Chromate am Arbeitsplatz

Weitere Beobachtungen zur Chrom(VI)-Entstehung durch die Verwendung alkali- und/oder erdalkalimetallhaltiger Isolationsmaterialien an chromhaltigen Metallheißteilen an einem Gasmotor

Ergänzende Beobachtungen zur Feldstudie – Chromate am Arbeitsplatz

von Lloyd Hopes, Markus Sommer und Florian Sommer

31. Januar 2025

Version 1.1 · November 2026

Zusammenfassung

Diese Feldbeobachtung zur im Deckblatt angegebenen Feldstudie, deren Struktur und Gliederung hier weitestgehend beibehalten wird und nur notwendige Änderungen der einzelnen Kapitel vornimmt, berichtet von weiteren Beobachtungen und Analysen die während der Durchführung der Feldstudie gemacht wurden, so wie die hier zusammengetragenen Informationen zu weiteren Mechanismen der Chromatentstehung bei Verwendung alkalischer und/oder erdalkalimetallhaltiger Hochtemperaturisolationsprodukte an einem Gasmotor.

Die Beobachtungen zeigen signifikante Präsenz krebserregender und chronisch umweltschädlicher Chrom(VI)-Verbindungen in Bereichen so genannter „Isolationskassetten" (Abb.1) welche aus einem chromhaltigen Gehäuse bestehen, welches im Sandwich-Aufbau Isolationsmatten umfasst, an einigen Stellen, insbesondere in Abkant- und Biegebereichen „sauerstoffoffene" Bereiche (Abb. 2) umfasst, an welchen Fasern der Isolationsmatten sichtbar sind. Diese Bereiche wurden **sowohl nach dem Schnelltestverfahren „ST01"** bzw. **mit dem Testkitverfahren „TK01" auf Chromatpräsenz positiv getestet (Abb. 3)**.

Da das Schnelltestverfahren positive Chrom(VI)-Ergebnisse darstellte, wurden die gemachten Ergebnisse mit dem Testkitverfahren verifiziert, um „falsch-positive" Testergebnisse auszuschliessen.

Die Beobachtungen zeigen auch hier die möglichen Verschleppungsrisiken schädlicher Substanzen und deren Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit auf.

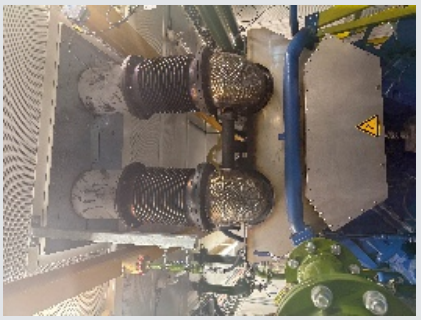


Abb.1 Isolationskassette



Abb.2 Abkantbereiche



Abb. 3 Cr6-positiv (TK01)

1. Einleitung

1.1 Einführung und Zielsetzung

Die Handhabung chromatkontaminierter Dämmelemente, textil, oder (teil-)metallisch stellt eine erhebliche Herausforderung für den Arbeits- und Umweltschutz dar.

Chrom(VI)-Verbindungen (Chromate) sind als krebserzeugende Gefahrstoffe bekannt, da sie sich in den Atemwegen ablagern und durch ihre hohe Oxidationskraft **Zellschäden verursachen können**. Bereits geringe Konzentrationen in der Luft gelten als gesundheitsschädlich, da sie das Risiko für **Lungenkrebs sowie weitere toxische Effekte auf den Organismus** signifikant erhöhen.

Bei Chromaten am Arbeitsplatz gelten besonders enge und niedrige Grenzwerte bzw. sogenannte Expositions-Risiko-Beziehungen, wie z. B. das statistische Risiko, bei regelmäßiger Belastung in Höhe der Toleranzkonzentration an Krebs zu erkranken (Toleranzrisiko 4:1.000); eine Akzeptanzkonzentration ist für Chrom(VI)-Verbindungen nicht festgelegt.

