Długołęka, November 2026

Die übersehene Zutat

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

Kurzfassung der Fachanalyse, Ausgabe Österreich

Version 1.11 AT · November 2026

Markus Sommer, Chromatexperte, 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 Heißteile 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 Heißteil 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 Heißanlage 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 Heißteil, 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 $Ca(CrO_2)_2$. 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 Sperrschicht aus Al_2O_3 unterband die Chromdiffusion und verhinderte die Bildung nahezu vollständig. Diese Sperrschicht 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 16).

Bei den Faserherstellern fehlt eine solche Aussage ganz. In den Sicherheitsdatenblättern der untersuchten Hochtemperaturwollen findet sich keine Calciumzeile, obwohl Calciumoxid in der Stoffdefinition der Aluminiumsilikatwolle hinter der CAS-Nummer 142844-00-6 enthalten und dort nach EIGA-Dokument 207 mit bis zu 18 Prozent zulässig ist. Die Erdalkalisilikatwolle führen die Hersteller unter der CAS-Nummer 436083-99-7; ihre Stoffdefinition nennt Calciumoxid und Magnesiumoxid mit 18 bis 43 Prozent. 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 16).

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 als krebserzeugend eingestuft."	Harmonisiert eingestuft ist es als Skin Irrit. 2 (H315), Eye Dam. 1 (H318) und STOT SE 3 (H335), eine Krebskategorie trägt es nicht. Genau deshalb fällt es durch jedes Raster einer Chrom(VI)-Betrachtung, obwohl es dort der Reaktionspartner ist.
„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.

Annahme	Befund
„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 Heißteil, 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 Registrierungsdossier 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 Annahmebereich 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).

Dieselbe Feldstudie zeigt zugleich, dass die Luftmessung den dermalen Weg nicht abbildet. Beprobt wurden auch die Hände der Beschäftigten: vor dem Ausbau lag der Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze von 40 ng, nach dem Ausbau bei 45,4 ng, und die Autoren halten die Kontamination der Hände trotz getragener Einweg-Nitrilhandschuhe ausdrücklich fest. Getragen wurden außerdem Halbmasken FFP3 und eine Arbeitskombination Typ 5. Im selben Durchgang blieben die Luftwerte niedrig, und die Urinwerte der elf untersuchten Mechaniker lagen im Mittel bei 0,26 µg je Gramm Kreatinin und damit unterhalb des biologischen Referenzwerts von 0,54. Nicht der Handschuh ist dabei die schwache Stelle, sondern der Ärmelabschluss und der Moment des Ausziehens; in der Praxis werden die Übergänge zum Anzug und zum Schuhwerk deshalb abgeklebt (Abschnitt 31).

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. Die Bedingungen, die das Zertifikat der Prüfstelle nennt, tauchen in den Arbeitsanweisungen nicht auf, und ein Wirksamkeitsnachweis für die Dämmstoffmatrix fehlt in allen vorliegenden Unterlagen. 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.

Wie die Praxis aussieht, zeigen die vorliegenden Unterlagen. Die Arbeitsanweisung „Instructie voorkomen blootstelling aan Chroom(VI)" von Vattenfall Generation NL, erste Fassung 18. Februar 2019, zuletzt aktualisiert am 29. April 2024, beschreibt den Bildungsweg zutreffend und sieht zur Behandlung einen Umwandler-Spray und eine selbst angesetzte Ascorbinsäurelösung vor. Die Erfolgskontrolle hängt vollständig am kolorimetrischen Schnelltest: Fällt er negativ aus, sind nach dem Wortlaut keine weiteren Maßnahmen und keine Schutzausrüstung erforderlich, Werkzeug und benutzte Vollmasken gehen zurück ins Lager, und die benebelten Isoliermatratzen werden wieder eingesetzt. Damit kehrt der Reaktionspartner mit dem Material an das Heißteil zurück (Abschnitt 26).

Das Zertifikat, das die Prüfstelle SEEF B.V. im August 2025 zu einem solchen Mittel erstellt hat, ist in seiner Anlage korrekt, weil es nicht mehr behauptet, als geprüft wurde. Es bindet die Wirksamkeit an die Löslichkeit der Verbindungen in der Lösung, nennt die Alterung des Produkts, verlangt eine Einwirkzeit von mindestens 15 Minuten auf ausreichend abgekühltem Untergrund und die Wiederholung bei positivem Test, und es hält zur Kontrolle fest, ein negatives Swab-Ergebnis sei nicht belastbar; das Produkt sei ein Hilfsmittel innerhalb einer Sicherheitsstrategie und keine Lösung, die alle Risiken selbständig beseitigt. Auf der Pitch-Folie des Anbieters vom 6. November 2025 erscheinen davon vier Werbepunkte. Die Löslichkeitsbedingung, die Alterung, die Wiederholung bei positivem Test und der Satz zur Unzuverlässigkeit des negativen Ergebnisses fehlen dort (Abschnitt 26).

Drei Anbieter und eine deutsche Berufsgenossenschaft treffen zum Reaktionsprodukt dieselbe Aussage. Die Seite der deutschen BG BAU spricht von unkritischen Chrom(III)-verbindungen, die deutschsprachige Produktseite von Eco-Point von unbedenklichem Chrom-3, die Produktseite von MATinspired von non-toxic chromium-3. Dieselben Fragen und Antworten von MATinspired schließen die vollständige Entfernung ausdrücklich aus und verweisen zur Prüfung auf ein Testkit desselben Anbieters, das in der Anweisung von Vattenfall das Freigabekriterium ist. Die Auswahl der Schutzmaßnahmen überträgt der Hersteller dem Anwender (Abschnitte 26 und 27).

Die Betriebsanweisung derselben deutschen Berufsgenossenschaft nach § 14 der deutschen Gefahrstoffverordnung führt für dieselbe Tätigkeit ein vollständiges Schutzregime: Abgrenzung des Arbeitsbereichs, staubarme Verfahren, Absaugung, Entstauber der Staubklasse H, Frischluftzufuhr, Schwarz-Weiß-Anlage, durchgehender Atemschutz mit P3 oder FFP3, Einwegschutzanzug Typ 5 und das Verbot, ausgebaute Mineralwolleprodukte wiederzuverwenden. Auf der öffentlich zugänglichen Informationsseite derselben Berufsgenossenschaft steht von diesem Katalog kein Punkt, dort erscheint allein das chromatreduzierende Faserbindemittel mit der Aussage, es reduziere das Chromat zu unkritischen Chrom(III)-verbindungen und setze dadurch die Belastung herab (Abschnitt 26).

Wie eine belegte Reduktion organisiert ist, zeigt der Zement. Eintrag 47 des Anhangs XVII der REACH-Verordnung begrenzt löslichen Chrom(VI) in Zement auf 2 ppm der Trockenmasse. Erreicht wird das durch ein homogen eingemischtes Reduktionsmittel in acht- bis zwanzigfachem Überschuss, mit einer Reaktion, die erst mit dem Anmachwasser beginnt, und geprüft nach EN 196-10. Übertragen wird daraus das Aufsprühen einer Lösung auf eine ölhaltige Oberfläche im Maschinenraum, ohne Dosierkontrolle, ohne genormtes Prüfverfahren und mit einem Schnelltest als Abnahme (Abschnitt 26).

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 Materialschleusen. 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 Heißteil 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 Heißteilen 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).

