



Informationsschreiben

Chromat-Expositionen in Kraftwerken

**Bildung krebserzeugender Chrom(VI)-Verbindungen auf
Oberflächen thermisch beanspruchter chromhaltiger Stähle
in Kontakt mit Wärmedämmungen und
alkali-/erdalkalimetallhaltigen Montagepasten**

Stand: 20.07.2023

**Dieses Informationsschreiben unterliegt derzeit einer fortlaufenden Anpassung an den
aktuellen Erkenntnisstand des dahinterstehenden Projektes. Es handelt sich bei der
vorliegenden Fassung um die 3. Version.**



Situation

In Kraftwerken kann es auf Oberflächen von wärme gedämmten Anlagenbauteilen an chromhaltigen Stählen, die im Betrieb unter hohen Prozesstemperaturen stehen, zur Bildung von Chrom(VI)-Verbindungen (Chromaten) kommen, die sich auch in den anliegenden Wärmedämmungen absetzen können. Gegenüber diesen Chromaten können Industrieisolerer und weitere Beschäftigte ausgesetzt sein, wenn die Wärmedämmungen zu Arbeiten an den Anlagen entfernt werden. Die Bildung von Chromaten wurde zudem an Stellen, die mit bestimmten Montagepasten behandelt wurden, nachgewiesen. Verschiedene Hersteller von Kraftwerksanlage informieren öffentlich oder mit internen, direkt an ihre Kunden adressierte Schreiben über das Vorkommen der Chromate. Hersteller von Montagepasten weisen ebenfalls auf dieses Phänomen hin, da es extra chromatbildungsreduzierte Produkte für chromhaltige Stähle gibt, die entsprechend beworben werden.

Seit dem Frühjahr 2022 geht ein bundesweiter Arbeitskreis mehrerer Bundesländer und Unfallversicherungsträger durch messtechnische und empirische Ermittlungen an entsprechend betroffenen Arbeitsplätzen und fachliche Recherche dieser Problematik nach. Dieses Projekt ist eingebettet in das Arbeitsprogramm "Sicherer Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen" der Dritten Periode der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie. Erste Ergebnisse liegen bereits vor.

Gefahrstoff Chromate

Chromate sind Verbindungen, bei denen das enthaltene Chrom als sechswertiges (hexavalentes) Kation vorliegt. Chromate sind (mit Ausnahme des hier irrelevanten Bariumchromats) als krebserzeugend der Kategorie 1B (H350) eingestuft. Sie sind zudem haut- und atemwegssensibilisierend. Beim Eindringen als Feststoff in auch sehr kleine Hautverletzungen können lokale Geschwüre auftreten. Bei oraler Aufnahme wirken sie zudem akut toxisch. Aufgrund der hier betrachteten Expositionssituationen steht die chronische Chromat-Einwirkung auf die Atmungsorgane durch Inhalation und der direkte Kontakt über die Haut im Vordergrund.

Chromat-Bildung

In der wissenschaftlichen Literatur werden unabhängig voneinander zwei verschiedene Bildungsmechanismen von Chromaten in Reaktionsumgebungen, wie sie an den Kraftwerksanlagen vorzufinden sind, diskutiert. Die Untersuchung des Ausblutens (*leaching*) von Chrom aus chromhaltigen Stählen und seine weiteren Reaktionen steht hauptsächlich im Interesse der Materialforschung, gibt hier aber Hinweise auf potentielle Expositionsszenarien. Als Wärmedämmstoffe kommen verschiedene Arten künstlicher, anorganischer Fasern zum Einsatz, die sich in ihrer stofflichen Zusammensetzung erheblich unterscheiden und für unterschiedliche Anwendungsbereiche aufgrund ihrer thermischen Belastbarkeit vorgesehen sind. Eine Übersicht ist in der Anlage 4 zu TRGS 619 zu finden.

