

Bewertung von Expositionen anorganischer Fasern in Arbeitsbereichen

M. Mattenklott

ZUSAMMENFASSUNG In vielen Bereichen der Industrie werden unterschiedlichste Arten anorganischer Fasermaterialien verwendet. Die Bezeichnungen sind nicht einheitlich und auch die mitgelieferten Informationen wie Sicherheitsdatenblätter sind teilweise unvollständig oder nicht richtig und führen daher nicht selten zu Missverständnissen bei der Bewertung von Expositionen gegenüber lungengängigen Fasern an Arbeitsplätzen. Zudem bestehen nur für wenige Faserarten konkrete Grenzwerte und Einstufungen. Somit sind Analogieschlüsse und Konventionen nötig, um in der praktischen Präventionsarbeit eine einheitliche Bewertung von Expositionen und Festlegung von Schutzmaßnahmen zu erreichen. Für die wesentlichen Faserarten, die in Arbeitsbereichen auftreten (Mineralwollen, Textilglasfasern, Carbonfasern, Hochtemperaturwollen, Mikroglasfasern, Whisker), werden die Einstufung und Zuordnung zu Schutzmaßnahmenkonzepten hier zusammenfassend vorgestellt.

1 Einleitung

Die Bewertung der Exposition gegenüber anorganischen Faserstäuben in Arbeitsbereichen wird durch die nur wenigen Grenzwerte (Asbest, Aluminiumsilikatfasern) und teilweise nicht spezifischen Einstufungen erschwert. Leider zeigt die aktuelle Situation auch immer wieder, dass Sicherheitsdatenblätter nicht vollständig sind und zum Teil irreführende oder auch falsche Angaben enthalten. Eine Bewertung der Situation in Arbeitsbereichen auf Grundlage der Regelwerke und technischen Informationen ist daher in vielen Fällen nicht eindeutig und lässt (scheinbar) Spielräume.

In Ermangelung konkreter arbeitsmedizinisch-toxikologisch abgeleiteter Grenzwerte und Einstufungen müssen daher Konventionen festgelegt werden, um eine konsistente Bewertung von Faserexpositionen vornehmen zu können. Diese sollen in allen Anwendungsbereichen einheitlich erfolgen und den Betrieben verlässliche Maßstäbe und Sicherheit bei diskutierten Investitionen in den Arbeitsschutz bieten. Im Folgenden wird neben dem Stand der Regelwerke auch das von den Unfallversicherungsträgern (UVT) praktizierte Bewertungskonzept für Faserexpositionen zusammenfassend dargestellt, das bereits seit Jahren in Handlungshilfen und Informationen einfließt. Die Ausführungen zur Einstufung von Fasern sind im Detail nicht vollständig, sondern auf die für die praktische Präventionsarbeit relevanten Aspekte beschränkt. Für Fasern, die keine Einstufung in eine der Kategorien krebserzeugender Stoffe haben, wird im Folgenden verein-

Assessment of exposures to inorganic fibers in work areas

ABSTRACT A wide variety of different types of inorganic fibre materials are used in many areas of industry. The terminology is not uniform and the information provided (safety data sheets, etc.) is sometimes incomplete or incorrect and therefore often leads to misunderstandings when evaluating exposures to respirable fibres at workplaces. In addition, concrete limit values and classifications exist for only a few types of fibres. Thus analogies and conventions are necessary to achieve a uniform assessment of exposures and determination of protective measures in practical prevention work. The classification and allocation to protective measure concepts are presented in summary form for the main types of fibres occurring in workplaces (mineral wools, textile glass fibres, carbon fibres, high-temperature wools, micro-glass fibres, whiskers).

facht von einer „Freischreibung“ bzw. Einordnung in die Kategorie 0 gesprochen. Ebenfalls vereinfachend wird bei Einstufungen von Fasern in verschiedene Kategorien krebserzeugender Stoffe die Kurzform Kat. verwendet (Kat. 1A, Kat. 1B, Kat. 2, Kat. 0). Expositionen gegenüber Asbest werden hier nicht im Detail behandelt. Prozentangaben beziehen sich grundsätzlich auf Angaben in Masse-%.

2 Aktuelle Fasersystematik

Die Systematik von Fasern unterscheidet grundsätzlich zwischen organischen und anorganischen Fasern. Da für organische Fasern bisher keine Einstufungen bestehen und auch keine Grenzwerte aufgestellt wurden, werden diese hier nicht näher betrachtet. Innerhalb der Gruppe der anorganischen Fasern wird wiederum zwischen natürlichen und synthetischen Fasern unterschieden. Diese Unterscheidung ist jedoch nicht streng durchzuhalten, da z. B. Calciumsulfat- (Gips), Rutil- oder Siliciumcarbid-Fasern sowohl natürlich vorkommen als auch synthetisch hergestellt werden. Die generelle Systematik der in Arbeitsbereichen auftretenden anorganischen Fasern und deren Nomenklatur sind in **Bild 1 bis 3** dargestellt. Bei den natürlichen Fasern können neben den Asbesten (und Erionit) auch Talk und andere mineralische Phasen in Faserform auftreten. Nur wenige davon sind jedoch im relevanten technischen Maßstab in Verwendung. Dies sind z. B. Gips und Wollastonit sowie bestimmte als Whisker (in diesem Fall synthetisch hergestellt) vertriebene Mineralphasen.