Vor Arbeitsbeginn bestehen eigene Pflichten, und sie sind überwiegend stoffoffen gefasst. Die deutsche Gefahrstoffverordnung verlangt in § 6 Absatz 2a bis 2c die Prüfung, ob bei den Tätigkeiten Gefahrstoffe aus der Anlage freigesetzt werden können, die Hinzuziehung externen Sachverstands bei fehlender Fachkunde und, falls eine technische Erkundung erforderlich ist, deren Durchführung als Voraussetzung der Tätigkeit. § 7 Absatz 1 untersagt die Aufnahme der Tätigkeit vor der Gefährdungsbeurteilung und den Schutzmaßnahmen, § 6 Absatz 8 Satz 1 verlangt die Dokumentation vor Aufnahme der Tätigkeit. Die Baujahrsangabe nach § 5a Absatz 2 ist asbestbezogen und für in situ gebildete Chromate ohne Aussagekraft, weil die Verbindung erst im Betrieb entsteht (Abschnitt 25).

In den Niederlanden verlangt Artikel 4.2 des Arbeidsomstandighedenbesluit die Beurteilung von Art, Ausmaß und Dauer der Exposition, auch wenn solche Tätigkeiten gegenwärtig nicht ausgeführt werden; das ausdrückliche Verbot, vorher zu beginnen, steht asbestbezogen in Artikel 4.54a. Im Vereinigten Königreich steht es stoffoffen in Regulation 6(1) der COSHH Regulations 2002, wonach ein Arbeitgeber Arbeiten, die Beschäftigte einem gesundheitsgefährlichen Stoff aussetzen können, ohne vorherige geeignete und hinreichende Beurteilung nicht ausführen darf. In den Vereinigten Staaten verpflichtet 29 CFR 1926.1126(d) jeden erfassten Arbeitgeber zur Bestimmung der Achtstunden-Schichtmittelwerte für jeden exponierten Beschäftigten; die Vermutungsregel für Wärmedämmungen mit Baujahr bis 1980 steht dort im Asbeststandard. Die deutsche TRGS 561 knüpft das Schutzregime in Abschnitt 5.9.3 Absatz 5 an Tätigkeiten, bei denen eine Chrom(VI)-Belastung vorliegt oder nicht auszuschließen ist. Die Pflicht entsteht damit vor dem Befund (Abschnitt 25).

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 0,01 mg/m³ nach EH40 in der vierten Ausgabe 2020, 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).

Dass in dieser Darstellung häufig deutsches Regelwerk zitiert wird, hat zwei Gründe. Die Arbeit erfolgt von Deutschland aus, und die deutsche TRGS 561 beschreibt den Anwendungsfall ausdrücklich. Strengere Maßstäbe als das europäische Recht setzt sie damit nicht; sie formuliert den Ansatz der Richtlinie 2004/37/EG für diesen Fall aus. Die Richtlinie verlangt seit über zwanzig Jahren, Art, Ausmaß und Dauer der Exposition zu ermitteln und dabei die weiteren Expositionswege einschließlich der Aufnahme über die Haut zu berücksichtigen, und sie gilt in allen Mitgliedstaaten. Bei Chrom(VI)-Verbindungen liegen vier Beurteilungsebenen nebeneinander, inhalativ, dermal, oral und umweltseitig; Asbest trägt weder einen hautbezogenen Gefahrenhinweis noch eine Gewässergefährdung (Abschnitt 31).

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. Die Pflichtenlage in Österreich

Österreich setzt die Richtlinie 2004/37/EG im ArbeitnehmerInnenschutzgesetz und in der Grenzwerteverordnung 2025 um; der hier behandelte Fall ist auch dort nicht eigens benannt. Das Gesetz erfasst ihn trotzdem. § 2 Absatz 6 ASchG zählt zum Verwenden eines Arbeitsstoffs ausdrücklich das Anfallen und das Entstehen, ebenso das Lagern und das innerbetriebliche Befördern. Nach § 40 Absatz 1 gelten die Gefahrenklassen der CLP-Verordnung auch für Arbeitsstoffe, die nicht danach eingestuft sind, und die Vertrauensregel des § 41 Absatz 4 gilt nur für erworbene Arbeitsstoffe. Ein Chromat, das an der Grenzfläche zwischen Dämmstoff und Heißteil entsteht, unterliegt damit den Pflichten für krebserzeugende Arbeitsstoffe (Abschnitt 33).

Die Rangfolge entspricht der deutschen. § 42 Absatz 1 und 2 verbietet krebserzeugende Arbeitsstoffe und besonders gefährliche Verfahren, wenn ein gleichwertiges Arbeitsergebnis auf weniger gefährlichem Weg erreicht werden kann; auf Verlangen des Arbeitsinspektorats ist schriftlich zu begründen, warum ein Ersatz nicht möglich ist. § 43 Absatz 2 legt die Rangordnung der Maßnahmen fest, Absatz 3 nennt Wartungs- und Reinigungsarbeiten ausdrücklich. Die Absicht der Verwendung ist dem Arbeitsinspektorat vor Beginn zu melden. Die exponierten Arbeitnehmer stehen in einem Verzeichnis, das der Träger der Unfallversicherung mindestens 40 Jahre aufbewahrt, und vor Aufnahme der Tätigkeit ist eine Eignungsuntersuchung nach der VGÜ vorgeschrieben (Abschnitt 33).

Der TRK-Wert der GKV beträgt 0,01 mg/m³ in der einatembaren Fraktion, als CrO3 berechnet, rechnerisch rund 0,0052 mg/m³ als Chrom. Er ist nach § 45 Absatz 4 ASchG stets möglichst weit zu unterschreiten. Anhang I kennzeichnet Chrom(VI)-Verbindungen mit Sh für die Gefahr der Sensibilisierung der Haut, und § 9 Absatz 4 Ziffer 1 GKV berücksichtigt ausdrücklich allergische Reaktionen auch bei Einhaltung von MAK- oder TRK-Werten. Eine ausschließlich auf Luftmessungen gestützte Entwarnung ist bei möglichem Hautkontakt damit nicht ausreichend begründet. Die dermale Exposition ist nach § 41 eigenständig zu ermitteln, und die Pflicht zur Kontaktvermeidung nach § 43 Absatz 2 Ziffer 4 besteht unabhängig vom Luftgrenzwert (Abschnitt 33).

Abfälle mit Chromat sind nach der Abfallverzeichnisverordnung 2020 gefährlich, sobald HP 7 zutrifft; für belastete Mineralwolle ohne gefahrenrelevante Fasereigenschaften sieht Anhang 1 die Schlüsselnummer 31416 77 vor. Eine Veröffentlichung der AUVA oder der Arbeitsinspektion, welche die Chromatbildung an gedämmten Heißteilen benennt, habe ich nicht gefunden. Die AUVA zählt Chrom(VI)-Verbindungen zu den Stoffen, die erst beim Arbeitsprozess entstehen, und hält fest, dass unter Verwendung stets auch das Entstehen zu verstehen ist. Wer auf den fehlenden Stoffeintrag verweist, verweist auf das Fehlen einer Benennung (Abschnitt 33).

10. 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 28).

Zur Größenordnung enthält die Fachanalyse eine Hochrechnung der Anlässe, nicht der Befunde. Sie stützt sich auf öffentliche Herstellerangaben, Flottenstatistiken und Anlagenregister: 190.000 Motoren der Baureihe 3500 von Caterpillar im Feld, über 100.000 verkaufte Motoren der mtu-Baureihen 2000 und 4000, eine aktive installierte Basis von 44 GW bei INNIO, über 7.000 Gasturbinen bei GE Vernova mit einem angegebenen Anteil von etwa der Hälfte der weltweiten Basis, rund 7.300 Kohlekraftwerksblöcke, rund 109.000 Schiffe ab 100 Bruttoregistertonnen, 6,16 Millionen Lkw über 3,5 Tonnen in der Europäischen Union und 2.539 Müllverbrennungsanlagen in Europa, den Vereinigten Staaten, China und Japan (Abschnitt 32).

