

Długosza, Oktober 2026

Die übersehene Zutat

Wie ein unscheinbares Metalloxid eine weltweite Zäsur in Arbeits- und Umweltschutz auslöst

Kurzfassung der Fachanalyse

Version 1.2 · Oktober 2026

Markus Sommer, Chromatsachverständiger, Die Chromatexperten · www.chromatexperten.de

Hochtemperaturdämmstoffe enthalten basische Oxide, vor allem Calcium- und Natriumoxid. Keines von beiden ist als krebserzeugend eingestuft, und keines kommt in einer Chrom(VI)-Betrachtung vor. Oberhalb von etwa 300 °C reagieren sie mit der Chromoxidschicht chromlegierter Heißeile zu Calcium- und Natriumchromat. Es entstehen krebserzeugende Verbindungen, die niemand hergestellt, bestellt oder eingebaut hat.

Asbest war nie einfach Asbest. Umgangssprachlich wurde nach Farben unterschieden, dahinter stehen Chrysotil, Amosit, Krokydolith und drei weitere Minerale. Für das Schutzregime machte das wenig Unterschied: Der Stoff wurde eingekauft, die Herkunft war bekannt, und alle Arten wurden gleich behandelt.

Bei „Chrom(VI)“ liegt es anders. Der Sammelbegriff erfasst die Gefahr zutreffend, denn die europäische Einstufung behandelt Chrom(VI)-Verbindungen als Gruppe. Er verdeckt aber die Ursache. Hinter jedem festen Befund steht ein Salz, und die Vorsilbe dieses Salzes nennt den Reaktionspartner: Bleichromat, Zinkchromat, Strontiumchromat, Natriumchromat, Calciumchromat. Wer Calciumchromat vorfindet, sieht die Herkunft der Chrom(VI)-Verbindung. Wird lediglich von „Chrom(VI)“ gesprochen, bleibt die Information über den Auslöseprozess ungenutzt, die Frage nach dem Ursprung wird nicht gestellt, und das Calcium bleibt die übersehene Zutat (Abschnitt 3).

Ein weiterer Unterschied zu Asbest liegt im Zeitpunkt der Gefährdung. Die Asbestfaser war bereits im Lieferzustand ein gefährliches Produkt. Die hier behandelten Chrom(VI)-Verbindungen (Chromate) entstehen in situ, also während der Verwendung. Eine solche Bildung wird häufig als Verunreinigung oder als unvermeidbare Folge des Betriebs dargestellt. Am Calciumchromat ist der Reaktionspartner jedoch benennbar. Er ist Bestandteil eines zweiten Produktes, der Wärmedämmung, die ausgewählt und eingebaut wurde. Ein calciumhaltiger Dämmstoff, eine calciumhaltige Dichtung oder eine calciumhaltige Montagepaste kann auf einem chromlegierten Heißeil zur Bildung von Calciumchromat führen. Ein Dämmstoff, eine Dichtung oder eine Montagepaste ohne Alkali- und Erdalkalimetalloxide kann diese Verbindungen in situ nicht bilden, weil der Reaktionspartner fehlt. Die Bildung ist damit eine Eigenschaft der Materialpaarung und keine unvermeidbare Folge des Betriebs. Die Gefährdungsbeurteilung hat diese Materialpaarung zu erfassen, und die Substitutionsprüfung nach § 7 Absatz 3 der deutschen Gefahrstoffverordnung und nach den Abschnitten 4.1 und 4.2 der deutschen TRGS 561 ist mit einem verfügbaren Ersatzstoff durchzuführen.

Diese Kurzfassung gibt den Inhalt der vollständigen Fachanalyse wieder und nennt zu jedem Punkt den Abschnitt, in dem er belegt ist. Sie ist der Einleser für das vollständige Dokument und ersetzt es nicht.

1. Der Bildungsweg

Die Reaktion benötigt vier Bedingungen, und alle vier sind in einer gedämmten Heiße Anlage im Normalbetrieb erfüllt. Erstens eine Chromquelle: in der Regel die passive Chromoxidschicht chromlegierten Stahls, also genau jene Schicht, die den Stahl korrosionsbeständig macht. Zweitens ein basisches Oxid als Reaktionspartner, überwiegend Calciumoxid, daneben Natrium-, Kalium- und Magnesiumoxid. Drittens Sauerstoff. Viertens erhöhte Temperatur. Natriumchromat bildet sich ab etwa 200 °C, Calciumchromat ab etwa 300 bis 350 °C (Abschnitte 9 und 12).

Der Reaktionspartner stammt nicht aus einem Zusatzstoff, den man weglassen könnte. Er stammt aus Calciumsilikat, Mineral- und Steinwolle, E-Glasgewebe, AES-Wollen, Feuerfestmassen, Montagepasten oder Verbrennungsrückständen. Basische Oxide sind konstitutive Bestandteile der Glasschmelze, aus der die meisten Hochtemperaturfasern gezogen werden. Sie gelangen über Altglas, Kalkstein und Dolomit zwangsläufig in die Rezeptur, und sie erfüllen dort eine technische Funktion: Sie senken die Schmelztemperatur und machen die Faser überhaupt ziehbar. Weniger basische Oxide bedeuten eine höhere Schmelztemperatur und damit eine andere Anlagentechnik. Das Thema ist deshalb weder an ein Produkt noch an einen Hersteller gebunden; es ist an eine Materialklasse gebunden. Fasern ohne nennenswerte basische Oxide gibt es gleichwohl seit Jahrzehnten (Abschnitt 13).

Entscheidend für das Verständnis des gesamten Vorgangs ist der Unterschied zwischen Lieferzustand und Gebrauchszustand. Im Lieferzustand ist kein Chromat vorhanden. Es entsteht im bestimmungsgemäßen Betrieb, an der Grenzfläche zwischen Dämmstoff und Heißeil, und es entsteht dort fortlaufend, solange die Bedingungen bestehen. Freigesetzt wird es nicht im Betrieb, sondern bei Wartung, Ausbau, Reinigung, Revision und Rückbau, und zwar als Staub. Der Staub verlässt den Arbeitsbereich an Werkzeug, Kleidung, Handschuhen und ausgebauten Bauteilen. Ein Sicherheitsdatenblatt, das den Lieferzustand beschreibt, ist deshalb formal richtig und für die Gefährdungsbeurteilung des Wartungsvorgangs ohne Aussagekraft.