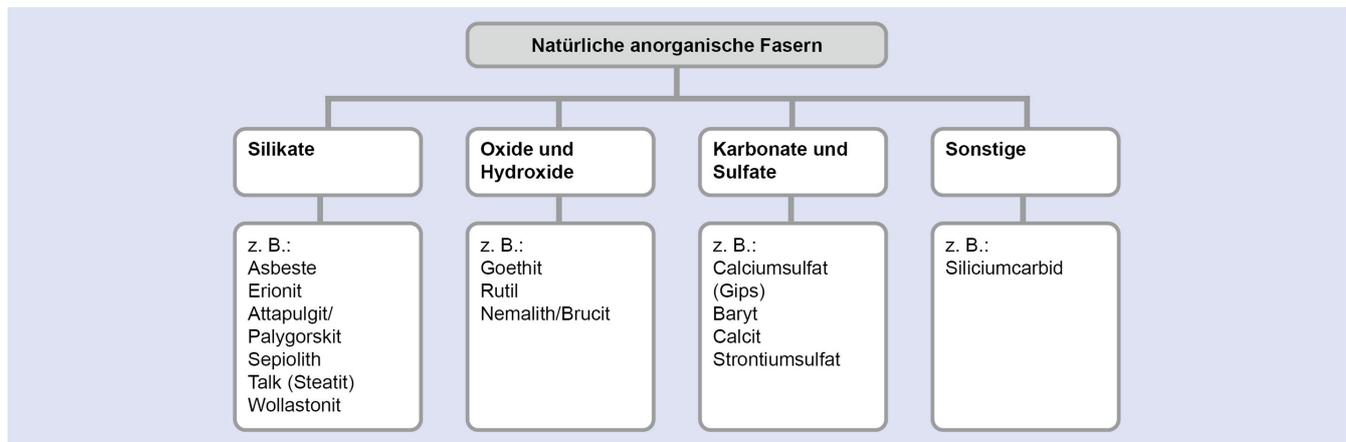
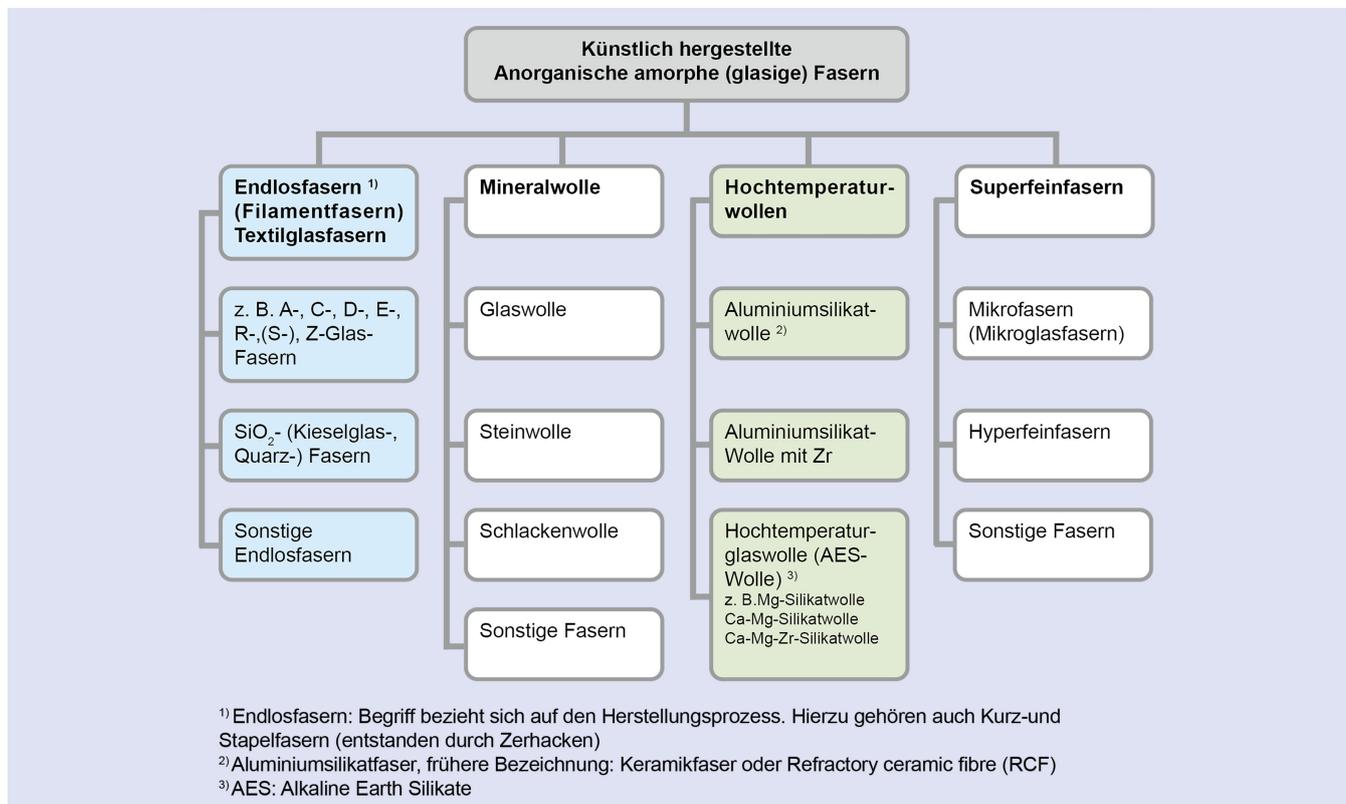


Bild 1 Systematik natürlicher anorganischer Fasern. Grafik: IFA (nach [1] und [2])



¹⁾ Endlosfasern: Begriff bezieht sich auf den Herstellungsprozess. Hierzu gehören auch Kurz- und Stapelfasern (entstanden durch Zerhacken)

²⁾ Aluminiumsilikatfaser, frühere Bezeichnung: Keramikfaser oder Refractory ceramic fibre (RCF)

³⁾ AES: Alkaline Earth Silikate

Bild 2 Systematik synthetischer amorpher anorganischer Fasern. Die Gruppe der Filamentfasern ist blau, die der Hochtemperaturwollen grün unterlegt (siehe auch Bild 3). Für Hochtemperaturwollen ist die dargestellte Nomenklatur nach EN 1094 übernommen worden. Grafik: IFA (nach [1] und [2])

Die synthetisch hergestellten anorganischen Fasern werden in amorphe (glasige) und kristalline Typen unterschieden (siehe Bild 2 und 3). Zu den glasigen Fasern gehören vier Hauptgruppen (siehe Bild 2). Drei davon können als Wollen bezeichnet werden: Mineralwollen, die überwiegend als Dämmmaterial zum Einsatz kommen (z. B. Gebäudedämmung), Hochtemperaturwollen, die im Wesentlichen als Isoliermaterial in Anlagen der Industrie verwendet werden und Mikroglasfasern. Letztere werden beispielsweise in Filtermaterialien eingesetzt und zeichnen sich im Unterschied zu den beiden anderen Gruppen durch einen sehr hohen Anteil lungengängiger Fasern aus. In der vierten Gruppe sind Textilglasfasern zusammengefasst, auch als Filamentfasern bezeichnet. Im Unterschied zu den drei Gruppen mit Wollen zei-

gen Textilglasfasern keine Anteile an lungengängigen Fasern, sogenannten WHO-Fasern (WHO: World Health Organization). Diese werden erst durch mechanische Bearbeitung erzeugt, sogenannte splitterförmige Fasern (siehe **Tabelle 1**).

Die kristallinen anorganischen Fasern (siehe Bild 3) unterteilen sich in einkristalline Fasern (Whisker) und polykristalline Fasern. Bestimmte hier aufgeführte Fasern stehen unabhängig von der Systematik aber auch in Beziehung zu den amorphen anorganischen Fasern. Das sind zum einen die Carbonfasern, die zwar kristallin sind, aber auch als Filamentfasern in ihrem Verhalten und der technischen Anwendung den Textilglasfasern verwandt sind. Zum anderen finden sich bei den polykristallinen Fasern auch die Aluminiumoxidfasern (polykristalline Wolle), die auf-

Tabelle 1 Schutzmaßnahmenkonzept für die Beurteilung der Exposition gegenüber anorganischen Fasern an Arbeitsplätzen auf Grundlage der Einstufung nach TRGS 905.

Faserart	Fasertyp *	Einstufung	Schutzstufenkonzept in Analogie zu TRGS 558	Schutzstufenkonzept in Analogie zu TRGS 521
Aluminiumsilikatfasern	Faser	1B	X	
Aluminiumoxidfasern	Faser	2	X	
AES-Wolle	Faser	0	(GefStoffV §8 und TRGS 500; A-, E-Staub)	
Alte Mineralwolle	Faser	1B		X
Neue Mineralwolle	Faser	0	(GefStoffV §8 und TRGS 500; A-, E-Staub)	
Textilglasfasern	Splitter	1B		X
Carbonfasern	Splitter	2		X
Mikroglasfasern	Faser	1B		X
Whisker	Faser	1B	X	
Talk und andere Mineralfasern	Splitter	2		X

* Während eine Reihe von Fasermaterialien bereits produktionsbedingt lungengängige Fasern mit Durchmesser < 3 µm enthalten (z. B. Mineralwollen), entstehen in anderen Produkten diese erst durch mechanische Bearbeitung derselben (z. B. Textilglasfasern). Somit handelt es sich beim letztgenannten Fasertyp um WHO-Fasern, die erst durch Zersplitterung entstehen.

Tabelle 2 Schutzmaßnahmenkonzepte für anorganische Fasern im technischen Regelwerk.

