reinigungsgeräte und -materialien
- Mobile Arbeitshilfen (Leitern, Podeste)
- Persönliche Schutzausrüstung

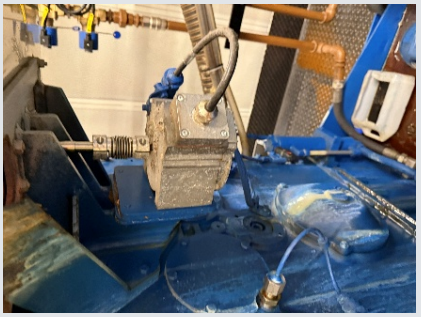


Abb.10 Faserstaub Umgebung



Abb.11 Faserstaub Umgebung



Abb.12 Faserstaub Umgebung

3.4.2 Erweiterter Arbeitsbereich

Die Ausbreitung der Chrom(VI)-Belastung über den unmittelbaren Arbeitsbereich hinaus erfolgt durch verschiedene Verschleppungsmechanismen, wobei **insbesondere personengebundene Übertragungen und technische Ausbreitungswege (Abb. 10-12) eine zentrale Rolle spielen**.

Unzureichende Abgrenzungen zwischen kontaminierten und sauberen Bereichen sowie mangelhafte Dekontaminationsprozesse führen dabei zu einer stetigen Ausweitung der belasteten Zonen.

Die Gefährdung erstreckt sich somit auch auf Personen, die nicht direkt an den Wartungsarbeiten beteiligt sind.

Personengebundene Verschleppung:

- **Kontaminierte Arbeitskleidung**
- **Schuhwerk mit anhaftendem Staub**
- **Bewegungsmuster des Personals zwischen verschiedenen Arbeitsbereichen**
- **Unzureichende Dekontamination beim Verlassen des Arbeitsbereichs**

Technische Übertragungswege:

- Lüftungssysteme und Luftströmungen
- Transportwege von Werkzeugen und Material
- Kabel- und Leitungsführungen
- Wartungszugänge und Durchführungen

Organisatorische Faktoren:

- Fehlende Abgrenzung von Schwarz-Weiß-Bereichen
- Unzureichende Reinigungskonzepte
- Mangelnde Zugangsbeschränkungen
- Nicht gekennzeichnete Kontaminationszonen

3.4.3 Umweltbelastung

Die Umweltauswirkungen der Chrom(VI)-Kontamination zeigen sich sowohl in der unmittelbaren Umgebung durch Staubablagerungen und Oberflächenverunreinigungen als auch in langfristigen Beeinträchtigungen von Boden und Grundwasser. Die hohe Persistenz von Chrom(VI)-Verbindungen in Kombination mit ihrer Mobilität führt zu einer weiträumigen Verteilung und Akkumulation in verschiedenen Umweltkompartimenten. Ein besonderes Problem stellt dabei die **fachgerechte Entsorgung kontaminierter Materialien** dar, die **spezielle Konzepte und Maßnahmen erfordert.**

Unmittelbare Umgebungskontamination:

- **Ablagerung von Stäuben auf Außenflächen**
- Eintrag in Regenwasserableitungen
- **Kontamination von Bodenflächen**
- **Ausbreitung über Gebäudeöffnungen**

Langfristige Umweltauswirkungen:

- **Akkumulation in Bodenschichten**
- **Migration ins Grundwasser**
- **Aufnahme in die Nahrungskette**
- **Persistenz der Chrom(VI)-Verbindungen**

Entsorgungsproblematik:

- **Kontaminierte PSA und Reinigungsmaterialien (Abb. 23)**
- **Belastete Isolationsreste aufgrund anderer kontaminierter Isolationsteile (Abb. 27)**

- **Verunreinigte Werkzeuge und Hilfsmittel**
- **Kontaminierte Verpackungsmaterialien**
- **Bodenstaub**



Abb.13 kontaminierte PSA



Abb.14 Isolationsreste



Abb. 15 Werkzeugkontamination

3.4.4 Besondere Risikofaktoren

Die Verschleppung von Chrom(VI)-Verbindungen wird durch eine Vielzahl externer und interner Faktoren beeinflusst, die die **Ausbreitung der Kontamination erheblich verstärken** können. **Witterungseinflüsse, arbeitsorganisatorische Aspekte** und **bauliche Gegebenheiten bilden** dabei **ein komplexes Zusammenspiel**, das die **Kontaminationsausbreitung begünstigt. Die Kombination dieser Faktoren erfordert eine ganzheitliche Betrachtung und spezifische Gegenmaßnahmen für jede Arbeitssituation**.