Die Reaktion ist auch nicht einmalig. Sie ist zyklisch. Wird ein Bauteil gereinigt und die calciumhaltige Dämmung wieder aufgebracht, sind nach dem nächsten Hochfahren alle vier Bedingungen erneut erfüllt. Jeder Betriebszyklus erzeugt neues Chromat. Die 1.000- und 5.000-Stunden-Werte aus der Grenzflächenstudie beschreiben genau diese Akkumulation.

2. Die Beleglage

Der Bildungsweg ist nicht neu entdeckt, er ist seit 1939 patentförmig beschrieben. Udy röstete chromhaltiges Ferrochrom mit Kalk in Luft und beanspruchte in den Ansprüchen 22 bis 26 ausdrücklich Gemische aus Calciumchromit und Calciumchromat sowie Natriumchromat. Die Reaktion war dort kein unerwünschter Nebeneffekt, sondern das Verfahrensziel. Wer die chemische Grundlage bestreitet, bestreitet ein erteiltes Verfahrenspatent, dessen gesamter Zweck in dieser Reaktion besteht (Abschnitte 7 und 8).

Vier experimentelle Arbeiten bestätigen den Weg auf unterschiedlichen Ebenen und mit unterschiedlichen Methoden. Paoletti wies 2002 am Forschungszentrum Karlsruhe nach einer Stunde bei 850 °C in Luft CaCrO_4 röntgenographisch nach, in inerter Atmosphäre dagegen nur dreiwertiges $\text{Ca}(\text{CrO}_2)_2$. Damit ist Sauerstoff als notwendige Bedingung experimentell abgegrenzt. Verbinnen et al. erreichten 2013 mit NaOH nach 60 Minuten 83 Prozent Cr(VI)-Auslaugung bei 500 °C und 89 Prozent bei 700 °C. Mao et al. zeigten 2015 die unmittelbare Reaktion von Cr(III) mit CaO zwischen 500 und 900 °C (Abschnitt 10).

Die anwendungsnächste Arbeit stammt von Sayano et al. aus demselben Jahr. Untersucht wurde nicht eine Pulvermischung im Ofen, sondern der direkte Kontakt chromhaltiger Stähle mit handelsüblichen Dämmstoffen, also die Geometrie der realen Anlage. Auf calciumsilikatischer Dämmung identifizierte die Röntgenbeugung CaCrO_4 , auf natriumhaltiger Na_2CrO_4 . Nach 1.000 Stunden bei 873 K wurden 160 mg Cr(VI) je Quadratmeter Kontaktfläche gemessen, nach 5.000 Stunden 940 mg/m². Eine nur 3 bis 4 µm dicke Sperschicht aus Al_2O_3 unterband die Chromdiffusion und verhinderte die Bildung nahezu vollständig. Diese Sperschicht ist der sachliche Beweis dafür, dass der Mechanismus verstanden ist: Wer eine Reaktion gezielt unterbinden kann, kennt ihren Weg (Abschnitt 10).

Toshiba beschrieb denselben Vorgang bereits 2010 und 2011 in zwei Patentanmeldungen, einschließlich Reaktionsgleichung, und schlug eine keramische Trennschicht sowie eine Nickelfolie als Prävention vor. Die anwendungsbezogene Problemstellung war damit vor der Studie von 2015 öffentlich zugänglich, und zwar in der Form, in der Industrieunternehmen Wissen dokumentieren, wenn sie es für wirtschaftlich erheblich halten (Abschnitt 11).

Daneben besteht ein zweiter Weg. Flüchtige Chromspezies von einer heißen Quelle können sich auf kühleren Fasern niederschlagen. Dieser Gasphasentransport ersetzt die Grenzflächenreaktion nicht; beide können in derselben Anlage auftreten, und beide führen zu Chromat auf der Dämmung (Abschnitt 14).

3. Was die Industrie wusste und wie sie es formuliert hat

Die früheste Herstellerwarnung stammt nicht erst aus den letzten Jahren. Babcock & Wilcox gab im April 1990 das Plant Service Bulletin PSB-43 an Eigentümer und Betreiber von Kesseln heraus; die Fassung PSB-43A von März 1994 erweiterte es ausdrücklich auf „plastics, insulation, and textiles“. Dort steht, dass Chromverbindungen im Betrieb in sechswertiges Chrom übergehen können und dass der beim Ausbau entstehende Staub es transportiert. Die Erweiterung auf Dämmstoffe und Textilien liegt damit zweiunddreißig Jahre vor der ersten behördlichen Beschreibung in Deutschland (Abschnitt 16).

Jahr	Quelle	Inhalt
1939	US-Patent 2.176.687 (Udy)	Gezielte Erzeugung von Calcium- und Natriumchromat aus Chromquelle, Kalk oder Soda und Sauerstoff
1990/1994	Babcock & Wilcox PSB-43 und PSB-43A	Umwandlung im Betrieb, Staubtransport beim Ausbau, Erweiterung auf Dämmstoffe und Textilien
2002	Paoletti, Forschungszentrum Karlsruhe	CaCrO_4 aus Cr_2O_3 und CaO zwischen 500 und 850 °C, Sauerstoff als Voraussetzung
2010/2011	Toshiba, zwei Patentanmeldungen	Grenzfläche Edelstahl zu calciumhaltiger Dämmung, Präventionsansätze
2015	Sayano et al.	Direkter Nachweis von CaCrO_4 und Na_2CrO_4 an der Grenzfläche
2019	Herstellerkorrespondenz	Calcium aus dem Dämmstoff als Ursache benannt, alle Motortypen betroffen
2019	Energy UK, Branchenbulletin	Die drei Bildungsbedingungen zutreffend benannt, im selben Dokument WD-40 zum Aufnehmen der Rückstände empfohlen
2020 bis 2025	Service-Mitteilungen und technische Anweisungen	Befunde an Motoren, Fahrzeugen, Turbinen und Dämmungen, teils mit Nennung von Calciumchromat
2024	Dissertation Montana State University	Forschung auf Anfrage des europäischen Herstellerverbandes ECFIA, Teilfinanzierung durch dessen Industriepartner
2026	Die deutsche TRGS 561 und die BG ETEM	Alkali- und Erdalkalioxide aus Dämmstoffen und Montagepasten als Einflussfaktor