Für Chromate am Arbeitsplatz gibt es keinen sicheren Schwellenwert. Jede inhalative oder dermale Belastung stellt potenziell ein Risiko dar, was die hohe Gefährlichkeit von Chrom(VI)-Verbindungen unterstreicht.

Da sechswertige Chromverbindungen auch als **chronisch umweltschädlich mit langfristigen Folgen** eingestuft sind, stellt sich ebenfalls die Frage nach einer vorschriftsmäßigen, **kennzeichnungspflichtigen Entsorgung als Sonderabfall**.

Materialien, die nachweislich Chrom(VI)-haltig sind, können **nicht über den regulären Industriemüll entsorgt werden**, sondern unterliegen **gesonderten Entsorgungsvorschriften** gemäß Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) sowie der TRGS 910.

Im Rahmen der Feldstudie wurden Beobachtungen und daraus resultierende Tests gemacht, die Chromate auch an Stellen nachweisen, die selbst der Fachmann nicht unbedingt als kontaminiert vorausschauend erwarten würde:

- Die langjährige Vermutung, dass das Risiko einer Chromatentstehung überall dort besteht, wo alkali- bzw. erdalkalimetallhaltige Isolationsstoffe mit heißen, chromhaltigen Flächen in Kontakt kommen, wird mehr und mehr bestätigt. Diese Gewissheit hilft auch bei der **Ermittlung des Risikos im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung**.
- Da Chrom(VI)-Verbindungen als hautresorptiv gelten, besteht ein so genanntes „dermales Risiko", wenn kontaminierte Bauteile angefasst werden müssen. Diese Bauteile können bei Bewegung auch Verwirbelungen der chromathaltigen Ablagerungen bewirken, was dann ebenfalls zu einem bislang nicht einkalkuliertem inhalativen Risiko führt.
- Die Feldstudie hat gezeigt, welche Grenzwertüberschreitungen alleine durch das bloße Hantieren mit einer geringen Anzahl kontaminierter Dämmelemente verursacht werden.

Ziel dieser Beobachtungsstudie ist es, auf versteckte und unerwartete Gefährdungen durch sechswertige Chromverbindungen bei Hautkontakt, aber auch auf **die Exposition von krebserregenden und chronisch umweltschädlichen Substanzen bei Arbeiten mit Motorenbauteilen 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 Bauteile ohne spezielle Arbeitsschutzkleidung demontieren, staubfördernd im Arbeitsbereich ablegen und ungeschützt platzieren. Durchzug oder künstliche Belüftung kann dann dazu führen, dass einatembare Chrom(VI)-Verbindungen freigesetzt, aber auch inhaliert werden.

Auf Basis dieser Erkenntnisse soll **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**.

1.2 Reaktionsmechanismus und chemische Grundlagen

[keine Änderung gegenüber Feldstudie]

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:

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

1.2.1 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.

Parallel zu den in der Feldstudie beschriebenen textilen Isolierungen wurde und wird in der Motoren- und Turbinentechnik aber auch teilmetallisch gedämmt, indem hauptsächlich Edelstahlmäntel die Formgebung bestimmen und die Edelstahlelemente entweder mit dem gewählten Dämmstoff verbunden sind (Edelstahlmantel), oder aber eine

Kassettenform gewählt wird, die über einen metallischen Innenmantel und einem metallischen Außenmantel verfügt.

Die Kassetten bilden dabei eine zuverlässige und stabile Abschirmung heißer Bereiche, auch wenn die Metallmäntel durch das Bilden von Wärmebrücken oft eine etwas höhere Außentemperatur aufweisen als textile bzw. flexible Dämmsysteme.

Die Feldstudie untersuchte insbesondere die Freisetzung von Chromaten beim Hantieren mit textilen, trennbaren und somit flexiblen Dämmelementen.

