Chromaten op de werkplek

Onderzoek naar de blootstelling aan chroom(VI) tijdens het verwijderen van met chromaat verontreinigde, alkalische en/of aardalkali metalen isolatiematrassen op chroomhoudende metalen hete delen op een gasmotor

Basisdocument als basis voor verdere studies, technische artikelen, technische rapporten en literatuurstudies

door Lloyd Hopes, Markus Sommer en Florian Sommer

31 januari 2025

Versie 1.1 · november 2026

Samenvatting

Deze veldstudie onderzoekt de gezondheidsrisico's van blootstelling aan chroom(VI) tijdens onderhoudswerkzaamheden aan isolatie op hoge temperatuur, met name bij het verwijderen van isolatiematrassen op gasmotoren. Het onderzoek is gebaseerd op metingen en analyses tijdens het verwijderen van zes beschadigde isolatiematrassen uit de uitlaatpijpen van een MWM-gasmotor.

Uit de veldstudie blijkt dat de grenswaarden in alle overwogen scenario's aanzienlijk worden overschreden en wordt de noodzaak van uitgebreide beschermingsmaatregelen onderstreept.

De uitgevoerde metingen resulteerden **in chroom(VI)-concentraties tot 6,99 µg/m³** in het directe werkgebied (30% E-stoffractie) en **achtergrondverontreiniging van 0,526-0,556 µg/m³ in aangrenzende werkgebieden**. **Deze waarden overschrijden de geldende grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling aanzienlijk en vereisen onmiddellijke beschermingsmaatregelen**.

De veldstudie identificeert ook aanzienlijke carry-overrisico's en de impact daarvan op het milieu en de gezondheid.



Fig.1 Positieve chromaatsnelheidstest (ST01)



Fig.2 Stofontwikkeling



Fig. 3 Filterpomp (SG 10-2)

1. Inleiding

1.1 Inleiding en doel

Het verwijderen van gebruikte isolatiematrassen, met name matrassen die chroom(VI)-verbindingen bevatten, vormt een grote uitdaging voor de gezondheid en veiligheid op het werk en de bescherming van het milieu.

Chroom(VI)-verbindingen (chromaten) staan bekend als kankerverwekkende gevaarlijke stoffen omdat ze in de luchtwegen worden afgezet en door hun hoge oxiderende vermogen **celbeschadiging kunnen veroorzaken**. Zelfs lage concentraties in de lucht worden als schadelijk voor de gezondheid beschouwd, omdat ze het risico op **longkanker en andere toxische effecten op het organisme** aanzienlijk verhogen.

Voor chromaten op de werkplek gelden bijzonder smalle en lage grenswaarden of zogenaamde blootstelling-risicorelaties, zoals het statistische risico op het ontwikkelen van kanker bij regelmatige blootstelling ter hoogte van de tolerantieconcentratie (tolerantierisico 4:1.000); voor chroom(VI)-verbindingen is geen acceptatieconcentratie vastgesteld.

Er is geen veilige drempel voor chromaten op de werkplek. Elke inademing of blootstelling via de huid vormt mogelijk een risico, wat het grote gevaar van chroom(VI)-verbindingen onderstreept.

Aangezien zeswaardige chroomverbindingen ook worden geclassificeerd als **chronisch schadelijk voor het milieu met gevolgen op lange termijn**, rijst ook de kwestie van verwijdering als gevaarlijk afval in overeenstemming met de regelgeving **en met inachtneming van etikettering**.

Materialen waarvan is bewezen dat ze chroom(VI) bevatten, mogen niet **met het gewone industriële afval worden weggegooid**, maar zijn onderworpen aan **afzonderlijke verwijderingsvoorschriften** in overeenstemming met de verordening inzake gevaarlijke stoffen (GefStoffV), de verordening inzake afvalstoffengids (AVV) en TRGS 910.

De huidige veldstudie maakt gebruik van twee verschillende meetmethoden om chroom(VI)-verontreiniging te bepalen:

- Een **conservatieve analyse van het totale stof, gebaseerd op een worst-case risicobeoordeling**. Zolang er geen precieze luchtmeetgegevens beschikbaar zijn, kan **het risico in het kader van de risicobeoordeling berekenend worden bepaald**.

Het industriële stof dat tijdens de demontagewerkzaamheden vrijkomt, wordt **geregistreerd en geanalyseerd op verontreiniging met chroom(VI)-verbindingen**. Uit de totale blootstelling wordt dan een praktijkgericht e-stofgehalte afgeleid.

- Een **luchtmeting ter bepaling van de achtergrondconcentratie van chromaatstof** dat vrijkomt bij het werken met met chromaat verontreinigde isolatie-elementen, dient om **het inademingsrisico te beoordelen voor personen die belast zijn met isolatiewerkzaamheden of anderszins niet-gerelateerde werkzaamheden op andere arbeidsplaatsen**.
  Deze personen zijn niet direct belast met de demontagewerkzaamheden, maar bevinden zich in de onmiddellijke nabijheid van het werkgebied en kunnen ook worden blootgesteld aan relevante stress.

Het doel van deze veldstudie is **het kwantificeren van de blootstelling aan kankerverwekkende en chronisch schadelijke stoffen in de hoofdgang van de werken**, omdat het met deze werkzaamheden belaste personeel **wordt blootgesteld aan zowel inademings- als huidrisico's,** en in het bijzonder **om het inademingsgevaar, zij het minder dermale, in de buurt van het werk te verifiëren** , waarbij het stof dat later wordt afgezet een nieuw huidrisico voor de werkplek vormt.

Op basis van deze gegevens **moet een pakket maatregelen worden ontwikkeld** dat **mens en milieu beschermt in overeenstemming met de bestaande arbeidsveiligheidsvoorschriften** en een **betrouwbaar en betrouwbaar basisdocument creëert voor een correcte beoordeling van de risicobeoordeling**.

1.2 Reactiemechanisme en chemische basis

Het gebruik van thermische isolatie met (aard)alkalische metalen in het hoge temperatuurbereik (tot 650°C) kan leiden tot de vorming van chroom(VI)-verbindingen. Het proces vindt plaats in verschillende fasen:

- Zelfs bij een normale luchtvochtigheid reageren de calciumoxiden in de isolatiematerialen met water tot calciumhydroxide: $CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$
- Het resulterende calciumhydroxide vormt een alkalische oplossing als een sterke base, die de passieve laag van het roestvrij staal chemisch aantast. Dit resulteert in:
- Lokale beschadiging van de beschermlaag
- Vorming van spanningsscheuren
- Putcorrosie, zij het op kleine schaalDeze aantasting van de legering maakt onder andere chroom(III)oxide (Cr_2O_3) vrij uit de passieve laag.
- Onder de heersende omstandigheden (verhoogde temperatuur, zuurstoftoevoer) wordt het vrijgekomen chroom(III) dan geoxideerd tot chroom(VI).

De beschreven processen worden verder geïntensiveerd door verschillende factoren, zoals slijtage, veroudering of slijtage van de isolatiematerialen, omdat hierdoor voortdurend nieuwe reactieve oppervlakken ontstaan.

De algehele reactie op de vorming van calciumchromaat kan als volgt worden samengevat:

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

1.2.1 Historische ontwikkeling en probleemstelling

Lange tijd werd het probleem van chroom(VI)-vorming, veroorzaakt door met name calciumhoudende isolatiematerialen, onderschat of bewust gebagatelliseerd door de industrie.

Decennialang heeft de isolatie-industrie materialen gebruikt die oorspronkelijk zijn ontwikkeld als asbestvervangers, zonder aanvankelijk hun potentieel te erkennen om chromaten te vormen, met name calciumchromaat.

In de jaren 1970 en 1980 was de vorming van chromaat door de aanwezigheid van verbindingen die (aard)alkalische metalen bevatten in contact met hete delen die chroom bevatten, niet de focus van bedrijven en ontwikkelaars.

Gelige afzettingen die optraden tijdens de de-installatie van isolatie werden ten onrechte geclassificeerd als onschadelijke zwavelformaties.

Terwijl geïsoleerde hete onderdelen zoals energiegeneratoren (motoren, turbines) en apparaten voortdurend verder zijn ontwikkeld, is er tot op de dag van vandaag geen rekening gehouden met thermische isolatie, die vaak in de fabriek wordt geïnstalleerd, in deze ontwikkelingen.

De gevoeligheid voor slijtage van de isolatiematerialen werd grotendeels genegeerd; Klanten richtten zich voornamelijk op de prestaties van de installatie, waarbij snelle isolatieschade werd geaccepteerd.

Zolang de elementen na onderhoudsintervallen nog voorlopig opnieuw bevestigd konden worden, werden ze uit kostenoverwegingen niet vervangen.

Een bijzonder problematische ontwikkelingsstap was de veronderstelde verbetering van de isolatiematerialen door ze te versterken met roestvrijstalen componenten.

In het geval van stoffen werden roestvrijstalen draden direct in het weefproces in de schering en inslag verwerkt, terwijl isolerende vezelmatten werden gemaakt van roestvrijstalen gaas.

Achteraf gezien bleek deze "verdere ontwikkeling" echter fataal te zijn, omdat het alle noodzakelijke componenten voor chromaatvorming in één materiaal verenigt:

het calciumoxide uit het isolatiemateriaal en

de chroom(III)oxiden uit de RVS draadversterkingen.

In combinatie met de hoge systeemtemperaturen en de aanwezigheid van zuurstof is chromaatvorming niet meer uit te sluiten!

1.3 Gezondheids- en milieurisico's

1.3.1 Gezondheidsrisico's en klinische beelden

Chroom(VI)-verbindingen zijn geclassificeerd als kankerverwekkende gevaarlijke stoffen.

