

Długosza, oktober 2026

Het over het hoofd geziene ingrediënt

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

Samenvatting van de vakanalyse, uitgave Frankrijk en Zwitserland

Versie 1.10 · oktober 2026

Markus Sommer, chromaatexpert, De Chromaatexperts · www.chromatexperten.de

Hogetemperatuurisolatiematerialen bevatten basische oxiden, vooral calcium- en natriumoxide. Geen van beide is ingedeeld als kankerverwekkend, en geen van beide komt voor in een beschouwing over chroom(VI). Boven ongeveer 300 °C reageren zij met de chroomoxidelaag van chroomgelegeerde hete delen tot calcium- en natriumchromaat. Er ontstaan kankerverwekkende verbindingen die niemand heeft vervaardigd, besteld of ingebouwd.

Asbest was nooit zomaar asbest. In het spraakgebruik werd onderscheiden naar kleur; daarachter staan chrysotiel, amosiet, crocidoliet en drie verdere mineralen. Voor het beschermingsregime maakte dat weinig verschil: de stof werd ingekocht, de herkomst was bekend en alle soorten werden gelijk behandeld.

Bij „chroom(VI)” ligt het anders. Het verzamelbegrip vat het gevaar juist samen, want de Europese indeling behandelt chroom(VI)-verbindingen als groep. Het verhuut echter de oorzaak. Achter elke vaste bevinding staat een zout, en het voorvoegsel van dat zout noemt de reactiepartner: loodchromaat, zinkchromaat, strontiumchromaat, natriumchromaat, calciumchromaat. Wie calciumchromaat aantreft, ziet de herkomst van de chroom(VI)-verbinding. Wordt alleen over „chroom(VI)” gesproken, dan blijft de informatie over het proces dat het veroorzaakt ongebruikt, de vraag naar de oorsprong wordt niet gesteld, en het calcium blijft het over het hoofd geziene ingrediënt (paragraaf 3).

Een verder verschil met asbest ligt in het moment van de gevaarstelling. De asbestvezel was in leveringstoestand al een gevaarlijk product. De hier behandelde chroom(VI)-verbindingen (chromaten) ontstaan in situ, dus tijdens het gebruik. Zulke vorming wordt vaak voorgesteld als verontreiniging of als onvermijdelijk gevolg van het bedrijf. Bij calciumchromaat is de reactiepartner echter benoembaar. Hij is bestanddeel van een tweede product, de warmte-isolatie, die is uitgekozen en ingebouwd. Een calciumhoudend isolatiemateriaal, een calciumhoudende pakking of een calciumhoudende montagepasta kan op een chroomgelegeerd heet deel tot de vorming van calciumchromaat leiden. Een isolatiemateriaal, een pakking of een montagepasta zonder alkali- en aardalkalimetaaloxiden kan deze verbindingen in situ niet vormen, omdat de reactiepartner ontbreekt. De vorming is daarmee een eigenschap van de materiaalcombinatie en geen onvermijdelijk gevolg van het bedrijf. De risicobeoordeling moet deze materiaalcombinatie omvatten, en de vervangingstoets op grond van § 7 lid 3 van de Duitse Gefahrstoffverordnung en de paragrafen 4.1 en 4.2 van de Duitse TRGS 561 moet met een beschikbare vervangende stof worden uitgevoerd.

Deze samenvatting geeft de inhoud van de volledige vakanalyse weer en noemt bij elk punt de paragraaf waarin het is onderbouwd. Zij is de ingang tot het volledige document en vervangt het niet.

1. De vormingsweg

De reactie vereist vier voorwaarden, en alle vier zijn in een geïsoleerde hete installatie bij normaal bedrijf vervuld. Ten eerste een chroombron: in de regel de passieve chroomoxidelag van chroomgelegeerd staal, dus juist de laag die het staal corrosiebestendig maakt. Ten tweede een basisch oxide als reactiepartner, overwegend calciumoxide, daarnaast natrium-, kalium- en magnesiumoxide. Ten derde zuurstof. Ten vierde verhoogde temperatuur. Natriumchromaat vormt zich vanaf ongeveer 200 °C, calciumchromaat vanaf ongeveer 300 tot 350 °C (paragrafen 9 en 12).

De reactiepartner komt niet uit een toevoeging die men zou kunnen weglaten. Hij komt uit calciumsilicaat, minerale en steenwol, E-glasweefsel, AES-wollen, vuurvaste massa, montagepasta of verbrandingsresten. Basische oxiden zijn constitutieve bestanddelen van het glassmeltseel waaruit de meeste hogetemperatuurvezels worden getrokken. Zij komen via oud glas, kalksteen en dolomiet onvermijdelijk in de receptuur, en zij vervullen daar een technische functie: zij verlagen de smelttemperatuur en maken de vezel überhaupt trekbaar. Minder basische oxiden betekenen een hogere smelttemperatuur en daarmee andere installatietechniek. Het onderwerp is daarom noch aan een product noch aan een fabrikant gebonden; het is aan een materiaalklasse gebonden. Vezels zonder noemenswaardige basische oxiden bestaan niettemin al decennia (paragraaf 13).

Beslissend voor het begrip van het hele proces is het verschil tussen leveringstoestand en gebruikstoestand. In leveringstoestand is geen chromaat aanwezig. Het ontstaat bij beoogd bedrijf, aan het grensvlak tussen isolatie en heet deel, en het ontstaat daar voortdurend zolang de voorwaarden bestaan. Vrij komt het niet tijdens bedrijf, maar bij onderhoud, demontage, reiniging, revisie en sloop, en wel als stof. Het stof verlaat het werkgebied via gereedschap, kleding, handschoenen en gedemonteerde onderdelen. Een veiligheidsinformatieblad dat de leveringstoestand beschrijft, is daarom formeel juist en zonder zeggingskracht voor de risicobeoordeling van de onderhoudshandeling.

De reactie is bovendien niet eenmalig. Zij is cyclisch. Wordt een onderdeel gereinigd en de calciumhoudende isolatie opnieuw aangebracht, dan zijn na het volgende opstarten alle vier voorwaarden opnieuw vervuld. Elke bedrijfscyclus brengt nieuw chromaat voort. De waarden na 1.000 en 5.000 uur uit de grensvlakstudie beschrijven precies deze ophoping.

2. Het bewijsmateriaal

De vormingsweg is niet nieuw ontdekt, hij is sinds 1939 in octrooivorm beschreven. Udy roostte chroomhoudend ferrochroom met kalk in lucht en claimde in de conclusies 22 tot en met 26 uitdrukkelijk mengsels van calciumchromiet en calciumchromaat alsmede natriumchromaat. De reactie was daar geen ongewenst neveneffect, maar het doel van de werkwijze. Wie de chemische grondslag betwist, betwist een verleend werkwijzeoctrooi waarvan het hele doel in deze reactie bestaat (paragrafen 7 en 8).

Vier experimentele werken bevestigen de weg op verschillende niveaus en met verschillende methoden. Paoletti toonde in 2002 bij het Forschungszentrum Karlsruhe na een uur bij 850 °C in lucht CaCrO_4 röntgenografisch aan, in inerte atmosfeer daarentegen alleen driewaardig $\text{Ca}(\text{CrO}_2)_2$. Daarmee is zuurstof experimenteel als noodzakelijke voorwaarde afgebakend. Verbinnen et al. bereikten in 2013 met NaOH na 60 minuten 83 procent **Cr(VI)**-uitloging bij 500 °C en 89 procent bij 700 °C. Mao et al. toonden in 2015 de directe reactie van Cr(III) met CaO tussen 500 en 900 °C (paragraaf 10).

Het werk dat het dichtst bij de toepassing staat komt van Sayano et al. uit hetzelfde jaar. Onderzocht werd niet een poedermengsel in een oven, maar het directe contact van chroomhoudende staalsoorten met in de handel verkrijgbare isolatiematerialen, dus de geometrie van de werkelijke installatie. Op calciumsilicaatisolatie identificeerde de röntgendiffractie CaCrO_4 , op natriumhoudende isolatie Na_2CrO_4 . Na 1.000 uur bij 873 K werd 160 mg **Cr(VI)** per vierkante meter contactoppervlak gemeten, na 5.000 uur 940 mg/m². Een slechts 3 tot 4 µm dikke sperlaag van Al_2O_3 verhinderde de chroomdiffusie en voorkwam de vorming vrijwel volledig. Die sperlaag is het feitelijke bewijs dat het mechanisme is begrepen: wie een reactie gericht kan tegenhouden, kent haar weg (paragraaf 10).

Toshiba beschreef hetzelfde proces reeds in 2010 en 2011 in twee octrooiaanvragen, inclusief reactievergelijking, en stelde een keramische scheidingslaag en een nikkelfolie als preventie voor. De op de toepassing gerichte probleemstelling was daarmee vóór de studie van 2015 openbaar toegankelijk, en wel in de vorm waarin industriële ondernemingen kennis vastleggen wanneer zij die economisch van belang achten (paragraaf 11).

Daarnaast bestaat een tweede weg. Vluchtige chroomverbindingen van een hete bron kunnen op koelere vezels neerslaan. Dit gasfasetransport vervangt de grensvlakreactie niet; beide kunnen in dezelfde installatie optreden, en beide leiden tot chromaat op de isolatie (paragraaf 14).

3. Wat de industrie wist en hoe zij het heeft geformuleerd

De vroegste waarschuwing van een fabrikant stamt niet pas uit de laatste jaren. Babcock & Wilcox gaf in april 1990 het Plant Service Bulletin PSB-43 uit aan eigenaren en exploitanten van ketels; de versie PSB-43A van maart 1994 breidde het uitdrukkelijk uit tot „plastics, insulation, and textiles”. Daarin staat dat chroomverbindingen tijdens bedrijf in zeswaardig chroom kunnen overgaan en dat het bij demontage ontstane stof het meevoert. De uitbreiding tot isolatiematerialen en textiel ligt daarmee tweeëndertig jaar vóór de eerste beschrijving door een overheid in Duitsland (paragraaf 16).