Der 1990 gezogene Schluss war naheliegend und blieb folgenlos: Das Produkt enthielt Chrom, also wurden chromhaltige Produkte abgewählt. Die Rezepturen selbst blieben unverändert. Das Sicherheitsdatenblatt für Ceraform 130 weist in der Fassung vom 23. Dezember 2020 weiterhin Chrom(III)-oxid mit bis zu 3 Prozent aus. Das gelbe Pulver trat weiter auf, und da das Chrom aus der Dämmung entfernt schien, blieb als Erklärung das Heißteil. Nicht erkannt wurde, um welche Verbindungen es sich handelte. Der basische Reaktionspartner wurde nie entfernt (Abschnitt 16).

Zwischen den Herstellergruppen besteht dabei ein auffälliger Unterschied in der Art der Dokumentation. Der Feuerfesthersteller HarbisonWalker benennt die Umwandlung in seinen Sicherheitsdatenblättern ausdrücklich: Chrom(III) könne sich im Gebrauch in Chrom(VI) umwandeln. Der Satz steht jedoch in Abschnitt 13, Entsorgung, also in jenem Teil des Datenblatts, den die amerikanische Vorschrift OSHA 29 CFR 1910.1200 Anhang D als nicht verbindlich ausweist. Dieselbe Information hat in Abschnitt 2, Gefahren, eine andere Rechtsfolge als in Abschnitt 13 (Abschnitt 29).

Bei den Faserherstellern fehlt eine solche Aussage ganz. In den Datenblättern der untersuchten AES- und Hochtemperaturwollen findet sich keine Calciumzeile, obwohl Calciumoxid in der Stoffdefinition hinter der CAS-Nummer 142844-00-6 enthalten ist und nach EIGA-Dokument 207 mit bis zu 18 Prozent zulässig ist. Wer das Datenblatt liest, erfährt nicht, dass er den Reaktionspartner in der Hand hält. Es stehen damit zwei Darstellungen nebeneinander: eine, die die Umwandlung kennt und sie in den unverbindlichen Teil schreibt, und eine, die den Reaktionspartner nicht ausweist (Abschnitt 29).

4. Die Mythen, einzeln und mit Gegenbeleg

Das Thema wird nicht in erster Linie bestritten, es wird falsch eingeordnet. In sieben Jahren Feldarbeit sind dieselben Annahmen immer wieder begründend vorgetragen worden. Jede einzelne ist überprüfbar, und jede einzelne hält der Prüfung nicht stand.

Annahme	Befund
„Wir setzen kein Chrom(VI) ein, also betrifft es uns nicht.“	Der Stoff wird nicht eingesetzt, sondern im eigenen Betrieb gebildet. Die Gefährdungsbeurteilung knüpft an das Auftreten an, nicht an den Einkauf.
„Chrom(VI) ist Chromsäure und Dichromat, nicht das hier.“	Calcium- und Natriumchromat sind Chrom(VI)-Verbindungen und als karzinogen eingestuft. Calciumchromat ist im Tierversuch das wirksamste der verglichenen Chromate.
„Der Dämmstoff ist chromfrei, also unbedenklich.“	Das Chrom stammt aus dem Stahl. Chromfrei heißt nur, dass die zweite Zutat fehlt; die erste liefert die Anlage selbst.
„Das Sicherheitsdatenblatt weist nichts aus.“	Das Datenblatt beschreibt den Lieferzustand. Die Verbindung entsteht erst im Gebrauch.
„Calciumoxid ist harmlos, es ist nicht einmal eingestuft.“	Richtig, und genau deshalb fällt es durch jedes Raster. Harmlos ist es als Stoff, nicht als Reaktionspartner.
„Asbestfrei ist sicher.“	Die Asbestsubstitution beseitigte die Faser, nicht das Materialsystem. Die basischen Oxide blieben in der Rezeptur.
„Es ist nichts Gelbes zu sehen.“	Die sichtbare gelbe Ablagerung ist der Extremfall, nicht die Nachweisschwelle. Expositionsrelevante Mengen sind unsichtbar.
„Der Schnelltest war negativ.“	In einer Feldstudie an Diesel- und Schiffsmotoren wies die Laboranalytik am Turbolader 869 ng Cr(VI) nach, während der kolorimetrische Schnelltest an derselben Stelle negativ ausfiel.
„Das Labor hat nichts gefunden.“	Ohne Angabe der Wiederfindung an derselben Matrix ist das keine Aussage über den Gehalt. In einem Ringversuch lag die Wiederfindung je nach Verfahren bei 0,2, 6,5 und 35,3 Prozent.
„Wir haben mit WD-40 abgewischt.“	Kriechöl reduziert Chrom(VI) nicht. Das Chromat geht in die apolare Phase über und wird der Messung entzogen; gemessene Wiederfindung 5,8 Prozent.
„Der Mechanismus ist nicht abschließend geklärt.“	Offen sind die quantitativen Randbedingungen, nicht das Vorhandensein der Reaktion. Offene Kinetik ist kein Grund, eine belegte Bildung unbeachtet zu lassen.
„Wir haben gereinigt, damit ist es erledigt.“	Reinigung wirkt für den einzelnen Vorgang. Bleibt die calciumhaltige Dämmung auf dem Heißeil, bildet sich das Chromat beim nächsten Hochfahren erneut.

5. Wie die Warnmeldungen formuliert sind

Dass Warnungen existieren, ist nicht der Punkt. Der Punkt ist ihre Bauform. Sie erscheinen überwiegend an Stellen und in Formulierungen, die den Empfänger nicht in die Lage versetzen, die eigene Anlage zu beurteilen.

Erstens die Platzierung. Die Umwandlungsaussage steht bei HarbisonWalker in Abschnitt 13 und nicht in Abschnitt 2. Nach OSHA-Anhang D sind die Abschnitte 12 bis 15 nicht verbindlich. Die Information ist vorhanden und sie ist zugleich dort, wo sie rechtlich am wenigsten wirkt.