Chromat-Bildung in Anwesenheit von Alkali-/Erdalkalimetallen

Der Prozess, auf den seitens der Kraftwerkshersteller hingewiesen wird, erfordert die Anwesenheit von alkali-/erdalkalimetallhaltigen Wärmedämmstoffen oder Montagepasten. In der Literatur wird beschrieben, dass es im Temperaturbereich von ca. 150 bis 1100 °C kann es in Gegenwart von Luftsauerstoff an den Grenzflächen von chromhaltigen Stählen mit diesen Materialien zur einer chemischen Reaktion kommen, bei der das aus dem Stahl austretende Chrom mit den Alkali- und Erdalkalimetallen zu krebserzeugenden Chromaten reagiert. Die beiden chromatbildenden Hauptakteure sind das Alkalimetall Natrium und das Erdalkalimetall Calcium, die als Oxide und Silikate in unterschiedlichen Anteilen in bestimmten Wärmedämmstoffen vorkommen. Zu den alkali-/erdalkalimetallhaltigen Wärmedämmstoffen gehören vor allem Mineralwolle (siehe TRGS 521) und Hochtemperaturglaswolle (siehe TRGS 558 und 619).

Montagepasten bestehen hauptsächlich aus calciumhaltiger Kalkseife. Der für den Arbeitsschutz nach aktuellem Erkenntnisstand als besonders relevante Temperaturbereich wird ab ca. 300 °C gesehen. Aber auch die anderen Alkali-/Erdalkalimetalle Magnesium und Kalium bilden Chromate. Die entstehenden Chromate können als gelber Belag auf den Oberflächen betroffener Bauteilen sichtbar werden oder aus mit Montagepasten bestrichenen Passflächen herauskristallisieren, wobei die Abwesenheit eines gelben Belags kein Garant für die Abwesenheit von Chromaten ist. Ebenso können sich die Chromate an den Fasern der anliegenden Wärmedämmung ablagern, wobei zu beachten ist, dass viele Wärmedämmstoffe von sich aus gelbstichig erscheinen.

Chromat-Bildung in Abwesenheit von Alkali-/Erdalkalimetallen

Wissenschaftliche Publikationen zeigen darüber hinaus weitere Reaktionswege, bei denen das austretende Chrom auch ohne die Anwesenheit von Alkali- oder Erdalkalimetallen zu Chromaten weiterreagieren kann, die dann experimentell ebenfalls in alkali-/erdalkalimetallfreien Wärmedämmstoffen wiedergefunden wurden.

Vorkommen und Expositionsquellen

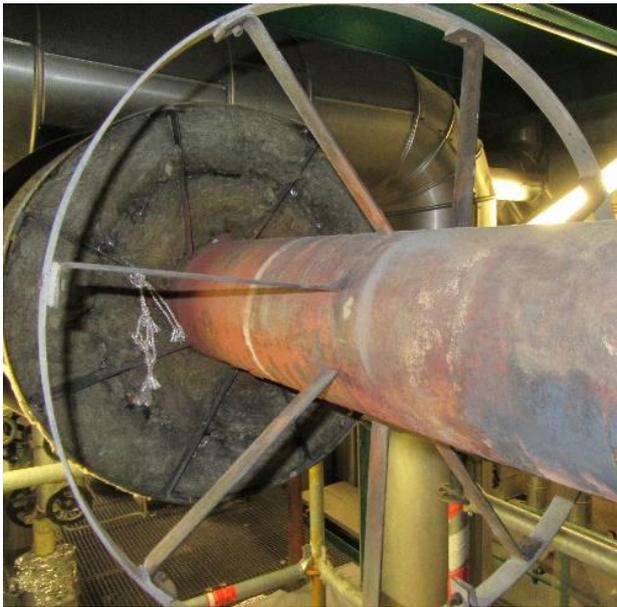
In Kraftwerken, an Generatoren und großen Motoren, Prozessanlagen der chemischen Industrie und generell überall dort, wo mit (alkali-/erdalkalimetallhaltigen) Wärmedämmstoffen isolierte oder mit alkali-/erdalkalimetallhaltigen Montagepasten behandelte Anlagenbauteile aus chromhaltigem Stahl längerfristig thermischer Belastung ausgesetzt sind, muss mit der unerwünschten Bildung von Chromaten und gerechnet werden.

Chromhaltige Stähle werden aufgrund der höheren Kosten gegenüber herkömmlichem Stahl nur dort verbaut, wo die thermischen, physikalischen oder chemischen Anforderungen an die Anlagenbauteile dies erfordert. Daher ist immer nur ein anlagenspezifischer Anteil der Bauteile einer Anlage betroffen. Betroffen sein können alle entsprechenden Anlagenbauteile wie Rohrleitungen, Turbinengehäuse, Verbindungsstücke, Flansche, Ventile, Hitzeschilder, Abgasableitungen, Krümmer und Katalysatoren. Die Chrom-Gehalte der Stähle variieren dabei stark.

