Invloed van calciumchromaat en andere chromaten op de gezondheid: inademing en contact met de huid, ook rekening houdend met het vrijkomen van chroom(VI)-verbindingen, door servicewerkzaamheden met contact met verontreinigde isolatie op hoge temperatuur

door Florian Sommer en Markus Sommer

5 september 2024

Versie 1.1 · november 2026

1. Inleiding

Deze studie onderzoekt de gezondheidsrisico's die voortvloeien uit inademing en huidcontact met chromaten, in het bijzonder calciumchromaat ($CaCrO_4$). De nadruk ligt op de potentiële gevaren van het gebruik van hogetemperatuurisolatie die alkalische en/of aardalkalimetalen bevat.

Deze risico's kunnen zich vooral voordoen tijdens onderhoudswerkzaamheden, maar het is ook mogelijk dat chromaten vrijkomen tijdens normaal gebruik door motoren en turbines die zijn uitgerust met isolatie die met name calcium of natrium bevat. Het doel van deze studie is om de toxicologische mechanismen te identificeren en preventieve maatregelen aan te bevelen om de blootstelling te minimaliseren.

De nadruk moet liggen op het voorkomen van het gevaar in plaats van te vertrouwen op de loutere schadebeperking van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM), die altijd ten onrechte wordt beschouwd als de eerste zogenaamd voldoende beschermingsmaatregel, maar niet voldoet aan de minimaliseringseis van EU-verordening 2004/37/EG en dus de Duitse verordening inzake gevaarlijke stoffen (GefStoffV).

2. Chemische eigenschappen van chromaten

2.1 Calciumchromaat ($CaCrO_4$)

Chemische structuur en eigenschappen: Calciumchromaat is een matig in water oplosbaar, geelachtig poeder dat bij hoge temperaturen ontleedt, waarbij reactieve Cr(VI)-verbindingen vrijkomen. Het wordt veel gebruikt als anti-corrosiemiddel en in pigmenten.

Classificatie volgens de CLP-verordening: Calciumchromaat is geclassificeerd als **H350** (kan kanker veroorzaken) en **H410** (zeer giftig voor in het water levende organismen met langetermijneffecten). Dit maakt duidelijk dat deze stof uiterst gevaarlijk is voor zowel de menselijke gezondheid als het milieu.

2.2 Vergelijking met andere chromaten

:

Natriumchromaat (Na_2CrO_4):

Deze verbinding is beter oplosbaar in water dan calciumchromaat en wordt gebruikt in de chemische industrie en bij de productie van verven en pigmenten. Vanwege zijn hoge oplosbaarheid en reactiviteit is het bijzonder gevaarlijk, omdat het gemakkelijk het lichaam kan binnendringen en daar schade kan aanrichten.

Classificatie volgens de CLP-verordening:

Naast de H350- **en** H410-classificaties **draagt natriumchromaat ook** de **H360FD-classificatie** (kan de vruchtbaarheid beïnvloeden, kan het kind in de baarmoeder schaden). Door deze classificatie moet worden nagegaan of de werkplek voor vrouwen mag worden vrijgegeven wanneer natriumchromaat vrijkomt.

3. Gezondheidseffecten van inademing van chromaten

3.1 Longkanker en DNA-schade

3.1.1 Dubbelstrengs breuken en DNA-schademechanisme

:

Wanneer chroom(VI)-verbindingen het lichaam binnenkomen, vooral door inademing, worden ze in de cellen verminderd. Dit reductieproces, dat van chroom(VI) naar chroom(III) leidt, produceert zeer reactieve tussenproducten, waaronder reactieve zuurstofsoorten (ROS) en onstabiele tussenproducten chroom(IV) en chroom(V). Deze zeer reactieve moleculen kunnen direct in het DNA doordringen en daar ernstige schade aanrichten.

Dubbele strengs breekt:

Een van de ernstigste vormen van DNA-schade die door deze reacties kan worden veroorzaakt, zijn dubbelstrengsbreuken . Dit zijn breuken waarbij beide DNA-strengen tegelijkertijd worden geknipt. Dergelijke schade is uiterst moeilijk te herstellen en kan leiden tot celdood of, indien onjuist gerepareerd, kanker. Dubbelstrengsbreuken worden als bijzonder gevaarlijk beschouwd omdat ze het genoom onstabiel maken en de kans op mutaties drastisch vergroten.

