

# Mineralfasern, künstliche

## Vorkommen

Tabelle 1: Technisch relevante Fasern, allgemeine Übersicht.

<p>1) Faserförmige Minerale bzw. natürliche anorganische Fasern</p> <p>a) Kristalline Fasern – Silikate, z.B. Asbest, Attapulgit (Palygorskit), Mullit, Sepiolith, Wollastonit, faserförmige Zeolithe (Natrolith, Skolezit, Fauyasit, Erionit, Mordenit) und Halloysit – Sulfate (z.B. Anhydrit, Gips) – Carbonate (Calcit, Dawsonit) – Hydroxide (Brcit und als feinfaserige Modifikation: Nermalith)</p> <p>b) Fasern mit glasiger (amorpher) Struktur – Peles Haar</p>	<p>2) Künstliche bzw. synthetische anorganische Fasern</p> <p>a) Kristalline Fasern – monokristalline Fasern (Whisker) aus Hochleistungskeramik (Aluminiumoxid, Borcarbid, Kohlenstoff, Siliciumcarbid, Siliciumnitrit, Kaliumtitanat, Calcium-Natrium-Metaphosphat, Magnesium-Oxid-Sulfat) – polykristalline Fasern (Aluminiumoxid/Mullit, SiC, ZrO<sub>2</sub>, Aluminiumborsilicat)</p> <p>b) Fasern mit glasartiger (amorpher) Struktur – Endlofasern, Mineralwolle, Keramikfasern und Superfeinfasern</p>
<p>3) Natürliche organische Fasern</p> <p>a) pflanzliche Fasern (Baumwolle, Flachs, Hanf) b) natürliche Polymere (z.B. Zellulose, Alicynat, Gummi) c) tierische Fasern (Seide, Wolle)</p>	<p>4) Synthetische Polymere – Acrylfasern, Aramide, Polyamide, Polyester</p>

Die künstlichen Mineralfasern sind ein Teil der synthetisch erzeugten anorganischen Fasern (siehe Tabelle 1), die vor allem im Bereich der Dämmstoffe einen breiten Anwendungsbereich haben. Synthetische Mineralfasern umfassen kristalline und mikrokristalline Fasern aus refraktären Mineralien wie auch amorphe (glasartige) Fasern, welche aus Glas, Oxidkeramiken oder auch aus Gesteinen (z.B. Basalt) industriell hergestellt werden. Diese im engeren Sinn als „künstliche Mineralfasern“ bezeichneten Fasern lassen sich in vier Gruppen unterteilen:

- 1) Endlofasern (Textilfasern) wie Glasfasern (Textilglas) und keramische Textilfasern sind nach dem Düsenziehverfahren hergestellte Fasern mit weitgehend konstantem Faserdurchmesser.
- 2) Mineralwolle (Isolierwolle) wie Glaswolle (Mineralwolle auf der Basis von Kalknatrongläsern nach DIN 1259/1), Steinwolle und Schlackenwolle haben mittlere Faserdurchmesser zwischen 2 und 9 µm. Herstellungsverfahren sind Schleuder- und Schleuder-Blas-Verfahren.
- 3) Keramische Fasern (Oxidkeramiken und Fasern aus anderen refraktären Materialien wie Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiC, Bor) haben in der Regel Faserdurchmesser zwischen 1 und 3 µm. Sie werden nach Blas- und Schleuderverfahren produziert.
- 4) Spezialfasern, wie z.B. Glasmikrofasern, Hyperfeinfasern, entstehen z.B. nach Flammenblasverfahren. Der Faserdurchmesser liegt in der Regel unter 1µm mit einer Streuung um den Faktor 3–10.

Die Fasergruppen 2 – 4 zeigen, abhängig vom Herstellungsprozess, breite charakteristische Faserverteilungen.

*Verwendung:* Produkte aus künstlichen Mineralfasern zeichnen sich durch eine hohe Temperaturbeständigkeit aus, sie haben einen hohen Isolationswert und sind außerdem leicht zu verarbeiten. Sie werden vor allem als Dämmstoffe zur Wärme-, Kälte- und Schallisolation in Gebäuden verwendet oder zur technischen Isolierung von Tanks und Rohrleitungen. Mineralfasern werden als textile Endlofasern zu Filzen, Matten, Platten oder Tüchern verarbeitet oder auch als Mineralwolle (Glas-, Schlacken- oder Steinwolle) lose zum Ausstopfen oder Umwickeln von Rohrleitungen eingesetzt. Mineralwolle besteht aus einer faserförmig erstarrten Schmelze silikatischer Stoffe mit Faserlängen im Bereich von cm und Durchmessern von 3–9µm (Streufaktor 100).