Witterungseinflüsse:

- Windverwirbelungen durch offene Tore/Fenster
- Thermische Strömungen durch Temperaturunterschiede
- Feuchtigkeitseinwirkung auf Staubpartikel
- Wetterbedingte Änderungen der Luftführung

Arbeitsorganisation:

- Zeitdruck bei Wartungsarbeiten
- Parallel laufende Tätigkeiten
- Schichtübergaben
- Notfallsituationen

Bauliche Gegebenheiten:

- Komplexe Anlagengeometrie
- Schwer zugängliche Bereiche
- Unzureichende Abdichtungen
- Durchdringungen und Öffnungen

3.4.5 Messtechnische Erfassung der Verschleppung

Die **systematische Erfassung und Quantifizierung der Verschleppungsprozesse** erfordert ein **umfassendes Messprogramm**, das **sowohl stationäre als auch personenbezogene Messungen** einschließt. Die **Kombination verschiedener Messstrategien** ermöglicht dabei die **Identifikation kritischer Ausbreitungswege** und die **Bewertung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen**.

Stationäre Messungen:

- Festpunktmessungen in definierten Abständen
- Kontinuierliche Überwachung kritischer Bereiche
- Langzeitmessungen zur Erfassung von Trends
- Gradientenmessungen zur Ausbreitungscharakteristik

Personenbezogene Messungen:

- Expositionsmessungen am Personal
- Kontaminationsmessungen an PSA
- Wischproben von Arbeitskleidung
- Messung der Oberflächenkontamination an Ausschleusungspunkten

3.4.6 Wirtschaftliche Auswirkungen

Die **Verschleppung von Chrom(VI)-Verbindungen** verursacht **erhebliche direkte und indirekte Kosten**, die sich von **unmittelbaren Aufwendungen für Schutzmaßnahmen** bis hin zu **langfristigen Folgekosten** erstrecken.

Eine ganzheitliche ökonomische Betrachtung muss dabei auch potenzielle Haftungsrisiken und Imageschäden berücksichtigen.

Direkte Kosten:

- Erhöhter Reinigungsaufwand (Abb. 16)
- Zusätzliche PSA-Anforderungen
- Spezialentsorgung (Abb. 18)
- Dekontaminationsmaßnahmen (Abb. 17)

Indirekte Kosten:

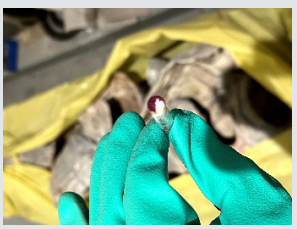
- Arbeitsmedizinische Überwachung
- Dokumentation und Nachweisführung
- Schulungsaufwand
- Qualitätssicherungsmaßnahmen

Langzeitkosten:

- Sanierungsmaßnahmen
- Haftungsrisiken
- Imageschäden
- Versicherungsaspekte


Abb.16 Dekontamination


Abb.17 Dekontamination


Abb.18 Entsorgung

4. Diskussion

4.1 Bewertung der Messergebnisse [aus Feldstudie]

4.1.1.1 Gesamtstaubanalyse (siehe Feldstudie; hier: Belastung durch Deinstallation)

- Die Chrom(VI)-Konzentrationen in der direkten Arbeitsumgebung liegen mit 2,33-6,99 µg/m³ deutlich über allen nationalen und internationalen Grenzwerten
- Selbst bei der konservativsten Annahme (10% E-Staub) wird der Toleranzwert um mehr als das Doppelte überschritten
- Besonders kritisch ist die potenzielle siebenfache Überschreitung bei der 30%-Annahme (einatembare Fraktion) zu bewerten
- Die hohe Gesamtbelastung von 47 ppm im Staub weist auf eine intensive Chromat-Bildung an den Heißteiloberflächen und Innenflächen der Dämmelemente hin
- Staubfreisetzungen und -ablagerungen müssen daher als Chrom(VI)-kontaminiert angesehen werden

4.1.1.2 Hintergrundbelastung (siehe Feldstudie; hier: passive Belastung durch Deinstallation)

- Die gemessenen Hintergrundkonzentrationen (0,526-0,556 µg/m³) sind Mindestwerte; eine Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs von 1 µg/m³ ist nicht auszuschließen
- Auch unbeteiligte Personen sind einer relevanten Exposition ausgesetzt
- Die vertikale Verteilung zeigt eine effektive Ausbreitung der Stäube im gesamten Arbeitsbereich
- Die Gefährdung erstreckt sich auf den gesamten Containerbereich