Zweitens die Auslassung des Reaktionspartners. Die Datenblätter der Faserprodukte nennen die Oxidbestandteile nicht einzeln. Calciumoxid steckt in der Stoffdefinition hinter einer CAS-Nummer, die kein Anwender nachschlägt. Das Registrierungs-dossier der ECHA nennt für diese Stoffgruppe ausdrücklich Calcium-, Magnesium-, Natrium- und Kaliumoxid, aber dort sucht niemand, der eine Dämmmatte verbaut (Abschnitte 3 und 12).

Drittens die Verknüpfung mit sichtbaren Merkmalen. Schutzmaßnahmen werden in Serviceanweisungen an gelbe Ablagerungen und an positive Schnelltests gekoppelt. Beide Merkmale sind unzuverlässig, und beide verschieben die Maßnahme auf den Zeitpunkt, an dem die Belastung bereits hoch genug ist, um aufzufallen.

Viertens die Empfehlung einer unwirksamen Maßnahme im selben Dokument, das die Chemie richtig beschreibt. Das Branchenbulletin von Energy UK aus dem September 2019 benennt die drei Bildungsbedingungen zutreffend und empfiehlt wenige Seiten später, Chrom(VI)-Rückstände mit WD-40 zu binden und aufzunehmen. Ein unabhängiges Laborgutachten vom September 2026 widerlegt jede Reduktionswirkung: Bei vollständiger Extraktion zeigte sich keine Dosis-Wirkungs-Beziehung, die Wiederfindung lag bei 96,8 Prozent in Lösung, und der scheinbare Rückgang auf 5,8 Prozent am Feststoff erwies sich als Löslichkeitsartefakt. Die Empfehlung erzeugt also nicht weniger Chromat, sondern weniger Messergebnis (Abschnitt 26).

Fünftens die Herkunft der Forschung. Die Dissertation der Montana State University von 2024 entstand auf Anfrage des europäischen Herstellerverbandes ECFIA und wurde teilweise von dessen Industriepartnern finanziert. Das entwertet die Arbeit nicht. Es ordnet sie ein: Die Branche hat die Frage untersuchen lassen, also hat sie die Frage gekannt.

Sechstens der Zeitpunkt. Die erste behördliche Beschreibung in Deutschland steht in der deutschen TRGS 561 vom 4. Mai 2026. Die erste Herstellerwarnung datiert von April 1990. Zwischen beiden liegen sechsunddreißig Jahre, in denen gewartet, ausgebaut, gereinigt und wiederverwendet wurde.

6. Warum ein negatives Messergebnis nichts beweist

Die Bestimmung von Chrom(VI) ist eine Speziesanalytik. Gemessen wird nicht ein Element, sondern ein Oxidationszustand, und dieser kann sich während der Probenvorbereitung in beide Richtungen ändern. Das amerikanische Verfahren EPA 3060A benennt beide Fehlerrichtungen ausdrücklich und verlangt dotierte Proben mit einem Annahmehereich der Wiederfindung von 75 bis 125 Prozent. Diese Angabe ist Teil des Ergebnisses, nicht eine Zusatzinformation (Abschnitt 17).

Für thermische Dämmstoffe existiert keine genormte Methode. Das ist kein Formfehler, sondern die Kernschwierigkeit: Die Matrix ist selbst der Reaktionspartner. Sie ist calciumreich, basisch und im Gebrauchszustand mit Ruß, Öl und Korrosionsprodukten durchsetzt, also mit genau jenen Stoffen, die Chrom(VI) reduzieren. Übertragene Verfahren liefern deshalb Unterbefunde bis nahe null. Der Ringversuch zur niederländischen NEN 5617 zeigt die Größenordnung: In einer Matrix mit 16 Prozent Zink lag die Wiederfindung je nach Verfahren bei 0,2, bei 6,5 und bei 35,3 Prozent. Dasselbe Material, drei Verfahren, Ergebnisse, die sich um mehr als zwei Größenordnungen unterscheiden.

Ein Analysenergebnis ohne Angabe der Wiederfindung an derselben Matrix ist daher keine Aussage über den Gehalt. Dasselbe gilt verstärkt für Schnelltests. In einer französischen Feldstudie an Diesel- und Schiffsmotoren wies die Laboranalytik am Turbolader 869 ng Cr(VI) nach, während der kolorimetrische Schnelltest an derselben Stelle negativ ausfiel (Abschnitt 19).

Ein zweiter Weg führt zum selben Ergebnis. Wird eine Oberfläche vor der Probenahme mit einem Kriechöl behandelt, geht das Chromat in die apolare Phase über und wird der Messung entzogen. Für WD-40 wurde eine Wiederfindung von 5,8 Prozent gemessen. Wer so behandelt und anschließend messen lässt, erhält einen negativen Befund, der ausschließlich die Probenvorbereitung beschreibt (Abschnitt 17).

Daraus folgt die Beweislastlage. Ein positiver Befund belegt Belastung. Ein negativer Befund belegt nichts, solange die Wiederfindung an derselben Matrix nicht ausgewiesen ist. Das ist keine strenge Auslegung, sondern die Konsequenz der Methodik, und es ist der Grund, weshalb die deutsche TRGS 561 die Schutzmaßnahmen nicht an eine Messung bindet.

7. Die „Neutralisierung“ und die Frage der Beauftragung

In der Praxis wird zunehmend von Neutralisierung, Dekontamination oder Reduktion gesprochen, und solche Arbeiten werden regelmäßig an das vorhandene Wartungs- und Reinigungspersonal übertragen. Diese Zuweisung ist der schwächste Punkt der heutigen Praxis, und zwar aus drei Gründen zugleich.

Erstens ist der Begriff sachlich unbestimmt. Reduktion von Chrom(VI) zu Chrom(III) ist chemisch möglich, sie setzt aber ein geeignetes Reduktionsmittel, einen geeigneten pH-Bereich, ausreichende Kontaktzeit und einen Wirksamkeitsnachweis voraus. Keine dieser Bedingungen ist in den vorliegenden Anweisungen definiert. Was in der Praxis Neutralisierung heißt, ist überwiegend Abwischen, Absaugen oder Behandeln mit einem Mittel, dessen Wirkung nicht belegt ist. Im Fall des Kriechöls ist das Gegenteil belegt.