Das Ausmaß der Chromat-Bildung steigt mit dem Chrom-Gehalt des Stahls. Weiterhin wird die Chromat-Bildung durch die zur Verfügung stehende „ungestörte“ Reaktionszeit begünstigt und entsprechend der Reaktivität beteiligter Alkali-/Erdalkalimetalle von der Betriebstemperatur des Anlagenbauteils beeinflusst.

Die Auswahl des Wärmedämmstoffs richtet sich nach dem Anwendungsbereich, den erreichten Temperaturen und den vorgesehenen Standzeiten. Für bestimmte Anwendungen können Isolierungen auch aus Schichten verschiedener Wärmedämmstoffe aufgebaut sein.

Montagepasten werden zur Abdichtung von unter Druck stehenden Passflächen und zur Reduzierung der Anzugswerte an Schraubverbindungen eingesetzt, um die hohen Anforderungen an die Dichtigkeit dieser Bauteilverbindungen zu erfüllen, die bei der Prozessierung heißer oder überkritischer Phasen gestellt werden. Die aus den Montagepasten gebildeten Chromate können aufgrund ihres Volumenbedarfes aus den Spalten der Passflächen herausquellen, auf der Anlagenoberfläche auskristallisieren und bei der Demontage freigesetzt werden.



Bildquelle: Eigenwerk.

Nebenstehende Abbildung zeigt exemplarisch einen Abschnitt einer Frischdampfleitung mit entfernter Wärmedämmung. Bei deren Entfernung werden immer Faserstäube freigesetzt. Sind die Fasern zusätzlich chromatbelastet, kann dies zu einer zusätzlichen Gefahrstoffexposition der Beschäftigten und der Umgebung führen. Oberflächenbelastungen auf den freigelegten Anlagenbauteilen und

verschleppte chromatbelastete Faserstäube können neben den Industrieisolierern auch weitere Beschäftigte des Kraftwerks oder anderer Fremdbetriebe wie die Mitarbeiter technischer Prüforganisationen belasten.

Im Vordergrund der laufenden messtechnischen Ermittlungen steht der praktische Arbeitnehmerschutz, nicht der chemische Entstehungsmechanismus der Chromate oder die genaue Zusammensetzung der Wärmedämmstoffe. Aufgrund der ohnehin zu ergreifenden Schutzmaßnahmen beim Umgang mit künstlichen, anorganischen Fasern steht für die Industrieisolierer, die in der Regel als Fremdbetriebe an Kraftwerksanlagen tätig werden, die Identität der Wärmedämmstoffe im Hintergrund.

Erste Erkenntnisse

Mit Arbeitsplatzmessungen nach TRGS 402 konnten bei der Entfernung von Wärmedämmungen Chromat-Belastungen in der Atemluft der Beschäftigten nachgewiesen werden, jedoch nicht in allen Fällen.

In einem Fall wurde der aktuell geltende risikobezogene Beurteilungsmaßstab für Chrom(VI) von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Schichtmittel bei Entfernung von alkali-/erdalkalihaltiger Mineralwolle überschritten. Durch stationäre Messungen wurde im ersteren Fall auch die Ausbreitung chromatbelasteter Stäube durch Luftströmungen aufgezeigt. Bei einer späteren Kontrollmessung lagen die Werte im gesamten Arbeitsbereich jedoch wieder unterhalb der

analytischen Bestimmungsgrenze^a. In einem anderen Fall lag während gleichartiger Arbeiten die Konzentrationen in der Atemluft der Beschäftigten bereits während der Arbeiten zur Entfernung der Wärmedämmung unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze, und bei den stationären Probenahmen in der unmittelbaren Baustellenumgebung wurden keine Chromate nachgewiesen. Materialproben von Wärmedämmungen an der Kontaktseite zum isolierten Bauteil und Wischproben unmittelbar freigelegter Anlagenbauteile wurden überwiegend positiv auf Chromate analysiert.^b

