Einfluss von Calciumchromat und anderen Chromaten auf die Gesundheit: Inhalation und Hautkontakt, auch unter Berücksichtigung der Freisetzung von Chrom(VI)-Verbindungen, durch Servicearbeiten mit Kontakt zu kontaminierten Hochtemperaturisolierungen

von Florian Sommer und Markus Sommer

5. September 2024

Version 1.1 · November 2026

1. Einleitung

Diese Studie untersucht die gesundheitlichen Risiken, die durch die Inhalation und den Hautkontakt mit Chromaten, insbesondere Calciumchromat ($CaCrO_4$), entstehen. Der Schwerpunkt liegt auf den potenziellen Gefahren, die sich durch die Verwendung von alkali- und/oder erdalkalimetallhaltigen Hochtemperaturisolierungen ergeben.

Diese Risiken können insbesondere während Wartungsarbeiten auftreten, aber es ist auch möglich, dass Chromate während des Regelbetriebs von Motoren und Turbinen freigesetzt werden, die mit insbesondere calcium- oder natriumhaltigen Isolierungen ausgestattet sind. Ziel dieser Studie ist es, die toxikologischen Mechanismen zu identifizieren und präventive Maßnahmen zu empfehlen, um die Exposition zu minimieren.

Dabei soll der Fokus auf die Verhinderung der Gefährdung gelegt werden, anstatt sich auf die bloße Schadensbegrenzung durch persönliche Schutzausrüstung (PSA) zu verlassen, welche fälschlicherweise immer als erste vermeintlich ausreichende Schutzmaßnahme angesehen wird, nicht aber dem Minimierungsgebot der EU-Verordnung 2004/37/EG und somit der deutschen Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) entspricht.

2. Chemische Eigenschaften von Chromaten

2.1 Calciumchromat ($CaCrO_4$)

Chemische Struktur und Eigenschaften:
Calciumchromat ist ein mäßig wasserlösliches, gelbliches Pulver, das unter hohen Temperaturen zerfällt und dabei reaktive Cr(VI)-Verbindungen freisetzt. Es wird häufig als Korrosionsschutzmittel und in Pigmenten verwendet.

Einstufung nach CLP-Verordnung: Calciumchromat ist als **H350** (kann Krebs erzeugen) und **H410** (sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung) eingestuft. Dies macht deutlich, dass diese Substanz sowohl für die menschliche Gesundheit als auch für die Umwelt äußerst gefährlich ist.

2.2 Vergleich mit anderen Chromaten

:

Natriumchromat (Na_2CrO_4):

Diese Verbindung ist wasserlöslicher als Calciumchromat und wird in der Chemieindustrie und bei der Herstellung von Farben und Pigmenten verwendet. Aufgrund seiner hohen Löslichkeit und Reaktivität ist es besonders gefährlich, da es leicht in den Körper gelangen und dort Schäden verursachen kann.

Einstufung nach CLP-Verordnung:

Natriumchromat trägt neben den Einstufungen **H350** und **H410** zusätzlich die Einstufung **H360FD** (kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen, kann das Kind im Mutterleib schädigen). Aufgrund dieser Einstufung muss bei der Freisetzung von Natriumchromat geprüft werden, ob der Arbeitsplatz für Frauen freigegeben werden darf.

3. Gesundheitliche Auswirkungen der Inhalation von Chromaten

3.1 Lungenkrebs und DNA-Schädigung

3.1.1 Doppelstrangbrüche und DNA-Schädigung

Mechanismus:

Wenn Chrom(VI)-Verbindungen in den Körper gelangen, insbesondere durch Inhalation, werden sie in den Zellen reduziert. Dieser Reduktionsprozess, der von Chrom(VI) zu Chrom(III) führt, erzeugt hochreaktive Zwischenprodukte, darunter reaktive Sauerstoffspezies (ROS) und instabile Chrom(IV)- und Chrom(V)-Zwischenstufen. Diese hochreaktiven Moleküle können direkt in die DNA eindringen und dort schwere Schäden verursachen.

Doppelstrangbrüche:

Eine der schwerwiegendsten Formen der DNA-Schädigung, die durch diese Reaktionen verursacht werden kann, sind **Doppelstrangbrüche.** Dies sind Brüche, bei denen beide Stränge der DNA gleichzeitig zerschnitten werden. Solche Schäden sind äußerst schwer zu reparieren und können zum Zelltod oder, wenn sie falsch repariert werden, zu Krebs führen. Doppelstrangbrüche gelten als besonders gefährlich, da sie das Genom instabil machen und die Wahrscheinlichkeit von Mutationen drastisch erhöhen.