Zweitens ist der Erfolg vom Personal nicht überprüfbar. Ob eine Reduktion stattgefunden hat, lässt sich nur analytisch feststellen, und zwar mit demselben Matrixproblem wie oben. Ein Mitarbeiter, der eine Fläche behandelt hat, hat keine Möglichkeit festzustellen, ob er die Gefährdung beseitigt oder nur die Messbarkeit verändert hat. Eine Maßnahme, deren Wirksamkeit der Ausführende nicht beurteilen kann, erzeugt Sicherheitsgefühl ohne Sicherheit.

Drittens, und rechtlich entscheidend, ist die Rangfolge der Maßnahmen vorgeschrieben. Die deutsche Gefahrstoffverordnung bestimmt in § 7 Absatz 3, dass bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Stoffen „vorrangig eine Substitution durchzuführen“ ist. Absatz 4 ordnet die weiteren Maßnahmen in einer festen Reihenfolge: Gestaltung von Verfahren und Anlagen, technische Schutzmaßnahmen, organisatorische Maßnahmen, persönliche Schutzausrüstung zuletzt. Eine nachgelagerte Behandlung der entstandenen Verbindung ist in dieser Rangfolge keine Substitution und keine technische Schutzmaßnahme; sie ist Nachsorge.

Hinzu kommen zwei Pflichten, die in der Praxis regelmäßig übersehen werden. § 7 Absatz 7 verlangt, „die Funktion und die Wirksamkeit der technischen Schutzmaßnahmen regelmäßig, mindestens jedoch jedes dritte Jahr, zu überprüfen“. Absatz 9 verlangt, dort, wo keine Grenzwerte bestehen, die Wirksamkeit der Maßnahmen mit geeigneten Methoden zu überprüfen. Für die in situ entstandenen Chromate gibt es weder eine genormte Methode für die Matrix noch einen stoffspezifischen Grenzwert für die Verbindung. Wer eine Neutralisierung als Schutzmaßnahme führt, muss deren Wirksamkeit also nachweisen können, und genau das ist nach heutigem Stand der Analytik für diese Matrix nicht ohne erheblichen Aufwand möglich.

Dieselbe Lücke zeigt der Vergleich mit Asbest. Beide Stoffe sind krebserzeugend, und bei beiden entsteht die Gefährdung erst, wenn bei Wartung oder Ausbau Staub freigesetzt wird. Für Asbest verlangt die deutsche TRGS 519 die Anzeige der Arbeiten spätestens sieben Tage vor Beginn, eine verantwortliche Person mit Sachkunde, einen Aufsichtführenden und bei schwach gebundenen Produkten Abschottung mit Personen- und Materialscheunen. Für die in situ gebildeten Chromate existiert nichts davon. Sie werden nicht als Gefahrstoff wahrgenommen, sondern als Verschmutzung, und entsprechend mit Lappen, Sauger und Sprühmitteln durch das vorhandene Personal behandelt. Niemand würde eine asbesthaltige Platte eigenhändig besprühen und abwischen; bei einem chromatbelasteten Heißeil ist das die übliche Praxis (Abschnitt 25).

Beim Hautkontakt kehrt sich das Verhältnis sogar um. Die MAK- und BAT-Werte-Liste 2026 der Deutschen Forschungsgemeinschaft führt Chrom(VI)-Verbindungen mit der Hautresorptionsmarkierung „H“ und der Sensibilisierungsmarkierung „Sh“, dazu Kanzerogenitätskategorie 1; von den Ausnahmen für Barium-, Blei-, Strontium- und Zinkchromat sind Calcium- und Natriumchromat nicht erfasst. Ein Stoff, der hautresorptiv und zugleich krebserzeugend ist, fällt nach Tabelle 2 der deutschen TRGS 401 bei jeder Kontaktart in die hohe Gefährdung, ohne Schwelle für Dauer oder Fläche. Für Asbest existiert eine solche Hautbewertung nicht, weil die harmonisierte Einstufung dort keinen hautbezogenen Gefahrenhinweis enthält. Natriumchromat trägt deren drei (H312, H314, H317), und Calcium- wie Natriumchromat sind zusätzlich als sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung eingestuft (H400, H410), was für Asbest nicht gilt (Abschnitt 25).

Die Antwort auf die Ausgangsfrage ist deshalb nicht in erster Linie eine Frage der Qualifikation des Personals. Sie ist eine Frage der Maßnahme: Solange die Substitutionsprüfung nach § 7 Absatz 3 nicht durchgeführt ist und solange ein Wirksamkeitsnachweis nach Absatz 9 fehlt, ist die Beauftragung einer Neutralisierung keine Erfüllung der Pflichten, sondern deren Verschiebung auf den Ausführenden. Wo die Bildung durch Materialwechsel verhindert werden kann, ist das die rangrichtige Maßnahme. Wo sie nicht verhindert werden kann, ist die Arbeit als Tätigkeit mit einem krebserzeugenden Stoff zu organisieren, mit Expositionsminimierung, persönlicher Schutzausrüstung, staubarmem Arbeiten, getrennten Umkleide- und Waschbereichen und Dokumentation, und nicht als Reinigungsvorgang (Abschnitte 6, 18 und 26).

8. Regelwerk und Pflichten

Den Maßstab setzt Deutschland. Die deutsche TRGS 561 in der Fassung vom 4. Mai 2026 behandelt die Entstehung an chromlegierten Heißeilen ausdrücklich. Abschnitt 3.3.4 beschreibt die Thematik, Abschnitt 5.9.3 nennt Alkali- und Erdalkalimetalloxide aus Dämmstoffen oder Montagepasten als Einflussfaktor. Die Schutzmaßnahmen nach 4.1 und 4.2, darunter persönliche Schutzausrüstung, staubarmes Arbeiten und die Substitutionsprüfung, greifen bereits, wenn eine Chrom(VI)-Belastung nicht auszuschließen ist. Eine vorherige Messung wird nicht verlangt. Angesichts der Analytiklage ist das die einzig praktikable Konstruktion (Abschnitte 6 und 18).