In Kohlekraftwerken kommt es im Betrieb gewöhnlicher Weise zu Ablagerungen von Kohleaschen, die fortlaufend durch die Reinigungsarbeiten der Betriebsmannschaften entfernt werden. Die in den Kraftwerken genommenen Wischproben von beliebigen Oberflächen wurden ebenfalls positiv auf Chromate analysiert. Jedoch enthalten Kohleaschen selbst Chrom, wobei hier für den Anlagenbetrieb nur der Gesamtgehalt an Chrom unabhängig seiner Oxidationsstufen bestimmt wird. In bestimmten Aschesorten konnte zusätzlich die Anwesenheit von Chromaten festgestellt werden. Im Fall der Kohlekraftwerke könnten daher Oberflächenbelastungen auch durch die abgelagerte Asche bedingt sein. Eine Zurückführung der vorgefundenen Chromat-Oberflächenbelastungen sind nach aktuellem Erkenntnisstand daher nicht zwingend auf das Ausbluten von Chrom als Chromate aus chromhaltigen Stählen zurückführbar. Da die kontrollierenden Luftmessungen im Nachgang zu den eigentlichen Arbeiten an den Wärmedämmstoffen in diesen Bereichen Chromat-Konzentrationen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze aufzeigten, wird derzeit nicht von einer relevanten inhalativen Gefährdung der Beschäftigten der Kraftwerke, welche in den betroffenen Arbeitsbereichen tätig sind, ausgegangen, insbesondere, weil sie sich nicht über die Dauer einer ganzen Schicht, sondern nur anlassbezogen kurzfristig dort aufhalten. In Materialproben von gelben Ablagerungen wurden neben Chromaten auch das Erdalkalimetall Calcium nachgewiesen, was den Vorhersagen der Reaktion zwischen chromhaltigen Stählen und alkali-/erdalkalimetallhaltigen Materialien entspricht. Dennoch handelt es sich bei gelben Ablagerungen nicht notwendigerweise um auskristallisierte Chromate. Stark gealtertes Fasermaterial der Dämmstoffe bildet ebenfalls schwer zu entfernende, gelbe Ablagerungen, die chromatbelastet sein können, aber nicht zwangsläufig müssen. Nebenstehende Abbildung zeigt eine solche Ablagerung aus Fasern.

^a Liegen Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze, bedeutet dies, dass der analysierte Stoff zwar qualitativ nachgewiesen wurde, jedoch in einer derart geringen Menge, dass eine Quantifizierung nicht möglich ist.

^b Material- und Wischproben wurden ausschließlich qualitativ auf Chromat analysiert.



Das Phänomen der Chromat-Bildung ist den Herstellern der Kraftwerksanlagen durchaus bekannt, jedoch nicht unbedingt bei allen Anlagenbetreibern. Abfragen von Arbeitsschutzbehörden anderer Bundesländer in der chemischen Industrie haben gezeigt, dass dort keine nennenswerten Kenntnisse über das hier dargestellte Phänomen existieren.

Die beprobten Industrieisoleriertrugen in allen Fällen aufgrund des Umgangs mit künstlichen Mineralfasern geeignete persönliche Schutzausrüstung inklusive partikelfiltrierenden Halbmasken der Klasse 3 (sogenannte FFP3-Masken), da die Entfernungsarbeiten nach den Vorgaben der TRGS 521 oder 558 durchgeführt wurden. Nach aktuellem Stand besteht kein Anlass, eine Verschärfung der Schutzmaßnahmen für die Industrieisoleriertruger oder seitens der Anlagenbetreibern zu fordern. Dennoch muss mit einer Chromat-Exposition gerechnet werden, was in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen ist. Die Ermittlungen dauern an.

Aktuelle Empfehlungen zu Schutzmaßnahmen

Unabhängig einer vollständigen Gefährdungsermittlung durch den Arbeitgeber und der daraus abzuleitenden Schutzmaßnahmen werden nachfolgende Hinweise gegeben, wenn mit einer Exposition gegenüber Chromaten zu rechnen ist. Beim Umgang mit künstlichen, anorganischen Fasern müssen aufgrund der auftretenden Faserstaubbelastungen immer weitreichende Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Diese haben mindestens die Anforderungen der allgemeinen Schutzmaßnahmen nach § 8 GefStoffV i. V. m. TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ zu erfüllen und müssen in Abhängigkeit von der Einstufung des Wärmedämmstoffes weitere, spezielle Anforderung des Technischen Regelwerks zur GefStoffV erfüllen (TRGS 521 und 558)