Mit angesetzten Wartungs- und Revisionsintervallen ergeben sich daraus etwa 58.000 bis 61.000 Ereignisse im Jahr allein in den vier industriellen Segmenten, dazu rund 6,9 Millionen Werkstattaufenthalte bei Nutzfahrzeugen und rund 90 Millionen Pkw-Reparaturen in der Europäischen Union, deren einschlägiger Anteil nicht beziffert ist. Zur Beurteilung steht damit kein vereinzelter Vorgang. Die Freisetzung findet täglich statt, in Motorräumen, an Fahrzeugen, auf Turbinen, in Kraftwerken und in Verbrennungsanlagen, in einer Zahl, die sich nicht beziffern lässt, und überwiegend unbeachtet (Abschnitt 32).

11. 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. Vehlow, 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 Heißteilen 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).

12. Gesundheitliche Bedeutung

Wasserlösliche Chromate sind strukturgleich 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.

13. Chrom(III): der angenommene Endzustand

Alle genannten Behandlungsverfahren beruhen auf derselben Annahme: mit der Umwandlung von Chrom(VI) in Chrom(III) sei der gefährliche Teil des Vorgangs beendet. Die Technische Anweisung eines Motorenherstellers vom 31. Mai 2023 führt sie vollständig aus. Chrom-3 komme in vielen Nahrungsmitteln vor, die täglichen Aufnahmemengen in Europa lägen in einem Bereich ohne zu erwartendes Gesundheitsrisiko, ob Chrom-3 für den Menschen überhaupt ein essenzielles Spurenelement sei, sei nicht abschließend geklärt, und da die mögliche Konzentration nach Anwendung der Reduktionslösung weit unterhalb der geltenden Grenzwerte liege, sei eine Gesundheitsgefahr durch Chrom-3 auszuschließen. Hervorgehoben folgt der Satz, Chrom-3 sei im Unterschied zu Chrom-6 nicht krebserzeugend. Die Essenzialitätsfrage ist beantwortet: die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit fand 2014 keinen Beleg für eine Essenzialität von Chrom(III) (Abschnitt 27).

Die Umwandlung ist keine Einschrittreaktion zu einem definierten Endstoff. Die MAK-Begründung zu den Chrom(VI)-Verbindungen beschreibt die Reduktion als Verlauf über Chrom(V) und Chrom(IV) zu Chrom(III), wobei radikalische Sauerstoff- und Schwefelverbindungen entstehen. Welche Zwischenstufe auftritt, hängt vom Reduktionsmittel ab. Auf einer Anlagenoberfläche kommt hinzu, was dort liegt: Öle, Fette, Dämmstoffreste und Montagepasten. Chrom(III) bildet mit organischen Säuren und deren Oxidationsprodukten lösliche Komplexe. Chrom(III)-oxid, das in den Produktaussagen gemeint ist, entsteht thermisch und nicht durch Aufsprühen und Abwischen (Abschnitt 27).

Welche Chrom(III)-Verbindungen nach einer Behandlung tatsächlich vorliegen, wird in keinem der vorliegenden Dokumente angegeben. Der kolorimetrische Schnelltest zeigt Chrom(VI) an oder nicht, die Laborverfahren bestimmen Chrom(VI) oder Gesamtchrom. Eine Speziesanalytik der entstandenen Chrom(III)-Verbindungen ist in keinem Verfahren vorgesehen und wird in keinem der Dokumente verlangt (Abschnitt 27).

Das ist erheblich, weil die Einstufung an dieser Unterscheidung hängt. Die MAK- und BAT-Werte-Liste 2026 führt die Chrom(III)-Verbindungen mit der Sensibilisierungsmarkierung Sh und dem Zusatz, dies gelte nicht für Chrom(III)-oxid und vergleichbar schwerlösliche Chrom(III)-Verbindungen. Die Markierung trifft damit die löslichen Verbindungen, also jene Stoffgruppe, die eine Nassbehandlung erzeugt. Für Chrom(III)-oxid gilt in Deutschland ein Arbeitsplatzgrenzwert von 2 mg/m³ in der einatembaren Fraktion; eine harmonisierte Einstufung nach der europäischen CLP-Verordnung liegt für diesen Stoff nicht vor. Die französische Agentur Anses hält in ihrer Stellungnahme vom 28. Juli 2021 für Chrom(III)-oxid eine Einstufung als Hautsensibilisator der Kategorie 1 für angezeigt, sieht dies auch für andere Chrom(III)-Verbindungen als relevant, empfiehlt die Prüfung einer Einstufung als STOT RE 2 für den Inhalationsweg sowie die harmonisierte Einstufung als Aquatic Acute 1 und Aquatic Chronic 1; die Kriterien für Keimzellmutagenität sieht sie nach Gesamtbewertung als nicht erfüllt an (Abschnitt 27).

Dass Chrom(III) kein Endzustand ist, ist in einem anderen Anwendungsfall dokumentiert. Dieselbe MAK-Begründung hält zur Chromgerbung fest, die Gerbung erfolge zwar mit Chrom(III)-Verbindungen, aus diesen könnten bei ungeeigneten Verarbeitungs- oder Lagerungsmethoden geringe Mengen Chrom(VI)-Verbindungen entstehen, und werde das Chrom(III) in situ durch Reduktion von Chrom(VI)-Verbindungen gebildet, könne bei unvollständiger Reduktion ebenfalls lösliches Chrom(VI) im Leder verbleiben. Beide Aussagen betreffen den hier behandelten Vorgang (Abschnitt 27).

Hinzu kommt die Rückkehr an das Heißteil. Im Legierungsverbund ist Chrom gebunden. Nach einer Reduktion liegen Chrom(III)-Verbindungen fein verteilt und ungebunden auf der Oberfläche und im anhaftenden Material vor, also in dem Zustand, der in der Chromatherstellung den Ausgangsstoff bildet. Wird das behandelte Material wieder eingebaut und die Anlage hochgefahren, sind alle Bildungsbedingungen erneut erfüllt. Da die vollständige Umsetzung nicht zugesichert ist und das Freigabeverfahren im negativen Ergebnis nicht belastbar ist, ist die anfallende Flüssigkeit als Gefahrstoffabfall zu behandeln und abflussfrei zu arbeiten (Abschnitt 27).

Die geringere Toxizität der Chrom(III)-Verbindungen gegenüber den Chrom(VI)-Verbindungen steht außer Frage; sie tragen weder eine Kategorie für Krebserzeugung noch für Keimzellmutagenität. Die Aussagen, das Reaktionsprodukt sei unkritisch, unbedenklich oder non-toxic, gehen darüber hinaus. Sie treffen eine Aussage über Stoffe, die nicht bestimmt werden, und sie setzen eine Vollständigkeit der Umwandlung voraus, die kein Anbieter zusichert (Abschnitt 27).

14. 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 30).

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 30).

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 30).

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 30).

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.

15. 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 29).

16. Die Pflichtenlage in Deutschland

Abschnitt 31 nennt die Gründe, aus denen in dieser Analyse überwiegend deutsches Regelwerk zitiert wird. Dieser Abschnitt stellt die geltenden deutschen Vorschriften an einer Stelle zusammen und gibt zu jeder Aussage die Fundstelle an. Er wiederholt dabei Punkte, die an anderer Stelle im Zusammenhang stehen, damit ein Betrieb in Deutschland die Pflichtenlage nicht aus der gesamten Analyse zusammensuchen muss.

Der Gefahrstoffbegriff erfasst auch, was erst entsteht

Die deutsche Gefahrstoffverordnung knüpft nicht an den Einkauf an. § 2 Absatz 1 Nummer 3 zählt zu den Gefahrstoffen „Stoffe, Gemische und Erzeugnisse, aus denen bei der Herstellung oder Verwendung Stoffe nach Nummer 1 oder Nummer 2 entstehen oder freigesetzt werden“. Nummer 4 erfasst ergänzend Stoffe und Gemische, die wegen ihrer Eigenschaften und der Art und Weise, wie sie am Arbeitsplatz vorhanden sind oder verwendet werden, die Gesundheit und die Sicherheit der Beschäftigten gefährden können. Ein Chromat, das an der Grenzfläche zwischen Dämmung und Heißteil entsteht, ist damit erfasst, obwohl es niemand gekauft und niemand herstellen wollte.