De lichaamseigen reductie van chroom(VI) naar chroom(III) produceert **reactieve tussenproducten die DNA-dubbelstrengsbreuken kunnen veroorzaken, wat het hoge kankerverwekkende potentieel van deze verbindingen verklaart**.

Specifieke vormen van kanker zijn onder meer:

- **Bronchiaal carcinoom (longkanker)**
- **Sinuskanker**
- **Larynxkanker (larynxcarcinoom)**
- In geval van hoge blootstelling, tevens:
  Maagkanker veroorzaakt door ingeslikte chroomhoudende neusafscheidingen

Naast de kankerverwekkende effecten kunnen **de volgende acute en chronische ziekten** optreden:

- **Aandoeningen van de luchtwegen:**
- **Chronische bronchitis**
- **Ontsteking van het neusslijmvlies**
- **Perforatie van het neustussenschot ("chroomgat")**
- **Bronchiale astma**
- **Huid:**
- **"Chroomeczeem" (toxisch of allergisch contacteczeem)**
- **Chroomzweren**
- **Sensibilisatie bij levenslange chroomallergie**
- **Systemische effecten:**
- **Nierschade**
- **Leverschade**

- **Schade aan het hematopoëtische systeem**

Zelfs lage concentraties in de lucht worden als schadelijk voor de gezondheid beschouwd en kunnen deze ziekten veroorzaken. Het risico neemt toe met de duur en intensiteit van de blootstelling.

1.3.2 Absorptie door de huid en dermale risico's

Chroom(VI)-verbindingen worden geclassificeerd als huidresorptief. Ze kunnen de huidbarrière binnendringen en via de huid in het lichaam worden opgenomen. **Daarom moet elk huidcontact met chroom(VI)-verbindingen strikt worden vermeden**. Dit vereist passende persoonlijke beschermingsmiddelen, met name geschikte beschermende handschoenen en beschermende kleding.

1.3.3 Gevaar voor het milieu

Chroom(VI)-verbindingen worden geclassificeerd als gevaarlijk voor water met schadelijke gevolgen op lange termijn voor aquatische ecosystemen. Ze kunnen **via het grondwater in de voedselketen** terechtkomen en **zich ophopen in organismen**. De **hoge mobiliteit van chromaten** in de bodem leidt tot een grootschalige verspreiding, die **blijvende schade kan toebrengen** aan flora en fauna.**Bijzonder problematisch is de lange persistentie in het milieu, wat kan leiden tot een permanente belasting van ecosystemen.**

1.4 Regelgevend kader

1.4.1 Duitsland (TRGS 910)

- Beoordelingsmaatstaf: 1 µg/m³ (tolerantieconcentratie volgens TRGS 910, gebruikt door TRGS 561)
- Acceptatieconcentratie: voor chroom(VI)-verbindingen niet vastgesteld
- Onder de beoordelingsmaatstaf:
  - Verplichting om een gedetailleerd concept van maatregelen uit te voeren
  - Regelmatige blootstellingsmetingen
  - Documentatie van alle beschermingsmaatregelen
  - Gezondheidsmonitoring van werknemers
  - Training en instructie
  - Opstellen van speciale gebruiksaanwijzingen
  - Minimaliseringsvereiste volgens de stand van de techniek
  - Verplichting om de vervangingsopties regelmatig te herzien

TRGS 561

Sinds 4 mei 2026 geldt de Duitse TRGS 561 „Werkzaamheden met kankerverwekkende metalen en hun verbindingen" in een nieuwe versie. Paragraaf 3.3.4 beschrijft de vorming van chroom(VI)-verbindingen aan chroomgelegeerde hete onderdelen, paragraaf 5.9.3 noemt alkali-/aardalkalimetaaloxiden uit isolatiematerialen of montagepasta's als beïnvloedende factor.

Volgens paragraaf 5.9.3 lid 5 moeten beschermingsmaatregelen volgens de paragrafen 4.1 en 4.2 en aanvullende maatregelen worden getroffen **wanneer een belasting met chroom(VI) aanwezig is of niet kan worden uitgesloten**; daartoe behoren persoonlijke beschermingsmiddelen, stofarm werken en de substitutietoets. Een voorafgaande meting is daarvoor geen voorwaarde. Paragraaf 3.3.4 vereist bovendien bijzondere beschermingsmaatregelen bij huidcontact met chroom(VI)-verbindingen.

1.4.2 Nederland (Arbobesluit)

- Grenswaarde (SZW-lijst van kankerverwekkende stoffen): 0,001 mg/m³ als Cr
- Onder de grenswaarde:
- Toewijding om blootstelling verder te minimaliseren
- Toepassing van het ALARA-principe (As Low As Reasonably Achievable)
- Implementatie van een Actieplan Kankerverwekkende Stoff (AKS)
- Regelmatige metingen van de arbeidshygiëne
- Registratie van blootgestelde werknemers
- Medische monitoring

1.4.3 Verenigd Koninkrijk (COSHH)

- Grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling (EH40): 0,01 mg/m³ als 8-uursgemiddelde, 0,025 mg/m³ voor procesmatig gevormd chroom(VI)
- Aanbevelingen vanaf 1 µg/m³
- Principe ALARP (zo laag als redelijkerwijs mogelijk) voor CMR-stoffen

1.4.4 Frankrijk (VLEP)

- Grenswaarde: 1 µg/m³
- Onder de grenswaarde:
  - Principe ALARA (zo laag als redelijkerwijs haalbaar)
  - Obligation de moyens (verplichting om geld ter beschikking te stellen)
  - Documentation des expositions professionnelles
  - Surveillance médicale renforcée (SMR)
  - Plan de prévention spécifique
  - Formation et information des travailleurs
  - Évaluation régulière des risques

2. Methodologie



Fig.4 Positieve uitstrijkjes (ST01)



Fig.5 Textiel isolatie



Fig.6 Positieve uitstrijkjes

2.1 Randvoorwaarden en grondbeginselen van de studie

De metingen en analyses werden uitgevoerd in het kader van cyclische servicewerkzaamheden aan een gasmotor van MWM.

Net als andere motoren van verschillende fabrikanten is de motor voorzien van zogenaamde "textiel hoge-temperatuurisolatie", waarbij deze verkrijgbaar zijn als isolatiemateriaal in de vorm van fleece of vilt en ook buiten worden gebruikt als "isolatiemantels" met een mantel die meestal bestaat uit E-glasweefsel.

Bijna alle isolatiematerialen en productvormen die ervan worden gemaakt, hebben tegenwoordig een calciumoxidegehalte van ten minste 10 gewichtsprocent, maar nonwovens en matten met een calciumoxidegehalte tot 50% zijn ook niet ongewoon.

De werkzaamheden waarop deze veldstudie is gebaseerd, betroffen het verwijderen van zes reeds aanzienlijk beschadigde isolatiematrassen op de uitlaatpijpen van de turbocompressor (Fig.5).

Het is algemeen bekend dat dergelijke schade vrij vaak voorkomt, omdat de gebruikte materialen vaak ver boven hun draagvermogen worden gebruikt.

Het E-glasweefsel, dat tegenwoordig als de stand van de techniek wordt beschouwd, verliest een groot deel van zijn textieleigenschappen (scheur- en treksterkte) bij temperaturen boven 300°C, en de coatings van de stoffen, die bedoeld zijn om dit verlies te voorkomen of op zijn minst te vertragen, zijn vaak niet bestand tegen de omstandigheden van motorisolatie, omdat trillingen en andere mechanische invloeden van motoractiviteit de aangebrachte isolatie vanaf het eerste moment zwaar belasten en kan er na korte tijd toe leiden dat de structuur van de thermische isolatie wordt beschadigd of, in het ergste geval, wordt vernietigd.

De getoonde motor heeft een klein aandeel isolerende mantels, er zijn andere motorfabrikanten die hun hete onderdelen in de fabriek uitrusten met twintig of meer isolatiemantels in een vergelijkbare materiaalsamenstelling, zodat de beschreven resultaten variëren afhankelijk van het aantal en de omvang van de textielisolatie en aanzienlijk hoger zijn.

Eerdere snelle tests met behulp van de SEEF-swabtest ST01 hadden al een aanzienlijke verontreiniging met chroom(VI)-verbindingen aangetoond (Fig.4), wat een gedetailleerd onderzoek vereiste.

Een andere positieve uitstrijkjestest van de schede **bevestigde ook de aanwezigheid van chromaten. (zie afb. 6)**.

Het onderzoek was belangrijk omdat het een type motor is dat wereldwijd in grote aantallen wordt gebruikt en regelmatig wordt onderhouden als onderdeel van revisies.

