Het over het hoofd geziene ingrediënt

Hoe een onopvallend metaaloxide een wereldwijde breuklijn in arbeids- en milieubescherming veroorzaakt

door Markus Sommer

Długołęka, oktober 2026

Versie 1.11 · oktober 2026

Over de auteur

Ik kom uit een isoleerdersfamilie. Bij ons stond het beroep met de geboorte vast. Omdat ik als vakman niet bijzonder bruikbaar was, zette men mij op het kantoor, en daar werd ik verantwoordelijk voor de documenten. In de jaren negentig schreef ik onze gegevensbladen nog met de schrijfmachine. Wij wilden de samenstellingen volledig noemen, dus typte ik de bestanddelen van glasweefsels, minerale en basaltwollen keer op keer uit: siliciumdioxide, aluminiumoxide, calciumoxide.

Mijn vader werd in 1988 zelfstandig als fabrikant van textiele isolaties. Drie jaar later stierf hij op 59-jarige leeftijd aan asbestose. Hij had nooit direct met asbest gewerkt, maar wel in ruimten waarin eerder asbestisolatiematten waren vervaardigd. Deze ruimten had niemand gesaneerd.

Op 9 augustus 2019 zat ik in een café in Oostenrijk. De dag ervoor hadden wij in de buurt bij een motorenfabrikant een prototype van een nieuwe thermische isolatie voorzien. Om 10:00 uur kreeg ik van hem een mail met de titel „Chromium-6 alert". Aan in bedrijf zijnde motoren waren afzettingen gevonden die positief op chroom(VI) waren getest.

Het begrip chroom(VI) kende ik tot dan toe alleen uit de film „Erin Brockovich".

Eén zin zag ik die dag over het hoofd. Of onze producten calcium bevatten, werd ons gevraagd, want calcium zou de vorming van chroom(VI) bevorderen.

Calcium. Een bestanddeel waarvan ik de naam jarenlang vaak met de schrijfmachine in onze gegevensbladen heb geschreven. Chemie was nooit mijn favoriete vak, maar chroom(VI) en calcium pasten voor mij chemisch eenvoudigweg niet bij elkaar. Mijn nieuwsgierigheid was gewekt en ik begon te zoeken. En ik vond het verband tussen chroom(VI) en calcium, het over het hoofd geziene ingrediënt.

Markus Sommer

Inleiding

Hogetemperatuurisolatiematerialen bevatten basische oxiden, vooral calcium- en natriumoxide. Beide zijn niet als kankerverwekkend ingedeeld en komen in geen enkele chroom(VI)-beschouwing voor. Boven ongeveer 300 °C reageren zij met de chroomoxidelaag van chroomgelegeerde hete onderdelen tot calcium- en natriumchromaat. Het resultaat zijn kankerverwekkende verbindingen die niemand heeft vervaardigd, besteld of ingebouwd.

Bij de afvalverbranding komen de basische oxiden uit het verbrandingsmateriaal zelf. Daar komen de sorbentia van de zure rookgasreiniging bij, kalkhydraat of natriumbicarbonaat, die echter pas in de rookgasweg na de ketel worden ingespoten en daarom het filterstof en de nageschakelde installatiedelen betreffen.

Als deel van de assen komen de oxiden uit het verbrandingsmateriaal op de chroomhoudende oppervlakken van roosterelementen en keteltrekken, en er ontstaan chromaten. Bij de volgende revisie worden deze assen opgewerveld en vrijgezet, tot nu toe vaak zonder beschermingsconcept.

Het gebruik van het verzamelbegrip „chroom(VI)" in plaats van de correcte vermelding van de chroom(VI)-verbindingen (chromaten) heeft ertoe geleid dat decennialang niet werd gevraagd welke verbinding daadwerkelijk aanwezig is en welke reactiepartner haar heeft doen ontstaan. Ontstaan is een bestand aan installaties, voertuigen, onderdelen en residuen dat de betrokken branches decennialang zal bezighouden: energieproductie, afvalverbranding, scheepvaart, voertuigbouw, onderhoud, sloop en afvalverwerking.

Voor de arbeids- en milieubescherming maakt het geen verschil of chroom(VI) gericht wordt gebruikt, in situ is ontstaan of op elk moment kan ontstaan. Wordt het aangetroffen of kan de aanwezigheid ervan niet worden uitgesloten, dan moet worden gereageerd. De risicobeoordeling valt in alle drie de gevallen gelijk uit.

Waar het ontstaan kan worden verhinderd, moet het worden verhinderd. In de hogetemperatuurisolatie bestaan substituten die de vormingsroute uitsluiten. Bij de afvalverbranding kan het ontstaan niet worden verhinderd. Daar blijft te erkennen dat zij plaatsvindt, en moeten arbeids- en milieubescherming dienovereenkomstig opnieuw worden bepaald.

De grondslag zijn niet alleen octrooien, studies en documenten van fabrikanten, maar ook eigen, sinds 2019 gedocumenteerde inspectiebezoeken, veeg- en materiaalmonsters aan motoren, energiecentrales, verbrandingsinstallaties, schepen, voertuigen en bouwmachines. Deze expertise benoemt chroom(VI) met zijn verbindingen, de daaruit volgende reactiepartners en de weg waarlangs zij zich verbinden. Juist dit ontstaan kan in de meeste gevallen worden verhinderd. En wanneer wij de verbindingen kennen, kunnen wij ze beheersen (afvalverbranding), verwijderen (isolatietechniek en sanering) of hun ontstaan van meet af aan verhinderen (substitutie). De vraag of men het niet had moeten zien, rijst; soms is het zicht echter ook belemmerd. Het asbestgebeuren zou ons een waarschuwend voorbeeld moeten zijn. Geschiedenis mag zich niet herhalen, maar zij doet het al.

Samenvatting van de wezenlijke bevindingen en hun consequenties

Deze vakanalyse is gericht op ondernemingen die chroomgelegeerde hete onderdelen isoleren, exploiteren, onderhouden of als afval verwerken, voertuigen onderhouden of verbrandingsresten hanteren. Zij zet uiteen hoe calcium- en natriumchromaat in deze gebieden in situ ontstaan, welke bewijzen daarvoor beschikbaar zijn en welke verplichtingen daaruit volgen.

De centrale bevinding

Een isolatie die in leveringstoestand geen chroom(VI) bevat, kan door haar eigen samenstelling bijdragen aan de vorming van chromaten tijdens het bedrijf. De vermelding dat een isolatiemateriaal in leveringstoestand geen chroom(VI) bevat, beantwoordt niet de vraag of het in zijn beoogde toepassing bijdraagt aan de chromaatvorming.

Ontstaan en reikwijdte

De vorming veronderstelt vier voorwaarden: een chroombron, in de regel de oxidelaag van chroomgelegeerd staal, een basisch oxide als reactiepartner, zuurstof en verhoogde temperatuur. Natriumchromaat ontstaat vanaf ongeveer 200 °C, calciumchromaat vanaf ongeveer 300 tot 350 °C. De reactiepartner komt uit calciumsilicaat, minerale en steenwol, E-glasweefsel, AES-wollen, vuurvaste massa's, montagepasta's of verbrandingsresten.

Daarmee is het thema niet aan één product en niet aan één fabrikant gebonden. Basische oxiden zijn een constitutief bestanddeel van de glassmelt waaruit de meeste hogetemperatuurvezels worden getrokken, en zij komen via oud glas, kalksteen en dolomiet onvermijdelijk in de receptuur terecht (paragraaf 13).

Stand van het bewijs

De vormingsroute is sinds 1939 in een octrooi beschreven en sindsdien meermaals experimenteel bevestigd, het laatst met het directe bewijs van calcium- en natriumchromaat aan het grensvlak tussen metaal en isolatiemateriaal (paragraaf 10). Fabrikanten en exploitanten hebben haar sinds 1990 in eigen mededelingen beschreven, beginnend met het Plant Service Bulletin van Babcock & Wilcox en voortgezet in serviceberichten en technische instructies uit de jaren 2020 tot 2025 (paragraaf 16). Daar komen eigen inspectiebezoeken, veeg- en materiaalmonsters sinds 2019 aan motoren, energiecentrales, verbrandingsinstallaties, schepen, voertuigen en bouwmachines bij (paragraaf 28). Deze drie strengen zijn onafhankelijk van elkaar en ondersteunen dezelfde bevinding.

Noodzaak tot handelen

De Duitse TRGS 561 eist het beschermingsregime reeds wanneer een belasting niet kan worden uitgesloten. Voor de risicobeoordeling is het niet van belang of het chromaat gericht werd gebruikt of in situ is ontstaan. Voorrang heeft de substitutie: hogetemperatuurisolatiematerialen zonder reactiebeschikbare alkali- en aardalkalioxiden zijn beschikbaar. Waar het ontstaan niet vermijdbaar is, bijvoorbeeld bij de afvalverbranding, blijft de erkenning van het proces en de daarop afgestemde organisatie van arbeids- en milieubescherming.

Praktische gevolgen

Bij demontage, onderhoud, reiniging, revisie, sloop en hergebruik kunnen de tijdens het bedrijf ontstane chromaten vrijkomen en mensen blootstellen. Het stof draagt het chromaat, en het verlaat met gereedschap, kleding en onderdelen het werkgebied.

Reiniging en decontaminatie werken voor de betreffende werkzaamheid. Zij nemen de materiaalgebonden oorzaak niet weg: blijft de calciumhoudende isolatie op het chroomgelegeerde hete onderdeel, dan ontstaan bij de volgende thermische belasting opnieuw chromaten (paragraaf 26).

Een analytische geruststelling is slechts zo betrouwbaar als de terugvinding van de methode aan deze matrix. Voor thermische isolatiematerialen bestaat geen genormeerde methode; overgedragen methoden leveren te lage uitslagen tot bijna nul. Een nulbevinding zonder vermelding van de terugvinding is geen bewijs van afwezigheid (paragraaf 17).

Wat is aangetoond en wat open blijft

Aangetoond zijn de vormingsroute, de betrokken verbindingen, de temperatuurbereiken en de kennisstand bij fabrikanten en exploitanten. Uit het totaalbeeld volgt dat het proces geen afzonderlijk geval is, maar bij elke combinatie van chroomgelegeerd heet onderdeel en basisch isolatiemateriaal kan optreden. Onbekend is de orde van grootte van het betrokken installatiebestand, omdat het nooit onder deze vraagstelling is geïnventariseerd.

Open zijn de kwantitatieve randvoorwaarden: de precieze temperatuurdrempels in het afzonderlijke geval, de invloed van het chroomgehalte van de legering, het vereiste gehalte aan calcium- of natriumoxide, kinetiek, vocht en aantal cycli. Deze vragen laten zich serieus niet in algemene zin beantwoorden, en daaraan zal op afzienbare termijn weinig veranderen. Zij betreffen de mate van de reactie, niet het bestaan ervan.

In standpunten van fabrikanten van isolatiematerialen en van autoriteiten wordt het niet definitief opgehelderde vormingsmechanisme af en toe aangevoerd om verdergaande consequenties uit te stellen. Dit onderscheid houdt tegenover het beschikbare bewijs geen stand.

Dat calcium- en natriumchromaat aan het grensvlak tussen chroomgelegeerd metaal en basisch isolatiemateriaal ontstaan, is in octrooien beschreven, experimenteel aangetoond, door fabrikanten in eigen mededelingen bevestigd en in het veld herhaaldelijk aangetroffen. Ter discussie staat de nauwkeurigheid van de randvoorwaarden, niet het proces zelf.

Daar komt een structurele bijzonderheid bij. Autoriteiten, ongevallenverzekeraars, fabrikanten- en schadelijkestoffenverenigingen werken sinds decennia nauw samen met de fabrikanten van de asbestsubstituten, en deze samenwerking heeft een omvangrijk en functionerend regelwerk voor asbestsanering en het deskundige gebruik van de vervangende materialen voortgebracht.

Dat dezelfde materiaalklassen buiten de gebouwisolatie, namelijk in de industriële hogetemperatuurisolatie, nu vanwege hun bestanddelen zelf in het blikveld van de chromaatvorming komen, is een ongemakkelijke ontwikkeling. Zij verandert niets aan het beschikbare bewijs.

Gebouw- en installatietechniek enerzijds en hogetemperatuurisolatie anderzijds moeten in toepassing, bedrijfstemperatuur en gevolgen worden gescheiden. Deze scheiding volgt uit het arbeids- en milieubeschermingsrecht, want beoordeeld wordt de werkzaamheid onder haar feitelijke omstandigheden en niet de materiaalklasse in het algemeen.

Een isolatiemateriaal dat in het gebouw zonder bedenkingen is, kan op een chroomgelegeerd heet onderdeel een chromaatprobleem veroorzaken.

Dit onderscheid moet worden erkend, ook wanneer het voor de betrokken fabrikanten en de toezichthoudende instanties ongemakkelijk is. Dat het pas nu wordt gemaakt, is gezien de materiaalgeschiedenis navolgbaar.

Mogelijk, zo toont deze vakanalyse duidelijk, was het eerder geweest.

Chemie liegt niet.

Inhoud

A. Het over het hoofd geziene thema 10

1. De kennis is al decennia gedocumenteerd 10
2. Het thema is in Europa aangekomen 11
3. Het chroom(VI)-misverstand: verzamelbegrip en afzonderlijke verbinding 12
4. Toepassingsgebieden en te verwachten chromaten 15
5. Waarom het thema niet wordt herkend 17
6. Waarom het een thema wordt 19

B. Grondslagen 20

7. Het octrooi van 1938/1939: calciumchromaat als bewust gevormd reactieproduct 20
8. Natrium: versneller, stuurstof en chromaatvormer 20
9. De chemische kern van de vormingsroute 20
10. Direct experimenteel bewijs: van het modelmengsel naar het grensvlak tussen metaal en isolatiemateriaal 21

C. Isolatietechniek: hete onderdelen en isolatie 24

11. Van het metallurgische roosten naar de hogetemperatuurisolatie 24
12. Betekenis voor E-glasweefsel, calciumsilicaat, minerale wol en aerogel-isolatiesystemen 25
13. Het dilemma van de fabrikanten van isolatiematerialen 26
14. Transport via de gasfase: Tatar/Gannon en van Leeuwen 27
15. Asbesttijdperk, asbestsubstitutie en chrysotiel 29
16. Waarschuwingen van fabrikanten en exploitanten: gedocumenteerde industriële stand van kennis 32
17. Analytiek: de methode beslist over de bevinding 36
18. Regelgeving vergeleken: één maatstaf, vijf uitwerkingen 38
19. Sneltestfilosofie en de Franse veldstudie 40

D. Voertuigen 42

20. Voertuigmotoren en motorruimten 42

E. Verbrandingsresten: assen, ketelafzettingen, crematie 45

21. Verbrandingsassen en ketelaanslag 45
22. Kennisstand in Europa over verbrandingsresten 46
23. Crematies en verder chroomhoudend verbrandingsmateriaal 47

F. Gezondheid, regelgeving, open vragen en conclusie 48

24. Gezondheidsgerelateerde en ecologische gevolgen van de chromaten 48
25. Industrieel vervaardigd of in situ gevormd: ongelijke controle 50
26. Vermeende remedies: neutralisatie, WD-40 en het „onschadelijke" chroom(III) 55
27. Chroom(III): de aangenomen eindtoestand 62
28. Eigen veldbevindingen 65
29. Wat nog onderzocht kan worden en wat niet meer open is 65
30. Rechtsgevolgen bij niet-naleving 66
31. Over de keuze van de geciteerde regelgeving 70
32. Orde van grootte: een gedachte-experiment 72
33. De verplichtingen in Frankrijk 74
34. De verplichtingen in Zwitserland 77
35. De verplichtingen in Duitsland 80
36. De verplichtingen in de Europese Unie 85
37. De verplichtingen in Nederland 89
38. De verplichtingen in het Verenigd Koninkrijk 94

39. Bijlage: isolatiematerialen met basische oxiden en de plaatsen waar zij zijn ingebouwd 104
40. Conclusie 107
41. Openbaarmaking 110
Bronnen 111

A. Het over het hoofd geziene thema

1. De kennis is al decennia gedocumenteerd

De vormingsroute van calcium- en natriumchromaat is niet nieuw. Zij is in octrooischriften, onderzoekswerken, documenten van fabrikanten en regelgeving over meer dan acht decennia gedocumenteerd. Het volgende overzicht noemt de in deze expertise geanalyseerde mijlpalen; de bewijzen staan in de aangegeven paragrafen.

Jaar	Bron	Gedocumenteerde inhoud
1939	Amerikaans octrooi US 2,176,687 (Udy) [1]	Gerichte vorming van calcium- en natriumchromaat uit een chroombron, kalk respectievelijk soda en zuurstof (paragraaf 7).
2002	Paoletti, het Duitse Forschungszentrum Karlsruhe [50]	Calciumchromaat uit chroomoxide en calciumoxide tussen 500 en 850 °C bij de afvalverbranding, afhankelijk van het zuurstofaanbod (paragraaf 21).
2004	Vehlow, Paoletti, Seifert, Sirini [51]	Presentatie van de resultaten inclusief thermogravimetrie van Cr_2O_3 en CaO met het product $CaCrO_4$ (paragraaf 21).
2010/2011	Toshiba, JP2011232021A [26]	Calciumchromaat aan het grensvlak tussen roestvast staal en calciumhoudende thermische isolatie; keramische scheidingslaag als preventieaanpak (paragraaf 11).
2015	Sayano et al. [11]	$CaCrO_4$ en Na_2CrO_4 experimenteel geïdentificeerd aan het grensvlak tussen chroomhoudend metaal en thermisch isolatiemateriaal (paragraaf 10).
2019	Correspondentie met de fabrikant [redacted] [52]	Calcium uit het isolatiemateriaal in reactie met chroomhoudend roestvast staal als oorzaak benoemd; optreden bij alle motortypen (paragraaf 16).
2019	Energy UK, Hexavalent Chromium Safety Bulletin Summary [92]	Calciumhoudend product, temperaturen boven 300 °C en chroomhoudend staal als de drie voorwaarden; aanname van de aanwezigheid op alle locaties van energiecentrales; tegelijk verwijzing naar WD-40 om te binden en af te vegen (paragraaf 26).
2019	Het Duitse Umweltbundesamt (UBA) [44]	Cr(VI) in alle 25 onderzochte modelassen uit crematieovens (paragraaf 23).
2019	Europees BBT-referentiedocument afvalverbranding [34]	Zeswaardig chroom als problematische stof wat betreft de uitloging uit bodemas (paragraaf 22).
2020/2021	Caterpillar; Caterpillar Energy Solutions / Zeppelin [12, 13]	Cr(VI)-bevindingen aan uitlaatsystemen en uitlaatisolaties; Franse vertaling van het bulletin en Duitstalige circulaire (paragraaf 16).
2023	Rockwool, Europese ProRox-instructie [16, 24]	Cr(VI)-afzettingen na hogetemperatuurgebruik, kankergevaar en beschermingsmaatregelen bij de demontage (paragraaf 16).

Jaar	Bron	Gedocumenteerde inhoud
2023	[redacted], [redacted] [25]	Chroomhoudend staal, calcium bijvoorbeeld uit isolatiemateriaal, zuurstof en temperaturen boven 400 °C (paragraaf 16).
2023	MAN Truck & Bus SE, servicebericht 8339SM [14]	Calciumchromaat benoemd; voor montagewerkzaamheden uitsluitend calciumvrije pasta's (paragraaf 16).
2025	Frenzelit, TechInfo 28 [15]	Calciumoxideaandelen van eigen isolatiematerialen; bijdrage van eigen producten aan de Cr(VI)-vorming onder de genoemde voorwaarden (paragraaf 16).
2025	[redacted], [redacted]; [redacted], [redacted] [22, 23]	Cr(VI)-vorming op hete uitlaatcomponenten; bevestigde contaminaties in de motorruimte (paragraaf 20).
2025	Passeron et al., Frankrijk [5]	Colorimetrische sneltests zien laboratoriumanalytisch aangetoond Cr(VI) over het hoofd (paragraaf 19).
2026	Duitse TRGS 561, versie 4 mei 2026 [19]	Alkali-/aardalkalimetaaloxiden uit isolatiematerialen of montagepasta's als beïnvloedende factor; beschermingsmaatregelen wanneer een belasting met chroom(VI) niet kan worden uitgesloten (paragraaf 6).
2026	Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar BG ETEM [2]	Vorming van kankerverwekkende chromaten bij staaltemperaturen van ongeveer 350 tot 800 °C door alkali- en aardalkalimetaalhoudende isolatiematerialen of montagepasta's (paragraaf 11).

Wie vandaag chroomgelegeerde hete onderdelen met basische isolatiematerialen combineert, onderhoudt of als afval verwerkt, baseert zich daarmee niet op een open onderzoeksvraag, maar op een over decennia beschreven en meermaals bevestigde reactieroute.

2. Het thema is in Europa aangekomen

De documenten van fabrikanten en exploitanten in het overzicht zijn overwegend afkomstig uit Europa: van Duitse fabrikanten (MAN, Frenzelit, [redacted]), een Oostenrijkse motorenfabrikant ([redacted]), een Britse voertuigfabrikant ([redacted]), uit de Europese Rockwool-instructie, de Duitstalige circulaire van Caterpillar Energy Solutions en Zeppelin en de Franse vertaling van het Caterpillar-bulletin. [12-16, 22, 23, 25]

Daar komen autoriteiten, regelgeving en onderzoek in Europa bij: de Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar BG ETEM, de Duitse TRGS 561, het Duitse Umweltbundesamt (UBA), het Europese BBT-referentiedocument afvalverbranding, het Britse praktijkgeval uit de afvalverbranding en de Franse veldstudie bij het onderhoud van diesel- en scheepsmotoren. De Europese vereniging van fabrikanten van hogetemperatuur-isolatiewol ECFIA gaf opdracht voor onderzoek naar de Cr(VI)-vorming aan isolatiewollen (paragraaf 14). [2, 5, 19, 30, 34, 37, 44]

Het thema is daarmee noch buitenlands noch theoretisch. Het staat in de servicemededelingen, technische instructies, productinformatie en regelgeving die in Europese bedrijven, werkplaatsen en installaties gelden. Of het daar als eigen thema wordt herkend, is een andere vraag.

3. Het chroom(VI)-misverstand: verzamelbegrip en afzonderlijke verbinding

Ook asbest was niet zomaar asbest

Ook asbest was niet zomaar asbest. In het alledaagse taalgebruik werd hoogstens naar kleuren onderscheiden, in wit, bruin en blauw asbest. Daarachter staan verschillende mineralen: chrysotiel, amosiet en crocidoliet, daarnaast tremoliet, actinoliet en anthofylliet. De Europese asbestrichtlijn 2009/148/EG somt deze zes vezelmineralen afzonderlijk op. [62] Onderscheiden werd echter alleen daar waar het nodig was: in de wetenschap, in de techniek en later in de geneeskunde, toen vezelvorm, bestendigheid en ziektebeeld uiteen moesten worden gehouden. Op de bouwplaats en in het algemene taalgebruik bleef het bij één woord. Dat had weinig gevolgen, omdat elk van deze mineralen een vezel was en de vezel het gevaar vormde.

Met „chroom(VI)" is het vergelijkbaar, alleen ontbreekt hier zelfs het alledaagse onderscheid. Het begrip vat industrieel vervaardigde verbindingen zoals chroomzuur, dichromaten en chromaathoudende verven en primers samen met calcium- en natriumchromaat, die tijdens het bedrijf ontstaan. Wie „chroom(VI)" hoort, denkt aan stoffen die hij zelf niet gebruikt, en concludeert daaruit dat het thema hem niet betreft. Calcium- en natriumchromaat als reactieproducten van het eigen bedrijf komen in dit beeld niet voor. Dat calciumchromaat in de dierproef tot de werkzaamste chromaten behoort, verdwijnt eveneens achter het verzamelbegrip (paragrafen 24 en 25).

Het voorvoegsel benoemt de reactiepartner

In vrijwel elke vaste bevinding staat achter de aanduiding „chroom(VI)" een zout, een chromaat of dichromaat, en het voorvoegsel van dat zout noemt zijn reactiepartner: loodchromaat, zinkchromaat, strontiumchromaat, natriumchromaat, calciumchromaat. Het voorvoegsel is geen formaliteit. Het is de andere helft van de stof en zegt waar deze vandaan komt. Chroomtrioxide en chroomzuur zijn geen zouten en hebben geen dergelijke partner. Zij zijn daarom niet minder kankerverwekkend, maar behoren tot de galvanische en oppervlaktetechniek, waar het gebruik gewild en gedeclareerd is.

De reactiepartners zijn onopvallend

De partners die bij het gerichte gebruik voorkomen, zijn zelf als gevaarlijk bekend: lood, zink, strontium. De partners die in situ tot het chromaat leiden, zijn dat niet. Calcium is als element de bouwstof van botten en bestanddeel van melk, natrium is keukenzout, beide zijn bij de drogist verkrijgbaar. De reactiepartner in het isolatiemateriaal is echter niet het element, maar het oxide. Chroom(III) werd decennialang als essentieel spoorelement van de voeding aangemerkt; de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid kwam in 2014 tot de conclusie dat een bewijs van de essentialiteit ontbreekt, en stelde geen referentiewaarden vast, terwijl in de Verenigde Staten nog steeds een innamewaarde bestaat en chroom als voedingssupplement wordt verkocht. Geen van deze drie stoffen geeft aanleiding een product daarop te onderzoeken. [76]

Onopvallend betekent daarbij niet zonder bedenkingen. Calciumoxide is ingedeeld als huidirriterend, ernstig oogbeschadigend en irriterend voor de ademhalingswegen (H315, H318, H335), en richtlijn (EU) 2017/164 noemt een indicatieve grenswaarde van 1 mg/m³ als alveolaire fractie. Natriumoxide vormt met water natronlauge en werkt dienovereenkomstig bijtend. Beide zijn echter niet kankerverwekkend en niet CMR-ingedeeld, en in het isolatiemateriaal zijn zij in de silicaatmatrix gebonden aanwezig. Onopvallend zijn zij daarom niet in elk opzicht, maar juist in dat ene opzicht waarop het hier aankomt: wie naar een kankerrisico zoekt, heeft geen aanleiding naar hen te kijken. [79]

Het hokje „coating"

Omdat chroom(VI) in gedachten met verven en primers wordt verbonden, wordt een chroom(VI)-vondst herleid tot een coating, en wanneer er geen coating aanwezig is, tot de legering. Beide antwoorden verplaatsen de bron naar een al geregeld bevoegdheidsgebied. Juist de bekende pigmenten dragen hun partner in de naam, en niemand verbaast zich daarover. De stap die uitblijft, is de vraag wat geldt wanneer deze partner calcium of natrium heet en niemand hem daar opzettelijk heeft gebracht.

De reactiepartner staat in het gegevensblad en is toch niet leesbaar

Het veiligheidsinformatieblad van een hogetemperatuur-isolatieproduct van Morgan Advanced Materials, Ceraform 130, eerste uitgave 1 september 1990, versie van 23 december 2020, vermeldt onder paragraaf 3 chroom(III)oxide met tot 3 procent en als hoofdbestanddeel „Refractories, Fibers, Aluminosilicate" met het CAS-nummer 142844-00-6 met 45 tot 80 procent. Het toepassingsgebied is aangegeven tot 1400 °C. Welke oxiden achter dit CAS-nummer staan, zegt het gegevensblad niet. Het registratiedossier van ECHA bij hetzelfde nummer duidt de stof aan als amorfe glasvezel uit siliciumdioxide en aluminiumoxide „and a range of oxides such as zirconia, ferric oxide, titanium oxide, magnesiumoxide, calcium oxide, other alkaline earth oxides including sodium oxide, potassium oxide, barium oxides". Beide reactanten zijn daarmee in één enkel product gedeclareerd aanwezig. Paragraaf 10 van hetzelfde gegevensblad duidt het materiaal aan als stabiel, noemt onder onverenigbare stoffen „None" en vermeldt als gevaarlijke ontledingsproducten alleen kooloxiden en ammoniaksporen uit het zetmeel. [77, 78]

Daar komt bij dat calciumchromaat bij gericht gebruik nauwelijks een rol speelt en daarom zelden wordt genoemd. Juridisch valt het er niettemin onder: de REACH-autorisatielijst vermeldt het weliswaar niet bij naam, maar het beperkingsvoorstel van ECHA omvat de zouten van chroomzuur en daarmee ook calciumchromaat. De beperking treft dus een stof die vrijwel niemand in zijn beschouwing betrekt, omdat zij niet voorkomt in de chemische samenstelling van het geleverde product. Zij ontstaat echter toch thermochemisch in het eigen bedrijf, op de installatie of zelfs door het gebruik van het eigen product. [59, 64]

Analytiek: chroom(VI)-gehalte in plaats van verbinding

Is het chromaat ontstaan en wordt het alleen als „chroom(VI)" aangeduid, dan bemoeilijkt dat de oorzaakanalyse. De gebruikelijke laboratoriumanalytiek bepaalt het chroom(VI)-gehalte, niet de verbinding. Ook methoden van de elementanalytiek, bijvoorbeeld met inductief gekoppeld plasma, bepalen elementen en, gekoppeld met ionenchromatografie, het chroom(VI)-gehalte. De verbinding zelf leggen zij niet vast, omdat het monster daarvoor wordt opgelost.

Welke chromaatfase aanwezig is, wordt pas opgehelderd door een faseanalyse zoals röntgendiffractie (XRD), waarmee Sayano et al. $CaCrO_4$ en Na_2CrO_4 hebben geïdentificeerd. Zij behoort niet tot de routineanalytiek en omvat slechts een klein deel van het monster en alleen kristallijne fasen boven haar detectiegrens. Een uitspraak over het gehele oppervlak van een onderdeel of een isolatie levert zij niet. [11]

Voor de arbeidsbescherming volgt daaruit geen onzekerheid, maar een duidelijke vereiste: kan een kankerverwekkende chroom(VI)-verbinding niet serieus worden uitgesloten, dan moet van de aanwezigheid ervan worden uitgegaan. De Duitse TRGS 561 eist de beschermingsmaatregelen volgens de paragrafen 4.1 en 4.2 uitdrukkelijk reeds wanneer een belasting met chroom(VI) niet kan worden uitgesloten. [19]

In veel bedrijven wordt eerst gedemonteerd en dan getest, vaak alleen met onbetrouwbare sneltests (paragraaf 19). De arbeidsbescherming eist de omgekeerde volgorde: de situatie moet voor aanvang van de werkzaamheden in de risicobeoordeling worden beoordeeld. De Duitse TRGS 561 eist de beschermingsmaatregelen reeds wanneer een belasting met chroom(VI) niet kan worden uitgesloten; een negatieve test heft deze verdenkingssituatie niet op, temeer omdat chromaten zich ook in het binnenste van de isolatie-elementen kunnen vormen. [11, 19, 36]

Indeling: groep en afzonderlijke verbinding

Voor de arbeids- en milieubescherming is de precieze verbinding niet beslissend. De geharmoniseerde Europese indeling omvat chroom(VI)-verbindingen als groep als kankerverwekkend van categorie 1B, met uitzondering van bariumchromaat en de afzonderlijk vermelde verbindingen; calciumchromaat is zelf afzonderlijk ingedeeld als kankerverwekkend van categorie 1B. De beoordelingsmaatstaven volgens de Duitse TRGS 910 hebben betrekking op het elementgehalte van chroom, niet op de verbinding. Hier kan men weer in algemene zin van chroom(VI) spreken, zoals bij asbest. [63, 64, 71]

Als opnameroutes noemt het Duitse Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) voor chroom(VI)-verbindingen „inhalatief, huidresorptief". Voor carcinogenen zonder drempelwaarde bestaat geen dosis zonder risico; een chromaat is noch slechts een beetje kankerverwekkend, noch slechts een beetje huidresorptief. [71]

Verschillen bestaan in de overige indelingen. Natriumchromaat is daarnaast ingedeeld als mutageen in geslachtscellen en giftig voor de voortplanting van categorie 1B, bovendien onder meer als acuut toxisch, bijtend en sensibiliserend. Het staat op de kandidaatslijst van zeer zorgwekkende stoffen (SVHC) en in bijlage XIV van de REACH-verordening; het gebruik ervan is autorisatieplichtig. Calciumchromaat staat op geen van beide lijsten, hoewel de indeling ervan als kankerverwekkend van categorie 1B alleen al voor de identificatie als SVHC zou volstaan (artikel 57 letter a REACH). [64-67]

Met de geplande beperking worden de chroom(VI)-stoffen van de autorisatie overgebracht naar bijlage XVII van de REACH-verordening, dus naar dezelfde bijlage die onder vermelding 6 de asbestvezels opsomt. Volgens de beschikbare samenvattingen omvat het voorstel de zouten van chroom- en dichroomzuur en daarmee ook calciumchromaat; uitgezonderd zijn de drie loodchromaatvermeldingen. [59, 66, 68]

Natriumchromaat in isolatiematerialen: de gebruiksvraag

Bij natriumhoudende isolatiematerialen zoals minerale wol kan de vorming van natriumchromaat niet worden uitgesloten; Sayano et al. hebben Na_2CrO_4 geïdentificeerd aan het grensvlak tussen metaal en natriumhoudend isolatiemateriaal. Het stof van een dergelijke isolatie is een mengsel; gevormd chromaat is als eigen stof los aanwezig. Beide zijn geen voorwerp in de zin van artikel 3 punt 3 van de REACH-verordening, omdat zij geen bepaalde vorm hebben. Natriumchromaat staat als zeer zorgwekkende stof vandaag al in bijlage XIV van de REACH-verordening; het gebruik ervan is autorisatieplichtig. Wordt een dergelijke isolatie gedemonteerd, opgeslagen en hergebruikt, dan is zij geen afval. Is dat vandaag niet al een autorisatieplichtig gebruik? Voor de arbeidsbescherming rijst deze vraag niet: hier geldt de vereiste van de Duitse TRGS 561, die beschermingsmaatregelen reeds eist bij een niet uit te sluiten belasting met chroom(VI). [11, 19, 60, 66]

Natriumchromaat in assen: de indeling als afval

Ook in chromaathoudende assen kan natriumchromaat niet worden uitgesloten; een gebruiksvraag rijst daar niet. Of een afvalstof gevaarlijk is, wordt bepaald door bijlage III van de Europese kaderrichtlijn afvalstoffen 2008/98/EG en daarmee door de CLP-indeling van de aanwezige stoffen, niet door de SVHC-eigenschap ervan. Beide chromaten leiden vanaf 0,1 % via het criterium HP7 (kankerverwekkend) tot de indeling als gevaarlijke afvalstof. Natriumchromaat vervult daarnaast HP11 (mutageen in geslachtscellen, vanaf 0,1 %) en HP10 (giftig voor de voortplanting, vanaf 0,3 %), zonder de bepalende drempel te verlagen. [69]

Gemeten wordt het Cr(VI)-gehalte, maar de drempel geldt voor de verbinding. Chroom maakt in calciumchromaat circa 33 %, in natriumchromaat circa 32 % van de massa uit; 0,1 % chromaat komt daarmee overeen met ongeveer 0,03 % Cr(VI). De vraag welk chromaat aanwezig is, is ook hier praktisch irrelevant. Relevant is dit vooral voor roosterassen, waarvoor de Europese afvalstoffenlijst een gevaarlijke en een niet-gevaarlijke vermelding kent (19 01 11* en 19 01 12). Legt de beoordeling in het concrete geval het Cr(VI)-gehalte vast, en rekent zij dit om naar de verbinding? [70]

Zwangere werknemers en werknemers tijdens de lactatie

De consequentie reikt tot in de moederschapsbescherming. Volgens § 11 lid 1 van de Duitse Mutterschutzgesetz (MuSchG) is er onder meer sprake van een onverantwoorde gevaarsituatie voor zwangere vrouwen bij stoffen die zijn ingedeeld als carcinogeen, mutageen in geslachtscellen of giftig voor de voortplanting van de categorieën 1A of 1B of als acuut toxisch van de categorieën 1 tot 3. Calciumchromaat vervult dit als kankerverwekkend van categorie 1B, natriumchromaat daarnaast als mutageen in geslachtscellen, giftig voor de voortplanting en acuut toxisch. De uitzondering bij naleving van de grenswaarde op de werkplek is niet van toepassing, omdat voor chroom(VI)-verbindingen geen dergelijke grenswaarde bestaat, maar een risicogebaseerde beoordelingsmaatstaf volgens de Duitse TRGS 910. [63, 71, 73]

Kan de aanwezigheid van een van deze chromaten niet worden uitgesloten, dan mogen zwangere vrouwen werkzaamheden zoals onderhoud, demontage, revisie, reiniging of het hanteren van assen in deze gebieden niet uitvoeren. Voor vrouwen tijdens de lactatie adviseert het IFA uit voorzorg eveneens geen blootstelling aan kankerverwekkende stoffen van de categorieën 1A en 1B toe te staan. Volgens § 10 MuSchG moet het gevaar worden beoordeeld voor elke werkzaamheid waaraan een vrouw is of kan zijn blootgesteld. [72, 73]

4. Toepassingsgebieden en te verwachten chromaten

Het volgende overzicht koppelt typische toepassingsgebieden aan de daar gebruikte isolatiematerialen en aan de te verwachten chromaten. Bepalend is telkens de combinatie van chroomgelegeerd heet onderdeel, basische component, zuurstof en temperatuur. E-glas, calciumsilicaat en AES-wollen zoals Superwool bevatten vooral calciumoxide, minerale wol bevat calcium- en natriumoxide. Sayano et al. hebben aan het calciumhoudende isolatiemateriaal $CaCrO_4$ en aan het natriumhoudende isolatiemateriaal Na_2CrO_4 geïdentificeerd. [11]

Toepassingsgebied	Isolatie of plaats (basische component)	Te verwachten chromaten	Gebruiks- en afvalvraag
Gas- en dieselmotoren, locomotief- en scheepsmotoren	Aan en op de motor meestal E-glas en glasvezelnaaldmatten (CaO), in het hogetemperatuurbereik calciumsilicaatmatten en Superwool (CaO); verderlopende uitlaatleidingen met minerale wol (CaO/Na_2O) als rolmateriaal; isolatiekussens en isolatiematrassen uit glasweefsel (CaO) en minerale wol (CaO/Na_2O)	Aan en op de motor vooral calciumchromaat; aan toe- en afvoerleidingen calcium- en/of natriumchromaat	Bij onderhoudswerkzaamheden vandaag al de REACH-gebruiksvraag over natriumchromaat, wanneer gedemonteerde minerale-wolproducten worden hergebruikt; met de geplande ECHA-beperking in haar huidige vorm onafhankelijk van het afzonderlijke chromaat
Gas- en stoomturbines	In zeer hete gebieden hoogcalciumhoudende calciumsilicaatproducten; aansluitende isolatiematrassen vaak uit E-glas- en minerale-wolproducten	Calcium- en/of natriumchromaat	zoals bij motoren
Biogasinstallaties, warmtekrachtinstallaties en WKK	zoals bij motoren en turbines	zoals bij motoren en turbines	zoals bij motoren
Levensmiddelenverwerking, broeikassen en plantages met warmtekrachtinstallatie	zoals bij warmtekrachtinstallaties	zoals bij warmtekrachtinstallaties	zoals bij motoren
Datacentra, noodstroomaggregaten, decentrale energievoorziening van openbare gebouwen en ziekenhuizen	zoals bij warmtekrachtinstallaties, WKK en turbines	zoals bij warmtekrachtinstallaties, WKK en turbines	zoals bij motoren
Voertuigen, bouwmachines, uitlaatgasnabehandeling	Hitteschilden, bijvoorbeeld aan de turbocompressor, met vooral calciumoxidehoudende vilten en matten, deels calciumsilicaatopbouwen; buitenisolatie aan DPF en SCR; geclipste, voor zuurstof open dubbelwandigheden van hete onderdelen met inwendige isolatiematerialen (E-glas, calciumsilicaat)	vooral calciumchromaat	zoals bij motoren

Toepassingsgebied	Isolatie of plaats (basische component)	Te verwachten chromaten	Gebruiks- en afvalvraag
Afvalverbranding	Oven bij revisies, deurgebied, bodemgebied van de oventoegangen en periferie van de ovens door verwerveling (residuen, geen isolatie)	De afzonderlijke chromaten zijn hier niet beslissend	Afval en reiniging; een gebruiksvraag rijst hoogstens bij het verder gebruiken van assen als bestanddeel van andere producten, voor zover zij niet worden verwijderd

Breder op te vatten risicobeoordeling

Bij biogasinstallaties met aangesloten landbouw moet de risicobeoordeling breder worden opgevat: mee te nemen zijn de versleping naar bedrijfsgebieden en levensmiddelen alsmede de milieubelasting.

Bij de levensmiddelenverwerking, in broeikassen en op plantages kan een hoge luchtvochtigheid door bevloeiing of bedamping de vorming en het gasfasetransport aan de hete onderdelen bevorderen. De Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar BG ETEM noemt luchtvochtigheid en vanaf ongeveer 550 °C waterdamp als invloedsgrootheden; Tatar werkt met sterk bevochtigde lucht (paragraaf 14). [2, 35]

Datacentra worden vanwege hun hoge energiebehoefte steeds vaker uitgerust met een eigen energievoorziening uit gasmotoren of gasturbines. Motorenfabrikanten voeren voor de groeiende behoefte aan snel beschikbare eigen voorziening de beperkte netcapaciteit aan. Deze installaties zijn op dezelfde wijze geïsoleerd als warmtekrachtinstallaties en WKK-installaties. [74]

Noodstroomaggregaten en de decentrale energievoorziening met warmtekrachtinstallaties en WKK-techniek in openbare gebouwen en ziekenhuizen komen met dezelfde constellatie overeen. In ziekenhuizen betreft een versleping gebieden met vulnerabele groepen.

Een bijzonderheid in Nederland: verwarmingsinstallaties worden vaak uitgerust met textiele isolaties van E-glas of minerale wol. Bepalend zijn daar de hete onderdelen zoals de brandkamer en het rookgastraject, waar de voor de chromaatvorming vereiste temperaturen worden bereikt.

5. Waarom het thema niet wordt herkend

Voor het ontbreken van de waarneming kunnen uit de geanalyseerde documenten meerdere redenen worden genoemd. Elk daarvan heeft op zichzelf een begrijpelijke verklaring; samen leiden zij ertoe dat de vormingsroute niet wordt gezocht waar zij voor de hand ligt.

Het verzamelbegrip „chroom(VI)"

Er wordt in algemene zin gesproken over „chroom(VI)". Het begrip is verbonden met industrieel vervaardigde verbindingen; de in het eigen bedrijf gevormde calcium- en natriumchromaten komen in dit beeld niet voor (paragraaf 3).

Waarneming van uitsluitend de industrieel vervaardigde vorm

Industrieel vervaardigde chromaten zijn onderworpen aan autorisatie, toezicht en etikettering. In situ gevormde chromaten hebben geen fabrikant, geen etikettering en geen veiligheidsinformatieblad dat de toestand na gebruik beschrijft. De veiligheidsinformatie van een isolatiemateriaal beschrijft de leveringstoestand; een niet-ingedeeld isolatiemateriaal kan na gebruik belast zijn met nieuw gevormde gevaarlijke stoffen (paragrafen 16 en 25).

Toetsingsdoel materiaalbestendigheid

Compatibiliteitsonderzoeken van isolatiematerialen met chroom beoordelen de bestendigheid van de vezel. Een uiterlijk bestendige vezel kan echter een geringe hoeveelheid van een zeer gevaarlijk reactieproduct dragen. Wordt Cr(VI) niet bepaald, dan beantwoordt het onderzoek de vraag naar gevaarlijke stoffen niet (paragraaf 12).

De vormingsroute als „niet herleidbaar"

Afzonderlijke documenten van fabrikanten verklaren het ontstaan als „niet volledig" of „in het algemeen nog niet herleidbaar" en verwijzen naar externe bronnen zoals vervangingsonderdelen, onderhoudsmaterialen of bedrijfsomgevingen. Daarmee lijkt de blootstelling een op zichzelf staand geval, hoewel de vormingsroute gepubliceerd is (paragraaf 16).

Sneltestfilosofie

Beschermingsmaatregelen worden gekoppeld aan zichtbare gele afzettingen en positieve sneltests. Ontbreekt de kleur of is de test negatief, dan geldt de bevinding als onopvallend. De Franse veldstudie toont aan dat colorimetrische sneltests laboratoriumanalytisch aangetoond Cr(VI) over het hoofd zien (paragraaf 19).

„Neutralisatie" en WD-40

De aanbeveling om chroom(VI) te „neutraliseren" en het gebruik van WD-40 wekken de indruk dat het probleem ter plaatse oplosbaar is. De „neutralisatie" is een reductie tot chroom(III), die alleen onder gunstige omstandigheden nagenoeg volledig slaagt; voor WD-40 is een reducerende werking experimenteel weerlegd (paragraaf 26).

„Asbestvrij" als kenmerk van onbedenkelijkheid

De asbestsubstitutie heeft de asbestvezel weggenomen, niet noodzakelijkerwijs het reactieve materiaalsysteem van chroomgelegeerd heet onderdeel en basische isolatie. „Asbestvrij" is geen uitspraak over de vraag of een isolatiemateriaal op chroomgelegeerde hete onderdelen bijdraagt aan chromaatvorming (paragraaf 15).

Milieubeoordeling in plaats van beoordeling van werkzaamheden bij verbrandingsresten

Bij assen staat de milieubeoordeling via de uitloging op de voorgrond, bijvoorbeeld in het Europese BBT-referentiedocument. Zij beantwoordt niet de vraag naar de blootstelling bij revisie, het openen van ketels, reiniging en het hanteren van as. Veldwaarnemingen in Europese afvalverbrandingsinstallaties tonen aan dat de bescherming tegen chromaatbelastingen hooguit gedeeltelijk wordt toegepast (paragraaf 22).

Of men de vormingsroute gezien deze bronnensituatie niet had moeten zien, is de vraag die deze expertise stelt.

6. Waarom het een thema wordt

Duitsland: de Duitse TRGS 561

Sinds 4 mei 2026 geldt de Duitse TRGS 561 in een nieuwe versie. Paragraaf 3.3.4 beschrijft de thematiek, paragraaf 5.9.3 noemt alkali-/aardalkalimetaaloxiden uit isolatiematerialen of montagepasta's als beïnvloedende factor. Beschermingsmaatregelen volgens de paragrafen 4.1 en 4.2, waaronder persoonlijke beschermingsmiddelen, stofarm werken en de substitutietoets, gelden al wanneer een belasting met chroom(VI) niet kan worden uitgesloten. Voor werkgevers in Duitsland maakt de vraag daarmee deel uit van de risicobeoordeling en is zij niet pas een gevolg van een positieve bevinding (paragraaf 19). [19]

EU: blootstellingsroutes, beperking en begrip gebruik

De Europese Richtlijn 2004/37/EG vereist de beoordeling van alle mogelijke blootstellingen, inclusief de opname via de huid (paragraaf 24). Het Europees Agentschap voor chemische stoffen ECHA heeft in april 2025 een beperking van chroom(VI)-stoffen voorgesteld, volgens welke alleen nog bepaalde vormen van gebruik onder strenge voorwaarden toegestaan blijven. [18, 59]

Bepalend is het ruime gebruiksbegrip van de Europese REACH-verordening, dat onder meer opslaan, voorhanden houden en behandelen omvat. Wordt een met chromaten verontreinigd onderdeel voor onderhoud gedemonteerd, opgeslagen en weer ingebouwd, of wordt een verontreinigde isolatie opgeslagen of hergebruikt, dan kan dat een gebruik zijn. Valt het niet onder de toekomstig toegestane vormen van gebruik, dan zou het verboden zijn. Voor de huidige isolatiesystemen op chroomgelegeerde hete onderdelen kan dit uitlopen op een feitelijk verbod. Bepalend is de definitieve rechtstekst (paragraaf 25). [59, 60]

Australië als voorloper

Vanaf 1 december 2026 geeft de Australische instantie Safe Work Australia voor chroom(VI)-verbindingen geen grenswaarde op de werkplek meer af. In de plaats daarvan komt de plicht om de blootstelling weg te nemen of zo ver als redelijkerwijs praktisch uitvoerbaar te minimaliseren (paragraaf 25). [58]

Voertuigen en verbrandingsresten

Voor voertuigen openen het Europese consumentenkooprecht en voertuigverordening 2018/858 eigen toetsingsroutes wanneer een voertuig aantoonbaar met Cr(VI) verontreinigd is (paragraaf 20). Voor verbrandingsresten geldt de arbeidsbescherming bij revisie en reiniging onafhankelijk van de milieubeoordeling van de as (paragrafen 21 en 22). [46, 47]

B. Grondslagen

7. Het octrooi van 1938/1939: calciumchromaat als bewust gevormd reactieproduct

Udy ontwikkelde het proces voor de productie van koolstofarm ferrochroom. Uitgangspunt was koolstofhoudend ferrochroom. Dit werd in fijnverdeelde vorm in lucht geroost en daarbij met kalk behandeld. Het octrooi beschrijft uitdrukkelijk dat de oxidatie van het chroom tot chromaat in aanwezigheid van kalk plaatsvindt:

> **"With lime alone serving as the base the oxidation of chromium to chromate requires several hours of roasting ..."**

Het octrooischrift preciseert de temperatuurvoering verder:

> **"Roasting at temperatures well under 1000° C. with no soda ash or less than one per cent of soda in the roasting charge converts the chromium mostly to calcium chromate ..."**

Het beschrijft daarmee rechtstreeks de vorming van calciumchromaat uit een chroombron, kalk en een oxiderende roostatmosfeer. Tegelijk wordt vastgesteld dat de productverdeling verandert met de temperatuur en de grondstoffen: boven 1.000 °C zou chromaat weer tot chromiet kunnen ontleden. Het proces is bijgevolg geen onspecifieke oxidatie, maar een gericht gestuurde reactiechemie.

Ook de octrooiconclusies laten geen twijfel over de aangeduide verbindingen. De conclusies 22 en 25 noemen een mengsel van calciumchromiet en calciumchromaat; de conclusies 23 en 26 noemen daarnaast natriumchromaat. De chromaten worden daarmee niet alleen in de beschrijving vermeld, maar zijn bestanddeel van het geclaimde technische proces.

8. Natrium: versneller, stuurstof en chromaatvormer

Het octrooi noemt soda respectievelijk natriumcarbonaat (Na_2CO_3) uitdrukkelijk als invloedsfactor. Soda versnelt en stuurt de oxidatie tot chromaat. Volgens het octrooischrift kan met een voldoende sodatoevoeging de omzetting tot chromaat bij of net onder 1.000 °C aanzienlijk worden versneld. Bij een toevoeging van 5 tot 10 gewichtsprocent soda, betrokken op het ferrochroom, beschrijft Udy bij 1.000 °C een omzetting van ongeveer de helft van het chroom tot chromaat; het resterende deel bevindt zich in de chromiet-/Cr_2O_3-toestand.

Natrium is daarmee een proceschemisch werkzaam bestanddeel dat de chromaatvorming kan bevorderen en sturen. De gegevens over calciumchromaat zonder soda staan in paragraaf 7; natriumchromaat wordt daarnaast in de octrooiconclusies genoemd. [1]

9. De chemische kern van de vormingsroute

Het in het octrooischrift beschreven roostproces berust op vier factoren:

1. een chroombron,

2. een basische calcium- en/of natriumverbinding,

3. een oxiderende atmosfeer, in het bijzonder zuurstof, en

4. voldoende temperatuur en reactietijd.

Vereenvoudigd kan het centrale calciumchromaatvormende deelproces als volgt worden weergegeven:

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

Voor natriumchromaat kan de overeenkomstige oxidatieroute bij gebruik van natriumcarbonaat schematisch worden geformuleerd:

$$2\ Cr_2O_3 + 4\ Na_2CO_3 + 3\ O_2 \rightarrow 4\ Na_2CrO_4 + 4\ CO_2$$

Deze vergelijkingen zijn stofbalansen van de chromaatvormingsroute, geen bewering dat elk reëel installatieoppervlak overeenkomt met een geïdealiseerd zuiver systeem. Ze tonen echter het al lang bekende chemische verband: een Cr(III)-houdende chroombron, een base en zuurstof vormen onder thermische belasting een chromaat-Cr(VI)-pad.

Een als CaO vermeld calciumgehalte in glas of silicaat betekent niet automatisch dat vrij calciumoxide aanwezig is. Voor de toepassingsgerichte beoordeling is de reactiebeschikbaarheid bepalend. Ook calciumsilicaten kunnen calcium leveren voor de chromaatvorming; Sayano beschrijft overeenkomstige reacties. [11]

10. Direct experimenteel bewijs: van het modelmengsel naar het grensvlak tussen metaal en isolatiemateriaal

Het historische octrooischrift beschrijft de reactieroute. Vier primaire studies bevestigen deze experimenteel op verschillende niveaus en sluiten de bewijsketen van de modelproef tot het praktijkgetrouwe grensvlak.

Studie	Onderzochte constellatie	Centrale bevinding	Betekenis
Paoletti (2002)	Cr_2O_3 met CaO in synthetische lucht en in inerte atmosfeer; thermobalans (TG-DSC) en XRD.	Snelle massatoename tussen 500 en 850 °C; XRD toont na 850 °C $CaCrO_4$ aan. In inerte atmosfeer alleen driewaardig $Ca(CrO_2)_2$. [50]	Vroeg direct fasebewijs van $CaCrO_4$ uit Cr_2O_3 en CaO; zuurstof als noodzakelijke voorwaarde aangetoond. Het werk ontstond in het kader van huishoudelijke afvalverbranding; voor roosterassen en proefinstallatie zie paragraaf „Paoletti 2002" bij de verbrandingsassen.
Verbinnen et al. (2013)	Cr_2O_3 met CaO, NaOH of KOH onder thermische behandeling.	Met NaOH werd na 60 minuten 83 % bij 500 °C en 89 % bij 700 °C als Cr(VI) uitgeloogd. Ook CaO opent de chromaatvormingsroute.	Toont de thermisch-oxidatieve vormingsroute met calcium- en natriumverbindingen en de rol van zuurstof aan.
Mao et al. (2015)	Chroomhoudend slib met CaO, 200-1.200 °C.	Tussen 500 en 900 °C ontstaat uitloogbaar $CaCrO_4$; bij 900 °C werd na een uur de maximale Cr(III)-oxidatie waargenomen.	Toont de directe rol van CaO en de uitgesproken temperatuurafhankelijkheid aan.

Studie	Onderzochte constellatie	Centrale bevinding	Betekenis
Sayano et al. (2015)	Direct contact van Cr-houdende staalsoorten met Ca-Si-O- resp. Na-houdende isolatiematerialen; tot 5.000 h bij 773/873 K.	Gelige reactieproducten werden met XRD geïdentificeerd als $CaCrO_4$ resp. Na_2CrO_4. De hoeveelheid Cr(VI) hangt af van metaal, temperatuur en tijd.	Direct experimenteel bewijs aan het grensvlak tussen chroomhoudend metaal en thermisch isolatiemateriaal.

Verbinnen et al.: de rol van basische calcium- en natriumverbindingen

Verbinnen, Billen, Van Coninckxloo en Vandecasteele onderzochten de temperatuurafhankelijkheid van de Cr(III)-oxidatie in synthetische mengsels van Cr_2O_3 en alkali- respectievelijk aardalkaliverbindingen. De studie onderscheidt helder een vaak vervaagd punt: Cr_2O_3 wordt door luchtzuurstof alleen in het relevante temperatuurbereik niet zonder meer tot Cr(VI) geoxideerd. De basische calcium-, natrium- of kaliumcomponent opent de chromaatvormingsroute.

De experimenten leverden maximale Cr(VI)-uitlogingen op in de orde van grootte van 600 tot 800 °C. Onder inerte atmosfeer daalde de Cr(VI)-uitloging van een industrieel slib na 30 minuten bij 700 °C van 24,2 mg/kg tot 0,42 mg/kg. Daarmee is de rol van zuurstof niet alleen thermodynamisch gepostuleerd, maar experimenteel aangetoond.

De kwantitatieve gegevens moeten worden gelezen als uitlogingsbevindingen bij de betreffende temperatuur en verblijftijd; het zijn geen algemene omzettingswaarden voor industriële isolaties. [9]

Mao et al.: CaO vormt in het temperatuurvenster van 500 tot 900 °C $CaCrO_4$

Mao, Gao, Deng en andere auteurs onderzochten chroomhoudend slib in aanwezigheid van CaO over het bereik van 200 tot 1.200 °C. Zij onderscheiden twee relevante reactiegebieden:

- Tussen 200 en 400 °C ontstond bij mengsels van chroomhydroxide/CaO een Cr(VI)-houdend tussenoxide (Cr_2O_3+x).
- Tussen 500 en 900 °C reageerde Cr(III) rechtstreeks met CaO tot uitloogbaar $CaCrO_4$. Bij 900 °C werd na een uur de maximale oxidatie waargenomen; een verlenging van de verblijftijd verminderde de hoeveelheid calciumchromaat in dit gebied niet wezenlijk.

De studie bevestigt daarmee dat calciumoxide niet slechts een bevorderende achtergrondcomponent is, maar een directe reactiepartner bij de vorming van calciumchromaat.

Sayano et al.: het directe bewijs aan het contact tussen heet onderdeel en isolatiemateriaal

Het werk van de Japanse auteurs Sayano, Kanno, Inagaki, Takahashi en Yoshida is voor de beoordeling van op hoge temperatuur geïsoleerde industriële componenten bijzonder belangrijk. Onderzocht werd niet een slib of een los laboratoriumpoedermengsel, maar het directe contact tussen Cr-houdende metalen en thermische isolatiematerialen.

De auteurs plaatsten onder meer SUS304 met 18,2 % Cr alsmede laag- en hoogchroomhoudende staalsoorten op calciumsilicaathoudende en natriumhoudende isolatiematerialen. Het calciumsilicaathoudende blokisolatiemateriaal vermeldde 35 % CaO; een natriumhoudend isolatiemateriaal 7,3 % Na_2O. Na warmtebehandeling in lucht werden op de contactvlakken gelige reactieproducten aangetoond:

- Bij het calciumhoudende isolatiemateriaal identificeerde de XRD-analyse $CaCrO_4$, bij het natriumhoudende isolatiemateriaal Na_2CrO_4.
- Bij SUS304 en calciumsilicaathoudend isolatiemateriaal werd na 1.000 uur bij 873 K (circa 600 °C) 160 mg Cr(VI) per m² contactvlak gemeten.
- Na 5.000 uur bij 873 K bedroeg de hoeveelheid Cr(VI) bij het onbekleede SUS304-/Ca-Si-O-systeem 940 mg/m²; met het andere calciumhoudende, zelfhardende coatingisolatiemateriaal 3.890 mg/m².

De auteurs tonen bovendien het stoftransport: chroom diffundeert uit het metaal in het isolatiemateriaal, oxideert en reageert met de basische isolatiemateriaalcomponent. Een slechts circa 3-4 µm dikke barrièrelaag op basis van Al_2O_3 verhinderde deze chroomdiffusie en voorkwam de Cr(VI)-vorming vrijwel volledig. Daarmee is ook de preventieve logica duidelijk: niet de achteraf uitgevoerde behandeling van reeds gevormde chromaten, maar het verhinderen van het reactiecontact respectievelijk de substitutie van basische oxiden voorkomt het ontstaanspad van de stof.