Jaar	Bron	Inhoud
1939	US-octrooi 2.176.687 (Udy)	Gerichte vorming van calcium- en natriumchromaat uit chroombron, kalk of soda en zuurstof
1990/1994	Babcock & Wilcox PSB-43 en PSB-43A	Omzetting tijdens bedrijf, stoftransport bij demontage, uitbreiding tot isolatie en textiel
2002	Paoletti, Forschungszentrum Karlsruhe	CaCrO_4 uit Cr_2O_3 en CaO tussen 500 en 850 °C, zuurstof als voorwaarde
2010/2011	Toshiba, twee octrooiaanvragen	Grensvlak roestvast staal en calciumhoudende isolatie, preventie benaderingen
2015	Sayano et al.	Rechtstreekse aantoning van CaCrO_4 en Na_2CrO_4 aan het grensvlak
2019	Correspondentie van een fabrikant	Calcium uit het isolatiemateriaal als oorzaak genoemd, alle motortypen betroffen
2019	Energy UK, branchebulletin	De drie vormingsvoorwaarden juist benoemd, in hetzelfde document WD-40 aanbevolen om de resten op te nemen
2020 tot 2025	Servicemededelingen en technische instructies	Bevindingen aan motoren, voertuigen, turbines en isolaties, deels met vermelding van calciumchromaat
2024	Dissertatie Montana State University	Onderzoek op verzoek van de Europese fabrikantenvereniging ECFA, mede gefinancierd door haar industriepartners
2026	De Duitse TRGS 561 en de BG ETEM	Alkali- en aardalkalioxiden uit isolatiematerialen en montagepasta als invloedsfactor

De in 1990 getrokken conclusie lag voor de hand en bleef zonder gevolg: het product bevatte chroom, dus werden chroomhoudende producten afgewezen. De recepturen zelf bleven ongewijzigd. Het veiligheidsinformatieblad voor Ceraform 130 vermeldt in de versie van 23 december 2020 nog steeds chroom(III)oxide tot 3 procent. Het gele poeder bleef optreden, en omdat het chroom uit de isolatie verwijderd leek, bleef als verklaring het hete deel over. Niet onderkend werd om welke verbindingen het ging. De basische reactiepartner werd nooit verwijderd (paragraaf 16).

Tussen de groepen fabrikanten bestaat daarbij een opvallend verschil in de wijze van documenteren. De vuurvastfabrikant HarbisonWalker benoemt de omzetting in zijn veiligheidsinformatiebladen uitdrukkelijk: chroom(III) kan zich tijdens gebruik in **chroom(VI)** omzetten. De zin staat echter in rubriek 13, verwijdering, dus in dat deel van het blad dat het Amerikaanse voorschrift OSHA 29 CFR 1910.1200 bijlage D als niet bindend aanmerkt. Dezelfde informatie heeft in rubriek 2, gevaren, een ander rechtsgevolg dan in rubriek 13 (paragraaf 16).

Bij de vezelfabrikanten ontbreekt een dergelijke uitspraak geheel. In de veiligheidsinformatiebladen van de onderzochte hogetemperatuurwollen staat geen calciumregel, hoewel calciumoxide in de stofdefinitie van aluminiumsilicaatwol achter CAS-nummer 142844-00-6 is begrepen en daar volgens EIGA-document 207 tot 18 procent is toegestaan. Aardalkalisilicaatwol voeren de fabrikanten onder CAS-nummer 436083-99-7; haar stofdefinitie noemt calciumoxide en magnesiumoxide met 18 tot 43 procent. Wie het blad leest, verneemt niet dat hij de reactiepartner in handen heeft. Er staan daarmee twee voorstellingen naast elkaar: een die de omzetting kent en haar in het niet-bindende deel schrijft, en een die de reactiepartner niet vermeldt (paragraaf 16).

4. De mythen, stuk voor stuk en met tegenbewijs

Het onderwerp wordt niet in de eerste plaats betwist, het wordt verkeerd ingedeeld. In zeven jaar veldwerk zijn steeds dezelfde aannames als motivering aangevoerd. Elk daarvan is toetsbaar, en elk daarvan houdt bij toetsing geen stand.

Aanname	Bevinding
„Wij gebruiken geen chroom(VI) , dus het betreft ons niet.”	De stof wordt niet gebruikt, maar in het eigen bedrijf gevormd. De risicobeoordeling knoopt aan bij het optreden, niet bij de inkoop.
„ Chroom(VI) is chroomzuur en dichromaat, niet dit.”	Calcium- en natriumchromaat zijn chroom(VI) -verbindingen en zijn ingedeeld als kankerverwekkend. Calciumchromaat is in dierproeven het werkzaamste van de vergeleken chromaten.
„Het isolatiemateriaal is chroomvrij, dus ongevaarlijk.”	Het chroom komt uit het staal. Chroomvrij betekent alleen dat het tweede ingrediënt ontbreekt; het eerste levert de installatie zelf.
„Het veiligheidsinformatieblad vermeldt niets.”	Het blad beschrijft de leveringstoestand. De verbinding ontstaat pas bij gebruik.
„Calciumoxide is onschadelijk, het is niet ingedeeld als kankerverwekkend.”	Geharmoniseerd ingedeeld is het als Skin Irrit. 2 (H315), Eye Dam. 1 (H318) en STOT SE 3 (H335); een kankercategorie draagt het niet. Juist daarom valt het door elk raster van een chroom(VI) -beschouwing, hoewel het daar de reactiepartner is.
„Asbestvrij is veilig.”	De asbestvervanging nam de vezel weg, niet het materiaalsysteem. De basische oxiden bleven in de receptuur.
„Er is niets geels te zien.”	De zichtbare gele afzetting is het uiterste geval, niet de aantoonbaarheidsgrens. Voor blootstelling relevante hoeveelheden zijn onzichtbaar.
„De sneltest was negatief.”	In een veldstudie aan diesel- en scheepsmotoren toonde de laboratoriumanalyse aan de turbolader 869 ng Cr(VI) aan, terwijl de colorimetrische sneltest op dezelfde plek negatief uitviel.
„Het laboratorium heeft niets gevonden.”	Zonder opgave van de terugvinding op dezelfde matrix is dat geen uitspraak over het gehalte. In een ringonderzoek lag de terugvinding naargelang de methode bij 0,2, 6,5 en 35,3 procent.
„Wij hebben het met WD-40 afgenomen.”	Kruipolie reduceert chroom(VI) niet. Het chromaat gaat over in de apolaire fase en wordt aan de meting onttrokken; gemeten terugvinding 5,8 procent.

Aanname	Bevinding
„Het mechanisme is niet afdoende opgehelderd.“	Open zijn de kwantitatieve randvoorwaarden, niet het bestaan van de reactie. Open kinetiek is geen reden om een aangetoonde vorming buiten beschouwing te laten.
„Wij hebben gereinigd, daarmee is het afgedaan.“	Reiniging werkt voor de afzonderlijke handeling. Blijft de calciumhoudende isolatie op het hete deel, dan vormt het chromaat zich bij het volgende opstarten opnieuw.

5. Hoe de waarschuwingen zijn geformuleerd

Dat er waarschuwingen bestaan is niet het punt. Het punt is hun bouwvorm. Zij verschijnen overwegend op plaatsen en in formuleringen die de ontvanger niet in staat stellen de eigen installatie te beoordelen.

Ten eerste de plaatsing. De uitspraak over de omzetting staat bij HarbisonWalker in rubriek 13 en niet in rubriek 2. Volgens OSHA-bijlage D zijn de rubrieken 12 tot en met 15 niet bindend. De informatie is aanwezig en staat tegelijk daar waar zij juridisch het minst uitwerkt.

Ten tweede het weglaten van de reactiepartner. De bladen van de vezelproducten noemen de oxidebestanddelen niet afzonderlijk. Calciumoxide zit in de stofdefinitie achter een CAS-nummer dat geen gebruiker naslaat. Het registratiedossier van ECHA noemt voor deze stofgroep uitdrukkelijk calcium-, magnesium-, natrium- en kaliumoxide, maar daar zoekt niemand die een isolatiemat aanbrengt (paragrafen 3 en 12).

Ten derde de koppeling aan zichtbare kenmerken. Beschermingsmaatregelen worden in service-instructies gekoppeld aan gele afzettingen en aan positieve sneltests. Beide kenmerken zijn onbetrouwbaar, en beide verschuiven de maatregel naar het moment waarop de belasting al hoog genoeg is om op te vallen.

Ten vierde de aanbeveling van een onwerkzame maatregel in hetzelfde document dat de chemie juist beschrijft. Het branchebulletin van Energy UK uit september 2019 benoemt de drie vormingsvoorwaarden juist en beveelt enkele bladzijden later aan chroom(VI)-resten met WD-40 te binden en op te nemen. Een onafhankelijk laboratoriumrapport van september 2026 weerlegt elke reducerende werking: bij volledige extractie bleek er geen dosis-effectrelatie, de terugvinding lag op 96,8 procent in oplossing, en de schijnbare daling tot 5,8 procent aan de vaste stof bleek een oplosbaarheidsartefact. De aanbeveling levert dus niet minder chromaat op, maar minder meetresultaat (paragraaf 26).

Ten vijfde de herkomst van het onderzoek. De dissertatie van de Montana State University uit 2024 kwam tot stand op verzoek van de Europese fabrikantenvereniging ECFIA en werd deels door haar industriepartners gefinancierd. Dat ontwaardt het werk niet. Het plaatst het: de branche heeft de vraag laten onderzoeken, dus kende zij de vraag.

Ten zesde het tijdstip. De eerste beschrijving door een overheid in Duitsland staat in de Duitse TRGS 561 van 4 mei 2026. De eerste waarschuwing van een fabrikant dateert van april 1990. Daartussen liggen zesendertig jaren waarin onderhoud is gepleegd, gedemonteerd, gereinigd en hergebruikt.