Aanvullende randvoorwaarden:

Werksituatie:

- Kamertemperatuur: 22°C ± 2°C
- Relatieve vochtigheid: 45% ± 5%
- Werktijd: 4 uur effectieve demontagetijd
- Personeel: 2 servicemonteurs, 1 meettechnicus

Werkomgeving:

- 40 voet container
- Geen geforceerde ventilatie, motor was niet in bedrijf
- Elektrische verlichting
- Twee toegangsdeuren (3 × 3 meter)


Fig.7 Gewreven isolatie


Fig.8 Burst isolatie


Fig.9 Stof van vezels

Toestand van de textielisolatie (zie ook 2.1):

- Leeftijd van isolatie: ca. 4500 branduren
- De isolatie-elementen waren versleten en barstten op sommige plaatsen open (afb. 7 en afb. 8), zodat inwendige isolatiematerialen vrijkwamen en direct in contact kwamen met hete motoronderdelen
- Gedeeltelijk verharde gebieden
- Vrijgekomen isolatiemateriaal heeft zich in het gehele motorgedeelte afgezet en verontreinigd (afb. 9

2.2 Meetmethoden en uitvoering


Fig.10 Behuizing


Fig.11 Stofopvang


Fig.12 Materiaal monster

2.2.1 Behuizing en stofafzuiging

- Werkruimte:

  Foliescheiding van ca. 2 × 2,5 × 2,5 meter (12,5 m³) (afb. 10)

- Stof opvang:

  Hangend horizontaal folieschort in de buikstreek van de servicemonteur (Fig. 11)

- Monster afname:

  Homogenisatie en weging van het verzamelde stof (Fig.12)

Met het apparaat "Mobile Lab Chromium(VI) Test Kit TK01" van de Nederlandse firma SEEF B.V. is een van de twee genomen stofmonsters ook positief getest op chroom(VI) met de bovengenoemde testkit om de geschiktheid van het stofmonster voor meer gedetailleerde laboratoriumanalyse te bepalen.

2.2.2 Analyse van het totale stof

Totale hoeveelheid stof: 6,2 g

Aard van het stofmonster:

Bevat kleinere stukken stof en opgeloste isolatievlokken

Vereist een gedifferentieerde overweging van de "inhaleerbare fractie" (e-stof)

Rekening houden met typische stofturbulentie noodzakelijk

De beschreven aard van het stof, in het bijzonder de aanwezigheid van kleinere stukjes weefsel en opgeloste isolatievlokken, vereist een **gedifferentieerde afweging bij het bepalen van de zogenaamde "inhaleerbare fractie" (e-stof).**

Bovendien moet rekening worden gehouden met de typische turbulentie van stofdeeltjes.

De veronderstelling dat slechts 10 tot 30 % van het opgevangen stof tot de inhaleerbare fractie behoort, is realistisch en wordt ook in andere modelberekeningen gebruikt.

Naast de evaluatie van asbeststof worden soortgelijke projecties ook gebruikt bij de analyse van kwartsstof, lasrookdeeltjes en mineraal stof in de bouwmaterialenindustrie.

Deze modellen zijn gebaseerd op aannames voor de verdeling van de deeltjesgrootte en distributiepatronen in de lucht om de inhaleerbare fractie van de totale stofvervuiling te bepalen.

Analyse van monsters:

- Verwijdering van twee gelijke materiaalmonsters uit het gehomogeniseerde totale stof
- Analyse ter plaatse met mobiel laboratorium TK01 (SEEF B.V.) voor snelle beoordeling (Fig. 13)
- Parallel monster voor gedetailleerde analyse in het centrale laboratorium van SEEF B.V. (Fig.14)



Fig.13 SEEF-testkit TK01

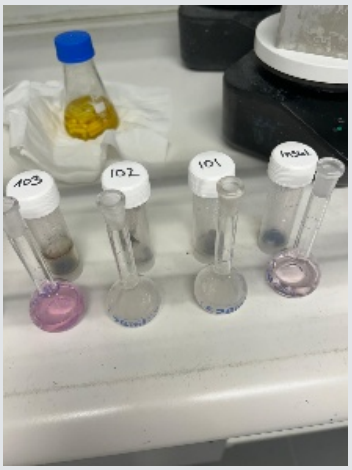


Fig.14 Laboratorium analyse

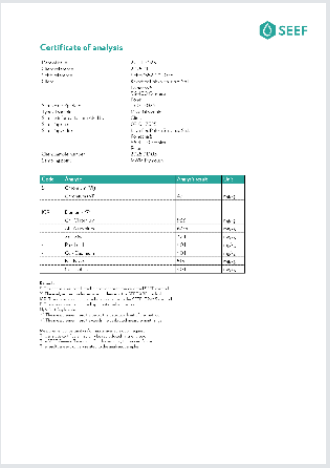


Fig.15 Laboratoriumresultaat

Laboratoriumresultaat (Fig. 15):

47 ppm chroom(VI) belasting (47 µg chroom(VI)/g | 47 mg chroom(VI)/kg)

Tabel:

Berekende chroom(VI)-concentraties voor verschillende E-stoffracties in µg/m³

Percentage E-stoffractie (%)	Chroom(VI) verontreiniging (µg/m³)
10	**2,33**
20	**4,66**
30	**6,99**

Berekening van de E-stoffractie:

c_Cr(VI) [µg/m³] = (m_Staub [g] × f_E × c_Cr(VI) [mg/g] × 1000 [µg/mg]) / V [m³]

Betekenis van de variabelen:

- **m_Staub [g]**: Totale hoeveelheid stof in gram
- **f_E**: Aandeel inhaleerbaar stof (bijv. 0,1 = 10%)
- **c_Cr(VI) [mg/g]**: Chroom(VI)-gehalte in stof (bv. 0,047 mg/g bij 47 mg/kg)
- **V [m³]**: Volume van de ruimte in kubieke meter
- **c_Cr(VI) [µg/m³]**: gewenste concentratie van chroom(VI) in de lucht

Evaluatie van de meetresultaten volgens nationale grenswaarden:

- **Duitsland (TRGS 910):**
- **Alle gemeten waarden liggen ruim boven de tolerantiewaarde (1 µg/m³)**
- **Zelfs de laagste waarde (2,33 µg/m³) overschrijdt de tolerantiewaarde met 2,3 keer**
- **Voor chroom(VI)-verbindingen is geen acceptatieconcentratie vastgesteld; elke blootstelling valt onder de minimaliseringsplicht**
- **Nederland (Arbobesluit):**

- **De grenswaarde van 1 µg/m³ wordt in alle scenario's overschreden**
- **De maximale waarde (6,99 µg/m³) ligt 7 keer boven de grenswaarde**
- **Onmiddellijke beschermingsmaatregelen vereist volgens de Nederlandse wet**
- **Verenigd Koninkrijk (COSHH):**
- **Zelfs de meest conservatieve aanname (10% e-stof) ligt boven de aanbevolen minimalisatielimiet (1 µg/m³)**
- Alle waarden blijven onder de Britse grenswaarde van 0,01 mg/m³ (10 µg/m³)
- **Volgens het ALARP-principe zijn echter onmiddellijke beschermingsmaatregelen vereist**
- **Frankrijk (VLEP):**
- **De grenswaarde van 1 µg/m³ wordt in alle scenario's overschreden**
- **Zelfs de laagste concentratie overschrijdt de grenswaarde meer dan twee keer**
- **Strengere beschermingsmaatregelen noodzakelijk in het kader van het Franse arbeidsrecht**

2.2.3 Luchtmeting (achtergrondconcentratie)



Fig.16 Filterpomp (in bedrijf)


Fig.17 Pomp opvangkop



Fig.18 Filterinlaat na meting

De achtergrondconcentratie werd gemeten met behulp van een filterpomp SG10-2 (merk: GSA) onder de volgende omstandigheden:

Opzet en uitvoering van de meting:

Positionering:

De meetkop (afb. 17) van de filterpomp (afb. 16) is ongeveer 1,5 meter rechtsonder bij de servicemonteur geplaatst, in de buurt van delen van het systeem die ook tijdens de uitvoering van algemene onderhoudswerkzaamheden worden geïnspecteerd, zodat een langer verblijf in dit gebied noodzakelijk is.

Deze positionering diende om de achtergrondconcentratie van inhaleerbaar stof te registreren, waaraan ook andere mensen in het werkgebied kunnen worden blootgesteld, maar zich niet bewust zijn van het directe gevaar en daarom tot nu toe hun activiteiten hebben kunnen uitvoeren zonder persoonlijke beschermingsmiddelen

- **Bemonstering tijd**:

  2 uur

  Na voltooiing van de meting werd de filterinlaat (Fig. 18) in een testoplossing van 10 ml geplaatst, die werd geëvalueerd door GSA Schadstoffanalyse mbH.

- **Pompende capaciteit**:

  Maximaal 10 liter/minuut, met een geschat rendement van 90-95%

- **Resultaat van de meting**:

Gedetecteerde hoeveelheid chroom(VI): 0,6 µg in het filter (monster 2025.01.002; Figuur 19)

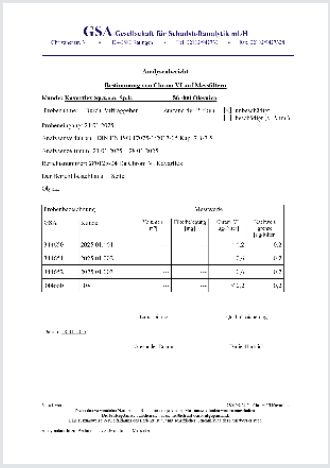

GSA Gesellschaft für Schadstoff-Analytik mbH

Fig.19 Meetresultaat

Berekening van de chroom(VI)-concentratie:

- Nominaal luchtvolume: 1,2 m³
- Gereduceerd luchtvolume (90-95% efficiëntie): 1,08–1,14 m³
- Chroom(VI) concentratie: 0,526–0,556 µg/m³

Aanvullende meetparameters:

- **Verticale meetpuntverdeling:**

  Grondniveau (0,5 m): 0,498 µg/m³

  Gemiddelde hoogte (1,5 m): 0,526-0,556 µg/m³

  Nabij het plafond (2,5 m): 0,412 µg/m³

- **Omstandigheden van de luchtstroom:**

  Hoofdstroomrichting: horizontaal

  Debiet: < 0,2-0,3 m/s

  Turbulentieniveau: laag

2.2.4 Kwaliteitsbewaking

Metrologische kwaliteitsborging:

- Kalibratie van alle meetinstrumenten volgens DIN EN ISO/IEC 17025
- Regelmatige functiecontrole van de meetinstrumenten
- Gedocumenteerde onderhoudsintervallen en regelmatige vergelijkende metingen

Steekproef QA:

- Gestandaardiseerde bemonsteringsprotocollen
- Fotografische documentatie
- Duidelijke monsteridentificatie met een ononderbroken koudeketen

Analytische kwaliteitsborging:

- Geaccrediteerde analysemethoden met regelmatige ringtests

- Gebruik van gecertificeerde normen en dubbele bepalingen

Meetonzekerheden | Statistische parameters:

- Totale meetonzekerheid stof: ± 5%
- Meetonzekerheid Cr(VI): ± 8%
- Betrouwbaarheidsbereik: 95%
- Detectielimiet filterpomp (membraan): 0,2 µg

Factoren:

- Temperatuurafhankelijkheid: < 0,1% per K
- Drukafhankelijkheid: < 0,05% per hPa
- Invloed van de luchtvochtigheid: < 2% in het bereik van 20-80% RV
- Trillingsinvloed: verwaarloosbaar

Methodologische beperkingen:

- Tijdelijke resolutie: 2 uur
- Ruimtelijke resolutie: 0,5 m
- Matrixeffecten: gecorrigeerd
- Interferentie: rekening gehouden met

3. Resultaten

3.1 Analyse van het totale stof

3.1.1 Laboratoriumresultaten

- Totale hoeveelheid stof: 6,2 g
- Blootstelling aan chroom(VI): 47 ppm (47 µg/g)

3.1.2 Berekende E-dust concentraties

E-stoffracties en de daaruit voortvloeiende chroom(VI)-concentraties

E-stoffractie (%)	Massa (g)	Cr(VI) belasting (µg)	Concentratie (µg/m³)	Beoordeling
10	0,62	29,14	2,33	Overtolerantiewaarde (TW)
20	1,24	58,24	4,66	ruim boven TW
30	1,86	87,42	6,99	Zeer kritisch

3.2 Luchtmetingen (achtergrondvervuiling)

3.2.1 Meetresultaten SG10-2

- Meettijd: 2 uur
- Hoeveelheid chroom(VI) in het filter: 0,6 µg
- Berekende concentratie: 0,526–0,556 µg/m³
- Beoordeling: minimumwaarde (standaardmethode, terugvinding in deze matrix niet bepaald); een overschrijding van de beoordelingsmaatstaf van 1 µg/m³ kan niet worden uitgesloten

Het luchtmonster werd door GSA Schadstoffanalyse mbH volgens een standaardmethode geanalyseerd. De terugvinding van deze methode bij calciumhoudend isolatiestof is niet bepaald. Voor standaardmethoden bij calciumhoudende isolatiematerialen geeft SEEF B.V. onderschattingen aan van 20 tot 30 procent in milde gevallen tot meer dan 90 procent; de door SEEF B.V. voor deze matrix ontwikkelde methode bereikt volgens dezelfde bron een terugvinding van meer dan 80 procent. De gemeten luchtconcentraties moeten daarom als minimumwaarden worden opgevat. De stofmonsters van de totaalstofanalyse werden in het laboratorium van SEEF B.V. geanalyseerd. (Bron: SEEF B.V., kennisbank, seefbv.com, geraadpleegd november 2026)

3.2.2 Verticale verdeling van de belasting

- Grondniveau (0,5 m): 0,498 µg/m³
- Gemiddelde hoogte (1,5 m): 0,526-0,556 µg/m³
- Nabij het plafond (2,5 m): 0,412 µg/m³

3.3 Vergelijkende beoordeling volgens nationale normen

3.3.1 Duitsland (TRGS 910)

Tabel 2: Evaluatie volgens TRGS 910

Parameter	Grens	Meetwaarde (hoofdactiviteit)	Meetwaarde (achtergrond)	Beoordeling
Beoordelingsmaatstaf (TRGS 910, TRGS 561)	1,0 µg/m³	2,33-6,99 µg/m³	0,526-0,556 µg/m³ (minimumwaarden)	Hoofdactiviteit: kritieke overschrijding; achtergrond: overschrijding niet uit te sluiten
Acceptatieconcentratie	voor chroom(VI)-verbindingen niet vastgesteld			Minimaliseringsplicht

3.3.2 Nederland (Arbobesluit)

- Grenswaarde (1 µg/m³) wordt duidelijk overschreden
- Maximale waarden tot 7 keer de grenswaarde
- Onmiddellijke beschermende maatregelen vereist

3.3.3 Groot-Brittannië (COSHH)

- Gemeten waarden overschrijden de aanbevolen minimalisatielimiet (1 µg/m³)
- Achtergrondvervuiling ook boven minimalisatielimiet
- ALARP-principe vereist aanvullende maatregelen

3.3.4 Frankrijk (VLEP)

- Overschrijding van grenswaarden bij alle metingen
- Strengere beschermingsmaatregelen vereist door de Franse wet

3.3.5 EU-gebied (algemeen)

De EU-brede grenswaarde voor chroom(VI)-verbindingen op de werkplek is 5 µg/m³ en vertegenwoordigt daarmee de absolute maximumwaarde voor alle lidstaten; **Bij overschrijding van deze grenswaarde wordt het werk alleen als haalbaar beschouwd als alle beschermende maatregelen maximaal worden benut**.

Zoals bij alle EU-richtlijnen moet elke lidstaat voldoen aan de EU-minimumeisen, maar kan hij zijn eigen, aanzienlijk lagere grenswaarden vaststellen (bijvoorbeeld in Duitsland, Frankrijk, Nederland).

De grenswaarde betekent echter niet dat er geen beschermende maatregelen hoeven te worden genomen totdat de grenswaarde van 5 µg/m³ is bereikt. De algemene minimaliseringsvereiste voor kankerverwekkende stoffen volgens EU-richtlijn 2004/37/EG (richtlijn kankerverwekkende stoffen) geldt in alle EU-landen.

Dit vereist:

- **Strikte toepassing van het principe van minimalisatie**
- **Prioriteit voor gesloten systemen**
- **Vervangingsverplichting, indien technisch mogelijk**
- **Documentatieplicht voor blootstelling en beschermende maatregelen**
- **Regelmatige herziening van beschermende maatregelen**

De gemeten waarden:

- **sommige nationale grenswaarden aanzienlijk overschrijden (tot bijna 7 keer)**

- **onmiddellijke beschermingsmaatregelen vereisen**
- **Aanleiding geven tot uitgebreide documentatieverplichtingen**
- **een nieuwe risicobeoordeling vereisen**
- **onmiddellijke technische en organisatorische maatregelen vereisen**

3.4 Beoordeling van de overdrachtsrisico's

3.4.1 Directe werkomgeving

De directe werkomgeving is het belangrijkste blootstellingsgebied waar de hoogste chroom(VI)-concentraties optreden in de vorm van totale blootstelling aan stof als gevolg van mechanische bewerking en manipulatie van de isolatiematerialen.

Het vrijkomen vindt zowel plaats **door directe werkprocessen** als **door secundaire werveling**, waarbij **met name de behandeling van beschadigde isolatiedelen en aangekoekte materialen kritieke momenten zijn**.

De vervuiling van gereedschappen, arbeidsmiddelen en persoonlijke beschermingsmiddelen leidt tot een voortdurende uitbreiding van het besmette gebied.

Primaire stofafgifte:

- Mechanische verwerking van isolatiematrassen
- Losmaken van aangekoekte materialen
- Omgaan met beschadigde isolatiedelen
- Reinigingswerkzaamheden op verontreinigde oppervlakken

Secundaire stofwerveling:

- Verplaatsingen van onderhoudspersoneel
- Lucht stroomt door ventilatie
- Trillingen veroorzaakt door draaiende eenheden
- Trillingen tijdens het gebruik van het gereedschap

Besmetting verspreid via arbeidsmiddelen:

- Gereedschappen en meetinstrumenten
- Reinigingsapparatuur en -materialen
- Mobiele hulpmiddelen (ladders, bordessen)
- Persoonlijke beschermende uitrusting

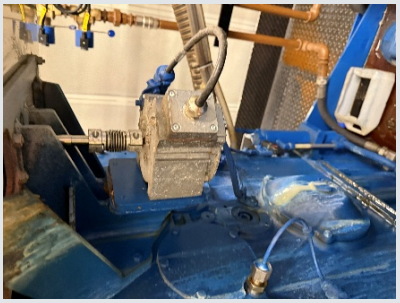

Fig.20 Omgeving met vezelstof


Fig.21 Omgeving met vezelstof


Fig.22 Omgeving met vezelstof

3.4.2 Uitgebreide werkruimte

De verspreiding van chroom(VI)-verontreiniging buiten het directe werkgebied vindt plaats via verschillende overdrachtsmechanismen, waarbij **met name persoonlijke transmissies en technische voortplantingsroutes (afb. 20-22, 23-25) een centrale rol spelen.**

Ontoereikende afbakening tussen verontreinigde en schone gebieden en ontoereikende ontsmettingsprocessen leiden tot een gestage uitbreiding van verontreinigde zones.

Het risico strekt zich dus ook uit tot personen die niet direct betrokken zijn bij de onderhoudswerkzaamheden.