Übergeordnet gilt die europäische Richtlinie 2004/37/EG mit einem verbindlichen Grenzwert von 0,005 mg/m³ seit dem 17. Januar 2025. Die Niederlande setzen 0,001 mg/m³ als Chrom, das Vereinigte Königreich 0,05 mg/m³ nach EH40, verlangt aber für krebserzeugende Stoffe nach den COSHH Regulations zugleich die Minimierung auf das vernünftigerweise praktikable Mindestmaß. Die Vereinigten Staaten setzen nach OSHA 29 CFR 1910.1026 einen PEL von 5 µg/m³ und einen Action Level von 2,5 µg/m³ und schreiben Schutzkleidung, Umkleide- und Waschbereiche sowie das Verbot des Abblasens mit Druckluft vor. Alle diese Werte beziehen sich auf den Chromgehalt und nicht auf die Verbindung. Für Australien entfällt ab dem 1. Dezember 2026 der Grenzwert zugunsten einer Minimierungspflicht (Abschnitt 18).

In den Vereinigten Staaten kommt das Beschaffungsrecht hinzu. Die Klausel DFARS 252.223-7008 untersagt seit 2011 die Lieferung von Gegenständen und Bauprodukten mit Chrom(VI) über 0,1 Gewichtsprozent in einem homogenen Material und ebenso die Lieferung von Gegenständen, bei denen Chrom(VI) in späteren Erhaltungsphasen entfernt oder neu aufgetragen werden müsste. Bezugsmasse sind nach der Begriffsbestimmung die einzelne Schicht und nicht das Bauteil, und die Ausnahme gilt nur für Nebenprodukte von Herstellungsprozessen. Die Weitergabepflicht erfasst auch Unteraufträge über Wartungs- und Reparaturleistungen (Abschnitt 18).

Für die Gefährdungsbeurteilung ist unerheblich, ob das Chromat gezielt verwendet wurde oder in situ entstanden ist. Maßgeblich ist zudem der weite Verwendungsbegriff der REACH-Verordnung, der Lagern, Bereithalten und Behandeln einschließt. Wird eine kontaminierte Dämmung oder ein kontaminiertes Bauteil ausgebaut, gelagert und wiederverwendet, kann dies eine zulassungspflichtige Verwendung sein. Genau an dieser Stelle berührt ein künftiges EU-weites Verwendungsverbot den gesamten heutigen Wartungsablauf. Der Beschränkungsvorschlag der ECHA vom April 2025 würde diesen Rahmen weiter verengen (Abschnitte 2 und 25).

9. Wo es auftritt

Betroffen sind Gas- und Dieselmotoren, Lokomotiv- und Schiffsmotoren, Gas- und Dampfturbinen, Biogasanlagen, Blockheizkraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplung, Notstromversorgung in Krankenhäusern und öffentlichen Gebäuden, Rechenzentren mit eigener Energieerzeugung, Fahrzeuge, Baumaschinen und Abgasnachbehandlung sowie Müllverbrennungsanlagen (Abschnitt 4). Die Meldungen der Berufsgenossenschaften, insbesondere BG BAU, BG ETEM und BG Verkehr, benennen diese Bereiche ausdrücklich.

Bei Fahrzeugen betrifft der Befund Wartung, Handhabung, Wiederverwendung von Bauteilen und die Kosten einer dauerhaften Abhilfe. Kaufrechtliche Mängelansprüche und sicherheitsrechtliche Herstellerpflichten eröffnen in der EU eigene Prüfwege (Abschnitt 20).

Grundlage sind neben Patenten, Studien und Herstellerunterlagen eigene Begehungen sowie Wisch- und Materialproben seit 2019 an Motoren, Kraftwerken, Verbrennungsanlagen, Schiffen, Fahrzeugen und Baumaschinen. Für keinen der genannten Bereiche lässt sich nach sieben Jahren Feldarbeit eine Nichtbelastung feststellen (Abschnitt 27).

10. Verbrennungsaschen: derselbe Vorgang ohne Substitutionsmöglichkeit

Bei Wärmedämmungen lässt sich die Bildung verhindern, indem ein Dämmstoff ohne Alkali- und Erdalkalimetalloxide verwendet wird. Bei Verbrennungsaschen geht das nicht. Der Reaktionspartner steckt im Brenngut selbst, und das Brenngut ist nicht wählbar. Calciumoxid liegt im Hausmüll mit rund 3 Prozent vor. Damit entfällt die rangerste Maßnahme, und es bleibt das Schutzregime für eine Tätigkeit mit einem krebserzeugenden Stoff.

Die Belege stammen aus der Abfallverbrennung selbst. Paoletti untersuchte 2002 am deutschen Forschungszentrum Karlsruhe das Verhalten oxyanionenbildender Schwermetalle in der Hausmüllverbrennung. Calciumchromat bildet sich zwischen 500 und 850 °C und wird oberhalb von 850 °C wieder zu dreiwertigem Chrom reduziert; Voraussetzung ist ein ausreichender Sauerstoffpartialdruck in der Brennkammer. Entsprechende Reaktionen erwartet die Arbeit auch mit Natrium, Kalium, Magnesium, Strontium und Barium. Vehlows, Paoletti, Seifert und Sirini stellten die Ergebnisse 2004 beim WTERT Fall Meeting an der Columbia University vor (Abschnitt 21).

Kritisch ist nicht der Volllastbetrieb, sondern das Abfahren zur Wartung. Aschereste bleiben auf dem Rost und auf chromlegierten Heißeilen liegen, die Temperatur durchläuft das Bildungsfenster von oben nach unten, und durch das Öffnen der Anlage tritt zusätzlicher Sauerstoff zu. Diese Aschen werden bei der nächsten Revision aufgewirbelt und freigesetzt. Weitere Arbeiten stützen den Zusammenhang: Hu et al. beschreiben 2013 und 2015 die Oxidation von Chrom bei der thermischen Nachbehandlung von Flugaschen und heben die Verfügbarkeit freien Calciumoxids hervor, Gong et al. messen 2017 nach thermischer Behandlung eine steigende Chromauslaugung, und eine japanische Arbeit von 2006 an Bodenaschen aus zwei Rostfeuerungsanlagen zeigt die Abhängigkeit von Temperatur und Sauerstoffkonzentration (Abschnitt 21).