Consequentie uit het totaaloverzicht

De vier studies laten geen ruimte voor de voorstelling dat de vorming van calcium- en natriumchromaat aan chroomhoudende hete onderdelen slechts een niet-onderzochte mogelijkheid zou zijn. De reactie is

1. chemisch beschreven (Udy; Verbinnen),

2. temperatuurafhankelijk experimenteel aangetoond (Paoletti; Mao; Verbinnen) en

3. aan het grensvlak tussen metaal en isolatiemateriaal met de geïdentificeerde doelproducten $CaCrO_4$ en Na_2CrO_4 direct waargenomen (Sayano).

C. Isolatietechniek: hete onderdelen en isolatie

11. Van het metallurgische roosten naar de hogetemperatuurisolatie

Het historische octrooischrift beschrijft een bewust geïntensiveerd metallurgisch roostproces. De betekenis ervan voor isolatiematerialen op chroomgelegeerde hete onderdelen ligt in de reactiechemie: de voor calcium- en natriumchromaat bepalende stofgroepen zijn identiek.

Metallurgisch proces volgens Udy	Heet onderdeel met basische isolatie
Chroomhoudend ferrochroom	Chroomgelegeerd staal, roestvast staal, hoogchroomgelegeerde oppervlakken en oxidelagen
Kalk resp. calciumoxide	Calciumhoudende vezels, vulstoffen, bindmiddelen of andere basische bestanddelen van isolatiemateriaal
Soda resp. natriumcarbonaat	Natriumhoudende glas-, vezel-, bindmiddel- of overige productbestanddelen
Roosten in lucht	Toetreding van zuurstof in de omgeving van de installatie en in het grensgebied tussen onderdeel en isolatie
Temperatuur en verblijftijd	Bedrijfstemperatuur, temperatuurcycli en lange gebruiksduur

De Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar BG ETEM beschrijft de huidige installatiegebonden bevinding dienovereenkomstig: door het contact van chroomgelegeerde staalsoorten met isolatiematerialen of montagepasta's die alkali- en aardalkalimetalen bevatten, kan bij staaltemperaturen van ongeveer 350 tot 800 °C de vorming van kankerverwekkende chromaten optreden. Als beïnvloedende grootheden noemt zij het chroomaandeel in het staal, calcium-, magnesium-, natrium- of kaliumverbindingen, zuurstof, luchtvochtigheid en vanaf ongeveer 550 °C ook waterdamp. Zichtbare gelige afzettingen aan turbines en stoomdrukleidingen wezen volgens de BG ETEM op calciumchromaat en werden vervolgens positief op chroom(VI)-verbindingen bemonsterd. [2]

De toepassingsrelevantie was vóór 2015 uitdrukkelijk gepubliceerd

De Japanse octrooiaanvraag JP2011232021A van Toshiba, gepubliceerd op 17 november 2011 met prioriteit van 8 april 2010, beschrijft precies dit grensvlak: chroomoxide op roestvast staal reageert met de calciumcomponent van een thermische isolatie onder zuurstof tot calciumchromaat. Het octrooischrift licht de overgang van asbest naar calciumsilicaat toe en stelt een keramische scheidingslaag voor om de Cr(VI)-vorming te onderdrukken. Het noemt daarnaast kalium-, magnesium- en natriumhoudende isolaties. Daarmee was ook de op de toepassing gerichte probleemstelling inclusief een preventieaanpak vóór de studie van 2015 openbaar toegankelijk. [26]

Als eerdere literatuur noemt het octrooi Corrosion Center News nr. 034 van 1 juni 2005. Deze verwijzing is een gericht archiefspoor; de oorspronkelijke uitgave is hier niet ingezien. De aangetoonde octrooifamilie is Japans. De openbare beschikbaarheid daarvan moet worden onderscheiden van de feitelijke kennis van afzonderlijke Europese fabrikanten. [26]

Onderzoek van beide Toshiba-octrooien en van de vermelding „handelsnaam Rockwool"

De vermelding „thermisch isolatiemateriaal (handelsnaam: Rockwool)" staat in beide voorgelegde vertalingen. De overeenkomstige productaanduiding staat ook in het Japanse origineel van JP2011232021A en in de Japanse verleende versie JP5774355B2 bij de tweede aanvraag JP2012220174A. De vermelding is daarmee niet pas door de machinevertaling ontstaan. Beide proefbeschrijvingen karakteriseren de isolatie als hoofdzakelijk op calciumoxide/siliciumoxide gebaseerd. [26, 38]

JP2011232021A onderzoekt SUS304 met en zonder keramische scheidingslagen bij 600 °C gedurende 500 uur in lucht. In de onbekleede vergelijking wordt aan het contactvlak met röntgendiffractie een calcium-chroom-complexoxide en in kleine hoeveelheid een magnesium-chroom-complexoxide beschreven. Het document licht de $CaCrO_4$-vormingsroute uitdrukkelijk toe met een reactievergelijking en onderzoekt verder natriumhoudende isolatie. De keramische laag moet het contact tussen de reactieve componenten onderbreken. [26]

JP2012220174A, gepubliceerd op 12 november 2012 met prioriteit van 14 april 2011, volgt een verdere preventieaanpak: een 200 µm dikke folie van zuiver nikkel scheidt SUS304 van de isolatie. Na 600 °C en 500 uur in lucht wordt bij het directe contact zonder folie een geel reactieproduct beschreven. Dit wordt met XRD geanalyseerd en door de auteurs als Cr(VI)-reactieproduct aangeduid. De vergelijkende proeven met natriumhoudend perliet respectievelijk calciumsilicaat beschrijven bovendien chroom-natrium- respectievelijk chroom-calcium-complexoxiden. Bij de opbouw met folie wordt geen overeenkomstige zichtbare reactie gemeld. Deze vergelijking toont een gerichte ingreep in de grensvlakreactie; uit het ontbreken van een kleurbevinding volgt op zichzelf geen kwantitatieve Cr(VI)-nulwaarde. [38]

De formulering „Rockwool" is gedocumenteerd; een fabrikant, een exacte productkwaliteit of een toewijzing aan ProRox wordt in deze proefpassages niet geïdentificeerd. In het Japans wordt de aanduiding ook voor steenwol gebruikt. Voor een concrete toewijzing aan een onderneming zouden product- en leveranciersgegevens moeten worden aangevuld. De technische bevinding staat daar los van: Toshiba onderzoekt calciumhoudende isolatie op chroomhoudend metaal en beschrijft concrete mogelijkheden om de reactie te onderbreken. [26, 38]

Beide documenten noemen uitdrukkelijk afvalverbrandingsinstallaties, biomassastookinstallaties, thermische energiecentrales en chemische installaties. Het verband met het verbrandingsgebied maakt daarmee al deel uit van de oorspronkelijke toepassingsbeschrijving. Daarbij moet de reactie tussen isolatie en metaal worden onderscheiden van een Cr(VI)-vorming in de asmatrix; beide kunnen in dezelfde installatie relevant zijn. [26, 38]

12. Betekenis voor E-glasweefsel, calciumsilicaat, minerale wol en aerogel-isolatiesystemen

De aanduiding van een productklasse is geen uitspraak over de chemische onschadelijkheid van het afzonderlijke product. Doorslaggevend zijn de feitelijk gebruikte grondstoffen, vezels, dragers, bindmiddelen en vulstoffen.

Bevatten E-glasweefsel, calciumsilicaatproducten, minerale-wolproducten of op aerogel gebaseerde isolatiesystemen aantoonbaar basische oxideaandelen, in het bijzonder calcium- en/of natriumaandelen, dan moeten deze bij gebruik op chroomgelegeerde hete onderdelen worden beoordeeld als aanwijzing voor een niet uit te sluiten risico op chromaatvorming. Reactiebeschikbaarheid, temperatuur, tijd en zuurstof bepalen de concrete uitingsvorm. De materiaalgebonden verdenkingssituatie moet onafhankelijk van een voorafgaande positieve sneltest in de risicobeoordeling worden betrokken. [19]

Dit geldt ook voor op aerogel gebaseerde producten. Een aerogelkern verandert de beoordeling niet wanneer het op de markt gebrachte totale systeem bijvoorbeeld glasvezeldragers, weefsels, bindmiddelen, vulstoffen of coatings met basische oxidebestanddelen bevat. Bepalend is de samenstelling van het concrete isolatieproduct in het beoogde toepassingssysteem, niet de commerciële benaming ervan.

Toetsingsdoel materiaalbestendigheid of ontstaan van gevaarlijke stoffen?

Het Superwool Technical Manual van Morgan bevat een eigen Contamination / Pollution Study. Chroompoeder werd tussen isolatiematten aangebracht; na zes uur bij 1.000, 1.100 en 1.150 °C werden verpoedering, smelten, verkleuring en zichtbare reactietekenen beoordeeld. De chroomregel is voor de vier onderzochte vezelproducten aangeduid als zonder waargenomen reactie, waaronder calcium- en calcium-/magnesiumsilicaatvezels. Een Cr(VI)-bepaling met detectiegrens wordt niet beschreven. [27]

De vakinhoudelijke consequentie ligt in het toetsingsdoel: een uiterlijk bestendige vezel kan een geringe hoeveelheid van een gevaarlijk reactieproduct dragen. De beschreven bevinding beantwoordt de vraag naar chromaatvorming daarom niet. Ook verschillen temperatuur en duur aanzienlijk van Sayano's langdurige proeven bij 500 respectievelijk 600 °C. [11, 27]

Het manual adverteert tegelijk met het ontbreken van een indeling als gevaarlijke stof en met niet-gevaarlijk afval. Zulke uitspraken over de vezelchemie vervangen geen beoordeling van het na gebruik verontreinigde isolatiesysteem. Het gaat om een openbaar concerndocument met Europese juridische context. Een vaststaande eerste publicatie valt uit het onderzochte uittreksel niet af te leiden. [27]

13. Het dilemma van de fabrikanten van isolatiematerialen

Calciumoxide en natriumoxide zijn geen toevoegingen die men uit een receptuur schrapt zoals een kleurpigment. Zij zijn sinds de vroege glasproductie constitutieve bestanddelen van het smeltsel waaruit vezels worden getrokken of geslingerd.

De samenstelling van dit smeltsel is niet nieuw. Kalknatronsilicaatglas is het oudste bekende glastype; het is sinds de late bronstijd uit Mesopotamië en Egypte gedocumenteerd en blijft van het tweede millennium voor Christus tot in de nieuwe tijd het heersende type. Het vloeimiddel leverde eerst natron, later plantenas, beide natriumbronnen; de kalk kwam erin via kalkhoudend zand, toegevoegde schelpen of kalksteen en lag doorgaans bij 5 tot 10 procent. De functie ervan is dezelfde als nu: het verlaagt de wateroplosbaarheid van het glas. [80]

De vezel daaruit is jonger. Slakken- en steenwol werd voor het eerst in 1840 in Wales geproduceerd; in Engeland liepen tot 1885 commerciële bedrijven, in Duitsland kort daarna, en de eerste succesvolle commerciële fabriek in de Verenigde Staten ging in 1897 in bedrijf. De glaswol volgde in 1932 met het met stoom geblazen procedé bij Owens-Illinois; in 1938 ontstond daaruit de Owens Corning Fiberglas Corporation. [81, 82]

Het trekken van een draad uit stroperig glas was daarentegen al in Egypte en Venetië bekend. Overgenomen werd daarmee niet de machine, maar de receptuur: een draad laat zich alleen trekken uit een smeltsel dat bij een beheersbare temperatuur de passende viscositeit heeft. Juist daarvoor dienen natrium- en calciumoxide.

Chemisch werken zij als netwerkmodificatoren. Zij breken het siliciumdioxidenetwerk open, verlagen viscositeit en smelttemperatuur en maken het smeltsel pas verwerkbaar. Natriumoxide is daarbij het klassieke vloeimiddel, calciumoxide stabiliseert daarnaast de chemische bestendigheid van het verstarde glas. Zonder deze oxiden zou zuiver siliciumdioxide een materiaal blijven dat pas ver boven 1700 °C smelt.

Daar komt de grondstoffenzijde bij. Oud glas, dus kalknatronglas uit de verpakkingskringloop, is een wezenlijke grondstof van de glaswolproductie. Het brengt calcium en natrium onvermijdelijk mee. Bij steenwol leveren kalksteen en dolomiet dezelfde oxiden, bij biologisch oplosbare AES-wollen is de aardalkalibasis zelfs naamgevend en voorwaarde voor de biologische oplosbaarheid.

Daarmee ligt het probleem niet in een bijmenging, maar in de materiaalklasse en in de toeleveringsketen. Wanneer de basische oxiden als reactiepartner van de chromaatvorming worden benoemd, betreft dat niet één product, maar de grondslag van een groot deel van de huidige hogetemperatuurisolatie.

En zelfs wanneer de receptuur zou worden gewijzigd, bleef een tweede probleem bestaan. Minder basische oxiden betekenen een hogere smelttemperatuur. De aanwezige installatietechniek, smeltbaden, vuurvaste bemetseling en energievoering, is op de tot nu toe gebruikelijke temperaturen berekend. Een omschakeling zou geen receptuurvraag zijn, maar een investering in de installaties.

Vezels zonder noemenswaardige basische oxiden bestaan desondanks, en wel sinds decennia. Hoogkiezelzuurvezels met meer dan 95 procent siliciumdioxide, aluminiumsilicaatvezels in het systeem Al_2O_3-SiO_2 en polykristallijne aluminiumoxidevezels, die niet uit het smeltsel, maar uit een precursoroplossing worden gesponnen en vervolgens gebrand, komen zonder vloeimiddel toe. Het verschil ligt niet in de chemie, maar in het installatiebestand: hogere smelttemperatuur, andere smeltbaden, andere bemetseling, hoger energieverbruik, lagere doorzet.

Tegen deze achtergrond is de terughoudendheid van de huidige marktleiders ten aanzien van de in-situ-vorming begrijpelijk. Zij kan ook zelfbescherming zijn. Begrijpelijk betekent echter niet zonder gevolgen, want de beoordeling van een gevaar richt zich niet naar de vraag hoe bewerkelijk de wegneming daarvan is.

Daarmee rijst de vraag die deze expertise doortrekt hier het scherpst: vanaf wanneer weet men dat men het niet meer niet kan weten?

14. Transport via de gasfase: Tatar/Gannon en van Leeuwen

De vorming van een vluchtige Cr(VI)-species aan een hete chroombron, de afzetting ervan op koelere vezels en de vorming van een calcium- of natriumchromaat zijn verschillende reactiestappen. Ze kunnen naast elkaar of na elkaar optreden. De uitspraak dat Cr(VI) ook zonder calciumhoudend isolatiemateriaal ontstaat, moet daarom worden onderscheiden van de vraag welke rol een dergelijk isolatiemateriaal speelt bij de binding, de hoeveelheid en de chemische vorm van het afgezette chroom. [11, 35-37]

Onderzoek	Proefomstandigheden	Analytische bevinding / plaatsing
Tatar/Gannon et al. 2018 [35]	Ferritisch T409-staal bij 700 °C; vochtige lucht, $p(H_2O)$ circa 0,16 bar; 900 standaard-cm³/min; gescheiden aluminosilicaatvezels bij 100-230 °C; 150 h.	XPS toont Cr(VI) en Cr(III) op de vezels aan. Adsorptie, dehydratatie en verestering met oppervlakte-OH-groepen worden als mechanisme voorgesteld. Geen specifiek fasebewijs van $CaCrO_4$ of Na_2CrO_4 in het vezelexperiment.
van Leeuwen et al. 2024 [36]	Cr_2O_3-poeder als bron; hete zone circa 800-850 °C; ongeveer 3 vol.-% water in lucht; circa 600 cm³/min; 150 h. Vezels gescheiden in het koelere uitlaatgebied.	Cr(VI) wordt natchemisch met difenylcarbazide/UV-Vis bepaald, totaal chroom met ICP-OES. $CaCrO_4$ op calciumhoudende AES-vezels wordt thermodynamisch gemodelleerd. Gemeten Cr(VI) en gemodelleerde fasesamenstelling moeten worden onderscheiden.

Onderzoek	Proefomstandigheden	Analytische bevinding / plaatsing
Sayano et al. 2015 [11]	Direct contact van chroomhoudende metalen met calciumsilicaathoudende of natriumhoudende isolatiematerialen; warmtebehandeling in lucht.	$CaCrO_4$ en Na_2CrO_4 worden met XRD aan het grensvlak tussen metaal en isolatiemateriaal geïdentificeerd. Deze route is noch afhankelijk van transport via de gasfase, noch van de verestering van oppervlaktegroepen.

Tatar onderzoekt chroomoxyhydroxide uit een hete staalbron en de wisselwerking ervan met ruimtelijk gescheiden, koelere aluminosilicaatvezels. De voorgestelde verestering betreft chromaathoudende oppervlaktebindingen aan aluminium-/siliciumcentra; zij mag niet worden gelijkgesteld aan een bewijs van calcium- of natriumchromaat. De reactievolgorde wordt afgeleid uit XPS-bevindingen en literatuur. Cr(VI) zelf werd daarbij analytisch vastgesteld. [35]

Wordt Tatar aangevoerd als bewijs dat de chemie van het isolatiemateriaal voor Cr(VI)-afzettingen in principe zonder betekenis zou zijn, dan gaat dit verder dan het onderzochte feitencomplex. Het werk toont een vormings- en transportroute zonder noodzakelijke calciumbijdrage aan de hete bron. Het heft noch het directe grensvlakbewijs van Sayano op, noch een latere reactie met calcium-/natriumcomponenten. [11, 35]

Van Leeuwen pakt Tatar/Gannon uitdrukkelijk op en vergelijkt kwarts-, aluminiumoxide- en twee alkalische aardalkalisilicaatvezels (AES). Alle vier materialen verzamelen Cr(VI). De beide AES-monsters vertonen hogere absolute Cr(VI)-concentraties in de onderzochte ontsluitingsoplossingen dan de kwarts- en aluminiumoxidemonsters. Het aandeel Cr(VI) in het totale chroom stijgt echter niet in elk monster in gelijke mate: de afzonderlijke waarden van tabel II laten een nauwkeuriger uitspraak toe dan een algemene beschrijving van steeds hogere Cr(VI)-aandelen bij AES. [36]

Vezelmonster	Cr(VI), mg/L	Totaal Cr, mg/L	Cr(VI)/totaal Cr
Kwarts	0,739	1,339	55 %
Aluminiumoxide	0,403	1,976	20 %
AES #1	0,873	2,170	40 %
AES #2	1,747	3,040	57 %

Waarden volgens tabel II; percentages berekend uit de gepubliceerde afzonderlijke waarden en afgerond. Het gaat om concentraties in ontsluitingsoplossingen, niet om luchtconcentraties of rechtstreeks om mg/kg isolatiemateriaal. Bij de vergelijking van hoeveelheden moet rekening worden gehouden met verschillende vezelgeometrieën en monsterposities. [36]

De auteurs modelleren met FactSage de reactie van de condenserende chroomspecies met de oxidecomponenten en beschrijven $CaCrO_4$ als belangrijke mogelijke Cr(VI)-drager van de calciumhoudende vezels. Dit vult het transport via de gasfase mechanistisch aan. De studie vervangt echter niet het directe XRD-fasebewijs uit de contactproef van Sayano. Chemisch is $CaCrO_4$ een Cr(VI)-chromaat; $CaCr_2O_4$ bevat daarentegen Cr(III). Afwijkende formulenotaties in afzonderlijke passages moeten aan de hand van de oxidatietoestand worden gecontroleerd. [11, 36]

Bij de overdracht naar installaties moeten de proefomstandigheden worden meegenomen: Tatar gebruikt sterk bevochtigde lucht; van Leeuwen ongeveer 3 vol.-% water. Beide leiden een gerichte gasstroom door een buis met een hete bron en daarachter geplaatste vezelmonsters. De proef van van Leeuwen verloopt bij plaatselijke atmosferische druk, niet in een hogedrukstoomreactor. De publicatie noemt in de abstract 800 °C, in het methodedeel een kalibratie van het midden van de oven op 850 °C. De proeven verklaren reactiemogelijkheden; de hoeveelheden ervan zijn niet rechtstreeks overdraagbaar op een vrij aangestroomde uitwendige motorisolatie. [35, 36]

Europese fabrikantenvereniging als opdrachtgever: ECFIA en Montana State University

Tatar en van Leeuwen werken binnen dezelfde Amerikaanse onderzoeksgroep aan de Montana State University; Paul Gannon is bij beide publicaties betrokken. Het proefschrift van van Leeuwen van mei 2024 beschrijft op pagina 2 uitdrukkelijk dat het onderzoek teruggaat op een verzoek van ECFIA als vereniging van Europese fabrikanten van hogetemperatuur-isolatiewol. Onderzocht moesten worden uitspraken van concurrenten wier producten de Cr(VI)-vorming zouden verminderen of verhinderen. Het dankwoord op pagina iii noemt een gedeeltelijke financiering door industriële partners van ECFIA. [35-37]

Daarmee is gedocumenteerd dat de Cr(VI)-vorming aan hogetemperatuur-isolatiewol binnen de Europese fabrikantenvereniging als thema bekend was; aanleiding waren uitspraken van concurrenten over het verminderen of verhinderen van de Cr(VI)-vorming. Het proefschrift en de latere publicatie zijn overlappende resultaten van hetzelfde onderzoeksverband, geen van elkaar onafhankelijke bevestigingen. De financieringsvermelding heeft hier betrekking op het promotieproject; zij wordt niet zonder meer gepresenteerd als specifieke financiering van elke afzonderlijke publicatie. [36, 37]

Daaruit volgt een precieze vraag: welke resultaten werden wanneer aan de betrokken industriële partners overgedragen, en hoe zijn ze verwerkt in productinformatie en toepassingsgerichte waarschuwingen? Het wetenschappelijke resultaat moet, los van deze communicatievraag, op basis van zijn methoden en gegevens worden beoordeeld.

15. Asbesttijdperk, asbestsubstitutie en chrysotiel

Historische materiaalcontinuïteit: asbest, calciumsilicaat en de periode daarna

Calciumsilicaat is niet pas als latere vervangende stof na het wegvallen van asbest in hogetemperatuurtoepassingen geïntroduceerd. De materiaalklasse was al in het asbesttijdperk vertegenwoordigd op de markt voor technische warmte- en leidingisolatie.

Een historisch productblad van Johns-Manville documenteert dit verband rechtstreeks. Het prijst „J-M Thermobestos“ aan voor gebruik tot 1.200 °F en duidt het product uitdrukkelijk aan als „calcium silicate insulation“. Het blad staat in een productoverzicht van de traditierijke asbestfabrikant Johns-Manville voor warmte- en leidingisolaties. Het toont daarmee aan dat calciumsilicaat in het asbesttijdperk geen materiaalwereld buiten de asbestmarkt vormde, maar deel uitmaakte van dezelfde omgeving van hogetemperatuurisolatie. [6]

Het latere wegvallen van de asbestvezel heeft het door asbest veroorzaakte vezelgevaar aangepakt. Het heeft echter niet automatisch de voor de chromaatvorming relevante calciumoxidechemie uit de isolatiesystemen verwijderd. Calciumsilicaatproducten werden verder aangeboden als hogetemperatuurisolaties; momenteel brengt Johns Manville bijvoorbeeld eveneens calciumsilicaathoudende hogetemperatuurisolaties op de markt, nu uitdrukkelijk asbestvrij. De verandering van de vezelcomponent mag dus niet worden gelijkgesteld aan een verwijdering van de basische calciumcomponent.

Asbest-minerale-wolmengsels en composietsystemen

De historische materiaalontwikkeling verliep niet uitsluitend als overgang van zuiver asbest naar zuivere minerale wol. Het Johns-Manville-octrooi US2389460A, verleend op 20 november 1945, beschrijft thermische isolatieplaten met steenwol en asbestvezels in een gewichtsverhouding van ongeveer 2:1, verbonden door een kunststofbindmiddel. Het documenteert een uitdrukkelijk voorzien vezelmengsel. [20]

Voor de hogetemperatuurtechniek is daarnaast US2162387A van 13 juni 1939 relevant: het voor ketel- en stookvoegen beschreven hogetemperatuurcement bevat 10 gewichtsprocent asbestvezels, 5 % minerale wol en 8 % natriumsilicaat alsmede 27 % zand en 50 % vuurvaste klei. Asbest, minerale wol en een natriumcomponent waren dus al toen in dezelfde receptuur voorzien. De historische beoordeling moet dergelijke meng- en composietsystemen inclusief hun basische componenten omvatten. [21]

De historische en de huidige risicologica moeten daarom worden gescheiden en tegelijk in samenhang worden beschouwd:

Tijdsgebonden en materiële samenhang	Relevante gevarendimensie
Asbesthoudende isolatiematerialen	Zelfstandige, ernstige vezelcarcinogeniteit en vezelgerelateerde aandoeningen
Chrysotielvezels met chroomgehalte	Potentiële oxidatieve mobilisatie van Cr(VI) als aanvullende genotoxische component
Calciumsilicaathoudende hogetemperatuurisolatie op chroomgelegeerde hete onderdelen	Calciumgebonden reactieroute naar calciumchromaat
Post-asbest isolatiematerialen met basische oxiden	Voortbestaan van de vormingsroute van chromaat, voor zover de vereiste reactieomstandigheden samenkomen

Vroege onderzoeksbenadering: het Amerikaanse rapport uit 1969

Ralph J. Sullivans Air Pollution Aspects of Chromium and its Compounds bevat twee gescheiden aanknopingspunten. Paragraaf 3.4.1 Asbestos, gedrukte pagina's 24-25, geeft destijds gemaakte overwegingen weer over chroom en andere sporenstoffen als betrokkenen bij asbestgerelateerde kankeraandoeningen. Hij noemt een chroomgehalte van ongeveer 1.500 µg/g in het aangevoerde asbestmateriaal. Paragraaf 3.4.3 Cement, pagina 25, licht de chromaatvorming door warmtebehandeling van Cr_2O_3 onder alkalische omstandigheden toe en vraagt naar de betekenis daarvan voor verdere materialen, bijvoorbeeld asbest. [17]

De eerste aanknoping betreft een mogelijke aanvullende biologische schadecomponent; de tweede een thermochemische onderzoeksvraag. Deze beide historische vragen moeten gescheiden verder worden onderzocht: via de vezelgerelateerde metaalchemie enerzijds en via samenstelling, grensvlakken en bedrijfsomstandigheden van asbesthoudende isolatiesystemen anderzijds. Het rapport ontstond in 1969 voor de US National Air Pollution Control Administration op het Amerikaanse ministerie van volksgezondheid. Het bevindt zich thans in het archief van de Amerikaanse milieuautoriteit EPA; de EPA was niet de toenmalige opdrachtgever. [17]

Chrysotielasbest als mogelijke parallelle Cr(VI)-bron: de bevinding van Walter et al.

De studie van Walter et al. (2022) onderzoekt niet de vorming van chromaat aan isolatiematerialen, maar het vrijkomen van chroom uit chrysotielasbest. Juist daarom vormt zij een beslissende aanvulling op de historische beschouwing: zij maakt zichtbaar dat een blootstelling aan asbest bij chroomhoudend chrysotiel niet noodzakelijkerwijs uitsluitend als vezelblootstelling kan worden opgevat.

Walter et al. tonen in het onderzochte chrysotiel een chroomgehalte in het lage gram-per-kilogrambereik aan. Het chroom is in de uitgangstoestand overwegend aanwezig als slecht oplosbaar Cr(III). Onder oxidatieve omstandigheden bij fysiologische pH, in het bijzonder in aanwezigheid van waterstofperoxide (H_2O_2), werd chroom uit de vezels gemobiliseerd en in de oplossing uitsluitend als Cr(VI) aangetoond. Het gemobiliseerde Cr(VI) was overwegend aanwezig als chromaat-oxyanion.

De eerder onvoldoende onderzochte chroomroute

Walter et al. stellen vast dat een betrokkenheid van chroom bij de carcinogeniteit van chrysotiel al eerder was gepostuleerd. Onvoldoende begrepen waren echter het gedrag en de reactiviteit van het vezelgebonden chroom in long en pleura; het opnamevermogen van de betreffende cellen was naar weten van de auteurs niet eerder onderzocht. De studie richt zich experimenteel op deze kennislacunes. [4]

De studie toont bovendien aan dat longepitheel-, mesotheel-, longcarcinoom- en mesotheliomcellen Cr(VI)-transporters tot expressie brengen en het Cr(VI) opnemen dat in de celopnameproeven aan het kweekmedium werd toegevoegd. De intracellulaire chroomophoping bereikte in de proeven tot ongeveer het tienvoudige van de concentratie in het omringende medium. Volgens de auteurs kan dit gemobiliseerde en celpenetrerende Cr(VI) daarom bijdragen aan tumorinitiatie en tumorprogressie bij asbestgerelateerde aandoeningen.

De bevinding moet nauwkeurig worden gelezen:

- Zij verzwakt de zelfstandige carcinogeniteit van de asbestvezel niet.
- Zij verschuift de bekende ijzer-/vezelchemie niet naar chroom. Walter et al. vonden geen relevante bijdrage van chroom aan de afbraak van H_2O_2 of aan de vorming van hydroxylradicalen; deze route bleef in wezen aan ijzer toegeschreven.
- Zij vult de schademechanismen aan met een aanvullende, door Cr(VI) gemedieerde genotoxische route.

Daarmee opent de studie een historisch relevante vraag: in welke mate werden ziekterisico's bij chrysotielhoudende blootstellingen uitsluitend aan de vezelwerking toegeschreven, hoewel uit de vezels onder ontstekings-oxidatieve omstandigheden aanvullend Cr(VI) kan zijn gemobiliseerd? Walter et al. beantwoorden deze vraag niet kwantitatief. Zij tonen echter aan dat een parallelle betrokkenheid van Cr(VI) op wetenschappelijke gronden in de beoordeling moet worden meegenomen.

Asbestsubstitutie: wegnemen van het vezelgevaar, niet noodzakelijkerwijs van het gehele reactiesysteem

De historische overgang van asbesthoudende naar asbestvrije hogetemperatuurisolaties was in eerste instantie, en terecht, een substitutie van de asbestvezel. De asbestvezel was vanwege haar zelfstandige, ernstige carcinogene werking niet langer houdbaar. Haar verwijdering uit isolatiematerialen was daarom dwingend.

Deze vezelsubstitutie mag echter niet worden gelijkgesteld met een volledige materiële substitutie van het gehele hogetemperatuur-isolatiesysteem. Historisch werden asbestvezels in isolatiesystemen gecombineerd met anorganische componenten. De USGS noemt voor losse asbestvezelmengsels uitdrukkelijk onder meer gehydrateerd calciumsilicaat als anorganische mengcomponent voor warmte-, elektrische en geluidsisolatieproducten. [8] Bovendien beschrijft reeds het Amerikaanse octrooi 668,684 uit 1901 een brandvertragend isolatiecomposiet uit buitenlagen van asbestpapier en een kernlaag van minerale wol. [7]

Met het wegvallen van asbest veranderde daarmee in veel toepassingen primair de kritische vezelcomponent. Voor zover de asbestvrije opvolgerproducten nog steeds calcium-, natrium-, magnesium- of kaliumoxiden uit vezels, vulstoffen, bindmiddelen of andere grondstoffen bevatten, bleef de basisch-oxidische chemie van de isolatie behouden. Op chroomgelegeerde hete onderdelen bleven daarmee ook de materiële voorwaarden voor de vorming van chroom(VI)-verbindingen bestaan.

De vakinhoudelijk nauwkeurige beoordeling luidt daarom:

> **De asbestsubstitutie heeft de niet langer verantwoorde asbestvezel weggenomen, maar niet noodzakelijkerwijs de daarvan onafhankelijke reactieroute van chroombron, basische oxiden, zuurstof en thermische belasting naar calcium- en/of natriumchromaat.**

„Asbestvrij" zegt daarom niets over de vraag of een hogetemperatuurisolatiemateriaal op chroomgelegeerde hete onderdelen chemisch inert is of geen risico op chromaatvorming heeft. Een preventief volledige substitutie moet beide gevarendimensies omvatten: zij moet het asbestgerelateerde vezelgevaar uitsluiten en bij de beoogde toepassing de vormingsroute naar chroom(VI)-verbindingen vermijden. Dit veronderstelt dat de isolatie geen chromaatvormende basische oxiden bevat of dat de beschikbaarheid daarvan voor een reactie onder de gebruiksomstandigheden met zekerheid is uitgesloten.

16. Waarschuwingen van fabrikanten en exploitanten: gedocumenteerde industriële stand van kennis

De wetenschappelijke publicaties staan niet op zichzelf. Fabrikanten van motoren, aggregaten, isolatiematerialen en minerale wol hebben de problematiek opgepakt in technische informatie, servicemededelingen en veiligheidsinstructies. Deze documenten tonen aan dat de vormingsroute in verschillende industriële toepassingsgebieden in de praktijk is waargenomen, analytisch is bevestigd en deels is verbonden met concrete preventievoorschriften. Deze meldingen zijn geen voorzorgsaanwijzingen. Zij beschrijven vondsten aan installaties in bedrijf, deels met afbeeldingen uit het veld.

De vroegste melding: Babcock & Wilcox 1990 en 1994

De eerste gedocumenteerde waarschuwing van een fabrikant over deze vormingsroute stamt niet uit de laatste jaren. De Babcock & Wilcox Power Generation Group gaf in april 1990 het Plant Service Bulletin PSB-43 uit aan eigenaren en exploitanten van ketels en stoomgeneratoren. De eerste versie betrof chroomhoudend vuurvast materiaal. De herziene versie PSB-43A van maart 1994 breidt het toepassingsgebied uitdrukkelijk uit tot „plastics, insulation, and textiles". [75]

De mededeling beschrijft het proces ondubbelzinnig: materialen die in ketels worden toegepast, kunnen chroomverbindingen „as part of the mixture or composition" bevatten, en „during operation, some of the chromium compounds may be converted to hexavalent chromium". Bij demontage geldt: „the dust created may transport the hexavalent chromium. Inhaling hexavalent chromium increases the risk of lung cancer in humans". [75]

De aanbevolen maatregelen komen inhoudelijk overeen met het beschermingsregime dat de Duitse TRGS 561 vandaag onder 4.1 en 4.2 voorschrijft: opleiding, uitrusting en toezicht op het personeel, stofarm werken, geen huidcontact, verwijdering als gevaarlijk afval, in de mededeling volgens 40 CFR 261 en 262. Het verschil ligt in de aanleiding. De Duitse TRGS 561 gaat er in 3.3.4 en 5.9.3 van uit dat de vorming van chroom(VI)-verbindingen aan chroomgelegeerde hete onderdelen niet kan worden uitgesloten, en verlangt daarom het beschermingsregime inclusief substitutietoets zonder voorafgaande meting. Het bulletin van 1990 plaatst in plaats daarvan een onderzoek aan het begin en beveelt aan om vóór de demontage door een gekwalificeerd onafhankelijk laboratorium te laten onderzoeken of chroomverbindingen aanwezig zijn en of zij zich in chroom(VI) hebben omgezet. Over vervanging staat daar dat substituten voor chroomhoudende producten beschikbaar zijn, maar deels een kortere levensduur hebben. [75]

De mededeling noemt de betrokken producten bij naam. Onder de vuurvaste materialen en stampmassa's staan onder meer Chrome Ore, Chrome Mortar, Kromight, Kromecast, Monochrome en Moldit Chrome Castable. Als chroomhoudende isolatie- en textielproducten worden Cerachrome, Z-Blok, Ceraform 130 en Cerachrome Felt vermeld. [75]

Wat daaruit werd geconcludeerd

De getrokken conclusie lag voor de hand: het product bevatte chroom, dus werden chroomhoudende producten afgekozen. De recepturen zelf bleven ongewijzigd; het veiligheidsinformatieblad voor Ceraform 130 vermeldt in de versie van 23 december 2020 nog steeds chroom(III)-oxide met tot 3 procent (rubriek 3). Het gele poeder bleef optreden. Omdat het chroom uit de isolatie verwijderd leek, bleef als verklaring het chroomgelegeerde hete onderdeel over, en daarmee gold de bevinding als onvermijdelijk. [77]

Een tweede keer werd niet onderkend om welke verbindingen het ging. Het waren alkali- en aardalkalichromaten, en de reactiepartner daarvan was nooit verwijderd. Hij zit tot op heden in dezelfde producten, achter een CAS-nummer dat geen gebruiker opzoekt. Huidige vervangende oplossingen hebben dit probleem niet meer: er zijn (aard)alkalimetaaloxidevrije hogetemperatuurisolatiematerialen beschikbaar die de vormingsroute vermijden, zonder verlies aan temperatuurbestendigheid en levensduur.

Uitgever	Gedocumenteerde bevinding	Uitspraak over ontstaan en preventie
Caterpillar / Caterpillar Energy Solutions	Gele residuen op uitlaatsystemen en uitlaatisolaties; onafhankelijk laboratoriumonderzoek bevestigde Cr(VI).	Verwijzingen naar hoge temperaturen, vervangingsonderdelen, onderhoudsmaterialen en bedrijfsomgevingen. Bij opvallende residuen: stofvermijding, PBM en behandeling als gevaarlijk afval.
[redacted]	[redacted], vrijgegeven op 31.05.2023: Cr(VI) als geelachtig residu op motoronderdelen of isolatie.	Noemt chroomhoudend staal, calcium bijvoorbeeld uit isolatiemateriaal, zuurstof en temperaturen boven 400 °C. De doelgroep omvat klanten, servicepartners en vestigingen. [25]
MAN Truck & Bus SE	Eigen analyses toonden Cr(VI) aan op gebruikte motorcomponenten; calciumchromaat $CaCrO_4$ uitdrukkelijk benoemd.	Cr-houdende staalsoorten, calciumhoudende isolatiematerialen of montagepasta's, zuurstof, temperaturen boven 300 °C. Voor montagewerkzaamheden uitsluitend geschikte calciumvrije pasta's.

Uitgever	Gedocumenteerde bevinding	Uitspraak over ontstaan en preventie
Frenzelit	Bevestigt calciumoxideaandelen in eigen isolatiematerialen in uiteenlopende aandelen.	Cr-gelegeerd staal, alkali-/aardalkalioxiden, vooral CaO, zuurstof, boven 350 °C. Eigen producten kunnen bij aanwezigheid van de voorwaarden bijdragen aan Cr(VI)-vorming.
Rockwool Technical Insulation	95-100 % steenwol; samen meer dan 18 % aandeel alkali-/aardalkalioxiden. Cr(VI)-afzettingen op roestvast staal en minerale wol beschreven.	Bespreekt afzettingen bij heet roestvaststalen draad. Bij opvallende afzettingen sneltest; bij Cr(VI) specifieke voorschriften voor arbeidsbescherming/hygiëne. Ook bij het verwijderen van opvallende afzettingen beschermingsmaatregelen.
[redacted]	Service Information [redacted] van 07.08.2025: Cr(VI)-vorming op oppervlakken van hete, chroomhoudende uitlaatcomponenten.	Noemt onder meer turbocompressor, uitlaatspruitstuk, EGR, katalysatoren en DPF; eist beschermingsmaatregelen, verbiedt reiniging met perslucht en beschrijft neutralisatie. [22]
[redacted]	[redacted] van 27.08.2025: bevestigde Cr(VI)-contaminaties onder meer op hitteschilden, uitlaatspruitstukken en turbocompressoren.	Waarschuwing uitdrukkelijk voor personeel in de motorruimte, voertuigreparaties en het hanteren van componenten; contaminatie kan onzichtbaar zijn. Voorschriften voor PBM, hygiëne en reiniging. [23]
Wärtsilä Finland Oy	Instruction WS00Q563, eerste uitgave 9 november 2020, uitgave 4 van 20 juni 2024: Cr(VI)-residu, geelachtig of witachtig, op onderdelen van het uitlaatsysteem, op de platen van de isolatiekasten van de uitlaat en op turbocompressoronderdelen, met foto's van een boutverbinding en van uitlaatpijpflenzen. Geldt voor viertaktmotoren en voor onderdelen na de motor waarvan de bedrijfstemperatuur 400 °C kan overschrijden.	Noemt drie gelijktijdig vervulde voorwaarden: een calciumhoudend product, meestal uit montagepasta of calciumgebaseerde isolatie, meer dan 400 °C en chroomstaal in contact; daarbij een waarschuwing voor warme werkzaamheden. Verlangt veegtestsets vóór aanvang van de werkzaamheden, controle van elk opvallend residu, stofbinding, HEPA-afzuiging, markering en afvoer als gevaarlijk afval alsmede FFP3 of NIOSH P95/P100. Beveelt de overstap aan op montagepasta's zonder reactieve calciumverbindingen. Gericht aan exploitanten en eigenaren van de betrokken installaties, voor onmiddellijke aandacht.

Wat deze waarschuwingen aantonen

De waarschuwingen betreffen meerdere industriële toepassingsgebieden. MAN benoemt calciumchromaat en de materiaalgebonden vormingsvoorwaarden; Frenzelit plaatst eigen calciumoxideaandelen in hetzelfde verband. Caterpillar bevestigt daadwerkelijke Cr(VI)-vondsten. Rockwool beschrijft afzettingen en de basische oxidesamenstelling van zijn steenwol. [12-16]

Wärtsilä noemt calciumgebaseerde isolatie en calciumhoudende montagepasta als calciumbron, 400 °C als drempel en verlangt de controle vóór aanvang van de werkzaamheden. [137]

Afzonderlijke documenten verklaren het ontstaan nog als „niet volledig" of „in het algemeen nog niet herleidbaar" en verwijzen naar mogelijke externe bronnen zoals vervangingsonderdelen, onderhoudsmaterialen of bedrijfsomgevingen. Deze uitspraken kunnen betrekking hebben op open vragen over lokale bronbijdragen, kinetiek of concrete bedrijfsomstandigheden. Zij stellen de gedocumenteerde vormingsroute echter niet ter discussie. Juist vervangingsonderdelen, montagepasta's en isolatiematerialen zijn mogelijke dragers van de voor de chromaatvorming relevante calcium- en natriumverbindingen.

De voorstelling van de blootstelling als een op zichzelf staand, niet verklaarbaar of uitsluitend door externe bijzondere omstandigheden veroorzaakt probleem laat daarom de gepubliceerde wetenschappelijke stand van kennis, die van de fabrikanten en die van de ongevallenverzekeraars buiten beschouwing. Of een dergelijke uitsluiting bewust of onbewust gebeurt, valt uit de documenten zelf niet af te leiden; vakinhoudelijk leidt zij echter tot een relativering van een bekende en vermijdbare reactieroute.

Waar de vermelding staat: de veiligheidsinformatiebladen van de vuurvaste producten

HarbisonWalker International is rechtsopvolger van Harbison-Walker, A.P. Green en NARCO, dus van de fabrikanten wier producten het bulletin van 1994 bij naam vermeldt. Op de veiligheidsinformatiebladen van zijn chroomhoudende vuurvaste producten staat de zin: „The chrome compounds (Cr III) in this product may be altered to a hexavalent compound (Cr VI) under certain use conditions, such as exposure to alkali salts and/or high temperatures." Gecontroleerd is hij aan PLASTECH RUBY (versie 02 van 1 april 2021), AUREX 30 SR (versie 02 van 29 juni 2018), SFG (versie 02 van 22 maart 2021) en RUBY (versie 03 van 17 april 2020). [93]

De zin staat in rubriek 13, verwijdering. In de gecontroleerde bladen komt het woord hexavalent op geen enkele andere plaats voor, noch in rubriek 2, noch in rubriek 10. Volgens bijlage D bij OSHA 29 CFR 1910.1200 verlangt rubriek 10 de opgave van de „Possibility of hazardous reactions, including those associated with foreseeable emergencies" en van de „Hazardous decomposition products", rubriek 7 de „Precautions for safe handling"; de rubrieken 12 tot 15 merkt tabel D.1 als niet bindend aan. De uitspraak over de omzetting staat daarmee in dat deel van het blad waarvoor geen inhoudelijke toetsingsplicht bestaat. Gelezen wordt dat deel door degene die over de afvalindeling beslist, en wel na de demontage. [94]

De samenstellingen laten zien dat de alkalische partner in meerdere van deze producten aanwezig is. SFG, een magnesia-chroomsteen, vermeldt magnesiumoxide met 70 tot 90 procent naast chroom(III)-oxide met 20 tot 40 procent. RUBY vermeldt natriumaluminaat met 2,5 tot 10 procent naast chroom(III)-oxide met 2,5 tot 10 procent. THERMOLITH, een chroommortel met 80 tot 100 procent chroomverbindingen en 2,5 tot 10 procent natriumsilicaat als bindmiddel, bevat de vermelding niet. De fabrikant formuleert het alkali als iets waaraan het product van buitenaf wordt blootgesteld, terwijl het in meerdere van zijn eigen producten bestanddeel is. [93]

Aan de vezelzijde ontbreken de vermelding en de partner. Het veiligheidsinformatieblad Morgan SDS 252 in de revisie van 1 juni 2015 dekt Cerachrome en Z-Blok in de CR-uitvoering en vermeldt de Refractories, Fibers, Aluminosilicate onder CAS 142844-00-6 met 95 tot 100 procent alsmede chroom(III)-oxide met tot 3 procent; rubriek 10 noemt als ontledingsproducten „None", en chroom(VI) komt in het hele blad niet voor. In geen van de gecontroleerde vezelbladen verschijnt calcium als eigen regel, ook niet in het blad bij Ceraform 130. De reactiepartner zit in de stofdefinitie achter het CAS-nummer: het registratiedossier van de ECHA beschrijft de stofgroep als amorfe glasvezel van siliciumdioxide en aluminiumoxide met een reeks verdere oxiden, waaronder uitdrukkelijk calciumoxide, en de definitie van de stofklasse laat een gehalte aan alkali- en aardalkalioxiden van tot 18 gewichtsprocent toe. [95, 96]

Voor dezelfde reactie bestaan daarmee twee voorstellingen. De vuurvastfabrikanten benoemen de omzettingsroute en de voorwaarden daarvan en plaatsen de uitspraak in de verwijderingsrubriek. Aan de vezelzijde wordt de route niet benoemd, en de reactiepartner verschijnt in de bladen niet als bestanddeel.

Veiligheidsinformatie: leveringstoestand en gebruikstoestand

De Europese ProRox-WM-S/SW-instructie van Rockwool bevat al op 1 mei 2023 en verder in versie 1.1 van 1 januari 2025 uitdrukkelijke aanwijzingen over Cr(VI)-afzettingen na hogetemperatuurtoepassing, het kankerrisico daarvan en beschermingsmaatregelen bij de demontage. De Europese instructie heeft specifiek betrekking op uitvoeringen met roestvaststalen gaas en/of roestvaststalen naaidraad. [16, 24]

Bij Morgan behandelen de paragrafen over reactiviteit vooral de stabiliteit van de AES-vezels, de ontleding van bindmiddelen en faseveranderingen bij hoge temperatuur. Ook na gebruik worden vragen over vezel- respectievelijk silicastof behandeld; de reactieroute met chroomhoudende tegenoppervlakken wordt in het onderzochte Britse SDS 418 niet toegelicht. Aspen beschrijft in de Duitse artikelinformatie over Pyrogel XTE geen bekende gevaarlijke reacties bij normaal gebruik, maar vermeldt geen chromaatroute. Dat is een concrete documentatielacune voor het verdere onderzoek naar geschikte materiaalcombinaties. Het is geen bevinding over alle documenten van deze fabrikanten. [28, 29]

Voor de beoordeling moet de leveringstoestand worden onderscheiden van de beoogde thermische toepassing en van de toestand bij verwijdering. Een niet als gevaarlijk ingedeelde vezel of een als voorwerp behandeld product kan na gebruik belast zijn met nieuw gevormde gevaarlijke stoffen. Doorslaggevend is of de veiligheidsinformatie deze toestandsverandering dekt voor het beoogde contact met chroomhoudende onderdelen.

Kennis bij de fabrikant sinds 2019: [redacted]

De auteur beschikt over correspondentie van de fabrikant [redacted] uit augustus 2019. Daarin deelde de fabrikant zijn leverancier van uitlaatgasisolaties mee dat afzettingen tussen uitlaatgasisolatie en uitlaatleidingen aan [redacted]-motoren positief op chroom(VI) waren getest. Het onderwerp moest als zeer zorgwekkende stof (SVHC) met de hoogste urgentie worden behandeld. Als oorzaak noemde de fabrikant toen al het chroomhoudende roestvaste staal, in het bijzonder het draadvlechtwerk van de isolatie, in reactie met calcium uit het isolatiemateriaal. Aanvullend werd meegedeeld dat het probleem bij alle motortypen optreedt. [52]

Daarmee was de calciumafhankelijke vormingsroute bij de fabrikant bijna vier jaar vóór de technische instructie [redacted] (2023) bekend. Zij komt overeen met het mechanisme dat Udy 1939, Paoletti 2002 en Sayano 2015 beschrijven. [1, 11, 25, 50]

17. Analytiek: de methode beslist over de bevinding

De bepaling van chroom(VI) is geen elementbepaling, maar een speciatieanalyse. Gemeten wordt een oxidatietoestand, en die toestand kan tijdens de monstervoorbereiding veranderen. Wat het apparaat uiteindelijk registreert, is niet noodzakelijk wat in het monster aanwezig was.

De Amerikaanse methode EPA SW-846 Method 3060A, die aan de alkalische ontsluiting ten grondslag ligt, benoemt beide foutrichtingen uitdrukkelijk. Enerzijds mogen de extractieomstandigheden „not induce reduction of native Cr(VI) to Cr(III)", anderzijds mag de methode „not cause oxidation of native Cr(III) contained in the sample to Cr(VI)". Over de tweede richting staat er verder: „Cr(VI) results obtained using this method may be biased high due to method-induced oxidation." [83]

De reductie tijdens de ontsluiting

Bevat het monster reducerende bestanddelen, dan wordt het chromaat omgezet voordat het kan worden gemeten. In coatings zijn dat vooral metallisch zink en aluminium, daarnaast ijzer(II) en organische bestanddelen. Het ringonderzoek bij de Nederlandse NEN 5617 toont de orde van grootte: bij een zinkvrij verfmonster behaalden de deelnemende laboratoria gemiddeld 58 procent terugvinding, bij 50.000 mg/kg zink nog 39 procent. In een matrix met 16 procent zink lag de terugvinding volgens NEN 5617 bij 0,2 procent, bij een andere geaccrediteerde methode bij 6,5 procent en bij de methode van SEEF B.V. bij 35,3 procent. De NEN 5617:2022 merkt zichzelf om die reden aan als semikwantitatief. [84, 85]

De matrix van het isolatiemateriaal

Voor thermische isolatiematerialen wordt de situatie scherper, omdat de matrix zelf de reactiepartner is: calciumrijk, basisch en in gebruikte toestand doortrokken van roet, olie en corrosieproducten. Een genormeerde methode voor deze matrix bestaat niet; er is noch een NEN-, noch een ISO-, noch een NIOSH-methode die op isolatiematerialen is toegesneden. De ISO 15192:2021 is bestemd voor afval en bodem. Overgedragen methoden leveren volgens de opgave van het daarmee belaste laboratorium te lage uitslagen van 20 tot 30 procent in milde gevallen en waarden nabij nul bij sterk calciumhoudende monsters. Een Nederlands laboratorium, SEEF B.V., heeft voor deze matrix een eigen methode ontwikkeld die chroom(VI) over de gehele analysegang stabiliseert en volgens eigen opgave bij gespikete monsters van isolatiemateriaal terugvindingen van structureel meer dan 80 procent haalt. [85]

Oliefilms en apolaire fasen

Naast de reductie is er een tweede weg waarop een monster te weinig aangeeft. Wordt een oppervlak vóór de monstername met een kruipolie behandeld, dan gaat het chromaat over in een apolaire fase en is het voor de waterige meting niet meer beschikbaar. Chemisch gebeurt daarbij niets; de analyt is alleen aan de bepaling onttrokken.

SEEF B.V. heeft dat voor WD-40 gekwantificeerd. Vast chroom(VI) in direct contact met 2 ml WD-40, vervolgens zonder ontsluitingschemie in water opgelost, gaf een terugvinding van 5,8 procent. Bij hogere volumes was geen betrouwbare concentratie meer te bepalen, omdat het chromaat in de oliefase samenklonterde. Bij al opgelost chroom(VI) en bij volledige ontsluiting trad het effect niet op (paragraaf 26). [91]

Voor de praktijk volgt daaruit dat een monsterneming na een behandeling met olie of vet geen bruikbare bevinding oplevert. Dat betreft kruipoliën evenals montagepasta's en conserveringsmiddelen.

Monsterneming: plek, oppervlak en diepte

De voorgaande paragrafen betreffen de meting aan het monster. Daarvan te onderscheiden is welke monster wordt genomen. In de praktijk staan vier benaderingen naast elkaar: de uitstrijk met staafje of swab op een kleine plek, het vlakmonster met doek en aansluitende extractie, het materiaalmonster uit het isolatiemateriaal en de fase-analyse aan een uitsnede, zoals Sayano et al. die met röntgendiffractie hebben uitgevoerd. Elk van deze benaderingen beschrijft de plaats waar zij aangrijpt. [11]

De vorming treedt op waar chroomgelegeerd staal, basische component, zuurstof en temperatuur samenkomen. Over een isolatieset zijn deze voorwaarden niet gelijkmatig, contact en temperatuur variëren over het oppervlak. De belasting treedt daarom vlekkerig op. Welke bevinding ontstaat, hangt af van waar het monster is genomen. De Franse veldstudie toont hetzelfde verband binnen één installatie (paragraaf 19).

Daar komt de diepte bij. De fase-analyse omvat een dunne randlaag en alleen kristallijne delen boven haar aantoonbaarheidsgrens (paragraaf 3). Chromaat dat binnen in de isolatie aan het contactvlak met het onderdeel of tussen de lagen is ontstaan, ligt buiten dat bereik. De veegtest omvat wat op het toegankelijke oppervlak ligt en zich laat afvegen. Het materiaalmonster omvat het genomen stuk.

Voor een isolatiesysteem van meerdere vierkante meters volgt daaruit een asymmetrie. Een positieve bevinding toont de aanwezigheid aan en is daarmee afsluitend. Een negatieve bevinding toont het uitblijven van een vondst aan op de onderzochte plek, op de onderzochte diepte en tot de aantoonbaarheidsgrens van de methode. Verdere negatieve monsters vergroten het onderzochte oppervlak, zij dekken het gehele oppervlak niet af; een extra monster op een andere plek kan positief uitvallen. Een aantal monsters dat de afwezigheid over het gehele oppervlak zou dragen, is in de praktijk niet te realiseren.

Als beoordeling: deze methoden zijn aantoningsmethoden en geen vrijgavemethoden. Zij stellen een belasting vast en bakenen de omvang ervan af. Een oppervlak geven zij niet vrij. Wie ze daarvoor gebruikt, stelt het uitblijven van een vondst gelijk aan het bewijs van afwezigheid.

Wat daaruit volgt voor de risicobeoordeling

Een analyseresultaat voor chroom(VI) is zonder vermelding van de terugvinding aan dezelfde matrix geen uitspraak over het gehalte. De EPA-methode trekt daaruit de consequentie en verlangt gedoteerde monsters vóór de ontsluiting, oplosbaar en onoplosbaar, met een aanvaardingsbereik van de terugvinding van 75 tot 125 procent; buiten dit bereik moet de gehele serie worden herhaald. [83]

Ontbreekt deze vermelding, dan zijn twee onjuiste conclusies mogelijk. Een te lage bevinding leidt ertoe dat een aanwezige belasting als onbeduidend wordt ingedeeld en beschermingsmaatregelen uitblijven. Een methodisch verhoogde bevinding leidt ertoe dat maatregelen op de verkeerde plaats aangrijpen. Voor de arbeidsbescherming weegt het eerste geval zwaarder, omdat het kan leiden tot een vrijgave die niet op een daadwerkelijke afwezigheid van chromaat berust.

Dit is geen beoordeling van afzonderlijke laboratoria. De genoemde methoden zijn geschikt voor de matrices waarvoor zij zijn ontwikkeld en worden vakkundig uitgevoerd. Het punt is een ander: chroom(VI) is matrixafhankelijk, en een methode die voor bodem of afval is ontwikkeld, levert aan een gebruikt, calciumrijk isolatiemateriaal geen vergelijkbare bevinding.

Daaruit volgt de eis aan elk testrapport: methode, matrix en terugvinding aan deze matrix horen in het rapport, niet alleen de getalswaarde. En daaruit volgt tegelijk waarom de Duitse TRGS 561 niet op een meting afgaat, maar op het vermoeden van aanwezigheid: zolang de terugvinding in deze matrix niet is aangetoond, is een negatieve uitslag geen bewijs van afwezigheid.

18. Regelgeving vergeleken: één maatstaf, vijf uitwerkingen

Voor alle lidstaten geldt bovenliggend Richtlijn 2004/37/EG in de geldende versie. Zij stelt sinds 17 januari 2025 een bindende grenswaarde van 0,005 mg/m³ voor chroom(VI)-verbindingen vast; daarvoor golden 0,010 mg/m³ en bij het lassen en plasmasnijden 0,025 mg/m³. [86]

De maatstaf voor de hier behandelde vraagstelling stelt Duitsland. De GefStoffV en de TRGS 561 zijn de enige van deze regelgeving die de vorming van chroom(VI)-verbindingen aan chroomgelegeerde hete onderdelen uitdrukkelijk behandelt en daaruit een beschermingsregime afleidt, zonder een voorafgaande meting te verlangen. Voor chroom(VI)-verbindingen bestaat geen acceptatieconcentratie; de TRGS 561 gebruikt 0,001 mg/m³ in de inhaleerbare fractie als beoordelingsmaatstaf, die tegelijk overeenkomt met de tolerantieconcentratie van de TRGS 910. [87]

De overige regelgeving laat zich daarbij als spiegel lezen.

Kader	Grondslag	Luchtgrenswaarde
Nederland	Arbobesluit, SZW-lijst van kankerverwekkende stoffen	0,001 mg/m³ als Cr
Verenigd Koninkrijk	COSHH Regulations 2002, EH40	0,01 mg/m³, 8-uursgemiddelde; 0,025 mg/m³ procesmatig gegenereerd [42]

Kader	Grondslag	Luchtgrenswaarde
Verenigde Staten	OSHA 29 CFR 1910.1026	PEL 5 µg/m³, Action Level 2,5 µg/m³

De getalswaarden liggen een factor 10 uiteen. Alle hebben betrekking op het chroomgehalte, geen enkele op de concrete verbinding. Het verschil is echter kleiner dan het lijkt: het Verenigd Koninkrijk heeft weliswaar de hoogste waarde, maar verlangt voor kankerverwekkende stoffen volgens de COSHH Regulations tegelijk de minimalisatie tot het redelijkerwijs praktisch haalbare minimum, zodat de grenswaarde daar geen toelaatbaar werkniveau beschrijft. Het informatieblad INDG346 van dezelfde instantie noemt nog steeds de waarde van 0,05 mg/m³ die tot 17 januari 2020 gold [88].

De luchtconcentratie beschrijft daarbij slechts een van twee blootstellingsroutes. Chroom(VI)-houdend stof verdeelt zich in het werkgebied niet gelijkmatig, en bij werkzaamheden aan geïsoleerde hete onderdelen kan de dermale blootstelling hoger worden beoordeeld dan de inhalatoire. Beide routes moeten afzonderlijk worden beoordeeld. De Amerikaanse regel schrijft beschermende kleding, kleed- en wasruimten alsmede het verbod op afblazen met perslucht voor; de Duitse regelgeving voert chroom(VI)-verbindingen als huidresorptief en verlangt overeenkomstige maatregelen volgens de TRGS 401.

Bij verbrandingsassen geldt hetzelfde. Ook daar moeten het inhalatoire en het dermale gevaar afzonderlijk worden beoordeeld, en bijzonder gewicht heeft het voorkomen van versleping uit het verontreinigde gebied, dat arbeidsbescherming en milieubescherming tegelijk betreft.