In dieser Beobachtungsstudie galt das Interesse alkali- bzw. erdalkalimetallhaltiger Isolationsmatten, welche in Metallmäntel (Isolationskassetten) integriert werden.

Bei Isolationskassetten gibt es mehrere Arten der Dämmstoffintegration.

Häufig wird nur ein Metallaußenmantel gewählt und der Dämmstoff in Mattenform ist ohne weiteren Kontaktschutz gegenüber dem Heißteil mit dem Innenmantel verbunden und wird anschließend um das oder auf dem Heißteil montiert.

Beim untersuchten Motor waren die Isolationskassetten aufwändig und zweckgemäß gefertigt.

Herstellungsbedingt waren aber einige Kant- und Biegebereiche allerdings so gefertigt, dass an bestimmten Stellen der Dämmstoff sichtbar war, was wiederum bedeutet, dass an diesen Stellen das Isoliermaterial als „sauerstoffoffen" bezeichnet werden kann.

Diese Eigenschaft („sauerstoffoffen") wurde von den Autoren lange schon als potentieller Auslöser der Chromatentstehung gesehen, weil genau an diesen Stellen, die thermochemische Grundlage für die unter 1.2 genannte chemische Gleichung

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

gegeben sind.

Die sich aus der Feldstudie ergebende Arbeitsumfang der Servicearbeiten führte dazu, dass ein Teil der beschriebenen Kassetten geöffnet und abmontiert werden musste.

Dieser Arbeitsschritt eröffnete dem Prüfpersonal die Gelegenheit, auch einmal das Innere solcher Kassetten auf Chrom(VI)-Verbindungen zu testen, denn bei Vorhandensein chromhaltiger Heißteile, physisch verbunden mit alkali- und/oder erdalkalimetallhaltigern insbesondere calciumhaltigen Dämmstoffen in **Kombination mit den hohen Anlagentemperaturen und bei zusätzlicher Präsenz von Sauerstoff kann eine (Calcium-) Chromatentstehung nicht mehr ausgeschlossen werden**!

1.3 Gesundheits- und Umweltrisiken

1.3.1 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.

1.3.2 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.

1.3.3 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.**

1.4 Regulatorischer Rahmen

1.4.1 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.

1.4.2 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

1.4.3 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-Stoffen

1.4.4 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.4 positive Swabtests (ST01)



Abb.5 Wischtestprobe (TK01)



Abb.6 Wischtestergebnis (TK01)

2.1 Rahmenbedingungen und Grundlagen der Untersuchung

Die Messungen und Analysen wurden im Rahmen von zyklischen Servicearbeiten an einem Gasmotor der Firma MWM durchgeführt.

Der Motor ist wie auch andere Motoren verschiedener Hersteller mit so genannten „Isolationskasetten" ausgestattet, welche aus einem metallischen Aussenmantel, einem innenliegenden Dämmstoff und einem metallischen Innenmantel bestehen.

An einigen Biegekanten ist der Dämmstoff sichtbar („sauerstoffoffen").

Die Isolationskassetten wurden gelöst und dann abmontiert.

Chrom(VI)-Schnelltests mittels SEEF Swabtest ST01 zeigten insbesondere an den offenen Stellen ein erstes „Chrom(VI)-positiv"-Ergebnis (Abb.4), was eine detaillierte Untersuchung mittels mobilem Chrom(VI)-Labor „SEEF Chrom(VI)-Testkit TK01" erforderlich machte.

Zur Verifizierung des positiven Swabtests ST01 wurde eine so genannte „Wischprobe" vorgenommen, dabei wurden offene Faserbereiche der Dämmung und Teile des Innenmantels mit einem Analysetuch (10 x 10 cm) abgewischt und als Träger der Probe verwendet (Abb. 5).