Gevolgen:
De ontwikkeling van dubbelstrengsbreuken kan leiden tot ongecontroleerde celgroei, wat het basismechanisme is voor de ontwikkeling van kanker. In het geval van blootstelling aan chroom(VI) leidt dit vaak tot longkanker, een van de meest voorkomende en dodelijke vormen van kanker bij werknemers die aan deze stoffen worden blootgesteld.

3.1.2 Reductieproces in het lichaam

Reductie van chroom(VI) tot chroom(III):

In het lichaam wordt chroom(VI) na opname door verschillende cellulaire mechanismen verminderd. Hierdoor ontstaat chroom(III), dat minder reactief is, maar tijdens het reductieproces worden agressieve tussenproducten geproduceerd die aanzienlijke schade kunnen toebrengen aan celstructuren, met name DNA.

Oxidatieve stress:

De reductie van chroom(VI) leidt tot de vorming van reactieve zuurstofsoorten (ROS). Deze vrije radicalen veroorzaken oxidatieve stress in de cellen, die naast DNA ook eiwitten en lipiden aanvalt. Oxidatieve stress leidt tot een cascade van celbeschadiging die uiteindelijk kan leiden tot apoptose (geprogrammeerde celdood) of, erger nog, de transformatie van cellen in een kankerverwekkende vorm.

Gevaren voor de reparatiemechanismen:
Tijdens DNA-schade veroorzaakt door deze agressieve tussenproducten, worden de eigen reparatiemechanismen van de cel vaak overweldigd of werken ze verkeerd. Defecte reparatieprocessen kunnen leiden tot chromosoomafwijkingen, waarbij delen van chromosomen verkeerd worden geassembleerd of verloren gaan, waardoor het risico op kanker verder toeneemt.

Aanval op het genetisch materiaal:
Het is belangrijk om te begrijpen dat deze schade niet beperkt is tot de longcellen. Chroom(VI) verbindingen kunnen door de bloedbaan naar andere organen reizen en daar soortgelijke schade aanrichten. Vooral organen zoals de nieren en de lever lopen gevaar, maar ook het centrale zenuwstelsel kan worden aangetast.

3.1.3 Gevolgen en risico's op lange termijn

Kankers:

De beschreven mechanismen maken duidelijk waarom chroom(VI)-verbindingen zo kankerverwekkend zijn. Wat vooral verraderlijk is, is dat de schade vaak pas jaren na blootstelling uitbreekt, wat een vroege diagnose en preventie bemoeilijkt.

Onomkeerbare schade:

Als er eenmaal DNA-schade is opgetreden, met name dubbelstrengsbreuken, is het vaak niet mogelijk om deze volledig te herstellen. Zelfs als de cel overleeft, kan dit leiden tot mutaties die op de lange termijn bijdragen aan de ontwikkeling van kanker.

Verhoogd risico, zelfs bij kleine hoeveelheden:

Het is belangrijk om te benadrukken dat zelfs kleine hoeveelheden chroom(VI) dergelijke ernstige schade kunnen aanrichten. Aangezien er geen veilige drempel voor blootstelling is, moet elke mogelijke bron van chroom(VI)-verbindingen serieus worden genomen en zo volledig mogelijk worden geëlimineerd.

3.2 Chronische obstructieve longziekte (COPD)

Mechanisme:

Langdurige blootstelling aan chromaten kan chronische ontsteking van de luchtwegen veroorzaken, wat leidt tot COPD. De ontsteking en beschadiging van de luchtwegen leiden tot een progressieve vernauwing van de luchtwegen, waardoor ademen steeds moeilijker wordt.

Symptomen:

Symptomen zijn onder meer kortademigheid, chronische hoest en verminderde longfunctie. Deze symptomen verergeren na verloop van tijd en kunnen de kwaliteit van leven aanzienlijk beïnvloeden.

3.3 Astma en bronchitis

Mechanisme:

Chromaten kunnen irritatie van de luchtwegen veroorzaken, wat leidt tot astma en chronische bronchitis. De ontstekingsreacties in de bronchiën leiden tot een vernauwing van de luchtwegen, wat astma-aanvallen en chronische ontstekingen (bronchitis) veroorzaakt.