Substitution und Rangfolge der Maßnahmen

§ 7 Absatz 3 verlangt, auf der Grundlage des Ergebnisses der Substitutionsprüfung „vorrangig eine Substitution durchzuführen“, und zwar durch Stoffe, Gemische, Erzeugnisse oder Verfahren, die unter den jeweiligen Verwendungsbedingungen nicht oder weniger gefährlich sind. § 7 Absatz 4 ordnet die weiteren Stufen: Gestaltung der Verfahren und emissionsarme Verwendungsformen nach dem Stand der Technik, danach kollektive technische Maßnahmen an der Gefahrenquelle und organisatorische Maßnahmen, und erst danach individuelle Maßnahmen einschließlich persönlicher Schutzausrüstung. § 7 Absatz 5 Satz 2 bestimmt, dass die Verwendung belastender persönlicher Schutzausrüstung keine Dauermaßnahme sein darf.

Der Wert von 1 µg/m³ und was er nicht leistet

Für Chrom(VI)-Verbindungen besteht in Deutschland kein Arbeitsplatzgrenzwert. Die TRGS 910 führt in Tabelle 1 eine Toleranzkonzentration von 1 µg/m³ für die einatembare Fraktion mit dem Überschreitungsfaktor 8 und der Bemerkung „siehe TRGS 561"; eine Akzeptanzkonzentration ist für diesen Eintrag nicht festgelegt. Die Konzentration bezieht sich auf den Elementgehalt des Metalls und ist als Schichtmittelwert über acht Stunden definiert.

Expositionsverzeichnis

Seit der Änderung vom 2. Dezember 2024 steht das Expositionsverzeichnis in einer eigenen Vorschrift. § 10a Absatz 1 Satz 1 verlangt ein Verzeichnis über die Beschäftigten, die Tätigkeiten mit krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B ausüben, „bei denen die Gefährdungsbeurteilung eine Gefährdung ihrer Gesundheit ergibt", mit Angabe der Tätigkeit sowie der Höhe und der Dauer der Exposition. Nach Absatz 2 ist es bei krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen 40 Jahre nach Ende der Exposition aufzubewahren; bei Beendigung des Beschäftigungsverhältnisses erhält der Beschäftigte einen Auszug. Nach Absatz 3 kann der Arbeitgeber diese Pflichten erfüllen, indem er die Daten an den zuständigen Unfallversicherungsträger oder dessen Verband übermittelt.

Aufsicht und Sanktionen

Die Überwachung ist staatliche Aufgabe. § 21 Absatz 1 des deutschen Arbeitsschutzgesetzes weist sie den zuständigen Behörden der Länder zu; seit dem Kalenderjahr 2026 sind nach § 21 Absatz 1a jährlich mindestens 5 Prozent der im Land vorhandenen Betriebe zu besichtigen, und von dieser Mindestbesichtigungsquote kann durch Landesrecht nicht abgewichen werden. § 22 Absatz 2 gibt die Befugnis, Arbeitsverfahren zu untersuchen und Messungen vorzunehmen, § 22 Absatz 3 die Anordnungsbefugnis und, bei Nichtausführung, die Untersagung der betroffenen Arbeit.

Der Abstand zum Asbestregime

Für Asbest besteht in Deutschland ein eigenes Verfahren. Die deutsche TRGS 519 verlangt in Abschnitt 2.7 den Nachweis der Sachkunde durch die erfolgreiche Teilnahme an einem behördlich anerkannten Lehrgang mit Prüfung; der Nachweis gilt sechs Jahre. Die Gefahrstoffverordnung verlangt in § 11a Absatz 3 eine behördliche Zulassung für Tätigkeiten im Bereich hohen Risikos, seit dem 20. Dezember 2025 in § 11a Absatz 4a eine Genehmigung für Abbrucharbeiten im Bereich niedrigen und mittleren Risikos, und in § 11a Absatz 4 die Anzeige spätestens eine Woche vor Beginn der Tätigkeiten. Abschnitt 14.5 der TRGS 519 lässt die Aufhebung der Schutzmaßnahmen erst zu, wenn eine visuelle Kontrolle keine sichtbare Restverschmutzung zeigt und eine Messung eine Faserkonzentration unter 500 Fasern je Kubikmeter ergibt.

Was das deutsche Regelwerk benennt

Deutschland ist unter den hier betrachteten Rechtsordnungen die einzige, in der der Anwendungsfall im untergesetzlichen Regelwerk einen eigenen Abschnitt hat. Die TRGS 561 beschreibt in Abschnitt 5.9.3, dass sich an thermisch beanspruchten chromlegierten Industriekomponenten Chrom(VI)-Verbindungen bilden können, dass sich diese in Dämmstoffen oder Montagepasten ablagern können und dass bei Demontage- und Instandhaltungsarbeiten eine Exposition folgen kann. Als Einflussfaktoren nennt sie Stahltemperatur, Chromanteil der Legierung, Reaktionszeit, die Gegenwart von Alkali- und Erdalkalimetalloxiden aus Dämmstoffen oder Montagepasten sowie Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit nahe der Oberfläche. Zum Mechanismus hält sie fest, dass er gegenwärtig noch nicht geklärt ist.

Was daraus für einen Betrieb in Deutschland folgt

Aus den genannten Vorschriften ergibt sich ein prüffähiger Satz von Unterlagen. Dazu gehören die dokumentierte und fachkundig erstellte Gefährdungsbeurteilung für die Materialpaarung aus chromlegiertem Heißteil und basisch belegtem Dämmstoff sowie die durchgeführte und begründete Substitutionsprüfung nach § 7 Absatz 3. Dazu gehören die Information des Veranlassers nach § 5a und die technische Erkundung nach § 6 Absatz 2c. Dazu gehören die Betriebsanweisung und die jährliche Unterweisung nach § 14. Dazu gehören die Eintragung in das Expositionsverzeichnis oder ihre Begründung nach § 10a in Verbindung mit der TRGS 410, die Veranlassung der Pflichtvorsorge und die Einstufung des Abfalls nach dem Gehalt.

17. Die Pflichtenlage in der Europäischen Union

Die nationalen Regelwerke der Mitgliedstaaten setzen Unionsrecht um. Dieser Abschnitt stellt zusammen, was das Unionsrecht selbst verlangt, und trennt dabei das Arbeitsschutzrecht vom Stoffrecht und vom Abfallrecht. Die Ausführung obliegt den Mitgliedstaaten; die Pflichten entstehen für einen Betrieb aus dem jeweiligen nationalen Recht.

Anwendungsbereich der Richtlinie 2004/37/EG

Die Richtlinie gilt nach Artikel 3 Absatz 1 „für Tätigkeiten, bei denen Arbeitnehmer aufgrund ihrer Arbeit Karzinogenen, Mutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen ausgesetzt sind oder sein können". Sie knüpft damit an die Exposition bei einer Tätigkeit an. Artikel 2 Buchstabe a Ziffer i definiert das Karzinogen über die Einstufungskriterien des Anhangs I der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 und enthält keine Einschränkung auf gekaufte, in Verkehr gebrachte oder bewusst eingesetzte Stoffe. Calciumchromat und Natriumchromat sind in Anhang VI Teil 3 jener Verordnung harmonisiert als karzinogen der Kategorie 1B eingestuft.