Faserart	Asbest	Aluminiumsilikatfasern	Alte Mineralwolle
Grenzwert	10 000 / 100 000 F/m ³ (ERB)	10 000 / 100 000 F/m ³ (ERB)	50 000 / 250 000 F/m ³ (kein Grenzwert! Expos.-Kategorien)
Technische Regeln	TRGS 519 TRGS 517	TRGS 558 (TRGS 619)	TRGS 521
Verbote	Verwendungsverbot (Richtlinie 2009/148/EG)		Verwendungsverbot (Gefahrstoffverordnung)
Schutzmaßnahmen	nur ASI-Arbeiten und Umgang mit mineral. Rohstoffen zulässig. Sonderfall: Arbeiten im Baubestand („PSF“) → TRGS 519	3-stufiges Schutzmaßnahmen-Konzept (TRGS 558) Substitutionsprüfung (TRGS 619)	3-stufiges Schutzmaßnahmen-Konzept (TRGS 521)
Analoge Anwendung des Schutzmaßnahmen-Konzeptes für Faserart	Erionit *	Polykristalline Wolle (Al-Oxidfasern) Whisker	Textilglasfasern Mikroglasfasern Carbonfasern Talk und andere mineralische Fasern, Mineralwollen (nicht freigeschrieben)

* Erionit tritt in geringen Anteilen in bestimmten basischen Gesteinen auf, wird industriell nicht eingesetzt, ist aber neben Asbest die einzige in Kat. 1A eingestufte Faserart. Eine Exposition gegenüber Erionit würde demnach vergleichbar mit der gegenüber Asbest bewertet werden.

grund Ihrer Anwendung zu den Hochtemperaturwollen gezählt werden.

In der Praxis werden sehr unterschiedliche Bezeichnungen für einzelne Faserarten verwendet, die regelmäßig zu Missverständnissen führen. So wird z. B. häufig pauschal der Begriff Glasfaser verwendet, der sowohl eine Filamentfaser (Textilglasfaser), eine Dämmwolle (Mineralwolle), eine AES-Wolle (Hochtemperaturwolle; AES: Alkaline Earth Silicate Wools, Erdalkalisilikatwolle) oder eine Mikroglasfaser beschreiben kann. Es sollte versucht werden, eine einheitliche, hier dargestellte Nomenklatur zu etablieren. Die in den Bildern 1 bis 3 dargestellte Systematik wird bereits bei dem für Arbeitsplatzmessungen etablierten Analyseverfahren [1], im technischen Regelwerk und den aktuellen Publikationen der MAK-Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) berücksichtigt [2].

2.1 Nanoskalige Fasern

Nanofasern wie Carbon Nanotubes sind in der vorliegenden Systematik (noch) nicht enthalten, da diese gemäß den derzeit geltenden Zählregeln des etablierten Analyseverfahrens zur Expositionsermittlung [1] nicht als WHO-Fasern erfasst werden. Das derzeitige REM-EDX-Analyseverfahren bezieht sich auf das von der WHO 1997 als Standard veröffentlichte phasenkontrastmikroskopische Verfahren, das durch Verweis in der Asbestrichtlinie [3] zumindest für die Ermittlung von Asbestexpositionen verbindlich ist. Somit sind national angewendete Verfahren so zu

modifizieren, das Fasern erst ab einem Durchmesser von 0,2 µm gezählt werden. Dünnere Fasern werden qualitativ erwähnt, aber nicht gezählt. Zur Bestimmung der Konzentration nanoskaliger Fasern befinden sich Analyseverfahren und Zählkriterien in der Entwicklung [4].

3 Bestehende Grenzwerte

Bis 2005 bestanden Grenzwerte für Hochtemperaturwollen und alle krebserzeugenden oder im Krebsverdacht stehenden anorganischen Fasern (Wert der Technischen Richtkonzentration 250 000 F/m³). Seit Umstellung der Bewertung krebserzeugender Stoffe auf das Prinzip der Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB) sind jedoch nur für Asbest und Aluminiumsilikatfasern ERB-Werte aufgestellt worden [5] (Tabelle 2). Alle übrigen anorganischen, als krebserzeugend eingestuften Fasern sind derzeit nicht durch Beurteilungsmaßstäbe begrenzt.

Einzig für alte, als krebserzeugend eingestufte Mineralwollen finden sich in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 521 Expositionsschwellen, die zur Unterscheidung verschiedener Schutzmaßnahmenniveaus dienen [6] und damit eine einem Grenzwert vergleichbare Bedeutung haben, siehe Tabelle 2.

Um in der Praxis aber eine konsistente Beurteilung von Faserexpositionen an Arbeitsplätzen durchführen zu können, werden in Abstimmung der UVT und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) als plausibelster Lösungsansatz Analogieschlüsse zu den wenigen bestehenden Beurteilungs-

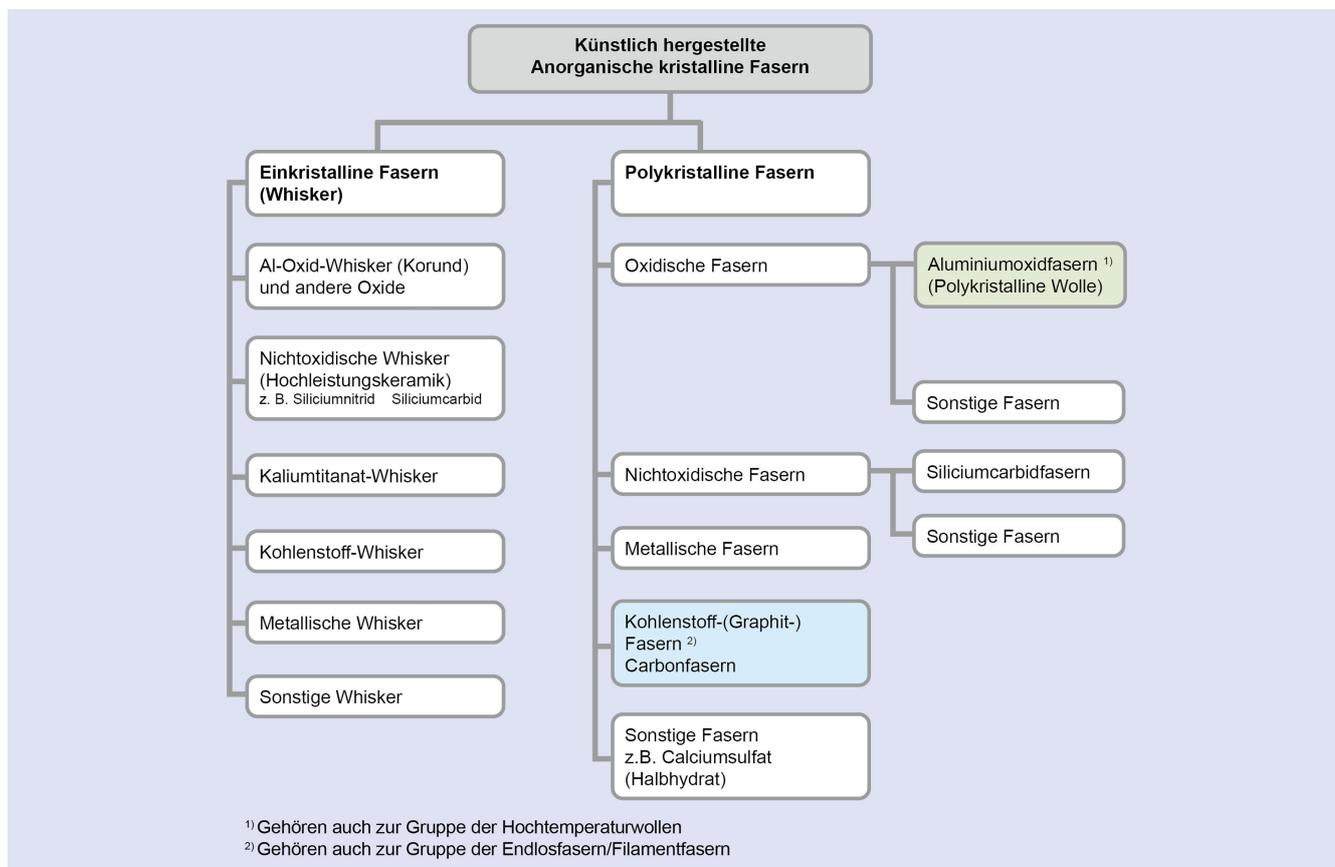


Bild 3 Systematik synthetischer kristalliner anorganischer Fasern. Carbonfasern sind blau, Aluminiumoxidfasern grün unterlegt dargestellt, da diese auch zur Gruppe der Filamentfasern bzw. Hochtemperaturwollen gehören, siehe Bild 2. Grafik: IFA (nach [1] und [2])

Tabelle 3 Faserarten, für die für das Inverkehrbringen eine Einstufung nach REACH besteht (Einträge in Anhang VI Teil 3 der Richtlinie EG 1272/2008; [8]).