Folgen:
Die Entstehung von Doppelstrangbrüchen kann zu unkontrolliertem Zellwachstum führen, was der Grundmechanismus für die Entwicklung von Krebs ist. Im Falle von Chrom(VI)-Exposition führt dies häufig zu Lungenkrebs, einer der häufigsten und tödlichsten Krebsarten bei Arbeitern, die diesen Stoffen ausgesetzt sind.

3.1.2 Reduktionsprozess im Körper

Reduktion von Chrom(VI) zu Chrom(III):

Im Körper wird Chrom(VI) nach seiner Aufnahme durch verschiedene zelluläre Mechanismen reduziert. Dabei entsteht Chrom(III), das zwar weniger reaktiv ist, aber während des Reduktionsprozesses entstehen aggressive Zwischenprodukte, die die Zellstrukturen, insbesondere die DNA, erheblich schädigen können.

Oxidativer Stress:

Die Reduktion von Chrom(VI) führt zur Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS). Diese freien Radikale verursachen oxidativen Stress in den Zellen, der neben der DNA auch Proteine und Lipide angreift. Der oxidative Stress führt zu einer Kaskade von Zellschäden, die letztendlich zu Apoptose (programmierter Zelltod) oder, schlimmer noch, zur Transformation der Zellen in eine krebserregende Form führen kann.

Gefahren für die Reparaturmechanismen:
Während der DNA-Schädigung durch diese aggressiven Zwischenprodukte sind die zelleigenen Reparaturmechanismen oft überfordert oder arbeiten fehlerhaft. Fehlerhafte Reparaturprozesse können zu Chromosomenaberrationen führen, bei denen Teile von Chromosomen falsch zusammengesetzt oder verloren gehen, was das Risiko von Krebserkrankungen weiter erhöht.

Angriff auf das Erbgut:
Es ist wichtig zu verstehen, dass diese Schäden nicht nur auf die Lungenzellen beschränkt bleiben. Durch den Blutkreislauf können Chrom(VI)-Verbindungen in andere Organe gelangen und dort ähnliche Schäden verursachen. Besonders gefährdet sind dabei Organe wie die Nieren und die Leber, aber auch das zentrale Nervensystem kann betroffen sein.

3.1.3 Langfristige Folgen und Risiken

Krebserkrankungen:

Die beschriebenen Mechanismen machen deutlich, warum Chrom(VI)-Verbindungen so stark krebserregend sind. Besonders heimtückisch ist dabei, dass die Schäden oft erst Jahre nach der Exposition zum Ausbruch kommen, was eine frühe Diagnose und Prävention erschwert.

Unwiderrufliche Schäden:

Einmal entstandene DNA-Schäden, insbesondere Doppelstrangbrüche, können oft nicht vollständig repariert werden. Selbst wenn die Zelle überlebt, kann dies zu Mutationen führen, die langfristig zur Entstehung von Krebs beitragen.

Erhöhtes Risiko auch bei geringen Mengen:

Es ist wichtig zu betonen, dass selbst geringe Mengen an Chrom(VI) in der Lage sind, solche schwerwiegenden Schäden zu verursachen. Da es keinen sicheren Schwellenwert für die Exposition gibt, muss jede mögliche Quelle von Chrom(VI)-Verbindungen ernst genommen und möglichst vollständig eliminiert werden.

3.2 Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)

Mechanismus:

Langfristige Exposition gegenüber Chromaten kann chronische Entzündungen der Atemwege verursachen, die zu COPD führen. Die Entzündung und Schädigung der Atemwege führen zu einer fortschreitenden Verengung der Atemwege, was das Atmen zunehmend erschwert.

Symptome:

Zu den Symptomen gehören Atemnot, chronischer Husten und eingeschränkte Lungenfunktion. Diese Symptome verschlimmern sich im Laufe der Zeit und können die Lebensqualität erheblich beeinträchtigen.

3.3 Asthma und Bronchitis

Mechanismus:

Chromate können Reizungen der Atemwege verursachen, was zu Asthma und chronischer Bronchitis führt. Die entzündlichen Reaktionen in den Bronchien führen zu einer Verengung der Atemwege, was Asthmaanfälle und chronische Entzündungen (Bronchitis) auslöst.