6. Waarom een negatief meetresultaat niets bewijst

De bepaling van chroom(VI) is speciatieanalyse. Gemeten wordt niet een element, maar een oxidatietoestand, en die kan tijdens de monstervoorbereiding in beide richtingen veranderen. De Amerikaanse methode EPA 3060A noemt beide foutrichtingen uitdrukkelijk en verlangt gespikete monsters met een aanvaardingsbereik voor de terugvinding van 75 tot 125 procent. Die opgave is deel van het resultaat, niet een aanvullende informatie (paragraaf 17).

Voor thermische isolatiematerialen bestaat geen genormeerde methode. Dat is geen vormfout, maar de kernmoeilijkheid: de matrix is zelf de reactiepartner. Zij is calciumrijk, basisch en in gebruikstoestand doortrokken van roet, olie en corrosieproducten, dus van juist die stoffen die chroom(VI) reduceren. Overgedragen methoden leveren daarom onderbevindingen tot bijna nul. Het ringonderzoek bij de Nederlandse NEN 5617 toont de orde van grootte: in een matrix met 16 procent zink lag de terugvinding naargelang de methode bij 0,2, bij 6,5 en bij 35,3 procent. Hetzelfde materiaal, drie methoden, resultaten die meer dan twee ordes van grootte uiteenlopen.

Een analyseresultaat zonder opgave van de terugvinding op dezelfde matrix is daarom geen uitspraak over het gehalte. Hetzelfde geldt in versterkte mate voor sneltests. In een Franse veldstudie aan diesel- en scheepsmotoren toonde de laboratoriumanalyse aan de turbolader 869 ng Cr(VI) aan, terwijl de colorimetrische sneltest op dezelfde plek negatief uitviel (paragraaf 19).

Een tweede weg leidt tot hetzelfde resultaat. Wordt een oppervlak vóór de monsternamen met een kruipolie behandeld, dan gaat het chromaat over in de apolaire fase en wordt het aan de meting onttrokken. Voor WD-40 is een terugvinding van 5,8 procent gemeten. Wie zo behandelt en vervolgens laat meten, krijgt een negatieve bevinding die uitsluitend de monstervoorbereiding beschrijft (paragraaf 17).

Dezelfde veldstudie toont tegelijk aan dat de luchtmeting de dermale weg niet weergeeft. Bemonsterd werden ook de handen van de werknemers: vóór de demontage lag de waarde onder de bepalingsgrens van 40 ng, na de demontage bij 45,4 ng, en de auteurs leggen de verontreiniging van de handen ondanks gedragen wegwerphandschoenen van nitril uitdrukkelijk vast. Gedragen werden daarnaast halfmaskers FFP3 en een werkoverall type 5. In dezelfde ronde bleven de luchtwaarden laag, en de urinewaarden van de elf onderzochte monteurs lagen gemiddeld bij 0,26 µg per gram creatinine en daarmee onder de biologische referentiewaarde van 0,54. De zwakke plek is daarbij niet de handschoenen, maar de mouwafsluiting en het moment van uittrekken; in de praktijk worden de overgangen naar de overall en naar het schoeisel daarom met tape afgedicht (paragraaf 31).

Daaruit volgt de bewijspositie. Een positieve bevinding toont belasting aan. Een negatieve bevinding toont niets aan zolang de terugvinding op dezelfde matrix niet is vermeld. Dat is geen strenge uitleg, maar het gevolg van de methodiek, en het is de reden waarom de Duitse TRGS 561 de beschermingsmaatregelen niet aan een meting bindt.

7. De „neutralisatie” en de vraag van de opdracht

In de praktijk wordt steeds vaker gesproken van neutralisatie, decontaminatie of reductie, en zulke werkzaamheden worden regelmatig opgedragen aan het aanwezige onderhouds- en schoonmaakpersoneel. Deze toewijzing is het zwakste punt van de huidige praktijk, en wel om drie redenen tegelijk.

Ten eerste is het begrip inhoudelijk onbepaald. Reductie van **chroom(VI)** tot chroom(III) is chemisch mogelijk, maar zij vooronderstelt een geschikt reductiemiddel, een geschikt pH-bereik, voldoende contacttijd en een bewijs van doeltreffendheid. De voorwaarden die het certificaat van de keuringsinstantie noemt, komen in de werkinstructies niet voor, en een bewijs van doeltreffendheid voor de isolatiemateriaalmatrix ontbreekt in alle beschikbare documenten. Wat in de praktijk neutralisatie wordt genoemd, is overwegend afnemen, afzuigen of behandelen met een middel waarvan de werking niet is aangetoond. In het geval van de kruipolie is het tegendeel aangetoond.

Ten tweede is het resultaat door het personeel niet te controleren. Of een reductie heeft plaatsgevonden, is alleen analytisch vast te stellen, en wel met hetzelfde matrixprobleem als hiervoor. Een medewerker die een oppervlak heeft behandeld, heeft geen mogelijkheid vast te stellen of hij de gevaarstelling heeft weggenomen of alleen de meetbaarheid heeft veranderd. Een maatregel waarvan de uitvoerder de werkzaamheid niet kan beoordelen, wekt een gevoel van veiligheid zonder veiligheid.

Ten derde, en juridisch beslissend, is de rangorde van de maatregelen voorgeschreven. De Duitse Gefahrstoffverordnung bepaalt in § 7 lid 3 dat bij werkzaamheden met kankerverwekkende stoffen „vorrangig eine Substitution durchzuführen“ is, dus dat vervanging met voorrang moet worden uitgevoerd. Lid 4 ordent de verdere maatregelen in een vaste volgorde: inrichting van processen en installaties, technische beschermingsmaatregelen, organisatorische maatregelen, persoonlijke beschermingsmiddelen als laatste. Een nageschakelde behandeling van de ontstane verbinding is in die rangorde geen vervanging en geen technische beschermingsmaatregel; zij is nazorg.

Daar komen twee verplichtingen bij die in de praktijk regelmatig over het hoofd worden gezien. § 7 lid 7 verlangt de werking en de doeltreffendheid van de technische beschermingsmaatregelen regelmatig, doch ten minste om de drie jaar, te controleren. Lid 9 verlangt dat daar waar geen grenswaarden bestaan, de doeltreffendheid van de maatregelen met geschikte methoden wordt gecontroleerd. Voor de in situ ontstane chromaten bestaat noch een genormeerde methode voor de matrix noch een stofspecifieke grenswaarde voor de verbinding. Wie een neutralisatie als beschermingsmaatregel voert, moet dus de doeltreffendheid ervan kunnen aantonen, en juist dat is bij de huidige stand van de analytiek voor deze matrix niet zonder aanzienlijke inspanning mogelijk.

Hoe de praktijk eruit ziet, laten de beschikbare documenten zien. De werkinstructie „Instructie voorkomen blootstelling aan **Chroom(VI)**“ van Vattenfall Generation NL, eerste versie 18 februari 2019, laatst bijgewerkt op 29 april 2024, beschrijft de vormingsweg juist en voorziet voor de behandeling in een omzetterspray en een zelf aangemaakte ascorbinezuuroplossing. De controle op het resultaat hangt volledig aan de colorimetrische sneltest: valt hij negatief uit, dan zijn volgens de tekst geen verdere maatregelen en geen beschermingsmiddelen vereist, gereedschap en gebruikte volgelaatsmaskers gaan terug naar het magazijn, en de benevelde isolatiematrassen worden opnieuw ingezet. Daarmee keert de reactiepartner met het materiaal terug naar het hete deel (paragraaf 26).

Het certificaat dat de keuringsinstantie SEEF B.V. in augustus 2025 voor een dergelijk middel heeft opgesteld, is in zijn opzet correct, omdat het niet meer beweert dan wat is getoetst. Het koppelt de werkzaamheid aan de oplosbaarheid van de verbindingen in de oplossing, noemt de veroudering van het product, verlangt een inwerktijd van ten minste 15 minuten op een voldoende afgekoelde ondergrond en de herhaling bij een positieve test, en het houdt voor de controle vast dat een negatief swabresultaat niet betrouwbaar is; het product is een hulpmiddel binnen een veiligheidsstrategie en geen oplossing die alle risico's zelfstandig wegneemt. Op de pitchdia van de aanbieder van 6 november 2025 verschijnen daarvan vier reclamepunten. De oplosbaarheidsvoorwaarde, de veroudering, de herhaling bij een positieve test en de zin over de onbetrouwbaarheid van het negatieve resultaat ontbreken daar (paragraaf 26).

Drie aanbieders en een Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar doen over het reactieproduct dezelfde uitspraak. De pagina van de Duitse BG BAU spreekt van niet-kritische chroom(III)-verbindingen, de Duitstalige productpagina van Eco-Point van ongevaarlijk chroom-3, de productpagina van MATInspired van non-toxic chromium-3. Dezelfde vragen en antwoorden van MATInspired sluiten de volledige verwijdering uitdrukkelijk uit en verwijzen voor de controle naar een testkit van dezelfde aanbieder, die in de instructie van Vattenfall het vrijgavecriterium is. De keuze van de beschermingsmaatregelen draagt de fabrikant over aan de gebruiker (paragrafen 26 en 27).

De bedrijfsinstructie van dezelfde Duitse wettelijke ongevallenverzekeraar op grond van § 14 van de Duitse Gefahrstoffverordnung noemt voor dezelfde werkzaamheid een volledig beschermingsregime: afbakening van het werkgebied, stofarme werkwijzen, afzuiging, stofafscheiders van stofklasse H, toevoer van verse lucht, een zwart-witvoorziening, doorlopende ademhalingsbescherming met P3 of FFP3, wegwerpoverall type 5 en het verbod gedemonteerde minerale-wolproducten opnieuw te gebruiken. Op de openbaar toegankelijke informatiepagina van dezelfde ongevallenverzekeraar staat van deze catalogus geen enkel punt; daar verschijnt alleen het chromaatreducerende vezelbindmiddel met de uitspraak dat het het chromaat reduceert tot niet-kritische chroom(III)-verbindingen en daardoor de belasting verlaagt (paragraaf 26).