Aanbestedingsrecht: de Amerikaanse clausule DFARS 252.223-7008

Naast de arbeidsbescherming grijpt in de Verenigde Staten het aanbestedingsrecht in. De clausule DFARS 252.223-7008 „Prohibition of Hexavalent Chromium" geldt sinds 5 mei 2011 en wordt volgens DFARS 223.7306 opgenomen in contracten van het ministerie van Defensie; de laatste wijziging dateert van 25 april 2024. Grondslag is het memorandum „Minimizing the Use of Hexavalent Chromium" van de Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics van 8 april 2009. [89, 90]

Verboden is de levering van een voorwerp of bouwproduct dat chroom(VI) „in a concentration greater than 0.1 percent by weight in any homogenous material" bevat, evenals de levering van voorwerpen waarbij chroom(VI) in latere onderhoudsfasen zou moeten worden verwijderd of opnieuw aangebracht. Als homogeen materiaal geldt volgens de begripsbepaling in lid (a) een materiaal dat zich niet mechanisch laat scheiden en doorgaand gelijkmatig is samengesteld; oppervlaktelagen gelden uitdrukkelijk als eigen homogeen materiaal. De uitzondering in lid (b)(2) omvat „hexavalent chromium produced as a by-product of manufacturing processes". Lid (d) verplicht tot doorgifte aan alle onderaannemers voor leveringen, onderhouds- en reparatiewerkzaamheden of bouwproducten. [89]

Voor geïsoleerde hete onderdelen volgen daaruit drie punten. De referentiemassa van de 0,1 procent is het homogene materiaal, zodat een dunne chromaathoudende afzettings- of coatinglaag wordt gerekend tegen de massa van deze laag en niet tegen die van het onderdeel. De uitzondering is geformuleerd op productieprocessen en omvat naar haar tekst geen chromaat dat pas tijdens het bedrijf ontstaat. De doorgifteplicht breidt de clausule uit tot onderhouds- en reparatiewerkzaamheden. Of een calciumhoudende isolatie op een chroomgelegeerd heet onderdeel, die bij elke revisie de verwijdering van chromaat vereist, onder de tweede verbodsvariant valt, is een vraag van uitleg die de tekst toelaat.

19. Sneltestfilosofie en de Franse veldstudie

De technische informatie van Caterpillar, MAN en in het bijzonder Rockwool volgt deels een getrapte detectie- en reactielogica:

1. Eerst wordt gezocht naar zichtbare gele, geelachtige of oranje afzettingen.

2. Bij een dergelijke zichtbare aanleiding wordt een colorimetrische sneltest ingezet of laboratoriumonderzoek aanbevolen.

3. Bijzondere beschermingsmaatregelen worden vervolgens gekoppeld aan het positieve bewijs of aan de concrete verdenking.

Deze werkwijze heeft een begrijpelijk doel als oriënterende waarschuwings- en screeningsprocedure. Een positief resultaat is een betrouwbaar waarschuwingssignaal en vereist beschermingsmaatregelen. Zij is echter niet geschikt om uit een negatief resultaat af te leiden dat er geen Cr(VI)-contaminatie aanwezig is.

In de ProRox-instructie is de toetsing op Cr(VI) gekoppeld aan opvallend gekleurde afzettingen. Daarnaast verlangt zij bij de demontage van dergelijke afzettingen beschermingsmaatregelen. De visuele herkenningslogica omvat echter niet betrouwbaar elke contaminatie en mag niet worden opgevat als ontlasting bij het ontbreken van kleur of bij een negatieve sneltest.

Als vrijgave- of ontlastingslogica is dat vakinhoudelijk niet houdbaar. De materiaalconstellatie van chroomgelegeerd heet onderdeel, basische oxiden, zuurstof en temperatuur vormt al een concrete verdenkingssituatie. Een negatieve sneltest reduceert deze verdenking niet tot nul, omdat de detectiegevoeligheid ervan, de representatieve monsterneming, de heterogeniteit van het oppervlak en de geteste plek beperkt zijn. Ook de achteraf uitgevoerde chemische behandeling of „neutralisatie" van reeds aanwezige residuen vervangt noch de preventie van de vormingsroute, noch een betrouwbaar bewijs van werkzaamheid onder gecontroleerde omstandigheden.

Preventiemaatstaf van de Duitse TRGS 561

Het buurland Duitsland formuleert dit uitdrukkelijk: paragraaf 5.9.3 van de Duitse TRGS 561 noemt alkali-/aardalkalimetaaloxiden uit isolatiematerialen of montagepasta's als beïnvloedende factor; lid 5 eist beschermingsmaatregelen volgens 4.1 en 4.2 alsmede aanvullende maatregelen wanneer een belasting met chroom(VI) aanwezig is of niet kan worden uitgesloten. [19]

De volgende Franse veldstudie toont de praktische consequentie van deze sneltestfilosofie onmiddellijk.

De Franse veldstudie: waarom negatieve sneltests geen reden tot geruststelling zijn

Het Franse onderzoek van Passeron et al. (2025) bij het onderhoud van diesel- en scheepsmotoren toont een verder, praktisch belangrijk niveau: de chroom(VI)-contaminatie kan met visuele colorimetrische sneltests over het hoofd worden gezien.

De onderneming zette intern colorimetrische tests in en verbond daaraan preventieve beslissingen. De auteurs van de studie vergeleken deze tests op dezelfde bemonsteringsplaatsen met veegmonsters van het oppervlak, die met ionchromatografie op Cr(VI) werden onderzocht. Het resultaat was eenduidig:

Bemonsteringsplaats op de voertuigmotor	Laboratoriumanalytische Cr(VI)-bevinding	Visuele colorimetrische sneltest
Uitlaatspruitstuk	127 ng	Hooguit zwak waarneembaar positief
Turbocompressor	869 ng	Negatief
Schroef aan de uitgang van de turbocompressor	1.646 ng	Positief

De waarden zijn absolute Cr(VI)-hoeveelheden per monster, geen oppervlaktegebonden concentraties.

De negatieve sneltest aan de turbocompressor ondanks een laboratoriumbevinding van 869 ng Cr(VI) is een duidelijke vals-negatieve bevinding. De auteurs stellen bovendien vast dat meerdere positieve oppervlaktemonsters door visuele colorimetrische tests niet werden opgemerkt. Zij concluderen daarom uitdrukkelijk dat deze tests met voorzichtigheid moeten worden ingezet.

Voor de betrouwbare beoordeling van de oppervlaktecontaminatie zijn representatieve veegmonsters en laboratoriumanalytische Cr(VI)-bepalingen noodzakelijk. Deze beoordelen een ander deel van het gevaar dan werkzaamheidsgerichte luchtmetingen. De blootstellingsroutes moeten overeenkomstig paragraaf 24 elk zelfstandig worden beschouwd.

D. Voertuigen

20. Voertuigmotoren en motorruimten

De voertuigwaarschuwingen verbinden de industriële vormingsroute met het onderhoudsdomein in de automobielsector. [redacted] beschrijft de vorming op hete oppervlakken van chroomhoudende uitlaatcomponenten. [redacted] benoemt daadwerkelijk vastgestelde contaminaties, richt zich uitdrukkelijk op werkzaamheden in de motorruimte van alle modellen en houdt naast inhalatie ook rekening met huidcontact en hand-mondoverdracht. De beide documenten noemen geen definitieve speciatie als calcium- of natriumchromaat. [22, 23]

Concrete toepassing in de automobielsector: Morgan Superwool Plus Heat Shield

Morgan promoot Superwool Plus Heat Shield in het gegevensblad 09/2019 uitdrukkelijk voor aan trillingen blootgestelde hitteschilden van voertuigen. Het gaat om een flexibele vezelmat van calcium-/magnesiumsilicaat, geen starre calciumsilicaatplaat. Het blad noemt de volgende oxidesamenstelling en gebruikstemperaturen. [48]

Gegeven in het productgegevensblad	Waarde
SiO_2	62-68 %
CaO	26-32 %
MgO	3-7 %
Heet oppervlak, continubedrijf	750 °C
Heet oppervlak, kortstondige piek	850 °C

De veiligheidsinformatie behandelt biopersistentie en vezelindeling; een waarschuwing voor chromaat ontbreekt. De beschikbaarheidstabel van het blad noemt Europa. [48]

De systeempagina van Morgan beschrijft Superwool Plus als isolatieoptie binnen inkapselingen van roestvast staal. Genoemde toepassingen zijn katalysatoren, uitlaatspruitstukken van personenauto's, turbotoepassingen bij off-roadvoertuigen en uitlaatspruitstukken in de scheepvaart/energieproductie. Als inkapselingsmaterialen worden onder andere austenitische en ferritische roestvaste staalsoorten genoemd. [49]

Daarmee is de doelgerichte vermarkting van een calciumhoudend isolatiemateriaal voor automobiele toepassingen op hete onderdelen gedocumenteerd. Vezelchemie, chroomhoudend contact-/inkapselingsoppervlak en thermische belasting moeten samen worden beoordeeld. Het als CaO opgegeven gehalte is een aanwijzing voor gevaar; de reactiebeschikbaarheid daarvan moet in de concrete opbouw worden onderzocht. Een ontlasting van de uitgangsvezel omvat geen latere vorming van gevaarlijke stoffen. De in paragraaf 10 aangetoonde grensvlakroute rechtvaardigt een concrete compatibiliteits- en informatievraag. [11, 48, 49]

Consequenties voor voertuigen

Bij een aantoonbaar met Cr(VI) gecontamineerd voertuig is de bevinding van een gevaarlijke stof tegelijk een eigenschap van het voertuig en zijn onderdelen. Zij betreft de veilige hantering, het onderhoud, het hergebruik van componenten en de kosten van een vereiste herstelmaatregel. Daarmee ontstaat een zelfstandige vraag naar de producttoestand en de waardering van het voertuig. De beschikbare OEM-waarschuwingen en oppervlaktebevindingen bieden hiervoor een concreet technisch uitgangspunt. [5, 22, 23]

Welke gevolgen aan het voertuig moeten worden vastgelegd

Domein	Concreet gevolg voor het voertuig	Navolgbare grondslag
Onderhoud en hantering	Aanraakbare of bij werkzaamheden vrijkomende residuen kunnen bijzondere werkmethoden vereisen; ook pechhulp en voorziene werkzaamheden door de houder kunnen betroffen zijn.	Onderdeel- en werkzaamheidsgebonden bevindingen, toegankelijkheid, vrijkomen en instructies van de fabrikant. Een contaminatie van de motorruimte moet afzonderlijk van een belasting van het interieur worden vastgelegd.
Herstel en terugkeer	Decontaminatie, eventueel vervanging van belaste isolatie-elementen en wijziging van het reactieve contact. Terugkerende belasting kan herhaalde inspanningen veroorzaken.	Omvang en kosten van de werkzaamheden; controle van de werkzaamheid en bevindingen na hernieuwd thermisch bedrijf.
Kosten en voertuigwaarde	Extra onderhouds-/afvoerkosten, stilstandtijden en eventueel resterende waardevermindering ondanks herstel.	Facturen, gedocumenteerde gebruiksbeperkingen en deskundige beoordeling. Een forfaitaire waardevermindering uitsluitend op grond van de stofnaam is geen betrouwbare kwantificering.
Informatie aan houders en markt	Informatie over betroffen uitvoeringen, relevante werkzaamheden, bescherming en herstel; doorgifte aan onafhankelijke werkplaatsen, kopers van gebruikte voertuigen en wagenparkbeheerders.	Gedateerde waarschuwingen, de daadwerkelijke verspreiding daarvan en toewijzing van de betroffen voertuig- en onderdeeluitvoeringen.

Een technisch functionerende motor beantwoordt de vraag naar veilige hantering en gebruikelijke onderhoudsomstandigheden niet definitief. Evenzo moet een waarschuwing aan officiële werkplaatsen los worden beoordeeld van de vraag of houders, onafhankelijke reparatiebedrijven en latere kopers de vereiste informatie ontvangen. Maatgevend is de concrete werkzaamheid: het openen van de motorkap, bijvullen of pechhulp moeten worden onderzocht op de daadwerkelijk toegankelijke belaste plekken; een blootstelling bij elk van deze werkzaamheden wordt niet verondersteld.

Een duurzame technische herstelmaatregel moet bestaande contaminatie en de oorzaak van mogelijke nieuwvorming samen aanpakken. Blijft de reactieve materiaalcombinatie behouden, dan moet de werkzaamheid van een eenmalige reiniging ook na hernieuwd bedrijf worden gecontroleerd. Chromaat kan pas tijdens het gebruik ontstaan, hoewel de daarvoor bepalende materiaal-/contactconstellatie al bij aflevering aanwezig was. Voor de toewijzing moeten de seriestand, de thermische belasting en latere ombouwingen worden vastgelegd. [11, 22, 23, 26, 38]

Juridische aanknopingspunten in de EU

Toetsingsroute	EU
Voertuig als koopobject	Bij consumentenkoop behoren te verwachten veiligheid en gebruikelijke bruikbaarheid tot de conformiteit. Bij non-conformiteit komen herstel/vervanging en, onder de respectieve voorwaarden, prijsvermindering of ontbinding van de overeenkomst in aanmerking. [46]
Veiligheid en overheidsmaatregelen	Voertuigverordening 2018/858 regelt herstelmaatregelen en informatie bij non-conformiteit respectievelijk ernstig risico. De indeling van een met chromaat belast voertuigtype vereist een concrete risicobeoordeling. [47]

De EU-regels inzake consumentenkoop betreffen aanspraken tegen de verkoper na nationale omzetting; art. 7, 10 en 13 van Richtlijn 2019/771 verbinden veiligheidseisen met het tijdstip van levering, de aansprakelijkheidsperiode en de remedies. Bij bedrijfs- en overheidsvloten moeten daarentegen de betreffende inkoop-/koopovereenkomsten en nationale regels inzake gebreken worden gehanteerd. Een materiaaloorzaak bij de toeleverancier heft de beoordeling van het verkochte gehele voertuig niet op. In Nederland is de richtlijn omgezet met de Implementatiewet richtlijnen verkoop goederen en levering digitale inhoud in Boek 7 van het Burgerlijk Wetboek. [46, 167]

Art. 14 van Verordening 2018/858 is een concreet aanknopingspunt voor de toetsing van vereiste maatregelen van de fabrikant. Of een concrete Cr(VI)-constellatie als non-conformiteit respectievelijk ernstig risico moet worden aangemerkt, is de te behandelen beoordelingsvraag. [47]

Een gegrond voertuiggebrek en de kosten van herstel ervan openen een economische toetsingsroute. Een kankeraandoening is voor kooprechtelijke aanspraken wegens gebreken geen voorwaarde. Overheidsmaatregelen op grond van Verordening 2018/858 richten zich naar de daarin vastgelegde maatstaf. [46, 47]

E. Verbrandingsresten: assen, ketelafzettingen, crematie

21. Verbrandingsassen en ketelaanslag

Het onderzoeksgebied omvat uitdrukkelijk de op het rooster achterblijvende asresten, bodemas, resten uit de vuurhaard en afzettingen op chroomgelegeerde hete onderdelen, naast vlieg-, filter- en ketelassen. Deze fracties zijn verschillende monstermatrices. Chroom kan afkomstig zijn uit het verbrandingsmateriaal; bij contact met chroomgelegeerde onderdelen moet bovendien hun oppervlakte-/corrosiechemie worden meegenomen. Reactiebeschikbaar calcium en alkalicomponenten kunnen uit de resten zelf afkomstig zijn. Isolatie als calciumbron is hiervoor geen voorwaarde. [11, 26, 31-34]

Paoletti 2002: calciumchromaat bij afvalverbranding

Al in 2002 onderzocht Paoletti bij het Duitse onderzoekscentrum Forschungszentrum Karlsruhe het gedrag van oxyanionvormende zware metalen bij de verbranding van huishoudelijk afval (proefschrift Universität Stuttgart, FZKA 6755). Thermogravimetrische proeven met Cr_2O_3 en CaO in synthetische lucht toonden een snelle massatoename tussen 500 en 850 °C. Na een uur bij 850 °C toonde röntgendiffractie zeswaardig $CaCrO_4$ aan. In een inerte atmosfeer ontstond daarentegen alleen driewaardig $Ca(CrO_2)_2$. [50]

Paoletti concludeert dat zeswaardige chromaten alleen kunnen worden gevormd „wanneer de zuurstofpartiaaldruk in de brandkamer voldoende is". Vergelijkbare reacties verwacht zij ook met natrium, kalium, magnesium, strontium en barium. In de proefinstallatie TAMARA lag het in het DEV-S4-eluaat van de roosterassen opgeloste chroom bij luchtgetallen van 0,7 tot 1,5 voor 85 tot 100 % als Cr(VI) voor; bij een luchtgetal van 0,6 daalde de vrijzetting met bijna twee orden van grootte. [50]

Vehlow, Paoletti, Seifert en Sirini presenteerden de resultaten in 2004 op het WTERT Fall Meeting aan de Columbia University in New York, inclusief de thermogravimetrie van Cr_2O_3 en CaO met het product $CaCrO_4$. Daarmee was de vormingsroute sinds 2004 ook op internationaal vakniveau gepresenteerd. [51]

Thermische nabehandeling van vliegassen

Hu et al. beschrijven in 2015 de oxidatie van chroom bij afvalverbranding door alkali- en aardalkalimetalen. Het geanalyseerde abstract van de uitgever benadrukt de beschikbaarheid van vrij CaO; alkalicomponenten bevorderen de oxidatie bij lagere temperaturen in samenhang met de afkoeling van de rookgassen. In sulfaten of aluminosilicaten gebonden calcium moet wat betreft de reactiebeschikbaarheid afzonderlijk worden beschouwd. Totaal calcium respectievelijk een als CaO opgegeven oxidegehalte beschrijft op zichzelf daarom nog niet de omzetting tot calciumchromaat. [31]

Al Hu et al. (2013) onderzoeken vliegassen uit vijf Chinese afvalverbrandingsinstallaties en de thermische nabehandeling ervan bij 1.023-1.323 K, overeenkomend met ongeveer 750-1.050 °C, in lucht of stikstof. Het abstract van de uitgever beschrijft de vorming van $CaCrO_4$ uit Cr_2O_3 en CaO bij de thermische behandeling. De aanvankelijk onderzochte assen vertonen daarentegen slechts kleine Cr(VI)-aandelen en geringe uitloging. Het resultaat betreft de verandering door nabehandeling; het is geen algemene uitspraak over alle ruwe assen. [32]

Gong et al. (2017) vullen dit aspect aan voor een Chinese vliegas uit de rookgasreiniging: na thermische behandeling neemt de uitloging van chroom toe, terwijl de uitloging van verscheidene andere metalen afneemt. De auteurs schrijven de verandering toe aan Cr(VI)-verbindingen zoals $CaCrO_4$. In het eluaat werd totaal chroom gemeten; de calciumchromaatroute is de mechanistische verklaring van de auteurs, geen zelfstandig Cr(VI)-speciatiebewijs van deze meetreeks. Een verbeterde immobilisatie van afzonderlijke metalen rechtvaardigt dus geen algemene ontlasting wat chroom betreft. [33]

Roosterassen bij het uit bedrijf nemen: temperatuurverloop en zuurstoftoetreding

Bij het uit bedrijf nemen voor onderhoud blijven asresten achter op een chroomhoudend rooster respectievelijk op chroomgelegeerde oppervlakken van hete onderdelen, terwijl temperatuur en atmosfeer veranderen. Dit proces moet worden onderscheiden van het transport van vliegstof tijdens bedrijf.

Paoletti levert de bouwstenen voor dit proces: calciumoxide is in huishoudelijk afval aanwezig met circa 3 %; calciumchromaat vormt zich tussen 500 en 850 °C en wordt boven 850 °C weer gereduceerd tot driewaardig chromaat; zuurstof is een dwingende voorwaarde. Bij het uit bedrijf nemen doorlopen rooster en asresten precies dit temperatuurvenster, terwijl door uitbranden en openen extra zuurstof toetreedt. Een aanvullende chromaatvorming respectievelijk verrijking in de achterblijvende resten is daarmee chemisch te verwachten. [50]

Het belang van de atmosfeer bevestigt ook Leaching behavior of heat-treated waste ash (2006): de auteurs onderzoeken bodemassen uit twee Japanse gemeentelijke installaties met roosterverbranding en variëren temperatuur, zuurstofconcentratie en behandelingsduur. Een zuurstofarmere thermische behandeling vermindert het uitloogbare Cr(VI). [43]

Dat dit effect bekend is, toont een houtasprocedé dat zuurstofcontact pas onder 200 °C gericht toelaat om de vorming van Cr(VI) te voorkomen (Brill 2002, geciteerd in het rapport van het Duitse Umweltbundesamt 2019, p. 72). Het rapport overweegt bovendien een inerte nabehandeling van crematieas. [44]

Directe vergelijkende metingen bij afvalverbrandingsinstallaties vóór en na het uit bedrijf nemen zijn tot nu toe niet beschikbaar; zij zouden de orde van grootte bepalen, niet het mechanisme.

Voor een concreet as- of afzettingsprobleem moeten fractie, installatie, bedrijfstoestand, monsterneming, Cr(VI)-analyse en werkzaamheid worden toegewezen.

Meting van totaal chroom, uitloogtest en persoonsgebonden stofmeting beantwoorden elk verschillende vragen.

22. Kennisstand in Europa over verbrandingsresten

Regio / bron	Gedocumenteerde kennis	Betekenis voor de beoordeling
EU, 2019: JRC-BREF [34]	Het referentiedocument voor afvalverbranding noemt zeswaardig chroom onder de problematische metalen wat betreft uitloging uit bodemas.	Expliciete milieurelatie. Een eluaat-/milieubeoordeling vervangt geen beoordeling van de blootstelling aan stof bij onderhoud en revisie.
Groot-Brittannië: HSE / praktijkgeval [30, 40]	HSE verlangt de beoordeling van risico's van vliegas en het vermijden van as in de lucht. Het praktijkgeval rapporteert Cr(VI) in afzettingen bij revisiewerkzaamheden.	Geografisch Europa, juridisch los van de EU. Het geval beschrijft een concrete werkzaamheid; het is geen representatief onderzoek van het beschermingsregime.

Ook de Europese milieuliteratuur benoemt Cr(VI) uitdrukkelijk: in het Europese BBT-referentiedocument afvalverbranding (JRC-BREF) van 2019 staat het naast koper, molybdeen en zink als problematische stof wat betreft de uitloging uit bodemas. Voor deze uitspraak is de betreffende officieel geïndexeerde vindplaats geanalyseerd, niet het gehele omvangrijke document. Het milieuperspectief beantwoordt andere vragen dan de werkzaamheidsgerichte beoordeling in de arbeidsbescherming. [34]

Het artikel van Euro-Environmental is meegenomen: het beschrijft Cr(VI)-positieve afzettingen in de keteltrekken 2-6 van een niet genoemde Britse exploitant en de blootstelling bij onderhoud en revisie. De daar beschreven afkoeling betreft de rookgasweg door opeenvolgende keteltrekken; zij moet niet worden gelezen als meting van nieuwe chromaatvorming bij het in de tijd afschakelen. Gerapporteerd worden lucht-/omgevingsmonitoring, biomonitoring, behandeling met ijzersulfaat, afzuiging en afgeschermde zones. Numerieke waarden vóór en na ontbreken; de gele kleur levert geen betrouwbare identificatie van het zout. Het geval toont de aanpak van een concreet gevaar bij revisie aan en vult de afzonderlijke vraagstelling over resten op het rooster aan. [30]

Veldwaarnemingen over het beschermingsregime

Veldwaarnemingen in Europese afvalverbrandingsinstallaties tonen aan dat de bescherming tegen belasting met chromaat hooguit gedeeltelijk wordt toegepast. Een systematische steekproef van installaties, concrete meetreeksen en een beoordeling van afzonderlijke exploitanten zijn daaraan niet verbonden.

De daaruit volgende onderzoeksvraag is of de risicobeoordelingen ook revisie, het openen van de ketel, het verwijderen van afzettingen, reiniging, hantering van as en versleping dekken. Vast te leggen zouden zijn de telkens betroffen restfractie, de analytische speciatie, het vrijkomen tijdens het werkproces en de in de praktijk toegepaste beschermingsmaatregelen. Dat laat zich navolgen aan de hand van bestaande werkvergunningen, meetrapporten en revisiedocumenten.

23. Crematies en verder chroomhoudend verbrandingsmateriaal

Het Duitse Umweltbundesamt (UBA) onderzocht in 2019 vanwege wettelijke beperkingen 25 modelassen uit lege verbrandingen van doodskisten in vijf crematieovens. Alle bevatten Cr(VI). Bij extractie met 0,01 M $CaCl_2$, as/oplossing 1:50, ging gemiddeld 17 % van het totale chroom in oplossing; het opgeloste chroom lag volledig als Cr(VI) voor. Het rapport beschrijft procesgebonden chroominbreng en risico's voor bodem en grondwater. Calcium ligt hoofdzakelijk voor als calciumfosfaat; totaal calcium is geen bewijs van vrij CaO. [44]

Uitlaatgasemissies, achterblijvende as en de latere vrijzetting uit een urn zijn gescheiden blootstellings- respectievelijk milieuroutes. Een emissiefactor beschrijft geen asconcentratie; een eluaatonderzoek beschrijft geen belasting van de ademlucht. De technische samenhang is desondanks dezelfde aanleiding voor onderzoek: chroombron, reactiebeschikbare basische componenten, temperatuur-tijdverloop en atmosfeer van het proces moeten samen worden vastgelegd. Welke concrete chromaatfase ontstaat, wordt opgehelderd door passende speciatie- en fase-analyse.

De Porto-vermelding 10216/21130 hoort bij Ferreira, Almeida en Pinto (1999): Influence of temperature and holding time on hexavalent chromium formation during leather combustion. Onderzocht werden leerresten. Volgens het abstract van de uitgever lag Cr(VI) vóór de verbranding onder 5 mg/kg; in de assen ontstonden relevante, van temperatuur en verblijftijd afhankelijke hoeveelheden. De bron vult de thermische Cr(III)/Cr(VI)-omzetting bij chroomhoudend verbrandingsmateriaal aan. Geanalyseerd werd het abstract; het onderzoek betreft geen menselijke crematies. [45]

F. Gezondheid, regelgeving, open vragen en conclusie

24. Gezondheidsgerelateerde en ecologische gevolgen van de chromaten

De reactieproducten zijn niet alleen chemisch relevant. De hier beschouwde calcium- en natriumchromaten zijn kankerverwekkend; huidcontact, lokale effecten op de huid en mogelijke opname moeten naast inhalatie worden beoordeeld. Bij verwondingen kunnen afzonderlijke Cr(VI)-verbindingen ernstige huidzweren veroorzaken. [2, 3]

Opname in de cel: het paard van Troje

In water oplosbare chromaten zijn structureel gelijk aan sulfaat- en fosfaationen. De cel neemt ze daarom op via haar transportroutes voor sulfaat en fosfaat, alsof het om een gewoon nutriëntanion gaat. Chroom(VI) komt zo ongehinderd in het inwendige van de cel terecht, terwijl driewaardig chroom het celmembraan nauwelijks passeert. [53]

Reductie in de cel: DNA-schade en oxidatieve stress

In de cel wordt Chroom(VI) door ascorbaat, glutathion en cysteïne stapsgewijs via de reactieve tussenstappen Chroom(V) en Chroom(IV) gereduceerd tot het stabiele Chroom(III). Daarbij ontstaan volgens de beoordeling van het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek (IARC) Chroom(III)-DNA-adducten, DNA-eiwit- en DNA-DNA-crosslinks, DNA-strengbreuken inclusief dubbelstrengsbreuken en oxidatieve schade aan basen. De overheersende vorm zijn ternaire adducten, waarbij Chroom(III) het DNA verbindt met kleine moleculen zoals cysteïne, histidine, glutathion of ascorbaat. De reactieve tussenproducten van de reductie veroorzaken bovendien oxidatieve stress. [53]

In de celkern is het daarmee het driewaardige chroom dat het DNA beschadigt. De gangbare gelijkstelling van Chroom(III) met onschadelijkheid schiet daarom tekort: doorslaggevend is of chroom in de cel terechtkomt.

Epidemiologische basis: de cohorten uit de chromaatindustrie

De kankerverwekkende werking is niet alleen afgeleid uit dierproeven, maar aangetoond bij werknemers in de chromaatindustrie. De Amerikaanse arbeidsveiligheidsinstantie OSHA baseerde haar in 2006 vastgestelde grenswaarde van 5 µg/m³ vooral op twee cohorten uit de chromaatproductie: de werknemers van de fabriek in Baltimore (Gibb et al. 2000; 2.357 mannen, gevolgd van 1950 tot 1992) en die van de fabriek in Painesville, Ohio (Luippold et al. 2003). Het IARC classificeert Chroom(VI)-verbindingen als kankerverwekkend voor de mens (groep 1), met vastgestelde werking op de longen en waargenomen verbanden met kanker van de neus en de neusbijholten. [53, 54]

Indeling van de doelchromaten

Volgens de geharmoniseerde Europese indeling is calciumchromaat kankerverwekkend van categorie 1B (H350) en zeer giftig voor in het water levende organismen met langdurige gevolgen (H400, H410). Natriumchromaat is daarnaast ingedeeld als mutageen, giftig voor de voortplanting, sensibiliserend bij contact met de huid en bijtend. [3]

Huidcontact

Huidcontact moet zelfstandig worden beoordeeld. Langduriger contact kan leiden tot dermatitis en huidzweren; een deel van de blootgestelden ontwikkelt een allergische sensibilisatie, waarbij al geringe hoeveelheden ernstige huidreacties uitlokken. Verontreinigde onderdelen, isolatiematerialen, gereedschappen en handschoenen blijven daarom ook dan een gevaar wanneer de luchtmeting geen afwijkingen laat zien. De Duitse TRGS 561 verlangt bij huidcontact met chroom(VI)-verbindingen bijzondere beschermingsmaatregelen. [19, 56]

Niet elk Chroom(VI) is gelijk: de afzonderlijke chromaten

In de praktijk wordt meestal in algemene zin gesproken van „Chroom(VI)". Deze veralgemening is schadelijk, omdat zij de afzonderlijke chromaten uit het oog verliest. Oplosbaarheid, deeltjesgedrag, verblijftijd in de long en indeling verschillen aanzienlijk. In een Brits vergelijkend experiment met rattenlongen (Levy et al. 1986) veroorzaakten slecht oplosbare chromaten significant longtumoren: strontiumchromaat bij 43 en 62 van 99 dieren, calciumchromaat als positieve controle bij 25 van 100, zinkchromaat daarentegen slechts bij 5 respectievelijk 3 van 100. [55]

Calciumchromaat, het hoofdproduct van de in-situvorming bij calciumhoudende isolatiematerialen en in assen, behoort daarmee tot de in dierproeven meest werkzame chromaten. Een beoordeling die alleen „Chroom(VI)" vastlegt en de verbinding niet benoemt, verhult deze verschillen.

Alle blootstellingsroutes moeten afzonderlijk worden beoordeeld

Artikel 3 leden 2 en 3 van de Europese Richtlijn 2004/37/EG verlangt de beoordeling van mogelijke blootstellingen met inbegrip van verdere blootstellingsroutes, in het bijzonder de opname in respectievelijk via de huid. Voor deze werkzaamheden moeten de volgende routes elk zelfstandig en vervolgens in de totaalbeoordeling in aanmerking worden genomen: [18]

- Inhalatoir: vrijkomen en inademen van chromaatstof bij onderhoud, openen, demontage, reiniging of hantering; werkzaamheidsgerichte luchtmetingen beoordelen deze route.
- Dermaal: contact met verontreinigde onderdelen, isolatiematerialen, gereedschappen, handschoenen of vloeistoffen; huidbelasting, mogelijke opname en lokale effecten moeten afzonderlijk worden beoordeeld.
- Oraal: hand-mondoverdracht via verontreinigde handen, voorwerpen, voedsel of dranken; werkprocessen, hygiëne en versleping moeten in aanmerking worden genomen.

Een lage luchtconcentratie is geen algemeen ontlastingscriterium. Zij beantwoordt niet de vragen naar huidcontact, orale opname of oppervlaktecontaminatie. De Duitse TRGS 561 verlangt in paragraaf 3.3.4 bijzondere beschermingsmaatregelen bij huidcontact met Cr(VI)-verbindingen. [19]

Milieu

Voor de hier in aanmerking komende doelverbindingen is bovendien het milieugevaar van wezenlijk belang. Calciumchromaat en natriumchromaat moeten worden ingedeeld als zeer giftig voor in het water levende organismen met langdurige gevolgen (H410). De vorming van deze chromaten betreft daarom tegelijk de arbeidsbescherming, het afval- en restbeheer alsmede de waterbescherming.

Het feit dat het uitgangsproduct als isolatiemateriaal wordt verkocht, verandert niets aan de relevantie als gevaarlijke stof van de reactieproducten die bij beoogde thermische belasting ontstaan.

Hoe ver Chroom(VI) zich in het milieu kan verspreiden, toont het geval Hinkley in Californië, bekend door de film Erin Brockovich (2000): tussen 1952 en 1966 gebruikte het Amerikaanse energiebedrijf PG&E Chroom(VI) als corrosiebescherming in het koeltorenwater van een compressorstation. Het afvalwater kwam via onverharde bassins in het grondwater terecht en verontreinigde een gebied van circa drie kilometer lang en anderhalve kilometer breed. [57]

Verdieping van de gezondheidsrisico's bij inhalatie: Speer et al. (2022)

Het voorgelegde Amerikaanse werk onderzoekt deeltjesvormig zinkchromaat ($ZnCrO_4$) bij niet-maligne, geïmmortaliseerde menselijke bronchiale fibroblasten. Er werd blootgesteld aan 0,1, 0,2 en 0,3 µg/cm² gedurende 24, 72 en 120 uur. De auteurs leggen veranderingen in de microRNA-expressie vast door middel van sequencing en controleren geselecteerde bevindingen aanvullend met qPCR. De onderzochte verbinding is zinkchromaat, niet calcium- of natriumchromaat. [39]

De veranderde microRNA's betreffen volgens de bio-informatische doel- en signaalroute-analyse centrale gebieden van het ontstaan van kanker: chromosomale instabiliteit, ontsteking, oxidatieve stress, omzeiling van celdood en cellulaire transformatie. Gemeten werden de expressieveranderingen; niet elk daaruit afgeleid gen- of signaalroute-effect werd als functioneel eindpunt direct getoetst. Het werk verdiept daarmee de mechanistische duiding van belasting met deeltjesvormig Cr(VI) bij menselijke longcellen. [39]

Voor de beoordeling van chromaatstof is dit een relevante biologische relatie: cellulaire regulatie- en herstelprocessen kunnen worden aangetast, ook als een later routineonderzoek geen eerdere blootstelling reconstrueert. De celkweekdosis in µg/cm² is echter geen luchtconcentratie in µg/m³; de proefreeks is noch een inhalatie-cohortonderzoek noch een meting van het ziekterisico bij een concrete installatie. Verbinding, oplosbaarheid, deeltjesgedrag en daadwerkelijk opgenomen dosis moeten bij de overdracht naar andere chromaten in aanmerking blijven worden genomen. [39]

Luchtmeting, biomonitoring en langetermijneffect zijn verschillende niveaus

Een luchtmeting op de werkplek beschrijft de bemonsterde werkzaamheid en tijdsperiode. Chroom in urine dient voor de beoordeling van een opgenomen chroombelasting; de Britse EH40 vermeldt de biologische richtwaarde als chroom in urine, niet als directe Cr(VI)-speciatiemeting. Een dergelijke waarde reconstrueert noch betrouwbaar een lang geleden opgetreden belasting noch reeds ontstane genotoxische veranderingen. De drie niveaus mogen daarom niet als onderling vervangend bewijs worden gebruikt. [39, 42]

In de Britse arbeidsbescherming verlangt de Britse instantie HSE eveneens de beschouwing van alle opnameroutes, inclusief huid en inslikken; bij kankerverwekkende stoffen moet de blootstelling zo ver als redelijkerwijs praktisch mogelijk worden verminderd. Het Britse praktijkgeval wordt daarom gevoerd als zelfstandig Europees toepassingsbewijs, niet als bewijs van het actueel geldende EU-recht of van een gemeenschappelijke Europese grenswaarde. [41]

25. Industrieel vervaardigd of in situ gevormd: ongelijke controle

Chroom(VI)-verbindingen worden in regelgeving en openbaarheid vrijwel uitsluitend beschouwd in hun industrieel vervaardigde vorm, zoals het Udy-octrooi ze beschrijft als product van een doelgericht procedé. Voor deze vorm gelden strenge voorschriften: vervaardiging en gebruik zijn in de EU onderworpen aan de autorisatieplicht en in de toekomst aan een beperking, werkplekken worden bewaakt, emissies begrensd, en mengsels zoals chromaathoudende verven en primers dragen een gevarenetikettering met pictogram en de gevarenaanduiding H350. [1, 3, 59]

De in-situvorming blijft daarentegen grotendeels onopgemerkt of wordt verdrongen. Calcium- en natriumchromaat ontstaan tijdens het beoogde bedrijf op hete onderdelen, in isolatiematerialen en in verbrandingsresten, zonder dat een fabrikant ze in de handel brengt, zonder etikettering en meestal zonder een veiligheidsinformatieblad dat de toestand na gebruik beschrijft. Blootgesteld zijn monteurs, servicetechnici, isoleerders, automonteurs, revisiepersoneel en afvalverwerkers, vaak zonder het te weten. De gevolgen voor de gezondheid zijn dezelfde als bij de industrieel vervaardigde vorm: longkanker, kanker van de neus en de neusbijholten, huidzweren en allergische contactdermatitis. Daarbij komt de belasting van bodem en water via stof, assen en afvalstoffen. [53, 56]

Regelgevende ontwikkeling

Australië voltrekt de stap naar minimalisatie al: vanaf 1 december 2026 geeft de Australische instantie Safe Work Australia voor niet op een drempelwaarde gebaseerde genotoxische carcinogenen geen grenswaarden op de werkplek meer uit; chroom(VI)-verbindingen horen daar uitdrukkelijk bij. In de plaats van de grenswaarde komt de plicht de blootstelling weg te nemen of zo ver als redelijkerwijs praktisch mogelijk te minimaliseren (SFAIRP, vergelijkbaar met het ALARP-beginsel). [58]

In de EU heeft het Europees Agentschap voor chemische stoffen ECHA in april 2025 een beperking van chroom(VI)-stoffen voorgesteld, die de huidige autorisatieprocedure moet vervangen. Daarna zouden alleen bepaalde vormen van gebruik onder strikte voorwaarden toegestaan blijven, met grenswaarden op de werkplek tussen 0,1 en 5 µg Cr(VI)/m³ naargelang het gebruik alsmede emissiegrenzen voor lucht en water; alle overige vormen van gebruik zouden verboden zijn. [59]

Maatgevend is daarbij het ruime gebruiksbegrip van de Europese REACH-verordening. Volgens artikel 3, punt 24, is „gebruik" elke vorm van „verwerking, formulering, verbruik, opslag, bewaring, behandeling, overbrenging in recipiënten, overbrenging van de ene recipiënt naar de andere, vermenging, vervaardiging van een voorwerp of elke andere gebruikmaking". Al het opslaan van een gedemonteerde, met chromaatstof verontreinigde thermische isolatie kan daarmee een gebruik vormen; het hergebruik van een dergelijke isolatie is dat des te meer. Valt zij niet onder de toekomstig toegestane vormen van gebruik, dan is zij verboden. [60]

Ongelijke controle in de praktijk: de vergelijking met asbest

De ongelijke behandeling eindigt niet bij de regelgeving, zij zet zich voort in de praktijk. Industrieel vervaardigd chroom(VI) wordt in gesloten installaties gebruikt, is onderworpen aan de autorisatieplicht, is gekenmerkt, wordt met een veiligheidsinformatieblad geleverd en door geïnstrueerd personeel gehanteerd. In situ gevormd chroom(VI) wordt daarentegen aangetroffen als afzetting op een oppervlak. Het heeft geen fabrikant, geen leverancier, geen kenmerking en geen veiligheidsinformatieblad. Daarmee valt het buiten de categorie gevaarlijke stof en in de categorie vervuiling. Behandeld wordt het overeenkomstig, met doek, borstel, stofzuiger, perslucht en sproeimiddelen, door het aanwezige onderhouds- en schoonmaakpersoneel. Ook het gangbare begrip „neutralisatie" komt uit deze taalwereld en niet uit het gevaarlijkestoffenrecht.

De vergelijking met asbest toont de lacune. Beide stoffen zijn ingedeeld als kankerverwekkend voor de mens, en bij beide ontstaat het gevaar niet in ingebouwde toestand, maar wanneer bij onderhoud, demontage of reiniging stof vrijkomt. Voor asbest is daaruit een gesloten procedureregime geworden. De Duitse TRGS 519 in de versie van 28 februari 2025 verlangt onder nummer 3.2 dat sloop-, sanerings- en onderhoudswerkzaamheden bij de bevoegde instantie „uiterlijk 7 dagen voor het begin van de werkzaamheden te melden" zijn. Nummer 2.7 regelt de vakbekwaamheid en het bewijs daarvan, de nummers 5.1 tot 5.3 de verantwoordelijke persoon, de toezichthouder en het vakpersoneel. Voor zwak gebonden asbestproducten verlangen de nummers 14.1 tot 14.3 afscherming en luchttechnische maatregelen alsmede personen- en materiaalsluizen [97].

Voor de in situ gevormde chromaten bestaat daarvan niets. Er is geen meldingsplicht voor aanvang van de werkzaamheden, geen eigen vakbekwaamheid, geen voorgeschreven toezichthouder, geen zwart-witvoorziening en geen erkende vakbedrijven. De Duitse TRGS 561 verlangt persoonlijke beschermingsmiddelen, stofarm werken en de substitutietoets (paragraaf 6), maar vestigt geen procedureregime met melding, bewijs van vakbekwaamheid en afscherming. Niemand zou op het idee komen een asbesthoudende plaat eigenhandig met een spray te behandelen en vervolgens af te vegen. Bij een met chromaat belast heet onderdeel is juist dat de gangbare praktijk.

De indeling spreekt op twee punten zelfs tegen deze ongelijke behandeling. Natriumchromaat draagt drie huidgerelateerde gevarenaanduidingen, schadelijk bij contact met de huid (H312), bijtend (H314) en huidsensibiliserend (H317) [65]; asbest draagt in de geharmoniseerde indeling geen enkele. Calcium- en natriumchromaat zijn bovendien ingedeeld als zeer giftig voor in het water levende organismen met langdurige gevolgen (H400, H410) [64, 65], terwijl de geharmoniseerde indeling van asbest met Carc. 1A (H350) en STOT RE 1 (H372) geen milieugevaar vermeldt [98]. De chromaten zijn daarmee in de dermale en in de ecologische dimensie strenger ingedeeld dan de stof waarvoor het gesloten procedureregime geldt.

De beoordeling van het huidcontact leidt daarbij onmiddellijk tot de hoogste rang. De Duitse TRGS 401 in de versie van oktober 2022, laatstelijk gewijzigd op 19 september 2024, deelt in tabel 2 van paragraaf 4.2 het gevaar in naar contactsoort. Voor de regel „Huidresorptief en tegelijk de daarnaast vermelde gevaarlijke eigenschappen" geldt bij kankerverwekkende stoffen van categorie 1A of 1B (H350) bij elke contactsoort de indeling „h", dus hoog gevaar, zonder drempel voor duur of oppervlak. Huidsensibiliserende eigenschappen alleen (H317) leiden pas bij meer dan 15 minuten contact per werkdag en grootvlakkig contact tot deze indeling, volgens lid 4 bovendien dan wanneer praktijkervaringen een sensibilisatie bij een aanzienlijk aantal werknemers laten zien [99].

Chroom(VI)-verbindingen vervullen beide kenmerken, en de aanduiding is officieel toegekend. De TRGS 401 ontleent de kenmerking „H" voor huidresorptieve stoffen volgens paragraaf 3.2.3 lid 2 aan de TRGS 900, 905 en 910; is een stof daar niet opgenomen, dan kan de MAK- en BAT-waardenlijst van de Duitse Forschungsgemeinschaft als verdere informatiebron worden gehanteerd [99]. In bijlage 1 van de TRGS 910 zijn chroom(VI)-verbindingen opgenomen met 1 µg/m³ van de inhaleerbare fractie en de overschrijdingsfactor 8, met de aanwijzing „zie TRGS 561", maar zonder huidaanduiding [101]. De MAK- en BAT-waardenlijst 2026, mededeling 62, voert onder „Chroom(VI)-verbindingen (inhaleerbare fractie)" daarentegen beide aanduidingen: huidresorptie „H" en sensibilisatie „Sh", daarbij carcinogeniteitscategorie 1 en geslachtscelmutageniteitscategorie 2. Van de H-aanduiding zijn uitdrukkelijk alleen barium-, lood-, strontium- en zinkchromaat uitgezonderd, van de Sh-aanduiding alleen barium- en loodchromaat. Calcium- en natriumchromaat, de hier behandelde verbindingen, vallen onder geen van deze uitzonderingen [102].

Daarmee is de indeling van het huidcontact eenduidig. Een stof die volgens de MAK- en BAT-waardenlijst huidresorptief is en tegelijk tot carcinogeniteitscategorie 1 behoort, valt in tabel 2 van de TRGS 401 in de regel „Huidresorptief en tegelijk de daarnaast vermelde gevaarlijke eigenschappen" en moet daar bij elke contactsoort als hoog gevaar worden ingedeeld, onafhankelijk van duur en oppervlak [99]. De aanvullende Sh-aanduiding en de geharmoniseerde indeling sensibilisatie van de huid 1, H317, komen daarnaast te staan; het Institut für Arbeitsschutz der deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung noemt voor chroom(VI)-verbindingen de opnameroutes „inhalatief, huidresorptief" [100]. Voor asbest bestaat geen vergelijkbare huidbeoordeling, omdat de geharmoniseerde indeling daar geen huidgerelateerde gevarenaanduiding bevat.

Daarmee rijst de vraag waaruit het verschil in de hantering zich rechtvaardigt. De indeling als kankerverwekkend is bij beide stofgroepen gegeven, het vrijzettingsmechanisme via stof bij onderhoud en demontage is hetzelfde, en voor calciumchromaat is de werkzaamheid in dierproeven gedocumenteerd (paragraaf 24). Het verschil ligt niet in de stof, maar daarin dat de ene als product werd geleverd en de andere tijdens het bedrijf is ontstaan.

Plichten voor aanvang van de werkzaamheden: onderzoek, beoordeling en het verbod om te beginnen

De plichten voor aanvang van de werkzaamheden zijn in de hier beschouwde rechtsgebieden overwegend stofneutraal geformuleerd. De Duitse Gefahrstoffverordnung verplicht de werkgever in § 6 lid 2a de hem op grond van § 5a lid 1 verstrekte informatie te toetsen op de vraag of bij de werkzaamheden gevaarlijke stoffen uit de bouwkundige of technische installatie vrijkomen en de gezondheid van de werknemers kunnen schaden. Zijn de gegevens van de opdrachtgever ontoereikend, dan moet hij deze toetsing volgens lid 2b zelf uitvoeren en zich daarbij van externe deskundigheid bedienen wanneer hem de vereiste kennis ontbreekt, in het bijzonder dan wanneer een technisch onderzoek noodzakelijk wordt. Is een technisch onderzoek noodzakelijk om de risicobeoordeling uit te voeren en de beschermingsmaatregelen vast te stellen, dan is het volgens lid 2c voorwaarde voor de uitvoering van de werkzaamheden. § 7 lid 1 verbiedt de aanvang van de werkzaamheid voordat de risicobeoordeling is uitgevoerd en de vereiste beschermingsmaatregelen zijn genomen, en § 6 lid 8 zin 1 verlangt de documentatie voor het eerst vóór aanvang van de werkzaamheid, onafhankelijk van het aantal werknemers. Het begrip in deze leden is gevaarlijke stoffen; asbest wordt daar niet genoemd. [120]

De vermelding van het bouwjaar staat op een andere plaats. § 5a lid 2 van de Duitse Gefahrstoffverordnung verplicht de opdrachtgever om ter vaststelling of asbest aanwezig is, bij een bouwjaar tussen 1993 en 1996 de datum van de start van de bouw mee te delen en anders het bouwjaar. Voor in situ gevormde chromaten heeft deze vermelding geen zeggingskracht, omdat de verbinding niet bij de bouw wordt ingebracht, maar tijdens het bedrijf ontstaat. Een in 2024 opgerichte installatie met chroomgelegeerde hete onderdelen en calciumhoudende isolatie valt onder dezelfde tekst als een oud bestand. [120]

Het Nederlandse Arbeidsomstandighedenbesluit verlangt in artikel 4.2 lid 1 de beoordeling van aard, mate en duur van de blootstelling in het kader van de Risico-Inventarisatie en -Evaluatie, ook wanneer dergelijke werkzaamheden op dit moment niet worden uitgevoerd. Lid 3 verlangt de vaststelling van het blootstellingsniveau, lid 7 de vergelijking met de voor de stof vastgestelde grenswaarde en lid 8 de herbeoordeling zodra wordt begonnen met nieuwe werkzaamheden waarbij gevaarlijke stoffen betrokken zijn. Artikel 4.1b lid 2 noemt deze beoordeling als een van de voorwaarden waaronder de algemene beschermingsplicht als nagekomen geldt. Een uitdrukkelijk verbod om vóór de beoordeling te beginnen bevat artikel 4.2 niet. Het staat asbestgerelateerd in artikel 4.54a lid 1, volgens hetwelk de aanwezigheid van asbest volledig moet worden geïnventariseerd voordat met de sloop of de demontage, met het verwijderen of met het opruimen na een incident wordt begonnen, uitgevoerd door een bedrijf met een certificaat voor asbestinventarisatie. [121]

In het Verenigd Koninkrijk staat het verbod stofneutraal in Regulation 6(1) van de Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002: „An employer shall not carry out work which is liable to expose any employees to any substance hazardous to health", zolang er geen „suitable and sufficient assessment of the risk created by that work" is en de daaruit volgende stappen niet zijn uitgevoerd. Regulation 6(2) somt op waarmee de beoordeling rekening moet houden, waaronder de gegevens van de leverancier met inbegrip van het veiligheidsinformatieblad, hoogte, aard en duur van de blootstelling alsmede werkzaamheden zoals het onderhoud, die tot hoge blootstelling kunnen leiden. Asbestgerelateerd komt daar Regulation 5 van de Control of Asbestos Regulations 2012 bij, volgens welke een werkgever sloop-, onderhouds- en andere werkzaamheden die werknemers aan asbest blootstellen of daaraan kunnen blootstellen, niet mag uitvoeren tenzij hij ofwel een „suitable and sufficient assessment" naar de aanwezigheid, de aard en de toestand van het asbest heeft uitgevoerd, ofwel, bij twijfel, de aanwezigheid daarvan veronderstelt en de verordening toepast. [122, 123]

In de Verenigde Staten verplicht 29 CFR 1926.1126(d)(1) elke werkgever wiens werkplek of werkmethode onder de standaard valt, de achtuurs-schiftgemiddelde waarden te bepalen voor iedere aan chroom(VI) blootgestelde werknemer. Volgens (d)(2) gebeurt dat via een eerste meting met een voldoende aantal persoonsgebonden luchtmonsters per schift, taakgroep en werkgebied, volgens (d)(3) via een combinatie van meetgegevens, historische gegevens of objective data. Volgens (d)(2)(vi) moeten aanvullende metingen worden uitgevoerd wanneer proces, grondstoffen, uitrusting, personeel, werkmethoden of beschermingsmaatregelen zodanig veranderen dat nieuwe of aanvullende blootstellingen kunnen ontstaan. Een verbod om te beginnen naar het model van het Duitse § 7 lid 1 of de Britse Regulation 6(1) bevat de chroom(VI)-standaard niet. De structurele tegenhanger staat in de asbeststandaard: 29 CFR 1926.1101(k)(2)(i) verplicht de eigenaren van gebouwen en installaties om aanwezigheid, plaats en hoeveelheid van asbesthoudende en als asbesthoudend veronderstelde materialen vast te stellen, en de begripsbepaling in (b) veronderstelt voor thermische isolaties alsmede opgebrachte oppervlaktematerialen in gebouwen met een bouwjaar niet later dan 1980 een asbestgehalte, zolang dit vermoeden niet volgens (k)(5) is weerlegd. De initial exposure assessment volgens (f)(2)(i) moet een competent person onmiddellijk voor of bij het begin van de werkzaamheden uitvoeren. [124, 125]

Voor het hier behandelde toepassingsgeval koppelt de Duitse TRGS 561 het beschermingsregime in paragraaf 5.9.3 lid 5 aan werkzaamheden aan industriecomponenten „waarbij een belasting met chroom(VI) aanwezig is of waarbij deze niet kan worden uitgesloten". De plicht ontstaat daarmee vóór de bevinding. Het ontbreken van een meting levert geen uitsluiting op, en het onderzoek is de weg waarlangs een uitsluiting zich pas zou laten aantonen. [19]

Als beoordeling: twee van de vier rechtsgebieden bevatten het verbod om vóór de beoordeling te beginnen in stofneutrale vorm, Duitsland via § 7 lid 1 van de Gefahrstoffverordnung en het Verenigd Koninkrijk via Regulation 6(1) COSHH. In Nederland en de Verenigde Staten ligt de voorafgaande plicht in de algemene regel voor gevaarlijke stoffen als beoordelings- en vaststellingsplicht, terwijl het in de tijd naar voren gehaalde verbod en de vermoedensregel in het asbestregime staan. De in de vorige subparagraaf beschreven ongelijke behandeling vindt zich daarmee ook in de normstructuur terug, en wel als verschil in procedurele diepgang, niet als verschil in beginsel.

26. Vermeende remedies: neutralisatie, WD-40 en het „onschadelijke" chroom(III)

„Neutralisatie"

Meerdere van de in deze analyse genoemde fabrikanten bevelen aan chroom(VI)-resten te „neutraliseren" en stellen dit voor als toereikende maatregel voor de arbeidsbescherming. Het begrip suggereert dat chroom(VI) onschadelijk kan worden gemaakt. In werkelijkheid gaat het om een redoxreactie: een reductiemiddel zet chroom(VI) om in chroom(III). Nagenoeg volledig lukt dat alleen onder gunstige omstandigheden, dus bij voldoende contact tussen reductiemiddel en chromaat, voldoende hoeveelheid, vocht en inwerktijd. Op poreuze isolatiematerialen, in vezeltussenruimten, onder afzettingen en op hete of droge oppervlakken zijn deze omstandigheden in de praktijk zelden aanwezig. [22, 25]

[redacted] stelt zelf vast dat een onderdeel na hernieuwde thermische belasting niet meer als geneutraliseerd geldt („If the component part is subjected to thermal stress again, it is no longer considered neutralized."). De oorzaak blijft bestaan: zolang chroom, calcium of natrium, zuurstof en temperatuur samenkomen, vormt het chromaat zich in de volgende bedrijfscyclus opnieuw. [11, 22, 50]

De behandeling van chroom(VI) met een reductiemiddel is bovendien zelf een gebruik in de zin van artikel 3, punt 24, REACH („behandeling"). Of zij onder de geplande EU-beperking valt, bepaalt de definitieve rechtstekst. [59, 60]

Het begrip is al vakinhoudelijk onjuist. Een neutralisatie in chemische zin is de reactie van een zuur met een base tot zout en water, dus een verschuiving van de pH-waarde. Chromaat is geen zuur-baseprobleem. De overgang van chroom(VI) naar chroom(III) is een redoxreactie, die een geschikt reductiemiddel, een geschikt pH-bereik, voldoende contacttijd en een bewijs van werkzaamheid vooronderstelt.

Hoe de toepassing in de praktijk uitziet, toont de werkinstructie „Instructie voorkomen blootstelling aan Chroom(VI)" van Vattenfall Generation NL, eerste versie van 18 februari 2019, laatst integraal bijgewerkt op 29 april 2024. Zij beschrijft de vormingsroute juist: calciumchromaat zou ontstaan wanneer een chroomhoudend basismetaal met calcium en een oxidatiemiddel bij temperaturen rond of boven 350 °C in contact komt; als tot nu toe geïdentificeerde calciumbronnen noemt zij bepaalde anti-seizepasta's en calciumhoudend isolatiemateriaal. Voor de behandeling voorziet zij in twee middelen, de Siemens Umwandler Spray en een zelf aangemaakte ascorbinezuuroplossing, beide met beperkte houdbaarheid en een zichtbaar aan te geven aanmaakdatum, het poeder twee jaar, de natte oplossing een week. Het oppervlak wordt besproeid of bevochtigd, de oplossing moet voldoende kleverig zijn of permanent nat worden gehouden, omdat de omzetting enkele minuten kan duren, daarna wordt met een doek gereinigd. [115]

Ascorbinezuur is, anders dan de verderop behandelde kruipolie, een echt reductiemiddel. Het bezwaar richt zich daarom niet tegen de stof, maar tegen de omstandigheden. De bewijzen van werkzaamheid voor de reductie van chroom(VI) komen uit vloeistof-vloeistofsystemen. Hier gaat het om een vloeistof-droogbehandeling van een open oppervlak, dat in de turbine- en motoromgeving regelmatig olie- en vetresten draagt. Een volledige omzetting is onder deze omstandigheden niet te verwachten, en voor hogetemperatuurisolaties ontbreekt een bewijs van werkzaamheid.