Symptome:

Typische Symptome umfassen Husten, Atemnot und pfeifende Atemgeräusche. Diese Zustände können chronisch werden und sind oft schwer zu behandeln, insbesondere wenn die Exposition gegenüber Chromaten anhält.

3.4 Allergische Reaktionen und Sensibilisierung

Mechanismus:

Chromate können zu immunologischen Reaktionen und Sensibilisierung führen, die zu schweren allergischen Reaktionen führen. Bei wiederholtem Kontakt kann es zu einer Sensibilisierung kommen, was bedeutet, dass selbst geringe Mengen von Chromaten eine allergische Reaktion auslösen können.

Symptome:

Atemwegserkrankungen, Hautreaktionen und systemische allergische Reaktionen sind häufige Symptome. Diese können sich im Laufe der Zeit verschlimmern und zu ernsthaften gesundheitlichen Problemen führen.

3.5 Nierenversagen und Nierenerkrankungen

Mechanismus:

Chromate können über die Lunge in den Blutkreislauf gelangen und die Nieren schädigen. Die toxische Wirkung von Chrom(VI) kann zu akuten oder chronischen Nierenschäden führen, die sich in Nierenversagen oder chronischen Nierenerkrankungen manifestieren. –

Folgen:

Nierenversagen, chronische Nierenerkrankungen und der Bedarf an Dialyse können die Folge sein. Diese Zustände sind oft irreversibel und erfordern eine lebenslange medizinische Betreuung.

3.6 Lebererkrankungen

Mechanismus:

Chromate wirken hepatotoxisch und können die Leberzellen schädigen. Die Leber, als zentrales Entgiftungsorgan, kann durch die Aufnahme von Chrom(VI) erheblich geschädigt werden, was zu Leberfunktionsstörungen führt. –

Folgen:

Leberschäden, Leberzirrhose oder sogar Leberkrebs können resultieren. Diese Erkrankungen sind oft schwer zu behandeln und können langfristige Auswirkungen auf die Gesundheit haben.

3.7 Schädigung des Immunsystems

Mechanismus:

Chromate können das Immunsystem schwächen, indem sie oxidative Schäden verursachen und die Produktion von Immunzellen stören. Eine chronische Exposition kann die Immunabwehr des Körpers nachhaltig schwächen, was zu einer erhöhten Anfälligkeit für Infektionen und andere Erkrankungen führt.

Symptome:

Häufige Infektionen und eine erhöhte Krebsanfälligkeit sind mögliche Folgen. Ein geschwächtes Immunsystem kann die Heilung von Verletzungen und Krankheiten verlangsamen und das Risiko für schwerwiegende gesundheitliche Komplikationen erhöhen.

3.8 Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Mechanismus:

Chromate können systemische Entzündungsreaktionen hervorrufen, die das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöhen. Die durch Chrom(VI) verursachte Entzündung kann die Blutgefäße schädigen und zur Entwicklung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen beitragen.

Folgen:

Bluthochdruck, Herzrhythmusstörungen und Herzinsuffizienz können auftreten. Diese Erkrankungen sind oft chronisch und können das Risiko für Herzinfarkte und Schlaganfälle erhöhen.

3.9 Neurologische Störungen

Mechanismus:

Chronische Exposition gegenüber Chromaten kann neurotoxische Effekte haben, die zu neurologischen Störungen führen. Die neurotoxischen Wirkungen von Chrom(VI) können das zentrale Nervensystem schädigen, was zu einer Vielzahl von neurologischen Problemen führt.

Symptome:

Gedächtnisprobleme, Konzentrationsstörungen und Kopfschmerzen sind mögliche Symptome. Langfristig können diese neurologischen Störungen zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Lebensqualität führen.

4. Prävention und Minimierung der Risiken

4.1 Minimierungsgebot und S-T-O-P-Prinzip

Schutz durch Prävention:

Es ist entscheidend, dass die Minimierung der Exposition gegenüber Chromaten im Vordergrund steht. Anstatt sich auf PSA zu verlassen, sollten Substitution und technische Maßnahmen priorisiert werden. Das Ziel sollte es sein, die Gefährdung so weit wie möglich zu eliminieren, bevor auf persönliche Schutzausrüstung zurückgegriffen wird.