Hoe een aangetoonde reductie is georganiseerd, laat het cement zien. Vermelding 47 van bijlage XVII van de REACH-verordening begrenst oplosbaar chroom(VI) in cement tot 2 ppm van de droge massa. Dat wordt bereikt door een homogeen ingemengd reductiemiddel in acht- tot twintigvoudige overmaat, met een reactie die pas met het aanmaakwater begint, en getoetst volgens EN 196-10. Overgenomen wordt daaruit het opsprayen van een oplossing op een oliehoudend oppervlak in de machinekamer, zonder doseringscontrole, zonder genormeerde onderzoeksmethode en met een sneltest als oplevering (paragraaf 26).

Dezelfde leemte laat de vergelijking met asbest zien. Beide stoffen zijn kankerverwekkend, en bij beide ontstaat de gevaarstelling pas wanneer bij onderhoud of demontage stof vrijkomt. Voor asbest verlangt de Duitse TRGS 519 de melding van de werkzaamheden uiterlijk zeven dagen voor aanvang, een verantwoordelijke persoon met aantoonbare deskundigheid, een toezichthouder en bij niet-hechtgebonden producten afscherming met personen- en materiaalsluizen. Voor de in situ gevormde chromaten bestaat niets daarvan. Zij worden niet als gevaarlijke stof waargenomen, maar als vervuiling, en dienovereenkomstig met doeken, zuiger en sprays door het aanwezige personeel behandeld. Niemand zou een asbesthoudende plaat eigenhandig besproeien en afvegen; bij een met chromaat belast heet deel is dat de gangbare praktijk (paragraaf 25).

Bij huidcontact keert de verhouding zelfs om. De MAK- und BAT-Werte-Liste 2026 van de Deutsche Forschungsgemeinschaft voert chroom(VI)-verbindingen met de huidresorptiemarkering „H” en de sensibilisatiemarkering „Sh”, daarbij kankerverwekkendheids categorie 1; van de uitzonderingen voor barium-, lood-, strontium- en zinkchromaat zijn calcium- en natriumchromaat niet omvat. Een stof die huidresorptief en tegelijk kankerverwekkend is, valt volgens tabel 2 van de Duitse TRGS 401 bij elke contactsoort in de hoge gevaarstelling, zonder drempel voor duur of oppervlak. Voor asbest bestaat zo een huidbeoordeling niet, omdat de geharmoniseerde indeling daar geen huidgerelateerde gevarenaanduiding bevat. Natriumchromaat draagt er drie (H312, H314, H317), en calcium- en natriumchromaat zijn bovendien ingedeeld als zeer giftig voor in het water levende organismen met langdurige gevolgen (H400, H410), wat voor asbest niet geldt (paragraaf 25).

Het antwoord op de uitgangsvraag is daarom niet in de eerste plaats een vraag van de kwalificatie van het personeel. Het is een vraag van de maatregel: zolang de vervangingstoets op grond van § 7 lid 3 niet is uitgevoerd en zolang een bewijs van doeltreffendheid op grond van lid 9 ontbreekt, is het opdragen van een neutralisatie geen nakoming van de verplichtingen, maar het verschuiven ervan naar de uitvoerder. Waar de vorming door materiaalwissel kan worden voorkomen, is dat de maatregel van de juiste rang. Waar zij niet kan worden voorkomen, moet het werk worden georganiseerd als werkzaamheid met een kankerverwekkende stof, met minimalisering van de blootstelling, persoonlijke beschermingsmiddelen, stofarm werken, gescheiden klee- en wasruimten en documentatie, en niet als schoonmaakhandeling (paragrafen 6, 18 en 26).

8. Regelgeving en verplichtingen

De maatstaf wordt door Duitsland gezet. De Duitse TRGS 561 in de versie van 4 mei 2026 behandelt de vorming aan chroomgeleegde hete delen uitdrukkelijk. Paragraaf 3.3.4 beschrijft het onderwerp, paragraaf 5.9.3 noemt alkali- en aardalkalimetaaloxiden uit isolatiematerialen of montagepasta als invloedsfactor. De beschermingsmaatregelen volgens 4.1 en 4.2, waaronder persoonlijke beschermingsmiddelen, stofarm werken en de vervangingstoets, gelden reeds wanneer een chroom(VI)-belasting niet kan worden uitgesloten. Een voorafgaande meting wordt niet verlangd. Gezien de stand van de analytiek is dat de enige werkbare constructie (paragrafen 6 en 18).

Vóór aanvang van de werkzaamheden bestaan eigen verplichtingen, en zij zijn overwegend niet stofspecifiek geformuleerd. De Duitse Gefahrstoffverordnung verlangt in § 6 lid 2a tot en met 2c de toetsing of bij de werkzaamheden gevaarlijke stoffen uit de installatie kunnen vrijkomen, het inschakelen van externe deskundigheid bij ontbrekende vakkundigheid en, indien een technisch onderzoek noodzakelijk is, de uitvoering daarvan als voorwaarde voor de werkzaamheid. § 7 lid 1 verbiedt het aanvangen van de werkzaamheid vóór de risicobeoordeling en de beschermingsmaatregelen, § 6 lid 8 volzin 1 verlangt de documentatie vóór aanvang van de werkzaamheid. De opgave van het bouwjaar op grond van § 5a lid 2 is asbestgerelateerd en voor in situ gevormde chromaten zonder zeggingskracht, omdat de verbinding pas tijdens bedrijf ontstaat (paragraaf 25).

In Nederland verlangt artikel 4.2 van het Arbeidsomstandighedenbesluit de beoordeling van de aard, de mate en de duur van de blootstelling, ook wanneer dergelijke werkzaamheden op dit moment niet worden uitgevoerd; het uitdrukkelijke verbod om eerder te beginnen staat asbestgerelateerd in artikel 4.54a. In het Verenigd Koninkrijk staat het niet stofspecifiek in Regulation 6(1) van de COSHH Regulations 2002, volgens welke een werkgever werkzaamheden die werknemers aan een voor de gezondheid gevaarlijke stof kunnen blootstellen, niet mag uitvoeren zonder voorafgaande geschikte en toereikende beoordeling. In de Verenigde Staten verplicht 29 CFR 1926.1126(d) elke onder de norm vallende werkgever tot de bepaling van de achthuursgemiddelden per dienst voor elke blootgestelde werknemer; de vermoedensregel voor warmte-isolatie met bouwjaar tot 1980 staat daar in de asbeststandaard. De Duitse TRGS 561 koppelt het beschermingsregime in paragraaf 5.9.3 lid 5 aan werkzaamheden waarbij een chroom(VI)-belasting aanwezig is of niet kan worden uitgesloten. De verplichting ontstaat daarmee vóór de bevinding (paragraaf 25).

Daarboven geldt de Europese richtlijn 2004/37/EG met een bindende grenswaarde van 0,005 mg/m³ sinds 17 januari 2025. Nederland hanteert 0,001 mg/m³ als chroom, het Verenigd Koninkrijk 0,01 mg/m³ volgens EH40 in de vierde uitgave 2020, maar verlangt voor kankerverwekkende stoffen volgens de COSHH Regulations tegelijk de reductie tot het redelijkerwijs haalbare minimum. De Verenigde Staten hanteren volgens OSHA 29 CFR 1910.1026 een PEL van 5 µg/m³ en een action level van 2,5 µg/m³ en schrijven beschermende kleding, kleed- en wasruimten en een verbod op afblazen met perslucht voor. Al deze waarden hebben betrekking op het chroomgehalte en niet op de verbinding. Voor Australië vervalt per 1 december 2026 de grenswaarde ten gunste van een minimaliseringsplicht (paragraaf 18).

In de Verenigde Staten komt het aanbestedingsrecht erbij. De clause DFARS 252.223-7008 verbiedt sinds 2011 de levering van voorwerpen en bouwproducten met chroom(VI) boven 0,1 gewichtsprocent in een homogeen materiaal en eveneens de levering van voorwerpen waarbij chroom(VI) in latere onderhoudsfases zou moeten worden verwijderd of opnieuw aangebracht. Referentiemassa is volgens de begripsomschrijving de afzonderlijke laag en niet het onderdeel, en de uitzondering geldt alleen voor bijproducten van fabricageprocessen. De doorgeefverplichting omvat ook onderaannemingen voor onderhouds- en reparatiewerkzaamheden (paragraaf 18).

Dat in deze weergave vaak Duitse regelgeving wordt aangehaald, heeft twee redenen. Het werk vindt vanuit Duitsland plaats, en de Duitse TRGS 561 beschrijft het toepassingsgeval uitdrukkelijk. 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 de aard, de mate en de duur van de blootstelling te bepalen en daarbij de verdere blootstellingswegen met inbegrip van de opname via de huid in aanmerking te nemen, en zij geldt in alle lidstaten. Bij chroom(VI)-verbindingen liggen vier beoordelingsniveaus naast elkaar, inhalatoir, dermaal, oraal en milieugericht; asbest draagt noch een huidgerelateerde gevarenaanduiding noch een gevaar voor het water (paragraaf 31).

Voor de risicobeoordeling is niet van belang of het chromaat gericht is gebruikt of in situ is ontstaan. Bepalend is bovendien het ruime gebruiksbegrip van de REACH-verordening, dat opslaan, voorhanden hebben en behandelen omvat. Wordt een verontreinigde isolatie of een verontreinigd onderdeel gedemonteerd, opgeslagen en hergebruikt, dan kan dat een autorisatieplichtig gebruik zijn. Juist op dit punt raakt een toekomstig EU-breed gebruiksverbod het gehele huidige onderhoudsproces. Het beperkingsvoorstel van ECHA van april 2025 zou dit kader verder vernauwen (paragrafen 2 en 25).