4.1.1.3 Folgebelastung (aus dieser Feldbeobachtung; hier: inhalative Exposition durch Handhabung/Lagerung)

- Die gemessene Chrom(VI)-Belastung (1,05 µg/m³) überschreitet den Toleranzwert bereits als Mindestwert
- Auch unbeteiligte Personen sind einer relevanten Exposition ausgesetzt
- Die vertikale Verteilung zeigt eine Ausbreitung der Stäube im gesamten Arbeitsbereich
- Die Gefährdung kann sich auf den gesamten Containerbereich erstrecken
- Verschleppungsgefahr

4.1.3 Bewertung der Grenzwertüberschreitungen

- **Systematische Überschreitung aller nationalen Grenzwerte**
- **Besondere Relevanz der EU-weiten Minimierungspflicht**
- **Unmittelbarer Handlungsbedarf für technische Schutzmaßnahmen**
- **Notwendigkeit organisatorischer Sofortmaßnahmen**

4.2 Vergleich mit anderen Studien/Warnmeldungen

(Natur-)wissenschaftliche und technische Studien zur Chromatentstehung liegen vor

Hersteller warnen mittlerweile vor der Bildung von Calciumchromat in Verbindung mit calciumhaltigen Hochtemperaturisolierungen

4.2.1 Ähnliche Expositionsszenarien

- **Vergleichbare Belastungsmuster bei Isolierarbeiten an Hochtemperaturanlagen**
- **Übereinstimmende Beobachtungen zur Staubausbreitung**
- **Ähnliche Verschleppungsproblematik**
- **Bestätigung der Relevanz des Problems**

4.2.2 Ergänzende Erkenntnisse

- Hohe Konzentrationen im vorliegenden Fall
- Starke Ausbreitung im Arbeitsbereich
- Intensive Chromat-Bildung
- Deutliche Grenzwertüberschreitungen

4.2.3 Neue Erkenntnisse

- Detaillierte Erfassung der vertikalen Verteilung
- Quantifizierung der Hintergrundbelastung durch Filterpumpe
- Systematische Erfassung der Verschleppungswege

4.2.4 Historische Entwicklung der Problematik

Die aktuelle Studie bestätigt, dass **die Chromatproblematik auch ihren Ursprung in der historischen Entwicklung der Isolationsmaterialien hat**.

Auf den ersten Blick erschienen die eingesetzten Materialien zur Wärmedämmung geeignet, da bei der Sichtung der Datenblätter nur Faktoren wie Temperaturbeständigkeiten und Wärmeleitfähigkeit geprüft wurden.

Isolationsfaserprodukte reagieren aber natürlich durch „Abfaserungen"; hierbei wird der Basiskern (Glaskern) der Isolationsprodukte freigelegt, was dann zur Freisetzung der (Erd-)alkalimetalloxide führt, die für die Hochoxidation der Chrom(III)-Verbindungen zu sechswertigen Chromverbindungen verantwortlich sind; die Abbildungen 32-34 zeigen ein globales Problem mit calciumhaltigen Dämmstoffen aus unterschiedlichen Bereichen.



Abb.19 Cr6-positiv - Mineralwolle



Abb.20 Cr6-positiv „Microtherm"



Abb.21 Cr6-positiv „Superwool"

5. Handlungsempfehlungen [ergänzend zur Feldstudie]

Der Bereich Handlungsempfehlungen skizziert die vorschriftsmäßigen Maßnahmen, die anzuwenden sind, wenn der Kontakt von sog. „KMR-Stoffen" (krebserregende, mutagene und reprotoxische Substanzen) durch Mitarbeiter nicht ausgeschlossen werden kann und ist hauptsächlich von der EU-Direktive 2004/37/EG in nationale Vorschriften umgesetzt.

Die nachfolgenden Punkte sind aus der deutschen Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) und diversen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) abgeleitet.

Die Aufstellung zeigt deutlich, welchen immensen Einfluß die Präsenz von sechswertigen Chromverbindungen auf bisherige Arbeitsabläufe haben wird.

Wenn die Erkenntnisse aus dieser Feldbeobachtung verstanden werden, steht die komplette energieerzeugende Branche vor einem wahren Paradigmenwechsel.

Es ist zu beachten, dass alle Maßnahmen lediglich der Bekämpfung der bereits stattgefundenen Kontamination Rechnung tragen, um das nachweislich vorhandene Risiko für Mensch und Umwelt zu beherrschen und weiteren Schaden zu verhindern.