Unabhängigkeit vom AGW:

Das Minimierungsgebot gilt unabhängig davon, ob der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) eingehalten wird. Es gibt keinen sicheren Schwellenwert für krebserzeugende Stoffe, daher müssen alle Maßnahmen ergriffen werden, um die Exposition so weit wie möglich zu reduzieren. Der Fokus sollte darauf liegen, Gefahren zu verhindern, anstatt sie lediglich abzumildern.

KMR-Stoffe und Hautresorption:

Chromate, insbesondere die in dieser Studie behandelten Verbindungen wie Calciumchromat und Natriumchromat, sind **hautresorptiv.** Dies bedeutet, dass sie durch die Haut in den Körper eindringen können. Daher besteht eine permanente Gefahr des Hautkontakts, auch im Umkreis der chromaterzeugenden Quellen, da sich Expositionen weit verteilen können.

4.2 Expositions-Risiko-Beziehung (ERB)

ERB für Chrom(VI):

Die TRGS 910 gibt für Chrom(VI)-Verbindungen eine Expositions-Risiko-Beziehung von **1 µg/m³** an, bei der das Risiko auf 4 zusätzliche Krebsfälle pro 1.000 exponierte Personen geschätzt wird.

Kein Schwellenwert:

Es gibt keinen festgelegten Schwellenwert für Chrom(VI)-Verbindungen, also keine Expositionsdichte, die als unbedenklich und tolerierbar bezeichnet werden könnte. Das Minimierungsgebot verlangt eine ständige Reduzierung der Exposition; eine Akzeptanzkonzentration ist für Chrom(VI)-Verbindungen nicht festgelegt; Beurteilungsmaßstab ist 0,001 mg/m³ (Toleranzkonzentration nach TRGS 910, herangezogen von der TRGS 561).

5. Schutzmaßnahmen und gesetzliche Regelungen

5.1 Gesetzliche Grundlagen und Minimierungsgebot

EU-Verordnung 2004/37/EG und GefStoffV:

Diese Vorschriften legen ein striktes Minimierungsprinzip fest, das unabhängig von der Einhaltung von Grenzwerten gilt. Unternehmen sind verpflichtet, die Exposition gegenüber krebserzeugenden Stoffen so weit wie möglich zu reduzieren, auch wenn die gemessenen Werte unterhalb der akzeptierten Risiko-Beziehung liegen.

Substitution bevorzugen:

Wo immer möglich, sollten Chromate durch weniger gefährliche Stoffe ersetzt werden, um das Risiko bereits an der Quelle zu minimieren. Technische Maßnahmen, wie geschlossene Systeme oder Absaugungen, sollten implementiert werden, bevor persönliche Schutzmaßnahmen in Erwägung gezogen werden.

5.2 Umsetzung des S-T-O-P-Prinzips

Technische und organisatorische Maßnahmen:

Vor der Einführung von PSA sollten technische und organisatorische Schutzmaßnahmen ergriffen werden, um die Exposition zu minimieren. Dies umfasst den Einsatz sicherer Technologien, verbesserter Arbeitsabläufe und Schulungen der Mitarbeiter, um den sicheren Umgang mit gefährlichen Stoffen zu gewährleisten.

PSA als letzte Option:

Persönliche Schutzausrüstung sollte nur eingesetzt werden, wenn alle anderen Maßnahmen ausgeschöpft sind. Die Anwendung von PSA sollte stets als letzte Barriere verstanden werden, nicht als primäre Schutzmaßnahme.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Prävention statt Panik:

Diese Studie zielt darauf ab, fundierte Informationen bereitzustellen, die helfen, präventive Maßnahmen zu priorisieren und die Exposition gegenüber Chromaten durch wirksame Substitution und technische Maßnahmen zu minimieren. Es geht nicht darum, Panik zu verbreiten, sondern die Notwendigkeit effektiver Präventionsstrategien zu betonen. –

Fokus auf Minimierung:

Es ist entscheidend, dass das Minimierungsgebot ernst genommen wird, und dass Arbeitgeber proaktiv Maßnahmen ergreifen, um die Exposition zu senken, anstatt sich auf die Einhaltung von Grenzwerten oder den Einsatz von PSA zu verlassen. Der Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmer muss durch eine Kombination aus Substitution, technischen und organisatorischen Maßnahmen erreicht werden.