9. De verplichtingen in Frankrijk

Frankrijk zet richtlijn 2004/37/EG om in de Code du travail; het hier behandelde geval is ook daar niet afzonderlijk benoemd. Artikel R. 4412-61 verlangt voor elke werkzaamheid die een blootstellingsrisico voor kankerverwekkende stoffen kan vertonen, dat de werkgever „la nature, le degré et la durée de l'exposition des travailleurs” beoordeelt, en de beoordeling omvat volgens de weergave van het Franse instituut INRS alle blootstellingen met inbegrip van de opname via de huid (paragraaf 33).

De rangorde stemt overeen met de Duitse, de documentatieplicht is uitdrukkelijker. Artikel R. 4412-67 verlangt met voorrang de vermindering, artikel R. 4412-66 de vervanging „dans la mesure où cela est techniquement possible” en houdt vast: „L'employeur consigne le résultat de ses investigations dans le document unique.” Artikel R. 4412-68 verlangt anders het gesloten systeem. Een niet uitgevoerde vervangingstoets is daarmee een gebrek van het document unique (paragraaf 33).

De grenswaarde ligt lager dan de Europese. Volgens artikel R. 4412-149 geldt voor chroom(VI)-verbindingen een bindende VLEP van 0,001 mg/m³ als achtuursgemiddelde en 0,005 mg/m³ als kortetijdwaarde, daarbij vermeldt het INRS de aantekening „risque de pénétration percutanée”. De naleving moet ten minste jaarlijks door een geaccrediteerde instantie worden getoetst, en de overschrijding van een bindende VLEP brengt de stillegging van het werk op de betrokken werkplekken met zich (paragraaf 33).

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 hoeveelheden en van het aantal blootgestelde werknemers, afzuiging alsmede afgebakende en gemarkeerde zones met beperkte toegang. Artikel R. 4412-72 verbiedt daar eten, drinken en roken en verlangt dat de verstrekte beschermende kleding niet buiten het bedrijf wordt gedragen.

Blootgestelde werknemers vallen op grond van de artikelen R. 4624-22 tot en met R. 4624-28 onder het suivi individuel renforcé; het dossier médical wordt ten minste vijftig jaar na het einde van de blootstelling bewaard (paragraaf 33).

Voor asbest bestaat in Frankrijk een eigen onderzoeksplicht vóór aanvang van de werkzaamheden. Op grond van de artikelen L. 4412-2 en R. 4412-97 laat de opdrachtgever het asbestonderzoek uitvoeren, aangepast „à sa nature, à son périmètre et au niveau de risque qu'elle présente” en afgerond vóór de gunning. De verplichting geldt in zes domeinen: bebouwd en niet bebouwd onroerend goed, spoor- en andere voertuigen, schepen, luchtvaartuigen alsmede installaties, structuren en uitrustingen; voor de laatstgenoemde geldt het besluit van 22 juli 2021 met toepassing van het hoofddeel vanaf 1 juli 2023. Daarmee bestaat de onderzoeksplicht voor de benoemde stof juist in die installatieklassen waarin chromaten ontstaan, voor chromaten daarentegen niet. Het ontbrekende of onvolledige repérage is volgens de weergave van de Franse arbeidsadministratie bestraft met 3 750 euro boete en 9 000 euro bestuurlijke sanctie (paragraaf 33).

De sanctie knoopt ook in Frankrijk aan bij de verplichting. Artikel L. 4741-1 van de Code du travail voorziet in een geldboete van 10 000 euro, en wel „appliquée autant de fois qu'il y a de travailleurs de l'entreprise concernés”, bij herhaling een jaar vrijheidsstraf en 30 000 euro. 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 „a eu ou aurait dû avoir conscience” en „n'a pas pris les mesures nécessaires pour l'en préserver”; de gevolgen zijn de verhoging van de rente en een aanvullende schadevergoeding op grond van de artikelen L. 452-1 tot en met L. 452-3 van de Code de la sécurité sociale. De maatstaf is het moeten weten, niet de werkelijke kennis (paragraaf 33).

Uit Frankrijk komen tegelijk de enige gepubliceerde veldstudie naar deze bevinding bij het motoronderhoud, de Franse vertaling van het Caterpillar-bulletin en het initiatief van de Anses over chroom(III)oxide. Een publicatie van het INRS, van een Carsat of van de arbeidsadministratie die de chromaatvorming aan geïsoleerde hete delen als een eigen geval behandelt, heb ik niet gevonden (paragrafen 19 en 33).

10. De verplichtingen in Zwitserland

Zwitserland is geen lid van de Europese Unie. Richtlijn 2004/37/EG en de Duitse Gefahrstoffverordnung gelden daar niet, en een regelwerk dat het toepassingsgeval benoemt zoals de Duitse TRGS 561 onder 5.9.3, is er niet. De verplichtingen volgen uit de Zwitserse wet op de ongevallenverzekering (UVG) en de verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten (VUV) en zijn niet stofspecifiek geformuleerd. Artikel 82 lid 1 van de wet op de ongevallenverzekering verplicht de werkgever alle maatregelen te treffen die naar de ervaring noodzakelijk, naar de stand van de techniek toepasbaar en aan de gegeven omstandigheden aangepast zijn. Artikel 3 lid 1 van de verordening verlangt aanwijzingen en beschermingsmaatregelen die aan de voorschriften en voor het overige aan de erkende veiligheidstechnische en arbeidsgeneeskundige regels voldoen; deze verwijzing is niet beperkt tot Zwitserse publicaties (paragraaf 34).

Met de Duitse verplichtingen vóór aanvang van de werkzaamheden stemmen drie verdere bepalingen van dezelfde verordening overeen: artikel 6 lid 1 verlangt informatie en instructie over de bij de werkzaamheid optredende gevaren, artikel 8 lid 1 staat werkzaamheden met bijzondere gevaren alleen toe aan daarvoor opgeleide werknemers en verlangt bij alleenwerken een toezicht, artikel 11a lid 1 verplicht tot het inschakelen van bedrijfsartsen en andere specialisten van de arbeidsveiligheid wanneer dat voor de bescherming van de gezondheid van de werknemers noodzakelijk is. Dat stemt inhoudelijk overeen met § 6 lid 2b van de Duitse Gefahrstoffverordnung. Voor gevaarlijke stoffen zelf geldt artikel 44 lid 1: worden voor de gezondheid gevaarlijke stoffen vervaardigd, verwerkt, gebruikt, geconserveerd, gehanteerd of opgeslagen, dan moeten de op grond van hun eigenschappen noodzakelijke beschermingsmaatregelen worden getroffen. Hanteren en opslaan zijn uitdrukkelijk omvat, waarmee demontage, tussentijdse opslag en herinbouw van een met chromaat belast onderdeel onder het voorschrift vallen. Lid 2 verlangt het wassen vóór werkpauzes en na het einde van het werk en rekent de daarvoor gebruikte tijd als arbeidstijd (paragraaf 34).

Bij de grenswaarde gaat Zwitserland een eigen weg. Rechtsgrondslag is artikel 50 lid 3 van dezelfde verordening, op grond waarvan de Suva richtlijnen over maximale concentraties op de werkplek kan uitvaardigen. In de toelichtingen op de MAK- en BAT-waarden houdt de Suva vast dat chroom(VI)-verbindingen kankerverwekkende stoffen zijn zonder bekende kankerverwekkende werkingsdrempel en dat voor deze stofgroep geen gezondheidsgebaseerde grenswaarde kan worden afgeleid. In de plaats van de grenswaarde komt de minimalisatieplicht volgens het STOP-principe met de vervanging op de eerste plaats; waar waarden worden vastgesteld, richt de Suva zich op een extra risico van minder dan 4:1000 per arbeidsleven. Het onderschrijden van een luchtconcentratie is daarmee niet de toetssteen, en de vervangingstoets staat aan het begin (paragraaf 34).

In het chemicaliënrecht heeft Zwitserland de autorisatielijst van de REACH-verordening overgenomen in bijlage 1.17 van de verordening inzake de reductie van risico's van chemische stoffen (ChemRRV), met verboden, uitzonderingen en een meldingsplicht. Voor chroom(VI)-verbindingen geldt de uitzondering voor procédés waarvan de eindproducten chroom niet in zeswaardige vorm bevatten; de minimalisatieplicht geldt daar als vervuld wanneer de over acht uur gemiddelde blootstelling 0,001 mg/m³, gerekend als chroom, niet wordt overschreden. Wie chroomtrioxide, de daaruit ontstaande zuren en hun oligomeren of natriumdichromaat gebruikt, moet jaarlijks tot 31 maart melding doen bij de aanmeldingsinstantie voor chemische stoffen. Omvat zijn daarmee de ingekochte verbindingen. Calcium- en natriumchromaat, die aan het grensvlak tussen isolatiemateriaal en heet deel ontstaan, staan op geen van deze lijsten, en de vraag of het hanteren, opslaan en hergebruiken van een belast onderdeel een gebruik is, stelt zich zoals onder de REACH-verordening (paragraaf 34).

Bij bouwwerkzaamheden komt de verordening bouwwerkzaamheden (BauAV) erbij. Artikel 3 lid 2 verlangt om bij verdenking van bijzonder gezondheidsgevaarlijke stoffen zoals asbest of polychloorbifenylen de gevaren grondig te bepalen en te beoordelen, lid 3 het onderzoek vóór het sluiten van de aannemingsovereenkomst, lid 4 de regeling van de maatregelen in de aannemingsovereenkomst. Welk regime de benoemde stof in gang zet, laat richtlijn 6503 van de federale coördinatiecommissie voor arbeidsveiligheid (EKAS) zien: bepaling vóór aanvang van de werkzaamheden, stofarme werkwijze met afzuiging aan de bron, zuigers van stofklasse H, ademhalingsbescherming FFP3 of een aangeblazen filterapparaat, beschermend pak van categorie 3 type 5/6, afgescheiden zones met onderdruk, personensluizen en de melding aan de Suva veertien dagen voor uitvoering. Voor de chromaatvorming aan geïsoleerde chroomgelegeerde hete delen bestaat geen overeenkomstige vermelding. De verordening bouwwerkzaamheden geldt bovendien alleen voor bouwwerkzaamheden; voor het onderhoud van motoren, turbines en voertuigen blijven de Zwitserse wet op de ongevallenverzekering (UVG) en de verordening inzake de preventie van ongevallen en beroepsziekten (VUV) van toepassing (paragraaf 34).