Nach Abschluß der mobilen Laboranalyse wurde die Richtigkeit des positiven Chrom(VI)-Nachweises (ST01) bestätigt (Abb.6)

Die Untersuchung war insofern wichtig, da es sich um einen weltweit in hohen Stückzahlen eingesetzten Motorentyp handelt, der regelmäßig im Rahmen von Overhauls gewartet wird.

Ergänzende Rahmenbedingungen:

Arbeitssituation:

- Raumtemperatur: 22°C ± 2°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: 45% ± 5%

Arbeitsumgebung:

- 40 Fuß-Container
- Keine Zwangsbelüftung, Motor war nicht im Betrieb
- Elektrische Beleuchtung

- Zwei Zugangstüren (3 × 3 Meter)


Abb.7 Isolationskassette, hinten

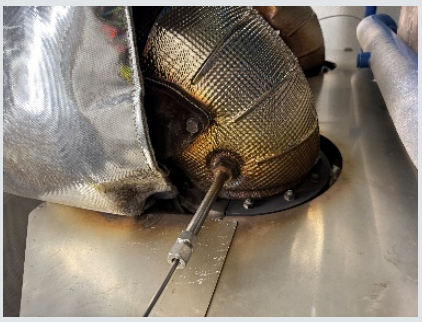

Abb.8 Isolationskassette, vorne


Abb.9 Isolationskassette, innen

Zustand der Isolationskassette:

- Alter der Isolierung: ca. 4500 Betriebsstunden
- Die Isolationskassetten waren in einem normalen unbeschädigten Zustand (Abb. 7 -9)
- Freigesetzte Isolationsstoffe (siehe Feldstudie) haben sich im gesamten Motorenbereich auch auf den Kassetten abgesetzt, aufgrund der sehr präzisen Geometrien war aber keine Fasereindringung von außen nach innen zu erkennen.

2.2 Messmethoden und Durchführung


Abb.10 Einhausung


Abb.11 Staubauffang


Abb.12 Materialprobe

2.2.1 Wischtest und Analyse

Siehe 2.1

Das koloristische Testverfahren bestätigt die „richtig-positiven" Swabtests.
Die Präsenz von Chromaten gilt somit als nachgewiesen.

Bei Servicearbeiten müssen Teile der Kassetten abgenommen und gelagert werden, eine direkte dermale Belastung kann hierbei genauso wenig ausgeschlossen werden, wie eine inhalative Hintergrundkonzentration E-Staub beim Hantieren mit den Kassetten (Demontage, Lagerung); es besteht ein Verschleppungsrisiko

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 Isolationskassetten 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 Kassetten 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

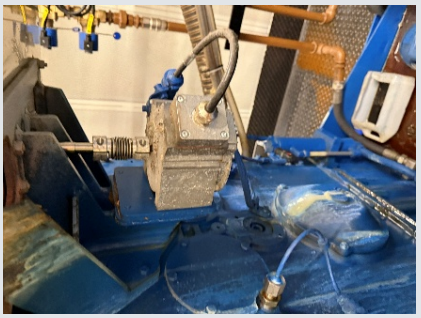


Abb.20 Faserstaub Umgebung



Abb.21 Faserstaub Umgebung



Abb.22 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. 20-22, 23-25) 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.23 kontaminierte PSA


Abb.27 Isolationsreste


Abb.28 kontaminierte Werkzeuge

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
- Zusätzliche PSA-Anforderungen
- Spezialentsorgung
- Dekontaminationsmaßnahmen

Indirekte Kosten:

- Arbeitsmedizinische Überwachung
- Dokumentation und Nachweisführung
- Schulungsaufwand
- Qualitätssicherungsmaßnahmen

Langzeitkosten:

- Sanierungsmaßnahmen
- Haftungsrisiken
- Imageschäden
- Versicherungsaspekte



Abb.29 Dekontamination



Abb.30 Dekontamination

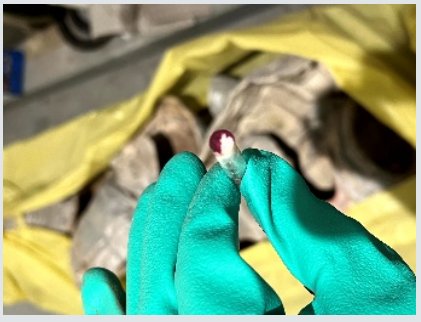


Abb.31 Entsorgung

4. Diskussion

4.1 Bewertung der Messergebnisse

4.1.1 Gesamtstaubanalyse (siehe Feldstudie; hier: Belastung durch andere Isolierungen)

- **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**

4.1.2 Hintergrundbelastung (siehe Feldstudie; hier: Belastung durch andere Isolierungen)

- **Die gemessenen Hintergrundkonzentrationen (0,526-0,556 µg/m³) sind Mindestwerte; eine Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs von 1 µg/m³ ist nicht auszuschließen**

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)

- **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**

4.1.3 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.32 Cr6-positiv - Mineralwolle



Abb.33 Cr6-positiv „Microtherm"



Abb.34 Cr6-positiv „Superwool"

4.3 Methodische Einschränkungen

4.3.1 Messbedingte Limitationen

- Begrenzte Anzahl von Messpunkten bzw. Swabtests
- Zeitlich eingeschränkter Messzeitraum

4.3.2 Analytische Unsicherheiten

- Annahmen zur E-Staub-Fraktion, aber realistische Schätzung
- Vereinfachte Modellierung der Ausbreitung, aber auf Basis langjähriger Erfahrungswerte
- Einfluss von Umgebungsbedingungen

4.3.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse

- Spezifische Containersituation
- Besondere klimatische Bedingungen
- Begrenzte Anzahl von Messsituationen

4.4 Bedeutung für die Praxis

4.4.1 Arbeitsschutzrelevanz

- Unmittelbarer Handlungsbedarf bei vergleichbaren Arbeiten
- Notwendigkeit erweiterter Schutzkonzepte
- Überarbeitung bestehender Arbeitsanweisungen
- Anpassung der Gefährdungsbeurteilungen

4.4.2 Technische Konsequenzen

- Entwicklung verbesserter Einhausungssysteme
- Optimierung der Absaugtechnik
- Anpassung der Arbeitsverfahren
- Entwicklung spezieller Werkzeuge

4.4.3 Organisatorische Auswirkungen

- Implementierung strengerer Zugangsbeschränkungen
- Einführung erweiterter Dokumentationspflichten
- Intensivierung der Mitarbeiterschulung
- Verstärkung der arbeitsmedizinischen Überwachung

4.4.4 Wirtschaftliche Aspekte

- Erhöhte Kosten für Schutzmaßnahmen
- Verlängerte Arbeitszeiten durch Schutzmaßnahmen
- Zusätzliche Dokumentationsaufwände
- Gestiegene Entsorgungskosten

4.5 Zukünftiger Forschungsbedarf

4.5.1 Messtechnische Aspekte

- Entwicklung verbesserter Messmethoden
- Kontinuierliche Überwachungssysteme

- Optimierte Probenahmestrategien
- Automatisierte Messverfahren

4.5.2 Analytische Weiterentwicklung

- Verbesserte E-Staub-Bestimmung
- Präzisere Ausbreitungsmodelle
- Validierung der Messmethoden
- Standardisierung der Analyseverfahren

4.5.3 Präventionsstrategien

- Alternative Isolationsmaterialien
- Optimierte Arbeitsverfahren
- Verbesserte Schutzkonzepte
- Innovative Dekontaminationsmethoden

4.5.4 Langzeituntersuchungen

- Chronische Expositionseffekte
- Verschleppung in die Umwelt
- Persistenz der Kontamination
- Kostenentwicklung