Faserart	Einstufung
Mineralwolle soweit in dieser Liste nicht gesondert aufgeführt (künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat-)Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na ₂ O+K ₂ O+ CaO+MgO+BaO) von über 18 Gewichtsprozent)	Kat. 2
Feuerfeste Keramikfasern ¹⁾ , Fasern für besondere Verwendungszwecke, soweit in dieser Liste nicht gesondert aufgeführt (künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat-)Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na ₂ O+K ₂ O+CaO+MgO+BaO) von weniger oder gleich 18 Gewichtsprozent)	Kat. 1B
E-Glas-Mikrofasern in repräsentativer Zusammensetzung (ungerichtete Calcium-Aluminium-Silicat-Fasern mit folgender repräsentativer Zusammensetzung (Angabe in % Massenanteil): SiO ₂ 50,0 bis 56,0 %, Al ₂ O ₃ 13,0 bis 16,0 %, B ₂ O ₃ 5,8 bis 10,0 %, Na ₂ O <0,6 %, K ₂ O <0,4 %, CaO 15,0 bis 24,0 %, MgO <5,5 %, Fe ₂ O ₃ <0,5 %, F ₂ <1,0 %. Verfahren: Herstellung typischerweise im Düsenblasverfahren oder im Schleuderverfahren. Weitere Einzel-elemente können in geringen Mengen vorhanden sein. Die Verfahrensliste schließt Innovationen nicht aus.)	Kat. 1B
Glas-Mikrofasern ¹⁾ in repräsentativer Zusammensetzung (ungerichtete Calcium-Aluminium-Silicat-Fasern mit folgender Zusammensetzung (Angabe in % Massenanteil): SiO ₂ 55,0 bis 60,0 %, Al ₂ O ₃ 4,0 bis 7,0 %, B ₂ O ₃ 8,0 bis 11,0 %, ZrO ₂ 0,0 bis 4,0 %, Na ₂ O 9,5 bis 13,5 %, K ₂ O 0,0 bis 4,0 %, CaO 1,0 bis 5,0 %, MgO 0,0 bis 2,0 %, Fe ₂ O ₃ <0,2 %, ZnO 2,0 bis 5,0 %, BaO 3,0 bis 6,0 %, F ₂ <1,0 %. Verfahren: Herstellung typischerweise im Düsenblasverfahren oder im Schleuderverfahren. Weitere Einzelelemente können in geringen Mengen vorhanden sein. Die Verfahrensliste schließt Innovationen nicht aus)	Kat. 2
Siliciumcarbidfasern (mit Durchmesser < 3 µm, Länge > 5 µm und Seitenverhältnis ≥ 3:1)	Kat. 1B

¹⁾ alte Bezeichnung für Aluminiumsilikatfasern

²⁾ Die genannte Zusammensetzung entspricht Mikroglasfasern vom Typ B-Glas

maßstäben vorgenommen. Dabei werden die betreffenden Faserarten in drei Kategorien eingeteilt – abhängig davon, ob die Faserart bezüglich der Herstellung, der Ausprägung, der Einstufung oder anderer markanter Eigenschaften am ehesten mit Asbest, Aluminiumsilikatfasern oder alten Mineralwollen gleichgestellt werden sollte. Die Tabellen 1 und 2 zeigen die derzeit in der Praxis angewendeten Analogieschlüsse. Gründe für diese Zuordnung sind für bestimmte Faserarten im übernächsten Abschnitt dargelegt.

4 Einstufung von anorganischen Fasern

Voraussetzung für eine Einstufung ist das Vorhandensein von WHO-Fasern (Länge > 5 µm, Durchmesser < 3 µm, Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis > 3:1). Die für die Abmessungen bestimmende Konvention hat die WHO 1986 veröffentlicht [7]. Die Dimension bzw. Abmessungen der Fasern stellen ein eigenständiges krebserzeugendes Wirkprinzip dar, das den Alveolarbereich der Lunge betrifft.

Die Bewertung von Faserexpositionen an Arbeitsplätzen führt regelmäßig zu Missverständnissen, da zwei Arten von Einstufungen bestehen, deren Zuordnung auch in Sicherheitsdatenblättern nicht immer richtig differenziert erfolgt. Für das Inverkehrbringen und die Beurteilung der Exposition am Arbeitsplatz sind verschiedene Regelwerke heranzuziehen, worauf im Folgenden eingegangen wird.

4.1 Einstufung für das Inverkehrbringen

Die gemäß REACH (Regulation concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) vorzunehmende Einstufung zielt auf das Inverkehrbringen von Fasermaterialien ab. Die in Richtlinie EG 1272/2008 [8] aufgeführten und mit einer Einstufung versehenen Faserarten sind in **Tabelle 3** zusammengestellt. Diese Auflistung nennt jedoch nur einen Teil der technisch relevanten Faserarten konkret. Die ersten beiden Einträge unterscheiden anhand der Gehalte an Alkali- und Erdalkalioxiden (Summe > oder ≤ 18 %) zwischen „typischen“ Mineralwollen einerseits (Einstufung Kat. 2) und Aluminiumsilikatfasern andererseits (Einstufung Kat. 1B). Eine ganze Reihe spezifischer amorpher Wollen kann diesen Einträgen zugeordnet werden. Hiervon kann abgewichen werden, wenn andere Kriterien erfüllt sind, die in den Anmerkungen Q und R zu Anhang VI Teil 3 der Richtlinie EG 1272/2008 genannt sind¹⁾. Die „Freischreibung“ der in Deutschland mit dem RAL-Kennzeichen vertriebenen neuen Mineralwollen erfolgt typischerweise mit Bezug auf die Erfüllung einer der in Anmerkung Q festgelegten Bedingungen. Auch für bestimmte Mikroglasfasern haben Hersteller auf dieser Grundlage eine Freischreibung ihrer Produkte erreichen können. Die sich auf Grundlage der Richtlinie EG 1272/2008 ergebenden Einstufungen sind in Spalte 2 der

¹⁾ Anmerkung Q: Die Einstufung als karzinogen ist nicht zwingend, wenn nachgewiesen werden kann, dass der Stoff eine der nachstehenden Bedingungen erfüllt:

- Mit einem Kurzzeit-Inhalationsbiopersistenztest wurde nachgewiesen, dass die gewichtete Halbwertszeit der Fasern mit einer Länge von über 20 µm weniger als zehn Tage beträgt.
- Mit einem Kurzzeit-Intratrachealbiopersistenztest wurde nachgewiesen, dass die gewichtete Halbwertszeit der Fasern mit einer Länge von über 20 µm weniger als 40 Tage beträgt.
- Bei einem geeigneten Intraperitonealtest ergaben sich keine Belege für übermäßige Karzinogenität.
- Bei einem geeigneten Langzeit-Inhalationstest blieben eine relevante Pathogenität oder neoplastische Veränderungen aus.

Anmerkung R: Die Einstufung als karzinogen ist nicht zwingend für Fasern, bei denen der längengewichtete mittlere geometrische Durchmesser abzüglich der zweifachen geometrischen Standardabweichung größer ist als 6 µm.

²⁾ (3) Die Einstufung von WHO-Fasern kann durch einen Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation, vorzugsweise mit Faserstäuben in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, vorgenommen werden.