De controle op het resultaat hangt volledig aan de colorimetrische sneltest, in de instructie het TK11-testkit van MATinspired. Valt deze negatief uit, dan zijn volgens de tekst geen verdere maatregelen en geen beschermingsmiddelen vereist. Elk reinigingsproces moet met een negatieve test worden afgesloten, en ook gereedschap en gebruikte volgelaatsmaskers gaan na een negatieve test terug naar het magazijn. Luchtmetingen acht de instructie in de regel niet nodig. Welke zeggingskracht een dergelijke test heeft, toont de Franse veldstudie: aan de turbocompressor wees de laboratoriumanalytiek 869 ng Cr(VI) aan, terwijl de colorimetrische sneltest op dezelfde plaats negatief uitviel (paragraaf 19). [115]

De isolatiematrassen worden volgens dezelfde instructie met ascorbinezuur beneveld en vervolgens weer teruggeplaatst; overig isolatiemateriaal wordt beneveld en als bedrijfsafval afgevoerd. Daarmee komt de reactiepartner met het materiaal terug op het hete onderdeel, en bij het volgende opstarten zijn alle vormingsvoorwaarden opnieuw vervuld. Voor asbest bestaat geen instructie om vezels te behandelen en het materiaal vervolgens weer in te bouwen. [115]

Voor hardware van GE is het ascorbinezuur volgens een brief van de fabrikant opgeschort, omdat het de microstructuur van het materiaal negatief zou beïnvloeden; voorgeschreven is daar in plaats daarvan de reiniging met WD-40. [115]

De conferentie van 6 november 2025 en een certificaat dat zijn grenzen noemt

Op het evenement „Chroom-6 verbindingen onder thermische isolatie" van iTanks en het Chroom 6 Informatie Kennis Centrum op 6 november 2025 traden zes aanbieders met pitches op: Insulcon, Kavarmat, OOI, Ecopoint, Sherwin Williams en Econtras. Ecopoint stelde de „Chrome-6 Neutralizer" voor, naar eigen beschrijving een oplossing van zuren die Cr(VI) tot Cr(III) reduceert, gebruiksklaar en ten minste twee jaar houdbaar. De vormingsvoorwaarden zijn op de dia juist genoemd: chroom in het roestvast staal, temperatuur boven 250 °C, calciumhoudende isolatie, daarnaast kalium, natrium of magnesium, daarbij vocht en condensatie. [116]

Het certificaat dat SEEF B.V. in augustus 2025 in opdracht van Eco-Point International BV over de Chrome-VI Neutralizer (PR269) heeft opgesteld, is in zijn opzet correct, omdat het niet meer beweert dan is onderzocht. Daarin geldt de werkzaamheid „mits deze verbindingen oplosbaar zijn in de neutralizer-oplossing", dus alleen voor zover de verbindingen in de oplossing oplosbaar zijn. Het product veroudert en verliest werking, het behandelde oppervlak moet ten minste 15 minuten nat worden gehouden en moet voldoende afgekoeld zijn, en blijft de test daarna positief, dan was de behandeling ontoereikend en moet zij worden herhaald. Voor de controle houdt het certificaat vast: „Een negatieve uitslag is echter niet betrouwbaar", een negatief swabresultaat is niet betrouwbaar; aanbevolen wordt dan een betrouwbare analyse, SEEF TK01 of laboratoriumanalytiek. En verder: „Het is echter geen garantie dat blootstelling volledig wordt voorkomen", het product is „een hulpmiddel binnen een veiligheidsstrategie en geen oplossing die alle risico's zelfstandig elimineert". Een document dat de eigen reikwijdte zo openlegt, is de maatstaf waaraan zich laat meten wat ervan wordt gemaakt. [116]

Wat daarvan op de dia wordt

De pitchdia geeft vier punten weer: effectieve neutralisatie, 15 minuten inwerktijd op een afgekoelde ondergrond, significante verlaging van de waarschijnlijkheid van blootstelling en hulpmiddel binnen een veiligheidsstrategie. Niet weergegeven zijn de oplosbaarheidsvoorwaarde, de veroudering, de herhaling bij een positieve test en de zin over de onbetrouwbaarheid van het negatieve testresultaat. De slotdia adverteert in plaats daarvan met „Bewezen actieve RTU vloeistof" en „Meten is weten!". Daarmee wordt de meting tot argument, terwijl zij in het certificaat de plaats is waar voor het negatieve resultaat wordt gewaarschuwd. De productnaam „Neutralizer" draagt hetzelfde misverstand in de titel, want beschreven wordt een zure oplossing die reduceert. [116]

De instructie en haar tijdstip

De werkinstructie van Vattenfall Generation NL is ouder dan deze documenten. Het ascorbinezuur kwam volgens haar eigen versiehistorie op 11 juni 2019 erbij, de reiniging met WD-40 voor hardware van GE op 28 oktober 2022, de laatste integrale actualisering dateert van 29 april 2024. Zij kon het certificaat van augustus 2025 en het onderzoek naar WD-40 van september 2026 niet kennen. Te beoordelen is daarom niet haar totstandkoming, maar haar voortbestaan. Op het evenement van 6 november 2025, drie maanden na het certificaat, droeg Econtras, een isolatiebedrijf van Isolatiebedrijf C.J. van Waas BV, onder de kop „Reinigen met Ascorbinezuur" dezelfde instructie onveranderd voor, inclusief de vermelding dat het om een door Vattenfall zelf aangemaakte ascorbinezuuroplossing gaat, en inclusief de zin dat bij een negatief testresultaat geen verdere maatregelen nodig zijn. [115, 116]

Hetzelfde laboratorium, twee documenten

Voor de in de instructie voorgeschreven kruipolie heeft hetzelfde laboratorium dat de Neutralizer de werkzaamheid onder voorwaarden heeft bevestigd, elke reductiewerking weerlegd: 96,8 procent terugvinding bij al opgelost chroom(VI), geen dosis-effectrelatie bij volledige extractie en 5,8 procent terugvinding aan de vaste stof als oplosbaarheidsartefact. De beide bevindingen spreken elkaar niet tegen, zij scheiden het werkzame van het onwerkzame. In de werkinstructie staan beide middelen als gelijkwaardige reinigingsmethoden naast elkaar.

Het gevolg in de arbeidsbescherming

De ontheffing van beschermingsmaatregelen hangt in deze praktijk aan een methode waarvan het keuringslaboratorium het negatieve resultaat schriftelijk niet betrouwbaar verklaart. Deze vaststelling betreft de testmethode en niet een afzonderlijk product. Dezelfde richting toont de Franse veldstudie met 869 ng Cr(VI) in de laboratoriumanalytiek aan de turbocompressor tegen een negatief sneltestresultaat op dezelfde plaats (paragraaf 19). Een maatregel waarvan de resultaatcontrole valsnegatief kan uitvallen, voldoet niet aan de plicht uit § 7 lid 9 van de Duitse Gefahrstoffverordnung om de werkzaamheid daar waar geen grenswaarden bestaan, met geschikte methoden te controleren. Praktisch leidt zij ertoe dat beschermingsmiddelen worden afgelegd, gereedschap en adembescherming naar het gemeenschappelijke magazijn teruggaan en beneveld isolatiemateriaal weer wordt ingebouwd. Voor asbest zou niemand een zwarte zone op grond van een kleursneltest vrijgeven.

Het certificaat is het nauwkeurigste document van deze keten en het enige dat zijn eigen grenzen noemt; de keuringsinstantie treft daaraan geen verwijt, integendeel, zij heeft bevinding en reikwijdte volledig vermeld. Wat daarvan in de industriële omloop wordt, is iets anders: onder bekende logo's worden correcte verklaringen tot vier reclamepunten ingekort, de voorwaarden vallen weg, en de niet-vakkundige lezer wordt zekerheid gesuggereerd waar de verklaring die uitdrukkelijk niet geeft. Het verst reikt daarbij de werking van de technische instructies van grote concerns, want zij stellen de omgang met een kankerverwekkende en voor het water gevaarlijke verbinding voor als een normale werkstap, met sproeiflacon, doek, teststrookjes en aansluitend hergebruik van het materiaal.

Het reductieverhaal buiten de exploitanten

De Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar voor de bouw zet op haar pagina „Chrom(VI)-Verbindungen an Edelstahl" uiteen dat er „chromaatreducerende vezelbindmiddelen kunnen worden gebruikt", en: „Deze reduceren het chromaat tot niet-kritische chroom(III)-verbindingen en binden vezels." Als enige voorbehoud volgt dat de toepassing van een reductiemiddel „in voorkomend geval negatieve invloeden op de behandelde materialen kan hebben" en met de opdrachtgever moet worden afgestemd. Een bewijs van werkzaamheid, de aanwezigheid van oliën en vetten en de plicht uit § 7 lid 9 van de Duitse Gefahrstoffverordnung om de werkzaamheid daar waar geen grenswaarden bestaan, met geschikte methoden te controleren, komen niet voor. De indeling van het reactieproduct als niet-kritisch blijft bovendien zonder betrekking op de bevindingen die verderop worden behandeld: de sensibilisatieaanduiding Sh die de MAK- en BAT-waardenlijst 2026 voor de oplosbare chroom(III)-verbindingen voert, de beoordeling van het Franse agentschap Anses van 2021 en de mobilisatie van aan vezels gebonden chroom(III) als chroom(VI) volgens Walter et al. 2022. Dezelfde pagina houdt op een andere plaats vast dat het chemische vormingsmechanisme „momenteel nog niet volledig opgehelderd" is, en noemt in dezelfde tekst de alkali- en aardalkalimetaalhoudende thermische isolatiematerialen als begunstigende factor. [117]

Hoe een aangetoonde reductie is georganiseerd, toont het cement. Vermelding 47 van bijlage XVII van de REACH-verordening begrenst oplosbaar chroom(VI) in cement tot 0,0002 procent, dus 2 ppm van de droge massa. Bereikt wordt dat door toevoeging van een reductiemiddel, overwegend ijzer(II)sulfaat, stoichiometrisch 3,22 mg Fe(II) per mg Cr(VI), in de praktijk acht- tot twintigvoudig overgedoseerd, homogeen ingemengd, met een reactie die pas met het aanmaakwater begint, en getest volgens EN 196-10. De werking neemt bij opslag af, vochtigheid en zuurstof versnellen dat. Overgedragen wordt daaruit het opsproeien van een oplossing op een oliehoudend oppervlak in de machinekamer, zonder doseercontrole, zonder genormeerde onderzoeksmethode en met een sneltest als oplevering. [118, 119]

Dezelfde ongevallenverzekeraar, twee voorstellingen

De bedrijfsinstructie „Ausbau chromatbelasteter Dämmstoffe" volgens § 14 van de Duitse Gefahrstoffverordnung, op te vragen via het gevaarlijkestoffeninformatiesysteem WINGIS van de Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar voor de bouw, deelt de werkzaamheid in met de zin „Deze werkzaamheden of methoden zijn kankerverwekkend.", voert het signaalwoord Gevaar en houdt vast: „Chroom(VI)-verbindingen kan kanker veroorzaken!" Zij schrijft de afbakening van de werk- en saneringsgebieden met aanduidingsbord voor, stofarme werkmethoden en apparatuur, werken uitsluitend met afzuiging, werken bij toevoer van verse lucht, ontstoffers en industriestofzuigers van stofklasse H, de doorlopende controle van functie en afzuigvermogen, afdekking met folie bij ontbrekende reinigingsmogelijkheden, het snijden van het materiaal uitsluitend met mes, schaar of handzaag, het onmiddellijke inzamelen van het afval, gescheiden kleedruimten en een wasruimte met douches als zwart-witvoorziening, het inzamelen van de wegwerpoveralls na het einde van de dienst en de zin „Uitgebouwde minerale-wolproducten niet hergebruiken." Aan persoonlijke beschermingsmiddelen verlangt zij een ruimzichtbril bij bovenhandse werkzaamheden en sterke stofontwikkeling, veiligheidshandschoenen van chromaatvrij leer of met nitril gedrenkte katoenen handschoenen, een wegwerpoverall type 5 en adembescherming met het voorschrift „Altijd adembescherming dragen.", uitgevoerd als partikelfilter P3 op een half- of kwartgelaatsmasker of als partikelfilterend halfgelaatsmasker FFP3. In deze opsomming staat „Chromaatreducerende vezelbindmiddelen gebruiken." op de tweede plaats, tussen de zonering en de stofarme werkmethoden. [126]

Tegenover de Duitse TRGS 561 gaat de bedrijfsinstructie op meerdere punten verder. Paragraaf 5.9.3 lid 5 staat voor kortdurende werkzaamheden adembescherming van klasse FFP2 toe, de bedrijfsinstructie kent geen kortetijdtrap en verlangt doorlopend P3 of FFP3. Stofklasse H, toevoer van verse lucht en de zwart-witvoorziening noemt de TRGS op deze plaats niet. Bij de oogbescherming ligt de bedrijfsinstructie daaronder, omdat de TRGS deze zonder beperking eist, terwijl de bedrijfsinstructie haar aan bovenhandse werkzaamheden en sterke stofontwikkeling koppelt. Het chromaatreducerende vezelbindmiddel komt in de TRGS 561 op geen enkele plaats voor; de begrippen vezelbindmiddel, bindmiddel en neutralisatie ontbreken daar volledig. [126, 19]

De openbaar toegankelijke informatiepagina van dezelfde ongevallenverzekeraar voert van deze catalogus geen enkel punt. Zij beschrijft de vormingsroute, noemt als begunstigende factoren hoogchroomgelegeerde staalsoorten, zuurstof, temperaturen van ongeveer 350 tot 800 °C en alkali- of aardalkalihoudende thermische isolatiematerialen, benoemt geelachtige afzettingen van overwegend calciumchromaat als meest voorkomende bevinding en biedt als enige handeling het vezelbindmiddel aan, met de zinnen dat dit het chromaat „tot niet-kritische chroom(III)-verbindingen" reduceert en vezels bindt, en: „Daardoor wordt de belasting verlaagd." Als enige voorbehoud volgt de aanwijzing op mogelijke negatieve invloeden op de behandelde materialen en de afstemming met de opdrachtgever. Adembescherming, zonering, afzuiging, zwart-witvoorziening, het verbod op hergebruik, de risicobeoordeling, de substitutie en de TRGS 561 komen op de pagina niet voor. Voor de beschermingsmaatregelen verwijst zij naar de leidende Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse. [117, 126]

Dezelfde inkorting treedt aan de industriële zijde op, daar met hetzelfde woordveld. De Duitstalige productpagina van Eco-Point International BV over de Chrome-6 Neutralizer beschrijft het middel als een op zuren gebaseerde, biologisch afbreekbare neutralisatievloeistof „die schadelijk chroom-6 omzet in onschadelijk chroom-3", en voert onder de bijzondere voordelen aan: „Chroom-6 wordt omgezet in chroom-3, dus van een kankerverwekkende in een onschadelijke stof." De formulering „het onschadelijke chroom-3" staat op twee andere plaatsen van de pagina. Over de inwerktijd, de beschermingsmiddelen, de risicobeoordeling en de afvoer bevat de pagina niets. Naar de keuring wordt verwezen met de zin dat de Chrome-6-Neutralizer door het onafhankelijke laboratorium SEEF is getest en gecertificeerd; de voorwaarden die dit certificaat uitdrukkelijk noemt, staan daar niet. De Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar voor de bouw met „niet-kritische chroom(III)-verbindingen" en de aanbieder met „onschadelijk chroom-3" doen daarmee dezelfde uitspraak. De stand van de bevindingen over chroom(III) staat in paragraaf 27, met de sensibilisatieaanduiding Sh voor de oplosbare chroom(III)-verbindingen, de beoordeling van het Franse agentschap Anses van 2021 en de mobilisatie van aan vezels gebonden chroom(III) als chroom(VI) volgens Walter et al. 2022. [127, 116]

Als beoordeling: uit een volledig beschermingsregime wordt in de openbare voorstelling een enkele maatregel, voorzien van een werkingsuitspraak die noch in de bedrijfsinstructie noch in de TRGS 561 staat en waarvoor geen bewijs van werkzaamheid wordt verlangd. Een bedrijf dat zijn verplichtingen opzoekt, treft eerst deze voorstelling aan, omdat zij de openbare ingang is, terwijl de bedrijfsinstructie in het gevaarlijkestoffeninformatiesysteem moet worden opgevraagd. De vraag of deze inkorting bij het opstellen is bedacht, blijft open. De werking treedt daar onafhankelijk van in, en zij reikt verder dan elke opgave van een fabrikant, omdat zij onder het teken van een wettelijke ongevallenverzekeraar staat en daarmee citeerbaar is.

Een derde aanbieder en de keuringscirkel

Dezelfde uitspraak draagt een derde aanbieder. De productpagina van MATinspired B.V. over de TK20 Chromium-6 Neutralizer beschrijft het middel met „neutralizes and removes chromium-6 in surface contaminations on metals" en verklaart de werking daarmee dat het aanwezige chroom(VI) „converted to non-toxic chromium-3" wordt. Daarmee liggen drie gelijkluidende indelingen van het reactieproduct voor, niet-kritisch bij de Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar voor de bouw, onschadelijk bij Eco-Point en non-toxic bij MATinspired. [131]

De vragen en antwoorden van dezelfde aanbieder noemen de grenzen die op de productpagina ontbreken. Het middel werkt niet tegen in de lucht zwevende deeltjes, het veronderstelt afgekoelde onderdelen, het is voor metaal met spleten of boringen niet bedoeld, het moet ten hoogste ongeveer tien minuten inwerken en wordt daarna afgeveegd en met water nagespoeld. Over de volledigheid van de omzetting staat er: „We cannot guarantee that the neutralizer liquid will remove/neutralizer all chromium-6." Over de bestendigheid van het resultaat staat er dat een terugvorming bij kamertemperatuur niet is waargenomen, waarmee het behandelde en weer ingebouwde onderdeel bij bedrijfstemperatuur niet is meegenomen. Over de beschermingsmiddelen noemen de antwoorden veiligheidshandschoenen en oogbescherming als minimum, voeren adembescherming P3 en beschermende kleding als aanbeveling en sluiten af met de zin: „It is the sole responsibility of the user which appropriate security measures should be used." [132]

Het bewijs van de werking rust in beide documenten op het testkit TK11 van dezelfde aanbieder. Hetzelfde testkit is in de werkinstructie van Vattenfall Generation NL het criterium waarnaar beschermingsmiddelen worden afgelegd, gereedschap wordt teruggegeven en beneveld isolatiemateriaal weer wordt ingebouwd. Over deze methode houdt het certificaat van de keuringsinstantie vast dat een negatief resultaat niet betrouwbaar is, en de Franse veldstudie toont dezelfde bevinding met 869 ng chroom(VI) in de laboratoriumanalytiek aan de turbocompressor tegen een negatief sneltestresultaat op dezelfde plaats (paragraaf 19). [115, 116, 132]

Als beoordeling: een middel waarvan de fabrikant de volledige werking niet toezegt, wordt opgeleverd door een test waarvan het onafhankelijke laboratorium het negatieve resultaat niet betrouwbaar verklaart, en de keuze van de beschermingsmaatregelen wordt aan de gebruiker overgelaten, terwijl de Duitse TRGS 561 deze voor dit toepassingsgeval in paragraaf 5.9.3 lid 5 vastlegt. De substitutie van het alkali- en aardalkalioxidehoudende materiaal, die de nieuwvorming zou beëindigen, komt in geen van de documenten van de fabrikanten voor. [19]

Hetzelfde patroon draagt de Instruction WS00Q563 van Wärtsilä. Voor de behandeling noemt zij een zelf aan te maken oplossing van 900 ml gedestilleerd water, 110 ml citroenzuurpoeder en 2 ml vloeibare zeep, aangebracht gedurende zes tot tien minuten en daarna met water afgespoeld. Gegevens over de werkzaamheid bevat het document niet, en een hernieuwde controle na de behandeling is niet voorzien, hoewel vóór aanvang van de werkzaamheden een veegtest wordt verlangd. De fabrikant stelt zelf vast dat de procedure de stofafgifte vermindert en geen vrijheid van Cr(VI) waarborgt. [137]

Citroenzuur is voor chromaat geen gebruikelijk reductiemiddel. Zonder versneller verloopt de reductie traag; bij pH 4,5 werd minder dan 5 procent van 50 µmol/l Cr(VI) in 22 uur omgezet, en mangaan(II) versnelt hetzelfde proces met ongeveer een factor 45. De pH beslist. Voor organische reductiemiddelen ligt de omzetting bij pH 2,0 tot 2,5 op 99,6 tot 99,9 procent, bij pH 3 tot 8 in de steriele opzet tussen 15,4 en 36,3 procent. De hoeveelheidsopgave van het bulletin becijfert een poeder in milliliters, waarmee de concentratie niet eenduidig is vastgelegd. [259, 260]

Voor hetzelfde doel zijn afgestemde zuurmengsels in de handel. Hun leveranciers beschrijven de werking met eigen opgaven, zonder genoemd laboratorium en zonder gepubliceerde gegevens. [261]

Te vragen blijft waarom de servicetechnicus het aanmaken van een zwak reducerende oplossing wordt opgedragen, terwijl de calciumbron in het onderdeel achterblijft en bij het volgende opstarten boven 400 °C opnieuw chromaat ontstaat.

Hoe een opgave eruitziet die haar eigen reikwijdte benoemt, toont een productpagina uit de eigen omgeving. Ik heb een belang in Kavarmat® Sp. z o.o. Sp.k., die KavarClean®Redox Powder verkoopt. De productpagina noemt de omgangstalige term neutralisator en stelt vast dat het chemisch niet om een neutralisatie gaat maar om een reductie. Zij beschrijft het middel als hulpmiddel bij sanerings- en onderhoudswerkzaamheden en daar waar substitutie niet is voorzien. Zij zegt geen volledige omzetting toe en stelt vast dat een negatieve sneltest geen bewijs van vrijheid van Cr(VI) is. Een bewijs van werkzaamheid bestaat voor dit product niet en wordt ook niet beweerd. Daarmee is de opgave niet beter onderbouwd dan die van de overige leveranciers, maar zij claimt ook niets wat onderbouwd zou moeten worden. [262]

WD-40

In de praktijk wordt de kruipolie WD-40 soms als middel tegen chroom(VI) beschouwd en bij onderhoudswerkzaamheden gebruikt. De herkomst van deze praktijk laat zich benoemen. Het Safety Bulletin Summary van de Britse brancheorganisatie Energy UK van september 2019 houdt vast dat leden ervaring hebben met het gebruik van WD-40 of vergelijkbare middelen en doeken „to immobilise and wipe away Cr(VI) residue". Beschreven is daarmee een stofbinding vóór het afvegen, geen chemische omzetting. Hetzelfde document noemt al de drie voorwaarden voor het ontstaan, calciumhoudend product, temperaturen boven 300 °C en chroomhoudend staal, en verlangt om op alle centralelocaties van de aanwezigheid uit te gaan. [92]

Een reductiewerking heeft WD-40 niet. SEEF B.V. heeft deze experimenteel onderzocht. Bij al opgelost chroom(VI) bleef de terugvinding na toevoeging van 2 ml WD-40 op 96,8 procent, 240,7 tegenover 248,7 µg/l. Bij een referentieverfmonster met volledige ontsluiting bleek geen dosisafhankelijkheid; de waarden lagen tussen 1.280,0 en 1.384,5 mg/kg tegenover 1.265,0 mg/kg in de controle en daarmee alle boven de controle. Het product bestaat volgens het veiligheidsinformatieblad van de fabrikant uit 55 tot 75 gewichtsprocent alifatische koolwaterstoffen en basisolie en bevat geen reducerend werkende component. [91]

De derde proef verklaart waarom de maatregel toch als werkzaam voorkomt. Vast chroom(VI) in direct contact met WD-40, vervolgens in water opgelost, gaf een terugvinding van 5,8 procent, omdat het chromaat in de oliefase samenklonterde en aan de meting onttrokken bleef. Wie na een oliebehandeling bemonstert, meet een fractie van het aanwezige chromaat. De bevinding bevestigt de maatregel, terwijl het chromaat onveranderd op het onderdeel, in het reinigingsmateriaal en in het afval achterblijft (paragraaf 17). [91]

Het vermeend onschadelijke chroom(III)

Vaak wordt het gereduceerde chroom(III) voorgesteld als essentieel en natuurlijk sporenelement. De Europese Autoriteit voor voedselveiligheid EFSA vond in 2014 echter geen bewijs voor de essentialiteit van chroom(III) en achtte het vaststellen van een adequate inname niet passend. [61]

Bovendien toont de chrysotielstudie van Walter et al. (2022) aan dat aan vezels gebonden chroom(III) onder oxidatieve omstandigheden bij fysiologische pH als chroom(VI) kan worden gemobiliseerd, dat door long- en mesotheelcellen wordt opgenomen. Industriële stofdeeltjes kunnen daarmee als drager dienen, waarlangs vermeend onschadelijk chroom(III) terugkeert in een vorm die de cel binnendringt. In de celkern is het dan wederom chroom(III) dat de DNA-adducten vormt. [4, 53]

27. Chroom(III): de aangenomen eindtoestand

Alle in paragraaf 26 behandelde methoden berusten op dezelfde aanname. Met de omzetting van chroom(VI) in chroom(III) zou het gevaarlijke deel van het proces beëindigd zijn. Deze paragraaf toetst de aanname aan de documenten, aan de indelingen en aan de chemie van het proces.

De argumentatiefiguur in de documenten van de fabrikanten

De technische instructie [redacted] van [redacted], vrijgegeven op 31 mei 2023, voert haar volledig uit. Chroom(VI) wordt door de reductieoplossing „almost completely converted into the much less dangerous chromium of oxidation state 3". Over de beoordeling van deze toestand staat er: „Cr-3, for example, is found in many foods. Daily intake levels in Europe are generally in a range where no health risk is expected. Whether Cr-3 is an essential trace element for humans at all has not been conclusively clarified. Since the possible concentration of Cr-3 after application of the reduction solution is far below the applicable limit values (occupational exposure limit values), a health hazard from Cr-3 can be ruled out." Uitgelicht volgt: „Unlike Cr-6, Cr-3 is not carcinogenic." [25]

De alinea geeft in de derde zin toe dat de essentialiteit niet afsluitend is opgehelderd, en sluit in de vierde een gezondheidsgevaar uit. De onderbouwing steunt op grenswaarden, zonder er een te noemen. De essentialiteitsvraag is beantwoord door de beoordeling van de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid van 2014, die geen bewijs voor een essentialiteit van chroom(III) vond en het vaststellen van een adequate inname niet passend achtte. [61]

Wat bij de reductie ontstaat

De MAK-onderbouwing bij de chroom(VI)-verbindingen van de inhaleerbare fractie beschrijft het proces als een meertrapsreactie: „De reductie van chroom(VI) verloopt via chroom(V) en chroom(IV) naar chroom(III), waarbij radicalaire zuurstof- en zwavelverbindingen ontstaan." Welke tussentrap optreedt, hangt van het reductiemiddel af. Bij de reactie met ascorbaat worden in de eerste stap twee elektronen overgedragen en ontstaat chroom(IV), bij glutathion wordt één elektron overgedragen en wordt chroom(V) gevormd, dat in reacties analoog aan de Fenton-reactie hydroxylradicalen produceert. Als eindproduct ontstaat in alle gevallen de stabiele oxidatietrap chroom(III). [128]

Deze beschrijving betreft de reductie binnen de cel. Haar overdracht naar de behandeling van een onderdeeloppervlak is een analogie en wordt hier als zodanig aangeduid. Overdraagbaar is het gegeven dat de omzetting geen eenstapsreactie naar een gedefinieerde eindstof is.

Voor de behandeling op de installatie komt daarbij wat op het oppervlak ligt. Het reductiemiddel is naargelang de instructie ascorbinezuur, een zuurmengsel of ijzer(II)sulfaat, deels komt citroenzuur erbij. Op het behandelde oppervlak bevinden zich oliën, vetten, resten isolatiemateriaal en montagepasta's. Chroom(III) vormt met organische zuren en hun oxidatieproducten oplosbare complexen. Chroom(III)oxide, dat in de uitspraken over de producten bedoeld is, ontstaat thermisch en niet door opsproeien en afvegen.

De onbekende species

Welke chroom(III)-verbindingen na een behandeling feitelijk aanwezig zijn, wordt in geen van de beschouwde documenten aangegeven. De werkinstructie van Vattenfall Generation NL benoemt het reactieproduct niet, de productpagina's van Eco-Point en MATinspired spreken van chroom-3 en non-toxic chromium-3 zonder opgave van een verbinding, het certificaat van de keuringsinstantie heeft betrekking op de werkzaamheid van de omzetting en niet op het product daarvan, en de pagina van de Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar voor de bouw spreekt in het meervoud van niet-kritische chroom(III)-verbindingen, zonder er een te noemen. [115, 116, 117, 131, 132]

De ingezette analytiek beantwoordt de vraag evenmin. De colorimetrische sneltest geeft chroom(VI) aan of niet. De laboratoriummethoden bepalen chroom(VI) of totaalchroom. Een speciatieanalyse van de ontstane chroom(III)-verbindingen is in geen van de methoden voorzien en wordt in geen van de documenten verlangd.

Indeling van de chroom(III)-verbindingen

De MAK- en BAT-waardenlijst 2026 van de Duitse Forschungsgemeinschaft voert de chroom(III)-verbindingen zonder MAK-waarde, zonder piekbegrenzing, zonder zwangerschapsgroep, zonder huidresorptieaanduiding en zonder categorie voor carcinogeniteit of geslachtscelmutageniteit. Onder sensibilisatie draagt de groep de aanduiding Sh voor huidsensibiliserende werking, met de toevoeging: „Geldt niet voor chroom(III)oxide en vergelijkbaar slecht oplosbare chroom(III)-verbindingen." Ter vergelijking voert dezelfde lijst de chroom(VI)-verbindingen van de inhaleerbare fractie met de huidresorptieaanduiding H, de sensibilisatieaanduiding Sh, de carcinogeniteitscategorie 1 en de geslachtscelmutageniteitscategorie 2. [102]

De aanduiding Sh geldt daarmee voor de oplosbare chroom(III)-verbindingen en uitdrukkelijk niet voor het oxide en vergelijkbaar slecht oplosbare verbindingen. De toewijzing aan de groep zonder aanduiding veronderstelt de kennis van de ontstane species, die volgens de vorige subparagraaf niet wordt vastgesteld. Zij vindt in de voorstelling van de aanbieders plaats zonder bevinding.

Voor chroom(III)oxide zelf geldt in Duitsland een grenswaarde op de werkplek van 2 mg/m³ in de inhaleerbare fractie met de overschrijdingsfactor 1 en de kortetijdwaardecategorie I. Een geharmoniseerde indeling volgens de Europese CLP-verordening ligt voor chroom(III)oxide niet voor. [130]

Het Franse agentschap Anses heeft chroom(III)oxide in het kader van de stoffenbeoordeling volgens de REACH-verordening als beoordelende lidstaat onderzocht en haar standpunt op 28 juli 2021 voorgelegd. Zij acht een indeling als huidsensibilisator van categorie 1 aangewezen en ziet dit uitdrukkelijk ook voor andere chroom(III)-verbindingen als relevant. Voor de inhalatieroute moet een geharmoniseerde indeling als STOT RE 2 met H373 worden onderzocht, omdat de longschade in de dierproef als irreversibel geldt. Voor het milieu beveelt zij de geharmoniseerde indeling als Aquatic Acute 1 met H400 en Aquatic Chronic 1 met H410 aan. Voor de geslachtscelmutageniteit komt zij tot het resultaat dat de criteria van de CLP-verordening na algehele beoordeling niet zijn vervuld; over de nanovormen liggen twee studies met bedenkingen voor, waarvan de zeggingskracht door ontbrekende opgaven over het chroom(VI)-gehalte is beperkt. Over de reproductietoxiciteit acht zij de gegevensbasis ontoereikend en beveelt zij het gelasten van een meergeneratiestudie volgens OECD 443 en een prenatale ontwikkelingsstudie volgens OECD 414 aan. [129]

Hetzelfde standpunt houdt vast dat het Europese indelings- en etiketteringsregister voor chroom(III)oxide zelfindelingen onder meer als Carc. 1A, Muta. 1B en Repr. 2 bevat, die deels met chroom(VI)-verontreinigingen samenhangen, en beveelt de toezichthoudende autoriteiten aan te onderzoeken of chroom(VI) boven 0,1 procent zonder passende indeling aanwezig is. [129]

Tussen de Duitse en de Franse beoordeling bestaat een open punt. De MAK- en BAT-waardenlijst zondert chroom(III)oxide van de Sh-aanduiding uit, de Anses acht voor dezelfde stof een indeling als huidsensibilisator categorie 1 aangewezen. Beide beoordelingen staan naast elkaar. [102, 129]

De sensibiliserende stap is de chroom(III)-stap

De MAK-onderbouwing beschrijft het verloop van de huidsensibilisatie door chromaten. Chroom(VI)-verbindingen penetreren de hoornlaag en worden in de huid tot chroom(III) gereduceerd, waarschijnlijk vooral door zwavelhoudende aminozuren en glutathion. „Deze driewaardige chroomverbindingen zijn, anders dan de zeswaardige, in staat aan hoogmoleculaire carriermoleculen zoals proteïnen te binden en kunnen als haptenen fungeren" en zo een sensibilisatie van de huid induceren. Ook bij de genotoxiciteit is het driewaardige chroom betrokken: in de celkern ontstaan chroom(III) vormt adducten met het DNA, „overwegend om ternaire complexen van DNA, chroom(III) en kleine moleculen zoals ascorbaat, glutathion, cysteïne of histidine", die genmutaties, DNA-dubbelstrengsbreuken, chromosoombreuken en micronuclei kunnen veroorzaken. [128]

Het precedent leer

Dezelfde MAK-onderbouwing beschrijft een toepassingsgeval waarin chroom(III) sinds lang als werkstof wordt gebruikt: „Het tanen gebeurt weliswaar met chroom(III)-verbindingen, maar daaruit kunnen bij ongeschikte verwerkings- of opslagmethoden geringe hoeveelheden chroom(VI)-verbindingen ontstaan. Wordt het chroom(III) in situ door reductie van chroom(VI)-verbindingen gevormd, dan kan bij onvolledige reductie eveneens oplosbaar chroom(VI) in het leer achterblijven." [128]

Beide uitspraken van deze zin betreffen het hier behandelde proces. Uit chroom(III) kan onder ongeschikte omstandigheden chroom(VI) ontstaan, en een onvolledige in situ-reductie laat oplosbaar chroom(VI) achter. Voor de behandeling aan het hete onderdeel is de volledigheid van de reductie volgens de opgaven van de aanbieders zelf niet toegezegd.

Beweeglijkheid en de gevolgtrekking naar afvoerloos werken

De methoden volgens paragraaf 26 werken nat. Opgesproeid wordt een oplossing, afgeveegd wordt met doeken, nagespoeld wordt volgens de instructie van MATinspired met water. Daarmee ontstaat een vloeistoffase die naar de stand van de opgaven van de aanbieders nog steeds chroom(VI) kan bevatten, omdat de volledige omzetting niet is toegezegd en de vrijgaveprocedure in het negatieve resultaat volgens het certificaat van de keuringsinstantie niet betrouwbaar is. Daar komen de oplosbare chroom(III)-complexen bij, waarvan de samenstelling niet wordt bepaald. [132, 116]

Over de afvoer van deze vloeistoffase bevatten de productpagina's en de vragen en antwoorden van MATinspired geen opgave, en het wassen van de gebruikte doeken is daar uitdrukkelijk voorzien. De bedrijfsinstructie van de Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar voor de bouw verlangt voor dezelfde werkzaamheid het inzamelen van het afval op de plaats van ontstaan in PE-zakken of big bags en de kenmerking daarvan. Uit beide volgt de eis om dergelijke werkzaamheden afvoerloos uit te voeren en de vrijkomende vloeistof als gevaarlijkestoffenafval te behandelen, zolang het chroom(VI)-gehalte daarvan niet met een betrouwbare methode is bepaald. [126, 132]

De terugkeer van het blootliggende chroom(III) naar het hete onderdeel

In het legeringsverband is chroom gebonden en voor een reactie slechts via het oppervlak toegankelijk. Na een reductie liggen chroom(III)-verbindingen fijnverdeeld en ongebonden op het oppervlak en in het aanhangende materiaal voor. Deze toestand is de uitgangstoestand van de chromaatvorming zoals die in deze analyse is onderbouwd: het octrooi van 1939 beschrijft de gerichte vorming van calciumchromaat uit chroomhoudend materiaal met kalk en luchtzuurstof, Mao et al. tonen de vorming van calciumchromaat uit chroom(III) in aanwezigheid van calciumoxide in het temperatuurvenster van 500 tot 900 °C aan, en Verbinnen et al. tonen dezelfde afhankelijkheid voor alkali- en aardalkaliverbindingen. [1, 9, 10]

Wordt behandeld isolatiemateriaal volgens de instructie van Vattenfall Generation NL opnieuw ingebouwd en de installatie opgestart, dan zijn alle voorwaarden opnieuw vervuld, en de reactiepartner chroom ligt in een gemakkelijker toegankelijke vorm voor dan daarvoor. Een onderzoek van dit geval is er niet. De opgave van de aanbieder dat een terugvorming bij kamertemperatuur niet is waargenomen, omvat dit geval niet. [115, 132]

Afbakening

De geringere toxiciteit van de chroom(III)-verbindingen ten opzichte van de chroom(VI)-verbindingen is onbetwist en wordt hier niet ter discussie gesteld. Chroom(III)-verbindingen dragen geen carcinogeniteitscategorie en geen geslachtscelmutageniteitscategorie. De uitspraken dat het reactieproduct onkritisch, onbezwaarlijk of non-toxic zou zijn, gaan daarboven uit. Zij doen een uitspraak over stoffen die niet worden bepaald, zij laten de Sh-aanduiding van de oplosbare chroom(III)-verbindingen onvermeld, zij laten de beoordeling door de autoriteiten van een lidstaat inzake huidsensibilisatie en gevaar voor het aquatisch milieu onvermeld, en zij veronderstellen een volledigheid van de omzetting die geen aanbieder toezegt.

28. Eigen veldbevindingen

De grondslag van deze expertise zijn niet alleen stukken van anderen. Sinds 2019 voeren wij eigen onderzoeken in het veld uit, deels zelf, deels door daartoe ingeschakelde derden, en zij zijn gedocumenteerd.

Onderzocht is aan installaties in bedrijf en in onderhoud: motoren en warmtekrachtinstallaties, energiecentrales, verbrandingsinstallaties binnen en buiten, scheepsmotoren, voertuigen en bouwmachines. Daarbij hebben wij vrijwel elk op de markt beschikbaar isolatiemateriaal aan verschillende installaties onderzocht.

Ingezet zijn veegmonsters, materiaalmonsters en laboratoriumanalyses, uitgewerkt in het mobiele laboratorium en door externe laboratoria. In de beginperiode hebben ook wij de sneltest gebruikt. Wij gebruiken hem niet meer, om de redenen die in paragraaf 19 zijn weergegeven.

Deze expertise beweert niet dat elk onderdeel betrokken is, en zij wil niets overdrijven. Na zeven jaar veldwerk kunnen wij echter voor geen van de genoemde toepassingsgebieden een afwezigheid van belasting vaststellen of geruststelling geven.

29. Wat nog onderzocht kan worden en wat niet meer open is

Isolatietechniek en voertuigen

Onderzoeksbehoefte kan in het betreffende installatiegeval bestaan ten aanzien van de kinetiek, de lokale zuurstof- en vochtomstandigheden, de invloed van temperatuurcycli, de oppervlaktechemie of de kwantitatieve verhouding tussen afzonderlijke chromaten. Deze vragen betreffen de uitingsvorm van het reactieverloop.

Zij heffen de vormingsroute niet op. Deze is sinds 1939 in octrooivorm gedocumenteerd, aan het grensvlak tussen metaal en isolatiemateriaal experimenteel bevestigd en sinds april 1990 voorwerp van waarschuwingen van fabrikanten. Zij is tegelijk bedrijfsrealiteit: de werkinstructies van de exploitanten beschrijven haar met temperatuurvenster en calciumbron, en de eigen veldbevindingen uit zeven jaar bevestigen haar aan motoren, turbines, energiecentrales, schepen en voertuigen. De open vragen betreffen de uitingsvorm, niet het optreden.

De in-situvorming wordt desondanks nog steeds weergegeven als verontreiniging of als niet te verhinderen gevolg van het bedrijf. Juist is dat het om een thermochemische reactie gaat waarvan de tweede partner via de materiaalkeuze wordt bepaald. Wie een alkali- en aardalkalioxidehoudend materiaal op een chroomgelegeerd heet onderdeel aanbrengt, neemt de vorming op de koop toe, en dat sinds de verbanden gedocumenteerd zijn.

Gezien de sinds 1939 openbaar gedocumenteerde reactiechemie, de preventieaanpak van Toshiba uit 2010 en het grensvlakbewijs uit 2015 rijst de vraag waarom de vormingsroute in productinformatie en waarschuwingen tot op heden als open of niet navolgbaar wordt voorgesteld.

Vanuit chromaatdeskundig oogpunt kan een gebrek aan belangstelling van fabrikanten van isolatiematerialen en motoren voor een heldere weergave van de materiaalgebonden oorzaak en de preventieve wegneming daarvan vakinhoudelijk worden benoemd, voor zover dit wordt gekoppeld aan de gedocumenteerde informatielacunes. Een zo onduidelijk mogelijke weergave kan economische belangen tegemoetkomen. Deze beoordeling betreft de waarneembare communicatie en de werking daarvan; een concrete interne bedoeling wordt daarmee niet als vaststaand feit gesteld.

De verdiepte bronnen maken concrete vervolgvragen mogelijk: werd bij compatibiliteitsonderzoeken met chroom alleen de bestendigheid van het isolatiemateriaal onderzocht of ook Cr(VI) bepaald? Werd de bekende reactie tussen metaal en isolatiemateriaal opgenomen in de beoogde gebruiksomstandigheden? Waarom ontbreken overeenkomstige aanwijzingen in bepaalde productspecifieke documenten? Welke wijzigingen in waarschuwingen, materialen of contactvlakken volgden op eigen bevindingen? De antwoorden zijn te herleiden aan de hand van testrapporten, versiegeschiedenissen en verzendlijsten.

Verbrandingsresten en doorgifte van onderzoeksresultaten

Wordt bij assen alleen totaalchroom of ook Cr(VI) bepaald? Omvat de monsterneming ook de op het rooster achtergebleven asresten en resten uit de vuurhaard vóór en na het uit bedrijf nemen alsmede de voor revisie en reiniging relevante afzettingen? Welke veranderingen ontstaan door de temperatuur-/zuurstofhistorie bij het afschakelen, thermische nabehandeling of veroudering? Wordt de verwijderings-/eluaatbeoordeling verward met een beoordeling van inhalatoire, dermale en orale blootstelling? Welke resultaten uit industrienabije onderzoeksprojecten zijn overgenomen in waarschuwingen en werkinstructies?

De zakelijke kern is een mogelijke implementatiekloof tussen beschikbare stofkennis, toepassingsgerichte informatie en daadwerkelijk toegepaste bescherming. De beschikbare bronnen en de praktijkwaarnemingen rechtvaardigen een gericht onderzoek van deze raakvlakken. Een opzet tot verzwijgen of een tekortkoming van alle exploitanten wordt hieruit niet als feit afgeleid.

30. Rechtsgevolgen bij niet-naleving

De voorgaande paragrafen behandelen de vormingsroute, de bewijssituatie en de plichten. Deze paragraaf behandelt wat er gebeurt wanneer deze plichten niet worden nagekomen. De weergave beperkt zich tot geldend recht en noemt bij elke uitspraak de vindplaats. Bepalend is dat in alle vier weergegeven rechtsgebieden de sanctie aanknoopt bij de nagelaten plicht en niet bij een opgetreden gezondheidsschade.

Duitsland: Ordnungswidrigkeit, strafbaar feit en regres

De Duitse Gefahrstoffverordnung somt de overtredingen van haar centrale plichten op in § 22 lid 1. De bepaling luidt inleidend: „Een Ordnungswidrigkeit in de zin van § 26 lid 1 nummer 8 letter b van het Chemikaliengesetz pleegt wie opzettelijk of uit onachtzaamheid". Voor het hier behandelde feitencomplex zijn drie nummers van toepassing. Nummer 1a omvat de risicobeoordeling die in strijd met § 6 lid 8 zin 1 niet, niet juist, niet volledig of niet tijdig wordt gedocumenteerd. Nummer 3 omvat degene die een werkzaamheid in strijd met § 7 lid 1 laat aanvangen, dus voordat de risicobeoordeling is uitgevoerd en de vereiste beschermingsmaatregelen zijn genomen. Nummer 5 omvat wie de werking en de werkzaamheid van de technische beschermingsmaatregelen in strijd met § 7 lid 7 zin 1 niet of niet tijdig controleert [103].

Het boetekader volgt niet uit de verordening zelf, maar uit het Chemikaliengesetz. § 26 lid 3 differentieert de maximumbedragen; voor overtredingen volgens § 26 lid 1 nummer 8 letter b, dus voor de voorschriften ter bescherming van de werknemers, bedraagt de geldboete ten hoogste 50.000 euro [104].

Boven de Ordnungswidrigkeit begint het strafrecht, en wel zonder dat een schade moet zijn opgetreden. § 22 lid 2 van de Gefahrstoffverordnung bepaalt: „Wie door een in lid 1 aangeduide handeling het leven of de gezondheid van een ander of andermans zaken van aanzienlijke waarde in gevaar brengt, is strafbaar volgens § 27 lid 2 tot 4 van het Chemikaliengesetz." [103] § 27 lid 2 van het Chemikaliengesetz voorziet voor het opzettelijk in gevaar brengen in een vrijheidsstraf van ten hoogste vijf jaar of een geldstraf, lid 4 voor onachtzaam handelen in een vrijheidsstraf van ten hoogste twee jaar of een geldstraf. De poging is volgens lid 3 strafbaar. Bestanddeel van de delictsomschrijving is het in gevaar brengen van leven of gezondheid, niet de schending daarvan [105].

Deze constructie is voor het hier behandelde feitencomplex van aanzienlijke betekenis. Een beroepsziekte door chroom(VI) treedt op met een latentie van jaren tot decennia. Een delictsomschrijving die de opgetreden schade zou vooronderstellen, zou over deze periode praktisch zonder werking blijven. De gevaarzettingsdelictsomschrijving grijpt daarentegen op het moment waarop de werkzaamheid zonder beoordeling en zonder beschermingsmaatregelen wordt uitgevoerd.

Daar komt het regres van de wettelijke ongevallenverzekeraar bij. Volgens § 110 van het Zevende Boek van het Duitse Sozialgesetzbuch zijn personen wier aansprakelijkheid volgens de §§ 104 tot 107 beperkt is, tegenover de socialeverzekeringsorganen aansprakelijk voor de als gevolg van het verzekerde voorval ontstane uitgaven, wanneer zij het verzekerde voorval „opzettelijk of met grove nalatigheid hebben veroorzaakt". De schuld hoeft zich alleen te betrekken op het doen of nalaten dat het verzekerde voorval heeft veroorzaakt. De aansprakelijkheid is in hoogte begrensd tot de civielrechtelijke vordering tot schadevergoeding; in plaats van een rente kan de kapitaalwaarde worden gevorderd. Het orgaan kan naar billijkheid geheel of gedeeltelijk van de vordering afzien [106]. Bij een erkende beroepsziekte met een jarenlange last aan rente, behandeling en revalidatie is dit regres economisch in de regel de grootste post, en het treft degene wiens aansprakelijkheid tegenover de werknemer zelf beperkt is.

Aan de milieuzijde grijpt § 326 lid 1 van het Duitse Strafgesetzbuch in. Omvat is wie afvalstoffen buiten een daarvoor toegelaten installatie of met wezenlijke afwijking van een voorgeschreven of toegelaten procedure inzamelt, vervoert, behandelt, nuttig toepast, opslaat, stort, laat wegvloeien, verwijdert of daarin handelt, voor zover de afvalstoffen onder een van de opgesomde gevarencategorieën vallen. Daartoe behoren afvalstoffen die „voor de mens kankerverwekkend, giftig voor de voortplanting of mutageen zijn". Het strafkader bedraagt ten hoogste vijf jaar vrijheidsstraf of een geldstraf, bij onachtzaam handelen volgens lid 5 nummer 1 ten hoogste drie jaar [107]. Chromaathoudende isolatiematerialen, afzettingen en assen vallen binnen deze beschouwing zodra zij als afvalstof worden gehanteerd; de indeling volgt daarbij niet uit de leveringstoestand, maar uit de gebruikstoestand.

Nederland: substitutieplicht, bestuurlijke boete en economisch delict

Het Nederlandse Arbeidsomstandighedenbesluit regelt de werkzaamheden met kankerverwekkende stoffen in hoofdstuk 4 afdeling 2. Artikel 4.17 heeft als kopje „Voorkomen van blootstelling; vervangen" en verlangt technische en organisatorische maatregelen die de mogelijkheid van een blootstelling zo veel mogelijk bij de bron voorkomen, en wel vooral door vervanging van de kankerverwekkende, mutagene of voor de voortplanting giftige stoffen of processen, „voor zover dit technisch uitvoerbaar is", door stoffen of processen waarbij de werknemers niet of minder in gevaar worden gebracht [109]. De voorrang van de substitutie is daarmee als in het Duitse recht geformuleerd, zij het met de maatstaf van de technische uitvoerbaarheid.

De niet-naleving van de plichten uit de Arbeidsomstandighedenwet en de daarop berustende voorschriften is volgens artikel 33 lid 1 en 2 een overtreding. Artikel 34 lid 1 draagt het opleggen van de bestuurlijke boete op aan een daartoe aangewezen ambtenaar. Volgens artikel 34 lid 3 bedraagt de boete ten hoogste het bedrag van de vijfde categorie volgens artikel 23 lid 4 van het Nederlandse Wetboek van Strafrecht [108]; dit bedrag ligt sinds 1 januari 2026 op 110.000 euro, het bedrag van de zesde categorie op 1.100.000 euro [111]. Bij een gelijksoortige overtreding binnen de voorafgaande vijf jaar wordt de boete volgens artikel 34 lid 5 met 100 procent verhoogd, bij twee eerdere overtredingen of bij als zwaar aangemerkte overtredingen volgens de leden 6 en 7 met 200 procent; bij zware overtredingen verlengt lid 9 de beschouwingsperiode tot tien jaar [108].

De strafbepaling staat in artikel 32 van de Arbeidsomstandighedenwet: „Het is de werkgever verboden handelingen te verrichten of na te laten in strijd met deze wet of de daarop berustende bepalingen indien daardoor, naar hij weet of redelijkerwijs moet weten, levensgevaar of ernstige schade aan de gezondheid van een of meer werknemers ontstaat of te verwachten is." [108] De maatstaf is daarmee niet de positieve wetenschap alleen, maar ook dat wat de werkgever redelijkerwijs moet weten. Artikel 1 nummer 1 van de Wet op de economische delicten voert artikel 32 van de Arbeidsomstandighedenwet uitdrukkelijk op als economisch delict. Volgens artikel 2 lid 1 van dezelfde wet zijn deze delicten misdrijven voor zover zij opzettelijk worden begaan, anders overtredingen. Artikel 6 lid 1 nummer 1 voorziet voor het opzettelijk begane delict in een gevangenisstraf van ten hoogste zes jaar, een taakstraf of een geldboete van de vijfde categorie, nummer 4 voor de overtreding in hechtenis van ten hoogste een jaar, een taakstraf of een geldboete van de vierde categorie [110].

Verenigd Koninkrijk: COSHH en de Health and Safety at Work etc. Act

Regulation 7(1) van de Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 bepaalt: „Every employer shall ensure that the exposure of his employees to substances hazardous to health is either prevented or, where this is not reasonably practicable, adequately controlled." Regulation 7(2) maakt de voorrang van de substitutie duidelijk: „substitution shall by preference be undertaken", waarbij de werkgever het gebruik van de gevaarlijke stof zo ver als redelijkerwijs praktisch uitvoerbaar vervangt door een stof of een proces dat het gevaar wegneemt of vermindert. Is het voorkomen van de blootstelling aan een carcinogeen niet redelijkerwijs praktisch uitvoerbaar, dan verlangt Regulation 7(5) aanvullend de volledige omkasting van proces en hanteringssystemen voor zover praktisch uitvoerbaar, het verbod op eten, drinken en roken in mogelijk gecontamineerde zones, de regelmatige en bij concrete aanleiding uitgevoerde reiniging van vloeren, wanden en overige oppervlakken, de aanduiding van de betrokken zones en installaties met geschikte waarschuwingsborden alsmede veilig opslaan, hanteren en verwijderen in gesloten en eenduidig gekenmerkte houders [113].

Deze plichten zijn strafrechtelijk gesanctioneerd. Volgens Section 33(1)(c) van de Health and Safety at Work etc. Act 1974 is het een strafbaar feit om in strijd te handelen met health and safety regulations of met een daarop gevolgd bevel. Section 33(2) verwijst voor de procedurevorm en de maximumstraf naar Schedule 3A. Daar is het feit volgens Section 33(1)(c) naar keuze in de summiere procedure of in de procedure op tenlastelegging vervolgbaar; in de procedure op tenlastelegging bedraagt de maximumstraf een vrijheidsstraf van ten hoogste twee jaar, een geldstraf of beide, in de summiere procedure een vrijheidsstraf tot de algemene bovengrens van het Magistrates Court, een geldstraf of beide. De eerder geldende summiere bovengrens van 20.000 pond is weggevallen; de geldende tekst noemt alleen nog „a fine" [112]. Ook hier vooronderstelt de strafbaarheid geen opgetreden gezondheidsschade, maar knoopt zij aan bij de overtreding van de regel.

Verenigde Staten: OSHA-boetes, strafbepaling en aanbestedingsrecht

In de Verenigde Staten geldt voor chroom(VI) de standaard 29 CFR 1910.1026 met een toelaatbare blootstellingswaarde van 5 µg/m³ en een Action Level van 2,5 µg/m³ (paragraaf 18). De civiele boetes volgens Section 17 van de Occupational Safety and Health Act worden jaarlijks aan de inflatie aangepast. Voor vaststellingen na 15 januari 2026 bedragen zij ten hoogste 16.550 Amerikaanse dollar per overtreding bij serious en other-than-serious violations alsmede bij overtredingen van aanplakverplichtingen, ten hoogste 16.550 Amerikaanse dollar per dag bij het niet wegnemen na het verstrijken van de gestelde termijn en ten hoogste 165.514 Amerikaanse dollar per overtreding bij willful of repeated violations [114]. Doordat elke betrokken post afzonderlijk kan worden geciteerd, is het totaalbedrag door deze afzonderlijke bedragen niet begrensd.

Daar komt de strafbepaling in Section 17(e) bij: een werkgever die opzettelijk een volgens Section 6 vastgestelde standaard overtreedt en daardoor de dood van een werknemer veroorzaakt, wordt gestraft met een geldstraf van ten hoogste 10.000 Amerikaanse dollar of met een vrijheidsstraf van ten hoogste zes maanden of met beide; na een eerste veroordeling verhoogt het kader zich tot 20.000 Amerikaanse dollar of een jaar [114]. In het aanbestedingsrecht komt de in paragraaf 18 weergegeven clausule DFARS 252.223-7008 daarbij, die aanknoopt bij de levering en niet bij de blootstelling.

Wat de vier rechtsgebieden gemeen hebben

De aanknopingspunten liggen eensluidend vóór de schade. Duitsland sanctioneert de ontbrekende documentatie, de aanvang van de werkzaamheid zonder beoordeling en de nagelaten controle van de werkzaamheid en stelt het in gevaar brengen van leven of gezondheid strafbaar. Nederland bestraft de niet-naleving van de plichten met een boete en stelt het handelen of nalaten strafbaar waarvan de werkgever weet of redelijkerwijs moet weten dat daaruit levensgevaar of ernstige schade aan de gezondheid ontstaat of te verwachten is. Het Verenigd Koninkrijk knoopt aan bij de overtreding van de Regulations. De Verenigde Staten knopen aan bij de overtreding van de standaard en verhogen het kader bij opzet en herhaling.

Voor het hier behandelde feitencomplex volgt daaruit een duidelijke bewijssituatie. Doordat de beschermingsmaatregelen volgens de Duitse TRGS 561 al gelden wanneer een chroom(VI)-belasting niet kan worden uitgesloten (paragraaf 6), en doordat een negatief meetresultaat zonder vermelding van de terugvinding aan dezelfde matrix geen uitspraak over het gehalte toelaat (paragraaf 17), beslist in een geschil niet de meting, maar de documentatie: of er een risicobeoordeling is die de materiaalcombinatie van chroomgelegeerd heet onderdeel en basisch isolatiemateriaal omvat, of de substitutietoets is uitgevoerd en onderbouwd en of de werkzaamheid van de genomen maatregelen is gecontroleerd.

Een ontbrekende of onjuiste beoordeling van een chroom(VI)-blootstelling is daarmee in geen van de vier rechtsgebieden een randvraag van de bedrijfsorganisatie. Zij is met een boete bedreigd, in het hogere bereik strafrechtelijk gesanctioneerd en zet bij schade het regres van het socialeverzekeringsorgaan in gang.

31. Over de keuze van de geciteerde regelgeving

In deze analyse wordt vaak Duitse regelgeving geciteerd, in het bijzonder de TRGS 561 en de Gefahrstoffverordnung. Daarvoor zijn twee redenen. Ik werk vanuit Duitsland, samen met een tweede chromaatexpert die in de arbeids- en milieubescherming actief is. En de Duitse TRGS 561 beschrijft het hier behandelde toepassingsgeval uitdrukkelijk, met thermisch belaste chroomgelegeerde industriecomponenten, met alkali- en aardalkalimetaaloxiden uit isolatiematerialen en montagepasta's en met een eigen maatregelencatalogus. [19]

Strengere maatstaven dan het Europese recht stelt zij daarmee niet. Zij werkt de benadering van Richtlijn 2004/37/EG voor dit geval uit. De richtlijn verlangt sinds meer dan twintig jaar dat bij alle werkzaamheden met de mogelijkheid van een blootstelling aard, mate en duur van de blootstelling worden vastgesteld en dat daarbij de overige blootstellingsroutes, met inbegrip van de opname in of via de huid, in aanmerking worden genomen. Zij geldt in alle lidstaten. [18]

In de praktijk baseert de beoordeling zich overwegend op luchtmetingen, omdat de bindende waarden als luchtconcentraties zijn vastgelegd. Voor het gevaar door huidcontact bestaat in Duitsland met de TRGS 401 een eigen beoordelingsprocedure, die naast de luchtmeting staat. [99]

Chroom(VI)-verbindingen zijn in dit opzicht ongewoon. De MAK- en BAT-waardenlijst 2026 voert ze met de huidresorptieaanduiding H, de sensibilisatieaanduiding Sh, carcinogeniteitscategorie 1 en geslachtscelmutageniteitscategorie 2. Volgens tabel 2 van de Duitse TRGS 401 levert de combinatie van huidresorptie en indeling als carcinogeen categorie 1 bij elke contactsoort een hoog gevaar op, zonder drempel voor duur of oppervlak. Calcium- en natriumchromaat zijn daarnaast ingedeeld als zeer giftig voor in het water levende organismen met langdurige gevolgen. Daarmee liggen vier beoordelingsniveaus naast elkaar, inhalatoir, dermaal, oraal en milieuzijdig. Asbest draagt noch een op de huid betrokken gevarenaanduiding noch een gevaar voor het aquatisch milieu. [102, 99, 98]

Voor de luchtmeting volgt daaruit een praktische grens. Chromaathoudende stofnesten in isolaties, aan flenzen en in holle ruimten komen pas bij het hanteren vrij. Een algemene ruimteluchtmeting omvat ze niet. De Duitse TRGS 561 zet daarom onder 5.9.3 lid 5 aan bij de werkzaamheid en verlangt de minimalisering van het ontstaan en de verspreiding van stof tot en met het afdekken van roosters, daarbij een chemicaliënbeschermend pak type 5 met capuchon, nitrilgecoate textielhandschoenen, oogbescherming, ademhalingsbescherming ten minste FFP2 en bij langer durende werkzaamheden halfgelaatsmaskers met P3-filters alsmede de verwijdering van gecontamineerde wegwerpbeschermkleding. [19]

Hetzelfde geldt voor chromaathoudende assen bij de revisie binnen in verbrandingsovens. Daar worden steigers ingebouwd, en de roestvaststalen componenten van het rooster worden niet alleen belopen en geïnspecteerd, maar ook oppervlaktebehandeld, uitgebouwd en vervangen. Uit eigen veldwerk zijn verhoogde luchtbelastingen door chroom(VI)-verbindingen bij dergelijke werkzaamheden bekend; de bijbehorende meetwaarden zijn niet openbaar en worden hier niet weergegeven.