Die Gegenprobe liefert ein Holzascheverfahren nach Brill, zitiert im Bericht des deutschen Umweltbundesamts von 2019: Dort wird der Sauerstoffkontakt gezielt erst unterhalb von 200 °C zugelassen, um die Bildung von Chrom(VI) zu verhindern. Wer eine Reaktion durch Steuerung der Abkühlatmosphäre unterbindet, kennt ihre Bedingungen (Abschnitt 21).

Auch die europäische Umweltliteratur benennt den Stoff. Das europäische BVT-Merkblatt Abfallverbrennung von 2019 führt Chrom(VI) hinsichtlich der Auslaugung aus Rostasche auf. Aus Großbritannien sind Cr(VI)-positive Ablagerungen in den Kesselzügen 2 bis 6 und die Exposition bei Wartung und Revision beschrieben. Was fehlt, sind direkte Vergleichsmessungen an Müllverbrennungsanlagen vor und nach dem Abfahren. Diese Lücke betrifft die Größenordnung, nicht den Mechanismus (Abschnitt 22).

In beiden Anwendungsbereichen wird die Chromatgefährdung nicht verstanden, oder sie wird nicht zur Kenntnis genommen. Darin gleichen sie sich. Die Ausgangslage ist dabei unterschiedlich, denn beim Dämmstoff ist die Ursache wählbar und bei der Asche nicht. Der Bildungsweg steht seit 1990 in einer Herstellerwarnung und seit 2002 in der Fachliteratur der Abfallverbrennung. Damit stellt sich die Frage, ob er übersehen wurde oder ob er nicht zur Kenntnis genommen werden sollte. Zu prüfen ist außerdem, ob die Gefährdungsbeurteilungen Revision, Kesselöffnung, Entfernung von Ablagerungen, Reinigung, Aschehandhabung und Verschleppung abdecken. Gesamtchrommessung, Auslaugungsprüfung und personenbezogene Staubmessung beantworten dabei unterschiedliche Fragen (Abschnitt 22).

11. Gesundheitliche Bedeutung

Wasserlösliche Chromate sind strukturell gleich mit Sulfat- und Phosphationen und gelangen über deren Transportwege in die Zelle. Dort wird Chrom(VI) über reaktive Zwischenstufen zu Chrom(III) reduziert, das DNA-Addukte und Quervernetzungen bildet. Die Reduktion erzeugt zusätzlich oxidativen Stress. Dass Chrom(VI) im Körper zu Chrom(III) wird, ist deshalb kein Entwarnungsargument, sondern der Wirkmechanismus (Abschnitt 24).

Die Internationale Agentur für Krebsforschung stuft Chrom(VI)-Verbindungen als krebserzeugend für den Menschen ein, Gruppe 1, mit gesicherter Wirkung auf die Lunge und beobachteten Zusammenhängen mit Krebs der Nase und der Nasennebenhöhlen. Die amerikanische Arbeitsschutzbehörde OSHA stützte ihren Grenzwert von 2006 vor allem auf zwei Kohorten aus der Chromatherstellung, Baltimore nach Gibb et al. 2000 mit 2.357 Männern von 1950 bis 1992 und Painesville nach Luippold et al. 2003 (Abschnitt 24).

Nicht jedes Chromat wirkt gleich. In einem Vergleichsversuch an der Rattenlunge verursachte Calciumchromat als Positivkontrolle bei 25 von 100 Tieren Lungentumoren, Zinkchromat dagegen bei 5 beziehungsweise 3 von 100. Calciumchromat, das Hauptprodukt der In-situ-Bildung, gehört damit zu den im Tierversuch wirksamsten Chromaten. Eine Bewertung, die nur „Chrom(VI)“ erfasst, verdeckt diesen Unterschied und verdeckt ihn in die ungünstige Richtung.

Hautkontakt ist eigenständig zu bewerten. Kontaminierte Bauteile, Dämmstoffe, Werkzeuge und Handschuhe bleiben eine Gefährdung, auch wenn die Luftmessung unauffällig ist. Calcium- und Natriumchromat sind zugleich als sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung eingestuft, was den Vorgang auch umweltrechtlich erfasst.

12. Rechtsfolgen bei Nichteinhaltung

Die deutsche Gefahrstoffverordnung bestimmt in § 22 Absatz 1, dass ordnungswidrig im Sinne des § 26 Absatz 1 Nummer 8 Buchstabe b des Chemikaliengesetzes handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig die Gefährdungsbeurteilung nicht dokumentiert (Nummer 1a), eine Tätigkeit entgegen § 7 Absatz 1 ohne vorherige Beurteilung und Schutzmaßnahmen aufnehmen lässt (Nummer 3) oder die Wirksamkeit der technischen Schutzmaßnahmen nicht oder nicht rechtzeitig überprüft (Nummer 5). Der Bußgeldrahmen beträgt nach § 26 Absatz 3 des Chemikaliengesetzes bis zu 50.000 Euro. § 22 Absatz 2 der Gefahrstoffverordnung führt weiter: Wer durch eine solche Handlung Leben oder Gesundheit eines anderen gefährdet, ist nach § 27 Absatz 2 bis 4 des Chemikaliengesetzes strafbar, mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren bei Vorsatz und bis zu zwei Jahren bei Fahrlässigkeit. Strafbar ist die Gefährdung, nicht erst der eingetretene Schaden (Abschnitt 29).

Hinzu kommt der Rückgriff: Nach § 110 des deutschen Siebten Buches Sozialgesetzbuch haften Personen, deren Haftung nach den §§ 104 bis 107 beschränkt ist, den Sozialversicherungsträgern für deren Aufwendungen, wenn sie den Versicherungsfall „vorsätzlich oder grob fahrlässig herbeigeführt“ haben. Auf der Umweltseite erfasst § 326 Absatz 1 des deutschen Strafgesetzbuchs den unerlaubten Umgang mit Abfällen, die „für den Menschen krebserzeugend, fortpflanzungsgefährdend oder erbgutverändernd sind“, mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren, bei Fahrlässigkeit bis zu drei Jahren (Abschnitt 29).