Symptomen:

Typische symptomen zijn hoesten, kortademigheid en piepende ademhaling. Deze aandoeningen kunnen chronisch worden en zijn vaak moeilijk te behandelen, vooral als de blootstelling aan chromaten aanhoudt.

3.4 Allergische reacties en sensibilisatie

Mechanisme:

Chromaten kunnen leiden tot immunologische reacties en sensibilisatie, wat leidt tot ernstige allergische reacties. Herhaald contact kan leiden tot sensibilisatie, wat betekent dat zelfs kleine hoeveelheden chromaten een allergische reactie kunnen veroorzaken.

Symptomen:

Luchtwegaandoeningen, huidreacties en systemische allergische reacties zijn veel voorkomende symptomen. Deze kunnen na verloop van tijd verergeren en tot ernstige gezondheidsproblemen leiden.

3.5 Nierfalen en nierziekte

Mechanisme:

Chromaten kunnen via de longen in de bloedbaan terechtkomen en de nieren beschadigen. Het toxische effect van chroom(VI) kan leiden tot acute of chronische nierschade, die zich uit in nierfalen of chronische nierziekte. –

Volgen:

Nierfalen, chronische nierziekte en de noodzaak van dialyse kunnen het gevolg zijn. Deze aandoeningen zijn vaak onomkeerbaar en vereisen levenslange medische zorg.

3.6 Leverziekten

Mechanisme:

Chromaten hebben een hepatotoxisch effect en kunnen levercellen beschadigen. De lever, als centraal ontgiftingsorgaan, kan aanzienlijk worden beschadigd door de inname van chroom(VI), wat leidt tot leverdisfunctie. –

Volgen:

Leverschade, cirrose of zelfs leverkanker kunnen het gevolg zijn. Deze aandoeningen zijn moeilijk te behandelen en hebben langdurige effecten op de gezondheid.

3.7 Schade aan het immuunsysteem

Mechanisme:

Chromaten kunnen het immuunsysteem verzwakken door oxidatieve schade te veroorzaken en de aanmaak van immuuncellen te verstoren. Chronische blootstelling kan het immuunsysteem van het lichaam op de lange termijn verzwakken, wat leidt tot een verhoogde vatbaarheid voor infecties en andere ziekten.

Symptomen:

Frequente infecties en een verhoogde vatbaarheid voor kanker zijn mogelijke gevolgen. Een verzwakt immuunsysteem kan de genezing van verwondingen en ziekten vertragen en het risico op ernstige gezondheidscomplicaties vergroten.

3.8 Hart- en vaatziekten

Mechanisme:

Chromaten kunnen systemische ontstekingsreacties veroorzaken die het risico op hart- en vaatziekten verhogen. De ontsteking veroorzaakt door chroom(VI) kan bloedvaten beschadigen en bijdragen aan het ontstaan van hart- en vaatziekten.

Volgen:

Hoge bloeddruk, hartritmestoornissen en hartfalen kunnen voorkomen. Deze aandoeningen zijn vaak chronisch en kunnen het risico op hartaanvallen en beroertes verhogen.

3.9 Neurologische aandoeningen

Mechanisme:

Chronische blootstelling aan chromaten kan neurotoxische effecten hebben die leiden tot neurologische aandoeningen. De neurotoxische effecten van chroom(VI) kunnen het centrale zenuwstelsel beschadigen, wat leidt tot een verscheidenheid aan neurologische problemen.

Symptomen:

Geheugenproblemen, concentratiestoornissen en hoofdpijn zijn mogelijke symptomen. Op de lange termijn kunnen deze neurologische aandoeningen leiden tot een aanzienlijke verslechtering van de kwaliteit van leven.

4. Preventie en minimalisering van risico's

4.1 Minimalisatievereiste en S-T-O-P-principe

Bescherming door preventie:

Het is van cruciaal belang dat het minimaliseren van de blootstelling aan chromaten een prioriteit is. In plaats van te vertrouwen op persoonlijke beschermingsmiddelen, moeten vervanging en technische maatregelen prioriteit krijgen. Het doel moet zijn om het gevaar zoveel mogelijk uit te sluiten voordat u uw toevlucht neemt tot persoonlijke beschermingsmiddelen.