Persoonlijke ontvoering:

- **Besmette werkkleding**
- **Schoeisel met aanhangend stof**
- **Bewegingspatronen van personeel tussen verschillende werkgebieden**
- **Onvoldoende ontsmetting bij het verlaten van het werkgebied**

Technische transmissiepaden:

- Ventilatiesystemen en luchtstromen
- Transportroutes van gereedschappen en materialen
- Kabel- en draadgeleiding
- Onderhoud toegangen en bussen

Organisatorische factoren:

- Gebrek aan afbakening van zwart-witgebieden
- Ontoereikende reinigingsconcepten
- Gebrek aan toegangsbeperkingen
- Ongemarkeerde contaminatiezones



Fig.23 Isolatie lekkage



Fig.24 Isolatie lekkage



Fig.25 Lekkage van vezelstof

3.4.3 Gevolgen voor het milieu

De milieueffecten van chroom(VI)-verontreiniging zijn zowel in de directe omgeving te zien door stofafzettingen en oppervlakteverontreiniging als in langdurige aantasting van bodem en grondwater. De hoge persistentie van chroom(VI)-verbindingen in combinatie met hun mobiliteit leidt tot een grootschalige verspreiding en accumulatie in verschillende milieucompartimenten. Een bijzonder probleem is de **professionele verwijdering van verontreinigde materialen** , die **speciale concepten en maatregelen vereist**.

Onmiddellijke milieuverontreiniging:

- **Afzetting van stof op externe oppervlakken**
- Binnenkomst in regenwaterafvoeren

- **Verontreiniging van bodemoppervlakken**
- **Verspreiding via openingen in gebouwen**

Milieueffecten op lange termijn:

- **Ophoping in bodemlagen**
- **Migratie naar grondwater**
- **Opname in de voedselketen**
- **Persistentie van chroom(VI)-verbindingen**

Problemen met verwijdering:

- **Besmette PBM's en schoonmaakmiddelen (Fig. 26)**
- **Verontreinigde isolatieresten (Fig. 27)**
- **Besmette gereedschappen en hulpmiddelen**
- **Verontreinigde verpakkingsmaterialen**
- **Stof van de grond**



Fig.26 Besmette PBM



Fig.27 Restanten van isolatie



Fig.28 Besmet gereedschap

3.4.4 Bijzondere risicofactoren

De overdracht van chroom(VI)-verbindingen wordt beïnvloed door een verscheidenheid aan externe en interne factoren die **de verspreiding van verontreiniging aanzienlijk kunnen vergroten. Weersinvloeden, aspecten van de arbeidsorganisatie** en **bouwkundige omstandigheden vormen een complex samenspel** dat de **verspreiding van verontreiniging bevordert. De combinatie van deze factoren vereist een holistische kijk en specifieke tegenmaatregelen voor elke werksituatie**.

Weersinvloeden:

- Windturbulentie door open poorten/ramen
- Thermische stromingen door temperatuurverschillen
- Vochteffect op stofdeeltjes
- Weersgerelateerde veranderingen in de luchtstroom

Organisatie van het werk:

- Tijdsdruk tijdens onderhoudswerkzaamheden
- Parallelle activiteiten
- Overdracht van diensten
- Noodsituaties

Structurele voorwaarden:

- Complexe plantgeometrie
- Moeilijk bereikbare plaatsen
- Ontoereikende afdichtingen
- Doorvoeringen en openingen

3.4.5 Metrologische registratie van de overdracht

De **systematische registratie en kwantificering van de overdrachtsprocessen** vereist een **uitgebreid meetprogramma** dat **zowel stationaire als persoonlijke metingen** omvat. De **combinatie van verschillende meetstrategieën** maakt het mogelijk om **kritische verspreidingspaden te identificeren** en de **effectiviteit van beschermende maatregelen te evalueren**.

Stationaire metingen:

- Metingen op vaste punten met gedefinieerde intervallen
- Continue bewaking van kritieke gebieden
- Langetermijnmetingen om trends vast te leggen
- Gradiëntmetingen voor voortplantingskarakteristieken

Persoonlijke afmetingen:

- Blootstellingsmetingen bij personeel
- Contaminatiemetingen op PBM's
- Veeg monsters van werkkleding af
- Meting van oppervlakteverontreiniging op lozingspunten

3.4.6 Economische impact

De **overdracht van chroom(VI)-verbindingen brengt** aanzienlijke directe en indirecte kosten **met zich mee**, variërend van **onmiddellijke uitgaven voor beschermende maatregelen** tot **follow-upkosten op lange termijn**.

Een holistische economische visie moet ook rekening houden met mogelijke aansprakelijkheidsrisico's en imago-schade van het bedrijf.

Directe kosten:

- Verhoogde reinigingsinspanning
- Aanvullende PBM-vereisten
- Speciale verwijdering
- Decontaminatie maatregelen

Indirecte kosten:

- Monitoring van de gezondheid op het werk
- Documentatie en verificatie
- Opleiding
- Kwaliteitsbewaking

Kosten op lange termijn:

- Corrigerende
- Aansprakelijkheid
- Schade aan het imago
- Verzekeringsaspecten



Fig.29 Ontsmetting



Fig.30 Ontsmetting



Fig.31 Afvoer

4. Discussie

4.1 Evaluatie van de meetresultaten

4.1.1 Analyse van het totale stof

- De chroom(VI)-concentraties in de directe werkomgeving liggen 2,33-6,99 µg/m³, ruim boven alle nationale en internationale grenswaarden
- Zelfs met de meest conservatieve aanname (10% e-stof) wordt de tolerantiewaarde meer dan twee keer overschreden
- De mogelijke zevenvoudige overschrijding in de aanname van 30% (inhaleerbare fractie) is bijzonder kritisch
- De hoge totale belasting van 47 ppm in het stof duidt op intensieve chromaatvorming op de hete deeloppervlakken en de binnenoppervlakken van de isolatie-elementen
- Het vrijkomen van stof en afzettingen moeten daarom als chroom(VI) verontreinigd worden beschouwd

4.1.2 Achtergrondbelichting

- De gemeten achtergrondconcentraties (0,526-0,556 µg/m³) zijn minimumwaarden; een overschrijding van de beoordelingsmaatstaf van 1 µg/m³ kan niet worden uitgesloten
- Niet-betrokken personen worden ook blootgesteld aan relevante blootstelling
- De verticale verdeling zorgt voor een effectieve verspreiding van het stof door het werkgebied
- Het gevaar strekt zich uit tot het gehele containergebied

4.1.3 Beoordeling van overschrijdingen van grenswaarden

- Systematische overschrijding van alle nationale grenswaarden
- Bijzondere relevantie van de EU-brede minimaliseringsverplichting
- Onmiddellijke noodzaak van actie voor technische beschermingsmaatregelen
- Noodzaak van onmiddellijke organisatorische maatregelen

4.2 Vergelijking met andere onderzoeken/waarschuwingen

Er zijn (natuur)wetenschappelijke en technische studies over chromaatvorming beschikbaar

Fabrikanten waarschuwen nu voor de vorming van calciumchromaat in combinatie met calciumhoudende hogetemperatuurisolatie

4.2.1 Vergelijkbare blootstellingsscenario's

- Vergelijkbare belastingspatronen tijdens isolatiewerkzaamheden op hogetemperatuursystemen
- Consistente waarnemingen van stofverspreiding
- Vergelijkbare overdrachtsproblemen
- Bevestiging van de relevantie van het probleem

4.2.2 Aanvullende bevindingen

- Hoge concentraties in het onderhavige geval

- Sterke spreiding in het werkgebied
- Intensieve chromaatvorming
- Aanzienlijke overschrijdingen van de grenswaarden

4.2.3 Nieuwe bevindingen

- Gedetailleerde registratie van de verticale verdeling
- Kwantificering van de achtergrondblootstelling door filterpomp
- Systematische registratie van de verspreidingsroutes

4.2.4 Historische ontwikkeling van het probleem

De huidige veldstudie bevestigt dat **het chromaatprobleem ook zijn oorsprong vindt in de historische ontwikkeling van isolatiematerialen**.

Op het eerste gezicht leken de gebruikte materialen geschikt voor thermische isolatie, aangezien bij het bekijken van de gegevensbladen alleen factoren als temperatuurbestendigheid en thermische geleidbaarheid werden onderzocht.

De fabrikanten van isolerende stoffen en matten ontwikkelden coatings die de temperatuurbestendigheid van de basismaterialen aanzienlijk verhoogden.

Deze coatings hebben echter niets veranderd aan de mechanische belastingen waaraan de isolatie-elementen worden blootgesteld tijdens vollastbedrijf.

Het was dus slechts een kwestie van tijd voordat het gecoate materiaal bezweek onder thermische en fysieke belasting en de basiskern (glaskern) van de isolatieproducten blootlegde.

Hierdoor kwamen vervolgens de (aard)alkalische metaaloxiden vrij, die verantwoordelijk zijn voor de hoge oxidatie van de chroom(III)-verbindingen tot zeswaardige chroomverbindingen.

Bijzonder kritisch is de bevinding dat **chromaatvorming zelfs kan optreden bij de isolatie van hete delen die niet-chroom bevatten als gevolg van wapening met roestvrijstalen componenten**, aangezien **alle noodzakelijke componenten** (calciumoxide uit het isolatiemateriaal en chroom(III)oxiden uit de roestvrijstalen draadversterkingen) **voor chromaatvorming al in het isolatiemateriaal zelf aanwezig zijn**.

Deze historische ontwikkeling verklaart dus ook de hoge chroom(VI)-concentraties die in de huidige studie zijn aangetroffen en onderstreept nogmaals de noodzaak om bij de ontwikkeling van nieuwe isolatiematerialen niet alleen rekening te houden met de thermische eigenschappen, maar ook met het chemische gedrag op lange termijn; Figuren 32-34 tonen een wereldwijd probleem met calciumhoudende isolatiematerialen uit verschillende sectoren.