Langfristig gesehen ist das sog. „Minimierungsgebot" anzuwenden, also **gefährliche Substanzen durch weniger bzw. bestenfalls gar nicht gefährliche Substanzen zu ersetzen** (Substitution (5.2.1)).

Da Chromate vor der Inbetriebnahme der wärmegedämmten Anlagen nicht vorhanden sind, sondern erst durch und nach Inbetriebnahme, gilt es vorrangig langfristig, die Quelle der Chromatbildung, also die calciumhaltige Isolierung, zu ersetzen. Calciumfreie Isolationssysteme sind bereits erhältlich und haben bessere Eigenschaften als der heutige Stand der Technik.

Ein weiterer Ansatz wäre die Verwendung nicht chromhaltiger Heißteile, eine solche Änderung könnte aber nur im Neubau im Rahmen von Weiterentwicklungen in der Motorentechnik erfolgen.

Für die abertausenden, bereits im Betrieb befindlichen Anlagen scheint aus heutiger Sicht nur eine Entfernung der heutigen Dämmstoffe, eine tiefe Reinigung der Anlage (Dekontamination) und anschließende Aufbringung besagter (erd-)alkalimetalloxidfreier Isolierungen in Frage zu kommen.

Auch wenn diese neuartigen Dämmsysteme etwas teurer in der Erstanschaffung sind und die Dekontamination und Entsorgung der alten Wärmedämmung ebenfalls kurzfristige Mehrkosten erzeugt, dürften diese -wenn auch nicht eingeplanten- Aufwendungen immer noch günstiger sein, als die betroffenen Anlagen nach den u.a. Maßnahmenpunkten permanent weiterzubetreiben.

Insofern wird sich die Geschichte wiederholen, wie man sie bereits aus Zeiten der Asbestsanierung kennt.

Für das komplette Maßnahmenpaket, dessen Planung, Durchführung und Überwachung, empfiehlt sich die Betreuung durch fachkundige Sicherheitsbeauftragte, die auch über die nötigen Kontakte zu externen Unternehmen verfügen, die für die Umsetzung der Maßnahmen erforderlich sind.

5.1 Technische Maßnahmen

- **Geschlossene Behälter für demontierte Isolierungen**
- **Absaugeinrichtungen bei Materialhandhabung**
- **Staubminimierte Arbeitsverfahren**

- Separate Lagerbereiche

5.2 Organisatorische Maßnahmen

- Zutrittsbeschränkungen für Lagerbereiche
- Dokumentation der Materialbewegungen
- Schulung des Personals
- Regelmäßige Expositionsmessungen

5.3 Persönliche Schutzausrüstung

- Atemschutz mindestens FFP3
- Schutzanzüge Kategorie III
- Handschuhe nach EN 374
- Augen- und Gesichtsschutz

6. Schlussfolgerungen [ergänzend zur Feldstudie]

Die vorliegende Feldbeobachtung zeigt deutlich, dass die Gefährdung durch Chrom(VI)-Verbindungen nicht auf aktive Demontagearbeiten beschränkt ist. Bereits die normale Handhabung kontaminierter Isolationsmaterialien führt zu Expositionen im Bereich der Toleranzkonzentration. Dies erfordert eine grundlegende Neubewertung der Arbeitsschutzmaßnahmen bei allen Tätigkeiten mit gebrauchten Isolierungsmaterialien.

Besonders hervorzuheben ist:

- Die Überschreitung der Toleranzkonzentration, selbst bei normaler Handhabung
- Das Risiko für nicht direkt beteiligte Personen
- Die Notwendigkeit geschlossener Systeme
- Der Bedarf an Substitutionslösungen

6.1 Expositionsrisiken

Die ermittelten Messwerte aus einem Mix unterschiedlicher Isolationsmaterialien und -systeme belegen eine systematische und signifikante Überschreitung der geltenden Arbeitsplatzgrenzwerte:

- **Die gemessenen Chrom(VI)-Konzentrationen von 2,33-6,99 µg/m³ im direkten Arbeitsbereich überschreiten viele nationalen Grenzwerte um ein Mehrfaches**
- **Selbst bei der Hintergrundbelastung (0,526-0,556 µg/m³, Mindestwerte) ist eine Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs von 1 µg/m³ nicht auszuschließen**
- **Die Gefährdung betrifft nicht nur direkt exponierte Mitarbeiter, sondern auch Personen im erweiterten Arbeitsumfeld**
- **Die vertikale Verteilung der Belastung zeigt eine effektive Ausbreitung der kontaminierten Stäube im gesamten Arbeitsbereich**

6.2 Systemische Problematik

Die Feldbeobachtung deckt fundamentale Schwachstellen in der bisherigen Praxis auf:

- **Die historische Entwicklung der Isolationsmaterialien hat zu einer inhärenten Problematik geführt**
- **Die Kombination von calciumhaltigen Dämmstoffen mit chromhaltigen Komponenten schafft ideale Bedingungen für die Chromatbildung**
- **Mechanische Belastungen und Alterung verstärken die Entstehung und anschließende Freisetzung von Chromaten**
- **Bestehende Schutzkonzepte sind unzureichend für die identifizierten Gefährdungen**

6.3 Verschleppungsrisiken

Die Untersuchung zeigt multiple Verschleppungswege:

- **Primäre Staubfreisetzung durch direkte Arbeiten an den Isolierungen**
- **Sekundäre Kontamination durch Aufwirbelung und Verteilung**

- **Verschleppung über Werkzeuge, Arbeitsmittel und persönliche Schutzausrüstung**
- **Ausbreitung über Lüftungssysteme und bauliche Öffnungen**

6.4 Wirtschaftliche Implikationen

Die erforderlichen Maßnahmen haben erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen:

- **Unmittelbare Investitionen in Schutzausrüstung und technische Einrichtungen**
- **Erhöhter Personal- und Zeitaufwand bei Wartungsarbeiten**
- **Zusätzliche Kosten für Überwachung und Dokumentation**
- **Langfristige Aufwendungen für Substitution und Prävention**

6.5 Paradigmenwechsel erforderlich

Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit eines grundlegenden Umdenkens:

- **Bisherige Praktiken sind nicht mehr zeitgemäß und rechtlich bedenklich**
- **Technische und organisatorische Sofortmaßnahmen sind unerlässlich**
- **Langfristige Substitution chromatbildender Materialien ist alternativlos**
- **Ganzheitliche Präventionsstrategien müssen entwickelt werden**

7. Empfehlungen

Basierend auf allen Studienergebnissen werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

7.1 Weiterer Forschungsbedarf

- Langzeitmessungen unter verschiedenen Arbeitsbedingungen
- Untersuchung von Verschleppungseffekten
- Entwicklung verbesserter Messstrategien
- Evaluation von Schutzmaßnahmen
- Optimierung der Handhabungsverfahren
- Weiterentwicklung der Messtechnik
- Verbesserung der Schutzkonzepte
- Integration in bestehende Arbeitsabläufe

7.2 Technische Innovation | Strategische Ausrichtung

Fokussierung auf zukunftsfähige Lösungen:

- **Forcierte Entwicklung (erd-)alkalimetallfreier oder -armer Isolationsmaterialien**
- Optimierung der Verarbeitungs- und Montagetechniken
- **Integration von Überwachungssystemen in neue Anlagenkonzepte**
- **Verbesserung der Dekontaminations- und Reinigungstechnologien**

Die Branche sollte einen koordinierten Ansatz verfolgen:

- **Entwicklung einer gemeinsamen Strategie zur Bewältigung der Chromatproblematik**
- **Etablierung von Industriestandards für nicht chromatbildende Isolationslösungen**
- **Aufbau von Kompetenznetzwerken für den Erfahrungsaustausch**
- **Koordinierte Forschungs- und Entwicklungsinitiativen**

7.3 Organisatorische Neuausrichtung

Anpassung der betrieblichen Strukturen:

- **Implementation systematischer Gefährdungsbeurteilungen**
- **Etablierung professioneller Schulungs- und Qualifizierungsprogramme**
- **Aufbau effektiver Dokumentations- und Nachweissysteme**
- **Entwicklung spezifischer Notfall- und Interventionspläne**

7.4 Regulatorische Maßnahmen

Empfehlungen für den regulatorischen Rahmen:

- **Verschärfung der Überwachung und Kontrolle**
- **Standardisierung der Messverfahren und Dokumentation**
- **Harmonisierung internationaler Grenzwerte und Standards**
- **Entwicklung spezifischer Richtlinien für die Branche**

7.5 Präventive Strategien

Langfristige Präventionsansätze:

- **Systematische Substitution chromatbildender Materialien (Isolierung, Dichtungen, Pasten)**
- **Implementierung präventiver Wartungskonzepte**
- **Entwicklung verbesserter Arbeitsschutzstrategien**
- **Etablierung kontinuierlicher Verbesserungsprozesse**

7.6 Forschungsbedarf

Identifizierte Forschungsschwerpunkte:

- **Weiterentwicklung der Messtechnik und Analyseverfahren**
- **Untersuchung von Langzeitauswirkungen und chronischen Effekten**
- **Optimierung von Dekontaminations- und Reinigungsmethoden**
- **Entwicklung innovativer Schutzkonzepte**

7.7 Wirtschaftliche Aspekte

Empfehlungen zur Kostenoptimierung:

- **Entwicklung kosteneffizienter Schutzmaßnahmen**
- **Optimierung der Arbeitsabläufe und Prozesse**
- **Nutzung von Synergieeffekten bei der Implementierung**
- **Berücksichtigung der Lebenszykluskosten bei Investitionen**

Diese Empfehlungen verstehen sich als Leitlinien für die zukünftige Entwicklung der Branche und sollten als Grundlage für die Erarbeitung spezifischer Handlungskonzepte dienen.