In den Niederlanden verlangt Artikel 4.17 des Arbeidsomstandighedenbesluit den vorrangigen Ersatz krebserzeugender Stoffe und Verfahren, soweit technisch durchführbar. Die Nichteinhaltung ist nach Artikel 33 der Arbeidsomstandighedenwet eine overtreding; die bestuurlijke boete beträgt nach Artikel 34 Absatz 3 höchstens den Betrag der fünften Kategorie nach Artikel 23 Absatz 4 des niederländischen Strafgesetzbuchs, seit dem 1. Januar 2026 110.000 Euro, bei Wiederholung erhöht um 100 oder 200 Prozent. Artikel 32 derselben Wet verbietet dem Arbeitgeber jedes Handeln oder Unterlassen entgegen dem Gesetz, wenn daraus, wie er weiß oder vernünftigerweise wissen muss, Lebensgefahr oder ernster Gesundheitsschaden entsteht oder zu erwarten ist. Über Artikel 1 Nummer 1 der Wet op de economische delicten ist das ein Wirtschaftsdelikt, bei Vorsatz ein misdrijf mit Freiheitsstrafe bis zu sechs Jahren (Abschnitt 29).

Im Vereinigten Königreich verlangt Regulation 7 der Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 die Verhinderung der Exposition, vorrangig durch Substitution, und bei Karzinogenen zusätzlich Einhausung, Reinigung, Kennzeichnung und sichere Entsorgung. Ein Verstoß ist eine Straftat nach Section 33(1) (c) des Health and Safety at Work etc. Act 1974; Schedule 3A sieht im Anklageverfahren Freiheitsstrafe bis zu zwei Jahren und eine Geldstrafe ohne gesetzliche Obergrenze vor. In den Vereinigten Staaten betragen die zivilen Geldbußen nach Section 17 des Occupational Safety and Health Act für Festsetzungen nach dem 15. Januar 2026 bis zu 16.550 US-Dollar je Verstoß, bis zu 16.550 US-Dollar je Tag bei Nichtbeseitigung und bis zu 165.514 US-Dollar bei willful oder repeated violations; Section 17(e) stellt den vorsätzlichen Standardverstoß mit Todesfolge zusätzlich unter Strafe (Abschnitt 29).

In allen vier Rechtsordnungen knüpft die Sanktion an die unterlassene Pflicht an und nicht an den eingetretenen Gesundheitsschaden. Da die Schutzmaßnahmen nach der deutschen TRGS 561 bereits greifen, wenn eine Belastung nicht auszuschließen ist, und da ein negatives Messergebnis ohne Wiederfindung nichts belegt, entscheidet die Dokumentation: Gefährdungsbeurteilung, Substitutionsprüfung und Wirksamkeitsnachweis. Eine fehlende oder unzutreffende Bewertung einer Chrom(VI)-Exposition ist damit keine Randfrage der Betriebsorganisation.

13. Was feststeht und was offen ist

Feststehend sind der Bildungsweg, die beteiligten Verbindungen, die Temperaturbereiche und der Wissensstand bei Herstellern und Betreibern. Unbekannt ist der Umfang des betroffenen Bestands, weil dieser nie unter dieser Fragestellung erfasst wurde.

Offen sind die quantitativen Randbedingungen: die genauen Temperaturschwellen im Einzelfall, der Einfluss des Chromgehalts der Legierung, der erforderliche Gehalt an Calcium- oder Natriumoxid, Kinetik, Feuchte und Zyklenzahl. Diese Fragen betreffen das Ausmaß der Reaktion, nicht ihr Vorhandensein. In Stellungnahmen wird der nicht abschließend geklärte Mechanismus gelegentlich angeführt, um weitere Konsequenzen zu vertagen. Diese Unterscheidung hält der Beleglage nicht stand: Die Gefährdungsbeurteilung setzt beim möglichen Auftreten an, nicht bei der vollständigen Kenntnis der Kinetik (Abschnitt 28).

14. Konsequenz

Wo die Bildung verhindert werden kann, ist sie zu verhindern. Das ist nicht eine Empfehlung, sondern die Rangfolge des § 7 Absatz 3 und 4 der deutschen Gefahrstoffverordnung. In der Hochtemperaturdämmung stehen Ersatzstoffe zur Verfügung, die den Bildungsweg ausschließen, weil sie keine Alkali- und Erdalkalimetalloxide enthalten. Die Substitutionsprüfung ist damit nicht ergebnislos durchführbar.

Wo sie nicht verhindert werden kann, wie in der Abfallverbrennung, bleibt die Anerkennung des Vorgangs und die entsprechende Ausrichtung von Arbeits- und Umweltschutz: Expositionsminimierung, staubarmes Arbeiten, getrennte Bereiche, Dokumentation.

Reinigung und Dekontamination wirken für den jeweiligen Vorgang. Sie beseitigen die stoffliche Ursache nicht: Bleibt die calciumhaltige Dämmung auf dem chromlegierten Heißteil, bildet sich das Chromat bei der nächsten thermischen Beanspruchung erneut (Abschnitt 26).

WD-40 reduziert Chrom(VI) nicht. Die Wirkung, die der Praxis zugeschrieben wird, beruht darauf, dass das Chromat in die Ölphase übergeht und bei der anschließenden Messung nicht mehr erfasst wird (Abschnitt 26).

Wo immer ein chromlegiertes Heißeil mit einem basischen Oxid in Kontakt kommt, ist mit der Bildung von Chromaten zu rechnen. Die Frage, ob man das nicht hätte sehen müssen, stellt sich für jeden der hier behandelten Bereiche, und sie stellt sich seit April 1990.

Versionsverlauf

Version	Datum	Änderung
1.0	Oktober 2026	Erstfassung
1.1	Oktober 2026	Abschnitte 6 und 10 um den Befund zu Ölfilmen und WD-40 ergänzt.
1.2	Oktober 2026	Vollständig neu gefasst und vertieft: Bildungsweg, Beleglage, Mythen, Formulierung der Warnmeldungen, Analytik und die Frage der Beauftragung mit einer Neutralisierung.