Een afzonderlijke meting is daar hoe dan ook geen maatstaf, noch tot ontlasting noch tot belasting. Het gehalte aan basische oxiden in het brandgoed schommelt, en het wordt niet alleen door de afvalsamenstelling bepaald. Paoletti geeft het calciumoxidegehalte in huishoudelijk afval op rond 3 procent en beschrijft op die grondslag de vorming van calciumchromaat tussen 500 en 850 °C bij voldoende zuurstofpartiaaldruk. Daar komt de toevoeging van calciumhoudende sorbentia in het installatiebedrijf bij. Bij de geconditioneerde droge sorptie gebeurt dat achter de ketel, bij rookgastemperaturen van ongeveer 130 tot 150 °C, bij sproeiabsorptie met kalkmelk tussen 140 en 200 °C, en daarmee buiten het vormingsvenster. Bij de directe ontzwaveling daarentegen wordt calciumhydroxide of kalksteenmeel in de vuurhaard bij ongeveer 900 °C of in de nageschakelde keteltrekken bij ongeveer 350 °C ingebracht, in de gedocumenteerde toepassing met doseersnelheden van 140 tot 375 kilogram per uur. Voor de beoordeling van een revisie moet daarom worden opgehelderd welk ontzwavelingsproces de installatie bedrijft en op welke plaats het sorbens wordt ingebracht. [50, 149, 150]

Wat de luchtmeting niet weergeeft: de handbevinding van de Franse veldstudie

De Franse veldstudie meet niet alleen oppervlakken, maar ook handen. Vóór de demontage lag de waarde onder de bepalingsgrens van 40 ng, na de demontage op 45,4 ng, en de auteurs leggen de contaminatie van de handen ondanks gedragen wegwerp-nitrilhandschoenen uitdrukkelijk vast. Gedragen werden bovendien wegwerp-halfgelaatsmaskers FFP3 en een werkoverall type 5. In dezelfde ronde bleven de luchtwaarden laag, en de urinewaarden van de elf onderzochte monteurs lagen gemiddeld op 0,26 µg per gram creatinine en daarmee onder de biologische referentiewaarde van 0,54. De dermale blootstelling wordt door de luchtmeting en door de biomonitoring in deze constellatie niet weergegeven. [5]

De handschoen is daarbij niet de zwakke plek. De nitrilhandschoen scheidt de huid van de stof; open blijven de mouwafsluiting, waarlangs stof binnendringt, en het moment van uittrekken, waarbij de gecontamineerde buitenzijde de binnenhand aanraakt. In de praktijk wordt daarom de overgang tussen handschoen en pakmouw afgeplakt, evenals de overgang tussen pak en schoeisel. Bij beschermende pakken van de typen 5 en 6 horen afgedichte naden en overdekte sluitingen tot de producteigenschappen, en de twee afgeplakte overgangen sluiten de plaatsen die het product zelf niet kan sluiten. De Duitse DGUV-Regel 112-189 houdt daarover algemeen vast dat alleen gesloten kleding de beschermingsfunctie vervult, en voert voor het risico van contaminatie de dichtheid op als eis aan de beschermende kleding. De auteurs van de Franse studie gaan vanuit hun bevinding dezelfde richting in en bevelen uitdrukkelijk aan de protocollen voor het uittrekken van de persoonlijke beschermingsmiddelen en voor het handen wassen vóór en na het dragen te verbeteren. [5, 133]

Hetzelfde onderzoek vond in de bemonsterde isolatiematerialen chroom(VI)-sporen van 0,01 tot 0,2 mg/kg alsmede in één monster keramische vuurvaste vezels, die bij inademing zijn ingedeeld als carcinogeen categorie 1B. De overige monsters bestonden uit glas- of silicaatvezels. [5]

De richting van de ontwikkeling toont Australië. Vanaf 1 december 2026 geeft Safe Work Australia voor niet op een drempelwaarde gebaseerde genotoxische carcinogenen geen grenswaarden op de werkplek meer uit, chroom(VI)-verbindingen daarbij inbegrepen. In de plaats van de grenswaarde komt de plicht om de blootstelling weg te nemen of zo ver als redelijkerwijs praktisch uitvoerbaar te minimaliseren. [58]

32. Orde van grootte: een gedachte-experiment

Deze paragraaf rekent niet uit hoeveel installaties belast zijn. Dat aantal is nergens geïnventariseerd, en elke opgave daarover zou verzonnen zijn. Berekend wordt hoe vaak de situatie voorkomt waarin zou moeten worden onderzocht of een chroom(VI)-belasting kan worden uitgesloten. De bestandscijfers komen uit openbare opgaven van de fabrikanten, uit vlootstatistieken en uit installatieregisters. De omrekeningen en intervalaannames zijn in de tekst gekenmerkt.

Bestandscijfers uit openbare bronnen

Caterpillar geeft voor de serie 3500 een veldbestand van 190.000 motoren en 3 miljard bedrijfsuren op, bij meer dan 35 jaar productietijd, met toepassingen in mijnbouw, spoor, stroomproductie, olie en gas alsmede scheepvaart. Peildatum september 2016. [134]

Rolls-Royce Power Systems noemt voor de mtu-series 2000 en 4000 meer dan 100.000 verkochte motoren, waarvan 52.000 van de serie 4000 en meer dan 65.000 van de serie 2000, samen meer dan 320 miljoen bedrijfsuren, met toepassingen in stroomaggregaten, dumpers, jachten, veerboten en locomotieven. Peildatum 2021. [135]

INNIO vermeldt per 31 december 2025 een actieve geïnstalleerde basis van de merken Jenbacher en Waukesha van rond 44 GW, na 42 GW in het voorgaande jaar, bij 3,4 GW uitlevering in het jaar 2025. Aantallen noemt de onderneming niet. Bij een aangenomen gemiddeld eenheidsvermogen van 1,0 tot 1,5 MW komt dat overeen met 29.000 tot 44.000 motoren. [136]

GE Vernova noemt op de eigen productpagina meer dan 7.000 gasturbines met meer dan 800 GW geïnstalleerd vermogen in meer dan 120 landen en geeft aan ongeveer de helft van de wereldwijd geïnstalleerde gasturbinebasis te leveren. Daaruit volgt een wereldwijde vloot in de orde van grootte van 14.000 gasturbines. Afzonderlijke series ter vergelijking: 7F met meer dan 950 geïnstalleerde eenheden en rond 175 GW, 9F met meer dan 400 eenheden in meer dan 40 landen, LM6000 met meer dan 1.500 verkochte eenheden. [138]

De Global Coal Plant Tracker vermeldt meer dan 2.200 GW kolencapaciteit in bedrijf, registratiedrempel 30 MW. Bij een gemiddelde blokgrootte van 300 MW zijn dat rond 7.300 blokken met stoomturbine alsmede versstoom- en tussenoverhitterleidingen uit warmvaste chroomgelegeerde staalsoorten. De Global Oil and Gas Plant Tracker voert 16.559 olie- en gascentraleblokken, met inbegrip van geplande en buiten bedrijf gestelde, registratiedrempel 50 MW en in de Europese Unie alsmede in het Verenigd Koninkrijk 20 MW. [139, 140]

De wereldhandelsvloot omvat rond 109.000 schepen vanaf 100 brutoregisterton, elk met geïsoleerde uitlaatinstallatie voor hoofd- en hulpmotoren. [141]

De ACEA vermeldt voor de Europese Unie 6.162.673 vrachtwagens boven 3,5 ton met een dieselaandeel van 96,3 procent en 699.238 bussen met 88,7 procent, bij een gemiddelde leeftijd van de vrachtwagenvloot van 14,0 jaar. Voor Europa met inbegrip van EFTA en het Verenigd Koninkrijk zijn dat 7.072.260 vrachtwagens en 852.180 bussen, daarbij 302.281.600 personenauto's. De gemiddelde leeftijd verwijst naar de emissieklassen Euro V en Euro VI, dus naar voertuigen met oxidatiekatalysator, roetfilter en SCR-traject, alle geïsoleerde hete onderdelen uit chroomgelegeerd staal. [142]

In de afvalverbranding voert Europa 498 installaties, peildatum 2022, daaronder Frankrijk 116, Duitsland 91, het Verenigd Koninkrijk 57, Italië 36 en Nederland 12. Voor de Verenigde Staten zijn 75 installaties vermeld. China had per jaareinde 2023 975 installaties met 2.151 verbrandingslijnen in bedrijf bij een capaciteit van 327 miljoen ton per jaar. Japan voerde in het boekjaar 2024 991 installaties, waarvan 415 met stroomproductie. In deze vier regio's samen zijn dat 2.539 installaties. Draagt men de Chinese verhouding van 2,2 lijnen per installatie over, dan ligt het aantal verbrandingslijnen bij rond 5.600. [144, 145, 146, 147]

Aanleidingen per jaar

Voor gasmotoren noemt een Jenbacher-servicebedrijf tussentijds onderhoud elke 10.000 bedrijfsuren en revisies bij 30.000 en 60.000 bedrijfsuren. Bij conservatief aangenomen 5.000 bedrijfsuren per jaar levert dat een revisie elke zes jaar op, voor de hierboven genoemde vloot dus 4.800 tot 7.300 gebeurtenissen per jaar. [148]

Voor kolenblokken levert een revisie elke twee jaar rond 3.650 gebeurtenissen per jaar op. Voor verbrandingslijnen levert een revisie per lijn en jaar rond 5.600 gebeurtenissen op. Voor schepen levert een maatregel aan het uitlaattraject elke tweeënhalf jaar rond 44.000 gebeurtenissen op. Voor bedrijfsvoertuigen in de Europese Unie levert één werkplaatsbezoek per voertuig en jaar rond 6,9 miljoen bezoeken op, bij 250 werkdagen ongeveer 27.000 per werkdag.

Voor personenauto's vermeldt de Deutsche Automobil Treuhand 0,35 reparaties per voertuig en jaar, in 2022 waren het 0,40 en in 2019 nog 0,51; onderhoud en inspecties zijn in dit cijfer niet begrepen. Betrokken op de 255.999.373 personenauto's in de Europese Unie zijn dat rond 90 miljoen reparaties per jaar of 358.000 per werkdag. Welk aandeel daarvan de motorruimte of de uitlaatinstallatie betreft, is niet geïnventariseerd. [143, 142]

De aannames in deze paragraaf

Aangehouden zijn een gemiddeld eenheidsvermogen bij gasmotoren, een gemiddelde blokgrootte bij kolencentrales, het aantal verbrandingslijnen per installatie buiten China, de jaarlijkse bedrijfsuren, het revisie-interval bij centrales, verbrandingslijnen en schepen alsmede de werkplaatsfrequentie bij bedrijfsvoertuigen. De fabrikantencijfers van Caterpillar en Rolls-Royce zijn gecumuleerde veld- en verkoopcijfers en geen actieve vloot. Niet elke genoemde toepassing heeft een isolatie in het betrokken temperatuurvenster. De segmenten worden niet bij elkaar opgeteld, omdat zij verschillende teleenheden hebben en elkaar overlappen; de scheepsmotoren bijvoorbeeld zijn in de fabrikantencijfers deels al begrepen.

Wat daaruit volgt

De aangehouden gebeurtenissen in de vier industriële segmenten tellen op tot ongeveer 58.000 tot 61.000 per jaar, nog zonder aftrek van de overlappingen. Daarbij komen rond 6,9 miljoen werkplaatsbezoeken bij bedrijfsvoertuigen en rond 90 miljoen personenautoreparaties in de Europese Unie, waarvan het betreffende aandeel niet is becijferd.

Ter beoordeling staat daarmee geen op zichzelf staand voorval. Het vrijkomen vindt dagelijks plaats, in motorruimten, aan voertuigen, op turbines, in centrales en in verbrandingsinstallaties, in een aantal dat zich niet laat becijferen, en overwegend onopgemerkt. Het wordt teweeggebracht door de stof die aan deze analyse de titel geeft.

Elk van deze gelegenheden zou in Duitsland een werkzaamheid zijn in de zin van paragraaf 5.9.3 lid 5 van de Duitse TRGS 561. In de overige beschouwde rechtsgebieden volgt de plicht tot beoordeling voor aanvang van de werkzaamheden uit de in paragraaf 25 genoemde voorschriften. Een drempelwaarde waaronder het beschermingsregime zou wegvallen, bestaat in geen van deze regelingen. Een uitsluiting van de belasting valt met de verbreide methoden niet betrouwbaar te onderbouwen, omdat de colorimetrische sneltest valsnegatief kan uitvallen en voor de isolatiemateriaalmatrix geen genormeerde methode bestaat (paragrafen 17 en 19). [19]

33. De verplichtingen in Frankrijk

Frankrijk is lid van de Europese Unie en heeft richtlijn 2004/37/EG in de Code du travail omgezet. Het hier behandelde geval is ook daar niet afzonderlijk benoemd; de plichten zijn geformuleerd zonder een bepaalde stof te benoemen. Drie omstandigheden onderscheiden Frankrijk desondanks van Duitsland: de grenswaarde ligt vijfmaal lager dan de Europese, de overschrijding van een bindende VLEP leidt tot stillegging van de werkzaamheden, en de onderzoeksplicht voor asbest omvat uitdrukkelijk industriële installaties, spoorvoertuigen, schepen en luchtvaartuigen. Het enige gepubliceerde veldonderzoek dat de bevinding aan motoren onder onderhoudsomstandigheden meettechnisch beschrijft, komt uit Frankrijk en is in paragraaf 19 geanalyseerd. [5, 151]

Beoordeling vóór de werkzaamheid en substitutie

Artikel R. 4412-61 van de Code du travail verlangt voor elke werkzaamheid die een blootstellingsrisico ten aanzien van kankerverwekkende, mutagene of voor de reproductie toxische stoffen kan opleveren, dat de werkgever „la nature, le degré et la durée de l'exposition des travailleurs" beoordeelt, om de risico's voor gezondheid en veiligheid te kunnen beoordelen en de beschermingsmaatregelen te kunnen vaststellen. De beoordeling omvat volgens de weergave van het Franse instituut INRS alle blootstellingen die een risico kunnen veroorzaken, met inbegrip van de opname via de huid, en moet voor elke nieuwe werkzaamheid alsmede bij wijzigingen worden herhaald. Dat stemt overeen met het voorschrift van richtlijn 2004/37/EG, waarvan de omzetting in Duitsland door § 6 van de Duitse Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) wordt verricht. [151, 154]

De rangorde is dezelfde als in Duitsland, de documentatieplicht is echter uitdrukkelijker geformuleerd. Artikel R. 4412-67 verlangt in de eerste plaats het vermijden van het risico. Is dit niet mogelijk, dan verlangt artikel R. 4412-66 de vervanging van de stof, het preparaat of het procedé door minder gevaarlijke, „dans la mesure où cela est techniquement possible", en houdt vast: „L'employeur consigne le résultat de ses investigations dans le document unique." Is ook de vervanging niet uitvoerbaar, dan verlangt artikel R. 4412-68 het gebruik in een gesloten systeem. Een niet uitgevoerde of niet gedocumenteerde substitutietoets is daarmee in Frankrijk een gebrek van het document unique en niet slechts een nagelaten maatregel. Voor de hogetemperatuurisolatie betekent dat: vervangende materialen zonder alkali- en aardalkalimetaaloxiden zijn beschikbaar, de toets is met een resultaat uitvoerbaar, en het resultaat hoort in het document unique. [151, 154]

Minimalisatie, zones, hygiëne en medisch toezicht

De artikelen R. 4412-70 tot en met R. 4412-75 verlangen de verlaging van het risico tot het laagst haalbare niveau, de beperking van de op de werkplek aanwezige hoeveelheden, de beperking van het aantal blootgestelde werknemers, afzuiging en ventilatie alsmede de afbakening en markering van de gevarenzones met beperkte toegang. Artikel R. 4412-72 verbiedt in verontreinigde zones eten, drinken en roken en verlangt dat de verstrekte beschermende kleding niet buiten het bedrijf wordt gedragen. De artikelen R. 4624-22 tot en met R. 4624-28 plaatsen blootgestelde werknemers onder het suivi individuel renforcé met aanstellingskeuring, tussentijds onderzoek en periodieke onderzoeken; het dossier médical en santé au travail wordt ten minste vijftig jaar na het einde van de blootstelling bewaard. De inhoud valt samen met de paragrafen 4.1 en 4.2 van de Duitse TRGS 561; de bewaartermijn stemt overeen met het doel van het Duitse expositieregister. [151, 154, 19]

De grenswaarde van 0,001 mg/m³ en het gevolg van de overschrijding daarvan

Volgens artikel R. 4412-149 van de Code du travail geldt voor chroom(VI)-verbindingen een bindende VLEP van 0,001 mg/m³ als achtuursgemiddelde en een kortetijdwaarde van 0,005 mg/m³. Het Franse instituut INRS voert de stofgroep tegelijk met de vermelding „risque de pénétration percutanée" en als CMR-stoffen. De Europese bindende grenswaarde ligt sinds 17 januari 2025 bij 0,005 mg/m³; de Franse achtuurswaarde is daarmee vijfmaal lager en stemt overeen met de Nederlandse waarde. [152, 153]

Het rechtsgevolg is in Frankrijk duidelijker geformuleerd dan in Duitsland. De naleving van een bindende VLEP moet volgens de artikelen R. 4412-76 tot en met R. 4412-80 ten minste eenmaal per jaar door een geaccrediteerde instantie worden gecontroleerd, en de overschrijding van een bindende VLEP leidt tot stillegging van de werkzaamheden op de betrokken werkplekken. Of deze waarde bij het hanteren van chromaathoudende isolatie, bij de demontage van uitlaatgascomponenten of bij de revisie in het inwendige van een verbrandingsinstallatie wordt nageleefd, is een meetvraag; paragraaf 31 beschrijft waarom een algemene ruimteluchtmeting het vrijkomen uit stofnesten niet weergeeft en waarom het huidcontact door luchtmetingen niet wordt vastgelegd. Met een grenswaarde van deze hoogte en een stilleggingsgevolg verschuift het gewicht van de meting naar de vermijding. [151, 154]

Onderzoek voor aanvang van de werkzaamheden: de benoemde stof in zes domeinen

Voor asbest kent Frankrijk een eigen onderzoeksplicht voor aanvang van de werkzaamheden, het repérage avant travaux. Volgens artikel L. 4412-2 en artikel R. 4412-97 laat degene die over een operatie beslist waarbij werknemers aan asbest kunnen worden blootgesteld, dus de donneur d'ordre, de maître d'ouvrage of de eigenaar, het asbestonderzoek uitvoeren. Het is „adapté à sa nature, à son périmètre et au niveau de risque qu'elle présente" en moet op het tijdstip van de aanbesteding beschikbaar zijn; de opdrachtgever moet een gecertificeerde operateur inschakelen, de stukken verstrekken en mag de methodiek niet voorschrijven. Een onvolledig voorrapport voldoet niet aan de informatieplicht. [155, 159]

Beslissend voor deze analyse is het toepassingsgebied. Artikel R. 4412-97 II noemt zes domeinen: immeubles bâtis, immeubles non bâtis met inbegrip van kunstwerken en verkeersinfrastructuur, matériels roulants ferroviaires et autres matériels roulants de transport, navires, bateaux et engins flottants, aéronefs alsmede installations, structures ou équipements concourant à la réalisation ou à la mise en œuvre d'une activité. De bijbehorende besluiten zijn gepubliceerd: 19 juni 2019 voor schepen, 16 juli 2019 voor bebouwde onroerende zaken, 13 november 2019 voor spoor- en andere voertuigen, 24 december 2020 voor luchtvaartuigen, 22 juli 2021 voor installaties, structuren en uitrusting met toepassing van het hoofddeel vanaf 1 juli 2023 en 4 juni 2024 voor de onbebouwde onroerende zaken. [155, 156]

Deze zes domeinen stemmen overeen met de installatie- en voertuigklassen die in deze analyse worden behandeld: industriële installaties en uitrusting, spoorvoertuigen, schepen, luchtvaartuigen en bouwwerken. Voor de benoemde stof bestaat daar een onderzoeksplicht voor aanvang van de werkzaamheden, die bij de opdrachtgever ligt, een gecertificeerde operateur verlangt en voor de gunning afgerond moet zijn. Voor de chromaatvorming aan chroomgelegeerde hete onderdelen bestaat geen overeenkomstige plicht, hoewel dezelfde installaties betrokken zijn en de verbinding tot dezelfde gevarenklasse behoort. Volgens de weergave van de Franse arbeidsadministratie is op het ontbrekende of onvolledige repérage een geldboete van 3 750 euro en een bestuurlijke sanctie van 9 000 euro gesteld. Daarmee doet zich in Frankrijk dezelfde asymmetrie voor die deze analyse voor Duitsland en Zwitserland beschrijft, en zij is hier het verst uitgebouwd. [155, 156, 159]

Sancties en de faute inexcusable

Artikel L. 4741-1 van de Code du travail bestraft de werkgever die door persoonlijke schuld de voorschriften van de boeken I tot en met V en de daarop gebaseerde decreten overtreedt, met een geldboete van 10 000 euro. De zin waarop het aankomt, luidt: „L'amende est appliquée autant de fois qu'il y a de travailleurs de l'entreprise concernés." Bij herhaling dreigen een jaar vrijheidsstraf en 30 000 euro. De sanctie knoopt aan bij de overtreding en vermenigvuldigt zich met het aantal betrokken werknemers, niet met het aantal schadegevallen. [157]

Daar komt de faute inexcusable de l'employeur bij. Volgens de rechtspraak van de Cour de cassation is daarvan sprake wanneer de werkgever van het gevaar waaraan de werknemer was blootgesteld, kennis had of had moeten hebben, „a eu ou aurait dû avoir conscience du danger", en „n'a pas pris les mesures nécessaires pour l'en préserver". De gevolgen zijn de verhoging van de rente volgens artikel L. 452-2 van de Code de la sécurité sociale en een aanvullende schadeloosstelling volgens de artikelen L. 452-1 en L. 452-3. De aansprakelijkheidsmaatstaf stelt daarmee niet de daadwerkelijke kennis centraal, maar het behoren te weten. De in de paragrafen 1, 2 en 16 gedocumenteerde stand van de bronnen, van het octrooischrift tot de serviceberichten van de jaren 2019 tot 2025, is precies het materiaal waaraan deze maatstaf wordt afgemeten. [158]

Wat in Frankrijk aanwezig is en wat ontbreekt

Aanwezig zijn drie Franse bijdragen over dit onderwerp: het veldonderzoek van Passeron en anderen, waarin aan de hand na de demontage 45,4 ng chroom(VI) werd gemeten, hoewel handschoenen werden gedragen, en waarin de colorimetrische sneltest negatief uitviel op een plek waar de laboratoriumanalytiek 869 ng aantoonde; de Franse vertaling van het Caterpillar-bulletin, die het onderwerp in de Franse servicebedrijven bekend heeft gemaakt; en het initiatief van de Anses ten aanzien van chroom(III)-oxide op Europees niveau. [5, 12, 129]

Een publicatie van het INRS, van een Carsat of van de arbeidsadministratie die de chromaatvorming aan geïsoleerde hete onderdelen of in verbrandingsresten als een eigen geval behandelt, heb ik niet gevonden. Dat is geen uitspraak over de vraag of het proces in Franse installaties optreedt; het veldonderzoek laat zien dat het daar is gemeten.

Gevolgtrekking voor bedrijven in Frankrijk

De handelingsbehoefte is dezelfde als in Duitsland, het kader is op drie punten strenger. De grenswaarde ligt bij 0,001 mg/m³, de naleving daarvan moet jaarlijks door een geaccrediteerde instantie worden aangetoond, en de overschrijding leidt tot stillegging van de werkzaamheden. De substitutietoets moet in het document unique worden gedocumenteerd. Voor de benoemde stof bestaat een onderzoeksplicht in precies die installatieklassen waarin chromaten ontstaan. En de aansprakelijkheid knoopt aan bij het behoren te weten van het gevaar. Wie in Frankrijk chroomgelegeerde hete onderdelen isoleert, onderhoudt of sloopt, treft daarmee een kader aan dat de vraag van deze analyse juridisch rechtstreeks oppakt. [151, 152, 155, 158]

34. De verplichtingen in Zwitserland

Paragraaf 31 noemt de redenen waarom in deze analyse overwegend Duits regelwerk wordt aangehaald. Voor bedrijven in Zwitserland is daarmee de referentie benoemd, niet de toepasselijke regeling. Zwitserland is geen lid van de Europese Unie, richtlijn 2004/37/EG en de Duitse Gefahrstoffverordnung gelden daar niet, en een regelwerk dat het hier behandelde geval zoals de Duitse TRGS 561 onder 5.9.3 benoemt, bestaat niet. De plichten volgen uit de Zwitserse wet op de ongevallenverzekering (UVG) en de verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten (VUV); zij zijn geformuleerd zonder een bepaalde stof te benoemen. [160, 161]

Grondplicht en stand van de techniek

Artikel 82 lid 1 van de wet op de ongevallenverzekering verplicht de werkgever om ter voorkoming van bedrijfsongevallen en beroepsziekten „alle maatregelen te nemen die naar de ervaring noodzakelijk, naar de stand van de techniek toepasbaar en aan de gegeven omstandigheden aangepast zijn". Lid 2 verlangt de werknemers tot medewerking te betrekken, lid 3 verplicht dezen tot ondersteuning van de werkgever, tot gebruik van de persoonlijke beschermingsmiddelen en tot deskundig gebruik van de veiligheidsvoorzieningen. [160]

Artikel 3 lid 1 van de verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten verlangt van de werkgever alle voorzieningen en beschermingsmaatregelen die overeenkomen met de bepalingen van de verordening, met de aanvullend geldende bepalingen en „voor het overige met de erkende veiligheidstechnische en arbeidsgeneeskundige regels"; volgens lid 2 moet de werkzaamheid van de maatregelen met passende tussenpozen worden getoetst. De verwijzing naar de erkende regels is niet beperkt tot Zwitserse publicaties. Of de in paragraaf 16 geanalyseerde documenten van fabrikanten en exploitanten, de Duitse TRGS 561 en de aanwijzing van de Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar BG ETEM voor een Zwitsers bedrijf tot deze regels behoren, is een beoordelingsvraag die zich voordoet zodra dezelfde installaties en voertuigen in Zwitserland worden onderhouden. [161, 2, 19]

Daar komen drie bepalingen van dezelfde verordening bij die overeenkomen met de Duitse plichten voor aanvang van de werkzaamheden uit paragraaf 25. Artikel 6 lid 1 verlangt dat alle in het bedrijf werkzame werknemers worden geïnformeerd over de bij hun werkzaamheden optredende gevaren en worden geïnstrueerd over de maatregelen ter voorkoming daarvan, bij aanvang van de functie, bij wezenlijke wijzigingen van de arbeidsomstandigheden en zo nodig herhaald. Artikel 8 lid 1 staat het opdragen van werkzaamheden met bijzondere gevaren alleen toe aan werknemers die daarvoor overeenkomstig zijn opgeleid, en verlangt bij alleen werken een toezicht. Artikel 11a lid 1 verplicht de werkgever tot het inschakelen van arbeidsartsen en andere specialisten op het gebied van arbeidsveiligheid, wanneer dit voor de bescherming van de gezondheid van de werknemers en voor hun veiligheid noodzakelijk is. Dat stemt inhoudelijk overeen met § 6 lid 2b van de Duitse Gefahrstoffverordnung, die het inschakelen van externe deskundigheid bij ontbrekende vakkundigheid verlangt. [161, 120]

Vervaardigen, hanteren, opslaan

Voor gevaarlijke stoffen zelf geldt artikel 44 lid 1 van de verordening: worden voor de gezondheid gevaarlijke stoffen „vervaardigd, verwerkt, gebruikt, geconserveerd, gehanteerd of opgeslagen" of kunnen werknemers anderszins aan stoffen in voor de gezondheid gevaarlijke concentraties worden blootgesteld, dan moeten de beschermingsmaatregelen worden genomen die op grond van de eigenschappen van deze stoffen noodzakelijk zijn. De opsomming omvat het hanteren en het opslaan uitdrukkelijk. De demontage van een chromaatbelast onderdeel, de tussentijdse opslag daarvan en de herinbouw daarvan vallen daarmee onder het voorschrift, zonder dat het aankomt op een indeling van het isolatiemateriaal in de leveringstoestand. [161]

Lid 2 van dezelfde bepaling verlangt dat de werknemers zich wassen of andere reinigingsmaatregelen nemen wanneer de veiligheid dat vereist, in het bijzonder vóór werkpauzes en na beëindiging van de werkzaamheden; de daarvoor gebruikte tijd geldt als arbeidstijd. Dat dekt het hygiënische deel van het beschermingsregime dat de Duitse TRGS 561 onder 4.1 en 4.2 beschrijft. [161, 19]

Geen MAK-waarde voor chroom(VI)-verbindingen

Rechtsgrondslag van de Zwitserse grenswaarden is artikel 50 lid 3 van de verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten, op grond waarvan de Suva na voorafgaande raadpleging van de betrokken kringen richtlijnen over maximale werkplekconcentraties van voor de gezondheid gevaarlijke stoffen kan uitvaardigen. In de toelichtingen bij de MAK- en BAT-waarden houdt de Suva onder 1.3.3.6 vast dat chroom(VI)-verbindingen kankerverwekkende stoffen „zonder bekende carcinogene werkingsdrempel" zijn, en voor deze stofgroep dat een gezondheidsgebaseerde grenswaarde zich niet laat afleiden. In de plaats van de grenswaarde komt de minimalisatieplicht: duur en graad van de blootstelling moeten zo klein worden gehouden als dat proportioneel mogelijk is, volgens het STOP-principe met de substitutie op de eerste plaats. Waar waarden worden vastgelegd, oriënteert de Suva zich op een extra risico van minder dan 4:1000 per arbeidsleven. [161, 162]

Voor de beoordeling van een onderhoudsproces in Zwitserland volgt daaruit dat het blijven onder een luchtconcentratie niet de toetssteen is. In Duitsland en de Europese Unie geldt sinds 17 januari 2025 de bindende grenswaarde van 0,005 mg/m³, en paragraaf 31 beschrijft waarom luchtmetingen het huidcontact en de versleping niet vastleggen. In Zwitserland valt de grenswaarde als referentiepunt volledig weg; wat blijft, is de plicht de blootstelling zo ver te verlagen als dit technisch mogelijk en bedrijfsmatig redelijk is. De substitutietoets staat daarmee niet aan het einde, maar aan het begin. [162]

Gebruiksverbod en meldplicht volgens de verordening inzake de reductie van risico's van chemische stoffen

Zwitserland heeft de autorisatielijst van de Europese REACH-verordening in bijlage 1.17 van de verordening inzake de reductie van risico's van chemische stoffen (ChemRRV) overgenomen. Punt 1 bevat verboden, punt 2 uitzonderingen, punt 3 een meldplicht. Voor chroom(VI)-verbindingen geldt volgens de toelichtingen van de Suva de uitzondering voor procedés in de eindproducten waarvan chroom niet in zeswaardige vorm aanwezig is; de minimalisatieplicht geldt in dat geval als vervuld, wanneer de over acht uur gemiddelde blootstelling 0,001 mg/m³, gerekend als chroom, niet overschrijdt. Deze waarde is daarmee geen algemene MAK-waarde, maar een voorwaarde van de uitzondering. [162, 163]

De meldplicht is concreet uitgewerkt. Wie chroomtrioxide, de daaruit ontstaande zuren en hun oligomeren of natriumdichromaat gebruikt zonder dat het eindproduct chroom in zeswaardige vorm bevat, moet aan de Zwitserse aanmeldingsinstantie voor chemische stoffen jaarlijks tot 31 maart over het voorafgaande kalenderjaar melding doen. Uitdrukkelijk worden bedrijven genoemd die werkstukken verchromen. [164]

Hieronder vallen daarmee de industrieel vervaardigde verbindingen die een bedrijf inkoopt. Calcium- en natriumchromaat, die aan het grensvlak tussen isolatiemateriaal en chroomgelegeerd heet onderdeel ontstaan, heeft niemand vervaardigd, ingekocht of gemeld; zij staan op geen van deze lijsten. De vraag of het hanteren, opslaan en hergebruiken van een chromaatbelast onderdeel een gebruik in de zin van het chemicaliënrecht is, doet zich in Zwitserland in dezelfde vorm voor als onder de REACH-verordening in paragraaf 25. De plichten volgens artikel 44 van de verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten gelden daarvan onafhankelijk, omdat zij aanknopen bij de eigenschappen van de stof en niet bij de herkomst daarvan. [163, 161]

Bouwwerkzaamheden: de benoemde stof en de overige

Bij bouwwerkzaamheden komt de verordening bouwwerkzaamheden (BauAV) daarbij. Artikel 3 lid 1 verlangt een planning die ongevals-, beroepsziekte- en gezondheidsrisico's zo klein mogelijk houdt. Lid 2 verlangt bij verdenking van bijzonder voor de gezondheid gevaarlijke stoffen zoals asbest of polychloorbifenylen de gevaren grondig te bepalen en te beoordelen en daarop gebaseerd de noodzakelijke maatregelen te plannen. Lid 3 verplicht de ondernemer voor het sluiten van de aannemingsovereenkomst te toetsen welke maatregelen voor arbeidsveiligheid en gezondheidsbescherming noodzakelijk zijn. Lid 4 verlangt de van het resultaat van deze beoordeling afhankelijke maatregelen in de aannemingsovereenkomst even concreet te regelen als de overige contractinhouden. Lid 7 bindt degene die de uitvoering doorgeeft aan de uitvoering door de ingeschakelde werkgever. [165]

Welk regime de benoemde stof in werking stelt, laat richtlijn 6503 van de federale coördinatiecommissie voor arbeidsveiligheid (EKAS) zien. Onder 5.1 verlangt zij de nauwkeurige bepaling en beoordeling van de gevaren voor aanvang van de werkzaamheden onder verwijzing naar artikel 3 lid 2 van de verordening bouwwerkzaamheden. Onder 6.1.1 moeten stofvormende procedés worden vermeden en vrijgekomen vezels aan de bron worden afgezogen, onder 6.1.1.1 mogen alleen stofzuigers van stofklasse H worden gebruikt, onder 6.1.3.1 is bij de middelste gevarenniveaus in de regel ademhalingsbescherming van het type FFP3 en bij het hoogste niveau een isolerend toestel of een aangeblazen filtertoestel vereist, onder 6.1.3.2 een beschermend pak van categorie 3 type 5/6, wanneer een contaminatie niet kan worden uitgesloten. Voor saneringen verlangt de richtlijn afgescheiden zones met toegangsverbod, een onderdruk van ten minste 20 pascal met doorlopende bewaking, registratie en alarm, een personensluis met vier kamers, de permanente aanwezigheid van een specialist op de bouwplaats en de gecontroleerde natte verwijdering. De werkzaamheden moeten volgens artikel 86 van de verordening bouwwerkzaamheden ten minste veertien dagen voor de uitvoering aan de Suva worden gemeld. [166, 165]

Daarmee doet zich in Zwitserland dezelfde asymmetrie voor die deze analyse voor Duitsland beschrijft. De in de verordening benoemde stof stelt een eigen onderzoeksplicht en een uitgewerkt beschermingsregime in werking. Voor de chromaatvorming aan geïsoleerde chroomgelegeerde hete onderdelen bestaat geen overeenkomstige vermelding, hoewel de stof tot dezelfde gevarenklasse behoort en bij de beschreven werkzaamheden vrijkomt. Daarbij moet op het toepassingsgebied worden gelet: de verordening bouwwerkzaamheden geldt voor bouwwerkzaamheden, niet voor het onderhoud van motoren, turbines en voertuigen. Voor deze werkzaamheden blijven de wet op de ongevallenverzekering en de verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten de toepasselijke voorschriften. [165, 161, 160]

Wat in Zwitserland niet aanwezig is

Een publicatie van de Suva of van de federale coördinatiecommissie voor arbeidsveiligheid die de chromaatvorming aan geïsoleerde hete onderdelen of in verbrandingsresten benoemt, heb ik niet gevonden. Dat is geen uitspraak over de vraag of het proces in Zwitserse installaties optreedt. De in paragraaf 16 geanalyseerde documenten betreffen motoren, voertuigen en isolatiesystemen die in Zwitserland evenzo worden bedreven en onderhouden als in Duitsland, Oostenrijk of Nederland, en de thermochemische reactie richt zich niet naar landsgrenzen.

Gevolgtrekking voor bedrijven in Zwitserland

De handelingsbehoefte verschilt niet van die in Duitsland, de weg daarheen wel. In Duitsland benoemt de TRGS 561 het geval en beschrijft het beschermingsregime; in Zwitserland loopt de keten via de bepaling van de gevaren en de noodzakelijke maatregelen volgens de artikelen 3 en 44 van de verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten, het inschakelen van specialisten op het gebied van arbeidsveiligheid bij ontbrekende eigen vakkennis volgens artikel 11a, de minimalisatieplicht voor kankerverwekkende stoffen zonder werkingsdrempel met de substitutie op de eerste plaats en, bij bouwwerkzaamheden, via de toetsing voor het sluiten van de aannemingsovereenkomst volgens artikel 3 lid 3 en 4 van de verordening bouwwerkzaamheden. Wie op de ontbrekende stofvermelding wijst, wijst op het ontbreken van een benoeming, niet op het ontbreken van een plicht. [160, 161, 162, 165]

35. De verplichtingen in Duitsland

Paragraaf 31 noemt de redenen waarom in deze analyse overwegend Duitse regelgeving wordt geciteerd. Deze paragraaf brengt de geldende Duitse voorschriften op één plaats samen en geeft bij elke uitspraak de vindplaats aan. Daarbij worden punten herhaald die elders in hun eigen samenhang staan, zodat een onderneming in Duitsland de plichten niet uit de hele analyse hoeft samen te zoeken.

Het begrip gevaarlijke stof omvat ook wat pas ontstaat

De Duitse Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) knoopt niet aan bij de inkoop. § 2 lid 1 nummer 3 rekent tot de gevaarlijke stoffen „stoffen, mengsels en producten waaruit bij de vervaardiging of het gebruik stoffen volgens nummer 1 of nummer 2 ontstaan of vrijkomen". Nummer 4 omvat aanvullend stoffen en mengsels die vanwege hun eigenschappen en de wijze waarop zij op de werkplek aanwezig zijn of worden gebruikt, de gezondheid en de veiligheid van de werknemers in gevaar kunnen brengen. Een chromaat dat aan het grensvlak tussen isolatie en heet onderdeel ontstaat, is daarmee omvat, hoewel niemand het heeft gekocht en niemand het heeft willen vervaardigen. [199]

Het begrip werkzaamheid is even ruim. § 2 lid 5 zin 1 noemt „elke arbeid met stoffen, mengsels of producten, met inbegrip van vervaardiging, mengen, gebruik en verbruik, opslag, bewaring, be- en verwerking, af- en overvullen, verwijderen, verwijdering als afval en vernietiging". Demontage, opslag, herinbouw en verwijdering van een gecontamineerd isolatiemateriaal zijn daarmee werkzaamheden in de zin van de verordening. [199]

De risicobeoordeling begint daarom met een vaststelling en niet met een meting. § 6 lid 1 zin 1 verlangt van de werkgever vast te stellen „of de werknemers werkzaamheden met gevaarlijke stoffen uitvoeren dan wel of bij werkzaamheden gevaarlijke stoffen kunnen ontstaan of vrijkomen". § 6 lid 5 zin 1 en 2 noemt de hier van toepassing zijnde groep van gevallen uitdrukkelijk: in aanmerking te nemen zijn werkzaamheden waarbij ook na uitputting van alle technische beschermingsmaatregelen de mogelijkheid van een gevaar bestaat, en dit geldt „in het bijzonder voor onderhoudswerkzaamheden, met inbegrip van servicewerkzaamheden". Voor stoffen zonder indeling door de leverancier verlangt § 6 lid 3 zin 1 de eigen indeling door de werkgever. [199]

Onderzoek voor aanvang van de werkzaamheden en de plichten van de opdrachtgever

Sinds 5 december 2024 bevat de verordening in § 5a een eigen voorschrift voor de opdrachtgever van werkzaamheden aan bouwkundige of technische installaties. Hij moet vóór aanvang van de werkzaamheden aan de uitvoerende onderneming alle hem beschikbare informatie over de bouw- of gebruiksgeschiedenis met betrekking tot aanwezige of vermoede gevaarlijke stoffen schriftelijk of elektronisch ter beschikking stellen, en hij moet zich daarvoor met redelijke inspanning van de voor hem toegankelijke documenten bedienen. Zin 3 bepaalt dat gevaarlijke stoffen in de zin van dit voorschrift die stoffen zijn „die door de werkzaamheden vrijkomen en tot een bijzonder gevaar voor de gezondheid kunnen leiden". [200]

Aan de zijde van de uitvoerende onderneming staat § 6 lid 2c. Is een technisch onderzoek noodzakelijk om vast te stellen of bij de werkzaamheden aan bouwkundige of technische installaties gevaarlijke stoffen vrijkomen en een gevaar voor de gezondheid kunnen vormen, dan is dit onderzoek „een voorwaarde voor de uitvoering van de werkzaamheden". Het ontbreken van een onderzoek is daarmee geen toestand waarin gewerkt mag worden. [200]

De tekst luidt „bouwkundige of technische installaties". Of voertuigen, schepen en locomotieven daaronder vallen, zegt de verordening niet, en een uitleghulp daarover heb ik niet gevonden. Voor vaste installaties, dus voor warmtekrachtinstallaties, ketels, leidingen en turbines, rijst de vraag niet. [200]

De risicobeoordeling moet vóór aanvang van de werkzaamheid worden gedocumenteerd en mag volgens § 6 lid 11 zin 1 alleen door deskundige personen worden uitgevoerd. § 6 lid 8 zin 2 nummer 5 verlangt in de documentatie „een onderbouwing wanneer bij werkzaamheden met kankerverwekkende of in geslachtscellen mutagene gevaarlijke stoffen van categorie 1A of 1B werknemers niet in het expositieregister volgens § 10a lid 1 zin 1 zijn opgenomen". Het niet opnemen is dus onderbouwingsplichtig. [199]

Substitutie en de rangorde van de maatregelen

§ 7 lid 3 verlangt op grond van het resultaat van de substitutietoets „bij voorrang een substitutie uit te voeren", en wel door stoffen, mengsels, producten of procedés die onder de desbetreffende gebruiksomstandigheden niet of minder gevaarlijk zijn. § 7 lid 4 ordent de verdere trappen: inrichting van de procedés en emissiearme gebruiksvormen volgens de stand van de techniek, daarna collectieve technische maatregelen bij de bron en organisatorische maatregelen, en pas daarna individuele maatregelen met inbegrip van persoonlijke beschermingsmiddelen. § 7 lid 5 zin 2 bepaalt dat het gebruik van belastende persoonlijke beschermingsmiddelen geen permanente maatregel mag zijn. [199]

Voor kankerverwekkende stoffen van categorie 1A of 1B scherpt § 10 lid 1 deze volgorde aan. Is een substitutie technisch niet mogelijk, dan moet de werkgever de vervaardiging en het gebruik in een gesloten systeem waarborgen; is ook dat technisch niet mogelijk, dan moet hij de blootstelling volgens de stand van de techniek minimaliseren. § 10 lid 4 noemt de gevallen waarin persoonlijke beschermingsmiddelen moeten worden gedragen, waaronder werkzaamheden in het gebied van hoog risico en een wezenlijk verhoogde blootstelling aan gevaarlijke stoffen zonder grenswaarde op de werkplek of tolerantieconcentratie. [199]

De Duitse TRGS 561 werkt deze rangorde voor het hier behandelde geval uit. Paragraaf 4.1 lid 1 verlangt de substitutietoets en noemt uitdrukkelijk de toetsing „of poedervormige materialen door minder stuivende kunnen worden vervangen". Paragraaf 4.2 lid 1 zin 1 duidt maatregelen ter vermijding en vermindering van de stofontwikkeling aan als „dwingend noodzakelijk". Paragraaf 5.9.3 lid 5 koppelt het aanvullende beschermingsregime aan werkzaamheden aan industriecomponenten „waarbij een belasting met chroom(VI) aanwezig is of waarbij deze niet kan worden uitgesloten". [19]

De waarde van 1 µg/m³ en wat zij niet levert

Voor chroom(VI)-verbindingen bestaat in Duitsland geen grenswaarde op de werkplek. De TRGS 910 noemt in tabel 1 een tolerantieconcentratie van 1 µg/m³ voor de inhaleerbare fractie met de overschrijdingsfactor 8 en de aanwijzing „zie TRGS 561"; een acceptatieconcentratie is voor deze vermelding niet vastgesteld. De concentratie heeft betrekking op het elementgehalte van het metaal en is gedefinieerd als ploeggemiddelde over acht uur. [101]

De TRGS 561 becijfert in paragraaf 3.3.4 lid 2 het bijbehorende risico: bij een blootstelling van 1 µg/m³ over het hele arbeidsleven ontstaat een extra statistisch longkankerrisico in de orde van ongeveer 4:1000. Boven deze waarde is er een hoog risico, daaronder een niet-kwantificeerbaar, lager risico. De regel verlangt de concentratie na te leven en een verdere, zo ver mogelijke minimalisering na te streven. [19]

De plichten uit § 6 en § 7 van de Gefahrstoffverordnung hangen niet ervan af of deze waarde wordt overschreden. Een luchtmeting beantwoordt bovendien noch de vraag naar huidcontact noch die naar oppervlaktecontaminatie; voor het gevaar door huidcontact geldt de Duitse TRGS 401. [199, 99]

Expositieregister

Sinds de wijziging van 2 december 2024 staat het expositieregister in een eigen voorschrift. § 10a lid 1 zin 1 verlangt een register van de werknemers die werkzaamheden met kankerverwekkende, in geslachtscellen mutagene of voor de voortplanting giftige gevaarlijke stoffen van categorie 1A of 1B uitvoeren, „bij wie de risicobeoordeling een gevaar voor hun gezondheid uitwijst", met vermelding van de werkzaamheid alsmede van de hoogte en de duur van de blootstelling. Volgens lid 2 moet het bij kankerverwekkende of in geslachtscellen mutagene gevaarlijke stoffen 40 jaar na het einde van de blootstelling worden bewaard; bij beëindiging van het dienstverband ontvangt de werknemer een uittreksel. Volgens lid 3 kan de werkgever deze plichten nakomen door de gegevens over te dragen aan de bevoegde ongevallenverzekeraar of diens verbond. [201]

De Zentrale Expositionsdatenbank van de Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung is de daarvoor ingerichte weg. Zij wordt daar beschreven als een kosteloos aanbod waarmee werkgevers aan hun verplichting uit de Gefahrstoffverordnung kunnen voldoen; bij gebruik wordt de plicht tot uitreiking en archivering overgedragen aan de Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, en de gegevens worden ten minste 40 jaar na het einde van de blootstelling bewaard. [203]

De versie van de Duitse TRGS 410 van 25 september 2026 heeft voor chroom(VI) een eigen opnamecriterium ingevoerd. Volgens paragraaf 4 lid 1 nummer 10 moeten werknemers worden opgenomen wanneer „bij werkzaamheden met chroom(VI)-verbindingen de concentratie van 1 µg/m³ als ploeggemiddelde wordt overschreden". Verdere criteria van hetzelfde lid grijpen daarvan onafhankelijk in, waaronder nummer 5, wanneer ademhalingsbescherming als beschermingsmaatregel moet worden gedragen, en nummer 7, wanneer geen toereikende informatie over de hoogte van een mogelijke blootstelling beschikbaar is. [202]

Paragraaf 4 lid 4 van dezelfde regel omvat de hier behandelde werkzaamheden onmiddellijk. Werknemers moeten ook dan worden opgenomen wanneer reparatie- en herstelwerkzaamheden, onderhoudswerkzaamheden, reinigingswerkzaamheden, monsterneming bij niet-gesloten systemen, sloopwerkzaamheden of werkzaamheden in gecontamineerde gebieden herhaald worden uitgevoerd en een gevaar op grond van de risicobeoordeling niet kan worden uitgesloten. Lid 3 noemt het dermale gevaar als eigen opnamegrond. Voor de hoogte van de blootstelling bepaalt paragraaf 5 lid 1 dat de effecten van het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen buiten beschouwing blijven. [202]

De plicht treft ook externe bedrijven. Paragraaf 3 lid 7 stelt vast dat de risicobeoordeling en het bijhouden van het register ook voor hen gelden, dat zij zich bij de opdrachtgever de vereiste informatie moeten verschaffen en dat de opdrachtgever deze informatie ter beschikking moet stellen. Voor ter beschikking gestelde werknemers documenteert volgens lid 8 de inlener tijdens de terbeschikkingstelling, en de uitlener neemt de gegevens vervolgens over in zijn eigen register. [202]

Arbeidsgezondheidskundig onderzoek en beroepsziekte

De bijlage, deel 1 lid 1 nummer 1 van de Duitse Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge noemt „chroom-VI-verbindingen" in de stoffenlijst. Verplicht arbeidsgezondheidskundig onderzoek moet onder meer worden gelast wanneer een herhaalde blootstelling niet kan worden uitgesloten en de gevaarlijke stof kankerverwekkend van categorie 1A of 1B is. Volgens § 4 lid 2 mag de werkgever een werkzaamheid alleen laten uitvoeren wanneer de werknemer aan het verplichte onderzoek heeft deelgenomen. Onafhankelijk daarvan bestaat volgens deel 1 lid 1 nummer 2 letter i een verplicht onderzoek bij werkzaamheden met hogetemperatuurwollen, voor zover daarbij als kankerverwekkend ingedeelde vezelstoffen kunnen vrijkomen. [204]

Bijlage 1 van de Duitse Berufskrankheiten-Verordnung noemt onder nummer 1103 „aandoeningen door chroom of zijn verbindingen". Het lijstnummer is open geformuleerd en is niet beperkt tot een bepaalde verbinding en niet tot een bepaalde werkzaamheid. [205]

Toezicht en sancties

Het toezicht is een overheidstaak. § 21 lid 1 van het Duitse Arbeitsschutzgesetz draagt het op aan de bevoegde autoriteiten van de deelstaten; sinds het kalenderjaar 2026 moet volgens § 21 lid 1a jaarlijks ten minste 5 procent van de in de deelstaat aanwezige bedrijven worden bezocht, en van deze minimumbezoekquote kan bij deelstaatrecht niet worden afgeweken. § 22 lid 2 geeft de bevoegdheid om arbeidsprocedés te onderzoeken en metingen te verrichten, § 22 lid 3 de bevoegdheid tot het geven van bevelen en, bij niet-uitvoering, tot het verbieden van de betrokken arbeid. [206]

De Gefahrstoffverordnung vult deze bevoegdheden aan. Volgens § 19 lid 3 nummer 3 kan de bevoegde autoriteit bevelen dat de werkgever de arbeid moet laten staken wanneer hij de bevolen noodzakelijke maatregelen niet onverwijld of niet binnen de gestelde termijn neemt. Volgens § 19 lid 4 moet haar op verzoek een bewijs worden overgelegd dat de risicobeoordeling deskundig is opgesteld. [201]

Daarnaast houden de ongevallenverzekeraars toezicht. § 17 lid 1 van het Zevende Boek van het Duitse Sozialgesetzbuch draagt hen het toezicht op de preventiemaatregelen en de advisering van de ondernemingen op. § 19 lid 1 geeft de toezichthoudende personen de bevoegdheid tot het geven van bevelen in het concrete geval en, bij dreigend gevaar, tot onmiddellijk uitvoerbare bevelen, § 19 lid 2 nummer 5 de bevoegdheid om de aanwezigheid en de concentratie van gevaarlijke stoffen vast te stellen of op kosten van de ondernemer te laten vaststellen, en nummer 6 de bevoegdheid tot monsterneming. Een bevoegdheid tot stillegging bevat dit voorschrift niet; de stillegging is aan de overheidsautoriteiten toegewezen. [207, 206]

De beboetbare feiten staan in § 22 lid 1 van de Gefahrstoffverordnung. Omvat zijn onder meer de niet, niet juist of niet tijdig gedocumenteerde risicobeoordeling, het niet of niet juist bijgehouden register van gevaarlijke stoffen, de aanvang van een werkzaamheid in strijd met § 7 lid 1, het permanente gebruik van belastende persoonlijke beschermingsmiddelen alsmede het niet, niet juist of niet volledig bijgehouden en het niet voor de voorgeschreven duur bewaarde expositieregister. [103]

De hoogte volgt uit het Duitse Chemikaliengesetz. Voor de hier van toepassing zijnde verwijzing geldt volgens § 26 lid 3 een kader tot vijftigduizend euro. Wie door een dergelijke handeling opzettelijk het leven of de gezondheid van een ander in gevaar brengt, wordt volgens § 27 lid 2 gestraft met een vrijheidsstraf tot vijf jaar of met een geldstraf; bij onachtzaamheid bedraagt het kader volgens § 27 lid 4 nummer 2 tot twee jaar. Volgens het Arbeitsschutzgesetz reikt het boetekader voor overtredingen van uitvoerbare bevelen tot dertigduizend euro, en § 26 stelt de volhardende herhaling alsmede het opzettelijk in gevaar brengen van leven of gezondheid van een werknemer strafbaar. [208, 206]

Afval

De Duitse Abfallverzeichnis-Verordnung kent geen afvalstoffencode die chromaatbelaste isolatiematerialen benoemt. De indeling loopt via de paren van een gevaarrelevante en een niet-gevaarrelevante vermelding. Voor isolatiemateriaal anders dan asbest komt 17 06 03* „ander isolatiemateriaal dat uit gevaarlijke stoffen bestaat of dergelijke stoffen bevat" in aanmerking, met 17 06 04 als tegenhanger. Voor bekledingen en vuurvaste materialen gelden 16 11 03* uit metallurgische en 16 11 05* uit niet-metallurgische processen, met 16 11 04 en 16 11 06 als tegenhangers. Voor afgescheiden chromaten geldt 16 09 02* „chromaten, bijv. kaliumchromaat, kalium- of natriumdichromaat". Het sterretje betekent volgens § 3 lid 1 gevaarlijk in de zin van § 48 van het Kreislaufwirtschaftsgesetz. [209]

Welke vermelding van het paar geldt, beslist het gehalte. De inleiding van de bijlage bepaalt in nummer 2.2.1 dat een afvalstof als gevaarlijk wordt ingedeeld wanneer zij relevante gevaarlijke stoffen bevat op grond waarvan zij een of meer van de in bijlage III van richtlijn 2008/98/EG genoemde eigenschappen bezit. Voor de hier van toepassing zijnde eigenschap HP 7 kankerverwekkend ligt de concentratiegrens voor een als kankerverwekkend van categorie 1A of 1B met H350 ingedeelde stof bij 0,1 procent. [209, 69]

§ 9a lid 1 van het Kreislaufwirtschaftsgesetz verbiedt „het vermengen, met inbegrip van het verdunnen, van gevaarlijke afvalstoffen met andere categorieën van gevaarlijke afvalstoffen of met andere afvalstoffen, stoffen of materialen". Lid 3 verplicht producenten en houders onrechtmatig vermengde afvalstoffen onverwijld te scheiden, voor zover dat voor de deugdelijke en schadeloze nuttige toepassing noodzakelijk is. § 326 lid 1 nummer 2 van het Duitse Strafgesetzbuch stelt de onbevoegde omgang met afvalstoffen die voor de mens kankerverwekkend zijn, strafbaar. [210, 107]

De afstand tot het asbestregime

Voor asbest bestaat in Duitsland een eigen procedure. De Duitse TRGS 519 verlangt in paragraaf 2.7 het bewijs van vakbekwaamheid door de succesvolle deelname aan een door de overheid erkende cursus met examen; het bewijs geldt zes jaar. De Gefahrstoffverordnung verlangt in § 11a lid 3 een toelating van de overheid voor werkzaamheden in het gebied van hoog risico, sinds 20 december 2025 in § 11a lid 4a een vergunning voor sloopwerkzaamheden in het gebied van laag en middelhoog risico, en in § 11a lid 4 de melding uiterlijk een week voor aanvang van de werkzaamheden. Paragraaf 14.5 van de TRGS 519 laat de opheffing van de beschermingsmaatregelen pas toe wanneer een visuele controle geen zichtbare restverontreiniging toont en een meting een vezelconcentratie onder 500 vezels per kubieke meter oplevert. [97, 201]

Voor chroom(VI) aan geïsoleerde hete onderdelen bestaat geen van deze punten. Er is geen vakbekwaamheidsplicht, geen toelating, geen vergunning, geen melding voor aanvang en geen vrijgavemeting. De enige bemoeienis van de overheid is de mededeling volgens § 10a lid 5 van de Gefahrstoffverordnung, en deze gebeurt binnen twee maanden na aanvang van de werkzaamheid en alleen dan wanneer de grenswaarde op de werkplek niet wordt nageleefd of in het gebied van hoog risico wordt gewerkt. Dezelfde asymmetrie beschrijft paragraaf 25 voor de overige beschouwde rechtsgebieden. [201]

Wat de Duitse regelgeving benoemt

Duitsland is onder de hier beschouwde rechtsgebieden het enige waarin het toepassingsgeval in de regelgeving onder het niveau van de wet een eigen paragraaf heeft. De TRGS 561 beschrijft in paragraaf 5.9.3 dat zich aan thermisch belaste chroomgelegeerde industriecomponenten chroom(VI)-verbindingen kunnen vormen, dat deze zich in isolatiematerialen of montagepasta's kunnen afzetten en dat bij demontage- en onderhoudswerkzaamheden een blootstelling kan volgen. Als beïnvloedende factoren noemt zij de staaltemperatuur, het chroomaandeel van de legering, de reactietijd, de aanwezigheid van alkali- en aardalkalimetaaloxiden uit isolatiematerialen of montagepasta's alsmede zuurstof en luchtvochtigheid nabij het oppervlak. Over het mechanisme houdt zij vast dat het thans nog niet is opgehelderd. [19]

Drie Duitse wettelijke ongevallenverzekeraars beschrijven hetzelfde feitencomplex op hun branchepagina's. De BG ETEM noemt het temperatuurbereik van ongeveer 350 tot 800 °C en het contact van chroomgelegeerde staalsoorten met alkali- en aardalkalimetaalhoudende isolatiematerialen of montagepasta's. De BG Verkehr noemt gelige afzettingen op roestvast staal bij het verwijderen van isolatiematerialen en houdt vast dat de vraag voor scheepsmachinekamers en automotoren onderwerp is van eigen onderzoek. De BG BAU onderscheidt naar de aanwezigheid van alkali- en aardalkalimetaalhoudende warmte-isolatiematerialen en noemt de coördinerende rol van de BG ETEM. [2, 211, 212]

De Gefahrstoffverordnung zelf benoemt het geval niet. Zij omvat het via het begrip gevaarlijke stof, het begrip werkzaamheid en de vaststellingsplicht van § 6 lid 1. De TRGS 910 noemt het niet en verwijst alleen in de kolom met aanwijzingen naar de TRGS 561. De Abfallverzeichnis-Verordnung kent geen eigen code. De Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge noemt chroom(VI)-verbindingen en hogetemperatuurwollen gescheiden, zonder ze te verbinden. [199, 101, 209, 204]

Wat daaruit voor een onderneming in Duitsland volgt

Uit de genoemde voorschriften volgt een toetsbare set documenten. Daartoe behoren de gedocumenteerde en deskundig opgestelde risicobeoordeling voor de materiaalcombinatie van chroomgelegeerd heet onderdeel en basisch belegd isolatiemateriaal alsmede de uitgevoerde en onderbouwde substitutietoets volgens § 7 lid 3. Daartoe behoren de informatie van de opdrachtgever volgens § 5a en het technische onderzoek volgens § 6 lid 2c. Daartoe behoren de werkinstructie en het jaarlijkse onderricht volgens § 14. Daartoe behoren de opname in het expositieregister of de onderbouwing daarvan volgens § 10a in samenhang met de TRGS 410, het gelasten van het verplichte arbeidsgezondheidskundige onderzoek en de indeling van de afvalstof naar het gehalte. [199, 200, 201, 202, 204, 209]

Geen van deze punten vooronderstelt een meting, en geen van deze punten valt weg door een negatief meetresultaat. De plicht ontstaat met de mogelijkheid van het ontstaan, en de uitsluiting van deze mogelijkheid is het punt dat zou moeten worden aangetoond.