1. Wird für WHO-Fasern in einem Kanzerogenitätsversuch nach Satz 1 mit einer Dosis von 1 x 10⁹ WHO-Fasern eine kreberzeugende Wirkung beobachtet, erfolgt eine Einstufung in Kategorie 1B. Dagegen erfolgt eine Einstufung in Kategorie 2, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine kreberzeugende Wirkung beobachtet wurde.

2. In letzterem Fall empfiehlt es sich, zusätzlich einen Kanzerogenitätsversuch nach Satz 1 mit einer Dosis von 5 x 10⁹ WHO-Fasern durchzuführen. Wird bei dieser Dosis eine kreberzeugende Wirkung der Faserstäube nachgewiesen, wird die Einstufung in Kategorie 2 beibehalten. Dagegen erfolgt keine Einstufung der WHO-Fasern, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine kreberzeugende Wirkung beobachtet wurde.

Tabelle 4 Einstufung verschiedener Arten amorpher anorganischer Fasern.

Fasermaterial	Einstufung zum Inverkehrbringen (EG 1272/2008)	KI-Wert *	Einstufung gemäß KI-Wert	Einstufung am Arbeitsplatz nach TRGS 905
Aluminiumsilikatfasern	1B	-120 bis -80	1B	1B
AES-Wolle	--- / 0	12 bis 43	1B / 2 / 0	0
Alte Mineralwolle	2	-66 bis 44	1B / 2 / 0	1B
Neue Mineralwolle	--- / 0	-21 bis 22	1B	0
Textilglasfasern	---	-40 bis 30	1B	1B
Mikroglasfasern	1B / 2 / 0	1 bis 28	1B	1B

---: Fasertyp wird in Richtlinie EG 1272/2008 nicht konkret genannt.

0: Freischreibung eines bestimmten Fasertyps durch Erfüllung eine der in Anmerkung Q (Spalte 2) oder in TRGS 905 Abschn. 2.3 (3) u. (4) (Spalte 5) festgelegten Bedingungen oder aufgrund eines KI von ≥ 40 (Spalte 3).

* KI-Wert (Kanzerogenitätsindex) berechnet auf Grundlage publizierten Daten zur chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Faserarten.

Tabelle 4 für die wesentlichen technisch relevanten Produkte aufgeführt.

In den letzten Jahren sind dann zusätzlich weitere Einträge für zwei Arten von Mikroglasfasern erfolgt. Es handelt sich um die Typen mit der Zusammensetzung E-Glas und B-Glas. Die Einstufung anderer Sorten von Mikroglasfasern, die ebenfalls technisch verwendet werden (z. B. Typ A- und C-Glas), ist damit nicht geklärt. Zuletzt ist auch ein Eintrag für Siliciumcarbidgefasern aufgenommen worden. Da als Konkretisierung nur die WHO-Abmessungen genannt sind (siehe Tabelle 3), gilt diese Einstufung sowohl für Splitter aus granulärem SiC als auch für SiC-Whisker (siehe Bild 3).

Für bestimmte Faserarten wie Textilglasfasern oder Carbonfasern finden sich keine Einstufungen. Der Grund hierfür ist, dass diese Fasern deutlich größere Durchmesser als 3 µm aufweisen und im vertriebenen Fasermaterial somit keine lungengängigen Fasern enthalten sind. Der Durchmesser von Textilglasfasern liegt je nach Produkt in einem Bereich von etwa 10 bis 25 µm. Bei Carbonfasern finden sich zumeist Durchmesser zwischen 5 und 9 µm.

4.2 Einstufung für die Bewertung von Expositionen

Im Unterschied zum Inverkehrbringen wird die Einstufung von Fasern an Arbeitsplätzen jedoch durch den Abschnitt 2.3 der TRGS 905 bestimmt [9]. Für alle amorphen (glasigen) anorganischen Fasern ist nach wie vor der sogenannte Kanzerogenitätsindex (KI) die wesentliche Entscheidungsgröße. Dieser wird berechnet, indem von der Summe der Massenanteile der Alkali- und Erdalkalioxide der verdoppelte Massenanteil an Al₂O₃ subtrahiert wird. Abhängig von der Höhe des KI gilt eine Faserart dann als eingestuft in die Kat. 1B (KI ≤ 30) oder in die Kat. 2 (KI < 40) oder als freigeschrieben (KI ≥ 40).

Auch nach TRGS 905 besteht die Möglichkeit, auf Grundlage bestimmter Nachweise eine abweichende Einstufung zu erreichen (Abschnitt 2.3, (3) und (4))²⁾. Ein Dilemma dabei ist, dass sich diese Kriterien zur Festlegung einer anderen Einstufung bzw. Freischreibung einer Faserart von denen unterscheiden, die nach Richtlinie EG 1272/2008 vorgegeben sind (siehe Fußnoten 1 und 2). Somit erfüllen Faserarten, für die nach Richtlinie EG 1272/2008 eine schwächere Einstufung bzw. Freischreibung vor-

Tabelle 5 Einstufung bestimmter kristalliner anorganischer Faserarten nach TRGS 905, Abschnitt 2.3 Nr. 5 bis 7 [9].

Einstufung in	Faserart
Kat. 1A	Erionit
Kat. 1B	Attapulgit Dawsonit künstlich hergestellte Whisker aus Al-Oxid, Si-Carbid, K-Titanaten
Kat. 2	Halloysit Magnesiumoxidsulfat Nemalith Sepiolith anorganische Faserstäube soweit nicht erwähnt
Nicht eingestuft	Gips Wollastonit

Tabelle 6 Bezeichnung der Kategorien krebserzeugender Stoffe im technischen Regelwerk.

Einstufung	Bezeichnung bis 2016	Bezeichnung ab 2016
Erwiesenermaßen beim Menschen krebserzeugend	Kat. 1	Kat. 1A
Im Tierversuch krebserzeugend	Kat. 2	Kat. 1B
Verdacht auf krebserzeugende Wirkung	Kat. 3	Kat. 2

genommen werden kann, nicht unbedingt die Kriterien, die nach TRGS 905 dafür festgelegt sind. In Sicherheitsdatenblättern wird häufig nur auf eine Einstufung auf Grundlage der Richtlinie EG 1272/2008 verwiesen. Die an sich zwingende Darstellung der Einstufung auf Grundlage der TRGS 905³⁾ erfolgt dabei häufig nicht. Dass die damit im Sicherheitsdatenblatt genannte Einstufung nicht für die Bewertung am Arbeitsplatz gilt, führt immer wieder zu Irritationen. Für die praktische Beurteilung sind daher in Tabelle 4 diese Unterschiede bei der Einstufung sehr vereinfacht für die wesentlichen technisch verwendeten amorphen Fasermaterialien zusammengestellt. Die für die jeweilige Faserart am Arbeitsplatz relevante Einstufung ist in Spalte 5 der Tabelle aufgeführt.