Fig.32 Cr6-positief - minerale wol


Fig.33 Cr6-positieve "Microtherm"


Fig.34 Cr6-positieve "Superwool"

4.3 Methodologische beperkingen

4.3.1 Beperkingen in verband met metingen

- Beperkt aantal meetpunten of swabtesten
- Tijdelijke meetperiode

4.3.2 Analytische onzekerheden

- Aannames over de e-stoffractie, maar realistische schatting
- Vereenvoudigde modellering van de spread, maar gebaseerd op jarenlange ervaring
- Invloed van omgevingscondities

4.3.3 Overdraagbaarheid van resultaten

- Specifieke containersituatie
- Bijzondere klimatologische omstandigheden
- Beperkt aantal meetsituaties

4.4 Betekenis voor de praktijk

4.4.1 Relevantie voor gezondheid en veiligheid op het werk

- Onmiddellijke noodzaak van actie bij vergelijkbaar werk
- Behoefte aan uitgebreide beschermingsconcepten
- Herziening van bestaande werkinstructies
- Aanpassing van risicobeoordelingen

4.4.2 Technische gevolgen

- Ontwikkeling van verbeterde insluitingssystemen
- Optimalisatie van de afzuigtechnologie
- Aanpassing van werkprocedures
- Ontwikkeling van speciaal gereedschap

4.4.3 Organisatorische impact

- Implementatie van strengere toegangsbeperkingen
- Invoering van uitgebreide documentatieverplichtingen
- Intensivering van de opleiding van medewerkers
- Versterking van het toezicht op de gezondheid op het werk

4.4.4 Economische aspecten

- Hogere kosten voor beschermende maatregelen
- Verlengde werktijden als gevolg van beschermende maatregelen
- Bijkomende documentatiekosten
- Hogere verwijderingskosten

4.5 Toekomstige onderzoeksbehoeften

4.5.1 Metrologische aspecten

- Ontwikkeling van verbeterde meetmethoden
- Systemen voor continue monitoring
- Geoptimaliseerde bemonsteringsstrategieën
- Geautomatiseerde meetmethoden

4.5.2 Analytische ontwikkeling

- Verbeterde bepaling van E-stof
- Preciezere dispersiemodellen
- Validatie van meetmethoden
- Standaardisatie van analysemethoden

4.5.3 Preventiestrategieën

- Alternatieve isolatiematerialen
- Geoptimaliseerde werkprocedures
- Verbeterde beschermingsconcepten
- Innovatieve ontsmettingsmethoden

4.5.4 Studies op lange termijn

- Effecten van chronische blootstelling
- Overdracht naar het milieu
- Persistentie van contaminatie
- Kosten

5. Aanbevelingen voor actie

Het actiegebied schetst de voorgeschreven maatregelen die moeten worden toegepast als contact met zogenaamde "CMR-stoffen" (kankerverwekkende, mutagene en reprotoxische stoffen) door werknemers niet kan worden uitgesloten en wordt voornamelijk geïmplementeerd in nationale regelgeving door EU-richtlijn 2004/37/EG.

De volgende punten zijn afgeleid van de Duitse verordening inzake gevaarlijke stoffen (GefStoffV) en verschillende technische regels voor gevaarlijke stoffen (TRGS).

De lijst toont duidelijk de immense invloed die de aanwezigheid van zeswaardige chroomverbindingen zal hebben op eerdere werkprocessen.

Als de bevindingen van deze veldstudie worden begrepen, staat de hele energieproducerende industrie voor een ware paradigmaverschuiving.

Opgemerkt moet worden dat alle maatregelen alleen rekening houden met de beheersing van de verontreiniging die reeds heeft plaatsgevonden om het aantoonbaar bestaande risico voor mens en milieu te beheersen en verdere schade te voorkomen.

Op lange termijn moet de zogenaamde "minimaliseringseis" worden toegepast, d.w.z. **dat gevaarlijke stoffen moeten worden vervangen door stoffen die minder gevaarlijk zijn of in het beste geval helemaal niet gevaarlijk** zijn (vervanging (5.2.1)).

Aangezien chromaten niet aanwezig zijn vóór de inbedrijfstelling van de thermisch geïsoleerde systemen, maar alleen tijdens en na de inbedrijfstelling, ligt de prioriteit op de lange termijn bij het vervangen van de bron van chromaatvorming, d.w.z. de calciumhoudende isolatie. Calciumvrije isolatiesystemen zijn al beschikbaar en hebben betere eigenschappen dan de huidige stand van de techniek.

Een andere benadering zou het gebruik van hete onderdelen zijn die geen chroom bevatten, maar een dergelijke verandering zou alleen in nieuwe gebouwen kunnen worden aangebracht als onderdeel van verdere ontwikkelingen in de motortechnologie.

Vanuit het perspectief van vandaag is de enige optie voor de duizenden en duizenden installaties die al in bedrijf zijn, het verwijderen van de huidige isolatiematerialen, een grondige reiniging van de installatie (ontsmetting) en de daaropvolgende toepassing van genoemde (aard)alkalische metaaloxidevrije isolatie.

Ook al zijn deze nieuwe isolatiesystemen voor het eerst iets duurder in aanschaf en brengt de ontsmetting en afvoer van de oude thermische isolatie ook op korte termijn extra kosten met zich mee, deze kosten - zelfs als ze niet gepland zijn - waarschijnlijk nog steeds goedkoper dan het permanent blijven exploiteren van de getroffen systemen na de hieronder genoemde maatregelen.

In dit opzicht zal de geschiedenis zich herhalen, zoals die al bekend is uit de tijd van asbestverwijdering. Voor het volledige pakket aan maatregelen, de planning, uitvoering en monitoring ervan, is het aan te raden om toezicht te houden door deskundige veiligheidsfunctionarissen die ook de nodige contacten hebben met externe bedrijven die nodig zijn voor de uitvoering van de maatregelen.

5.1 Onmiddellijke maatregelen

5.1.1 Technische maatregelen

Behuizing en afzuiging

- Installatie van volledig afgesloten werkruimtes
- Onderdruk behoud met minimaal 20 Pascal
- Meertraps filtersystemen met HEPA H13/H14
- Luchtverversingssnelheid > 10 keer per uur
- Gescheiden toevoer- en afvoerluchtkanalen

Minimalisatie van stof

- Gebruik van stofarme ontmantelingsprocessen
- Bevochtiging van de werkruimtes waar mogelijk
- Speciaal gereedschap voor zacht werk
- Stofafzuiging direct op de plaats van oorsprong
- Regelmatige reiniging van het oppervlak

Inrichting van de werkplek

- Zwarte en witte gebieden instellen
- Professionele ontsmettingsluizen
- Gescheiden transportroutes voor materialen
- Markering van besmette gebieden
- Speciaal ingerichte reinigingszones

5.1.2 Organisatorische maatregelen

Toegangsbeperkingen

- Toegang alleen voor getraind personeel
- Documentatie van alle aanwezige personen
- Beperking in de tijd van de werktijd
- Rotatieprincipe voor blootgestelde activiteiten
- Coördinatie van parallel werk

Werkstromen

- Gedetailleerde werkinstructies
- Risicobeoordeling voor elke stap van het proces
- Bepaling van noodprocedures
- Regelmatige monitoring van de werkplek
- Documentatie van alle activiteiten

Hygiënemaatregelen

- Strikte scheiding van werk- en privékleding
- Regelmatige verandering van beschermende kleding
- Douchegelegenheid na het werk
- Verbod op eten/drinken op de werkplek
- Regelmatige reiniging van de werkgebieden

5.1.3 Persoonlijke beschermingsmiddelen

Ademhalinggerelateerd

- Volgelaatsmaskers met blaasondersteuning
- P3-filter voor zwevende deeltjes
- Regelmatig onderhoud en testen
- Aanpassing, strakke pasvormtest voor elk gebruik

Beschermende kleding

- Wegwerp beschermende pakken Categorie III Type 5/6
- Chemisch bestendige handschoenen
- Speciale veiligheidsschoenen met overjassen
- Veiligheidsbril met zijbescherming
- Hoofd- en nekbescherming

Accessoires

- Communicatie
- Persoonlijke meetapparatuur
- Uitrusting voor noodgevallen
- Schoonmaakmateriaal
- EHBO-doos

5.2 Maatregelen op lange termijn

5.2.1 Vervanging

Alternatieve materialen

- Ontwikkeling van chroomvrije isolatieoplossingen
- Gebruik van Cleansulation producten
- Innovatieve bevestigingssystemen
- Verbeterde coatingtechnologieën
- Mechanisch stabielere constructies

Wijzigingen in het ontwerp

- Optimalisatie van isolatiegeometrieën
- Verbeterde toegankelijkheid voor onderhoud
- Modulair ontwerp
- Geïntegreerde monitoringsystemen
- Temperatuur-geoptimaliseerd ontwerp

Proces aanpassingen

- Herziening van onderhoudsintervallen

- Preventieve vervanging van bedreigde onderdelen
- Optimalisatie van bedrijfsparameters
- Aanpassing van reinigingsprocedures
- Ontwikkeling van speciaal gereedschap

5.2.2 Toezicht

Metrologische monitoring

- Continue luchtmetingen
- Regelmatige wistests
- Persoonlijke dosimetrie
- Biomonitoring
- Materiaalanalyses

Documentatie

- Digitaal onderhoudsbeheer
- Volledige documentatie over blootstelling
- Registratie van materiële wijzigingen
- Registratie van incidenten
- Langdurige archivering van alle gegevens

Kwaliteitsbewaking

- Regelmatige audits
- Certificering van processen
- Herziening van de beschermende maatregelen
- Validatie van meetmethoden
- Controle van documentatie