Ersatz, geschlossenes System, Minimierung

Artikel 4 Absatz 1 verlangt vom Arbeitgeber, die Verwendung zu verringern, „insbesondere indem er es bzw. ihn, soweit technisch möglich, durch Stoffe, Gemische oder Verfahren ersetzt, die bei ihrer Verwendung bzw. Anwendung nicht oder weniger gefährlich" sind. Artikel 5 Absatz 2 verlangt für den Fall, dass die Substitution technisch nicht möglich ist, Herstellung und Verwendung in einem geschlossenen System. Artikel 5 Absatz 3 verlangt für den Fall, dass auch das technisch nicht möglich ist, die Verringerung der Exposition „auf das geringste technisch mögliche Niveau".

Der verbindliche Grenzwert

Anhang III Teil A der Richtlinie 2004/37/EG führt den Eintrag „Chrom(VI)-Verbindungen, die Karzinogene im Sinne von Artikel 2 Buchstabe a Ziffer i (als Chrom)" mit einem Grenzwert von 0,005 mg/m³ als zeitlich gewichtetem Mittelwert über acht Stunden. Ein Kurzzeitwert ist nicht festgelegt, und die Spalte Hinweis ist leer. Die Übergangsspalte nennt 0,010 mg/m³ bis zum 17. Januar 2025 und 0,025 mg/m³ bis zum selben Datum für Schweiß- und Plasmaschneidearbeiten sowie ähnliche raucherzeugende Verfahren.

Verzeichnis, Gesundheitsüberwachung und vierzig Jahre

Das Verzeichnis der exponierten Arbeitnehmer steht in Artikel 12 Buchstabe c. Der Arbeitgeber führt danach eine aktualisierte Liste der Arbeitnehmer, die mit Tätigkeiten beschäftigt sind, für die die Bewertung ein Risiko erkennen lässt, „unter Angabe der Exposition, der sie möglicherweise ausgesetzt waren", soweit diese Information verfügbar ist. Artikel 15 Absatz 1 verlangt für Karzinogene und Mutagene die Aufbewahrung dieser Liste und der Gesundheitsakte für mindestens 40 Jahre nach Ende der Exposition.

Stoffrecht: Einstufung, Zulassung, Beschränkung

Die harmonisierte Einstufung steht in Anhang VI Teil 3 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008. Calciumchromat trägt die Index-Nummer 024-008-00-9 und ist als karzinogen der Kategorie 1B mit H350 eingestuft. Natriumchromat trägt die Index-Nummer 024-018-00-3 und ist als karzinogen, keimzellmutagen und reproduktionstoxisch jeweils der Kategorie 1B eingestuft. Der Sammeleintrag 024-017-00-8 erfasst „Chrom(VI)-Verbindungen, ausgenommen Bariumchromat, und soweit in diesem Anhang nicht gesondert aufgeführt" mit H350i.

Der Abstand zur Asbestrichtlinie

Die Richtlinie 2009/148/EG regelt für Asbest Pflichten, die die Richtlinie 2004/37/EG für Karzinogene allgemein nicht enthält. Artikel 11 verlangt vor Beginn von Abbruch-, Instandhaltungs- oder Renovierungsarbeiten alle erforderlichen Vorkehrungen, um vermutlich asbesthaltige Materialien zu ermitteln, und zwar unter Einholung von Informationen beim Eigentümer und aus einschlägigen Verzeichnissen. Artikel 4 verlangt eine Mitteilung an die zuständige Behörde vor Beginn der Arbeiten, mit Angabe unter anderem der Zahl der beteiligten Arbeitnehmer und ihrer Schulungsnachweise. Artikel 13 verlangt einen Arbeitsplan vor Beginn und nach Abschluss die Überprüfung, dass keine Gefährdung mehr besteht. Artikel 14 mit Anhang Ia legt Mindestanforderungen an Inhalt, Dauer und Häufigkeit der Unterweisung fest, Artikel 15 eine Genehmigung des Unternehmens.

Was daraus folgt

Für einen Betrieb in einem Mitgliedstaat entsteht die Pflicht aus dem nationalen Umsetzungsrecht. Der Prüfungsmaßstab des Unionsrechts ist dabei an drei Stellen schärfer als die Frage nach einer Messung. Die Bewertung nach Artikel 3 Absatz 2 ist tätigkeitsbezogen und bei jeder Änderung der Bedingungen zu wiederholen. Die Hautaufnahme ist nach Artikel 3 Absatz 3 ausdrücklich einzubeziehen. Die Verringerung nach Artikel 5 Absatz 3 ist an keine Schwelle geknüpft; sie greift, sobald ein geschlossenes System technisch nicht möglich ist. Ein Mitgliedstaat kann strengere Vorschriften vorsehen; die Richtlinie setzt Mindestanforderungen.

18. Die Pflichtenlage in den Niederlanden

Die Niederlande sind Mitgliedstaat der Europäischen Union und haben die Richtlinie 2004/37/EG im Arbeidsomstandighedenbesluit umgesetzt. Der hier behandelte Anwendungsfall ist auch dort nicht als solcher benannt. Dieser Abschnitt stellt die geltenden niederländischen Vorschriften zusammen und gibt zu jeder Aussage die Fundstelle an.

Der Stoffbegriff ist herkunftsneutral

Artikel 1.1 Absatz 5 Buchstabe b des Arbeidsomstandighedenbesluit definiert gefährliche Stoffe als „stoffen of mengsels waaraan werknemers bij de arbeid worden of kunnen worden blootgesteld die vanwege de eigenschappen van of de omstandigheden waaronder die stoffen of mengsels voorkomen gevaar voor de veiligheid of gezondheid kunnen opleveren". Die Definition knüpft an die Exposition bei der Arbeit und an die Umstände des Vorkommens an. Einkauf, Inverkehrbringen und beabsichtigte Verwendung kommen darin nicht vor.

Die zusätzlichen Pflichten für krebserzeugende Stoffe

Abschnitt 2 des vierten Kapitels gilt nach Artikel 4.12 zusätzlich, sobald Arbeitnehmer krebserzeugenden, mutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen ausgesetzt sind oder sein können „of aan stoffen die vrijkomen bij kankerverwekkende of mutagene processen". Die Begriffsbestimmung in Artikel 4.11 Buchstabe b knüpft in Ziffer 1 an die Einstufungskriterien der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 an. Chrom(VI)-Verbindungen sind damit erfasst.

Der Grenzwert 0,001 mg/m³

Der gesetzliche Grenzwert steht in Bijlage XIII Teil B2 der Arbeidsomstandighedenregeling, der Liste der nach dem Risikoansatz festgelegten Grenzwerte für krebserzeugende Stoffe. Der Eintrag lautet „Chroom (VI)-verbindingen (als Cr)" mit 0,001 mg/m³ als zeitlich gewichtetem Mittelwert über acht Stunden. Eine CAS-Nummer, ein Fünfzehn-Minuten-Wert und eine Hautnotation sind nicht eingetragen. Nach der Erläuterung zu Bijlage XIII bezieht sich der Wert bei Stoffen, die als Partikel vorkommen können, auf die als einatembarer Staub beprobte Fraktion.

Aufsicht, Bußgeld und Wirtschaftsdelikt

Die Nederlandse Arbeidsinspectie kann nach Artikel 27 des Arbeidsomstandighedenwet eine eis tot naleving stellen, also verbindlich bestimmen, auf welche Weise eine Vorschrift einzuhalten ist, verbunden mit einer Frist. Artikel 9.22 des Arbeidsomstandighedenbesluit lässt dieses Mittel für die hier einschlägigen Artikel des vierten Kapitels zu. Nach Artikel 28 kann ein Aufsichtsbeamter anordnen, dass bestimmte Arbeiten eingestellt werden oder nicht begonnen werden dürfen, wenn sie nach seinem vernünftigen Urteil eine ernste Gefahr für Personen darstellen; die Befugnis schließt die Versiegelung von Arbeitsmitteln und Arbeitsplätzen ein.