Een publicatie van de Suva of van de federale coördinatiecommissie voor arbeidsveiligheid (EKAS) die de chromaatvorming aan geïsoleerde hete delen of in verbrandingsresten benoemt, is volgens mijn onderzoek niet voorhanden. Dat is geen uitspraak over de vraag of het proces in Zwitserse installaties optreedt; de beoordeelde documenten van fabrikanten en exploitanten betreffen motoren, voertuigen en isolatiesystemen die in Zwitserland eveneens worden bedreven en onderhouden. De noodzaak tot handelen verschilt daarmee niet van die in Duitsland, de weg daarheen wel: wie naar de ontbrekende stofvermelding verwijst, verwijst naar het ontbreken van een benoeming en niet naar het ontbreken van een verplichting (paragraaf 34).

11. Waar het optreedt

Betroffen zijn gas- en dieselmotoren, locomotief- en scheepsmotoren, gas- en stoomturbines, biogasinstallaties, warmtekrachtkoppeling, noodstroomvoorziening in ziekenhuizen en openbare gebouwen, datacentra met eigen energieopwekking, voertuigen, bouwmachines en uitlaatgasnabehandeling alsmede afvalverbrandingsinstallaties (paragraaf 4). De mededelingen van de Duitse ongevallenverzekeringsinstellingen, in het bijzonder BG BAU, BG ETEM en BG Verkehr, benoemen deze gebieden uitdrukkelijk.

Bij voertuigen betreft de bevinding onderhoud, hantering, hergebruik van onderdelen en de kosten van een duurzame oplossing. Aanspraken wegens gebreken uit het kooprecht en verplichtingen van fabrikanten uit het productveiligheidsrecht openen in de EU eigen toetsingswegen (paragraaf 20).

Grondslag zijn naast octrooien, studies en fabrikantendocumenten eigen inspecties alsmede veeg- en materiaalmonsters sinds 2019 aan motoren, krachtcentrales, verbrandingsinstallaties, schepen, voertuigen en bouwmachines. Voor geen van de genoemde gebieden kan na zeven jaar veldwerk afwezigheid van belasting worden vastgesteld (paragraaf 28).

Over de orde van grootte bevat de vakanalyse een extrapolatie van de gelegenheden, niet van de bevindingen. Zij berust op openbare fabrikantengegevens, vlootstatistieken en installatieregisters: 190.000 motoren van de serie 3500 van Caterpillar in het veld, meer dan 100.000 verkochte motoren van de mtu-series 2000 en 4000, een actieve geïnstalleerde basis van 44 GW bij INNIO, meer dan 7.000 gasturbines bij GE Vernova met een opgegeven aandeel van ongeveer de helft van de wereldwijde basis, ongeveer 7.300 blokken van kolencentrales, ongeveer 109.000 schepen vanaf 100 brutoregisterton, 6,16 miljoen vrachtwagens boven 3,5 ton in de Europese Unie en 2.539 afvalverbrandingsinstallaties in Europa, de Verenigde Staten, China en Japan (paragraaf 32).

Met de aangenomen onderhouds- en revisie-intervallen levert dat ongeveer 58.000 tot 61.000 gebeurtenissen per jaar op, alleen al in de vier industriële segmenten, daarnaast ongeveer 6,9 miljoen werkplaatsbezoeken bij bedrijfsvoertuigen en ongeveer 90 miljoen personenautoreparaties in de Europese Unie, waarvan het relevante aandeel niet is gecijferd. Ter beoordeling staat daarmee geen op zichzelf staand proces. Het vrijkomen vindt dagelijks plaats, in motorruimten, aan voertuigen, op turbines, in krachtcentrales en in verbrandingsinstallaties, in een aantal dat niet is te becijferen, en overwegend onopgemerkt (paragraaf 32).

12. Verbrandingsassen: hetzelfde proces zonder mogelijkheid tot vervanging

Bij warmte-isolatie kan de vorming worden voorkomen door een isolatiemateriaal zonder alkali- en aardalkalimetaaloxiden te gebruiken. Bij verbrandingsassen gaat dat niet. De reactiepartner zit in het verbrandingsgoed zelf, en het verbrandingsgoed is niet te kiezen. Calciumoxide is in huishoudelijk afval met ongeveer 3 procent aanwezig. Daarmee vervalt de maatregel van de eerste rang, en blijft het beschermingsregime voor een werkzaamheid met een kankerverwekkende stof over.

De bewijzen komen uit de afvalverbranding zelf. Paoletti onderzocht in 2002 bij het Duitse Forschungszentrum Karlsruhe het gedrag van oxyanionvormende zware metalen bij de verbranding van huishoudelijk afval. Calciumchromaat vormt zich tussen 500 en 850 °C en wordt boven 850 °C weer tot driewaardig chroom gereduceerd; voorwaarde is een toereikende zuurstofpartiaaldruk in de verbrandingskamer. Overeenkomstige reacties verwacht het werk ook met natrium, kalium, magnesium, strontium en barium. Vehlow, Paoletti, Seifert en Sirini presenteerden de resultaten in 2004 op de WTER Fall Meeting aan de Columbia University (paragraaf 21).

Kritisch is niet het vollastbedrijf, maar het afschakelen voor onderhoud. Asresten blijven op het rooster en op chroomgelegeerde hete delen liggen, de temperatuur doorloopt het vormingsvenster van boven naar beneden, en door het openen van de installatie treedt extra zuurstof toe. Deze assen worden bij de volgende revisie opgewerveld en vrijgemaakt. Verdere werken ondersteunen het verband: Hu et al. beschrijven in 2013 en 2015 de oxidatie van chroom bij de thermische nabehandeling van vliegassen en benadrukken de beschikbaarheid van vrij calciumoxide, Gong et al. meten in 2017 na thermische behandeling een toenemende chroomuitloging, en een Japans werk uit 2006 aan bodemassen uit twee roosterovens toont de afhankelijkheid van temperatuur en zuurstofconcentratie (paragraaf 21).

De tegenproef levert een houtasprocedé volgens Brill, aangehaald in het rapport van het Duitse Umweltbundesamt van 2019: daar wordt het zuurstofcontact gericht pas onder 200 °C toegelaten om de vorming van **chroom(VI)** te voorkomen. Wie een reactie door sturing van de afkoelatmosfeer tegenhoudt, kent haar voorwaarden (paragraaf 21).

Ook de Europese milieuliteratuur benoemt de stof. Het Europese BBT-referentiedocument afvalverbranding van 2019 noemt **chroom(VI)** met betrekking tot de uitloging uit roosteras. Uit Groot-Brittannië zijn **Cr(VI)**-positieve afzettingen in de keteltrekken 2 tot 6 en de blootstelling bij onderhoud en revisie beschreven. Wat ontbreekt zijn directe vergelijkende metingen aan afvalverbrandingsinstallaties vóór en na het afschakelen. Die leemte betreft de orde van grootte, niet het mechanisme (paragraaf 22).

In beide toepassingsgebieden wordt de chromaatgevaarzetting niet begrepen, of zij wordt niet ter kennis genomen. Daarin lijken zij op elkaar. De uitgangssituatie verschilt, want bij het isolatiemateriaal is de oorzaak te kiezen en bij de as niet. De vormingsweg staat sinds 1990 in een waarschuwing van een fabrikant en sinds 2002 in de vakliteratuur van de afvalverbranding. Daarmee rijst de vraag of hij over het hoofd is gezien of dat hij niet ter kennis genomen moest worden. Daarnaast is te onderzoeken of de risicobeoordelingen revisie, het openen van de ketel, het verwijderen van afzettingen, reiniging, ashantering en versleping omvatten. Totaalchroommeting, uitloogproef en persoonsgebonden stofmeting beantwoorden daarbij verschillende vragen (paragraaf 22).

13. Betekenis voor de gezondheid

In water oplosbare chromaten zijn structuurgelijk met sulfaat- en fosfaationen en komen via hun transportwegen de cel binnen. Daar wordt chroom(VI) via reactieve tussenstappen gereduceerd tot chroom(III), dat DNA-adducten en dwarsverbindingen vormt. De reductie veroorzaakt bovendien oxidatieve stress. Dat chroom(VI) in het lichaam chroom(III) wordt, is daarom geen argument tot geruststelling, maar het werkingsmechanisme (paragraaf 24).

Het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek deelt chroom(VI)-verbindingen in als kankerverwekkend voor de mens, groep 1, met vaststaande werking op de long en waargenomen verbanden met kanker van de neus en de neusbijholten. De Amerikaanse arbeidsinspectie OSHA baseerde haar grenswaarde van 2006 vooral op twee cohorten uit de chromaatproductie, Baltimore volgens Gibb et al. 2000 met 2.357 mannen van 1950 tot 1992 en Painesville volgens Luippold et al. 2003 (paragraaf 24).

Niet elk chromaat werkt gelijk. In een vergelijkende proef aan de rattenlong veroorzaakte calciumchromaat als positieve controle bij 25 van de 100 dieren longtumoren, zinkchromaat daarentegen bij 5 respectievelijk 3 van de 100. Calciumchromaat, het hoofdproduct van de in-situ vorming, behoort daarmee tot de in dierproeven werkzaamste chromaten. Een beoordeling die alleen „chroom(VI)“ omvat, verhuist dit verschil, en verhuist het in de ongunstige richting.