5.2.3 Kwalificatie

Basisopleiding

- Potentieel gevaar van chroom(VI)
- Maatregelen op het gebied van gezondheid en veiligheid op het werk
- Gedrag in noodgevallen
- Documentatieverplichtingen
- Rechtsgrondslag

Hands-on training

- Omgang met PBM's
- Decontaminatie proces
- Bemonstering technieken
- Reinigingsmethoden

- Oefeningen voor noodgevallen

Hoger onderwijs

- Regelmatige bijscholingen
- Updates over nieuwe regelgeving
- Uitwisseling van ervaringen
- Workshops over beste praktijken
- Gecertificeerde trainingen

5.2.4 Preventie

Gezondheidszorg

- Regelmatige arbeidsgeneeskundige keuringen
- Programma's voor biomonitoring
- Psychologische ondersteuning
- Ergonomisch ontwerp van de werkplek
- Beheer van gezondheid op het werk

Milieubescherming

- Verwijdering concepten
- Minimalisering van emissies
- Weg
- Strategieën voor recycling
- Monitoring van het milieu

Economie

- Kostenraming van de maatregelen
- Investering
- Verzekeringsaspecten
- Minimalisering van aansprakelijkheid
- Bescherming van het beeld

6. Conclusies

De huidige veldstudie over de blootstelling aan chroom(VI) tijdens de verwijdering van met chromaat verontreinigde isolatiematrassen van gasmotoren en andere energieopwekkende apparatuur leidt tot een aantal fundamentele conclusies:

6.1 Blootstellingsrisico's

De vastgestelde meetwaarden tonen een systematische en significante overschrijding van de toepasselijke grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling aan:

- **De gemeten chroom(VI)-concentraties van 2,33-6,99 µg/m³ in het directe werkgebied overschrijden vele nationale grenswaarden meermaals**
- **Zelfs bij de achtergrondbelasting (0,526-0,556 µg/m³, minimumwaarden) kan een overschrijding van de beoordelingsmaatstaf van 1 µg/m³ niet worden uitgesloten**
- **Het gevaar treft niet alleen direct blootgestelde werknemers, maar ook mensen in de uitgebreide werkomgeving**
- **De verticale verdeling van de belasting toont een effectieve verspreiding van het verontreinigde stof over het gehele werkgebied**

6.2 Systemische problemen

De veldstudie brengt fundamentele zwakke punten in de eerdere praktijk aan het licht:

- **De historische ontwikkeling van isolatiematerialen heeft geleid tot een inherent probleem**
- **De combinatie van calciumhoudende isolatiematerialen met chroomhoudende componenten creëert ideale omstandigheden voor chromaatvorming**
- **Mechanische belasting en veroudering verhogen de vorming en daaropvolgende afgifte van chromaten**
- **De bestaande beschermingsconcepten zijn ontoereikend voor de geïdentificeerde gevaren**

6.3 Risico's van overdracht

De veldstudie laat meerdere manieren van overdracht zien:

- **Primaire stofvrijlating door directe werkzaamheden aan de isolatie**
- **Secundaire contaminatie door oproeren en verspreiden**
- **Overdracht via gereedschappen, arbeidsmiddelen en persoonlijke beschermingsmiddelen**
- **Verspreiding via ventilatiesystemen en structurele openingen**

6.4 Economische implicaties

De noodzakelijke maatregelen hebben een aanzienlijke economische impact:

- **Directe investeringen in beschermingsmiddelen en technische faciliteiten**
- **Meer personeel en meer tijd nodig voor onderhoudswerkzaamheden**
- **Bijkomende kosten voor monitoring en documentatie**

- **Langetermijnuitgaven voor vervanging en preventie**

6.5 Paradigmaverschuiving nodig

De resultaten illustreren de noodzaak van een fundamentele heroverweging:

- **Eerdere praktijken zijn niet meer actueel en juridisch twijfelachtig**
- **Onmiddellijke technische en organisatorische maatregelen zijn essentieel**
- **Er is geen alternatief voor langdurige vervanging van chromaatvormende materialen**
- **Er moeten holistische preventiestrategieën worden ontwikkeld**

7. Aanbevelingen

Op basis van de onderzoeksresultaten worden de volgende aanbevelingen gedaan:

7.1 Strategische oriëntatie

De industrie moet een gecoördineerde aanpak volgen:

- **Ontwikkeling van een gemeenschappelijke strategie om het chromaatprobleem aan te pakken**
- **Opstellen van industrienormen voor niet-chromaatvormende isolatieoplossingen**
- **Oprichting van competentienetwerken voor de uitwisseling van ervaringen**
- **Gecoördineerde initiatieven op het gebied van onderzoek en ontwikkeling**

7.2 Technische innovatie

Focus op toekomstbestendige oplossingen:

- **Versnelde ontwikkeling van (aard)alkalische metaalvrije of laag-alkalische metalen isolatiematerialen**
- Optimalisatie van verwerkings- en assemblagetechnieken
- **Integratie van monitoringsystemen in nieuwe installatieconcepten**
- **Verbetering van ontsmettings- en reinigingstechnologieën**

7.3 Organisatorische herschikking

Aanpassing van de operationele structuren:

- **Implementatie van systematische risicobeoordelingen**
- **Opzetten van beroepsopleidings- en kwalificatieprogramma's**
- **Opzetten van effectieve documentatie- en verificatiesystemen**
- **Ontwikkeling van specifieke nood- en interventieplannen**

7.4 Regelgevende maatregelen

Aanbevelingen voor het regelgevend kader:

- **Aanscherping van monitoring en controle**
- **Standaardisatie van meetmethoden en documentatie**
- **Harmonisatie van internationale grenswaarden en normen**
- **Ontwikkeling van specifieke richtlijnen voor de industrie**

7.5 Preventieve strategieën

Preventiebenaderingen op lange termijn:

- **Systematische vervanging van chromaatvormende materialen (isolatie, afdichtingen, pasta's)**

- **Implementatie van concepten voor preventief onderhoud**
- **Ontwikkeling van verbeterde strategieën voor gezondheid en veiligheid op het werk**
- **Opzetten van continue verbeteringsprocessen**

7.6 Noodzaak van onderzoek

Geïdentificeerde onderzoeksinteresses:

- **Verdere ontwikkeling van meettechnologie en analysemethoden**
- **Onderzoek naar langetermijneffecten en chronische effecten**
- **Optimalisatie van ontsmettings- en reinigingsmethoden**
- **Ontwikkeling van innovatieve beveiligingsconcepten**

7.7 Economische aspecten

Aanbevelingen voor kostenoptimalisatie:

- **Ontwikkeling van kosteneffectieve beschermingsmaatregelen**
- **Optimalisatie van workflows en processen**
- **Gebruik van synergie-effecten tijdens de implementatie**
- **Rekening houden met levenscycluskosten bij investeringen**

Deze aanbevelingen moeten worden opgevat als richtsnoeren voor de toekomstige ontwikkeling van de industrie en moeten als basis dienen voor de ontwikkeling van specifieke actieplannen.

8. Bibliografie (bronnen/referentie)

Zie document "Veiligheid voor mens en milieu" van 06.12.2024

Aanvullend: TRGS 561, versie van 4 mei 2026; SEEF B.V., kennisbank over Cr(VI)-analyse in thermische isolatie, seefbv.com, geraadpleegd november 2026.

9. Test- en meetmethode (analyse van het totale stofgehalte)



9.1 Chroom(VI) uitstrijkje Test ST01



9.2 Cr(VI) testkit TK01



9.3 Cr(VI) Laboratoriumanalyse

9.1 "Chroom(VI) snelle tests"

In alle voorgaande onderzoeken en onderzoeken zijn zogenaamde "snelle tests" gebruikt voor de eerste detectie en identificatie van chroom(VI)-verbindingen.

Bij deze procedure wordt een in DPC gedrenkte testtip die hieronder wordt beschreven, afgeveegd of gedept over een te testen oppervlak om een colorimetrische reactie op te wekken in aanwezigheid van chroom(VI).

De werking van de sneltests, die door verschillende bedrijven worden aangeboden (bijv. product "HexChecks" (Figure Engineering Ltd. USA) of product "TK11" (MATInspired NL)), is gebaseerd op een "colorimetrische methode"; de testprocedure maakt gebruik van een chemische reactie met 1,5-difenylcarbazide (DPC), die in aanwezigheid van chroom(VI) oxideert tot 1,5-difenylcarbazon en een violette tot roze kleuring produceert.

De intensiteit van de kleur is evenredig met de chroom(VI) concentratie en kan visueel of met een colorimeter worden beoordeeld.

De testresultaten zijn vrij betrouwbaar, **vals-positieve resultaten zijn zeer zeldzaam, maar vals-negatieve resultaten wel, omdat het kan gebeuren dat stof en afzettingen, maar ook olieachtige oppervlakken, de reactie tussen chroom(VI) en de DPC tijdens het wattenstaafje kunnen voorkomen**.

Sinds 2023 biedt het Nederlandse bedrijf "SEEF B.V." een speciaal voor chromaat vervuild thermisch isolatiesysteem "Chromaat Speedtest" aan, dat ook is ontworpen volgens de bovengenoemde methoden, maar iets minder gevoelig is voor stofafzettingen, maar deze toch niet volledig kan voorkomen.

Veldtests hebben aangetoond dat de **uitstrijkjes een "echt positieve" treffer hebben van meer dan 99%** en een **"vals-negatieve" ratio van minder dan 50%,** dus is besloten om deze testmethode in de toekomst te behouden.