Abfall

Die Regeling Europese afvalstoffenlijst erklärt die Liste im Anhang der Entscheidung 2000/532/EG für maßgeblich. Für Dämmmaterial außer Asbest kommt 17 06 03* „overig isolatiemateriaal dat uit gevaarlijke stoffen bestaat of dergelijke stoffen bevat" in Betracht, für Ofenschutt 16 11 03* und 16 11 05*, für Chromate als Stoff 16 09 02*. Artikel 4 Absatz 1 ordnet den Abfall dem mit Sternchen gekennzeichneten Eintrag zu, wenn festgestellt wird, dass er eine der Eigenschaften des Anhangs III der Abfallrahmenrichtlinie besitzt. Absatz 2 bestimmt, dass dabei die Folgen des Verdampfens, Verdünnens, Vermischens oder Auslaugens nicht berücksichtigt werden.

Der Abstand zum Asbestregime

Abschnitt 5 des vierten Kapitels regelt Asbest gesondert. Artikel 4.54a Absatz 1 verlangt, die Anwesenheit von Asbest vollständig zu inventarisieren, bevor mit dem Abbrechen oder Auseinandernehmen von Bauwerken oder Objekten begonnen wird, in denen nach vernünftiger Erwartung Asbest verwendet wurde; die Inventarisierung und der Bericht sind nach Absatz 4 einem zertifizierten Unternehmen vorbehalten. Artikel 4.54d Absatz 1 verlangt für die Entfernung ab Risikoklasse 2 ein Unternehmen mit Zertifikat, Absatz 5 und 7 die Fachkundezertifikate der eingesetzten Personen. Artikel 4.47c Absatz 1 verlangt die Meldung an die Aufsicht spätestens zwei Tage vor Beginn der Arbeiten. Artikel 4.51a verlangt vor Aufhebung der Gefahrenzone eine Endbeurteilung mit visueller Inspektion und Messung gegen den Wert von 10.000 Fasern je Kubikmeter.

Was daraus für einen Betrieb in den Niederlanden folgt

Aus den genannten Vorschriften ergibt sich ein prüffähiger Satz von Unterlagen. Dazu gehören die schriftliche Beurteilung nach Artikel 4.2 Absatz 1 für die Materialpaarung aus chromlegiertem Heißteil und basisch belegtem Dämmstoff sowie die sieben Angaben nach Artikel 4.13 einschließlich der Begründung, warum eine Substitution technisch nicht durchführbar ist. Dazu gehört der vom Arbeitgeber festgelegte Grenzwert nach Artikel 4.16 Absatz 2, soweit kein gesetzlicher Wert einschlägig ist. Dazu gehören die Liste nach Artikel 4.15 mit vierzigjähriger Aufbewahrung, die jährliche Unterweisung nach Artikel 4.19 Buchstabe a und die Beschreibung des Abfalls nach Artikel 10.39 des Wet milieubeheer.

19. Die Pflichtenlage im Vereinigten Königreich

Dieser Abschnitt stellt das britische Regelwerk an einer Stelle zusammen, wie es die drei vorangehenden Abschnitte für Deutschland, die Europäische Union und die Niederlande tun. Das Vereinigte Königreich ist seit dem 1. Januar 2021 nicht mehr an die Richtlinie 2004/37/EG gebunden. Die tragende Vorschrift, die Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002, ist älter als diese Richtlinie und gilt unverändert weiter.

Der räumliche Geltungsbereich ist geteilt. Die COSHH Regulations 2002 und die Control of Asbestos Regulations 2012 tragen den Vermerk „E+W+S" und gelten damit in England, Wales und Schottland; Nordirland hat mit den Control of Substances Hazardous to Health Regulations (Northern Ireland) 2003 und den Control of Asbestos Regulations (Northern Ireland) 2012 eigene, inhaltsgleich aufgebaute Vorschriften. Im Abfallrecht gehen die vier Landesteile eigene Wege, mit je eigenen Verordnungen für England, Wales, Schottland und Nordirland. Die Angaben dieses Abschnitts beziehen sich, wo nichts anderes steht, auf England und Wales.

Der Stoffbegriff hängt nicht an der Einstufung

Regulation 2(1) bestimmt, was ein „substance hazardous to health" ist. Buchstabe a erfasst jeden Stoff, der die Kriterien für die Einstufung in eine Gesundheitsgefahrenklasse nach der CLP-Verordnung erfüllt, und zwar ausdrücklich „whether or not the substance is classified under that Regulation". Buchstabe b erfasst Stoffe mit einem von der britischen Behörde HSE genehmigten Arbeitsplatzgrenzwert, Buchstabe d Staub jeder Art oberhalb der dort genannten Konzentration. Ein Chromat, das an der Grenzfläche zwischen Dämmung und Heißteil entsteht, erfüllt die Kriterien der Buchstaben a und b, ohne dass es einen Lieferanten, ein Sicherheitsdatenblatt oder eine formale Einstufung geben muss.

Verhinderung, Ersatz und das vernünftigerweise Praktikable

Regulation 7(1) verlangt, die Exposition zu verhindern oder, soweit das nicht vernünftigerweise praktikabel ist, angemessen zu beherrschen. Regulation 7(2) stellt den Vorrang des Ersatzes klar; Regulation 7(3) ordnet die weiteren Stufen von der Gestaltung der Verfahren über die Beherrschung an der Quelle bis zur persönlichen Schutzausrüstung. Regulation 7(4) Buchstabe b verlangt ausdrücklich „the adoption of suitable maintenance procedures", Buchstabe c die Verringerung der Zahl der exponierten Beschäftigten, der Höhe und Dauer der Exposition und der am Arbeitsplatz vorhandenen Menge auf das für die Arbeit erforderliche Mindestmaß. Abschnitt 30 gibt den Wortlaut der Absätze 1, 2 und 5 wieder.

Der Grenzwert 0,01 mg/m³ und der Stand der HSE-Veröffentlichungen

EH40/2005 in der vierten Ausgabe 2020 führt in Tabelle 1 den Eintrag „Chromium (VI) compounds (as Cr)" mit einem Achtstundenmittelwert von 0,01 mg/m³ und einem Wert von 0,025 mg/m³ für prozessbedingt erzeugte Exposition, mit den Anmerkungen Carc, sen und BMGV. Die Fußnote zu diesem Eintrag bestimmt: „‚Process generated' refers to exposures to Chromium (VI) Compounds generated as a result of a work process, such as fumes from welding." Der abgesenkte Wert gilt seit dem 17. Januar 2020; die Vorbemerkung der Ausgabe führt Chrom(VI)-Verbindungen unter den Stoffen mit abgesenktem Grenzwert auf.

Die H-Sätze lösen die Pflichten aus

Die Einstufungssätze sind im britischen Recht der Anknüpfungspunkt. Regulation 2(1) bestimmt den Gefahrstoff über die Kriterien der CLP-Verordnung und definiert diese in derselben Vorschrift als die Verordnung (EG) Nr. 1272/2008, deren Artikel 6 Absatz 5, 11 Absatz 3, 12, 14, 18 Absatz 3 Buchstabe b, 23, 25 bis 29 und 35 Absatz 2 sowie die Anhänge I bis VII „are to be read as amended from time to time". Regulation 7(7) Buchstabe c nennt dann einzelne Gefahrenhinweise im Wortlaut. Ziffer i erfasst einen Stoff mit „the hazard statement H340, H350 or H350i" oder einen in Schedule 1 aufgeführten Stoff oder ein dort aufgeführtes Verfahren, Ziffer ii einen Stoff mit „the hazard statement H334".

Messung, Gesundheitsüberwachung und vierzig Jahre

Regulation 10(1) macht die Messung von einer Voraussetzung abhängig. Gemessen wird, wenn die Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass die Messung „requisite" ist, um die angemessene Beherrschung aufrechtzuerhalten oder die Gesundheit der Beschäftigten zu schützen. Regulation 10(2) erlaubt den Verzicht, wenn der Arbeitgeber auf andere Weise nachweisen kann, dass die Anforderungen der Regulation 7(1) erfüllt sind. Eine Messpflicht dem Grunde nach besteht nicht.