8. Literaturverzeichnis (Quellen/Bezug)

Siehe Dokument „Sicherheit für Mensch und Umwelt" vom 06.12.2024

Ergänzend: TRGS 561, Fassung vom 4. Mai 2026; SEEF B.V., Kennisbank zur Cr(VI)-Analytik in thermischer Isolierung, seefbv.com, Abruf November 2026.

9. Test- und Messmethodik (Gesamtstaubanalyse)



9.1 Chrom(VI)-Swabtest ST01



9.2 Cr(VI) Testkit TK01



9.3 Cr(VI)-Laboranalyse

9.1 „Chrom(VI)-Schnelltests"

Bei allen bisherigen Untersuchungen und Nachforschungen wurden sog. „Schnelltests" zur Erst-Detektion und -Identifizierung von Chrom(VI)-Verbindungen verwendet.

Hierbei wird eine Testspitze, getränkt mit nachfolgend beschriebenen DPC, über eine zu testende Oberfläche gewischt oder betupft, um eine kolorimetrische Reaktion bei Präsenz von Chrom(VI) herbeizuführen.

Die Funktionsweise der Schnelltests, die von unterschiedlichen Firmen (z. B. Produkt „HexChecks" (Figure Engineering Ltd. USA) oder Produkt „TK11" (MATInspired NL) angeboten werden, basiert auf einer „kolorimetrischen Methode"; beim Testverfahren wird eine chemische Reaktion mit 1,5-Diphenylcarbazid (DPC) verwendet, die in Gegenwart von Chrom(VI) zu 1,5-Diphenylcarbazon oxidiert und dabei eine violette bis rosa Färbung erzeugt.

Die Intensität der Farbe ist proportional zur Chrom(VI)-Konzentration und kann visuell oder mit einem Kolorimeter ausgewertet werden.

Die Testergebnisse sind ziemlich verlässlich, **falsch positive Ergebnisse treten sehr selten auf, wohl aber falsch negative Ergebnisse, weil es vorkommen kann, dass Stäube und Ablagerungen, aber auch ölige Oberflächen verhindern können, dass beim Abstrich die Reaktion zwischen Chrom(VI) und dem DPC erfolgt**.

Seit 2023 bietet die niederländische Firma „SEEF B.V." ein speziell für chromatbelastete Wärmedämmungen entwickeltes Schnelltest-System „Chromate Speedtest" an, welches ebenfalls nach o.g. Verfahren konzipiert ist, aber etwas unempfindlicher gegen Staubüberlagerungen ist, diese aber trotzdem nicht gänzlich verhindern kann.

Praxistests haben gezeigt, dass die **Swabtests eine „richtig-positive" Trefferquote von über 99%** und eine **„falsch-negativ"-Quote von unter 50% aufweisen**, daher wurde entschieden, diese Testmethode zukünftig beizubehalten.

Vorteilhaft bei der Auswahl der Testmethoden sei zu erwähnen, dass die Firma SEEF sowohl ein mobiles Labor zur relativ einfachen, aber tieferen Cr6-Analyse entwickelt hat, welches auch stationär verwendet werden kann und einen relativ zügigen laborähnlichen Test für Materialproben bietet.

9.2 „mobiles Labor" Cr(VI) Testkit TK01 (SEEF B.V.)

Das TK01 Chrom-6 Testkit ermöglicht eine schnelle und zuverlässige Vor-Ort-Analyse von Chrom-6 und wurde u.a. für die Messung von Calciumchromat in Isolierungen, Montagepasten, Schmiermitteln und Edelstahlteilen entwickelt.
Die Analyse erfolgt innerhalb von 45 Minuten und erlaubt die gleichzeitige Untersuchung von 6

Proben.
Das patentierte Verfahren verhindert während des Analyseprozesses die Reduktion von Chrom-6 zu Chrom-3 und minimiert gleichzeitig Interferenzen durch Zink und Aluminium.