36. De verplichtingen in de Europese Unie

De nationale regelgeving van de lidstaten zet Unierecht om. Deze paragraaf brengt samen wat het Unierecht zelf verlangt, en scheidt daarbij het arbeidsomstandighedenrecht van het stoffenrecht en van het afvalstoffenrecht. De uitvoering rust bij de lidstaten; de plichten ontstaan voor een onderneming uit het betreffende nationale recht.

Toepassingsgebied van richtlijn 2004/37/EG

De richtlijn geldt volgens artikel 3 lid 1 „voor werkzaamheden waarbij werknemers als gevolg van hun werk aan carcinogene, mutagene of voor de reproductie toxische agentia worden of kunnen worden blootgesteld". Zij knoopt daarmee aan bij de blootstelling bij een werkzaamheid. Artikel 2 onder a) i) definieert het carcinogeen via de indelingscriteria van bijlage I van verordening (EG) nr. 1272/2008 en bevat geen beperking tot gekochte, in de handel gebrachte of gericht gebruikte stoffen. Calciumchromaat en natriumchromaat zijn in bijlage VI, deel 3 van die verordening geharmoniseerd ingedeeld als kankerverwekkend van categorie 1B. [213, 63]

Daarnaast omvat artikel 2 onder a) ii) stoffen en mengsels die „vrijkomen bij een in deze bijlage genoemd procedé". Bijlage I bevat daarvoor procedégebonden vermeldingen, waaronder werkzaamheden met blootstelling aan respirabel kristallijn silicastof en aan dieselmotoremissies. De Uniewetgever heeft het doel van deze bijlage benoemd in overweging 17 van richtlijn (EU) 2017/2398: voor bij een arbeidsprocedé ontstaand respirabel kristallijn silicastof bestaat geen indeling volgens verordening (EG) nr. 1272/2008, waarom de opname in bijlage I aangewezen zou zijn. Voor een in een procedé ontstane stof die een geharmoniseerde indeling draagt, grijpt daarmee reeds i) in. [213, 86]

Artikel 3 lid 2 verlangt voor elke werkzaamheid waarbij een blootstelling kan optreden de vaststelling van aard, mate en duur van de blootstelling en de herhaalde beoordeling bij elke wijziging van de omstandigheden. Artikel 3 lid 3 bepaalt dat bij de risicobeoordeling „met alle andere blootstellingsroutes, bijvoorbeeld opname in en/of via de huid, rekening moet worden gehouden". [18]

Vervanging, gesloten systeem, minimalisering

Artikel 4 lid 1 verlangt van de werkgever het gebruik te verminderen, „met name door het te vervangen, voor zover dit technisch mogelijk is, door stoffen, mengsels of procedés die bij gebruik of toepassing niet of minder gevaarlijk" zijn. Artikel 5 lid 2 verlangt voor het geval dat de substitutie technisch niet mogelijk is, de vervaardiging en het gebruik in een gesloten systeem. Artikel 5 lid 3 verlangt voor het geval dat ook dat technisch niet mogelijk is, dat de blootstelling wordt „beperkt tot een zo laag mogelijk niveau als technisch uitvoerbaar is". [213]

Artikel 5 lid 5 noemt de afzonderlijke maatregelen. Onder c wordt de inrichting van de arbeidsprocedés en van de technische maatregelen verlangd met het doel het vrijkomen op de werkplek te vermijden of zo gering mogelijk te houden. Onder l wordt het waarborgen van een veilige opslag, hantering en vervoer verlangd, onder meer door hermetisch afsluitbare en duidelijk gekenmerkte houders. Onder m wordt hetzelfde verlangd voor het inzamelen, de opslag en de verwijdering van het afval. Voor de demontage, de tussenopslag en de verwijdering van een gecontamineerd isolatiemateriaal zijn daarmee alle drie de stappen onmiddellijk geregeld. [213]

De algemene rangorde staat in kaderrichtlijn 89/391/EEG. Artikel 6 lid 2 noemt als beginselen onder meer het voorkomen van risico's, het bestrijden van de risico's bij de bron, het rekening houden met de stand van de techniek en de voorrang van de collectieve boven de individuele bescherming. Artikel 9 lid 1 onder a) verlangt te beschikken over een evaluatie van de op de werkplek bestaande risico's; de vormgeving van de documentatie laat lid 2 aan de lidstaten. [214]

De bindende grenswaarde

Bijlage III, deel A van richtlijn 2004/37/EG bevat de vermelding „chroom(VI)-verbindingen die carcinogenen zijn in de zin van artikel 2 onder a) i) (als chroom)" met een grenswaarde van 0,005 mg/m³ als tijdgewogen gemiddelde over acht uur. Een kortetijdwaarde is niet vastgesteld, en de kolom met aanwijzingen is leeg. De overgangskolom noemt 0,010 mg/m³ tot 17 januari 2025 en 0,025 mg/m³ tot dezelfde datum voor las- en plasmasnijwerkzaamheden alsmede vergelijkbare rookvormende procedés. [213, 86]

Artikel 5 lid 4 bepaalt dat de blootstelling de grenswaarden van bijlage III niet mag overschrijden. De plichten uit de artikelen 3, 4 en 5 leden 1 tot 3 hangen niet ervan af of deze waarde wordt bereikt; zij knopen aan bij het resultaat van de beoordeling. Duitsland hanteert voor chroom(VI) met 1 µg/m³ een lagere waarde, Nederland met 0,001 mg/m³ dezelfde lagere waarde, beide gerekend als chroom. [213, 101]

Lijst, gezondheidstoezicht en veertig jaar

De lijst van de blootgestelde werknemers staat in artikel 12 onder c). De werkgever houdt daarnaar een geactualiseerde lijst van de werknemers die belast zijn met werkzaamheden waarvoor de beoordeling een risico uitwijst, „met vermelding van de blootstelling waaraan zij mogelijk hebben blootgestaan", voor zover deze informatie beschikbaar is. Artikel 15 lid 1 verlangt voor carcinogenen en mutagenen de bewaring van deze lijst en van het gezondheidsdossier voor ten minste 40 jaar na het einde van de blootstelling. [213]

Artikel 15 lid 2 regelt het geval van bedrijfsbeëindiging: beëindigt de onderneming haar werkzaamheid, dan moeten deze documenten ter beschikking van de bevoegde autoriteit worden gesteld. Artikel 14 lid 8 verlangt alle gevallen van kanker die volgens nationaal recht zijn vastgesteld als gevolg van een blootstelling bij het werk, aan de bevoegde autoriteit te melden. Artikel 10 lid 2 bepaalt dat de kosten van de hygiëne- en beschermingsmaatregelen niet ten laste van de werknemers mogen komen. [213]

Stoffenrecht: indeling, autorisatie, beperking

De geharmoniseerde indeling staat in bijlage VI, deel 3 van verordening (EG) nr. 1272/2008. Calciumchromaat draagt het indexnummer 024-008-00-9 en is ingedeeld als kankerverwekkend van categorie 1B met H350. Natriumchromaat draagt het indexnummer 024-018-00-3 en is ingedeeld als kankerverwekkend, in geslachtscellen mutageen en giftig voor de voortplanting, telkens van categorie 1B. De verzamelvermelding 024-017-00-8 omvat „chroom(VI)-verbindingen, met uitzondering van bariumchromaat en voor zover in deze bijlage niet afzonderlijk vermeld" met H350i. [63]

De autorisatieplicht volgens titel VII van verordening (EG) nr. 1907/2006 betreft de in bijlage XIV opgenomen stoffen. Daar staan onder meer chroomtrioxide als vermelding 16, natriumdichromaat als vermelding 18, kaliumchromaat als vermelding 21 en natriumchromaat als vermelding 22, telkens met een vervaldatum in het jaar 2017. Calciumchromaat is in bijlage XIV niet opgenomen. Artikel 56 lid 1 verbiedt fabrikanten, importeurs en downstreamgebruikers een stof van bijlage XIV voor gebruik in de handel te brengen of zelf te gebruiken, voor zover geen autorisatie of uitzondering bestaat. [215, 66]

Het begrip gebruik is in artikel 3 punt 24 ruim gevat en omvat onder meer opslag, het in voorraad houden en behandeling. Artikel 2 lid 2 zondert afvalstoffen uit van het stofbegrip van de verordening. Of de vorming van een chromaat aan een onderdeel en het daaropvolgende verdere gebruik daarvan een gebruik in de zin van deze verordening is, wordt in de onderzochte rechtsteksten en officiële documenten niet behandeld; een vindplaats daarover heb ik niet gevonden. [60, 66]

Het Europees Agentschap voor chemische stoffen heeft op 29 april 2025 een beperkingsvoorstel voor chroom(VI)-stoffen gepubliceerd. Het voorziet in een verbod waarvan zes gebruikscategorieën zouden moeten worden uitgezonderd, voor zover zij vastgestelde grenzen voor blootstelling van werknemers en voor milieu-emissies naleven; de categorieën zijn de formulering van mengsels, het galvaniseren op kunststof- en op metaalsubstraten, het gebruik van primers en andere slurries, overige oppervlaktebehandeling en functionele additieven of hulpstoffen in processen. Het agentschap beschrijft het voorstel als mogelijke vervanging van de tot nu toe geldende autorisatieplicht en noemt een consultatie van zes maanden vanaf 18 juni 2025. De stand van de procedure in oktober 2026 heb ik niet kunnen aantonen. [216, 59]

Het voorstel is toegesneden op in de handel gebrachte en gericht gebruikte chroom(VI)-stoffen en op de genoemde gebruikscategorieën. Isolatiematerialen, isolaties en in situ gevormde chromaten komen in het persbericht en in de registervermelding niet voor. [216]

Afvalstoffenrecht van de Unie

Artikel 7 lid 1 van richtlijn 2008/98/EG bepaalt dat de afvalstoffenlijst bindend is wat betreft de vaststelling van de als gevaarlijk in te delen afvalstoffen. Lid 2 staat de lidstaten toe een afvalstof ook dan als gevaarlijk in te delen wanneer zij niet als zodanig in de lijst is vermeld, voor zover zij een van de eigenschappen van bijlage III bezit. Lid 4 verbiedt een herindeling als niet-gevaarlijk te bereiken „door verdunning of vermenging van de afvalstof". Artikel 18 lid 1 verbiedt het vermengen van gevaarlijke afvalstoffen en bepaalt dat het vermengen de verdunning van gevaarlijke stoffen omvat. [217]

De lijst staat in de bijlage bij beschikking 2000/532/EG. Van toepassing zijn 17 06 03* voor ander isolatiemateriaal dat uit gevaarlijke stoffen bestaat of dergelijke stoffen bevat, 16 11 03* en 16 11 05* voor gebruikte bekledingen en vuurvaste materialen uit metallurgische en uit niet-metallurgische processen alsmede 16 09 02* voor chromaten. De mededeling van de Commissie 2018/C 124/01 verduidelijkt het begrip spiegelvermeldingen en noemt in haar bijlage de norm EN 15192 voor de bepaling van zeswaardig chroom in vaste stoffen. [218, 219]

De afstand tot de asbestrichtlijn

Richtlijn 2009/148/EG regelt voor asbest plichten die richtlijn 2004/37/EG voor carcinogenen in het algemeen niet bevat. Artikel 11 verlangt vóór aanvang van sloop-, onderhouds- of renovatiewerkzaamheden alle noodzakelijke voorzorgen om vermoedelijk asbesthoudende materialen vast te stellen, en wel door informatie in te winnen bij de eigenaar en uit relevante registers. Artikel 4 verlangt een melding aan de bevoegde autoriteit vóór aanvang van de werkzaamheden, met vermelding van onder meer het aantal betrokken werknemers en hun opleidingsbewijzen. Artikel 13 verlangt een werkplan vóór aanvang en na afsluiting de controle dat geen gevaar meer bestaat. Artikel 14 met bijlage Ia stelt minimumeisen vast aan inhoud, duur en frequentie van het onderricht, artikel 15 een vergunning voor de onderneming. [220]

Richtlijn 2004/37/EG kent geen melding vóór aanvang. Haar artikel 6 verlangt informatie aan de autoriteit alleen „op verzoek". Lijst en veertigjaarstermijn zijn in beide richtlijnen gelijk geregeld. Het verschil ligt bij de voorafgaande vaststelling, de melding, het werkplan, de minimumeisen aan de opleiding en de vergunning voor de onderneming. [213, 220]

Wat de Unie niet benoemt

In de onderzochte rechtshandelingen en officiële documenten van de Unie wordt de vorming van chromaten aan geïsoleerde chroomgelegeerde hete onderdelen niet benoemd. Onderzocht zijn de geconsolideerde versies van de richtlijnen 2004/37/EG, 89/391/EEG, 2009/148/EG en 2008/98/EG, van beschikking 2000/532/EG alsmede van de verordeningen (EG) nr. 1907/2006 en nr. 1272/2008, daarbij de mededeling 2018/C 124/01 en de bereikbare publicaties van het Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk. Geen van de acht procedégebonden vermeldingen in bijlage I van richtlijn 2004/37/EG betreft isolaties of hete onderdelen. [213, 217, 219]

Het thematisch dichtstbijzijnde document van de Commissie behandelt in een procedé ontstaand chroom(VI) uitsluitend bij het lassen, bij het thermisch snijden en bij vergelijkbare rookvormende procedés. Warmte-isolatiematerialen, calciumoxide en de vorming aan hete roestvaststalen oppervlakken buiten deze procedés komen daar niet voor. Dit is een bevinding over het onderzochte bestand en geen uitspraak over de plichten; deze volgen uit de tekst van de artikelen 2, 3, 4 en 5. [221, 213]

Wat daaruit volgt

Voor een onderneming in een lidstaat ontstaat de plicht uit het nationale omzettingsrecht. De toetsingsmaatstaf van het Unierecht is daarbij op drie plaatsen scherper dan de vraag naar een meting. De beoordeling volgens artikel 3 lid 2 is aan de werkzaamheid gebonden en moet bij elke wijziging van de omstandigheden worden herhaald. De opname via de huid moet volgens artikel 3 lid 3 uitdrukkelijk worden meegenomen. De vermindering volgens artikel 5 lid 3 is aan geen enkele drempel gebonden; zij geldt zodra een gesloten systeem technisch niet uitvoerbaar is. Een lidstaat kan strengere voorschriften vaststellen; de richtlijn stelt minimumeisen. [213]

37. De verplichtingen in Nederland

Nederland is lidstaat van de Europese Unie en heeft richtlijn 2004/37/EG omgezet in het Arbeidsomstandighedenbesluit. Het hier behandelde toepassingsgeval is ook daar niet als zodanig benoemd. Deze paragraaf brengt de geldende Nederlandse voorschriften samen en geeft bij elke uitspraak de vindplaats aan.

Het stofbegrip is herkomstneutraal

Artikel 1.1 lid 5, onder b van het Arbeidsomstandighedenbesluit definieert gevaarlijke stoffen als „stoffen of mengsels waaraan werknemers bij de arbeid worden of kunnen worden blootgesteld die vanwege de eigenschappen van of de omstandigheden waaronder die stoffen of mengsels voorkomen gevaar voor de veiligheid of gezondheid kunnen opleveren". De definitie knoopt aan bij de blootstelling bij de arbeid en bij de omstandigheden van het voorkomen. Inkoop, in de handel brengen en beoogd gebruik komen daarin niet voor. [223]

Artikel 4.2 lid 1 verlangt de beoordeling van aard, mate en duur van de blootstelling, en wel uitdrukkelijk „ongeacht of met deze stoffen daadwerkelijk arbeid wordt of zal worden verricht". Deze beoordeling is onderdeel van de schriftelijke risico-inventarisatie en -evaluatie volgens artikel 5 lid 1 van de Arbeidsomstandighedenwet. Volgens artikel 4.2 lid 8 moet zij in ieder geval worden getoetst wanneer wordt begonnen met nieuwe arbeid waarbij gevaarlijke stoffen betrokken zijn. [121, 222]

Artikel 4.1c lid 1, onder c verlangt de blootstelling te voorkomen of te minimaliseren door „gebruik te maken van adequate voorzieningen bij het uitvoeren van reparatie- of onderhoudswerkzaamheden". Onder j worden geschikte werkmethoden verlangd, met inbegrip van regelingen voor het veilig hanteren, opslaan en vervoeren van gevaarlijke stoffen en van afvalstoffen die dergelijke stoffen bevatten. Lid 2 bindt deze maatregelen aan de stand van de wetenschap en techniek. Onder c is in afdeling 1 van het vierde hoofdstuk de enige plaats waar reparatie- en onderhoudswerkzaamheden worden genoemd. [223]

De aanvullende plichten voor kankerverwekkende stoffen

Afdeling 2 van het vierde hoofdstuk geldt volgens artikel 4.12 aanvullend zodra werknemers aan kankerverwekkende, mutagene of voor de voortplanting giftige stoffen worden of kunnen worden blootgesteld „of aan stoffen die vrijkomen bij kankerverwekkende of mutagene processen". De begripsbepaling in artikel 4.11, onder b knoopt in onderdeel 1 aan bij de indelingscriteria van verordening (EG) nr. 1272/2008. Chroom(VI)-verbindingen zijn daarmee omvat. [223, 63]

Artikel 4.13 verlangt dat naast de beoordeling volgens artikel 4.2 zeven gegevens schriftelijk in de risico-inventarisatie worden opgenomen. Het eerste is „de reden waarom het gebruik van een kankerverwekkende, mutagene of reprotoxische stof of het toepassen van een kankerverwekkend of mutageen proces voor het verrichten van de arbeid strikt noodzakelijk is en vervanging technisch niet uitvoerbaar is". Daarna volgen de jaarlijkse hoeveelheid of de frequentie van toepassing, de aard van de arbeid, het aantal blootgestelde werknemers, de preventieve maatregelen, de gebruikte beschermingsmiddelen en de gevallen waarin is vervangen. De onderbouwing van de onmogelijkheid van een substitutie is daarmee onderdeel van de documentatie. [223]

Artikel 4.17 verlangt technische en organisatorische maatregelen die de blootstelling zo veel mogelijk bij de bron voorkomen, in het bijzonder door vervanging, voor zover dit technisch uitvoerbaar is. Artikel 4.18 lid 1 verlangt voor het geval dat dit niet uitvoerbaar is, de vervaardiging en het gebruik in een gesloten systeem; lid 2 noemt collectieve maatregelen en plaatselijke afzuiging, lid 3 persoonlijke beschermingsmiddelen pas daarna en lid 4 de beperking van de draagtijd tot het strikt noodzakelijke. [109, 223]

Artikel 4.19 regelt de begeleidende plichten. Onder a wordt een voorlichting of onderricht verlangd die ten minste eenmaal per jaar plaatsvindt. Onder c wordt de markering van gevarenzones verlangd; het begrip is in artikel 4.11, onder h gedefinieerd als plaats waar werknemers aan dergelijke stoffen worden of kunnen worden blootgesteld. Onder e worden doeltreffende middelen verlangd voor het veilig inzamelen, opslaan en verwijderen van afvalstoffen, zo veel mogelijk in hermetisch gesloten en duidelijk gekenmerkte houders. Artikel 4.20 verlangt zones voor eten en drinken zonder blootstellingsgevaar, doeltreffende werkkleding, de gescheiden bewaring daarvan alsmede was- en doucheruimten. [223]

De grenswaarde 0,001 mg/m³

De wettelijke grenswaarde staat in Bijlage XIII, deel B2 van de Arbeidsomstandighedenregeling, de lijst van volgens de risicobenadering vastgestelde grenswaarden voor kankerverwekkende stoffen. De vermelding luidt „Chroom (VI)-verbindingen (als Cr)" met 0,001 mg/m³ als tijdgewogen gemiddelde over acht uur. Een CAS-nummer, een vijftienminutenwaarde en een huidnotatie zijn niet opgenomen. Volgens de toelichting bij Bijlage XIII heeft de waarde bij stoffen die als deeltjes kunnen voorkomen, betrekking op de als inhaleerbaar stof bemonsterde fractie. [224]

De waarde geldt sinds 1 maart 2017. Zij is ingevoerd door een regeling van de Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid van 18 oktober 2016, die tegelijk de tot dan toe afzonderlijke vermeldingen voor bariumchromaat, calciumchromaat, oplosbare en moeilijk oplosbare chroom(VI)-verbindingen, chroomtrioxide, loodchromaat, strontiumchromaat en zinkchromaat heeft geschrapt. De officiële toelichting noemt voor chroom(VI)-verbindingen de schatting van de Nederlandse Gezondheidsraad van 4 op 100.000 bij 40 jaar blootstelling aan 0,01 µg/m³ en van 4 op 1.000 bij 1 µg/m³. Zij duidt 1 op 10.000 per jaar aan als verbodsrisico en houdt vast dat de waarde op dit maximaal te accepteren risico wordt vastgesteld. [225]

Dezelfde toelichting stelt vast dat de invoering van de lagere grenswaarde onverlet laat dat afzonderlijke bedrijven de stof moeten vervangen of een lagere blootstelling moeten bereiken wanneer dat technisch uitvoerbaar is, en verwijst daarvoor naar de artikelen 4.17 en 4.18 van het Arbeidsomstandighedenbesluit. De grenswaarde is daarmee ook volgens de officiële toelichting geen maatstaf waarvan de naleving de substitutietoets overbodig maakt. [225]

Voor het hier behandelde geval is artikel 4.16 lid 2 de centrale bepaling. Bestaat voor een kankerverwekkende stof of voor een bij een kankerverwekkend proces vrijkomende stof geen wettelijke grenswaarde, dan stelt de werkgever zelf „een zo laag mogelijke grenswaarde" vast. Bij overschrijding van een grenswaarde verlangt lid 3 onverwijld doeltreffende maatregelen om de blootstelling onder die waarde terug te brengen, en lid 5 verlangt in het plan van aanpak aan te geven hoe de overschrijding zo snel mogelijk wordt weggenomen. [223]

Lijst van werknemers en veertig jaar

Artikel 4.15 lid 1 verlangt een lijst van de werknemers die aan dergelijke stoffen worden of kunnen worden blootgesteld, „onder vermelding van de blootstelling die zij hebben ondergaan". Lid 2 geeft iedere werknemer het recht op inzage in en afschrift van de hem betreffende gegevens. Artikel 4.10c lid 4 verlangt de bewaring van deze lijst en van de uitkomsten van het arbeidsgezondheidskundig onderzoek voor ten minste 40 jaar na het einde van de blootstelling. [223]

Artikel 4.10c lid 5 regelt het geval van bedrijfsbeëindiging. Worden de werkzaamheden binnen deze veertig jaar beëindigd, dan worden de documenten „overgedragen aan de toezichthouder". De Nederlandse regeling benoemt daarmee de instantie waarnaar de documenten gaan; de Duitse Gefahrstoffverordnung regelt dit geval niet uitdrukkelijk en kent in plaats daarvan de overdracht van de plichten door gegevensoverdracht aan de ongevallenverzekeraar. [223, 201]

Toezicht, bestuurlijke boete en economisch delict

De Nederlandse Arbeidsinspectie kan volgens artikel 27 van de Arbeidsomstandighedenwet een eis tot naleving stellen, waarin bindend wordt bepaald op welke wijze een voorschrift moet worden nageleefd, met een daarbij gestelde termijn. Artikel 9.22 van het Arbeidsomstandighedenbesluit laat dit middel toe voor de hier van toepassing zijnde artikelen van het vierde hoofdstuk. Volgens artikel 28 kan een toezichthoudende ambtenaar bevelen dat bepaalde werkzaamheden worden gestaakt of niet mogen worden aangevangen wanneer zij naar zijn redelijk oordeel een ernstig gevaar voor personen vormen; de bevoegdheid omvat het verzegelen van arbeidsmiddelen en werkplaatsen. [222, 223]

De overtredingen van de genoemde artikelen van het vierde hoofdstuk zijn volgens artikel 9.9b lid 1, onder d van het Arbeidsomstandighedenbesluit beboetbaar. Het maximumbedrag ligt volgens artikel 34 lid 3 van de Arbeidsomstandighedenwet bij de vijfde categorie van artikel 23 lid 4 van het Wetboek van Strafrecht, sinds 1 januari 2026 bij 110.000 euro. Bij herhaling van hetzelfde plichtsverzuim binnen vijf jaar wordt het bedrag volgens artikel 34 lid 5 met 100 procent verhoogd. [108, 111, 223]

De Beleidsregel boeteoplegging arbeidsomstandighedenwetgeving becijfert de uitgangsbedragen. Het volledig niet uitvoeren van de blootstellingsbeoordeling volgens artikel 4.2 lid 1 is daar als overtreding met directe boete ingedeeld, dus zonder voorafgaande waarschuwing beboetbaar, met het vijfde normbedrag van 4.500 euro. De overschrijding van de grenswaarde volgens artikel 4.16 lid 3 is als zware overtreding ingedeeld, met het zesde normbedrag van 9.000 euro en de factor twee. Voor de artikelen 4.1b, 4.1c, 4.17 en 4.18 geldt eveneens het zesde normbedrag. De bedragen gelden voor bedrijven vanaf 500 werknemers en worden daaronder getrapt verlaagd. [227]

Boven het boeterecht staat artikel 32 van de Arbeidsomstandighedenwet. Daarin is het de werkgever verboden handelingen te verrichten of na te laten in strijd met de wet of de daarop berustende bepalingen indien daardoor, naar hij weet of redelijkerwijs moet weten, levensgevaar of ernstige schade aan de gezondheid van een of meer werknemers ontstaat of te verwachten is. Een overtreding daarvan is volgens artikel 1 van de Wet op de economische delicten een economisch delict en bij opzet een misdrijf met een kader tot zes jaar gevangenisstraf. Voor rechtspersonen kan de geldboete volgens artikel 23 lid 7 van het Wetboek van Strafrecht tot de naasthogere categorie reiken. [108, 110, 111]

Geen van de plichten van het vierde hoofdstuk voor gevaarlijke stoffen en voor kankerverwekkende stoffen is als ernstige overtreding ingedeeld. De limitatieve opsomming in artikel 9.10a lid 3 van het Arbeidsomstandighedenbesluit noemt uit dit hoofdstuk de voorschriften over asbest, over propaansulton, over stofverboden en over loodwit. De waarschuwing met aansluitend bevel tot stillegging grijpt daarom voor de hier behandelde plichten pas na herhaalde vaststelling. [223]

Afval

De Regeling Europese afvalstoffenlijst verklaart de lijst in de bijlage bij beschikking 2000/532/EG maatgevend. Voor isolatiemateriaal anders dan asbest komt 17 06 03* „overig isolatiemateriaal dat uit gevaarlijke stoffen bestaat of dergelijke stoffen bevat" in aanmerking, voor ovenpuin 16 11 03* en 16 11 05*, voor chromaten als stof 16 09 02*. Artikel 4 lid 1 wijst de afvalstof toe aan de met een sterretje gekenmerkte vermelding wanneer wordt vastgesteld dat zij een van de eigenschappen van bijlage III van de kaderrichtlijn afvalstoffen bezit. Lid 2 bepaalt dat daarbij de gevolgen van verdampen, verdunnen, vermengen of uitlekken niet in aanmerking worden genomen. [229, 218]

De bewijslast ligt bij de afvalproducent. De officiële uitleg van het Informatiepunt Leefomgeving formuleert dat zo: „De Eural kent een omgekeerde bewijslast: zolang u niet kunt aantonen dat het geen gevaarlijk afval is, is het gevaarlijk afval." Artikel 10.39 lid 1, onder a van de Wet milieubeheer verlangt van degene die de afvalstof afgeeft een beschrijving van aard, eigenschappen en samenstelling van de afvalstof; artikel 10.40 lid 2 verbiedt de ontvanger de inname zonder deze beschrijving en zonder begeleidingsbrief. Artikel 10.54 lid 1 verbiedt tijdens inzameling en vervoer het mengen met inbegrip van het verdunnen. [229, 230]

De afstand tot het asbestregime

Afdeling 5 van het vierde hoofdstuk regelt asbest afzonderlijk. Artikel 4.54a lid 1 verlangt de aanwezigheid van asbest volledig te inventariseren voordat wordt begonnen met het afbreken of uit elkaar nemen van bouwwerken of objecten waarin naar redelijke verwachting asbest is toegepast; de inventarisatie en het rapport zijn volgens lid 4 voorbehouden aan een gecertificeerd bedrijf. Artikel 4.54d lid 1 verlangt voor het verwijderen vanaf risicoklasse 2 een bedrijf met certificaat, de leden 5 en 7 de vakbekwaamheidscertificaten van de ingezette personen. Artikel 4.47c lid 1 verlangt de melding aan de toezichthouder uiterlijk twee dagen voor aanvang van de werkzaamheden. Artikel 4.51a verlangt vóór opheffing van de gevarenzone een eindbeoordeling met visuele inspectie en meting tegen de waarde van 10.000 vezels per kubieke meter. [121, 228]

Voor chroom(VI) bestaat geen van deze punten. Er is geen voorafgaande inventarisatie, geen certificeringsplicht, geen melding voor aanvang, geen eindbeoordeling en geen risicoklassensysteem. De lijst volgens artikel 4.15 en de veertigjaarstermijn volgens artikel 4.10c stemmen overeen met het register dat afdeling 5 voor asbest voorschrijft. [223, 228]

Het Nederlandse chroom-6-complex

In Nederland heeft chroom(VI) sinds 2014 een eigen publieke geschiedenis. Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu heeft in opdracht van de Paritaire Commissie Chroom-6 de locaties van het Ministerie van Defensie onderzocht en daarover in 2018 en 2021 gerapporteerd, in verdere onderzoeken de werkplaatsen van NS en NedTrain alsmede het re-integratieproject tROM in Tilburg. Voor de betrokkenen bij het Ministerie van Defensie bestaat sinds 2018 een uitkeringsregeling van de staat. [231, 232, 233, 235]

Onderwerp van deze onderzoeken zijn chromaathoudende verven en primers en de bewerking daarvan. De vraagstelling van de Paritaire Commissie is in het rapport van 2021 gericht op „chroom-6-houdende verf of verfstof". Het rapport over NS en NedTrain begint met de vaststelling dat in oude verflagen van sommige treinen chroom(VI) aanwezig is. Het rapport over Tilburg beschrijft het verwijderen van oude verflagen aan museumtreinen. De uitkeringsregeling somt in bijlage 2 de voor de beoordeling relevante werkzaamheden op; de enige niet op verf betrokken positie is „lassen of snijbranden van roestvast staal". [231, 232, 233, 235]

Een zoekopdracht in de volledige tekst van de vijf hoofdrapporten naar de Nederlandse begrippen voor isolatie, isolatiemateriaal, minerale wol, steenwol, glaswol en hittebescherming levert geen treffers op. Het omvangrijkste openbare chroom(VI)-complex van Europa heeft de hier behandelde ontstaansroute niet omvat. [231, 232, 233]

Wat in Nederland niet is gepubliceerd

Calciumchromaat en natriumchromaat staan met naam op de SZW-lijst van kankerverwekkende stoffen, laatstelijk gepubliceerd op 9 juli 2026. De lijst noemt zichzelf niet-limitatief en geeft aan welke stoffen en processen in ieder geval in artikel 4.11 van het Arbeidsomstandighedenbesluit zijn bedoeld. De bijbehorende lijst van kankerverwekkende processen bevat tien posities, van de auramineproductie tot de emissies bij het gieten van ijzer en staal; een proces met chromaatvorming staat daar niet bij. Ook de nationaal bepaalde processen volgens artikel 4.20c van de Arbeidsomstandighedenregeling omvatten alleen dieselmotoremissies en twee stofmengsels. [226, 224]

Het rapport dat het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid eigens heeft laten opstellen voor het overzicht van de chroom(VI)-toepassingen op de werkplek herleidt de blootstelling aan vuurvaste bekledingen van ovens en ketels tot in het materiaal aanwezig chroom(VI), tot grondstoffen en toeslagstoffen. De thermochemische vorming aan chroomgelegeerd staal door basische oxiden uit het isolatiemateriaal komt daar niet voor, ook niet als hypothese. Het rapport sluit zijn totaalbeeld af met de aanwijzing dat over de velden onderhoud van oude installaties, sloop en afvalverwerking van keramische producten alsmede bepaalde werkzaamheden van de basismetaalindustrie „geen informatie over verkregen" is. [234]

De publicaties van het ministerie en van de Nederlandse Arbeidsinspectie noemen als blootstellingsbronnen het verwijderen van oude verflagen, de chromaatproductie, het verchromen, bepaalde cementsoorten, het schuren en lassen van chroomhoudende oppervlakken en geïmpregneerd hout. Het Beheersregime chroom-6 draagt de ondertitel „Toe te passen arbeidshygiëne bij het werken aan verven en coatings" en beperkt zich volgens zijn eigen voetnoot tot verfstof van bewerkte gestreken oppervlakken. De themapagina van de Arbeidsinspectie noemt werkzaamheden aan chroomhoudende metalen en coatings en houdt tegelijk vast: „Een negatieve uitslag is echter niet genoeg om te besluiten om géén maatregelen te nemen." [236, 237]

De Beleidsregel arbocatalogi 2019 noemt de door de Arbeidsinspectie getoetste branchecatalogi. De rij „Installatie- en isolatie" noemt als aangesproken voorschriften onder meer de artikelen 4.11 tot 4.20 van het Arbeidsomstandighedenbesluit, dus de voorschriften voor kankerverwekkende stoffen. Als gevaarlijke stoffen noemt dezelfde rij asbest en kwartsstof. Chroom(VI) staat daar niet. [238]

Dit is een uitspraak over het onderzochte bestand. Zij ontkracht de plichten niet. De herkomstneutrale definitie in artikel 1.1 lid 5, de formulering „ongeacht of met deze stoffen daadwerkelijk arbeid wordt of zal worden verricht" in artikel 4.2 lid 1 en de doorlopende formule „stoffen die vrijkomen bij kankerverwekkende of mutagene processen" in afdeling 2 omvatten ook onbedoeld ontstane chromaten. Wat ontbreekt, is de benoeming van de ontstaansroute. [223, 121]

Wat daaruit voor een onderneming in Nederland volgt

Uit de genoemde voorschriften volgt een toetsbare set documenten. Daartoe behoren de schriftelijke beoordeling volgens artikel 4.2 lid 1 voor de materiaalcombinatie van chroomgelegeerd heet onderdeel en basisch belegd isolatiemateriaal alsmede de zeven gegevens volgens artikel 4.13 met inbegrip van de onderbouwing waarom een vervanging technisch niet uitvoerbaar is. Daartoe behoort de door de werkgever vastgestelde grenswaarde volgens artikel 4.16 lid 2, voor zover geen wettelijke waarde van toepassing is. Daartoe behoren de lijst volgens artikel 4.15 met veertigjarige bewaring, het jaarlijkse onderricht volgens artikel 4.19, onder a en de beschrijving van de afvalstof volgens artikel 10.39 van de Wet milieubeheer. [121, 223, 230]

Het volledig niet uitvoeren van de beoordeling is daarbij het enige van deze punten dat zonder voorafgaande waarschuwing beboetbaar is. Alle overige vooronderstellen een vaststelling en een termijn. De afstand tot het asbestregime ligt bij de procedure die de plichten in werking zet. De plichten zelf staan in de tekst en gelden zonder voorafgaande benoeming van het geval. [227, 228]

38. De verplichtingen in het Verenigd Koninkrijk

Deze paragraaf brengt de Britse regelgeving op één plaats samen, zoals de drie voorgaande paragrafen dat voor Duitsland, de Europese Unie en Nederland doen. Het Verenigd Koninkrijk is sinds 1 januari 2021 niet meer aan richtlijn 2004/37/EG gebonden. Het dragende voorschrift, de Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002, is ouder dan deze richtlijn en geldt onveranderd verder. [122, 113]

Het territoriale toepassingsgebied is verdeeld. De COSHH Regulations 2002 en de Control of Asbestos Regulations 2012 dragen de aantekening „E+W+S" en gelden daarmee in Engeland, Wales en Schotland; Noord-Ierland heeft met de Control of Substances Hazardous to Health Regulations (Northern Ireland) 2003 en de Control of Asbestos Regulations (Northern Ireland) 2012 eigen, inhoudelijk gelijk opgebouwde voorschriften. In het afvalstoffenrecht gaan de vier landsdelen eigen wegen, met voor Engeland, Wales, Schotland en Noord-Ierland elk eigen verordeningen. De gegevens van deze paragraaf hebben, waar niets anders staat, betrekking op Engeland en Wales. [258]

Het stofbegrip hangt niet af van de indeling

Regulation 2(1) bepaalt wat een „substance hazardous to health" is. Onder a wordt elke stof omvat die de criteria voor de indeling in een gezondheidsgevarenklasse volgens de CLP-verordening vervult, en wel uitdrukkelijk „whether or not the substance is classified under that Regulation". Onder b worden stoffen omvat met een door de Britse instantie HSE goedgekeurde grenswaarde op de werkplek, onder d stof van elke soort boven de daar genoemde concentratie. Een chromaat dat aan het grensvlak tussen isolatie en heet onderdeel ontstaat, vervult de criteria van a en b, zonder dat er een leverancier, een veiligheidsinformatieblad of een formele indeling hoeft te zijn. [240]

De begripsbepaling van het carcinogeen in hetzelfde voorschrift herhaalt die gedachte. Omvat is een stof die de criteria voor de indeling als carcinogeen van categorie 1A of 1B volgens bijlage I van de CLP-verordening vervult, „whether or not the substance or mixture would be required to be classified under the Regulation", of een stof of procedé dat in Schedule 1 is opgenomen. Schedule 1 bevat geen vermelding over chroom. De carcinogene eigenschap van een in situ gevormd chromaat volgt daarom uit de eerste weg, via de indelingscriteria, en niet uit een lijst. [240]

Dit is de Britse tegenhanger van wat de Duitse Gefahrstoffverordnung in § 2 lid 1 nummer 3 en 4 regelt. Beide rechtsordes knopen de plichten aan bij de eigenschap van de stof en niet bij de weg waarlangs die het bedrijf binnenkomt. [199]

Beoordeling, onderhoud en de drempel van vijf werknemers

Regulation 6(1) bevat een verbod om te beginnen. Een werkgever mag werkzaamheden die werknemers aan een voor de gezondheid gevaarlijke stof kunnen blootstellen, niet uitvoeren zolang hij geen „suitable and sufficient assessment" van het daardoor ontstaande gevaar en van de vereiste stappen heeft uitgevoerd en die stappen heeft doorgevoerd. Paragraaf 25 behandelt dit voorschrift in vergelijking met de overige rechtsgebieden. [122]

Regulation 6(2) somt op waarmee de beoordeling rekening moet houden. Onder e wordt het hier van toepassing zijnde geval uitdrukkelijk genoemd: „activities, such as maintenance, where there is the potential for a high level of exposure". Onder b worden de gegevens van de leverancier met inbegrip van het veiligheidsinformatieblad genoemd, onder c hoogte, aard en duur van de blootstelling, onder f een van toepassing zijnde grenswaarde op de werkplek en onder i de resultaten van metingen volgens Regulation 10. Het onderhoud is daarmee in het Britse voorschrift als eigen onderwerp van de beoordeling benoemd, zoals § 6 lid 5 van de Duitse Gefahrstoffverordnung onderhoudswerkzaamheden benoemt. [122, 199]

Regulation 6(4) begrenst de documentatieplicht. Alleen een werkgever met vijf of meer werknemers moet de wezenlijke resultaten van de beoordeling en de volgens Regulation 7 genomen stappen vastleggen. Voor kleinere bedrijven bestaat de beoordelingsplicht, maar niet de vastleggingsplicht. Het verschil weegt in het hier behandelde veld, omdat isolatie- en onderhoudswerkzaamheden veelal door kleine ondernemingen worden uitgevoerd. [240]

Een onderzoeksplicht vóór aanvang van de werkzaamheden ontbreekt. Regulation 6 grijpt in wanneer de arbeid geschikt is om werknemers bloot te stellen, en zegt niets over de wijze waarop de werkgever de aanwezigheid van de stof vaststelt. Een vermoedensregel voor het geval van twijfel kent het COSHH-regime evenmin. Beide staan in het asbestregime, in Regulation 5 van de Control of Asbestos Regulations 2012. [122, 123]

Voorkoming, vervanging en het redelijkerwijs praktisch uitvoerbare

Regulation 7(1) verlangt de blootstelling te voorkomen of, voor zover dat niet redelijkerwijs praktisch uitvoerbaar is, adequaat te beheersen. Regulation 7(2) maakt de voorrang van de vervanging duidelijk; Regulation 7(3) ordent de verdere trappen van de inrichting van de procedés via de beheersing bij de bron tot de persoonlijke beschermingsmiddelen. Regulation 7(4) onder b verlangt uitdrukkelijk „the adoption of suitable maintenance procedures", onder c de vermindering van het aantal blootgestelde werknemers, van de hoogte en duur van de blootstelling en van de op de werkplek aanwezige hoeveelheid tot het voor de arbeid vereiste minimum. Paragraaf 30 geeft de tekst van de leden 1, 2 en 5 weer. [113]

Voor carcinogenen komt Regulation 7(5) daarbij, met de volledige omkasting van proces en hanteringssystemen voor zover redelijkerwijs praktisch uitvoerbaar, het verbod op eten, drinken en roken in mogelijk gecontamineerde zones, de regelmatige en bij concrete aanleiding uitgevoerde reiniging van vloeren, wanden en overige oppervlakken, de aanduiding van de betrokken zones en installaties en het opslaan, hanteren en verwijderen in gesloten en eenduidig gekenmerkte houders. Deze maatregelen gelden onafhankelijk van elke meting. [113]

De maatstaf voor de beheersing stelt Regulation 7(7). De beheersing geldt alleen dan als adequaat wanneer de beginselen van goede praktijk volgens Schedule 2A worden toegepast, een goedgekeurde grenswaarde op de werkplek niet wordt overschreden en bij een stof met de gevarenaanduiding H340, H350 of H350i of bij een in Schedule 1 opgenomen stof of procedé de blootstelling „reduced to as low a level as is reasonably practicable" is. De chromaten van de hier behandelde soort dragen H350 of H350i. De minimalisatieplicht geldt voor hen dus aanvullend op de grenswaarde en onafhankelijk van de vraag of die wordt nageleefd. [240]

De drie voorwaarden zijn met „and" verbonden. De naleving van de grenswaarde alleen vervult de beheersingsplicht daarom niet. De minimalisatie onder c hangt van haar kant niet af van de grenswaarde, omdat zij uitsluitend aanknoopt bij de gevarenaanduiding of bij Schedule 1; zij geldt daarmee ook waar geen grenswaarde is vastgesteld, en evenzo waar er een is vastgesteld en wordt nageleefd. De inleidende bijzin luidt „where there is exposure to a substance hazardous to health" en kent geen drempel. [240]

De maatstaf is anders geformuleerd dan die van het Unierecht. Artikel 5 lid 3 van richtlijn 2004/37/EG verlangt dat de blootstelling van de werknemers „zonder drempelwaarde wordt beperkt tot een zo laag mogelijk niveau als technisch uitvoerbaar is", en artikel 5 lid 4 bepaalt daarnaast dat de grenswaarden van bijlage III niet mogen worden overschreden. Het Britse voorschrift knoopt aan bij het redelijkerwijs praktisch uitvoerbare, het Duitse in § 10 lid 1 van de Gefahrstoffverordnung bij de stand van de techniek. [213, 199]

Schedule 2A noemt onder b het in aanmerking nemen van alle relevante opnameroutes, en wel inhalatie, opname via de huid en inslikken. Een luchtmeting alleen vervult deze eis niet. Onder a wordt verlangd procedés en werkzaamheden zo in te richten dat het vrijkomen en de verspreiding van de stof zo gering mogelijk blijven. [240, 41]

De maatstaf „so far as is reasonably practicable" werkt in de procedure anders dan hij lijkt. Section 40 van de Health and Safety at Work etc. Act 1974 legt de bewijslast bij de verdachte: in een strafprocedure wegens schending van een dergelijke plicht moet hij bewijzen dat meer dan het gedane niet praktisch uitvoerbaar of niet redelijkerwijs praktisch uitvoerbaar was. Wie zich erop beroept dat de substitutie niet praktisch uitvoerbaar was, moet dat aantonen. [239]

De grenswaarde 0,01 mg/m³ en de stand van de HSE-publicaties

EH40/2005 in de vierde uitgave 2020 noemt in tabel 1 de vermelding „Chromium (VI) compounds (as Cr)" met een tijdgewogen gemiddelde over acht uur van 0,01 mg/m³ en een waarde van 0,025 mg/m³ voor procesmatig gegenereerde blootstelling, met de aanwijzingen Carc, sen en BMGV. De voetnoot bij deze vermelding bepaalt: „‚Process generated' refers to exposures to Chromium (VI) Compounds generated as a result of a work process, such as fumes from welding." De verlaagde waarde geldt sinds 17 januari 2020; de inleidende opmerking van de uitgave noemt chroom(VI)-verbindingen onder de stoffen met een verlaagde grenswaarde. [242]

Tabel 2 van dezelfde uitgave noemt een biologische richtwaarde van 10 µmol chroom per mol creatinine in de urine, te bepalen na de ploeg. De waarde heeft betrekking op chroom en niet op de verbinding; paragraaf 24 behandelt wat daaruit volgt. [42]

De hogere waarde voor procesmatige blootstelling is voor dit feitencomplex van belang. De voetnoot noemt als voorbeeld het lassen. Of een chromaat dat zonder energietoevoer door de werkzaamheid aan het grensvlak is ontstaan en bij de demontage als stof vrijkomt, als procesmatig gegenereerd geldt, zegt EH40 niet. Een hulp bij de uitleg daarvan heb ik niet gevonden. Het antwoord beslist over een factor 2,5 in de toe te passen grenswaarde. [242]

Het informatieblad INDG346 van de instantie noemt voor chroom(VI)-verbindingen nog steeds 0,05 mg/m³. Dat is de waarde van vóór 17 januari 2020. De instantie heeft haar eigen informatieblad na de verlaging niet bijgewerkt; geraadpleegd op 17 oktober 2026 draagt het de oude waarde. Wie zich op de algemeen toegankelijke publicatie van de instantie verlaat, werkt met het vijfvoud van de geldende grenswaarde. [88]

De Europese Unie heeft haar bindende grenswaarde voor chroom(VI) per 17 januari 2025 verlaagd naar 0,005 mg/m³. Het Verenigd Koninkrijk volgt dat niet; de Britse instantie noemt voor chroom(VI) nog steeds 0,01 mg/m³. De Britse waarde ligt daarmee op het dubbele van de waarde van het Unierecht. [242, 41, 213]

EH40 kent voor chroom(VI) geen huidnotatie. De legenda van de uitgave vat deze notatie eng op: „Sk Can be absorbed through the skin. The assigned substances are those for which there are concerns that dermal absorption will lead to systemic toxicity." Bedoeld is de systemische werking na opname via de huid. De plaatselijke huidwerking van de chromaten, de chroomzweer en de allergische contactdermatitis, valt daar niet onder. De aanwijzing „sen" helpt hier evenmin verder, omdat dezelfde legenda haar beperkt tot „Capable of causing occupational asthma". Bijlage III van richtlijn 2004/37/EG kent voor chroom(VI) eveneens geen notatie „huid". De plichten tot huidbescherming volgen daarmee uit Schedule 2A en Regulation 7 en niet uit de tabel met grenswaarden. [242, 213]

De gevarenaanduidingen zetten de plichten in werking

De indelingsaanduidingen zijn in het Britse recht het aanknopingspunt. Regulation 2(1) bepaalt de voor de gezondheid gevaarlijke stof via de criteria van de CLP-verordening en definieert die in hetzelfde voorschrift als verordening (EG) nr. 1272/2008, waarvan artikel 6 lid 5, 11 lid 3, 12, 14, 18 lid 3 onder b, 23, 25 tot 29 en 35 lid 2 alsmede de bijlagen I tot VII „are to be read as amended from time to time". Regulation 7(7) onder c noemt dan afzonderlijke gevarenaanduidingen woordelijk. Onderdeel i omvat een stof met „the hazard statement H340, H350 or H350i" of een in Schedule 1 opgenomen stof of een daar opgenomen procedé, onderdeel ii een stof met „the hazard statement H334". [240]

Sinds 1 januari 2021 houdt de Britse instantie HSE als GB CLP Agency een eigen bindende lijst. Haar eigen weergave luidt: „all existing EU harmonised classification and labelling in force on 31 December 2020, are assimilated into Great Britain as GB mandatory classification and labelling (GB MCL)". Voor Noord-Ierland geldt de versie van het Unierecht verder, omdat „substances and mixtures placed on the market in Northern Ireland are subject to the EU CLP Regulation". [244]

Indexnummer	Stof	Indeling en gevarenaanduidingen
024-008-00-9	Calciumchromaat	Carc. 1B H350; Acute Tox. 4 H302; Aquatic Acute 1 H400; Aquatic Chronic 1 H410
024-017-00-8	Chroom(VI)-verbindingen, verzamelvermelding zonder bariumchromaat en zonder de elders in de bijlage genoemde verbindingen	Carc. 1B H350i; Skin Sens. 1 H317; Aquatic Acute 1 H400; Aquatic Chronic 1 H410

Indexnummer	Stof	Indeling en gevarenaanduidingen
024-018-00-3	Natriumchromaat	Carc. 1B H350; Muta. 1B H340; Repr. 1B H360FD; Acute Tox. 2 H330; Acute Tox. 3 H301; STOT RE 1 H372; Acute Tox. 4 H312; Skin Corr. 1B H314; Resp. Sens. 1 H334; Skin Sens. 1 H317; Aquatic Acute 1 H400; Aquatic Chronic 1 H410, met specifieke concentratiegrenzen van 0,2 procent voor H334 en voor H317

Daarmee grijpt Regulation 7(7) onder c, onderdeel i, in bij alle drie de vermeldingen, bij calciumchromaat via H350, bij de verzamelvermelding via H350i en bij natriumchromaat via H350 en H340. Bij natriumchromaat grijpt bovendien onderdeel ii in, via H334. [240, 243]

De opsomming in Regulation 7(7) onder c noemt H317 niet, en H314 noemt zij evenmin. De huidsensibilisatie zet de minimalisatieplicht daarmee niet in werking. Zij maakt de stof nog steeds tot een voor de gezondheid gevaarlijke stof volgens Regulation 2(1) onder a, omdat die elke gezondheidsgevarenklasse omvat. Beoordeling volgens Regulation 6 en beheersing volgens Regulation 7(1) gelden onveranderd, en Schedule 2A onder b verlangt het in aanmerking nemen van de opname via de huid. Het aanvullende regime hangt af van kanker, mutageniteit in geslachtscellen en sensibilisatie van de ademhalingswegen. [240]

Voor het hier behandelde geval is de verdeling van de aanduidingen over de beide zouten van belang. Calciumchromaat draagt in de Britse lijst noch H317 noch H334 noch H314. Natriumchromaat draagt alle drie, daarbij reproductietoxiciteit en orgaanschade bij herhaalde blootstelling. Beide ontstaan aan hetzelfde grensvlak, afhankelijk van het basische oxide van het isolatiemateriaal. Paragraaf 3 behandelt wat het verzamelbegrip op deze plaats verhult. [243]

Meting, gezondheidstoezicht en veertig jaar

Regulation 10(1) maakt de meting van een voorwaarde afhankelijk. Gemeten wordt wanneer de risicobeoordeling uitwijst dat de meting „requisite" is om de adequate beheersing in stand te houden of de gezondheid van de werknemers te beschermen. Regulation 10(2) staat het afzien toe wanneer de werkgever op andere wijze kan aantonen dat aan de eisen van Regulation 7(1) is voldaan. Een meetplicht als zodanig bestaat niet. [240]

Regulation 10(4) verwijst voor bepaalde stoffen en procedés naar Schedule 4 en Schedule 5 met vaste meetintervallen. De enige chroomvermelding daar luidt „Spray given off from vessels at which an electrolytic chromium process is carried on, except trivalent chromium", met een interval van veertien dagen. Het galvanisch verchromen moet daarmee verplicht worden bewaakt. Voor werkzaamheden aan geïsoleerde hete onderdelen bestaat geen overeenkomstige vermelding. [240]

Regulation 10(5) regelt de bewaring. Is de vastlegging representatief voor de persoonlijke blootstelling van met naam aanwijsbare werknemers, dan moet zij ten minste veertig jaar vanaf de laatste vermelding beschikbaar worden gehouden, in alle andere gevallen ten minste vijf jaar. De veertig jaar ontstaan dus alleen wanneer persoonsgebonden is gemeten. Zonder meting ontstaat geen register waaruit een belasting later zou kunnen worden gereconstrueerd, en een voorschrift dat overeenkomt met het Duitse expositieregister volgens § 10a van de Gefahrstoffverordnung kent het COSHH-regime niet. [240, 201]

Regulation 11 regelt het gezondheidstoezicht. Het is verplicht wanneer de werknemer bij het daar genoemde procedé wordt blootgesteld aan een in Schedule 6 genoemde stof, en bovendien wanneer een herkenbare ziekte of gezondheidsaantasting met de blootstelling kan samenhangen, het optreden daarvan onder de concrete omstandigheden voldoende waarschijnlijk is en voor de herkenning daarvan een geschikt, voor de werknemer weinig riskant onderzoek bestaat. Schedule 6 noemt over chroom alleen „Potassium or sodium chromate or dichromate. In manufacture." Calciumchromaat komt daar niet voor, en de beperking „in manufacture" omvat het onderhoud van een geïsoleerde installatie niet. De verplichte weg via Schedule 6 is daarmee gesloten; de tweede weg via de voorwaarden van Regulation 11(1) onder b blijft over. [240]

Regulation 11(3) verlangt een gezondheidsdossier met door de instantie goedgekeurde gegevens, ten minste veertig jaar vanaf de laatste vermelding beschikbaar te houden. De termijn komt overeen met de Duitse en met die van het Unierecht. Zij grijpt alleen in wanneer het gezondheidstoezicht ook daadwerkelijk is geopend. [240]

Regulation 9 verlangt de beschermingsmaatregelen in werkzame staat te houden en schrijft voor afzuiginstallaties een grondige keuring ten minste elke veertien maanden voor, voor ademhalingsbescherming behalve wegwerpuitvoeringen een grondige keuring met geschikte tussenpozen. De vastleggingen over deze keuringen moeten ten minste vijf jaar worden bewaard. [240]

Onderricht en de bescherming van derden

Regulation 12(1) verlangt van de werkgever die werkzaamheden uitvoert welke een werknemer aan een voor de gezondheid gevaarlijke stof kunnen blootstellen, geschikte en toereikende informatie, instructie en onderricht. Regulation 12(2) noemt de inhouden, waaronder de namen van de stoffen en de daaraan verbonden risico's, de toegang tot veiligheidsinformatiebladen, van toepassing zijnde grenswaarden, de wezenlijke resultaten van de risicobeoordeling, de te nemen voorzorgsmaatregelen, de resultaten van metingen en de samengevatte resultaten van het gezondheidstoezicht. [240]

Regulation 12(4) reikt verder dan het eigen bedrijf. De werkgever moet waarborgen dat elke persoon, „whether or not his employee", die werkzaamheden verricht in verband met zijn plichten uit deze voorschriften, geschikte en toereikende informatie, instructie en onderricht ontvangt. Externe bedrijven en zelfstandige ondernemers die aan een installatie werken, zijn daarmee ingesloten. [240]

Hetzelfde volgt uit de wet. Section 2(1) van de Health and Safety at Work etc. Act 1974 verplicht elke werkgever om zo ver als redelijkerwijs praktisch uitvoerbaar de gezondheid, veiligheid en het welzijn van zijn werknemers bij de arbeid te waarborgen; Section 2(2) onder c noemt daarbij informatie, instructie, onderricht en toezicht. Section 3(1) strekt de plicht uit tot personen die niet bij hem in dienst zijn en door zijn werkzaamheid kunnen worden geraakt. Section 7 verplicht elke werknemer tot passende zorgvuldigheid voor zichzelf en voor anderen en tot samenwerking met de werkgever bij de nakoming van diens plichten. [239]

Toezicht, strafbaar feit en meldingsplicht

Het toezicht werkt met twee soorten bevelen. Volgens Section 21 kan een inspecteur een improvement notice uitvaardigen wanneer een voorschrift wordt overtreden, met een termijn voor herstel. Volgens Section 22 kan hij een prohibition notice uitvaardigen wanneer een werkzaamheid met het gevaar van zwaar lichamelijk letsel is verbonden; de notice kan onmiddellijk werking krijgen en verbiedt de werkzaamheid tot de gebreken zijn verholpen. Een melding van werkzaamheden met carcinogenen aan de overheid vóór aanvang kent het Britse recht niet. [239]

De plichten zijn strafrechtelijk gesanctioneerd. Paragraaf 30 geeft het kader weer: overtredingen volgens Section 33(1) onder a en c zijn naar keuze in de summiere procedure of in de procedure op tenlastelegging vervolgbaar, in de procedure op tenlastelegging met een onbegrensde geldstraf en een vrijheidsstraf tot twee jaar volgens Schedule 3A. [112]

De straftoemeting voor ondernemingen volgt een eigen richtsnoer. Het richtsnoer van de Sentencing Council voor overtredingen van de werkgeversplichten en van arbeidsomstandighedenvoorschriften geldt sinds 1 februari 2016, laatstelijk bijgewerkt op 5 oktober 2026. Het vormt een matrix van mate van schuld en schadecategorie en trapt de boetebereiken naar de omzet van de onderneming; het totale kader reikt van 50 pond tot 10 miljoen pond. Het optreden van schade is geen voorwaarde, omdat het richtsnoer de waarschijnlijkheid van de schade en het aantal betrokkenen zelfstandig waardeert. [251]

Naast de straf staat de kostenvergoeding. Volgens Regulation 23 en 24 van de Health and Safety and Nuclear (Fees) Regulations 2022 brengt de instantie de kosten van een interventie in rekening wanneer een inspecteur een wezenlijke schending van een arbeidsomstandighedenvoorschrift vaststelt, begrensd tot de werkelijk gemaakte redelijke kosten. Een wettelijk vastgelegd uurtarief bestaat niet; de instantie publiceert het, met stand 1 april 2026 bedraagt het 188 pond per uur. Regulation 24(13) zondert werkzaamheden die onder een asbestlicentie worden uitgevoerd van deze kostenvergoeding uit. Voor chroom(VI) bestaat geen licentie en daarmee ook geen overeenkomstige vrijstelling. [250]

De meldingsplicht knoopt aan bij de diagnose. Volgens Regulation 9 van de Reporting of Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations 2013 moet de werkgever de instantie melden wanneer hij een schriftelijke diagnose over een van de in Schedule 1 genoemde ziekten heeft en de betrokken persoon de daarbij behorende werkzaamheid uitoefent. Schedule 1 deel 1 nummer 3 noemt beroepsmatig veroorzaakte kanker. Regulation 8 omvat beroepsdermatitis en beroepsasma. Een melding van de blootstelling als zodanig, zonder diagnose, is niet voorzien. [246]

Afval

De indeling loopt via een verwijzingsketen. Regulation 4(1) van de Hazardous Waste (England and Wales) Regulations 2005 bepaalt het begrip gevaarlijke afvalstof via de lijst van beschikking 2000/532/EG in de telkens geldende versie. De voorheen daarnaast staande List of Wastes (England) Regulations 2005 zijn per 1 juli 2015 ingetrokken. Voor Wales geldt een eigen verordening uit het jaar 2005, voor Schotland de Special Waste Regulations 1996 in de versie van 2004, voor Noord-Ierland de Hazardous Waste Regulations (Northern Ireland) 2005. [247, 258]