Aufsicht, Straftat und Meldepflicht

Die Aufsicht arbeitet mit zwei Anordnungsarten. Nach Section 21 kann ein Inspektor ein improvement notice erlassen, wenn eine Vorschrift verletzt wird, mit einer Frist zur Abhilfe. Nach Section 22 kann er ein prohibition notice erlassen, wenn eine Tätigkeit mit der Gefahr einer schweren Personenverletzung verbunden ist; das notice kann sofort wirksam werden und untersagt die Tätigkeit, bis die Mängel behoben sind. Eine behördliche Anzeige von Arbeiten mit Karzinogenen vor Beginn kennt das britische Recht nicht.

Der Abstand zum Asbestregime

Die Control of Asbestos Regulations 2012 zeigen, was eine Rechtsordnung für ein anerkanntes Verfahrensrisiko vorschreibt. Regulation 5 verlangt vor Abbruch-, Instandhaltungs- und ähnlichen Arbeiten die Feststellung von Vorhandensein, Art und Zustand des Asbests und bestimmt für den Zweifelsfall, dass seine Anwesenheit zu unterstellen ist. Regulation 6 verlangt die Aufzeichnung der wesentlichen Ergebnisse unabhängig von der Betriebsgröße. Regulation 7 verlangt einen schriftlichen Arbeitsplan mit vorgeschriebenem Mindestinhalt.

Was das britische Regelwerk benennt

Kein britischer Rechtsakt nennt die Chromatbildung an gedämmten chromlegierten Heißteilen. Der einzige Chromeintrag in den Messintervallen der COSHH Regulations betrifft die galvanische Verchromung, der einzige Chromeintrag in der Gesundheitsüberwachung die Herstellung von Kalium- und Natriumchromat. Dämmung, Hochtemperatur und Heißteile kommen in der Verordnung nicht vor. Die Abfallliste erfasst den Sachverhalt nur über den Spiegeleintrag für Dämmmaterial, ohne Chrom zu nennen.

Was daraus für einen Betrieb im Vereinigten Königreich folgt

Die Pflichten beginnen vor der Arbeit. Regulation 6(1) verbietet den Beginn ohne geeignete und ausreichende Beurteilung, und Regulation 6(2) Buchstabe e nennt die Wartung mit dem Potential hoher Exposition als eigenen Beurteilungsgegenstand. Eine Beurteilung, die den Entstehungsweg an gedämmten chromlegierten Heißteilen nicht betrachtet, obwohl die Bauteilwerkstoffe und die Betriebstemperaturen bekannt sind, erfüllt diese Anforderung nicht.

20. Anhang: Dämmstoffe mit basischen Oxiden und ihre Einsatzorte

Folgende handelsübliche Dämmstoffe enthalten die beschriebenen basischen Oxide, die eine thermochemische In-situ-Bildung der beschriebenen Chrom(VI)-Verbindungen auslösen können. Es handelt sich dabei nicht um Vermutungen, sondern um Ableitungen aus Herstellerangaben, Warnmeldungen von Anwendern und eigenen Feldbeobachtungen.

Die Belegspalte nennt die Herkunft der Angabe. H steht für eine Hersteller- oder Normangabe, W für eine Warnmeldung oder einen Anwenderhinweis, F für eine eigene Feldbeobachtung. Wo ein Hersteller keine Zahlen veröffentlicht, steht das ausdrücklich in der Tabelle.

Dämmstoffe mit Gehalt an Calcium-, Natrium- und weiteren basischen Oxiden

Material und Handelsform	Belegter Gehalt an basischen Oxiden	Beleg
E-Glas, Garn und Gewebe für Leiterplatten und Luftfahrt	CaO 16 bis 25 %, MgO 0 bis 5 %, Na_2O und K_2O 0 bis 2 %	H
Mineralwolle, Stein- und Glaswolle: Matte, Drahtnetzmatte, Platte, Rohrschale	Na_2O, K_2O, CaO, MgO und BaO zusammen über 18 Gewichtsprozent; der Wert ist Teil der Stoffidentität nach Anhang VI Index 650-016-00-2, nicht eine Chargeneigenschaft	H
AES-Wolle, Stoffdefinition der Hersteller	Calciumoxid und Magnesiumoxid zusammen 18 bis 43 %, Siliciumdioxid 50 bis 82 %	H
AES-Wolle, Matte (Superwool Plus Blanket)	CaO 26 bis 32 %, MgO 3 bis 7 %	H
AES-Wolle, Matte (Insulfrax LT)	CaO 27 bis 33 %, MgO 2,5 bis 6,5 %	H
Aluminiumsilikatwolle und Keramikfaser (ASW, RCF): Matte, Platte, Papier, Modul	Na_2O, K_2O, CaO, MgO und BaO zusammen kleiner oder gleich 18 Gewichtsprozent; Trennwert zu Index 650-016-00-2. Die Herstellerdatenblätter beziffern Alkali- und Erdalkalioxide nicht	H
Calciumsilikat, Platte und Formteil	CaO 38 bis 43 %	H
Perlit, expandiert: Schüttung und Formteil	Na_2O 3,7 %, K_2O 5,3 %, CaO 0,5 %, MgO 0,1 %. Die Analyse stammt von einem Filterperlit; für Rohrleitungs- und Tankdämmstoffe veröffentlichen die Hersteller keine Oxidanalyse	H
Vermiculit, expandiert: Schüttung und Platte	MgO 21,5 bis 25,5 %, K_2O 3 bis 6 %, CaO 2,0 bis 6,0 %; das Datenblatt führt zusätzlich Cr_2O_3 mit 0,01 bis 0,15 %	H

Material und Handelsform	Belegter Gehalt an basischen Oxiden	Beleg
Aerogelmatte	keine Calcium- und keine Natriumverbindung deklariert; über 50 % Textilglas ohne chemische Spezifikation; die bis etwa 650 °C klassifizierten Matten tragen eine E-Glas-Komponente, die das Datenblatt nicht ausweist	H
Montagepaste für Heißteile, calciumhaltig	Calciumhydroxid 10 bis unter 20 Massenprozent	H

Applikationen mit diesen Dämmstoffen

Anwendungsfeld	Gedämmte Bauteile, Dämmstoff und Handelsform	Temperatur	Beleg
Yachten und Superyachten	Abgasleitung, Abgassammler, Trockenturbolader und Indikatorventile; Dämmmatte mit aufgenieteter Blechverkleidung, metallische Isolierverkleidung in Kassettenbauweise, abnehmbare textile Isolierschalen. Abnehmbare Abschnitte sind für die Wartung ausdrücklich vorgesehen	Oberfläche unter 220 °C gefordert; Bauteile im Motorraum bis 750 °C	H
Containerschiffe und Handelsschiffe, Zweitaktmotor	Abgassammler und Abgasleitungen; Dämmung mit Abdeckung aus verzinktem Blech	im Dokument nicht genannt	H
Containerschiffe und Handelsschiffe, Viertaktmotor	Abgasleitung vom Turboladeraustritt über Abgaskessel und Schalldämpfer bis zum Kamin, dazu die SCR-Anlage; Dämmpolster am Turbolader, durchgehende Dämmung ab 30 mm Dicke mit Deckblech, SCR-Dämmung demontierbar ausgeführt	Turbinenaustritt 390 °C im Normalbetrieb, 450 °C in der Auslegung, 554 °C im Notbetrieb	H
Kreuzfahrtschiffe	Hilfsdiesel, Abgasleitungen und Abgasreinigung; gleiche Motorenbaureihen und gleiche Dämmausführung wie im Viertaktbetrieb der Handelsschifffahrt, abnehmbare Matratzen an Armaturen	wie Viertaktmotor	F
Lokomotiven und Schienenfahrzeuge	Abgasturbolader, Abgaskrümmer, ganze Abgasstrecken und Abgasnachbehandlung; textiles Isolierformteil nach der Brandschutznorm EN 45545, Integraldämmung mit Außenschale aus Edelstahlfolie oder Feinblech, genähte Dämmmatten mit Erdalkalisilikat, E-Glas oder Silika als Dämmstoff und Edelstahlfolie oder Nickelbasisfolie auf der Heißseite, ausdrücklich abnehmbar und wiederverwendbar	Formteil bis 650 °C; Mattentypen bis 816 °C und bis 1.149 °C	H