Kleinere Materialproben oder sog. Wischabstriche werden mit bestimmten chemischen Substanzen vorbehandelt und in Teströhrchen erhitzt, so dass eine fast 100% sichere Kolorimetrie erfolgen kann.

In der Praxis konnten durch weiterführende Tests nach diesem Verfahren z. B. stark staubbedeckte oder anderweitig verschmutzte Bereiche trotz negativem Schnelltest im Nachhinein als positiv und somit chromathaltig erkannt werden.

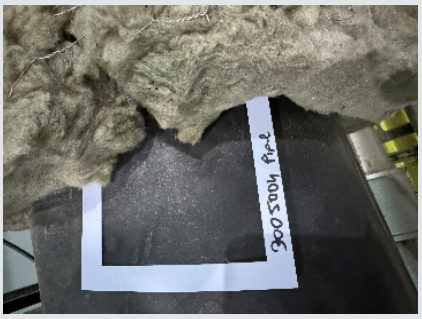
9.3 Laboranalyse (Wischtest | Materialproben) (SEEF B.V.)

Beim sog. „Wischtest" wird ein räumlich definierter Bereich von 10 x 10 cm mit einem Tuch diagonal und horizontal abgewischt, um die Oberflächenstäube aufzunehmen und im Tuch zu binden.

Anschließend wird das Tuch, sofern es nicht mit der mobilen Labormethode untersucht wird zur Analyse der Chrom(VI)-Beladung für den getesteten Bereich an das Labor gesendet.
Einige Tage später wird seitens des Labors die exakte Kontaminierung in ppm | mg/kg schriftlich mitgeteilt; die Wischprobe wird zusätzlich noch auf andere Schwermetalle untersucht.

Bei den Materialproben werden Proben aus Faserstäuben oder andere Ablagerungen ans Labor gesendet und anschließend wie beim Wischtest nach gleichem Procedere analysiert und ausgewertet.


9.3 Wischtest


9.3 Wischtest


9.3 Wischtestanalyse mit TK01



9.3 Materialprobe



9.3 Materialprobe


9.3 Materialprobenanalyse mit TK01

10. Test- und Messmethodik (Hintergrundbelastung)



10.1 Probenahmegerät



10.1 Pumpkopf



10.1 Messprinzip

10.1 „Probenahmegerät SG 10-2 (GSA)"

Das **Probenahmegerät SG10-2** inkl. Ladegerät für die **personengetragene** und **stationäre** Probenahme von Gefahrstoffen bis 12 l/min nach EN 481.

Das **Probenahmegerät SG10-2** wurde für die Gefahrstoffmessung entwickelt, insbesondere wenn **hohe Volumenströme** benötigt werden.

Das SG10-2 bietet einen Volumenstrom von 1- 12 l/min und ermöglicht so deutlich verkürzte Messzeiten.

Die verschiedenen, durch IFA lizensierte Probenahmeköpfe ermöglichen eine Messung des einatembaren Staubes (**E-Staub, Gesamtstaub**) und/oder der alveolaren Staubfraktion (A-Staub, Feinstaub).

Zur Bestimmung von Chrom(VI)-Verbindungen in der Atemluft ist ein Volumenstrom von 10l/min. voreingestellt.

Die Messungen wurden auf Grundlager der DGUV (Deutsche gesetzliche Unfallversicherung) gemäß Information 213-505 als anerkanntes Messverfahren zur Feststellung der Konzentration von sechswertigem Chrom in der Luft in Arbeitsbereichen durchgeführt.

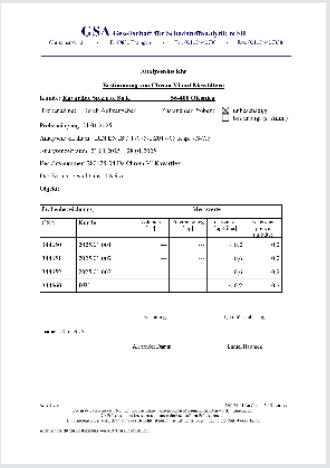
Einige Tage nach Zusendung des in der Analyselösung aufgelösten Filters erfolgt das Ergebnis in Mikrogram/Filter, anschließend erfolgt die Umrechnung und Auswertung (Gesamtmenge Luft, daraus abgeleitet Mikrogramm/Kubikmeter).