5. Handlungsempfehlungen

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 Sofortmaßnahmen

5.1.1 Technische Maßnahmen

Einhausung und Absaugung

- Installation vollständig geschlossener Arbeitsbereiche

- Unterdruckhaltung mit mindestens 20 Pascal
- Mehrstufige Filteranlagen mit HEPA H13/H14
- Luftwechselrate > 10-fach pro Stunde
- Getrennte Zu- und Abluftführung

Staubminimierung

- Einsatz staubarmer Demontageverfahren
- Befeuchtung der Arbeitsbereiche wo möglich
- Spezialwerkzeuge für schonendes Arbeiten
- Staubabsaugung direkt am Entstehungsort
- Regelmäßige Oberflächenreinigung

Arbeitsplatzgestaltung

- Einrichtung von Schwarz-Weiß-Bereichen
- Professionelle Dekontaminationsschleusen
- Separate Materialtransportwege
- Kennzeichnung kontaminierter Bereiche
- Speziell ausgestattete Reinigungszonen

5.1.2 Organisatorische Maßnahmen

Zugangsbeschränkungen

- Zutritt nur für geschultes Personal
- Dokumentation aller anwesenden Personen
- Zeitliche Begrenzung der Arbeitszeiten
- Rotationsprinzip bei exponierten Tätigkeiten
- Koordination paralleler Arbeiten

Arbeitsabläufe

- Detaillierte Arbeitsanweisungen
- Gefährdungsbeurteilung für jeden Arbeitsschritt
- Festlegung von Notfallprozeduren
- Regelmäßige Arbeitsplatzüberwachung
- Dokumentation aller Tätigkeiten

Hygienemaßnahmen

- Strikte Trennung von Arbeits- und Privatkleidung
- Regelmäßiger Wechsel der Schutzkleidung
- Duschmöglichkeiten nach Arbeitsende
- Verbot von Essen/Trinken im Arbeitsbereich
- Regelmäßige Reinigung der Arbeitsbereiche

5.1.3 Persönliche Schutzausrüstung

Atemschutz

- Gebläseunterstützte Vollmasken
- P3-Filter für Schwebstoffe
- Regelmäßige Wartung und Prüfung
- Individuelle Anpassung, Dichtsitzprüfung vor jedem Einsatz

Schutzkleidung

- Einweg-Schutzanzüge Kategorie III Typ 5/6
- Chemikalienbeständige Handschuhe
- Spezielle Sicherheitsschuhe mit Überziehern
- Schutzbrille mit Seitenschutz
- Kopf- und Nackenschutz

Zusatzausrüstung

- Kommunikationssysteme
- Persönliche Messgeräte
- Notfallausrüstung
- Reinigungsmaterial
- Erste-Hilfe-Ausrüstung

5.2 Langfristige Maßnahmen

5.2.1 Substitution

Alternative Materialien

- Entwicklung chromfreier Isolationslösungen
- Einsatz von Cleansulation-Produkten
- Innovative Befestigungssysteme
- Verbesserte Beschichtungstechnologien
- Mechanisch stabilere Konstruktionen

Konstruktive Änderungen

- Optimierung der Isolationsgeometrien
- Verbesserte Zugänglichkeit für Wartung
- Modulare Aufbauweise
- Integrierte Überwachungssysteme
- Temperaturoptimierte Auslegung

Prozessanpassungen

- Überarbeitung der Wartungsintervalle

- Präventiver Austausch gefährdeter Teile
- Optimierung der Betriebsparameter
- Anpassung der Reinigungsverfahren
- Entwicklung spezieller Werkzeuge

5.2.2 Überwachung

Messtechnische Überwachung

- Kontinuierliche Luftmessungen
- Regelmäßige Wischproben
- Persönliche Dosimetrie
- Biomonitoring
- Materialanalysen

Dokumentation

- Digitales Wartungsmanagement
- Lückenlose Expositionsdokumentation
- Erfassung von Materialwechseln
- Protokollierung von Störfällen, Langzeitarchivierung aller Daten