Anwendungsfeld	Gedämmte Bauteile, Dämmstoff und Handelsform	Temperatur	Beleg
Baumaschinen und mobile Arbeitsmaschinen	Turbolader, Krümmer, Abgasstrang, Partikelfilter- und SCR-Module, Unterbodendämmung und Motorraum-Hitzeschutz; dreidimensionale Faserformteile mit Außenschalen aus Edelstahlfolie oder Feinblech	Bauteile bis 750 °C, Reduktion der Oberfläche unter 220 °C	H
Blockheizkraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplung	Abgasstrang und Abgasturbolader des Gasmotors; metallische Isolierverkleidung als komplett abnehmbare Module	Abgas 421 °C bei Volllast, 476 °C bei halber Last	H
Netzersatz- und Notstromanlagen, auch in Rechenzentren	Abgasleitung des Dieselaggregats; Calciumsilikat- oder Mineralwolle-Rohrschalen, zweilagig verlegt, mit Mantel, Bandagen und Bindedraht aus Edelstahl 304. Der Hersteller empfiehlt für diesen Fall ausdrücklich Calciumsilikat, weil das organische Bindemittel der Mineralwolle ab etwa 177 °C ausbrennt	371 °C bis annähernd 538 °C	H
Gas- und Dampfturbinen	Abgaskanal, Übergangsstück, Turbinengehäuse, Abhitzekessel, Schalldämpfer und Kamin; Innendämmung hinter Linerblechen aus 304er oder 409er Stahl, flexible Dämmkissen, Faserdämmmatten und Fasermodule im Abhitzekessel, Dämmmatratzen am Gehäuse, abnehmbar und wiederverwendbar	Gehäuse über 500 °C, Abgaskanal über 480 °C, Abhitzekessel bis 1.093 °C	H, W
Straßenfahrzeuge, Lastkraftwagen und Personenkraftwagen	Hitzeschilde, Gusskrümmer, Abgasstrang, Partikelfilter, SCR und Lagerungsmatten im Katalysator; Hitzeschild in Kassettenbauweise mit Deckblech oder Folie aus Edelstahl oder Aluminium und innenliegender Dämmeinlage, Nadelmatte als Lagerungsmatte	Hitzeschild bis 1.100 °C je nach Material; Krümmerspitzentemperatur 1.000 °C	H
Industrieöfen, Kessel, Müllverbrennung und Biomasseanlagen	Kesselwände, Rauchgaskanäle und Rohrleitungen; Steinwolle-Drahtnetzmatten mit verzinktem oder Edelstahl-Drahtgeflecht	bis 640 °C, schwere Ausführung bis 649 °C	H
Chemieanlagen und Raffinerien	Rohrleitungen an austenitischen Stählen, Armaturen und Flansche; Drahtnetzmatten, Rohrschalen und abnehmbare Hauben	bis 640 °C, Rohrschalen bis 650 °C	H

Die vollständigen Tabellen mit der Quellenangabe je Zeile stehen im Anhang der Fachanalyse.

21. 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. Das Aufnehmen von Rückständen mit Tuch und Kriechöl entfernt Material von der Fläche, und insoweit ist der Praxiseindruck nachvollziehbar. Das Chromat bleibt dabei chemisch unverändert und liegt anschließend im Reinigungsmaterial und im Abfall vor; zugleich geht es in die Ölphase über und wird bei der Messung nicht mehr erfasst (Abschnitt 26).

Wo immer ein chromlegiertes Heißteil 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.
1.3	Oktober 2026	Abschnitt 7 um die dokumentierte Kette der Behandlungsverfahren erweitert: die Arbeitsanweisung von Vattenfall Generation NL, das Zertifikat der Prüfstelle mit seinen Bedingungen und dessen Verkürzung auf der Anbieterfolie, die Wiederholung der unveränderten Anweisung auf der Konferenz vom 6. November 2025 und der Vergleich mit der Chromatreduktion im Zement.
1.4	Oktober 2026	Abschnitt 8 um die Pflichten vor Arbeitsbeginn nach deutschem, niederländischem, britischem und US-amerikanischem Recht ergänzt; Abschnitt 7 um die Gegenüberstellung der Betriebsanweisung der deutschen Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft mit deren öffentlicher Informationsseite und um die gleichlautenden Anbieteraussagen zu Chrom(III) erweitert.
1.5	Oktober 2026	Neuer Abschnitt 12 „Chrom(III): der angenommene Endzustand" mit der Argumentationsfigur der Herstellerunterlagen, den Reaktionsstufen nach der MAK-Begründung, der fehlenden Speziesbestimmung, den Einstufungen nach der MAK- und BAT-Werte-Liste 2026 und der Anses-Stellungnahme von 2021, dem Präzedenzfall Leder und der Rückkehr des offenen Chrom(III) an das Heißteil; Abschnitt 7 um den Anbieter MATinspired und den Prüfkreis um das Testkit TK11 ergänzt; die folgenden Abschnitte um eine Nummer verschoben; Querverweise auf die Fachanalyse nachgezogen.
1.6	Oktober 2026	Abschnitt 6 um den Handbefund der französischen Feldstudie und die Gegenüberstellung mit Luft- und Urinwerten erweitert; Abschnitt 8 um die Begründung der Regelwerksauswahl und die vier Beurteilungsebenen ergänzt; Abschnitt 9 um die Hochrechnung der jährlichen Anlässe aus der Fachanalyse erweitert.
1.7	Oktober 2026	Neuer Anhang mit zwei Tabellen: handelsübliche Dämmstoffe mit belegtem Gehalt an basischen Oxiden und die Anwendungsfelder, in denen sie an chromlegierten Heißteilen verbaut sind. Die vollständigen Tabellen mit Quellenangabe stehen in der Fachanalyse. Außerdem berichtigt: die CAS-Nummer 142844-00-6 bezeichnet die Aluminiumsilikatwolle, die Erdalkalisilikatwolle läuft unter 436083-99-7.
1.8	Oktober 2026	Drei neue Abschnitte zur Pflichtenlage in Deutschland, in der Europäischen Union und in den Niederlanden, verdichtet aus den gleichnamigen Kapiteln der Fachanalyse. Die vollständigen Kapitel mit allen Fundstellen stehen dort.
1.9	Oktober 2026	Ein neuer Abschnitt zur Pflichtenlage im Vereinigten Königreich, verdichtet aus dem gleichnamigen Kapitel der Fachanalyse. Das vollständige Kapitel mit allen Fundstellen steht dort.
1.10	Oktober 2026	Der britische Grenzwert ist auf 0,01 mg/m³ nach EH40 in der vierten Ausgabe 2020 berichtigt. Der verdichtete Abschnitt zum Vereinigten Königreich nimmt den neuen Unterabschnitt zu den Gefahrenhinweisen auf. Das vollständige Kapitel mit allen Fundstellen steht in der Fachanalyse.

Version	Datum	Änderung
1.11	Oktober 2026	Um den Befund zur Probenahme ergänzt, wonach ein negativer Befund nur für die geprüfte Stelle, die geprüfte Tiefe und die Nachweisgrenze des Verfahrens gilt.