Onafhankelijkheid van AGW:

De minimaliseringseis geldt ongeacht of aan de grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling (OEL) wordt voldaan. Er is geen veilige drempel voor kankerverwekkende stoffen, dus alle maatregelen moeten worden genomen om de blootstelling zoveel mogelijk te verminderen. De focus moet liggen op het voorkomen van gevaren in plaats van alleen het beperken ervan.

CMR-stoffen en huidabsorptie:

Chromaten, vooral de verbindingen die in deze studie worden besproken, zoals calciumchromaat en natriumchromaat, zijn **huidresorptief.** Dit betekent dat ze via de huid het lichaam kunnen binnendringen. Daarom bestaat er een permanent risico op contact met de huid, zelfs in de buurt van de chromaatproducerende bronnen, aangezien de blootstellingen wijd verspreid kunnen zijn.

4.2 Relatie tussen blootstelling en risico (ERB)

ERB voor chroom(VI):

TRGS 910 specificeert een blootstelling-risicoverhouding van **1 µg/m³** voor chroom(VI)-verbindingen, waarbij het risico wordt geschat op 4 extra kankergevallen per 1.000 blootgestelde personen.

Geen drempel:

Er is geen vastgestelde drempelwaarde voor chroom(VI)-verbindingen, d.w.z. geen blootstellingsdichtheid die als veilig en aanvaardbaar kan worden omschreven. De minimaliseringseis vereist een constante vermindering van de blootstelling; voor chroom(VI)-verbindingen is geen acceptatieconcentratie vastgesteld; de beoordelingsmaatstaf is 0,001 mg/m³ (tolerantieconcentratie volgens TRGS 910, gebruikt door TRGS 561).

5. Beschermende maatregelen en wettelijke voorschriften

5.1 Rechtsgrondslag en minimaliseringsvereiste

EU-verordening 2004/37/EG en verordening inzake gevaarlijke stoffen:

Deze voorschriften stellen een strikt principe van minimalisering vast dat van toepassing is ongeacht de naleving van de grenswaarden. Bedrijven zijn verplicht om de blootstelling aan kankerverwekkende stoffen zoveel mogelijk te beperken, ook als de gemeten waarden onder de geaccepteerde risicorelatie liggen.

Voorkeur vervanging:

Waar mogelijk moeten chromaten worden vervangen door minder gevaarlijke stoffen om het risico bij de bron te minimaliseren. Technische maatregelen, zoals gesloten systemen of extracties, moeten worden geïmplementeerd voordat persoonlijke beschermingsmaatregelen worden overwogen.

5.2 Toepassing van het S-T-O-P principe

Technische en organisatorische maatregelen:

Technische en organisatorische beschermende maatregelen moeten worden genomen voordat persoonlijke beschermingsmiddelen worden geïntroduceerd om blootstelling tot een minimum te beperken. Dit omvat het gebruik van veilige technologieën, verbeterde workflows en training van medewerkers om een veilige omgang met gevaarlijke stoffen te garanderen.

PBM als laatste optie:

Persoonlijke beschermingsmiddelen mogen alleen worden gebruikt als alle andere maatregelen zijn uitgeput. Het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen moet altijd worden opgevat als een laatste barrière, niet als een primaire beschermende maatregel.

6. Conclusies en aanbevelingen

Preventie in plaats van paniek:

Deze studie heeft tot doel degelijke informatie te verstrekken die helpt bij het prioriteren van preventieve maatregelen en het minimaliseren van blootstelling aan chromaten door middel van effectieve substitutie en technische maatregelen. Het gaat er niet om paniek te zaaien, maar om de noodzaak van effectieve preventiestrategieën te benadrukken. –

Focus op minimalisatie:

Het is van cruciaal belang dat de minimaliseringsvereiste serieus wordt genomen en dat werkgevers proactief maatregelen nemen om de blootstelling te verminderen, in plaats van te vertrouwen op de naleving van grenswaarden of het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen. De bescherming van de gezondheid van de werknemers moet worden bereikt door een combinatie van vervangende, technische en organisatorische maatregelen.