7. Literaturverzeichnis

1. ARC (International Agency for Research on Cancer) Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 49: Chromium, Nickel and Welding. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 1990. - Diese Monographien stufen Cr(VI) als krebserregend für den Menschen ein, basierend auf zahlreichen Studien, die einen klaren Zusammenhang zwischen der Inhalation von Cr(VI) und der Entwicklung von Lungenkrebs zeigen

2. Gibb, H. J., Lees, P. S., Pinsky, P. F., & Rooney, B. C. (2000). Lung cancer among workers in chromium chemical production. American Journal of Industrial Medicine, 38(2), 115-126.- Diese Studie befasst sich mit Arbeitern in der Chromatindustrie und dokumentiert das erhöhte Risiko für chronische Lungenerkrankungen wie COPD aufgrund langfristiger Exposition gegenüber Cr(VI).

3. Lindberg, E., & Hedenstierna, G. (1983). Chrome plating: symptoms, findings in the upper airways, and effects on lung function. Archives of Environmental Health, 38(6), 367-374. - Diese Studie beschreibt Atemwegsprobleme bei Arbeitern in der Chromverarbeitungsindustrie, einschließlich der Entwicklung von Asthma und chronischer Bronchitis nach Exposition gegenüber Cr(VI).

4. Basketter, D. A., & White, I. R. (1995). Chromium: a new look at an old allergen. Contact Dermatitis, 33(4), 195-198. - Diese Arbeit beschreibt die allergischen Reaktionen und die Sensibilisierung, die durch Hautkontakt mit Cr(VI) ausgelöst werden, einschließlich der Entwicklung von Kontaktdermatitis.

5. Barceloux, D. G. (1999). Chromium. Journal of Toxicology: Clinical Toxicology, 37(2), 173-194.- Dieser umfassende Artikel beschreibt die systemischen toxischen Wirkungen von Chrom, einschließlich der Schädigung der Nieren bei Inhalation und systemischer Aufnahme von Cr(VI).

6. Eastmond, D. A., MacGregor, J. T., & Slesinski, R. S. (2008). Trivalent chromium: assessing the genotoxic risk of an essential trace element and widely used human and animal nutritional supplement. Critical Reviews in Toxic.- Diese Übersichtsarbeit untersucht die Auswirkungen von Chrom auf die Leber und beschreibt hepatotoxische Effekte, die bei Exposition gegenüber höheren Konzentrationen von Cr(VI) auftreten.

7. Zhitkovich, A. (2005). Importance of chromium-DNA adducts in mutagenicity and toxicity of chromium(VI). Chemical Research in Toxicology, 18(1), 3-11.-Diese Studie erläutert, wie Cr(VI)-Induzierte DNA-Schäden zu einer Schwächung des Immunsystems führen können, indem sie das Potenzial für DNA-Reparaturmechanismen verringern.

8. Costa, M., & Klein, C. B. (2006). Toxicity and carcinogenicity of chromium compounds in humans. Critical Reviews in Toxicology, 36(2), 155-163.- Diese Arbeit beschreibt die systemischen Effekte von Cr(VI), einschließlich der Schädigung des Herz-Kreislauf-Systems durch oxidative Stressreaktionen und Entzündungen.

9. Danielsson, B. R., Hassoun, E., Dencker, L., & Dalen, H. (1982). Embryotoxicity of chromium: Distribution in pregnant mice and effects on embryonic cells in vitro. Archives of Toxicology, 50(4), 285-295. - Diese Studie untersucht die neurotoxischen Wirkungen von Chrom bei Tiermodellen und beschreibt die potenziellen neurologischen Schäden, die durch Chromexposition verursacht werden können.

10. Verbinnen, B., Billen, P., et al. (2020). Heating Temperature Dependence of Cr(III) Oxidation in the Presence of Alkaline Earth Metals. Journal of Industrial Ecology, 24(5), 1057-1065.- Diese Studie belegt, dass die Oxidation von Cr(III) zu Cr(VI) in Anwesenheit von CaO bei Temperaturen unter 500°C bereits beginnt, was die potenziellen Gefahren für die Chromatbildung, auch unter realen industriellen Bedingungen verdeutlicht.

Versionsverlauf

Version	Datum	Änderung
1.0	September 2024	Erstfassung
1.1	November 2026	Neusatz im Gestaltungssystem der Chromatexperten; Schreibweise Chrom(VI) vereinheitlicht. Aktualisierung: keine Akzeptanzkonzentration für Chrom(VI)-Verbindungen, Beurteilungsmaßstab 0,001 mg/m³ (TRGS 910, TRGS 561).