10.2 aufgelöster Filter in Lösung



10.2 Analyselösung



10.2 Analysezertifikat

11. Ausblick und weiterführende Untersuchungen

11.1 Status dieser Feldbeobachtung

Diese Feldbeobachtung knüpft an den Erkenntnissen aus der grundlegenden Referenzuntersuchung (Feldstudie und Feldbeobachtungen) zur Chrom(VI)-Problematik bei Hochtemperaturisolierungen an. Sie bildet die wissenschaftliche und methodische Basis für alle weiteren Untersuchungen. Die Beobachtungen aus dieser Feldbeobachtung FB01 erweitern die Betrachtungsperspektive. Zukünftige und vergangene Messungen und Erfahrungswerte werden als ergänzende Datensammlung, wobei die die etablierten Methoden und Parameter der Feldstudie als Standard dienen.

11.2 Repräsentativität und Übertragbarkeit

Die Studien und Orte der Analysen bilden einen Extrakt aus durchschnittlichen Arbeitsstätten, wie man sie in der Industrie weltweit und zigtausendfach vorfindet. Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass der in der Feldstudie untersuchte MWM-Motor zufällig als erstes Aggregat mit modernster Messtechnik analysiert wurde. Bemerkenswert ist dabei, dass dieser Motor im Vergleich zu anderen Herstellern eine relativ geringe Menge an textilen Isolierungen aufweist. Die untersuchten Isolationskassetten sind professionell und hochwertig, berücksichtigen aber die Chromatentstehung nicht. Viele andere Motorenhersteller setzen deutlich mehr textile Isoliertechnik und deutlich minderwertigere Kassetten ein, was potenziell zu noch höheren Belastungen führen könnte.

11.3 Erweiterte Befunde

Die in abnehmbaren Metallkassetten nachgewiesenen signifikanten Chrom(VI)-Konzentrationen entstehen nach dem klaren thermochemischen Muster in Bereichen, wo calciumhaltige Dämmstoffe mit Luftzufuhr ("sauerstoffoffen") verbaut wurden. Diese Beobachtung stützt die theoretischen Überlegungen zum Bildungsmechanismus der Chromate praxisbezogen einmal mehr.

11.4 Automobiler Bereich

Erste Voruntersuchungen haben auch Chromate im Motorraum verschiedener PKW-Modelle (insbesondere bei Mercedes und Audi) nachgewiesen. Hierzu werden derzeit weitere dedizierte Studien vorbereitet. Die möglichen Implikationen dieser Befunde für den automobilen Sektor sind Gegenstand laufender Untersuchungen.

11.5 Gesellschaftliche Relevanz

Die Tragweite der Problematik wird besonders deutlich, wenn man die vielfältigen Einsatzbereiche der betroffenen Motoren betrachtet. Aggregate vom untersuchten Typ finden sich unter anderem in:

- Krankenhäusern (Notstromaggregate)
- Öffentlichen Gebäuden
- Passagierschiffen
- Kraftwerken
- Industrieanlagen

Dies unterstreicht die Notwendigkeit weiterer systematischer Untersuchungen und präventiver Maßnahmen.

11.6 Ausblick

Die vorliegenden Erkenntnisse markieren erst den Anfang einer umfassenden Bestandsaufnahme. Die identifizierten Expositionsrisiken und ihre potenziellen Auswirkungen auf Arbeitssicherheit und öffentliche Gesundheit erfordern weitere detaillierte Untersuchungen. Basierend auf den hier entwickelten Methoden und Standards werden systematisch weitere Anwendungsbereiche und Szenarien analysiert.

Die Ergebnisse dieser Feldbeobachtung legen nahe, dass eine branchenübergreifende Neubewertung der Verwendung calciumhaltiger Hochtemperaturisolierungen dringend erforderlich ist. Der Schutz der exponierten Arbeitnehmer und die Entwicklung sicherer Alternativen sollten dabei im Vordergrund stehen.

Versionsverlauf

Version	Datum	Änderung
1.0	Februar 2025	Erstfassung
1.1	November 2026	Neusatz im Gestaltungssystem der Chromatexperten; Schreibweise Chrom(VI) vereinheitlicht. Aktualisierung: Bewertung nach dem Beurteilungsmaßstab von 1 µg/m³ (TRGS 910, TRGS 561), keine Akzeptanzkonzentration; Luftmesswerte (Standardverfahren GSA) als Mindestwerte gekennzeichnet, mit Angaben von SEEF B.V. zur Wiederfindung; britischer Grenzwert berichtigt (EH40: 0,01 mg/m³); niederländischer Grenzwert nach Arbobesluit; TRGS 561 in der Fassung vom 4. Mai 2026 aufgenommen; Querverweise auf Feldstudie und Feldbeobachtungen umgestellt; Technische Regeln für Gefahrstoffe.