Huidcontact moet zelfstandig worden beoordeeld. Verontreinigde onderdelen, isolatiematerialen, gereedschap en handschoenen blijven een gevaarstelling, ook wanneer de luchtmeting onopvallend is. Calcium- en natriumchromaat zijn tegelijk ingedeeld als zeer giftig voor in het water levende organismen met langdurige gevolgen, waardoor het proces ook milieurechtelijk wordt geraakt.

14. Chroom(III): de aangenomen eindtoestand

Alle genoemde behandelingsmethoden berusten op dezelfde aanname: met de omzetting van chroom(VI) in chroom(III) zou het gevaarlijke deel van het proces zijn beëindigd. De technische instructie van een motorenfabrikant van 31 mei 2023 werkt die volledig uit. Chroom-3 zou in veel voedingsmiddelen voorkomen, de dagelijkse inname in Europa zou in een bereik liggen zonder te verwachten gezondheidsrisico, of chroom-3 voor de mens überhaupt een essentieel sporenelement is zou niet afdoende zijn opgehelderd, en omdat de mogelijke concentratie na toepassing van de reductieoplossing ver onder de geldende grenswaarden zou liggen, zou een gezondheidsgevaar door chroom-3 zijn uit te sluiten. Benadrukt volgt de zin dat chroom-3, in tegenstelling tot chroom-6, niet kankerverwekkend is. De vraag van de essentialiteit is beantwoord: de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid vond in 2014 geen bewijs voor de essentialiteit van chroom(III) (paragraaf 27).

De omzetting is geen reactie in één stap naar een gedefinieerde eindstof. De MAK-onderbouwing bij de chroom(VI)-verbindingen beschrijft de reductie als een verloop via chroom(V) en chroom(IV) naar chroom(III), waarbij radicalaire zuurstof- en zwavelverbindingen ontstaan. Welke tussenstap optreedt, hangt af van het reductiemiddel. Op een installatieoppervlak komt daarbij wat daar ligt: 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 wordt bedoeld, ontstaat thermisch en niet door opsprayen en afvegen (paragraaf 27).

Welke chroom(III)-verbindingen na een behandeling daadwerkelijk aanwezig zijn, wordt in geen van de beschikbare documenten aangegeven. 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 enkele methode voorzien en wordt in geen van de documenten verlangd (paragraaf 27).

Dat is van gewicht, omdat de indeling van dit onderscheid afhangt. De MAK- und BAT-Werte-Liste 2026 voert de chroom(III)-verbindingen met de sensibilisatiemarkering Sh en de toevoeging dat dit niet geldt voor chroom(III)oxide en vergelijkbaar slecht oplosbare chroom(III)-verbindingen. De markering treft daarmee de oplosbare verbindingen, dus juist die stofgroep die een natte behandeling voortbrengt. Voor chroom(III)oxide geldt in Duitsland een grenswaarde op de werkplek van 2 mg/m³ in de inhaleerbare fractie; een geharmoniseerde indeling op grond van de Europese CLP-verordening bestaat voor deze stof niet. Het Franse agentschap Anses acht in zijn advies van 28 juli 2021 voor chroom(III)oxide een indeling als huidsensibilisator van categorie 1 aangewezen, ziet dit ook voor andere chroom(III)-verbindingen als relevant, beveelt de toetsing van een indeling als STOT RE 2 voor de inhalatieroute aan alsmede de geharmoniseerde indeling als Aquatic Acute 1 en Aquatic Chronic 1; de criteria voor mutageniteit in geslachtscellen acht het na totaalbeoordeling niet vervuld (paragraaf 27).

Dat chroom(III) geen eindtoestand is, is in een ander toepassingsgeval gedocumenteerd. Dezelfde MAK-onderbouwing houdt over het chroomlooien vast dat het looien weliswaar met chroom(III)-verbindingen plaatsvindt, dat daaruit bij ongeschikte verwerkings- of opslagmethoden geringe hoeveelheden chroom(VI)-verbindingen kunnen ontstaan, en dat wanneer het chroom(III) in situ door reductie van chroom(VI)-verbindingen wordt gevormd, bij onvolledige reductie eveneens oplosbaar chroom(VI) in het leer kan achterblijven. Beide uitspraken betreffen het hier behandelde proces (paragraaf 27).

Daar komt de terugkeer naar het hete deel bij. In het legeringsverband is chroom gebonden. Na een reductie zijn chroom(III)-verbindingen fijn verdeeld en ongebonden op het oppervlak en in het aanhangende materiaal aanwezig, dus in de toestand die in de chromaatproductie de grondstof vormt. Wordt het behandelde materiaal weer ingebouwd en de installatie opgestart, dan zijn alle vormingsvoorwaarden opnieuw vervuld. Omdat de volledige omzetting niet is toegezegd en de vrijgaveprocedure bij een negatief resultaat niet betrouwbaar is, moet de vrijkomende vloeistof als afval van gevaarlijke stoffen worden behandeld en moet zonder afstroming worden gewerkt (paragraaf 27).

De geringere toxiciteit van de chroom(III)-verbindingen ten opzichte van de chroom(VI)-verbindingen staat buiten kijf; zij dragen noch een categorie voor kankerverwekkendheid noch voor mutageniteit in geslachtscellen. De uitspraken dat het reactieproduct onkritisch, onschadelijk of non-toxic is, gaan verder dan dat. Zij doen een uitspraak over stoffen die niet worden bepaald, en zij veronderstellen een volledigheid van de omzetting die geen aanbieder toezegt (paragraaf 27).

15. Rechtsgevolgen bij niet-naleving

De Duitse Gefahrstoffverordnung bepaalt in § 22 lid 1 dat een overtreding in de zin van § 26 lid 1 nummer 8 letter b van de Chemikaliengesetz begaat wie opzettelijk of nalatig de risicobeoordeling niet documenteert (nummer 1a), een werkzaamheid in strijd met § 7 lid 1 zonder voorafgaande beoordeling en beschermingsmaatregelen laat aanvangen (nummer 3) of de doeltreffendheid van de technische beschermingsmaatregelen niet of niet tijdig controleert (nummer 5). De boete bedraagt volgens § 26 lid 3 van de Chemikaliengesetz ten hoogste 50.000 euro. § 22 lid 2 van de Gefahrstoffverordnung gaat verder: wie door zo een handeling het leven of de gezondheid van een ander in gevaar brengt, is strafbaar op grond van § 27 lid 2 tot en met 4 van de Chemikaliengesetz, met gevangenisstraf tot vijf jaar bij opzet en tot twee jaar bij nalatigheid. Strafbaar is de gevaarstelling, niet pas de ingetreden schade (paragraaf 30).

Daar komt het regres bij: op grond van § 110 van het Duitse Zevende Boek Sozialgesetzbuch zijn personen van wie de aansprakelijkheid op grond van §§ 104 tot en met 107 is beperkt, jegens de socialeverzekeringsinstellingen aansprakelijk voor hun uitgaven wanneer zij het verzekerde voorval „opzettelijk of door grove nalatigheid hebben veroorzaakt”. Aan de milieukant omvat § 326 lid 1 van het Duitse Strafgesetzbuch het niet toegestane omgaan met afvalstoffen die „voor de mens kankerverwekkend, voor de voortplanting giftig of mutageen zijn”, met gevangenisstraf tot vijf jaar en bij nalatigheid tot drie jaar (paragraaf 30).

In Nederland verlangt artikel 4.17 van het Arbeidsomstandighedenbesluit de vervanging van kankerverwekkende stoffen en processen met voorrang, voor zover technisch uitvoerbaar. Het niet naleven is op grond van artikel 33 van de Arbeidsomstandighedenwet een overtreding; de bestuurlijke boete bedraagt volgens artikel 34 lid 3 ten hoogste het bedrag van de vijfde categorie van artikel 23 lid 4 van het Wetboek van Strafrecht, sinds 1 januari 2026 110.000 euro, bij herhaling verhoogd met 100 of 200 procent. Artikel 32 van dezelfde wet verbiedt de werkgever elk handelen of nalaten in strijd met de wet wanneer daardoor, naar hij weet of redelijkerwijs moet weten, levensgevaar of ernstige schade aan de gezondheid ontstaat of te verwachten is. Via artikel 1 nummer 1 van de Wet op de economische delicten is dat een economisch delict, bij opzet een misdrijf met gevangenisstraf tot zes jaren (paragraaf 30).

In het Verenigd Koninkrijk verlangt regulation 7 van de Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 het voorkomen van blootstelling, met voorrang door vervanging, en bij carcinogenen daarnaast omkasting, reiniging, aanduiding en veilige verwijdering. Een overtreding is een strafbaar feit op grond van section 33(1)(c) van de Health and Safety at Work etc. Act 1974; Schedule 3A voorziet bij vervolging op aanklacht in gevangenisstraf tot twee jaar en een geldboete zonder wettelijke bovengrens. In de Verenigde Staten bedragen de civielrechtelijke boetes op grond van section 17 van de Occupational Safety and Health Act voor vaststellingen na 15 januari 2026 ten hoogste 16.550 Amerikaanse dollar per overtreding, ten hoogste 16.550 Amerikaanse dollar per dag bij niet-opheffing en ten hoogste 165.514 Amerikaanse dollar bij willful of repeated violations; section 17(e) stelt de opzettelijke overtreding van een standaard met de dood tot gevolg bovendien strafbaar (paragraaf 30).

In alle vier rechtsstelsels knoopt de sanctie aan bij de nagelaten verplichting en niet bij de ingetreden gezondheidsschade. Omdat de beschermingsmaatregelen volgens de Duitse TRGS 561 reeds gelden wanneer een belasting niet kan worden uitgesloten, en omdat een negatief meetresultaat zonder terugvinding niets aantoont, beslist de documentatie: risicobeoordeling, vervangingstoets en bewijs van doeltreffendheid. Een ontbrekende of onjuiste beoordeling van een chroom(VI)-blootstelling is daarmee geen randkwestie van de bedrijfsorganisatie.