De afvalstoffencodes zijn dezelfde als op het continent. Voor gedemonteerd isolatiemateriaal grijpt de spiegelvermelding 17 06 03*, „other insulation materials consisting of or containing hazardous substances". Voor bekledingen en vuurvaste materialen komen 16 11 03* en 16 11 05* in aanmerking, voor chromaten de vermelding 16 09 02*. Een spiegelvermelding verlangt een toetsing van de gevaarrelevante eigenschappen; zonder toetsing is de afvalstof niet als niet-gevaarlijk ingedeeld. [247]

De beoordelingsdrempel staat in de technische leidraad WM3. De gemeenschappelijke leidraad van de milieuautoriteiten van Engeland, Wales, Schotland en Noord-Ierland, eerste uitgave in de versie v1.2.GB van oktober 2021, stelt voor de gevaarrelevante eigenschap HP 7, kankerverwekkend, bij stoffen van categorie 1A of 1B met H350 een concentratiegrens van 0,1 massaprocent. De leidraad kent voor deze eigenschap geen ondergrens voor inaanmerkingneming waaronder een gehalte buiten beschouwing zou blijven. [248]

Voor de omgang geldt een verbod op vermengen. Regulation 19 van de Hazardous Waste Regulations verbiedt het vermengen van verschillende categorieën gevaarlijke afvalstoffen alsmede het vermengen van gevaarlijke met niet-gevaarlijke afvalstoffen, en Regulation 20 bepaalt de uitzonderingen en de plicht tot scheiding voor zover technisch en economisch uitvoerbaar. Een uitdrukkelijk verdunningsverbod naar het model van het Duitse § 9a van het Kreislaufwirtschaftsgesetz bevat de verordening niet. De Regulations 35 en 36 verlangen voor elk vervoer een consignment note met gegevens over producent, afvalstoffencode en bestemming. [247, 210]

Daarboven ligt de algemene zorgplicht. Section 34 van de Environmental Protection Act 1990 verplicht ieder die afval produceert, vervoert, behandelt of verwijdert tot passende maatregelen opdat het afval niet ongeoorloofd wordt behandeld, niet ontsnapt en alleen aan bevoegde personen met een juiste schriftelijke beschrijving wordt overgedragen. De juiste beschrijving vooronderstelt de juiste indeling. [249]

Stoffenrecht: GB CLP en UK REACH

Sinds 1 januari 2021 houdt de instantie HSE als GB CLP Agency een eigen bindende indelingslijst. De GB mandatory classification and labelling list, gepubliceerd op 17 februari 2025 en laatstelijk bijgewerkt op 22 september 2025, bevat calciumchromaat onder het indexnummer 024-008-00-9 als Carc. 1B met H350, natriumchromaat onder 024-018-00-3 en de verzamelvermelding voor chroom(VI)-verbindingen onder 024-017-00-8 met H350i. De indelingen komen daarmee overeen met die van het Unierecht. [243]

Het autorisatierecht valt uiteen. In UK REACH noemt bijlage XIV natriumchromaat onder vermelding 22. Calciumchromaat staat noch in bijlage XIV noch op de kandidaatslijst. Geen van de beperkingen omvat de in-situvorming aan een onderdeel. De autorisatieplicht knoopt bovendien aan bij het gebruik van een in de handel gebrachte stof en niet bij wat aan het grensvlak ontstaat; paragraaf 25 behandelt dit punt. De volgens EU-REACH verleende autorisaties voor chroom(VI)-stoffen zijn volgens opgave van de instantie op 21 september 2024 verlopen. [245]

Een Britse procedure die overeenkomt met het door de ECHA in april 2025 voorgestelde Uniebrede gebruiksverbod is mij niet bekend. De Britse stand is daarmee: indeling als in de Unie, autorisatie en beperking enger. [245, 216]

De afstand tot het asbestregime

De Control of Asbestos Regulations 2012 tonen wat een rechtsorde voor een erkend procesrisico voorschrijft. Regulation 5 verlangt vóór sloop-, onderhouds- en soortgelijke werkzaamheden de vaststelling van aanwezigheid, aard en toestand van het asbest en bepaalt voor het geval van twijfel dat van zijn aanwezigheid moet worden uitgegaan. Regulation 6 verlangt de vastlegging van de wezenlijke resultaten onafhankelijk van de bedrijfsgrootte. Regulation 7 verlangt een schriftelijk werkplan met voorgeschreven minimuminhoud. [123, 252]

Verder gaat het met licentie en melding. Regulation 8 maakt de licentieplichtige werkzaamheden afhankelijk van een vergunning van de instantie, met een aanvraagtermijn van 28 dagen vooraf en een geldigheidsduur van ten hoogste drie jaar. Regulation 9 verlangt de melding van licentieplichtige werkzaamheden veertien dagen voor aanvang. Regulation 10 schrijft de inhouden van het onderricht in elf afzonderlijk benoemde punten voor, van de eigenschappen van de stof via decontaminatie en afvalhantering tot de noodprocedures. [252]

Meting en vrijgave zijn geformaliseerd. Regulation 19 verlangt de meting van de asbestvezelconcentratie met regelmatige tussenpozen en bij elke wijziging die de blootstelling kan beïnvloeden. Regulation 20 en Regulation 21 verlangen voor meting, vrijgavecertificaat en monsteranalyse de accreditatie volgens ISO 17025 en voor de vrijgave aanvullend volgens ISO 17020. De leidraad HSG248 in de tweede uitgave van mei 2021 beschrijft de vrijgaveprocedure in vier stappen en stelt voor het luchtmonster in de omkasting een getalsmatig criterium: alle resultaten moeten onder 0,010 vezels per milliliter liggen. [252, 253]

Voor chroom(VI) bestaat van dit alles niets. Er is geen onderzoeksplicht vóór het onderhoud en geen vermoedensregel, geen voorgeschreven werkplan, geen licentie, geen melding, geen catalogus van inhouden van het onderricht, geen meetplicht als zodanig, geen geaccrediteerde laboratoria, geen vrijgaveprocedure en geen reinheidscriterium voor de hervrijgave van een oppervlak of een onderdeel. Beide stoffen zijn volgens hetzelfde voorschrift carcinogenen van categorie 1A of 1B. De procedurele diepgang verschilt volledig. [240, 252]

Wat de Britse regelgeving benoemt

Geen Britse rechtshandeling noemt de chromaatvorming aan geïsoleerde chroomgelegeerde hete onderdelen. De enige chroomvermelding in de meetintervallen van de COSHH Regulations betreft het galvanisch verchromen, de enige chroomvermelding in het gezondheidstoezicht de vervaardiging van kalium- en natriumchromaat. Isolatie, hoge temperatuur en hete onderdelen komen in de verordening niet voor. De afvalstoffenlijst omvat het feitencomplex alleen via de spiegelvermelding voor isolatiemateriaal, zonder chroom te noemen. [240, 247]

De publicaties van de instantie blijven daarbij achter. De bijbehorende Approved Code of Practice L5 in de zesde uitgave 2013 omvat in de punten 57, 69 en 87 uitdrukkelijk stoffen die als afval of bijproduct ontstaan of uit procedés vrijkomen; een zoekopdracht in de tekst naar „insulat" levert in dit document geen treffer op. Chroom verschijnt daar bij het galvaniseren en de chromaatproductie. Het informatieblad INDG346 somt onder de vraag waar chroom(VI) voorkomt de vervaardiging en het gebruik van roestvast staal en andere chroomlegeringen met inbegrip van lassen en snijden, pigmenten voor verven en keramiek, katalysatoren, kleurstofproductie, het tanen van leer en het galvaniseren op. De isolatie ontbreekt in deze opsomming. Een publicatie van de instantie die de ontstaansroute benoemt, heb ik niet gevonden. [241, 88]

Benoemd is het feitencomplex van andere zijde. Het Safety Bulletin Summary van de Britse brancheorganisatie Energy UK van september 2019 beschrijft het volledig. Het noemt als plaatsen hogedrukstoomleidingen, brandkamercomponenten en rookgaswegen van gasturbines wanneer calciumhoudende isolatie of calciumhoudende scheidingsmiddelen worden gebruikt, en houdt als voorwaarden voor het ontstaan vast: „1. Calcium based product is present 2. Temperatures greater than 300°C 3. Chromium Steel is present." Het wijst op de gele, zwavelachtige verkleuring die onder natriumdamplicht slecht te herkennen is, en beveelt aan om op alle centrales van de aanwezigheid van chroom(VI) uit te gaan. Paragraaf 26 behandelt de daar genoemde praktijk met kruipolie. [92]

Daarbij komen twee vakinstellingen. Het arbeidsgeneeskundige onderzoeksinstituut IOM noemt in een ongedateerd informatieblad „calcium containing insulation systems" onder de vindplaatsen en houdt vast: „Cr VI dust can be commonly found on high-temperature insulated parts such as large engines." Het Energy Institute heeft in zijn Toolbox een pagina die de vorming aan roestvast staal in contact met calciumoxidehoudende materialen zoals schroefdraadafdichtingsmiddelen of isolatie beschrijft en op de toename bij verhoogde temperaturen wijst; het materiaal is volgens opgave van de pagina van Energy Safety Canada overgenomen. [254, 255]

De bevoegde brancheorganisatie zwijgt. De Thermal Insulation Contractors Association publiceert onder haar technische documenten materiaal over brandschotten, leidingdoorvoeren, warmtepompen en buitenluchtkanalen. Over chroom(VI) of chromaten is daar niets te vinden. De vereniging van opleidingsaanbieders UKATA heeft een leerplan voor chroom(VI)-bewustwording dat lassen, galvaniseren, pigmentproductie, gieterij en het verwijderen van coatings noemt en de isolatie weglaat. De ondernemingen die deze werkzaamheden uitvoeren, ontvangen hun branchedocumenten daarmee zonder de hier behandelde ontstaansroute. [256, 257]

De situatie is daarmee de volgende. Het mechanisme is in het Verenigd Koninkrijk sinds september 2019 benoemd, met drempeltemperatuur en reactiepartner, in een ledendocument van een brancheorganisatie van de elektriciteitsproductie dat op de website van deze organisatie niet te vinden is. De instantie heeft het in geen van haar publicaties opgepakt. Het ontbreken van een aanwijzing van de overheid verandert niets aan de plichten, omdat deze afhangen van het stofbegrip en niet van een lijst. [92, 240]

Wat daaruit voor een onderneming in het Verenigd Koninkrijk volgt

De plichten beginnen vóór de arbeid. Regulation 6(1) verbiedt de aanvang zonder geschikte en toereikende beoordeling, en Regulation 6(2) onder e noemt het onderhoud met het potentieel van hoge blootstelling als eigen onderwerp van de beoordeling. Een beoordeling die de ontstaansroute aan geïsoleerde chroomgelegeerde hete onderdelen niet beschouwt, hoewel de materialen van de onderdelen en de bedrijfstemperaturen bekend zijn, vervult deze eis niet. [122]

De maatregelen volgen een vaste rangorde. Te toetsen is eerst de vervanging volgens Regulation 7(2), dan de inrichting van procedés en de beheersing bij de bron volgens Regulation 7(3), en pas daarna de persoonlijke beschermingsmiddelen. Voor carcinogenen komen de maatregelen van Regulation 7(5) daarbij, van de omkasting tot de reiniging van de oppervlakken. Daartoe behoort bij een stof met H350 of H350i de minimalisatie tot het redelijkerwijs praktisch uitvoerbare minimum volgens Regulation 7(7) onder c, die aanvullend op de grenswaarde geldt. Wie de substitutie voor niet praktisch uitvoerbaar houdt, draagt daarvoor volgens Section 40 van de wet in de procedure de bewijslast. [113, 240, 239]

Bij de grenswaarde moet op de stand worden gelet. Maatgevend is EH40 in de vierde uitgave 2020 met 0,01 mg/m³ als tijdgewogen gemiddelde over acht uur, niet de waarde van 0,05 mg/m³ uit het niet bijgewerkte informatieblad van de instantie. De naleving van de grenswaarde beëindigt de plichten niet, omdat Regulation 7(7) de minimalisatie daarnaast stelt en Schedule 2A het in aanmerking nemen van huid en inslikken verlangt. [242, 240]

De documentatie richt zich naar de bedrijfsgrootte. Vanaf vijf werknemers moeten de wezenlijke resultaten van de beoordeling en de genomen stappen volgens Regulation 6(4) worden vastgelegd. Wordt persoonsgebonden gemeten, dan moeten de vastleggingen veertig jaar beschikbaar worden gehouden. Daartoe behoort de toetsing of het gezondheidstoezicht volgens Regulation 11(1) onder b is geopend, omdat de weg via Schedule 6 voor dit feitencomplex niet openstaat. [240]

Het onderricht reikt verder dan het eigen personeel. Volgens Regulation 12(4) moet elke persoon worden ingesloten die werkzaamheden verricht in verband met de plichten van de werkgever, in dienst of niet. Daartoe behoren de isolatiebedrijven, de onderhoudsbedrijven en de zelfstandige ondernemers die aan dezelfde installatie werkzaam zijn. Section 3(1) van de wet verplicht de exploitant daarnaast tegenover ieder die door zijn werkzaamheid kan worden geraakt. [240, 239]

Het afval moet vóór de verwijdering worden ingedeeld. Gedemonteerd isolatiemateriaal valt onder een spiegelvermelding waarvan de indeling een toetsing verlangt; de drempel voor de kankerverwekkende eigenschap ligt volgens WM3 bij 0,1 massaprocent. Daartoe behoren de scheiding volgens Regulation 19 en 20 en de consignment note volgens Regulation 35 en 36. De schriftelijke beschrijving volgens Section 34 van de Environmental Protection Act 1990 moet juist zijn. [247, 248, 249]

Op een benoeming door de overheid hoeft niet te worden gewacht. De plichten uit Regulation 2(1), 6 en 7 hangen af van de eigenschap van de stof en grijpen in onafhankelijk van de vraag of de instantie de ontstaansroute in een publicatie vermeldt. De bewijslastregel van Section 40 werkt in dezelfde richting, omdat zij het bewijs van de grens van het praktisch uitvoerbare bij de werkgever legt. Voor de elektriciteitsproductie ligt de informatie sinds september 2019 bij de eigen brancheorganisatie. [240, 239, 92]

39. Bijlage: isolatiematerialen met basische oxiden en de plaatsen waar zij zijn ingebouwd

De volgende in de handel verkrijgbare isolatiematerialen bevatten de beschreven basische oxiden, die een thermochemische in-situvorming van de beschreven chroom(VI)-verbindingen kunnen veroorzaken. Het gaat daarbij niet om vermoedens, maar om gevolgtrekkingen uit opgaven van fabrikanten, waarschuwingsmeldingen van gebruikers en eigen veldobservaties.

De bewijskolom noemt de herkomst van het gegeven. H staat voor een opgave van een fabrikant of uit een norm, W voor een waarschuwingsmelding of een aanwijzing van een gebruiker, F voor een eigen veldobservatie. Waar een fabrikant geen cijfers publiceert, staat dat uitdrukkelijk in de tabel.

De gehaltegegevens hebben betrekking op de oxideanalyse van het isolatiemateriaal in leveringstoestand. Of en in welke mate de oxiden aan het grensvlak beschikbaar worden, is onderwerp van de paragrafen 9 tot en met 12 van deze analyse.

Isolatiematerialen met een gehalte aan calcium-, natrium- en overige basische oxiden

Materiaal en handelsvorm	Gedocumenteerd gehalte aan basische oxiden	Bewijs
E-glas, garen en weefsel voor printplaten en luchtvaart	CaO 16 tot 25 %, MgO 0 tot 5 %, Na_2O en K_2O 0 tot 2 %	H [168]
E-glas, algemene toepassingen: weefsel, band, naaldmat, roving	CaO en MgO samen 16 tot 30 %, alkalimetaaloxiden 0 tot 2 %	H [168]
E-glas, opgave van de fabrikant voor textielvezels en weefsels	CaO 16 tot 25 %, Na_2O en K_2O 0 tot 1 %, MgO 0 tot 5 %	H [169]
ECR-glas, boorvrije modificatie van het E-glas	geen eigen oxidetabel in de norm; die definieert ECR alleen als boorvrije modificatie van het E-glas. Een vergelijking van beide glassoorten geeft voor boorhoudend E-glas CaO 16 tot 25 % en voor boorvrij glas 17 tot 25 %; in de directe vergelijking van hetzelfde werk kwam het boorvrije glas op CaO 22,3 tot 22,9 % tegen 19,55 tot 22,35 % bij het borosilicaatglas	H [168, 170]
Minerale wol, steen- en glaswol: mat, draadnetmat, plaat, buisschaal	Na_2O, K_2O, CaO, MgO en BaO samen meer dan 18 gewichtsprocent; de waarde maakt deel uit van de stofidentiteit volgens bijlage VI index 650-016-00-2, niet een eigenschap van een charge	H [171]
AES-wol, stofdefinitie van de fabrikanten	calciumoxide en magnesiumoxide samen 18 tot 43 %, siliciumdioxide 50 tot 82 %	H [172]
AES-wol, mat (Superwool Plus Blanket)	CaO 26 tot 32 %, MgO 3 tot 7 %	H [172]
AES-wol, plaat (Superwool Plus Board)	CaO en MgO samen 31 %	H [172]
AES-wol, mat (Insulfrax LT)	CaO 27 tot 33 %, MgO 2,5 tot 6,5 %	H [173]
AES-wol, mat (Insulfrax 1300 HT)	CaO en MgO samen 21 tot 27 %	H [173]

Materiaal en handelsvorm	Gedocumenteerd gehalte aan basische oxiden	Bewijs
AES-wol, magnesiumsilicaatvariant (Isofrax)	MgO 18 tot 27 %, geen gedeclareerd CaO-aandeel	H [173]
Aluminiumsilicaatwol en keramische vezel (ASW, RCF): mat, plaat, papier, module	Na_2O, K_2O, CaO, MgO en BaO samen kleiner dan of gelijk aan 18 gewichtsprocent; scheidingswaarde ten opzichte van index 650-016-00-2. De datasheets van de fabrikanten geven geen cijfers voor alkali- en aardalkalioxiden	H [175, 78, 174]
Calciumsilicaat, plaat en vormstuk	CaO 38 tot 43 %	H [176]
Calciumsilicaat, buisschaal en blok	synthetisch calciumsilicaat ten minste 90 %; een uitsplitsing in CaO en SiO_2 wordt niet gepubliceerd	H [177]
Perliet, geëxpandeerd: stortmateriaal en vormstuk	Na_2O 3,7 %, K_2O 5,3 %, CaO 0,5 %, MgO 0,1 %. De analyse betreft een filterperliet; voor isolatiematerialen voor leidingen en tanks publiceren de fabrikanten geen oxideanalyse	H [178]
Vermiculiet, geëxpandeerd: stortmateriaal en plaat	MgO 21,5 tot 25,5 %, K_2O 3 tot 6 %, CaO 2,0 tot 6,0 %; het datablad vermeldt daarnaast Cr_2O_3 met 0,01 tot 0,15 %	H [179]
Aerogelmat	geen calcium- en geen natriumverbinding gedeclareerd; meer dan 50 % textielglas zonder chemische specificatie. Het blad van de tot 650 °C geclassificeerde mat noemt een vezelvlies, de oudere versie een glasvezelvlies; een oxideanalyse van dat glas staat op geen van de bladen. De tot ongeveer 650 °C geclassificeerde matten dragen volgens eigen waarneming een E-glascomponent, waarvoor de norm CaO 16 tot 25 % noemt	H [180, 181, 168], F
Basaltvezel, weefsel en naaldmat	de fabrikant publiceert geen uitsplitsing van de oxiden. Algemeen toegankelijke opgaven voor basaltvezel noemen SiO_2 53 %, Al_2O_3 18 %, Fe_2O_3 10 %, CaO 9 %, MgO 5 %, Na_2O 3 %, K_2O 1 % en TiO_2 1 %; een overzichtsartikel geeft voor basaltgesteente CaO 8,59 %, MgO 4,63 %, Na_2O 3,34 %, K_2O 1,46 % en Cr_2O_3 0,06 %	H [182, 183, 184]
Papier en vilt van keramische vezels	bindmiddel 2 tot 15 % organisch of 50 tot 70 % anorganisch; de stofidentiteit van het anorganische bindmiddel wordt niet genoemd	H [174]
Montagepasta voor hete onderdelen, calciumhoudend	calciumhydroxide 10 tot minder dan 20 massaprocent	H [185]

Twee regels verdienen een opmerking. De stofdefinitie van de minerale wol en die van de keramische vezel zijn via hetzelfde oxidegehalte van elkaar afgebakend: meer dan 18 gewichtsprocent leidt tot minerale wol, tot en met 18 gewichtsprocent tot keramische vezel. Het gehalte aan basische oxiden is daarmee geen bijkomend kenmerk, maar het onderscheidende kenmerk van de twee stofgroepen. En de brutoformule van bijlage VI noemt natrium-, kalium-, calcium-, magnesium- en bariumoxide uitdrukkelijk. [171, 175]

Toepassingen met deze isolatiematerialen

Toepassingsgebied	Geïsoleerde onderdelen, isolatiemateriaal en handelsvorm	Temperatuur	Bewijs
Jachten en superjachten	Uitlaatgasleiding, uitlaatgasverzamelaar, droge turbocompressor en indicatorventielen; isolatiemat met opgeklonken plaatbekleding, metallieke isolatiebekleding in cassette-uitvoering, afneembare textiele isolatieschalen. Afneembare secties zijn uitdrukkelijk voor het onderhoud bedoeld	oppervlak onder 220 °C vereist; onderdelen in de motorruimte tot 750 °C	H [186, 187]
Containerschepen en handelsschepen, tweetaktmotor	Uitlaatgasverzamelaar en uitlaatgasleidingen; isolatie met afdekking van verzinkt plaatstaal	in het document niet genoemd	H [188]
Containerschepen en handelsschepen, viertaktmotor	Uitlaatgasleiding vanaf de uitlaat van de turbocompressor via uitlaatgasketel en geluiddemper tot de schoorsteen, daarnaast de SCR-installatie; isolatiekussens op de turbocompressor, doorlopende isolatie vanaf 30 mm dikte met dekplaat, SCR-isolatie demontabel uitgevoerd	turbine-uitlaat 390 °C in normaal bedrijf, 450 °C in het ontwerp, 554 °C in noodbedrijf	H [188, 189], W [137]
Cruiseschepen	Hulpdiesels, uitlaatgasleidingen en uitlaatgasreiniging; dezelfde motorseries en dezelfde isolatie-uitvoering als bij het viertaktbedrijf in de handelsscheepvaart, afneembare matrassen op appendages	als viertaktmotor	F
Locomotieven en spoorvoertuigen	Uitlaatgasturbocompressor, uitlaatspruitstuk, volledige uitlaatgastrajecten en uitlaatgasnabehandeling; textiel isolatievormstuk volgens de brandveiligheidsnorm EN 45545, integrale isolatie met buitenschaal van edelstaalfolie of dunne staalplaat, genaaide isolatiematten met aardalkalisilicaat, E-glas of silica als isolatiemateriaal en edelstaalfolie of nikkelbasisfolie aan de hete zijde, uitdrukkelijk afneembaar en herbruikbaar	vormstuk tot 650 °C; mattypen tot 816 °C en tot 1.149 °C	H [187, 190]
Bouwmachines en mobiele werkmachines	Turbocompressor, spruitstuk, uitlaatsysteem, deeltjesfilter- en SCR-modules, bodemisolatie en hittebescherming in de motorruimte; driedimensionale vezelvormstukken met buitenschalen van edelstaalfolie of dunne staalplaat	onderdelen tot 750 °C, reductie van het oppervlak tot onder 220 °C	H [187]
Warmtekrachtinstallaties en warmtekrachtkoppeling	Uitlaatsysteem en uitlaatgasturbocompressor van de gasmotor; metallieke isolatiebekleding als volledig afneembare modules	uitlaatgas 421 °C bij volle last, 476 °C bij halve last	H [191, 187]
Netvervangende en noodstroominstallaties, ook in datacenters	Uitlaatgasleiding van het dieselaggregaat; buisschalen van calciumsilicaat of minerale wol, in twee lagen aangebracht, met mantel, bandages en bindraad van edelstaal 304. De fabrikant beveelt voor dit geval uitdrukkelijk calciumsilicaat aan, omdat het organische bindmiddel van de minerale wol vanaf ongeveer 177 °C uitbrandt	371 °C tot bijna 538 °C	H [192]

Toepassingsgebied	Geïsoleerde onderdelen, isolatiemateriaal en handelsvorm	Temperatuur	Bewijs
Gas- en stoomturbines	Uitlaatgaskanaal, overgangsstuk, turbinehuis, afgassenketel, geluiddemper en schoorsteen; binnenisolatie achter linerplaten van staal 304 of 409, flexibele isolatiekussens, vezelisolatiematten en vezelmodules in de afgassenketel, isolatiematrassen op het huis, afneembaar en herbruikbaar	huis boven 500 °C, uitlaatgaskanaal boven 480 °C, afgassenketel tot 1.093 °C	H [193], W [194]
Wegvoertuigen, vrachtwagens en personenauto's	Hitteschilden, gegoten spruitstukken, uitlaatsysteem, deeltjesfilter, SCR en lagermatten in de katalysator; hitteschild in cassette-uitvoering met dekplaat of folie van edelstaal of aluminium en inwendige isolatievulling, naaldmat als lagermat	hitteschild tot 1.100 °C afhankelijk van het materiaal; piektemperatuur aan het spruitstuk 1.000 °C	H [195, 196, 197, 48]
Industrieovens, ketels, afvalverbranding en biomassa-installaties	Ketelwanden, rookgaskanalen en leidingen; draadnetmatten van steenwol met verzinkt of edelstalen draadvlechtwerk	tot 640 °C, zware uitvoering tot 649 °C	H [198]
Chemische installaties en raffinaderijen	Leidingen van austenitische staalsoorten, appendages en flenzen; draadnetmatten, buisschalen en afneembare kappen	tot 640 °C, buisschalen tot 650 °C	H [198]

De materiaalzijde is in dezelfde documenten becijferd. Roestvast staal begint volgens de Europese materiaalnorm bij 10,5 procent chroom. Voor spruitstuk, buis, katalysator en geluiddemperhuis noemt een fabrikant het ferritische materiaal 1.4509 met 17,80 procent chroom en oxidatiebestendigheid tot 950 °C alsmede 1.4521 met 19 procent chroom tot 1.025 °C; de piektemperatuur aan het spruitstuk geeft dezelfde fabrikant met 1.000 °C aan. In het uitlaatgaskanaal van de gasturbine bestaan de linerplaten uit staal 304 of 409, de bevestiging uit 304. Aan de uitlaatgasleiding van het noodstroomaggregaat bestaan mantel, bandages en bindraad uit 304. [197, 194, 192]

Daarmee liggen beide zijden van de in paragraaf 9 beschreven reactie in dezelfde onderdelen naast elkaar: het chroomgelegeerde staal als chroombron en het isolatiemateriaal als drager van de basische oxiden. De tabellen zeggen niets over de mate waarin de reactie in het concrete geval verloopt. Zij zeggen waar de voorwaarden daarvoor aanwezig zijn.

Voor de uitlaatsystemen van de viertaktmotoren bestaat een fabrikantenwaarschuwing. Wärtsilä noemt in de Instruction WS00Q563 Cr(VI)-residu op onderdelen van het uitlaatsysteem, op de platen van de isolatiekasten van de uitlaat en op turbocompressoronderdelen, en noemt calciumgebaseerde isolatie en calciumhoudende montagepasta als calciumbron vanaf 400 °C. [137]

40. Conclusie

Grondslagen en isolatietechniek

Calcium- en natriumchromaat zijn onder basisch-oxiderende thermische omstandigheden doelgericht vormbare chroom(VI)-verbindingen. Het historische octrooischrift en de experimentele grensvlakbevindingen onderbouwen een voorzienbaar stofomzettingsproces dat bij de materiaalkeuze en de risicobeoordeling in aanmerking moet worden genomen.

De systemische fout ligt daar waar thermische isolatieprestaties, vezelgedrag en leveringstoestand als toereikende veiligheidsbeoordeling worden behandeld, terwijl het in situ ontstaan van gevaarlijke stoffen tijdens het bedrijf onvoldoende in aanmerking wordt genomen. Basische oxidebestanddelen rechtvaardigen een aanwijzing voor gevaar; bescherming en preventie mogen noch uitsluitend op luchtwaarden, noch op zichtbare afzettingen of positieve sneltests worden afgestemd.

Transport via de gasfase en calcium-/natriumafhankelijke chromaatvorming vullen elkaar aan. Toshiba onderzoekt preventie; de ECFIA-opdracht toont aan dat de vraag binnen de Europese fabrikantenvereniging bekend was. [11, 26, 35-38]

Voertuigen

Voertuigcontaminatie betreft bovendien hantering, onderhoud, duurzaam herstel en kosten voor de eigenaar. Kooprechtelijke aanspraken wegens gebreken en veiligheidsrechtelijke maatregelen van fabrikanten bieden in de EU eigen toetsingswegen. [22, 23, 46, 47]

Verbrandingsresten

Verbrandingsresten met inbegrip van roosteras, de fase van het uit bedrijf nemen en crematie-as breiden de beoordeling uit tot bedrijf, revisie en milieuroutes. De omzetting van de gedocumenteerde kennis in analytiek, bescherming en informatie moet worden getoetst. [30-34, 43-45]

Naschrift van de auteur

De uitspraak dat calciumoxide betrokken is bij het ontstaan van kankerverwekkende chromaten klinkt eerst onevenredig. Een stof die in de isolatietechniek als zelfsprekend bestanddeel geldt en in geen enkele kankerbeschouwing voorkomt, zou de oorzaak zijn van een bevinding die hele installatiebestanden betreft. Wie dat voor het eerst hoort, mag sceptisch zijn. Thermodynamisch beschreven en experimenteel bevestigd is het proces echter sinds decennia, en de bewijzen daarvoor staan in deze expertise.

Mijzelf ging het in 2019 niet anders. Ik had de samenstellingen van glasweefsels, minerale en basaltwollen decennialang gedocumenteerd en de vraag naar het calcium als reactiepartner desondanks nooit gesteld. Geen van mijn leveranciers kon haar toen beantwoorden. Pas uit octrooiliteratuur, grensvlakonderzoeken, documenten van fabrikanten en eigen veldbevindingen bleek waar het om gaat en welke omvang de zaak heeft.

De praktische consequentie van deze weergave is aanzienlijk. Calciumoxidehoudende isolatiematerialen zijn in de hogetemperatuurtechniek standaard en liggen aan ketels, turbines, motoren, uitlaatgassystemen, scheepsaandrijvingen en bouwmachines. Een betrouwbare hoeveelheidsopgave bestaat niet, omdat dit bestand nooit onder de vraagstelling van de chromaatvorming is geïnventariseerd. Zolang het betrokken aandeel niet is afgebakend, laat zich ook niet prioriteren.

Ik begrijp ook de terughoudendheid die ik bij huidige fabrikanten van isolatiematerialen waarneem om de problematiek aan te spreken en te communiceren. En ik kan mij als langjarige leverancier het dilemma van de motoren- en turbinefabrikanten alsmede van de met hen samenwerkende isolatiebedrijven voorstellen.

Ik weet evenzo hoe het in een afvalverbrandingsinstallatie, aan een warmtekrachtinstallatie, in het centralebedrijf of in een machinekamer tot spanningen komt wanneer beschermingsmaatregelen worden ingevoerd die het ingeslepen werkproces veranderen. Zij raken mensen die hun werk jarenlang zonder aanmerking hebben uitgevoerd, en zij roepen tegelijk de vraag naar de blootstelling in het verleden op.

Geen van deze punten verandert iets aan de zaak. Zij mogen ons er niet van afhouden de veiligheid voor mens en milieu verder na te streven en de noodzakelijke maatregelen in te leiden. Wij hebben al eens, ook in de hier besproken gebieden, veel te lang weggekeken. Zoals aan het begin aangeduid: moge de geschiedenis zich niet herhalen.

Markus Sommer

41. Openbaarmaking

Ik werk sinds 1988 in de hogetemperatuurisolatie en sinds 2019 aan het ontstaan van chroom(VI)-verbindingen op geïsoleerde chroomgelegeerde hete onderdelen. De drieslag van de Chromaatexperts luidt herkennen, beheersen, voorkomen, en die beschrijft ook waarbij ik betrokken ben. Uit dit werk zijn ontwikkelingen voortgekomen waaraan ik heb meegewerkt, bij isolatiematerialen zonder alkali- en aardalkalioxiden evenals bij middelen voor de decontaminatie tijdens sanerings- en onderhoudswerkzaamheden.

Ik ben beherend vennoot van Kavarmat® Sp. z o.o. Sp.k. in Długołęka en medevennoot van Cleansulation® Technology B.V. in Almere. De merken Kavarmat®, Cleansulation® en VitroSilk® zijn persoonlijk mijn eigendom. Daartoe behoren de aanbiedingen op kavarmat.com, cleansulation.tech en kavar.shop, waaronder het in paragraaf 26 genoemde KavarClean®Redox Powder. De vennootschappen waarin ik een belang heb, voeren isolatie- en saneringswerkzaamheden uit aan chromaatbelaste installaties en zijn daarbij onderworpen aan dezelfde verplichtingen die in deze analyse zijn uiteengezet.

Deze analyse is geen koopadvies en zou als zodanig waardeloos zijn. Zij noemt fabrikanten en producten daar waar hun eigen documenten onderwerp van de uiteenzetting zijn, en zij meet elke opgave aan wat het bijbehorende document onderbouwt. Voor de eigen producten geldt dezelfde maatstaf. Waar geen bewijs van werkzaamheid bestaat, staat dat daar.

Bronnen

1. Udy, Marvin J.: Chrome Alloy Making, US-octrooi 2,176,687; aanvraag 22 januari 1938, verlening 17 oktober 1939. Relevante passages: beschrijving, gedrukte pagina's 2-3; conclusies 22-26, gedrukte pagina 7. Octrooikopie Bron

2. BG ETEM: Mögliche Chrom(VI)-Exposition, laatst gewijzigd op 3 augustus 2026. Bron

3. Europees Agentschap voor chemische stoffen (ECHA): Calcium chromate: ECHA CHEM en Sodium chromate: ECHA CHEM; indeling en etikettering moeten verbindend aan de hand van de telkens geldende tabel 3 van bijlage VI van de CLP-verordening worden getoetst. Bron

4. Walter, M.; Schenkeveld, W. D. C.; Tomatis, M. et al.: The Potential Contribution of Hexavalent Chromium to the Carcinogenicity of Chrysotile Asbestos. Chemical Research in Toxicology 2022, 35, 2335-2347. DOI: 10.1021/acs.chemrestox.2c00314. Voorgelegde studie Bron

5. Passeron, J.; Maisant, S.; Patrascu, C. et al.: Évaluation par mesures atmosphériques, surfaciques et biologiques de l'exposition professionnelle au chrome VI via une équipe référente en toxicologie en SPST. Références en Santé au Travail, TF 329, september 2025. Voorgelegde studie Bron

6. Johns-Manville: historisch productblad „Johns-Manville Insulations for Heating and Plumbing Service", met „J-M Thermobestos" als „calcium silicate insulation" tot 1.200 °F; voorgelegde afbeelding. Aanvullend over de huidige productklasse: Johns Manville Thermo-1200: Calcium Silicate Insulation. Bron

7. Kelly, George: Insulating and Fireproof Sheeting, US-octrooi 668,684, aanvraag 4 augustus 1900, verlening 26 februari 1901. Octrooitekst. Bron

8. Virta, R. L.: Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses. U.S. Geological Survey, Open-File Report 02-149, 2002, tabel over asbestvezelmengsels met anorganische materialen, waaronder gehydrateerd calciumsilicaat. USGS-rapport. Bron

9. Verbinnen, B.; Billen, P.; Van Coninckxloo, M.; Vandecasteele, C.: Heating Temperature Dependence of Cr(III) Oxidation in the Presence of Alkali and Alkaline Earth Salts and Subsequent Cr(VI) Leaching Behavior. Environmental Science & Technology 2013, 47, 5858-5863. DOI: 10.1021/es4001455. Voorgelegde studie Bron

10. Mao, L.; Gao, B.; Deng, N. et al.: The role of temperature on Cr(VI) formation and reduction during heating of chromium-containing sludge in the presence of CaO. Chemosphere 2015, 138, 197-204. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.05.097. Voorgelegde studie Bron

11. Sayano, A.; Kanno, H.; Inagaki, S.; Takahashi, M.; Yoshida, M.: The formation of Cr(VI) compound at the interface between metal and heat-insulating material and the approach to prevent the formation by sol-gel process. Journal of the Ceramic Society of Japan 2015, 123, 677-684. DOI: 10.2109/jcersj2.123.677. Voorgelegde studie Bron

12. Caterpillar: Hexavalent Chromium has been detected in certain Caterpillar Engines, Technical Information Bulletin M0116139-01, 1 juni 2020; voorgelegde Franse vertaling. Voorgelegd bulletin

13. Caterpillar Energy Solutions GmbH / Zeppelin: Technisches Rundschreiben 2175/00 DE: Sechswertiges Chrom (Cr6, CrVI), 23 augustus 2021. Voorgelegde circulaire

14. MAN Truck & Bus SE: Service-Mitteilung 8339SM: Auftreten von hexavalenten Chrom-Cr(VI)-Verbindungen im Betrieb, 13 december 2023. Voorgelegde servicemededeling

15. Frenzelit GmbH: TechInfo 28: Chromium(VI)-Formation at High Temperature, Status August 2025, V2-ABE-MSK/08.25/de. Voorgelegde Engelse versie.

16. Rockwool Technical Insulation: Hinweise zur sicheren Verwendung: ProRox WM Drahtnetzmatten mit Edelstahl-Drahtgeflecht (SW) und/oder Edelstahl-Steppfaden (S), versie 1, 1 mei 2023. Voorgelegde productinformatie

17. Sullivan, Ralph J.: Air Pollution Aspects of Chromium and its Compounds. Litton Systems voor National Air Pollution Control Administration, US Department of Health, Education, and Welfare, september 1969; gedrukte pagina's 24-25, paragrafen 3.4.1 en 3.4.3. Thans in het EPA-archief. Bron

18. Richtlijn 2004/37/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004, zoals gewijzigd; artikel 3, leden 2 en 3 (risicobeoordeling en blootstellingsroutes). Bron

19. TRGS 561: Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen, versie 4 mei 2026; paragrafen 3.3.4 en 5.9.3 alsmede 4.1/4.2. Officiële publicatie resp. kopie van de overheid. Bron

20. Rinehart, Harry H. / Johns-Manville: Thermal insulation and method of manufacture. US2389460A; aanvraag 5 maart 1943, verlening 20 november 1945; in het bijzonder conclusie 5 (steenwol en asbest in een verhouding van ongeveer 2:1). Bron

21. Radabaugh, Noah B.: Plastic compound. US2162387A; aanvraag 18 februari 1937, verlening 13 juni 1939; receptuur en conclusie 1 (hogetemperatuurcement met asbest, minerale wol en natriumsilicaat). Bron

22. [redacted]: Service Information: Work on component parts conducting exhaust gas with chrome(VI). [redacted], 7 augustus 2025. Voorgelegde service-informatie, één pagina.

23. [redacted]: Chromium VI Safety Information. Aftersales Bulletin [redacted], 27 augustus 2025, drie pagina's. Voorgelegde versie; interne aanduiding SECRET.

24. Rockwool B.V. / Technical Insulation: Safe Use Instruction Sheet: ProRox WM versions with stainless steel mesh and/or stitching wire. Uitgave 1 januari 2025, versie 1.1; paragrafen 2.3 en 8; vergelijking met de voorgelegde versie uit 2023. Geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

25. [redacted]: Technical Instruction: Cr6-Reduction, [redacted], Index 1, vrijgave 31 mei 2023; in het bijzonder hoofdstuk 2 en het overzicht van geadresseerden. Voorgelegd document, zeven pagina's.

26. Toshiba Corp.: Thermal apparatus structural member, and method of manufacturing the same. JP2011232021A, prioriteit 8 april 2010, publicatie 17 november 2011; beschrijving, stand van de techniek en preventieaanpak. Japanse octrooifamilie; Engelse machinevertaling op Google Patents. Voorgelegde vertaling daarnaast vergeleken met het Japanse origineel, in het bijzonder voorbeeld 1 en de vergelijkende voorbeelden. Bron

27. Morgan Thermal Ceramics: Superwool Technical Manual, Contamination / Pollution Study, gedrukte pagina's 65-68. Officieel uittreksel van vier pagina's; bestandsnaam 13_contamination_pollution_study_sept_14.pdf. In het uittreksel geen eenduidig gedateerde publicatie. Geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

28. Morgan / U.K. Thermal Ceramics Ltd.: SDS 418, Superwool HT C.T. / HTG VF, laatste revisie 1 juni 2025; in het bijzonder rubrieken 1, 3, 10 en 16. EU-regelgeving; zeven pagina's. Geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

29. Aspen Aerogels: Pyrogel XTE, Duitse artikelinformatie (AIS), uitgiftedatum 2 januari 2024; in het bijzonder rubriek 10. Zeven pagina's. Geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

30. Euro Environmental Ltd.: Managing Chromium VI Exposure in Waste Recycling Incinerators. Ongedateerd Brits praktijkverslag; geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

31. Hu, H. et al.: Mechanism of chromium oxidation by alkali and alkaline earth metals during municipal solid waste incineration. Proceedings of the Combustion Institute 35 (2015), 2397-2403. DOI: 10.1016/j.proci.2014.08.029. Geanalyseerd: abstract van de uitgever. Bron

32. Hu, H. et al.: Fate of chromium during thermal treatment of municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash. Proceedings of the Combustion Institute 34 (2013). DOI: 10.1016/j.proci.2012.06.181. Geanalyseerd: abstract van de uitgever. Bron

33. Gong et al.: Solidification and Biotoxicity Assessment of Thermally Treated Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Fly Ash. International Journal of Environmental Research and Public Health 14 (2017), 626. DOI: 10.3390/ijerph14060626. Volledige tekst. Bron

34. Europese Commissie / JRC: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration, 2019, JRC118637. Geanalyseerde officieel geïndexeerde vindplaats: uitloging van bodemas, uitdrukkelijke vermelding van hexavalent chromium. Geen volledige vergelijking van het document. Bron

35. Tatar, G. et al. / Gannon, P.: XPS Characterization of Aluminosilicate Fibers Post Interaction with Chromium Oxyhydroxide at 100-230 °C. Journal of The Electrochemical Society 165 (2018), C624-C632. DOI: 10.1149/2.0801810jes. Voorgelegde volledige tekst. Bron

36. van Leeuwen, T. K. et al.: Reactive Condensation of Cr Vapor on Aluminosilicates Containing Alkaline Oxides. Journal of The Electrochemical Society 171 (2024), 091501, gepubliceerd 2 september 2024. DOI: 10.1149/1945-7111/ad7061. Voorgelegde volledige tekst; methoden, tabellen I/II en modellering afzonderlijk geanalyseerd. Bron

37. van Leeuwen, T. K.: Condensation of Chromium Vapor, Generated in High-Temperature (>800 °C) Environments, and Interactions with Aluminosilicate Surfaces. Proefschrift, Montana State University, mei 2024. Voorgelegde volledige tekst; in het bijzonder gedrukte pagina's iii en 2 (ECFIA, financiering en aanleiding van het onderzoek).

38. Toshiba Corp.: Thermal equipment structure, JP2012220174A; prioriteit 14 april 2011, publicatie 12 november 2012. Voorgelegde Engelse machinevertaling. Vergelijking van de proefpassages met de Japanse verleende versie JP5774355B2, 9 september 2015. In het bijzonder voorbeeld 1 en vergelijkend voorbeeld 1. Bron

39. Speer, R. M. et al.: Particulate hexavalent chromium alters microRNAs in human lung cells that target key carcinogenic pathways. Toxicology and Applied Pharmacology 438 (2022), 115890. DOI: 10.1016/j.taap.2022.115890. Voorgelegd auteursmanuscript; proeven met zinkchromaat. Bron

40. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië): Waste management: Disposal and energy recovery. Officiële aanwijzingen over vliegas en blootstelling aan stof; geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

41. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië): COSHH: Workplace exposure limits. Alle opnameroutes en minimalisatie bij kankerverwekkende stoffen; officiële onlineversie, geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

42. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië): EH40/2005 Workplace exposure limits, vierde uitgave 2020; tabel 1 met de vermelding „Chromium (VI) compounds (as Cr)", 0,01 mg/m³ als achtuursgemiddelde en 0,025 mg/m³ voor procesmatig gegenereerde blootstelling, en tabel 2, Biological monitoring guidance values, met Chromium in urine. Bron

43. Leaching behavior of heat-treated waste ash. Fuel 85(3) (2006), 401-409. DOI: 10.1016/j.fuel.2005.07.016. Geanalyseerd: abstract van de uitgever en toegankelijke paragrafen Samples, Leaching behavior en Conclusion; bodemassen van twee gemeentelijke roosterverbrandingsinstallaties in Japan. Geen volledige vergelijking met de volledige tekst. Bron

44. Haas, J. / Schack-Kirchner, H. / Lang, F.: Evaluierung von Ausmaß und Ursachen einer Schadstofffreisetzung aus Urnen in Bestattungswäldern. Umweltbundesamt TEXTE 142/2019. In het bijzonder modelassen/extractie alsmede pagina 72: zuurstofcontact, inerte nabehandeling en verwijzing naar Brill (2002). Bron

45. Ferreira, M. J. / Almeida, M. F. / Pinto, T.: Influence of temperature and holding time on hexavalent chromium formation during leather combustion. Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists 83 (1999), 135-138. Porto-registratie: 10216/21130. Geanalyseerd: abstract van de uitgever; verbranding van leerresten. Bron

46. Richtlijn (EU) 2019/771 betreffende bepaalde aspecten van overeenkomsten voor de verkoop van goederen; geconsolideerde versie 31 juli 2026. Art. 7, 10, 13 en 14: veiligheid, aansprakelijkheid en herstelmaatregelen bij consumentenkoop. Geanalyseerd: officieel geïndexeerde EUR-Lex-vindplaatsen; nationale omzetting en concrete voorwaarden voor aanspraken afzonderlijk toe te wijzen. Bron

47. Verordening (EU) 2018/858 betreffende de goedkeuring van en het markttoezicht op motorvoertuigen; geconsolideerde versie 2 augustus 2026. In het bijzonder art. 13/14: verplichtingen van fabrikanten, non-conformiteit en ernstig risico. Geanalyseerd: officieel geïndexeerde EUR-Lex-vindplaatsen; geen Cr(VI)-specifieke beslissing in een concreet geval. Bron

48. Morgan Advanced Materials / Thermal Ceramics: Superwool Plus Heat Shield, Product Data Sheet, 09/2019, drie pagina's. In het bijzonder pagina's 1-2: automotive-toepassing, oxidesamenstelling, hete oppervlaktetemperaturen en weergave van de vezelveiligheid; pagina 3: Europese beschikbaarheidstabel. Bron

49. Morgan Thermal Ceramics: Heat Shields: Transportation & Industrial Heat Shield, officiële systeempagina, geraadpleegd 7 oktober 2026. Shell Technology en Integrated Technology: Superwool Plus, roestvaststalen omhulling en uitdrukkelijk genoemde toepassingen op hete onderdelen van auto's. Bron

50. Paoletti, Francesca: Behavior of oxyanions forming heavy metals in municipal solid waste incineration. Proefschrift Universität Stuttgart; Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6755, 2002. In het bijzonder samenvatting p. II en V, p. 39-41, tabel 6.3 (p. 78). Bron

51. Vehlow, J.; Paoletti, F.; Seifert, H.; Sirini, P.: Behaviour of oxyanions forming heavy metals in waste combustion. WTERT Fall Meeting, Columbia University, New York, 7/8 oktober 2004. Bron

52. [redacted]: correspondentie van de fabrikant aan de auteur over chroom(VI)-afzettingen op uitlaatgasisolaties, augustus 2019. In het bezit van de auteur.

53. International Agency for Research on Cancer (IARC): Chromium (VI) Compounds. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 100C: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts, Lyon 2012; in het bijzonder paragrafen 4 en 6. Bron

54. US OSHA: Occupational Exposure to Hexavalent Chromium; Final Rule. Federal Register Vol. 71, No. 39, 28 februari 2006; risicobeoordeling op basis van de cohorten Gibb et al. (2000, Baltimore) en Luippold et al. (2003, Painesville). Bron

55. Levy, L. S.; Martin, P. A.; Bidstrup, P. L.: Investigation of the potential carcinogenicity of a range of chromium containing materials on rat lung. British Journal of Industrial Medicine 43(4) (1986), 243 e.v. Bron

56. US OSHA: Hexavalent Chromium, Health Effects. Officiële onlineversie, geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

57. California Regional Water Quality Control Board, Lahontan Region: PG&E Hinkley Chromium Cleanup, Frequently Asked Questions, februari 2008. Bron

58. Safe Work Australia: Workplace exposure limits for airborne contaminants, Changes between WES and WEL; inwerkingtreding 1 december 2026, vervallen van de grenswaarden voor niet-drempelwaardegebonden genotoxische carcinogenen. Geraadpleegd 7 oktober 2026. Bron

59. European Chemicals Agency (ECHA): beperkingsvoorstel krachtens bijlage XV REACH voor chroom(VI)-stoffen, april 2025; hier volgens de samenvatting van de CIRS Group. Bron

60. Verordening (EG) nr. 1907/2006 (REACH), artikel 3, punt 24, definitie „gebruik". Bron

61. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA): Scientific Opinion on Dietary Reference Values for chromium. EFSA Journal 2014;12(10):3845. Bron

62. Richtlijn 2009/148/EG van het Europees Parlement en de Raad van 30 november 2009 betreffende de bescherming van werknemers tegen de risico's van blootstelling aan asbest op het werk; artikel 2 (actinoliet, amosiet, anthofylliet, chrysotiel, crocidoliet, tremoliet). Bron

63. Verordening (EG) nr. 1272/2008 (CLP), bijlage VI, deel 3: index 024-017-00-8 (chroom(VI)-verbindingen met uitzondering van bariumchromaat en afzonderlijk vermelde verbindingen), 024-008-00-9 (calciumchromaat), 024-018-00-3 (natriumchromaat). Bron

64. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST, Spanje): Infocarquim, Cromato de calcio; geharmoniseerde indeling Carc. 1B, H350, H302, H400, H410; index 024-008-00-9; niet autorisatieplichtig. Geraadpleegd 8 oktober 2026. Bron

65. INSST: Infocarquim, Cromato de sodio; geharmoniseerde indeling Carc. 1B, Muta. 1B, Repr. 1B, H330, H301, H312, H372, H314, H334, H317, H400, H410; index 024-018-00-3; autorisatieplichtig. Geraadpleegd 8 oktober 2026. Bron

66. Verordening (EG) nr. 1907/2006 (REACH): artikel 2, lid 2, artikel 3, punt 3, artikel 57, onder a), bijlage XIV, vermelding 22 (natriumchromaat), bijlage XVII, vermelding 6 (asbestvezels). Bron

67. Kandidaatslijst van zeer zorgwekkende stoffen (SVHC), vergeleken aan de hand van de compilatie „REACH SVHC List – 253 Substances"; natriumchromaat opgenomen, calciumchromaat niet opgenomen. Geraadpleegd 8 oktober 2026. Bron

68. Risk & Policy Analysts (RPA): EU REACH Chromates Restriction Factsheet, versie 4, april 2025; mandaat en uitzondering van de loodchromaatvermeldingen. Bron

69. Richtlijn 2008/98/EG betreffende afvalstoffen, bijlage III (gevaarlijke eigenschappen HP 7, HP 10, HP 11) in de versie van Verordening (EU) nr. 1357/2014. Bron

70. Besluit 2014/955/EU tot wijziging van Beschikking 2000/532/EG betreffende de lijst van afvalstoffen; afvalcodes 19 01 11* en 19 01 12. Bron

71. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): Chrom(VI)-Verbindungen; opnameroutes, beoordelingsmaatstaven volgens de Duitse TRGS 910 betrokken op het elementgehalte van chroom. Geraadpleegd 8 oktober 2026. Bron

72. IFA: Krebserzeugende Gefahrstoffe: Regelungen zum Mutterschutz. Geraadpleegd 8 oktober 2026. Bron

73. Gesetz zum Schutz von Müttern bei der Arbeit, in der Ausbildung und im Studium (Mutterschutzgesetz, MuSchG), §§ 10 en 11. Bron

74. Latitude Media: Wärtsilä to supply 282 MW onsite power solution for a U.S. data center as AI growth intensifies demand for reliable power, 5 oktober 2026; 15 gasmotoren Wärtsilä 50SG, motivering met beperkte netcapaciteit. Geraadpleegd 8 oktober 2026. Bron

75. Babcock & Wilcox Power Generation Group: Plant Service Bulletin PSB-43A, Refractories, Plastics, Insulation or Textiles Containing Chromium Compounds, voettekstaanduiding „PSB-43A 3M H 3/94", © The Babcock & Wilcox Company, 1994; eerste versie PSB-43, april 1990, daar in de paragraaf Purpose genoemd. Nog steeds door de fabrikant gepubliceerd, geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

76. European Food Safety Authority, EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies: Scientific Opinion on Dietary Reference Values for chromium. EFSA Journal 2014;12(10):3845. Bron

77. Morgan Advanced Materials: Safety Data Sheet SDS 257, Ceraform 130, eerste uitgave 1 september 1990, versie van 23 december 2020.

78. Europees Agentschap voor chemische stoffen ECHA: registratiedossier Refractories, fibers, aluminosilicate, CAS-nummer 142844-00-6.

79. Geharmoniseerde indeling van calciumoxide (CAS 1305-78-8) volgens Verordening (EG) nr. 1272/2008: Skin Irrit. 2 (H315), Eye Dam. 1 (H318), STOT SE 3 (H335); indicatieve grenswaarde volgens Richtlijn (EU) 2017/164: 1 mg/m³ (alveolaire fractie), kortetijdwaarde 4 mg/m³.

80. I. C. Freestone: Glass production in Late Antiquity and the Early Islamic period: a geochemical perspective. University College London, UCL Discovery. Bron

81. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 43: Man-Made Mineral Fibres, paragraaf 2 (Production, Use, Occurrence and Analysis). Bron

82. Owens Corning: People & Products Making History, Owens Corning Milestones. Bron

83. US Environmental Protection Agency: Method 3060A, Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium, SW-846, revisie 1, december 1996. Bron

84. NEN 5617:2022, Bepaling van het gehalte aan chroom(VI)-verbindingen in verf en coatings (semikwantitatief).

85. SEEF B.V., Ulvenhout (NL): Kennisbank, bijdragen over Cr(VI)-analytiek in thermische isolatie en in droge verf, geraadpleegd oktober 2026. Bron

86. Richtlijn (EU) 2017/2398 tot wijziging van Richtlijn 2004/37/EG betreffende de bescherming van werknemers tegen de risico's van blootstelling aan carcinogene of mutagene agentia op het werk; bindende grenswaarde voor chroom(VI)-verbindingen. Bron

87. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): Chrom(VI)-Verbindungen, beoordelingsmaatstaven volgens de Duitse TRGS 910 en TRGS 561. Bron

88. Health and Safety Executive (VK): Chromium and you, INDG346; Workplace Exposure Limit volgens EH40 en de COSHH Regulations 2002. Bron

89. DFARS 252.223-7008, Prohibition of Hexavalent Chromium; voorgeschreven volgens DFARS 223.7306, versie na de DFARS-wijziging van 25 april 2024. Bron

90. Defense Federal Acquisition Regulation Supplement: Minimizing the Use of Hexavalent Chromium (DFARS-zaak 2009-D004, RIN 0750-AG35), definitieve regel van 5 mei 2011, Federal Register deel 76 nr. 87; verwijst naar het memorandum van de Under Secretary of Defense (Acquisition, Technology and Logistics) van 8 april 2009. Bron

91. De Laet, R.; van de Grift, F. (SEEF B.V., Ulvenhout, Nederland): WD-40 as a purported Cr(VI) neutralizer: experimental refutation and mechanistic explanation. Technische publicatie, september 2026; proefprotocollen als interne documentatie.

92. Energy UK, Londen: Hexavalent Chromium Safety Bulletin Summary, september 2019; samenvatting van de aan de Britse elektriciteitsproductiesector gegeven veiligheidsmededelingen voor het Generation Health and Safety Forum.

93. HarbisonWalker International, Moon Township, Pennsylvania: veiligheidsinformatiebladen PLASTECH RUBY (versie 02, revisie 1 april 2021), AUREX 30 SR (versie 02, revisie 29 juni 2018), SFG en tien andere handelsnamen (versie 02, revisie 22 maart 2021), RUBY (versie 03, revisie 17 april 2020) alsmede THERMOLITH (versie 01, 18 mei 2021); rubrieken 3 en 13. Geraadpleegd 11 oktober 2026. Bron

94. US Occupational Safety and Health Administration: bijlage D bij 29 CFR 1910.1200, Safety Data Sheets; minimuminhoud van de rubrieken 2, 7, 10 en 13 alsmede tabel D.1. Geraadpleegd 11 oktober 2026. Bron

95. Morgan Advanced Materials: Safety Data Sheet SDS 252, Cerachrome Blanket, Cerachrome Bulk, Z-Blok Modules (CR Grade) en andere, revisie 1 juni 2015; rubrieken 3 en 10. Geraadpleegd 11 oktober 2026. Bron

96. European Industrial Gases Association: Doc 207, Safe operation and maintenance of furnaces insulated with refractory ceramic fibre; definitie van de stofklasse met een gehalte aan alkali- en aardalkalioxiden van ten hoogste 18 gewichtsprocent. Bron

97. Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 519, Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten; versie van 28 februari 2025 (GMBl 2025 S. 144-145), nummers 2.7, 3.2, 5.1 tot 5.3 en 14.1 tot 14.3. Geraadpleegd op 13 oktober 2026. Bron

98. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): stofinformatie asbest, geharmoniseerde indeling Carc. 1A (H350) en STOT RE 1 (H372); zonder huidgerelateerde en zonder milieugerelateerde indeling. Geraadpleegd op 13 oktober 2026. Bron

99. Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 401, Gefährdung durch Hautkontakt: Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen; uitgave oktober 2022, laatstelijk gewijzigd GMBl 2024 S. 769 van 19 september 2024; paragraaf 3.2.3 lid 2 en paragraaf 4.2 met tabel 2. Geraadpleegd op 13 oktober 2026. Bron

100. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen, Chrom(VI); opnameroutes inhalatief en huidresorptief, indeling Skin Sens. 1 (H317), Carc. 1B (H350i), H400 en H410. Geraadpleegd op 13 oktober 2026. Bron

101. Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 910, bijlage 1: chroom(VI)-verbindingen, 1 µg/m³ inhaleerbare fractie, overschrijdingsfactor 8, aanwijzing „zie TRGS 561". Geraadpleegd op 13 oktober 2026. Bron

102. Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft: MAK- en BAT-waardenlijst 2026, mededeling 62; vermelding „Chroom(VI)-verbindingen (inhaleerbare fractie)" met Hautres H, Sens Sh, KanzKat 1, KmutKat 2 alsmede de daar genoemde uitzonderingen.

103. Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) van 26 november 2010, § 22 Ordnungswidrigkeiten; versie laatstelijk gewijzigd op 17 december 2025. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

104. Chemikaliengesetz (ChemG), § 26 Bußgeldvorschriften, in het bijzonder lid 1 nummer 8 letter b en lid 3; nieuwe versie van 28 augustus 2013, laatstelijk gewijzigd op 29 maart 2026. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

105. Chemikaliengesetz (ChemG), § 27 Strafvorschriften, leden 1 tot 4; nieuwe versie van 28 augustus 2013, laatstelijk gewijzigd op 29 maart 2026. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

106. Siebtes Buch Sozialgesetzbuch (SGB VII), § 110 Haftung gegenüber den Sozialversicherungsträgern. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

107. Strafgesetzbuch (StGB), § 326 Unerlaubter Umgang mit Abfällen, leden 1 en 5. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

108. Arbeidsomstandighedenwet (Nederland), hoofdstuk 7 Sancties: artikel 32 Strafbepaling, artikel 33 Overtredingen, artikel 34 Hoogte bestuurlijke boete en recidive; geldende versie vanaf 1 juli 2026. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

109. Arbeidsomstandighedenbesluit (Nederland), artikel 4.17 Voorkomen van blootstelling; vervangen; geldende versie vanaf 1 augustus 2026. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

110. Wet op de economische delicten (Nederland), artikel 1, punt 1, artikel 2 lid 1 en artikel 6 lid 1; geldende versie vanaf 1 juli 2026. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

111. Wetboek van Strafrecht (Nederland), artikel 23 lid 4, geldboetecategorieën; bedragen sinds 1 januari 2026. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

112. Health and Safety at Work etc. Act 1974 (Verenigd Koninkrijk), Section 33 Offences en Schedule 3A, Mode of trial and maximum penalty. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

113. The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (SI 2002/2677, Verenigd Koninkrijk), Regulation 7, Prevention or control of exposure to substances hazardous to health. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

114. Occupational Safety and Health Act (Verenigde Staten), Section 17 Penalties; maximumbedragen van de civiele geldboeten voor vaststellingen na 15 januari 2026 volgens opgave van de US Occupational Safety and Health Administration. Geraadpleegd op 12 oktober 2026. Bron

115. Vattenfall Generation NL: Instructie voorkomen blootstelling aan Chroom(VI); eerste versie 18 februari 2019, volledige actualisering 29 april 2024; paragrafen 1, 5.1 en 5.4 alsmede versiegeschiedenis.

116. iTanks Live, met het Chroom 6 Informatie Kennis Centrum (CIKC) als gastheer: evenement „Chroom-6 verbindingen onder thermische isolatie", 6 november 2025; pitches Ecopoint (Chrome-6 Neutralizer PR269 met certificaat SEEF B.V., augustus 2025), Econtras (Isolatiebedrijf C.J. van Waas BV) en Sherwin Williams.

117. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU, Duitsland): Chrom(VI)-Verbindungen an Edelstahl; geraadpleegd 13 oktober 2026. Bron

118. Verordening (EG) nr. 1907/2006 (REACH), bijlage XVII, vermelding 47: chroom(VI)-verbindingen; grenswaarde 0,0002 procent oplosbaar chroom(VI) van de droge massa van het cement. Bron

119. Kronos Ecochem: Technische Information 6, Chromatreduktion im Zement mit Eisen-II-sulfaten; dosering, houdbaarheid en beproeving volgens EN 196-10. Geraadpleegd 13 oktober 2026. Bron

120. Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) van 26 november 2010, § 5a Besondere Mitwirkungs- und Informationspflichten für Veranlasser von Tätigkeiten an baulichen oder technischen Anlagen, § 6 leden 2a tot 2c en lid 8 alsmede § 7 lid 1; § 5a ingevoegd bij verordening van 2 december 2024 (BGBl. 2024 I nr. 384), versie laatstelijk gewijzigd op 17 december 2025. Geraadpleegd op 14 oktober 2026. Bron

121. Arbeidsomstandighedenbesluit (Nederland), artikel 4.1b lid 2, artikel 4.2 leden 1, 3, 7 en 8 alsmede artikel 4.54a lid 1 (Asbestinventarisatie). Geraadpleegd op 14 oktober 2026. Bron

122. The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (SI 2002/2677, Verenigd Koninkrijk), Regulation 6, Assessment of the risk to health created by work involving substances hazardous to health. Geraadpleegd op 14 oktober 2026. Bron

123. The Control of Asbestos Regulations 2012 (SI 2012/632, Verenigd Koninkrijk), Regulation 5, Identification of the presence of asbestos. Geraadpleegd op 14 oktober 2026. Bron

124. 29 CFR 1926.1126 (Verenigde Staten), Chromium (VI), lid (d) Exposure determination, subleden (d)(1), (d)(2), (d)(2)(vi) en (d)(3). Geraadpleegd op 14 oktober 2026. Bron

125. 29 CFR 1926.1101 (Verenigde Staten), Asbestos; definitie van „presumed asbestos containing material" in lid (b), initial exposure assessment volgens (f)(2)(i) alsmede verplichtingen van de eigenaren van gebouwen en installaties volgens (k)(2)(i) en weerlegging volgens (k)(5).

126. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU, Duitsland): werkinstructie overeenkomstig § 14 van de Duitse Gefahrstoffverordnung, „Ausbau chromatbelasteter Dämmstoffe", informatiesysteem voor gevaarlijke stoffen WINGIS; Duitse gedrukte versie van 14 oktober 2026 en Nederlandse gedrukte versie van 20 september 2026.

127. Eco-Point International BV, Roosendaal (Nederland): productpagina Chrome-6 Neutralizer, Duitstalige versie; geraadpleegd 14 oktober 2026. Bron

128. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe: onderbouwing „Chroom(VI)-verbindingen (inhaleerbare fractie)", MAK-Begründungen, 53e aflevering 2012; paragrafen 1, 2, 4.4.1 alsmede de paragraaf over beroepsmatige en niet-beroepsmatige contactmogelijkheden.

129. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses, Frankrijk): Avis over de stofbeoordeling van chroom(III)oxide (EG-nr. 215-160-9, CAS-nr. 1308-38-9) in het kader van de REACH-verordening, saisine 2019-SA-0070, 28 juli 2021. Bron

130. Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, GisChem: gegevensblad Chrom(III)-oxid, CAS-nummer 1308-38-9; grenswaarde op de werkplek, overschrijdingsfactor en vermelding over de CLP-indeling. Geraadpleegd 14 oktober 2026. Bron

131. MATinspired B.V. (Nederland): productpagina TK20 Chromium-6 Neutralizer. Geraadpleegd 14 oktober 2026. Bron

132. MATinspired B.V. (Nederland): FAQ TK20 Chromium-6 Neutralizer, vragen 4.1 tot 4.13. Geraadpleegd 14 oktober 2026. Bron

133. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: DGUV Regel 112-189, Benutzung von Schutzkleidung (voorheen BGR 189); paragraaf 6.1 en bijlage 2. Bron

134. Caterpillar Inc.: 35th Anniversary of the Cat 3500 Series Large Engine; veldbestand van 190.000 motoren en 3 miljard bedrijfsuren, 5 september 2016. Bron

135. Rolls-Royce Power Systems: Rolls-Royce celebrates 25 years of excellence with its mtu Series 2000 and Series 4000; meer dan 100.000 verkochte motoren, 2021. Bron

136. [redacted] Group Holding: registratiedocument Form S-1/A bij de Amerikaanse effecten- en beurstoezichthouder SEC, mei 2026; actieve geïnstalleerde basis van circa 44 GW per 31 december 2025. Bron

137. Wärtsilä Finland Oy, 4-Stroke Engines, Technical Services: Instructions WS00Q563, Exhaust gas system - Risk of hexavalent chromium residue, uitgave 4 van 20 juni 2024, vervangt uitgave 3 van 21 april 2022, eerste uitgave 9 november 2020. In het bijzonder de paragrafen 1 tot en met 6. Voorgelegde instructie

138. GE Vernova: Aeroderivative and Heavy-Duty Gas Turbines, productpagina; meer dan 7.000 gasturbines, meer dan 800 GW in meer dan 120 landen. Geraadpleegd 14 oktober 2026. Bron

139. Global Energy Monitor: Global Coal Plant Tracker, versie juli 2026; meer dan 2.200 GW in bedrijf, registratiedrempel 30 MW. Bron

140. Global Energy Monitor: Global Oil and Gas Plant Tracker, versie augustus 2026; 16.559 geregistreerde blokken. Bron

141. Conferentie van de Verenigde Naties voor Handel en Ontwikkeling (UNCTAD): Review of Maritime Transport; circa 109.000 schepen vanaf 100 brutoregisterton. Bron

142. Vereniging van Europese Autofabrikanten (ACEA): Vehicles on European roads, januari 2026; bestandscijfers voor de Europese Unie en Europa, stand 2024. Bron

143. Deutsche Automobil Treuhand (DAT): DAT-Report 2026; 0,35 reparaties per personenauto per jaar in 2025. Bron

144. Confederation of European Waste-to-Energy Plants (CEWEP): Waste-to-Energy in Europe in 2022, installatiekaart; 498 installaties in bedrijf. Bron

145. Waste Management World: Energy from Waste, The State of Waste-to-Energy in the US, 10 mei 2023; 75 installaties. Bron

146. Nature Communications: Efficiency hierarchy and optimization of waste incineration in China to balance disposal and energy supply; 975 installaties met 2.151 verbrandingslijnen per eind 2023. Bron

147. Japanse ministerie van Milieu: Municipal solid waste generation and disposal in FY2024, stand 31 maart 2025; 991 verbrandingsinstallaties, waarvan 415 met elektriciteitsproductie. Bron

148. RS Motor: [redacted] gas engines, typical intervals for preventive maintenance; tussentijds onderhoud elke 10.000 bedrijfsuren, revisies bij 30.000 en 60.000 bedrijfsuren. Geraadpleegd 14 oktober 2026. Bron

149. Procesbeschrijving van de droge sorptie in de rookgasreiniging van afvalverbrandingsinstallaties; sorbentia, injectiepunten, rookgastemperaturen van 130 tot 200 °C en stoichiometrische overmaten. Geraadpleegd 15 oktober 2026. Bron

150. Warnecke, R.; Müller, V.; Langer, S.; Wiedl, A.: Direktentschwefelung am Kohlekessel 1 des Gemeinschaftskraftwerks Schweinfurt; 7. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, oktober 2015; injectie van calciumhoudende sorbentia in de vuurhaard bij ongeveer 900 °C of in de keteltrekken bij ongeveer 350 °C, doseersnelheden 140 tot 375 kg/h. Bron

151. Code du travail (Frankrijk): artikelen R. 4412-61 tot R. 4412-65 (beoordeling), R. 4412-66 tot R. 4412-68 (vermijding, substitutie, gesloten systeem), R. 4412-70 tot R. 4412-75 (minimalisatie, zones, hygiëne), R. 4412-76 tot R. 4412-80 (metingen), R. 4412-86 tot R. 4412-93 (informatie en opleiding) alsmede R. 4624-22 tot R. 4624-28 (suivi individuel renforcé). Bron

152. Code du travail (Frankrijk): artikel R. 4412-149, bindende grenswaarden op de werkplek; voor chroom(VI)-verbindingen 0,001 mg/m³ als achtuursgemiddelde en 0,005 mg/m³ als kortetijdwaarde, ingevoerd bij Décret n° 2012-746 van 9 mei 2012. Bron

153. Institut national de recherche et de sécurité (INRS, Frankrijk): Chrome hexavalent et ses composés, Valeurs limites d'exposition professionnelle; VLEP 8 h 0,001 mg/m³, VLEP court terme 0,005 mg/m³, aantekening „risque de pénétration percutanée", CMR-indeling. Bron

154. Institut national de recherche et de sécurité (INRS, Frankrijk): Agents chimiques CMR, Réglementation; beoordeling met inbegrip van de opname via de huid, documentatie van de substitutietoets in het document unique, jaarlijkse controle van de bindende VLEP door een geaccrediteerde instantie, stillegging van de werkzaamheden bij overschrijding, bewaring van het dossier médical ten minste vijftig jaar. Bron

155. Code du travail (Frankrijk): artikelen L. 4412-2 en R. 4412-97, repérage de l'amiante avant travaux; verplichting van de donneur d'ordre, aanpassing aan de aard, de omvang en het risiconiveau van de operatie, zes domeinen volgens R. 4412-97 II. Bron

156. Arrêtés inzake de repérage de l'amiante avant certaines opérations: 19 juni 2019 (navires, bateaux et engins flottants), 16 juli 2019 (immeubles bâtis), 13 november 2019 (matériels roulants ferroviaires et autres matériels roulants de transport), 24 december 2020 (aéronefs), 22 juli 2021 (installations, structures ou équipements), 4 juni 2024 (immeubles autres que bâtis). Bron

157. Code du travail (Frankrijk): artikel L. 4741-1; geldboete van 10 000 euro, „appliquée autant de fois qu'il y a de travailleurs de l'entreprise concernés", bij herhaling een jaar gevangenisstraf en 30 000 euro. Bron

158. Code de la sécurité sociale (Frankrijk): artikelen L. 452-1 tot L. 452-3 alsmede de rechtspraak van de Cour de cassation over de faute inexcusable de l'employeur („a eu ou aurait dû avoir conscience du danger", „n'a pas pris les mesures nécessaires pour l'en préserver"); verhoging van de rente en aanvullende schadevergoeding. Bron

159. Direction régionale de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités Nouvelle-Aquitaine (Frankrijk): Le repérage amiante avant travaux, informatieblad voor donneurs d'ordre; verplichtingen, voorafgaand verslag, sancties van 3 750 euro en 9 000 euro. Bron

160. Zwitserse Bondsstaat: wet op de ongevallenverzekering (Bundesgesetz über die Unfallversicherung, UVG, SR 832.20), artikel 82 leden 1 tot 3. Bron

161. Zwitserse Bondsstaat: verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten (Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten, VUV, SR 832.30), artikelen 3, 6, 8, 11a, 44 en 50 lid 3. Bron

162. Suva: Grenzwerte am Arbeitsplatz, toelichting op de MAK- en BAT-waarden; paragraaf 1.3.3.6 over chroom(VI)-verbindingen, minimalisatieplicht, STOP-principe en doelrisico. Bron

163. Zwitserse Bondsstaat: verordening inzake de reductie van risico's van chemische stoffen (Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen, ChemRRV, SR 814.81), bijlage 1.17 (stoffen volgens bijlage XIV van Verordening (EG) nr. 1907/2006), punten 1 tot 3; weergave van de uitzondering en van de waarde van 0,001 mg/m³ volgens de toelichting van de Suva. Bron

164. Anmeldestelle Chemikalien, Zwitserse Bondsstaat: meldingsplicht volgens bijlage 1.17 punt 3 ChemRRV; jaarlijkse melding tot 31 maart voor chroomtrioxide, de daaruit ontstaande zuren en hun oligomeren alsmede natriumdichromaat. Bron

165. Zwitserse Bondsstaat: verordening bouwwerkzaamheden (Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten, BauAV, SR 832.311.141), artikel 3 en artikel 86. Bron

166. Federale coördinatiecommissie voor arbeidsveiligheid (EKAS): richtlijn nr. 6503, Asbest; paragrafen 5.1, 6.1.1, 6.1.1.1, 6.1.3.1, 6.1.3.2, 7.3.1, 7.4.1 tot 7.4.5. Bron

167. Kamerstukken II 2020/21, 35 734, nr. 3: Implementatiewet richtlijnen verkoop goederen en levering digitale inhoud, memorie van toelichting. Bron

168. ASTM International: ASTM D578/D578M-18, Standard Specification for Glass Fiber Strands; goedgekeurde versie van 1 juli 2018, gepubliceerd augustus 2018, DOI 10.1520/D0578-18. Paragrafen 4.1 tot 4.4 met de samenstellingstabellen 4.2.1 en 4.2.2 alsmede de begripsbepaling van E-CR-glas in 4.2.4; beoordeeld aan de hand van het openbaar beschikbare leesfragment van vier pagina's. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

169. Insulcon B.V., Insulcon GmbH en Keramab N.V.: Material Safety Datasheet, E-Glass Fibre Textiles, formulier MSDS, geldig vanaf 3 april 2014, vervangt de versie van 27 april 2011; paragraaf 3. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

170. Yu. G. Pauliukevich, L. F. Papko, E. E. Trusova en I. Yu. Kozlovskaya, Wit-Russische Staats Technologische Universiteit Minsk: Comprehensive comparative assessment of technological, physical, chemical and environmental properties of glass for the production of E-glass fiber with boron and without boron, International Symposium on Boron, Nevşehir, 17 tot 19 april 2019, congresbundel pagina 503 tot 508, tabellen van de glassamenstelling. Geraadpleegd 18 oktober 2026. Bron

171. Deutsche Rockwool GmbH & Co. KG, Gladbeck: Produkt- und Verwendungsinformation Steinwolle mit hohem Aluminiumoxid- und niedrigem Silikatanteil, 30 mei 2017, opmerkingen I en II en paragraaf 3; alsmede Knauf Insulation: Safety Data Sheet Rock Mineral Wool with ECOSE Technology, KI_DP_201, revisie 6.0 van 1 september 2023, paragrafen 3 en 16. Beide geven de stofdefinitie van bijlage VI index 650-016-00-2 weer. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

172. Morgan Advanced Materials, U.K. Thermal Ceramics Limited: Safety Data Sheet 448, Superwool HT NexGen Castingtip, revisie 1 juni 2025, en Safety Data Sheet 204, Aluboard 607 en andere, revisie 30 april 2024, telkens paragraaf 3 met de stofdefinitie van de aardalkalisilicaatwol; Product Data Sheet BL.01, Superwool Plus Blanket, 18 april 2025, en Product Data Sheet SH.30, Superwool Plus Board, 1 januari 2025, telkens paragraaf Chemical Analysis. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

173. Alkegen, voorheen Unifrax: productdatabladen Insulfrax 1300 HT Blanket, Form A-5276, versie 02/2024; Insulfrax LT Blanket, Form A-5182 Revision 2, versie 07/2024; Isofrax 1260C Fiber, Form A-5296, versie 07/2024; telkens paragraaf Typical Chemical Analysis. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

174. Morgan Advanced Materials, U.K. Thermal Ceramics Limited: Safety Data Sheets 203 (Cerafiber, Ceraform, Kaowool en andere), 401 (Cerapaper, Kaowool papieren en vilten) en 111 (1260 SD Felt, Cera-Pack, Kaoclad, Moist Felt), telkens revisie 1 juni 2025, paragraaf 3 met de samenstelling van de aluminiumsilicaatwol en de aandelen bindmiddel. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

175. Europees Agentschap voor chemische stoffen, Comité van de lidstaten: Support Document for Identification of Zirconia Aluminosilicate Refractory Ceramic Fibres as a Substance of Very High Concern, aangenomen op 9 december 2011; samenstellingsvoorwaarde bij de vermelding met indexnummer 650-017-00-8 in bijlage VI van Verordening (EG) nr. 1272/2008. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

176. Promat: Technical Data Sheet PROMINA, versie 2017-09, paragraaf Chemical analysis. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

177. Johns Manville: Safety Data Sheet Calcium Silicate Pipe, Block and Board Insulation, handelsnamen HP Block Insulation, Thermo-12 Gold en Thermo-1200, versie 2.2, revisie 17 juni 2019, paragraaf 3. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

178. Imerys: datablad Harborlite AquaPerl, juli 2019, paragraaf Chemical Analysis. Ter afbakening getoetst: Johns Manville, Industrial Insulation Data Sheet IND-200, Sproule WR-1200 Perlite Pipe and Block Insulation, versie 10 april 2025, zonder oxideanalyse. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

179. Palabora Copper (Pty) Limited: Vermiculite specifications, Typical Ranges for Major Components en Typical Ranges for Minor Components. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

180. Aspen Aerogels, Inc., Northborough, Massachusetts: Safety Data Sheet Pyrogel XTE, versie 21 december 2023, paragraaf 3. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

181. Aspen Aerogels, Inc., Northborough, Massachusetts: productblad Pyrogel XTE, revisie 4.2, 2023, met de hoogste gebruikstemperatuur 1200 °F, dat is 650 °C, en de vermelding van een vezelvlies; daarbij het productblad Pyrogel XT, revisie 4.0, dat een glasvezelvlies noemt. Geraadpleegd 18 oktober 2026. Bron

182. Kamenny Vek LLC, Dubna: Safety Data Sheet Continuous basalt fiber products, merk Basfiber, revisie 2 van 25 oktober 2017, paragraaf 3. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

183. Basalt Fibertec GmbH, Langenthal: Technical Info, chemische samenstelling van de basaltvezels, mei 2021. Geraadpleegd 18 oktober 2026. Bron

184. Kunal Singha: A Short Review on Basalt Fiber, International Journal of Textile Science, jaargang 1, nummer 4, 2012, pagina 19 tot 28, tabel Chemical Composition of Basalt rocks. Geraadpleegd 18 oktober 2026. Bron

185. WEICON GmbH & Co. KG, Münster: Safety Data Sheet Anti-Seize High-Tech Assembly Paste, productnummer 261000, versie 1.03 van 16 december 2022, paragraaf 3; alsmede Univar Solutions UK Ltd.: Safety Data Sheet Molykote P 37 Antiseize Paste, productnummer 60535, versie 1.000 van 14 augustus 2022, paragrafen 2.2 en 3. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

186. Internationale Maritieme Organisatie: MSC.1/Circ.1321, Guidelines for measures to prevent fires in engine-rooms and cargo pump-rooms, gepubliceerd 18 november 2009; paragrafen 3.3, 3.4, 5.1.1, 5.1.3, 5.2 en 5.3 alsmede deel 2 hoofdstuk 2 paragrafen 1.1.2 tot 1.1.5. Officiële herdruk van dezelfde tekst: Maritime and Coastguard Agency, Verenigd Koninkrijk, Marine Information Note 579 (M). Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

187. tmax Group, voorheen Thermamax: toepassingspagina's Marine, Schienenfahrzeuge, Isolierungen für Baumaschinen, Power Generation en Automotive alsmede de beschrijvingen Metallische Isolierverkleidung, Textile Isolierungen en Abgasnachbehandlung; daarnaast de productcatalogus Tmax-DryTec over de bodemisolatie rond deeltjesfilter- en SCR-modules. Zonder publicatiedatum op de pagina's. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

188. MAN Energy Solutions: MAN L32/44 GenSet IMO Tier III, Project Guide Marine, versie 2.1 van 21 oktober 2021, paragrafen 2.17, 5.9.2 en 5.10; alsmede Everllence, voorheen MAN Energy Solutions: ME Engine description, document 199 05 61-7.4, versie 23 juni 2025. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

189. Wärtsilä Finland Oy: Wärtsilä 46F Product Guide, document DAAB605814, uitgave 1/2020 van 12 februari 2020, paragrafen 5.5, 11.3.1 en 11.3.2. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

190. InsulTech, LLC: Locomotive Insulation Solutions, paginaversie 11 juli 2024, met de gegevens over soorten isolatiemateriaal, materialen aan de hete zijde en gebruikstemperaturen; alsmede de productpagina T1000, 2000, Custom Removable Insulation Blankets, paginaversie 3 juni 2024. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

191. Reference Datasheet TCG 2020 V16 bij de gasmotor MWM TCG 2020 V16, op 9 juli 2024 opgesteld door een installatiebouwer; uitlaatgastemperaturen bij 100, 75 en 50 procent last. Een originele versie van de motorfabrikant was niet beschikbaar. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

192. Johns Manville: Industrial Insulation Technical Bulletin IND-TB014, Diesel Generator Exhaust Insulation Selection, opgesteld 23 oktober 2020; gegevens over uitlaatgastemperatuur, tweelaagse aanbrenging, plaatmantel en bevestiging van edelstaal 304 alsmede over het uitbranden van het organische bindmiddel van de minerale wol vanaf ongeveer 177 °C volgens ASTM C447 paragraaf 5.7.2. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

193. Morgan Advanced Materials, Thermal Ceramics: HRSG Industry Brochure, bestandskenmerk van 11 november 2016; producttoewijzing per onderdeel voor schoorsteen, geluiddemper, rookgaskanaal, bijstookbrander, bodem en huis alsmede de gegevens over temperatuur en gassnelheid van de afgassenketel. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

194. Olson, Scott; Morales, Kevin: Combustion Turbine Exhaust Ducts, Turbomachinery Magazine, 8 juni 2017; gegevens over linerplaten van staal 304 en 409, bouten van 304, isolatiedikte en temperatuurwisseling bij het opstarten. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

195. ElringKlinger AG: Fact Sheet ElroShield M, Thermal and acoustic management for the entire vehicle, Shielding systems by ElringKlinger; gegevens over het materiaal van de draaglaag, de isolatievulling en de bedrijfstemperatuur. Zonder datum in het document. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

196. 3M: Technical Data Sheets 3M Interam Mat Mount 1600HTE, februari 2022, en 3M Interam Mat Mount 1650HTG, juli 2025; lagermatten voor katalysator, dieseldeeltjesfilter en isolatie van de eindkegel met gebruikstemperaturen tot 1.100 °C. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

197. Aperam: Stainless Steel, The Material of Choice for Manifolds and Catalytic Converters, versie 2020; alsmede productdatablad KARA Ferritic Stainless Steel K41X, FT_K41X_en_web, met 17,80 procent chroom en oxidatiebestendigheid tot 950 °C. Over de ondergrens van roestvaste staalsoorten: British Stainless Steel Association volgens EN 10088-1, ten minste 10,5 procent chroom. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

198. Rockwool Technical Insulation: Product Data Sheet ProRox WM 950ES, uitgave 17 juli 2026, en ProRox WM 970 alsmede de brochure How to prevent corrosion, Industrial Insulation, paragraaf 4 met de toepassingsbeschrijving voor ketelwanden, ovens, rookgaskanalen en leidingen en de gegevens over buisschalen tot 650 °C. Geraadpleegd 17 oktober 2026. Bron

199. Gefahrstoffverordnung (GefStoffV, Duitsland) van 26 november 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), laatstelijk gewijzigd door artikel 1 van de verordening van 17 december 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 337); § 2 lid 1 nummer 3 en 4, § 2 lid 5, § 6 leden 1, 3, 5, 8, 11 en 12, § 7 leden 3, 4 en 5 alsmede § 10 en § 14. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

200. Gefahrstoffverordnung (GefStoffV, Duitsland), § 5a Besondere Mitwirkungs- und Informationspflichten für Veranlasser von Tätigkeiten an baulichen oder technischen Anlagen en § 6 leden 2a tot 2c; § 5a en § 6 leden 2a tot 2c ingevoegd door artikel 1 nummer 6 en 7 van de verordening van 2 december 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 384), in werking sinds 5 december 2024. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

201. Gefahrstoffverordnung (GefStoffV, Duitsland), § 10a Expositionsverzeichnis, § 11a leden 3, 4 en 4a (asbest) alsmede § 19 leden 3 tot 6; § 10a ingevoegd door artikel 1 nummer 11 van de verordening van 2 december 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 384), met gelijktijdige intrekking van het tot dan geldende § 14 leden 3 en 4; § 11a lid 4a ingevoegd door de verordening van 17 december 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 337), in werking sinds 20 december 2025. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

202. Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 410, Expositionsverzeichnis bei Gefährdung gegenüber krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Gefahrstoffen der Kategorien 1A oder 1B (Duitsland); uitgave september 2026, GMBl 2026 S. 528-532 van 25 september 2026 [Nr. 23], versie 25 september 2026; paragraaf 3 leden 2, 5, 7 en 8, paragraaf 4 lid 1 nummer 3, 5, 7 en 10, leden 3, 4 en 7 alsmede paragraaf 5 lid 1. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

203. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Zentrale Expositionsdatenbank ZED, portaalpagina; gegevens over de overdracht van de plicht tot uitreiking en archivering en over de bewaring van ten minste 40 jaar na het einde van de blootstelling. Een versiedatum is op de pagina niet aangegeven. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

204. Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV, Duitsland) van 18 december 2008 (BGBl. I S. 2768), laatstelijk gewijzigd door artikel 1 van de verordening van 11 mei 2026 (BGBl. 2026 I Nr. 136); § 4 leden 1 en 2, § 5 lid 1 alsmede de bijlage, deel 1 lid 1 nummer 1 (chroom-VI-verbindingen) en nummer 2 letter i (hogetemperatuurwollen) en lid 2 nummer 1. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

205. Berufskrankheiten-Verordnung (BKV, Duitsland) van 31 oktober 1997 (BGBl. I S. 2623), laatstelijk gewijzigd door artikel 1 van de verordening van 16 juli 2026 (BGBl. 2026 I Nr. 210); bijlage 1 nummer 1103 „Erkrankungen durch Chrom oder seine Verbindungen". Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

206. Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, Duitsland) van 7 augustus 1996 (BGBl. I S. 1246), laatstelijk gewijzigd door artikel 7 van de wet van 22 december 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 369); § 21 leden 1, 1a en 2, § 22 leden 2 en 3, § 25 leden 1 en 2 alsmede § 26. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

207. Siebtes Buch Sozialgesetzbuch (SGB VII, Duitsland), § 17 lid 1 Überwachung und Beratung alsmede § 19 lid 1 en lid 2 nummer 5 en 6 Befugnisse der Aufsichtspersonen. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

208. Chemikaliengesetz (ChemG, Duitsland) in de versie van de bekendmaking van 28 augustus 2013 (BGBl. I S. 3498, 3991), laatstelijk gewijzigd door artikel 1 van de wet van 29 maart 2026 (BGBl. 2026 I Nr. 86); § 26 lid 1 nummer 8 letter b en lid 3 alsmede § 27 leden 2 tot 4. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

209. Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV, Duitsland) van 10 december 2001 (BGBl. I S. 3379), laatstelijk gewijzigd door artikel 1 van de verordening van 30 juni 2020 (BGBl. I S. 1533); § 2 lid 2, § 3 leden 1 en 2, de inleiding van de bijlage nummer 2.2.1 alsmede de afvalstoffencodes 16 09 02*, 16 11 03*, 16 11 04, 16 11 05*, 16 11 06, 17 06 03* en 17 06 04. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

210. Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG, Duitsland) van 24 februari 2012 (BGBl. I S. 212), laatstelijk gewijzigd door artikel 17 van de wet van 22 juli 2026 (BGBl. 2026 I Nr. 224); § 9a leden 1 tot 3, mengverbod en behandeling van gevaarlijke afvalstoffen. § 9a is door de wijzigingen van het jaar 2026 niet geraakt. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

211. Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation (BG Verkehr, Duitsland): Mögliche Chrom(VI)-Exposition; voorwaarden voor de vorming, betrokken werkzaamheden alsmede aanwijzing op eigen onderzoek naar scheepsmachinekamers en automotoren. Laatste actualisering 08/2026. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

212. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU, Duitsland): Chrom(VI)-Verbindungen an Edelstahl; onderscheid naar de aanwezigheid van alkali- en aardalkalimetaalhoudende warmte-isolatiematerialen alsmede aanwijzing op de coördinerende rol van de BG ETEM. Een versiedatum is op de pagina niet aangegeven. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

213. Richtlijn 2004/37/EG betreffende de bescherming van de werknemers tegen de risico's van blootstelling aan carcinogene, mutagene of voor de reproductie toxische agentia op het werk, geconsolideerde versie 02004L0037 — DE — 08.04.2024 — 007.003; artikel 1 leden 3 en 4, artikel 2 onder a) en c), artikel 3 lid 1, artikel 4 lid 1, artikel 5 leden 1 tot 5, artikel 6, artikel 10, artikel 11, artikel 12 onder c), artikel 14 leden 1, 4 en 8, artikel 15 leden 1 en 2 alsmede bijlage I en bijlage III, deel A. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

214. Richtlijn 89/391/EEG betreffende de tenuitvoerlegging van maatregelen ter bevordering van de verbetering van de veiligheid en de gezondheid van de werknemers op het werk, geconsolideerde versie 1989L0391 — DE — 11.12.2008 — 003.001; artikel 6 leden 1 tot 3 en 5 alsmede artikel 9 leden 1 en 2. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

215. Verordening (EG) nr. 1907/2006 (REACH), geconsolideerde versie 02006R1907 — DE — 22.06.2026 — 069.001; artikelen 55 en 56 lid 1 alsmede bijlage XIV, vermeldingen 10 tot 12, 16 tot 22 en 28 tot 31 (chroom(VI)-stoffen) met de kolommen uiterste aanvraagdatum en vervaldatum. Calciumchromaat is in bijlage XIV niet opgenomen. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

216. Europees Agentschap voor chemische stoffen (ECHA): persbericht ECHA/NR/25/11 van 29 april 2025, ECHA proposes restrictions on chromium(VI) substances to protect health; omvang van het voorstel, de zes uitgezonderde gebruikscategorieën, opname van bariumchromaat en begin van de consultatie van zes maanden op 18 juni 2025. De stand van de procedure in oktober 2026 is niet aangetoond. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

217. Richtlijn 2008/98/EG betreffende afvalstoffen, geconsolideerde versie 02008L0098 — DE — 16.10.2025 — 005.001; artikel 7 leden 1, 2 en 4 alsmede artikel 18 leden 1 en 2. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

218. Beschikking 2000/532/EG betreffende een lijst van afvalstoffen, geconsolideerde versie 02000D0532 — DE — 06.12.2023 — 003.001, in de versie van besluit 2014/955/EU en gedelegeerd besluit (EU) 2023/2581; bijlage nummer 1 en 2 alsmede de afvalstoffencodes 16 09 02*, 16 11 01* tot 16 11 06, 17 06 01*, 17 06 03*, 17 06 04 en 17 06 05*. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

219. Mededeling van de Commissie, Technische richtsnoeren voor de indeling van afvalstoffen, 2018/C 124/01, PB C 124 van 9 april 2018, blz. 1; begrip spiegelvermeldingen alsmede bijlage 4 met de norm EN 15192 voor de bepaling van zeswaardig chroom in vaste stoffen. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

220. Richtlijn 2009/148/EG betreffende de bescherming van werknemers tegen de risico's van blootstelling aan asbest op het werk, geconsolideerde versie 02009L0148 — DE — 20.12.2023 — 002.002 in de versie van richtlijn (EU) 2023/2668; artikel 3 leden 1 en 2, artikel 4 leden 2, 3 en 5, artikel 5 lid 1, artikel 11, artikel 13, artikel 14 met bijlage Ia, artikel 15 lid 1 alsmede artikel 19 leden 2 en 3. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

221. Europese Commissie: Third study on collecting most recent information for a certain number of substances with the view to analyse the health, socio-economic and environmental impacts in connection with possible amendments of Directive 2004/37/EC, Final Report van 8 februari 2018, referentie VC/2017/0011, ISBN 978-92-76-07993-4, doi:10.2767/042168; deelrapport Chromium(VI) in fumes from welding, plasma cutting and similar processes. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

222. Arbeidsomstandighedenwet (Nederland), BWBR0010346, geldende versie vanaf 1 juli 2026; artikel 3 leden 1 en 4, artikel 5 leden 1, 3 en 4, artikel 8 leden 1 en 4, artikel 24 lid 1, artikel 27, artikel 28 en artikel 28a. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

223. Arbeidsomstandighedenbesluit (Nederland), BWBR0008498, geldende versie vanaf 1 augustus 2026; artikel 1.1 lid 5, onder b, artikel 4.1c, artikel 4.2 leden 7, 8 en 9, artikel 4.10c leden 4 en 5, artikelen 4.11 tot 4.13, artikel 4.15, artikel 4.16, artikelen 4.18 tot 4.21, artikel 9.9b lid 1, onder d, artikel 9.10a leden 1 tot 3 en artikel 9.22. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

224. Arbeidsomstandighedenregeling (Nederland), BWBR0008587, geldende versie vanaf 27 augustus 2026; artikelen 4.19 en 4.20 alsmede Bijlage XIII, Onderdeel A en B2 met de vermelding „Chroom (VI)-verbindingen (als Cr)" en de bijbehorende toelichting, daarbij artikel 4.20c (nationaal bepaalde kankerverwekkende processen). Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

225. Regeling van de Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid van 18 oktober 2016, 2016-0000222216, tot wijziging van de Arbeidsomstandighedenregeling in verband de wijziging van twee wettelijke grenswaarden in Bijlage XIII (Bisfenol A en Chroom (VI)-verbindingen), Staatscourant 2016, 57792, uitgegeven op 2 november 2016, in werking sinds 1 maart 2017; artikel I onder B en artikel II alsmede de toelichting bij artikel I onder B. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

226. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (Nederland): HERDRUK SZW-lijst met kankerverwekkende stoffen en processen, mutagene of voor de voortplanting giftige stoffen, Staatscourant 2026, 23121, heruitgave van 9 juli 2026; deel 1 A lijst van de kankerverwekkende processen met tien posities, deel 1 B met de vermeldingen over chroom(VI)-verbindingen met inbegrip van calciumchromaat en natriumchromaat alsmede deel 2 en deel 3. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

227. Beleidsregel boeteoplegging arbeidsomstandighedenwetgeving (Nederland), BWBR0032326, geldende versie vanaf 11 februari 2025; artikel 1 leden 1, 3, 8, 10, 11 en 12 alsmede de Tarieflijst, Onderdeel Arbobesluit, met de regels over de artikelen 4.1b, 4.1c, 4.2, 4.13, 4.15 tot 4.20 en de voetnoten 60, 61 en 77. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

228. Arbeidsomstandighedenbesluit (Nederland), BWBR0008498, geldende versie vanaf 1 augustus 2026, hoofdstuk 4 afdeling 5 Asbest; artikel 4.46, artikel 4.47 leden 7 en 8, artikel 4.47c leden 1 en 2, artikel 4.51a leden 1 tot 3, artikel 4.54a leden 3 tot 7 en artikel 4.54d, daarbij Arbeidsomstandighedenregeling artikelen 4.26 en 4.27 over de certificatieschema's. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

229. Regeling Europese afvalstoffenlijst (Eural, Nederland), BWBR0013546, geldende versie vanaf 1 januari 2024; artikelen 1, 2 en 4 leden 1 tot 3. Nederlandse benamingen van de afvalstoffencodes volgens de Handreiking EURAL, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, versie van 31 augustus 2019. De omgekeerde bewijslast volgens de officiële uitleg van het Informatiepunt Leefomgeving. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

230. Wet milieubeheer (Nederland), BWBR0003245, geldende versie vanaf 1 augustus 2026; artikel 10.38 leden 1 en 2, artikel 10.39 lid 1, artikel 10.40 lid 2 en artikel 10.54 lid 1. Artikel 10.54a is per 1 januari 2024 vervallen; het bedrijfsmatig mengen van gevaarlijke afvalstoffen is sindsdien volgens artikel 3.196 van het Besluit activiteiten leefomgeving vergunningplichtig. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

231. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, Nederland): Chroom-6 op de POMS-locaties van Defensie: gezondheidseffecten en verantwoordelijkheden, RIVM-rapport 2018-0061, 2018, alsmede Onderzoek naar blootstelling aan chroom-6 en arbeidsomstandigheden op Defensielocaties, periode 1970-2015, RIVM-rapport 2021-0066, 2021; opdrachtgever Paritaire Commissie Chroom-6, vraagstelling over chroom-6-houdende verf of verfstof. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

232. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, Nederland): Onderzoek naar chroom-6 bij NS/NedTrain in de periode 1970 t/m 2020, RIVM-rapport 2022-0152, 2022; publiekssamenvatting over oude verflagen en over schuur- en laswerkzaamheden. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

233. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, Nederland): Chroom-6 bij het re-integratieproject tROM, RIVM-rapport 2018-0164, gepubliceerd in januari 2019; restauratiewerkzaamheden aan museumtreinen in Tilburg en de vaststelling over de risico-inventarisatie van 2005. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

234. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, Nederland): Inventarisatie van toepassingen van chroom-6 op de werkplek, RIVM-briefrapport 2020-0080, 2020; paragraaf 4.2.1 over vuurvaste bekledingen, overzichtstabel in paragraaf 5.2 en samenvatting met de aanwijzing „hier is echter geen informatie over verkregen". Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

235. Regeling uitkering chroom-6 Defensie (Nederland), BWBR0040982, geldende versie vanaf 8 juni 2021; Bijlage 2 onder b met de limitatieve opsomming van de voor de beoordeling relevante werkzaamheden. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

236. Arboportaal van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (Nederland): Wat is chroom-6? alsmede Factsheet chroom-6, versie van 9 juni 2020, gepubliceerd op 14 juli 2020, en Beheersregime chroom-6 en andere gevaarlijke stoffen, Versie 2.0 van 11 april 2022 met de toepassingsbegrenzing in voetnoot 1. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

237. Nederlandse Arbeidsinspectie (Nederland): themapagina Chroom-6; genoemde blootstellingsbronnen, aanwijzing over de reikwijdte van het Beheersregime en de zin „Een negatieve uitslag is echter niet genoeg om te besluiten om géén maatregelen te nemen." Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

238. Beleidsregel arbocatalogi 2019 (Nederland), BWBR0042288, geldende versie vanaf 21 juni 2023; Bijlage, rij „Installatie- en isolatie" met de aangesproken voorschriften en de genoemde gevaarlijke stoffen asbest en kwartsstof. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

239. Health and Safety at Work etc. Act 1974 (c. 37, Verenigd Koninkrijk), versie „Latest available (revised)"; Section 2 leden 1 en 2, Section 3 leden 1 en 2, Section 7, Section 21 Improvement notices, Section 22 Prohibition notices, Section 40 Onus of proving limits of what is practicable alsmede Section 84 Extent. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

240. The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (SI 2002/2677, Verenigd Koninkrijk), versie „Latest available (revised)", geldingsaantekening E+W+S; Regulation 2 lid 1 (begrippen „substance hazardous to health" en „carcinogen"), Regulation 6 leden 2 en 4, Regulation 7 leden 4, 5, 7 en 9, Regulation 9 leden 1 tot 5, Regulation 10 leden 1 tot 5, Regulation 11 leden 1, 3 en 5, Regulation 12 leden 1, 2 en 4 alsmede Schedule 1, Schedule 2A, Schedule 4, Schedule 5 en Schedule 6. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

241. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië): L5, Control of substances hazardous to health, The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (as amended), Approved Code of Practice and guidance, zesde uitgave 2013, ISBN 978 0 7176 6582 2; punten 57, 69 en 87 alsmede de toelichtingen bij Schedule 5 en Schedule 6. Een zoekopdracht in de tekst naar „insulat" levert in dit document geen treffer op. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

242. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië): EH40/2005 Workplace exposure limits, vierde uitgave 2020, ISBN 9780717667031; inleidende opmerking bij de op 17 januari 2020 in werking getreden wijzigingen, tabel 1 met de vermelding „Chromium (VI) compounds (as Cr)", 0,01 mg/m³ als tijdgewogen gemiddelde over acht uur en 0,025 mg/m³ voor procesmatig gegenereerde blootstelling met voetnoot 1, aanwijzingen Carc, sen en BMGV. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

243. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië) als GB CLP Agency: The GB mandatory classification and labelling list, gepubliceerd op 17 februari 2025, laatstelijk bijgewerkt op 22 september 2025, bestand mcl-list.xlsx; vermeldingen 024-008-00-9 calciumchromaat (Carc. 1B, H350), 024-017-00-8 Chromium (VI) compounds (verzamelvermelding, H350i) en 024-018-00-3 natriumchromaat. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

244. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië): The GB CLP Regulation; overname van de geharmoniseerde indelingen van het Unierecht met de woordelijke tekst „all existing EU harmonised classification and labelling in force on 31 December 2020, are assimilated into Great Britain as GB mandatory classification and labelling (GB MCL)" alsmede ter afbakening tegenover Noord-Ierland met de woordelijke tekst „substances and mixtures placed on the market in Northern Ireland are subject to the EU CLP Regulation". Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

245. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië): UK REACH Authorisation List (Annex XIV), bestand authorisation-list-annex-xiv.xlsx, met natriumchromaat onder vermelding 22; UK REACH Candidate List, bestand candidate-list.xlsx; Restrictions under REACH, bestand list-of-restrictions.xlsx, versie 1 van 31 maart 2021; alsmede de mededeling Authorisations of hexavalent chromium compounds (CrVI) over het verlopen van de volgens EU-REACH verleende autorisaties op 21 september 2024. Calciumchromaat is noch in Annex XIV noch op de kandidaatslijst opgenomen. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

246. The Reporting of Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations 2013 (SI 2013/1471, Verenigd Koninkrijk), versie „Latest available (revised)"; Regulation 8 Occupational diseases, Regulation 9 Reportable occupational diseases alsmede Schedule 1 deel 1 nummer 2 en 3. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

247. The Hazardous Waste (England and Wales) Regulations 2005 (SI 2005/894), versie „Latest available (revised)"; Regulation 4 lid 1, Regulation 6, Regulation 19, Regulation 20 lid 2 alsmede Regulation 35 en 36. De List of Wastes (England) Regulations 2005 (SI 2005/895) zijn per 1 juli 2015 ingetrokken door SI 2015/1360 Regulation 10 onder a; de geldende verwijzing naar beschikking 2000/532/EG „as amended from time to time" staat sindsdien in Regulation 4 lid 1. Daarnaast: The Hazardous Waste (Wales) Regulations 2005 (SI 2005/1806) en de Special Waste Regulations 1996 (SI 1996/972) in de versie van de Special Waste Amendment (Scotland) Regulations 2004 (SSI 2004/112). Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

248. Environment Agency, Natural Resources Wales, Scottish Environment Protection Agency en Northern Ireland Environment Agency: Waste Classification, Guidance on the classification and assessment of waste, Technical Guidance WM3, eerste uitgave, versie v1.2.GB van oktober 2021, LIT 10121; Appendix A met de afvalstoffencodes 16 09 02*, 16 11 en 17 06 alsmede Appendix C7 tabel C7.1 met de concentratiegrens van 0,1 massaprocent voor HP 7 bij Carc. 1A en 1B met H350. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

249. Environmental Protection Act 1990 (c. 43, Verenigd Koninkrijk), Section 34 Duty of care etc. as respects waste, versie „Latest available (revised)". Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

250. The Health and Safety and Nuclear (Fees) Regulations 2022 (SI 2022/1378, Verenigd Koninkrijk), Regulation 23 en Regulation 24, met inbegrip van Regulation 24 lid 1 over de begrenzing tot de werkelijk gemaakte redelijke kosten en Regulation 24 lid 13 over de vrijstelling van werkzaamheden onder een asbestlicentie; daarbij Health and Safety Executive: HSE fees and charges, current rates, stand 1 april 2026, met een tarief van 188 pond per uur voor Fee for Intervention. Een wettelijk vastgelegd uurtarief bestaat niet. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

251. Sentencing Council (Engeland en Wales): Health and safety offences, Organisations: Breach of duty of employer towards employees and non-employees, Breach of duty of self-employed to others, Breach of Health and Safety regulations; in werking sinds 1 februari 2016, laatstelijk bijgewerkt op 5 oktober 2026; stap 1 en 2 met de matrix van mate van schuld en schadecategorie, de omzetcategorieën en het totale kader van 50 pond tot 10 miljoen pond. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

252. The Control of Asbestos Regulations 2012 (SI 2012/632, Verenigd Koninkrijk), versie „Latest available (revised)"; Regulation 6 lid 1 onder b, Regulation 7, Regulation 8 leden 1 tot 4, Regulation 9 lid 1, Regulation 10 lid 1 onder a nummer i tot xi, Regulation 19 leden 1 en 4, Regulation 20 leden 1, 3 en 4 alsmede Regulation 21 leden 1 en 2. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

253. Health and Safety Executive (Groot-Brittannië): HSG248, Asbestos, The Analysts' Guide, tweede uitgave mei 2021 in de gewijzigde versie van juli 2021, ISBN 9780616667079; tabel A5.1 met de vrijgaveprocedure in vier stappen en het criterium „All air sample results must be <0.010 f/ml for this stage to pass". Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

254. Institute of Occupational Medicine (Verenigd Koninkrijk): Protect your workers from the threat of Chromium VI, informatieblad zonder datum-, versie- of referentieaanduiding; vermelding van „calcium containing insulation systems" alsmede van de vaststelling „Cr VI dust can be commonly found on high-temperature insulated parts such as large engines". Een publicatiedatum is uit het document niet op te maken. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

255. Energy Institute (Verenigd Koninkrijk): Toolbox, Exposure hazard, hexavalent chromium; beschrijving van de vorming aan roestvast staal in contact met calciumoxidehoudende materialen zoals schroefdraadafdichtingsmiddelen of isolatie en van de toename bij verhoogde temperaturen. Het materiaal is volgens opgave van de pagina van Energy Safety Canada overgenomen, pagina-aanduiding 3 mei 2023. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

256. Thermal Insulation Contractors Association (Verenigd Koninkrijk): TICA Technical Resources, overzicht van de technische documenten; doorgenomen op 17 oktober 2026, zonder document over chroom(VI) of chromaten. Bron

257. UK Asbestos Training Association: OH02 Syllabus, Chromium VI Awareness (Hexavalent Chromium); genoemde vindplaatsen lassen, galvaniseren, pigment- en verfproductie, gieterij, bouw en sloop bij chroomhoudende coatings alsmede het verwijderen van coatings. Isolatie, hete onderdelen en turbines zijn niet genoemd. Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

258. Noord-Ierland en Schotland: The Control of Substances Hazardous to Health Regulations (Northern Ireland) 2003 (SR 2003/34), The Control of Asbestos Regulations (Northern Ireland) 2012 (SR 2012/179), The Reporting of Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations (Northern Ireland) 1997 (SR 1997/455), The Health and Safety at Work (Northern Ireland) Order 1978 (SI 1978/1039 (NI 9)) en The Hazardous Waste Regulations (Northern Ireland) 2005 (SR 2005/300). Geraadpleegd op 17 oktober 2026. Bron

259. Li, Y.; Qin, C.; Zhang, J.; Lan, Y.; Zhou, L.: Cu(II) Catalytic Reduction of Cr(VI) by Tartaric Acid Under the Irradiation of Simulated Solar Light. Environmental Engineering Science 2014, 31, 447-452. DOI: 10.1089/ees.2013.0407. Voor citroenzuur alleen vermeldt het werk, naar Li, C.; Lan, Y.; Deng, B.: Catalysis of manganese(II) on chromium(VI) reduction by citrate, Pedosphere 2007, 17, 318, een omzetting van minder dan 5 procent van 50 µmol/l Cr(VI) bij pH 4,5 binnen 22 uur alsmede een versnelling met ongeveer een factor 45 door mangaan(II). Geraadpleegd 18 oktober 2026. Bron

260. Yan, B.-Z.; Chen, Z.-F.: Influence of pH on Cr(VI) reduction by organic reducing substances from sugarcane molasses. Applied Water Science 2019, 9, artikel 61. DOI: 10.1007/s13201-019-0940-x. In het bijzonder de omzettingen van 99,6 tot 99,9 procent bij pH 2,0 en 2,5 en van 36,3 tot 15,4 procent bij pH 3,0 tot 8,0 in de steriele opzet. Geraadpleegd 18 oktober 2026. Bron

261. VES Systems: Hexavalent Chromium Products, productpagina Hex Buster, middel voor de oppervlaktedecontaminatie van chroom(VI), met een opgave over de werking zonder genoemd laboratorium en zonder gepubliceerde gegevens. Geraadpleegd 18 oktober 2026. Bron

262. Kavarmat® Sp. z o.o. Sp.k.: productpagina's KavarClean® Redox Powder & Spray, Kavar.Shop. Geraadpleegd 18 oktober 2026. Bron

Versiegeschiedenis

Versie	Datum	Wijziging
1.0	oktober 2026	Eerste versie
1.1	oktober 2026	Paragraaf 17 uitgebreid met oliefilms en apolaire fasen als tweede weg naar een te lage uitslag; paragraaf 26 (WD-40) herschreven met de meetwaarden van SEEF B.V. en de herkomst van de praktijk uit het Energy UK-bulletin; chronologie in paragraaf 1 uitgebreid met de vermelding Energy UK, september 2019; twee nieuwe bronnen.
1.2	oktober 2026	Paragraaf 16 uitgebreid met de bevinding uit de veiligheidsinformatiebladen: de omzettingsuitspraak van HarbisonWalker in rubriek 13, de samenstellingen van de betrokken vuurvaste producten en het ontbreken van een calciumregel in de vezelbladen; vier nieuwe bronnen.
1.3	oktober 2026	Paragraaf 26 (neutralisatie) verdiept: het begrip zelf, de werkinstructie van Vattenfall Generation NL, de conferentiebevindingen van 6 november 2025 over Ecopoint en Econtras inclusief het SEEF-certificaat, de formulering van de Duitse Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft en de vergelijking met de chromaatreductie in cement; paragraaf 28 aangevuld met de bedrijfsrealiteit en de materiaalkeuze; vijf nieuwe bronnen.
1.4	oktober 2026	Paragraaf 25 uitgebreid met een onderdeel over de verplichtingen vóór aanvang van de werkzaamheden (onderzoek, risicobeoordeling en het verbod te beginnen naar Duits, Nederlands, Brits en Amerikaans recht); paragraaf 26 aangevuld met de vergelijking tussen de werkinstructie van de Duitse Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft en haar openbare informatiepagina en met de gelijkluidende formulering op de productpagina van de leverancier; acht nieuwe bronnen.
1.5	oktober 2026	Nieuwe paragraaf 27 over chroom(III) als veronderstelde eindtoestand: de redenering in de fabrikantendocumenten, de reactiestappen volgens de MAK-onderbouwing, het ontbreken van speciatiebepaling, de indelingen volgens de MAK- en BAT-lijst 2026 en het Anses-advies van 2021, het precedent van leerlooien, de conclusie over afvoerloos werken en de terugkeer van ongebonden chroom(III) naar het hete onderdeel; paragraaf 26 aangevuld met de leverancier MATinspired en de testkring rond de TK11; de volgende paragrafen één nummer opgeschoven; vijf nieuwe bronnen.
1.6	oktober 2026	Nieuwe paragraaf 31 over de keuze van het geciteerde regelgevingskader, met de verhouding van de Duitse TRGS 561 tot Richtlijn 2004/37/EG, de vier beoordelingsniveaus en de handbevinding van de Franse veldstudie inclusief lucht-, urine- en vezelmetingen; nieuwe paragraaf 32 over de mogelijke orde van grootte, met bestandscijfers uit openbare fabrikantenopgaven, vlootstatistieken en installatieregisters en een raming van het jaarlijkse aantal gelegenheden; de conclusie twee nummers opgeschoven; zestien nieuwe bronnen.
1.7	oktober 2026	Nieuwe bijlage over isolatiematerialen met basische oxiden en de plaatsen waar zij zijn ingebouwd, vóór de conclusie, met twee tabellen: in de handel verkrijgbare isolatiematerialen met hun gedocumenteerde gehalte aan calcium-, natrium- en andere basische oxiden, en de toepassingsgebieden waarin deze materialen op chroomgelegeerde hete onderdelen zijn aangebracht, van jachten, containerschepen en cruiseschepen via locomotieven, bouwmachines en wegvoertuigen tot warmtekrachtinstallaties, noodstroomaggregaten, turbines, ovens en chemische installaties; conclusie één nummer opgeschoven; achtentwintig nieuwe bronnen.

Versie	Datum	Wijziging
1.8	oktober 2026	Drie nieuwe paragrafen vóór de bijlage: de verplichtingen in Duitsland (begrippen gevaarlijke stof en werkzaamheid, onderzoek vóór aanvang van de werkzaamheden en de plicht van de opdrachtgever volgens § 5a, substitutie en rangorde, de waarde van 1 µg/m³, het expositieregister volgens § 10a en TRGS 410, arbeidsgezondheidskundig onderzoek en beroepsziekte, toezicht en sancties, afvalrecht en de afstand tot het asbestregime), de verplichtingen in de Europese Unie (Richtlijn 2004/37/EG, Kaderrichtlijn 89/391/EEG, de bindende grenswaarde, de lijst en veertig jaar, indeling, autorisatie en het beperkingsvoorstel van 2025, het afvalrecht van de Unie en de afstand tot de asbestrichtlijn) en de verplichtingen in Nederland (Arbeidsomstandighedenbesluit, grenswaarde 0,001 mg/m³, de eigen grenswaarde volgens artikel 4.16 lid 2, de lijst en veertig jaar, boetekader en economisch delict, Eural en het Nederlandse chroom-6-complex); bijlage en conclusie drie nummers opgeschoven; veertig nieuwe bronnen.
1.9	oktober 2026	Eén nieuwe paragraaf vóór de bijlage: de verplichtingen in het Verenigd Koninkrijk (het stofbegrip van de COSHH Regulations 2002 los van de indeling, beoordeling en onderhoud met een vastleggingsplicht pas vanaf vijf werknemers, voorkoming, vervanging en minimalisering volgens Regulation 7 met de bewijslast volgens Section 40, de grenswaarde 0,01 mg/m³ volgens EH40 vierde editie 2020 en de achterhaalde waarde in het informatieblad van de instantie, meting, gezondheidstoezicht en veertig jaar, voorlichting ook aan werknemers van andere bedrijven, toezicht, strafbaar feit, kostenverhaal en meldingsplicht, afvalrecht volgens de Hazardous Waste Regulations en WM3, GB CLP en UK REACH, de afstand tot het asbestregime en de benoeming van het onderwerp door Energy UK in september 2019); bijlage en conclusie één nummer verder opgeschoven; negentien nieuwe bronnen.
1.10	oktober 2026	Rectificatie en verdieping bij de Britse regelgeving. De regel Verenigd Koninkrijk in paragraaf 18 en de bijbehorende zin in de samenvatting en in het overzicht vermelden nu 0,01 mg/m³ als achtuursgemiddelde en 0,025 mg/m³ voor procesmatig gegenereerde blootstelling volgens EH40/2005, vierde uitgave 2020; de tot nu toe genoemde waarde van 0,05 mg/m³ komt uit het informatieblad INDG346, dat de instantie na de verlaging van 17 januari 2020 niet heeft bijgewerkt, en is als zodanig aangeduid. Nieuw in de paragraaf over het Verenigd Koninkrijk: de drie met „and" verbonden voorwaarden van Regulation 7(7), met de vergelijking met artikel 5 lid 3 van richtlijn 2004/37/EG en met § 10 lid 1 van de Duitse Gefahrstoffverordnung; de bevinding dat EH40 voor chroom(VI) geen huidnotatie voert en dat de notatie „sen" daar alleen beroepsastma betreft; en een onderdeel over de gevarenaanduidingen met de drie vermeldingen van de GB mandatory classification and labelling list en de bevinding dat H317 en H314 in Regulation 7(7) onder c niet worden genoemd. Het citaat uit artikel 5 lid 3 in de paragraaf over de Europese Unie is beperkt tot de reductiemaatstaf. Eén nieuwe bron.
1.11	oktober 2026	Paragraaf 16 uitgebreid met de waarschuwing van Wärtsilä, Instruction WS00Q563 van 9 november 2020 in uitgave 4 van 20 juni 2024; paragraaf 17 aangevuld met het onderdeel over monsterneming naar plek, oppervlak en diepte; paragraaf 26 uitgebreid met de citroenzuuroplossing uit het bulletin, de plaatsing van citroenzuur onder de reductiemiddelen en met een opgave uit de eigen omgeving van de auteur; de toepassingstabel aangevuld met de fabrikantenwaarschuwing; nieuwe paragraaf met de openbaarmaking van de belangen van de auteur; de bron over geleverd centralevermogen vervangen door Instruction WS00Q563; vier nieuwe bronnen.
1.7 NL	oktober 2026	Nederlandse uitgave: nieuwe paragraaf 33 over de verplichtingen in Frankrijk (beoordeling, substitutie, grenswaarde van 0,001 mg/m³, onderzoek voor aanvang van de werkzaamheden, sancties en faute inexcusable) en nieuwe paragraaf 34 over de verplichtingen in Zwitserland (UVG, VUV, Suva-waarden, ChemRRV, BauAV, EKAS-richtlijn 6503); conclusie omgenummerd naar 35; zeventien nieuwe bronnen.