7. Bibliografie

1. Monografieën van het ARC (International Agency for Research on Cancer) over de evaluatie van kankerverwekkende risico's voor de mens. Deel 49: Chroom, nikkel en lassen. Lyon, Frankrijk: Internationaal Agentschap voor kankeronderzoek; 1990. - Deze monografieën classificeren Cr(VI) als kankerverwekkend voor de mens, op basis van talrijke studies die een duidelijk verband aantonen tussen inademing van Cr(VI) en de ontwikkeling van longkanker

Gibb, H.J., Lees, P.S., Pinsky, P.F., & Rooney, B.C. (2000). Longkanker bij werknemers in de chemische productie van chroom. Amerikaans tijdschrift voor industriële geneeskunde, 38(2), 115-126.- Deze studie kijkt naar werknemers in de chromaatindustrie en documenteert het verhoogde risico op chronische longziekten zoals COPD als gevolg van langdurige blootstelling aan Cr(VI).

Lindberg, E., & Hedenstierna, G. (1983). Verchromen: symptomen, bevindingen in de bovenste luchtwegen en effecten op de longfunctie. Archieven van milieugezondheid, 38(6), 367-374. - Deze studie beschrijft ademhalingsproblemen bij werknemers in de chroomverwerkende industrie, waaronder de ontwikkeling van astma en chronische bronchitis na blootstelling aan Cr(VI).

Basketter, D.A., & Wit, I.R. (1995). Chroom: een nieuwe kijk op een oud allergeen. Neem contact op met dermatitis, 33(4), 195-198. - Dit proefschrift beschrijft de allergische reacties en sensibilisatie veroorzaakt door huidcontact met Cr(VI), inclusief de ontwikkeling van contactdermatitis.

5. Barceloux, D. G. (1999). Chroom. Tijdschrift voor toxicologie: klinische toxicologie, 37(2), 173-194.- Dit uitgebreide artikel beschrijft de systemische toxische effecten van chroom, waaronder schade aan de nieren bij inademing en systemische inname van Cr(VI).

Eastmond, D.A., MacGregor, J.T., & Slesinski, R.S. (2008). Driewaardig chroom: beoordeling van het genotoxische risico van een essentieel sporenelement en een veelgebruikt voedingssupplement voor mens en dier. Kritische beoordelingen in Toxic.- Deze review onderzoekt de effecten van chroom op de lever en beschrijft hepatotoxische effecten die optreden bij blootstelling aan hogere concentraties Cr(VI).

7. Zhitkovich, A. (2005). Belang van chroom-DNA-adducten bij mutageniteit en toxiciteit van chroom(VI). Chemical Research in Toxicology, 18(1), 3-11.-Deze studie legt uit hoe Cr(VI)-geïnduceerde DNA-schade kan leiden tot een verzwakking van het immuunsysteem door de kans op DNA-herstelmechanismen te verminderen.

Costa, M., & Klein, C.B. (2006). Toxiciteit en carcinogeniteit van chroomverbindingen bij de mens. Kritische beoordelingen in toxicologie, 36(2), 155-163.- Dit proefschrift beschrijft de systemische effecten van Cr(VI), waaronder schade aan het cardiovasculaire systeem door oxidatieve stressreacties en ontstekingen.

Danielsson, B. R., Hassoun, E., Dencker, L., & Dalen, H. (1982). Embryotoxiciteit van chroom: Verdeling bij drachtige muizen en effecten op embryonale cellen in vitro. Archieven van toxicologie, 50(4), 285-295. - Deze studie onderzoekt de neurotoxische effecten van chroom in diermodellen en beschrijft de mogelijke neurologische schade die kan worden veroorzaakt door blootstelling aan chroom.

10. Verbinnen, B., Billen, P., et al. (2020). Afhankelijkheid van de verwarmingstemperatuur van Cr(III)-oxidatie in aanwezigheid van aardalkalimetalen. Tijdschrift voor industriële ecologie, 24(5), 1057-1065.- Deze studie toont aan dat de oxidatie van Cr(III) naar Cr(VI) in aanwezigheid van CaO al begint bij temperaturen onder 500°C, wat de potentiële gevaren voor chromaatvorming benadrukt, zelfs onder reële industriële omstandigheden.

Versiegeschiedenis

Versie	Datum	Wijziging
1.0	september 2024	Eerste uitgave
1.1	november 2026	Nieuwe opmaak in het ontwerpsysteem van de Chromaatexperts; schrijfwijze chroom(VI) geüniformeerd. Actualisering: geen acceptatieconcentratie voor chroom(VI)-verbindingen, beoordelingsmaatstaf 0,001 mg/m³ (TRGS 910, TRGS 561).