16. Wat vaststaat en wat open is

Vast staan de vormingsweg, de betrokken verbindingen, de temperatuurbereiken en de stand van kennis bij fabrikanten en exploitanten. Onbekend is de omvang van het betroffen bestand, omdat dat nooit onder deze vraagstelling in kaart is gebracht.

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 betreffen de omvang van de reactie, niet haar bestaan. In reacties wordt het niet afdoende opgehelderde mechanisme soms aangevoerd om verdere consequenties uit te stellen. Dat onderscheid houdt tegenover het bewijsmateriaal geen stand: de risicobeoordeling zet in bij het mogelijke optreden, niet bij volledige kennis van de kinetiek (paragraaf 29).

17. 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.

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.

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

Voor chrom(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.

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.

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 arbeidsprocedures 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.

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.

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.

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.

18. 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.

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“.

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.

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.

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.

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.

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.

19. 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.

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.

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 inhaalbaar stof bemonsterde fractie.

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.

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.

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 gevarezone een eindbeoordeling met visuele inspectie en meting tegen de waarde van 10.000 vezels per kubieke meter.

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.

20. 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.

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.

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 gezondheidsgevaar Klasse 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.

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.

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.

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“.

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.

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.

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.

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.

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.

21. 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-situ vorming van de beschreven **chroom(VI)**-verbindingen kunnen veroorzaken. Het gaat daarbij niet om vermoedens, maar om gevolgtrekkingen uit opgaven van fabrikanten, waarschuwingmeldingen 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 waarschuwing melding of een aanwijzing van een gebruiker, F voor een eigen veldobservatie. Waar een fabrikant geen cijfers publiceert, staat dat uitdrukkelijk in de tabel.

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 ₂ O en K ₂ O 0 tot 2 %	H
Minerale wol, steen- en glaswol: mat, draadnetmat, plaat, buisschaal	Na ₂ O, K ₂ O, 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
AES-wol, stofdefinitie van de fabrikanten	calciumoxide en magnesiumoxide samen 18 tot 43 %, siliciumdioxide 50 tot 82 %	H
AES-wol, mat (Superwool Plus Blanket)	CaO 26 tot 32 %, MgO 3 tot 7 %	H
AES-wol, mat (Insulfrax LT)	CaO 27 tot 33 %, MgO 2,5 tot 6,5 %	H
Aluminiumsilicaatwol en keramische vezel (ASW, RCF): mat, plaat, papier, module	Na ₂ O, K ₂ O, 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
Calciumsilicaat, plaat en vormstuk	CaO 38 tot 43 %	H
Perliet, geëxpandeerd: stortmateriaal en vormstuk	Na ₂ O 3,7 %, K ₂ O 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
Vermiculiet, geëxpandeerd: stortmateriaal en plaat	MgO 21,5 tot 25,5 %, K ₂ O 3 tot 6 %, CaO 2,0 tot 6,0 %; het datablad vermeldt daarnaast Cr ₂ O ₃ met 0,01 tot 0,15 %	H
Aerogelmat	geen calcium- en geen natriumverbinding gedeclareerd; meer dan 50 % textielglas zonder chemische specificatie	H
Montagepasta voor hete onderdelen, calciumhoudend	calciumhydroxide 10 tot minder dan 20 massaprocent	H

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
Containerschepen en handelsschepen, tweetaktmotor	Uitlaatgasverzamelaar en uitlaatgasleidingen; isolatie met afdekking van verzinkt plaatstaal	in het document niet genoemd	H
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
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
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
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
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

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, W
Wegvoertuigen, vrachtwagens en personenauto's	Hitteschilden, gegoten spuitstukken, 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 spuitstuk 1.000 °C	H
Industrieovens, ketels, afvalverbranding en biomassa-installaties	Ketelwanden, rookgaskanalen en leidingen; draadnetmatten van steenwol met verzinkt of edelstalen draadvechtwerk	tot 640 °C, zware uitvoering tot 649 °C	H
Chemische installaties en raffinaderijen	Leidingen van austenitische staalsoorten, appendages en flenzen; draadnetmatten, buisschalen en afneembare kappen	tot 640 °C, buisschalen tot 650 °C	H

De volledige tabellen, met per regel de bronvermelding, staan in de bijlage bij de vakanalyse.

22. Consequentie

Waar de vorming kan worden voorkomen, moet zij worden voorkomen. Dat is geen aanbeveling, maar de rangorde van § 7 lid 3 en 4 van de Duitse Gefahrstoffverordnung. In Frankrijk volgt hetzelfde uit de artikelen R. 4412-66 en R. 4412-67 van de Code du travail, in Zwitserland uit de stand van de techniek volgens artikel 82 lid 1 van de Zwitserse wet op de ongevallenverzekering (UVG) en uit de minimalisatieplicht met de vervanging op de eerste plaats. In de hogetemperatuurisolatie zijn vervangende stoffen beschikbaar die de vormingsweg uitsluiten, omdat zij geen alkali- en aardalkalimetaaloxiden bevatten. De vervangingstoets is daarmee niet zonder resultaat uitvoerbaar.

Waar zij niet kan worden voorkomen, zoals bij de afvalverbranding, blijft de erkenning van het proces en de overeenkomstige inrichting van arbeids- en milieubescherming: minimalisering van de blootstelling, stofarm werken, gescheiden zones, documentatie.

Reiniging en decontaminatie werken voor de afzonderlijke handeling. Zij nemen de stoffelijke oorzaak niet weg: blijft de calciumhoudende isolatie op het chroomgelegeerde hete deel, dan vormt het chromaat zich bij de volgende thermische belasting opnieuw (paragraaf 26).

WD-40 reduceert **chroom(VI)** niet. Het opnemen van resten met een doek en kruipolie verwijdert materiaal van het oppervlak, en in zoverre is de indruk uit de praktijk begrijpelijk. Het chromaat blijft daarbij chemisch onveranderd en bevindt zich vervolgens in het reinigingsmateriaal en in het afval; tegelijk gaat het over in de oliefase en wordt het bij de meting niet meer waargenomen (paragraaf 26).

Waar ook maar een chroomgelegeerd heet deel met een basisch oxide in contact komt, moet met de vorming van chromaten worden gerekend. De vraag of men dat niet had moeten zien, stelt zich voor elk van de hier behandelde gebieden, en zij stelt zich sinds april 1990.

Versiegeschiedenis

Versie	Datum	Wijziging
1.0	oktober 2026	Eerste versie
1.1	oktober 2026	Paragrafen 6 en 10 uitgebreid met de bevinding over oliefilms en WD-40.
1.2	oktober 2026	Volledig herschreven en verdiept: vormingsroute, bewijslast, mythen, formulering van de waarschuwingen, analytiek en de vraag naar de opdracht tot neutralisatie.
1.3	oktober 2026	Paragraaf 7 uitgebreid met de gedocumenteerde keten van behandelmethoden: de werkinstructie van Vattenfall Generation NL, het certificaat van de testinstelling met zijn voorwaarden en de inkorting ervan op de leveranciersslide, de herhaling van de ongewijzigde instructie op de conferentie van 6 november 2025 en de vergelijking met de chromaatreductie in cement.
1.4	oktober 2026	Paragraaf 8 aangevuld met de verplichtingen vóór aanvang van de werkzaamheden naar Duits, Nederlands, Brits en Amerikaans recht; paragraaf 7 uitgebreid met de vergelijking tussen de werkinstructie van de Duitse Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft en haar openbare informatiepagina en met de gelijklopende leveranciersuitspraken over chroom(III).
1.5	oktober 2026	Nieuwe paragraaf 12 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 en de terugkeer van ongebonden chroom(III) naar het hete onderdeel; paragraaf 7 aangevuld met de leverancier MATinspired en de testkring rond de TK11; de volgende paragrafen één nummer opgeschoven; verwijzingen naar de vakanalyse bijgewerkt.
1.6	oktober 2026	Paragraaf 6 uitgebreid met de handbevinding van de Franse veldstudie en de vergelijking met de lucht- en urinewaarden; paragraaf 8 aangevuld met de reden voor de keuze van het geciteerde regelgevingskader en met de vier beoordelingsniveaus; paragraaf 9 uitgebreid met de raming van het jaarlijkse aantal gelegenheden uit de vakanalyse.
1.7	oktober 2026	Nieuwe bijlage met twee tabellen: in de handel verkrijgbare isolatiematerialen met hun gedocumenteerde gehalte aan basische oxiden, en de toepassingsgebieden waarin zij op chroomgelegeerde hete onderdelen zijn aangebracht. De volledige tabellen met bronvermelding staan in de vakanalyse. Daarnaast gecorrigeerd: CAS-nummer 142844-00-6 duidt aluminiumsilicaatwol aan; aardalkalisilicaatwol staat onder 436083-99-7.
1.8	oktober 2026	Drie nieuwe paragrafen over de verplichtingen in Duitsland, in de Europese Unie en in Nederland, verdicht uit de gelijknamige paragrafen van de vakanalyse. De volledige paragrafen met alle vindplaatsen staan daar.
1.9	oktober 2026	Eén nieuwe paragraaf over de verplichtingen in het Verenigd Koninkrijk, verdicht uit de gelijknamige paragraaf van de vakanalyse. De volledige paragraaf met alle vindplaatsen staat daar.
1.10	oktober 2026	De Britse grenswaarde is gecorrigeerd naar 0,01 mg/m³ volgens EH40 in de vierde uitgave 2020. De verdichte paragraaf over het Verenigd Koninkrijk neemt het nieuwe onderdeel over de gevarenaanduidingen op. De volledige paragraaf met alle vindplaatsen staat in de vakanalyse.

Versie	Datum	Wijziging
1.7 NL	oktober 2026	Nederlandse uitgave: nieuwe paragrafen 9 (Frankrijk) en 10 (Zwitserland) met de Franse en Zwitserse verplichtingen naast de Duitse regelgeving; volgende paragrafen omgenummerd naar 11 tot 17.