Substitution

Seitens der Arbeitgeber der Beschäftigten, welche die Arbeiten an den Wärmedämmungen und Anlagen ausführen, besteht keine Möglichkeit einer Substitution. Bereits verbaute Isoliermaterialien und Montagepasten, die durch aktuelle Arbeiten freigelegt werden, sind auch nicht durch die Anlagenbetreiber substituierbar. Diese haben auch nur einen geringen Einfluss auf die Wahl der zukünftig eingesetzten

Wärmedämmstoffe und Montagepasten, da sich deren Auswahl aus den technischen Anforderungen des Anlagenbetriebs ergibt. Auf den Chrom-Gehalt der Anlagenbauteile besteht aus technischen Gründen überhaupt kein Einfluss. Derzeit gibt es keinen Anlass, die Substitution der verwendeten Wärmedämmstoffe zu fordern. Einerseits gibt es möglicherweise anlagenspezifische Konstellationen, in denen sich Chromate unabhängig von Art und Zusammensetzung des präsenten Wärmedämmstoffs bilden. Bezogen auf die Bildung von Alkali-/Erdalkalimetall-Chromaten gibt es andererseits keine Erkenntnisse über ein nachweislich geeignetes, gleichwertiges Substitut. Bei einer Substitution ist immer nachzuweisen, dass vom Substitut in der Gesamtschau eine geringere Gefährdung ausgeht. Insbesondere bei der stofflichen Substitution sind alle Stoffeigenschaften des Substituts zu betrachten, nicht nur die, die für den Substitutionsanlass im Vordergrund stand. Insbesondere von Faserstäuben können aufgrund ihrer Struktur unabhängig der Chromat-Bildung besondere Gefahren für die Atemwege des Menschen ausgehen, weshalb hier von einer pauschalen Substitution abgeraten wird (siehe Nr. 2.3 TRGS 905 und Publikation Mattenklott, 2022).

Technisch-organisatorische Maßnahmen

- Anwendung staubarmer Arbeitstechniken
- Verwendung von Restfaserbindemittel
- Entfernung von sichtbare Ablagerungen und Reinigung der Baustellenbereiche mit geeigneten Industriesaugern der Staubklasse H, keine Reinigung durch Fegen oder Kehren
- Folieneinhausungen der Baustellenbereiche und Abdeckung von Gitterrostböden zur Unterbindung der Ausbreitung von Stäuben durch Herabrieseln oder Luftströmungen im Arbeitsbereich
- Einige Hersteller der Kraftwerkanlagen empfehlen die Behandlung der chromatbelasteten Oberflächen mit sauren Lösungen aus Zitronen- und Ascorbinsäure zur Reduktion der krebserzeugenden Chrom(VI)- zu Chrom(III)-Verbindungen, die jedoch immer noch als toxisch eingestuft sind. Zur nachweislichen Wirksamkeit dieses Vorgehens bestehen keine Erkenntnisse. Des Weiteren ist die Auswirkung einer unkontrollierten chemischen Oberflächenbehandlung auf die Materialeigenschaften von Bauteilen nach BetrSichV überwachungsbedürftiger Anlagen nicht untersucht. Es wird darauf hingewiesen, dass auch beim Umgang mit Säuren entsprechende Arbeitsschutzmaßnahmen zu treffen sind. Bei der Entsorgung chrom(III)-haltiger Waschlösungen sind die Anforderungen des KrWg und der AVV zu beachten.



- Ergebnisse von Schnelltests haben aufgrund der fehlenden analytischen Validierung keine Aussagekraft. Im Rahmen der Ermittlungen kam es bei der testweisen Anwendung eines kommerziell verfügbaren Schnelltests zu falsch-negativen Ergebnissen an nachweislich chromatbelasteten Oberflächen sowie zu falsch-positiven Ergebnissen durch eisenoxidbedingte Verfärbungen.

Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

- geeigneter Atemschutz, Halbmasken mit Partikelfilter der Klasse P3 oder entsprechende partikelfiltrierende Halbmasken (sogenannte FFP3-Masken)
- Schutzanzug Typ 5 (EN ISO 13982-1) mit Kapuze, der so zu tragen ist, dass er Haut und Kleidung der Beschäftigten vor den möglicherweise chromatbelasteten Stäuben ausreichend schützt
- geeignete Vollsichtbrille, die das Eindringen der möglicherweise chromatbelasteten Stäube zum Augenbereich wirksam verhindert
- geeignete Schutzhandschuhe nach TRGS 401
- Beim Ablegen der PSA ist der Atemschutz als letzter Schritt abzulegen, um beim Ablegen aufgewirbelte Stäube nicht einzuatmen. Anzug und Handschuhe sind nach einmaligem Gebrauch aufgrund der zu vermutenden Kontamination zu entsorgen. Die Schuhe sollten mit dem Industriesauger abgesaugt und nass nachgereinigt werden. Die Brille ist nass zu reinigen.