Im Abschnitt 2.3 der TRGS 905 werden außerdem für eine ganze Reihe von kristallinen anorganischen Fasern Einstufungen genannt (**Tabelle 5**). Auffällig bei dieser Auflistung ist, dass eine ganze Reihe von Fasern genannt werden, die im industriellen Einsatz keine Rolle spielen. Dagegen fehlen wichtige technisch verwendete Faserarten. Eine bedeutende Nennung in der Aufzählung ist „anorganische Faserstäube, soweit nicht erwähnt“. Durch

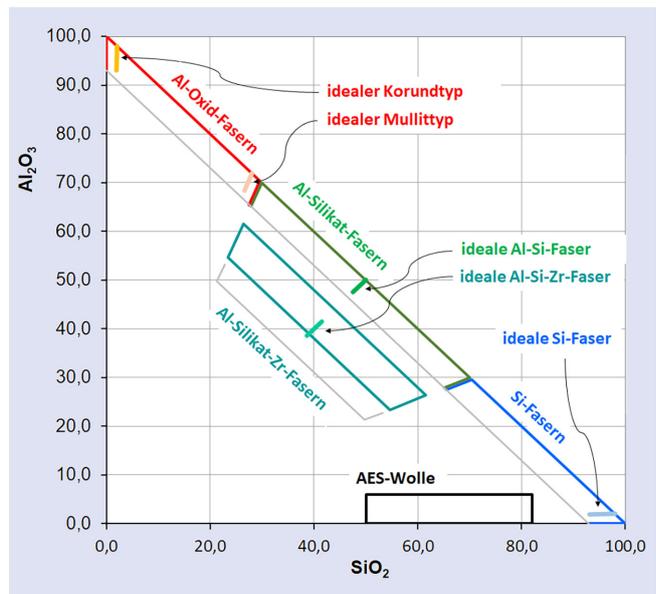


Bild 4 Konvention zur Charakterisierung von Hochtemperaturwolle-Fasern anhand ihrer mittels EDX-Analyse ermittelten chemischen Zusammensetzung. Neben der idealen Zusammensetzung sind auch die Spannbreiten der Anteile von Al- und Si-Oxid-Anteilen aufgeführt, die dem jeweiligen Fasertyp zugeordnet werden (Zuordnung zu AES-Wolle: SiO₂: 50 bis 82 %, CaO + MgO: 18 bis 43 %, Al₂O₃ + TiO₂ + ZrO₂ < 6 %; andere Oxide: Spuren [20]). Die Variationsbreite der quantitativen Bestimmung mittels EDX-Analyse sollte zusätzlich beachtet werden. Grafik: Autor

diese Position sind alle kristallinen anorganischen Fasern (bis auf die in der TRGS 905 anders zugeordneten Faserarten) pauschal zumindest in die Kategorie 2 der krebserzeugenden Stoffe eingestuft. Damit soll dem generellen Wirkprinzip von WHO-Fasern Rechnung getragen werden. Dieser „Lumpensammler“ bietet daher auch die Möglichkeit, eine Einstufung für Faserarten vornehmen zu können, für die bislang keine ausreichenden toxikologischen Bewertungen existieren. Auf diesem Wege wurden die in der Präventionspraxis angewendeten Bewertungen von Carbonfasern und polykristallinen Wollen (Al-Oxidfasern) abgeleitet (siehe Tabelle 1).

Generell sei noch darauf hingewiesen, dass bei Vorliegen älterer Dokumente eine Verwechslung der genannten Einstufungen möglich ist, da im Jahr 2016 die im technischen Regelwerk verwendete Nomenklatur geändert wurde (**Tabelle 6**).

5 Bewertung bestimmter Faserarten

5.1 Mineralwollen

Da im Handel nur noch freigeschriebene Mineralwollen vertrieben werden dürfen (siehe Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), Anhang II Nr. 5 „Biopersistente Fasern“), kann man für diese Wollen davon ausgehen, dass es sich nicht um krebserzeugende Fasern handelt. Die DGUV Information 213-031 [11] (DGUV: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung) informiert hierüber ausführlich. Problematisch kann es jedoch sein, wenn Mineralwolleprodukte aus dem Ausland verwendet werden, für die keine Informationen darüber vorliegen, ob die oben genannten Regeln zum Inverkehrbringen nach GefStoffV erfüllt sind. Diese Situation kann z. B. gegeben sein, wenn für Flugzeuge oder technische Anlagen mineralwollhaltige Originalersatzteile aus dem Ausland zu verwenden

(4) Die Einstufung von WHO-Fasern kann auch durch Bestimmung der in vivo-Bio-beständigkeit erfolgen. Danach erfolgt eine Einstufung in die Kategorie 2 der krebserzeugenden Stoffe, wenn für WHO-Fasern nach intratrachealer Instillation von 4 x 0,5 mg Fasern in einer Suspension eine Halbwertszeit von mehr als 40 Tagen ermittelt wurde. Die WHO-Fraktion der instillierten Faserprobe sollte einen mittleren geometrischen Durchmesser von 0,6 µm oder mehr aufweisen. Faserproben mit kleinerem Durchmesser können geprüft werden, falls dies mit dem geringeren Durchmesser des Ausgangsmaterials begründet werden kann. Die Halbwertszeit sollte mit der nichtlinearen exponentiellen Regression gemäß ECB/TM27 rev. 7 berechnet werden. Falls nach den dort genannten Kriterien eine biphasige Eliminationskinetik zur Beschreibung der Retentionsdaten erforderlich ist, ist die Halbwertszeit der langsamen Eliminationsphase zur Bewertung heranzuziehen. Kriterien für die Einstufung in die Kategorie 1B liegen nicht vor.

³⁾ Bei der Darstellung der Einstufung im Abschnitt 6 des Sicherheitsdatenblattes sind die vom AGS aufgestellten Regeln und gewonnene Erkenntnisse, die in Bezug auf Fasern in der TRGS 905 vorliegen, zu beachten (Siehe TRGS 220, Abschnitt 4.2 (2); [x6]).

den sind, um die Betriebserlaubnis zu erhalten. Bei exponierten Tätigkeiten mit derartigen Produkten ist dann gemäß TRGS 905 zunächst von einer Einstufung in die Kat. 1B auszugehen.

Beim Umgang mit verbauten Mineralwollen (z. B. Reparatur, Rückbau) ist bei Produkten, die vor 2000 hergestellt wurden („alte Mineralwollen“) oder bei denen das Verbaudatum nicht mehr bekannt ist, grundsätzlich von einer Einstufung in die Kat. 1B auszugehen. Details dazu sind in TRGS 521 erläutert [6]. Um im Einzelfall die Einstufung festzustellen, kann im Allgemeinen nicht zu einer Bestimmung des KI-Wertes anhand der chemischen Analyse einer Probe des verbauten Materials geraten werden. Wie in Spalte 3 und 4 der Tabelle 4 aufgeführt, kann das Ergebnis der KI-Bestimmung bei alten Mineralwollen zu sehr unterschiedlichen Einstufungen führen (obwohl die TRGS 521 grundsätzlich eine Einstufung in Kat. 1B vorgibt) und wird bei neuen, freigeschriebenen Mineralwollen fast immer zu einer Einstufung in die Kat. 1B führen (obwohl diese Fasermaterialien freigeschrieben sind). Der wesentliche Grund hierfür ist, dass die Bewertung nach KI-Wert von den Eigenschaften bestimmter Borosilikatgläser abgeleitet wurde und für Mineralwollen, vor allem die neuen Mineralwollen, nicht zutreffend ist.

5.2 Mikroglasfasern

Sowohl in ihrem Erscheinungsbild als auch der chemischen Zusammensetzung sind Mikroglasfasern (Glas-Mikrofasern) den Mineralwollen vergleichbar. Im Unterschied dazu zeigen Mikroglasfaserwollen aber einen mit ca. 20 Masse-% signifikant größeren Anteil an lungengängigen WHO-Fasern. Dieser liegt bei den heutigen Mineralwollen zumeist bei nur etwa 1 Masse-%. Damit besteht beim Umgang mit Mikroglasfasern ein sehr hohes Freisetzungspotenzial an kritischen Fasern. Trotz der von Herstellern in Bezug genommenen unterschiedlichen Einstufungen spezieller Mikroglasfasertypen ergibt die Beurteilung anhand des KI-Wertes nach TRGS 905 für die wesentlich verbreiteten Typen eine Einstufung in die Kat. 1B für die Beurteilung am Arbeitsplatz (siehe Tabelle 4).