Het is voordelig om bij de selectie van testmethoden te vermelden dat SEEF een mobiel laboratorium heeft ontwikkeld voor relatief eenvoudige maar diepere Cr6-analyse, dat ook stationair kan worden gebruikt en een relatief snelle laboratoriumachtige test voor materiaalmonsters biedt.

9.2 "Mobiel laboratorium" Cr(VI) testkit TK01 (SEEF B.V.)

De TK01 Chroom-6 testkit maakt een snelle en betrouwbare analyse van chroom-6 ter plaatse mogelijk en is ontwikkeld voor de meting van calciumchromaat in onder andere isolatie, montagepasta's, smeermiddelen en RVS onderdelen.
De analyse vindt plaats binnen 45 minuten en maakt de gelijktijdige analyse van 6 monsters

mogelijk.
Het gepatenteerde proces voorkomt de reductie van chroom-6 tot chroom-3 tijdens het analyseproces en minimaliseert tegelijkertijd de interferentie van zink en aluminium.

Kleinere materiaalmonsters of zogenaamde wipe swabs worden voorbehandeld met bepaalde chemische stoffen en verwarmd in reageerbuisjes, zodat een bijna 100% veilige colorimetrie kan worden uitgevoerd.

In de praktijk kunnen bijvoorbeeld bij verdere tests volgens deze procedure bijvoorbeeld sterk met stof bedekte of anderszins vervuilde gebieden ondanks een negatieve sneltest als positief en dus chromaathoudend worden gedetecteerd.

9.3 Laboratoriumanalyse (veegtest | Materiaal monsters) (SEEF B.V.)

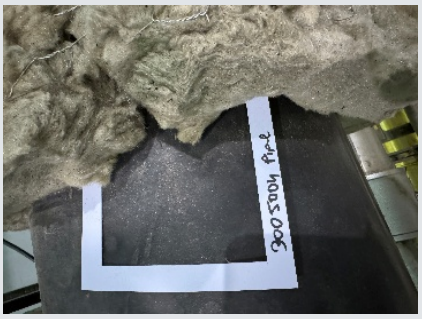
Bij de zogenaamde "veegtest" wordt een ruimtelijk afgebakend gebied van 10 x 10 cm diagonaal en horizontaal met een doek afgeveegd om het oppervlaktestof te absorberen en in het doek te binden.

Als het doek vervolgens niet wordt onderzocht met behulp van de mobiele laboratoriummethode, wordt het naar het laboratorium gestuurd voor analyse van de chroom(VI)-belasting voor het geteste gebied. Een paar dagen later werd de exacte besmetting in ppm | mg/kg schriftelijk; Het veegmonster wordt ook getest op andere zware metalen.

In het geval van materiaalmonsters worden monsters van vezelstof of andere afzettingen naar het laboratorium gestuurd en vervolgens geanalyseerd en geëvalueerd volgens dezelfde procedure als bij de veegtest.



9.3 Test wissen



9.3 Test wissen


9.3 Testanalyse wissen met TK01



9.3 Materiaal monster



9.3 Materiaal monster


9.3 Analyse van materiaalmonsters met TK01

10. Test- en meetmethode (achtergrondbelasting)



10.1 Bemonstering apparaat


10.1 Pompende kop


10.1 Meetprincipe

10.1 "Bemonsteringsapparaat SG 10-2 (GSA)"

Het **SG10-2 bemonsteringsapparaat** incl. oplader voor **de persoonlijke** en **stationaire** bemonstering van gevaarlijke stoffen tot 12 l/min volgens EN 481.

Het **SG10-2 bemonsteringsapparaat** is ontwikkeld voor het meten van gevaarlijke stoffen, vooral wanneer **grote volumestromen** nodig zijn.

De SG10-2 biedt een debiet van 1-12 l/min en maakt zo aanzienlijk kortere meettijden mogelijk.

De verschillende door IFA gelicentieerde bemonsteringskoppen maken het mogelijk om inhaleerbaar stof (**E-stof, totaal stof**) en/of de alveolaire stoffractie (A-stof, fijnstof) te meten.

Voor de bepaling van chroom(VI)-verbindingen in de lucht die we inademen, is een volumedebiet van 10 l/min ingesteld.

De metingen werden uitgevoerd op basislagers van de DGUV (Duitse sociale ongevallenverzekering) in overeenstemming met informatie 213-505 als erkende meetmethode voor het bepalen van de concentratie zeswaardig chroom in de lucht in werkruimtes.

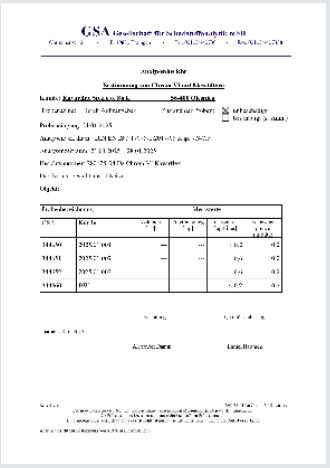
Een paar dagen nadat het in de analyseoplossing opgeloste filter is verzonden, wordt het resultaat gegeven in microgrammen/filters, gevolgd door conversie en evaluatie (totale hoeveelheid lucht, afgeleid van deze microgram/kubieke meter).



10.2 Opgelost filter in oplossing



10.2 Analyse oplossing



10.2 Certificaat van analyse

11. Vooruitzichten en verder onderzoek

11.1 Status van deze veldstudie

De huidige veldstudie is de basisreferentiestudie over het chroom(VI)-probleem in isolatie bij hoge temperaturen. Het vormt de wetenschappelijke en methodologische basis voor alle verdere onderzoeken. Toekomstige metingen en empirische waarden worden als aanvullende gegevensverzameling vastgelegd in de vorm van een systematische meetresultatentabel, waarbij de hier vastgelegde methoden en parameters als standaard dienen.

11.2 Representativiteit en overdraagbaarheid

Er moet uitdrukkelijk op worden gewezen dat de onderzochte MWM-motor de eerste eenheid was die werd geanalyseerd met behulp van de modernste meettechnologie. Het is opmerkelijk dat deze motor een relatief kleine hoeveelheid textielisolatie heeft in vergelijking met andere fabrikanten. Veel andere motorfabrikanten gebruiken aanzienlijk meer textielisolatietechnologie, wat mogelijk tot nog hogere belastingen kan leiden.

11.3 Uitgebreide bevindingen

Naast de algemene tests werden ook significante chroom(VI)-concentraties gedetecteerd in verwijderbare metalen cassettes van andere hete motoronderdelen. Een duidelijk patroon is te zien in gebieden waar calciumhoudende isolatiematerialen met luchttoevoer ("zuurstof-open") zijn geïnstalleerd. Deze waarneming ondersteunt de theoretische beschouwingen over het vormingsmechanisme van chromaten.

11.4 Automobielsector

Eerste vooronderzoeken hebben al chromaten gedetecteerd in de motorruimte van verschillende automodellen (vooral Mercedes en Audi). Verdere specifieke studies worden momenteel voorbereid voor dit doel. De mogelijke implicaties van deze bevindingen voor de automobielsector zijn het onderwerp van lopende onderzoeken.

11.5 Maatschappelijke relevantie

De omvang van het probleem wordt vooral duidelijk wanneer men de uiteenlopende toepassingsgebieden van de betrokken motoren in aanmerking neemt. Aggregaten van het bestudeerde type zijn onder meer te vinden in:

- Ziekenhuizen (noodgeneratoren)
- Openbare gebouwen
- Liners
- Centrales
- Industriële installaties

Dit onderstreept de noodzaak van verder systematisch onderzoek en preventieve maatregelen.

11.6 Vooruitzichten

De beschikbare bevindingen markeren slechts het begin van een uitgebreide inventarisatie. De geïdentificeerde

blootstellingsrisico's en de mogelijke gevolgen ervan voor de veiligheid op het werk en de volksgezondheid vereisen verder gedetailleerd onderzoek. Op basis van de hier ontwikkelde methoden en normen worden verdere toepassingsgebieden en scenario's systematisch geanalyseerd.

De resultaten van deze veldstudie suggereren dat een sectoroverschrijdende herbeoordeling van het gebruik van calciumhoudende hogetemperatuurisolatie dringend nodig is. De bescherming van blootgestelde werknemers en de ontwikkeling van veilige alternatieven moeten op de voorgrond staan.

11.7 Verdere documentatie

Alle daaropvolgende evaluaties zullen op basis van deze gehele uitwerking worden uitgevoerd en verschillen in noten 2.1 (werksituatie en omgeving, toestand van de isolatie), 2.2 (meetmethoden en uitvoering), alsmede 2.2.2 (totale stofanalyse), alsmede de meetresultaten; Alle andere informatie kan uit dit hoofdonderzoek worden afgeleid.

Versiegeschiedenis

Versie	Datum	Wijziging
1.0	januari 2025	Eerste uitgave
1.1	november 2026	Nieuwe opmaak in het ontwerpsysteem van de Chromaatexperts; schrijfwijze chroom(VI) geüniformeerd. Actualisering: beoordeling aan de beoordelingsmaatstaf van 1 µg/m³ (TRGS 910, TRGS 561), geen acceptatieconcentratie; luchtmeetwaarden (standaardmethode GSA) als minimumwaarden aangeduid, met gegevens van SEEF B.V. over de terugvinding; Britse grenswaarde gecorrigeerd (EH40: 0,01 mg/m³); Nederlandse grenswaarde volgens het Arbobesluit; TRGS 561 in de versie van 4 mei 2026 opgenomen; kruisverwijzingen omgezet naar veldstudie en veldwaarnemingen; technische regels voor gevaarlijke stoffen.