Aktivitäten der Arbeitsgruppe

Die Arbeitsgruppe wird sich mit folgenden Aufgaben auch 2023 und 2024 weiterhin mit der Thematik beschäftigen.

- Messtechnische Ermittlungen bezüglich der Belastung von Beschäftigten und Arbeitsbereichen
- Ermittlung der chemischen Identität der gebildeten Chromat-Verbindungen
- Ermittlung der anlagenspezifischen Bedingungen auf die Chromat-Bildung (Chromgehalt der betroffenen Bauteile, Zusammensetzung der Isoliermaterialien und Montagepasten, Prozesstemperaturen, Kontaktzeiten der Reaktionspartner)
- Erhebung des aktuellen Kenntnisstands der betroffenen Gewerke sowie deren derzeitigen Umgang mit möglicherweise chromatbelasteten Anlagenbauteilen und Isoliermaterialien
- Beschreibung des notwendigen Schutzniveaus

Kontakt

Regierungspräsidium Kassel
Fachzentrum Produktsicherheit und Gefahrstoffe
Hessische Ländermessstelle für Gefahrstoffe

E-Mail: gefahrstoffe@rpks.hessen.de



Quellen

- https://www.gda-portal.de/DE/Betriebe/Krebs-am-Arbeitsplatz/Krebs-am-Arbeitsplatz_node.html, abgerufen am 02.06.2023
- Technische Regel 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“, Stand: 15.02.2017
- Technische Regel für Gefahrstoffe 905 „Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe“, Stand: 01.09.2021
- Technische Regel für Gefahrstoffe 521 „Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle“, Stand: 25.03.2008
- Technische Regel für Gefahrstoffe 558 „Tätigkeiten mit Hochtemperaturwolle“, Stand: 04.08.2010
- Technische Regel für Gefahrstoffe 561 „Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen“, Stand: 14.06.2021
- Technische Regel für Gefahrstoffe 619 „Substitution für Produkte aus Aluminiumsilikatwolle“, Stand: 31.07.2013
- Technische Regel für Gefahrstoffe 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“, Stand: 05.05.2023
- GESTIS Stoffdatenbank Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung: Calciumchromat, Natriumchromat, Kaliumchromat; <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp>, zuletzt abgerufen am 02.06.2023
- Mattenklott, M: Bewertung von Expositionen anorganischer Fasern in Arbeitsbereichen. Gefahrstoffe; 2022 (82), Nr. 05-06
- Trebbels, R: Reduktion der Chromfreisetzung aus metallischen Interkonnektoren für Hochtemperaturbrennstoffzellen durch Schutzschichtsysteme. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment; 2009 (49)
- Sayano, A et al.: The formation of Cr(VI) compound at the interface between metal and heat-insulating material and the approach to prevent the formation by sol-gel process. Journal of the Ceramic Society of Japan; 2015, 123 (8): 677-684
- Verbinnen, B et al: Heating Temperature Dependence of Cr(III) Oxidation in the Presence of Alkali and Alkaline Earth Salts and Subsequent Cr(VI) Leaching Behavior. Environmental Science & Technology; 2013, 47 (11): 5858-5863
- Tatar, G et al.: XPS Characterization of Aluminosilicate Fibers Post Interaction with Chromium Oxyhydroxide at 100–230° C. Journal of The Electrochemical Society; 2018, 165 (10): C624
- <https://www.eneria.fr/en/hexavalent-chromium-or-chromium-6-cr-6-on-engines>, zuletzt abgerufen am 02.06.2023
- <https://www.energy-uk.org.uk/files/docs/EnergyUKHexavalentChromiumSummary.pdf> (Stand September 2019), zuletzt abgerufen am 02.06.2023
- <https://www.power-eng.com/webcast/hazard-free-anti-seize-paste-for-gas-steam-turbines-ensures-reliable-safe-maintenance>, zuletzt abgerufen am 23.06.2023