5.3 Hochtemperaturwollen

Zur Gruppe der Hochtemperaturwollen zählen neben den glasigen Wollen auch die kristallinen Aluminiumoxidfasern (polykristalline Wolle). Bei diesen werden zwei Typen unterschieden (Korund- und Mullittyp), auf die teilweise auch in Sicherheitsdatenblättern verwiesen wird. Während in technischen Informationen häufig eine ideale chemische Zusammensetzung der jeweiligen Faserart zu finden ist (Bild 4), zeigt die Analyse von Hochtemperaturwollen bei Luftproben aus Arbeitsbereichen nicht selten eine größere Spannweite des Verhältnisses von Al- und Si-Anteilen. Zum Teil sind in Luftproben nur einzelne Hochtemperaturwollefasern festzustellen, die sich im Rahmen der Produktfaserbestimmung nicht konkret einem bestimmten Typ zuordnen lassen. Um eine einheitliche Abgrenzung der Faserart zu erreichen, wird in diesen Fällen empfohlen, die in Bild 4 dargestellte Unterscheidung in die drei Untergruppen Aluminiumoxidfasern, Aluminiumsilikatfasern und Siliciumfasern vorzunehmen. Eine genaue Festlegung des Anteils anderer Oxide außer SiO₂ und Al₂O₃ erfolgt nicht. Dieser sollte aber nicht mehr als wenige Masse-% betragen (graue Linien in Bild 4). Bei der analytischen Abgrenzung der Gruppen untereinander sollten zusätzlich auch

Tabelle 7 Gruppierung verschiedener anorganischer Faserarten (außer Asbest und Erionit) nach Einstufung und zu berücksichtigendem Schutzmaßnahmenkonzept.

Einstufung	Schutzmaßnahmenkonzept nach		
	TRGS 558	TRGS 521	TRGS 500 (A-, E-Staub*)
Kat. 1B	Aluminiumsilikatfasern, Siliciumcarbid(-Whisker), Whisker	Alte Mineralwollen, Textilglasfasern, Mikroglasfasern	
Kat. 2	Polykristalline Wollen	Carbonfasern, Talk und Fasern anderer Minerale	
Kat. 0			Hochtemperaturwolle / AES-Wolle, Neue Mineralwollen, Gips, Wollastonit

* Die Bewertung von Faserstäuben erfolgt grundsätzlich auch mit dem Allgemeinen Staubgrenzwert. Bei nicht eingestuften Faserstäuben ist dieser der wesentliche Beurteilungsmaßstab.

die Streubreiten der Quantifizierung von Elementgehalten mittels EDX-Analysen berücksichtigt werden.

In Bezug auf Aluminiumsilikatfasern ist noch darauf hinzuweisen, dass in einigen Fällen faserförmige Partikel aus Aluminiumsilikaten (kristalline aluminiumhaltige silikatische Minerale, eingestuft in Kat. 2) bei REM-EDX-Analysen mit diesen verwechselt werden und fälschlicherweise als Aluminiumsilikatfasern ausgewiesen werden (glasige Fasern, eingestuft in Kat. 1B).

Die überwiegend aus SiO₂ bestehenden Hochtemperaturwollen (Siliciumfasern), die in der üblichen Nomenklatur nicht spezifisch genannt sind (als Produkte aber vertrieben werden), werden z. B. als Quarzwolle bezeichnet. Gemäß KI-Wert ergibt sich eine Einstufung in die Kat. 1B. Zu beachten ist, dass mit der Bezeichnung Silikatfaser oder Kieselsäurefaser ebenfalls fast nur aus SiO₂ bestehende Fasern benannt werden, die aber als Filamentfasern nicht den Wollen zugeordnet werden und entsprechend dem Vorgehen bei Textilglasfasern bewertet werden.

5.4 Textilglasfasern

Textilglasfasern werden wie Mineralwollen aus Glasschmelzen erzeugt und sind amorph. Wie auch bei Mikroglasfasern werden verschiedene Typen von Textilglasfasern anhand von Glasarten unterschieden. Der gängigste Typ sind Textilglasfasern aus E-Glas. Besonders alkaliresistente Typen bestehen z. B. aus AR-Glas. Die Anwendung des KI-Wertes gemäß TRGS 905 für die splitterförmigen Fasern aller üblichen Varianten von Textilglasfasern ergibt eine Einstufung in Kat. 1B. Da die Fasern in Bezug auf ihre mechanischen Eigenschaften und Beständigkeit eher den Mineralwollen als den Aluminiumsilikatfasern vergleichbar sind, sollte sich eine Festlegung von Schutzmaßnahmen an den Vorgaben der TRGS 521 orientieren. Nicht selten werden Textilglasfasern auch als Stepp- oder Nähfäden für Carbonfaser-Gelege verwendet. Abgesehen von der unterschiedlichen Einstufung werden Expositionen beider Fasertypen dann in Bezug auf die TRGS 521 bewertet.

Mit Verweis auf verschiedenartigste Untersuchungen wird von einigen Herstellern auch in Sicherheitsdatenblättern immer wieder darauf verwiesen, dass aus den betreffenden Textilglasfasern eine Freisetzung von WHO-Fasern auszuschließen sei. Dies ist jedoch nicht richtig. Es ist deshalb noch einmal besonders zu erwähnen, dass grundsätzlich von einer Freisetzung splitterförmiger

Fasern mit WHO-Abmessungen aus Textilglasfasern bei mechanischer Bearbeitung auszugehen ist. Die in den letzten 20 Jahren von den UVT in Vielzahl durchgeführten Expositionsmessungen in Bereichen der Verarbeitung von Textilglasfasern belegen dies regelmäßig [12].

5.5 Carbonfasern

Aus den an sich nicht lungengängigen Carbonfasern werden erst durch die mechanische Bearbeitung splitterförmige WHO-Fasern erzeugt [12]. Aufgrund des Herstellungsverfahrens handelt es sich bei Carbonfasern um anorganische Fasern. Es bestehen kein konkreter Grenzwert und keine konkrete Einstufung. Eine Einstufung in die Kat. 2 ergibt sich gemäß TRGS 905 Abschnitt 2.3 (7) Satz 5 („anorganische Faserstäube, soweit nicht erwähnt“). Eine schärfere Bewertung erscheint mit Bezug zur TRGS 905 derzeit nicht angezeigt, da zum einen der KI-Wert als Kriterium nicht angewendet werden kann und zum anderen die Genese der Fasern nicht mit bestimmten Kriterien schärfer eingestufte Fasern übereinstimmt (z. B. Whiskerwachstum). Erste Untersuchungen weisen jedoch auf eine vergleichsweise hohe Biopersistenz von Carbonfasern hin [13]. Eine Festlegung von Schutzmaßnahmen sollte sich an den Vorgaben der TRGS 521 orientieren. Hinweise zu einer entsprechenden Gefährdungsbeurteilung finden sich in zwei Schriften des Fachbereichs Holz und Metall (DGUV-Information „Herstellung von CFK-Bauteilen“ [14]; DGUV-Information „Bearbeitung von CFK-Materialien“ [15]). Der Bezug zum Schutzniveau der TRGS 521 (Umgang mit nach Kat. 1B eingestufte Mineralwolle) würde somit auch eine mögliche schärfere Bewertung gemäß Kat. 1B berücksichtigen.

Neben den überwiegend eingesetzten sogenannten „PAN-basierten“ Carbonfasern (Herstellung auf Basis von Polyacrylnitril) werden für besondere Anwendungszwecke auch „pechbasierte“ Carbonfasern eingesetzt (hergestellt auf Basis von Mesophasenpechen, [16]). Letztere zeichnen sich durch eine sehr gut ausgeprägte Längsspaltbarkeit aus, wodurch signifikant höhere Faserexpositionen auftreten als bei der Verwendung von PAN-basierten Carbonfasern. Auch cellulosebasierte Carbonfasern sind verfügbar und werden z. B. als Filz verwendet.