Qualitätssicherung

- Regelmäßige Audits
- Zertifizierung der Prozesse
- Überprüfung der Schutzmaßnahmen
- Validierung der Messverfahren
- Kontrolle der Dokumentation

5.2.3 Qualifikation

Grundausbildung

- Gefährdungspotential von Chrom(VI)
- Arbeitsschutzmaßnahmen
- Notfallverhalten
- Dokumentationspflichten
- Rechtliche Grundlagen

Praktische Schulungen

- Handhabung der PSA
- Dekontaminationsverfahren
- Probenahmetechniken
- Reinigungsmethoden
- Notfallübungen

Weiterbildung

- Regelmäßige Auffrischungskurse
- Updates zu neuen Vorschriften
- Erfahrungsaustausch
- Best-Practice-Workshops
- Zertifizierte Fortbildungen

5.2.4 Prävention

Gesundheitsvorsorge

- Regelmäßige arbeitsmedizinische Untersuchungen
- Biomonitoring-Programme
- Psychologische Betreuung
- Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung
- Betriebliches Gesundheitsmanagement

Umweltschutz

- Entsorgungskonzepte
- Emissionsminimierung
- Ressourcenschonung
- Recyclingstrategien
- Umweltmonitoring

Wirtschaftlichkeit

- Kostenbewertung der Maßnahmen
- Investitionsplanung
- Versicherungsaspekte
- Haftungsminimierung
- Imageschutz

6. Schlussfolgerungen

Die vorliegende Feldbeobachtung zur Chrom(VI)-Exposition beim Arbeiten mit chromatbelasteten Isolationskassetten an Gasmotoren und anderen energieerzeugenden Anlagen führt zu mehreren grundlegenden Schlussfolgerungen:

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 den Studienergebnissen werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

7.1 Strategische Ausrichtung

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**

7.2 Technische Innovation

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**

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.

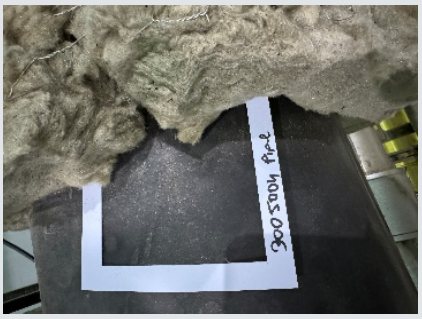
9.3 Laboranalyse (Wischtest | Materialproben) (SEEF B.V.)

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.

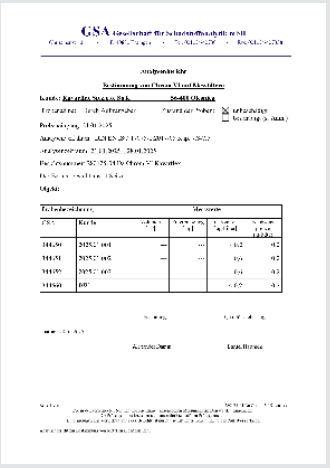
Einige Tage nach Zusendung des in der Analyselösung aufgelösten Filters erfolgt das Ergebnis in Mikrogram/Filter, anschließend erfolgt die Umrechnung und Auswertung (Gesamtmenge Luft, daraus abgeleitet Mikrogramm/Kubikmeter).



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) 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

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass der 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.

11.7 weitere Dokumentation

Diese Feldbeobachtung und alle folgenden Auswertungen werden auf Basis der Feldstudie erfolgen und unterscheiden sich durch Hinweise zu 2.1 (Arbeitssituation und -umgebung, Zustand der Isolierung), 2.2 (Messmethoden und Durchführung), sowie 2.2.2 (Gesamtstaubanalyse), sowie den Messergebnissen; alle anderen Informationen können, wenn auch mit geringen Abweichungen, im gleichen Kontext behandelt und interpretiert werden.

Versionsverlauf

Version	Datum	Änderung
1.0	Januar 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.