5.6 Whisker

Neben absichtlich technisch hergestellten Whiskern entstehen auch bei thermischen Prozessen (z. B. Herstellung keramischer Werkstücke) Whisker unterschiedlicher Zusammensetzung. Für bestimmte Whisker besteht gemäß TRGS 905 eine Einstufung in die Kat. 1B (siehe oben). Um sicherzugehen, sollten auch andere Whisker in die Kat. 1B eingestuft werden. Whisker sind kristallin und aufgrund dessen im Vergleich zu amorphen Fasern (Mineralwollen, Textilglasfasern) grundsätzlich als biobeständiger zu betrachten. Daher sollten höhere Anforderungen an das Schutzmaßnahmenkonzept gestellt werden, als durch die TRGS 521 vorgesehen. Es wird daher empfohlen, die Schutzmaßnahmen in Analogie zur Schutzstufeneinteilung für Aluminiumsilikatfasern gemäß TRGS 558 umzusetzen.

6 Schutzmaßnahmenkonzepte

Bei Gefährdungsbeurteilungen im Hinblick auf die Exposition gegenüber anorganischen Fasern kann auf drei verschiedene spe-

zifische Schutzmaßnahmenkonzepte zurückgegriffen werden. Für die in Kat. 1A eingestuften Asbeste werden für Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten die TRGS 519 [17] und für den Umgang mit potenziell asbesthaltigen mineralischen Rohstoffen die TRGS 517 [18] herangezogen. Für die in diesem Beitrag diskutierten Arten anorganischer Fasern verbleibt eine Zuordnung entweder zu dem für Aluminiumsilikatfasern in der TRGS 558 [19] aufgestellten Schutzmaßnahmenkonzept oder dem für alte Mineralwollen gemäß TRGS 521 [6] bestehenden (siehe Tabelle 2). Bezüglich der Gefährdung werden Aluminiumsilikatfasern kritischer betrachtet als alte Mineralwollen. Dies spiegelt sich derzeit in den unterschiedlich hohen Expositionsgrenzen wider, welche die jeweils drei verschiedenen Schutzstufen voneinander abgrenzen (siehe Tabelle 2). Eine Zuordnung der wichtigsten technisch eingesetzten Faserarten zu einem der beiden Konzepte ist im Abschnitt zuvor diskutiert worden. Die wesentlichen Aspekte zur Bewertung der einzelnen Faserarten sind in Tabelle 1 zusammengefasst dargestellt.

7 Vorschlag zur Bewertung der Exposition

Die Konzentration verschiedener anorganischer Fasern wird, soweit differenzierbar, in Messberichten separat ausgewiesen. Bei der Bewertung sollte jedoch eine Summenbetrachtung erfolgen, da das schädigende Wirkprinzip aller Faserarten gleich ist. Eine konkrete Ausgestaltung der Vorgehensweise dabei ist in bisherigen Regelwerken nicht erfolgt. Für Faserarten mit gleichem zu berücksichtigenden Schutzmaßnahmenkonzept und ggf. gleicher Einstufung sollten die Faserkonzentrationen aber konsequenterweise summiert und dann mit dem jeweiligen Beurteilungsmaßstab bewertet werden. In **Tabelle 7** sind die entsprechenden Gruppen zusammengefasst. ■

DANKSAGUNG

Die vorliegenden Konventionen haben sich durch jahrelange Abstimmung und Diskussion mit verschiedenen beteiligten Gruppen etabliert, deren Anregungen hier eingeflossen sind. Für die intensive Mitwirkung möchte ich an dieser Stelle vor allem den Kollegen und der Kollegin aus verschiedenen Unfallversicherungsträgern danken: *Marnix Poppe* und *Roman Weiß* (Berufsgenossenschaft Holz und Metall), *Michael Piskorz*, *Dirk Fendler* und *Franz Demme* (Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse), *Dr. Karlheinz Guldner* (Verwaltungs-Berufsgenossenschaft), *Petra Begander* und *Andreas Zimmermann* (Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie) und *Dr. Christoph Emmel* (Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft). Danken möchte ich auch Prof. Dr. *Thomas Gebel* und Dr. *Rolf Packroff* (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) für wichtige Diskussionen und Unterstützung.

Literatur

- [1] DGUV Information 213-546: Verfahren zur getrennten Bestimmung der Konzentrationen von lungengängigen anorganischen Fasern in Arbeitsbereichen – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2014.
- [2] Faserstäube, anorganisch. Nachtrag 2017 zur MAK-Begründung „Faserstäube“. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 1993.
- [3] Richtlinie 2009/148/EG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Asbest am Arbeitsplatz vom 30. November 2009 (kodifizierte Fassung).
- [4] *Pitzko, S.; Bäger, D.; Dziurawitz, N.; Perseke, D.; Wenzlaff, D.; Thim, C.* et al.: Expositionen alveolengängiger Fasern an Arbeitsplätzen mit Durchmesser unterhalb der WHO-Zählgrenze von 200 nm. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 81 (2022) Nr. 3-4, S. 53.
- [5] Technische Regel für Gefahrstoffe: Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (TRGS 910). *GMBI.* (2014) Nr. 12, S. 258-270; zul. geänd. *GMBI.* (2022) Nr. 7, S. 162.
- [6] Technische Regel für Gefahrstoffe: Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle (TRGS 521). *GMBI.* (2008) Nr. 14, S. 279-286.
- [7] Asbestos Convention, No. 162. Hrsg.: International Occupational Safety and Health Information Centre (CIS), 1986.
- [8] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008: Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP- Gesetzgebung) vom 16. Dezember 2008.
- [9] Technische Regel für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe (TRGS 905). *GMBI.* (2016) Nr. 19, S. 378-390; zul. geänd. *GMBI.* (2021) Nr. 41, S. 899.
- [10] Technische Regel für Gefahrstoffe: Nationale Aspekte beim Erstellen von Sicherheitsdatenblättern (TRGS 220). *Ausg. 2/2022, GMBI.* (2022) Nr. 8, S. 173-182.
- [11] DGUV Information 213-031 „Tätigkeiten mit Mineralwolle-Dämmstoffen (Glaswolle, Steinwolle). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2019.
- [12] *Mattenklott, M., Van Gelder, R.*: Carbonfasern und carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Teil 1: Charakterisierung, Exposition, Bewertung und Schutzmaßnahmen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 79 (2019) Nr. 9, S. 317-321. https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2019_124.pdf
- [13] *Westphal, G.; Monsé, C.; Walter, D.; Brüning, T.; Bünger J.*: Gefährdungsanalyse für Carbonfaser-verstärkte Kunststoffe. *IPA-Journal* 01/2019, S. 10-13.
- [14] DGUV Information: Herstellung von CFK Bauteilen. Orientierungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung bei der Serienfertigung. *Ausg. 08/2017.* Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2017.
- [15] DGUV Information: Bearbeitung von CFK Materialien. Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen. *DGUV Information, Ausg. 10/2014.* Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2014.
- [16] *Bäger, D.* et al.: Pechbasierte Carbonfasern als Quelle alveolengängiger Fasern bei mechanischer Bearbeitung von carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK). *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 79 (2019) Nr. 1-2, S. 13-16.
- [17] Technische Regel für Gefahrstoffe: Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten (TRGS 519). *GMBI.* (2014) Nr. 8/9, S. 164-201; zul. geänd. *GMBI.* (2022) Nr. 12, S. 269-272.
- [18] Technische Regel für Gefahrstoffe: Tätigkeiten mit potenziell asbesthaltigen mineralischen Rohstoffen und daraus hergestellten Gemischen und Erzeugnissen (TRGS 517). *GMBI.* (2013) Nr. 18, S. 382-396; zul. geänd. *GMBI.* (2015) Nr. 7, S. 137-138.
- [19] Technische Regel für Gefahrstoffe: Tätigkeiten mit Hochtemperaturwolle (TRGS558), *GMBI.* (2010) Nr. 43, S. 902-911.
- [20] Eintrag zu CAS-Nr. 436083-99-7. *Chemical Abstract Service (CAS).*

Dr. rer. nat.
Markus Mattenklott

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.