Keramikfasern werden ausschließlich dann angewendet, wenn hohe Temperaturen auftreten, z.B. als

Dichtungsmaterial bei Hochtemperaturöfen und in der Raumfahrt. Eine Übersicht über die verschiedenen Anwendungsbereiche gibt Tabelle 2.

**Glasfasern** sind schon vor ca. 5 000 Jahren zur Schmuckfertigung hergestellt worden. Seit etwa 70 Jahren werden Glasfasern auch in privaten Haushalten als Engelshaar oder Feenhaar für Christbaumschmuck verwendet. Die Fasern werden mechanisch gefertigt, indem von erhitzten Glasstäben dünne, haarähnliche Fasern abgezogen werden.

Die industrielle Produktion verschiedenartiger Glasfasererzeugnisse erfolgt etwa seit dem Jahr 1910. Zur Faserherstellung werden die silikatischen Rohstoffe in Wannen-, Kuppel- und Lichtbogenöfen geschmolzen, dann gleich zerfasert. Hierzu stehen Düsenblas-, Schleuder- oder Ziehverfahren zur Verfügung. Die Fasern werden mit Schlichte- und Schmälmitteln umgeben, um einen Bruch durch Aneinanderreiben zu verhindern.

Man unterscheidet

- Glasfilamente, die sich in praktisch unbegrenzter Länge herstellen lassen,
- Glasstapelfasern mit begrenzter Länge für Garne, Spinnfäden, Zwirn und Kordeln sowie
- Glasseidenstränge (Roving) = parallel zu einem Strang zusammengefasste Spinnfäden.

Glasfasern können auch nach dem Durchmesser klassifiziert werden:

„Dünne“ Fasern haben einen Durchmesser von 0,1–3µm, „schwache“ Fasern von 3–12µm, „starke“ Fasern zwischen 12 und 35µm, elastische Fasern zwischen 35 und 100µm, „dicke“ Fasern zwischen 100 und 300µm.

*Verwendung:* Glasfasern werden vor allem in der Bautechnik als Wärmedämmstoff, aber auch zur Schallsolation von Gebäuden verwendet. Die gute Isolationswirkung beruht darauf, dass nur ca. 40ml Glas in 1l isolierender Luft verteilt sind.

Glasfasern werden außerdem zur Verstärkung z.B. von Kunstharzpressmatten, Schleif- und Trennscheiben, Faserplatten, Zementplatten, Gipsplatten, Beton, Dachpappen, Dichtungsmitteln und als Zusatz zu Auto- oder Flugzeugreifen verwendet. Zur Herstellung von glasfaserverstärkten Kunststoffen werden Faserbündel (Textilglasfasern mit Durchmessern von 6–16µm) z.B. mit Epoxidharzen oder ungesättigten Polyesterharzen für GFK-Duroplaste getränkt; Polyamide, Polycarbonate u.a. werden für GFK-Thermoplaste verwendet. Glasfaserpapiere (Folien) werden zu verschiedenen chemisch-technischen Trennoperationen in der Filtration, Chromatographie und Elektrophorese eingesetzt, glasfaserverstärktes Papier mit hoher Dimensionsstabilität und Alterungsbeständigkeit für Dokumente, Landkarten, Zeichen- und Fotopapier. Glasseidenverstärkte Papiere werden als nichtplatzende Papiersäcke oder auch als hochwertige Klebebänder verwendet.

Eine Spezialanwendung der Glasfasern liegt in der Herstellung von Lichtleitfasern für Kabel und medizinischer Diagnostik.

**Textile Glasfasern:** Glasfasern können verstrickt, verwebt und verwirkt werden und lassen sich zu Vliesstoffen verarbeiten. Die dünnsten Fasern lassen sich verspinnen und werden in Spezialwebereien zu Bändern, Schnüren, Litzen oder Schläuchen verarbeitet, die als Isolationsmaterialien und zum Feuerschutz dienen. Der Temperaturbereich, bei dem die Produkte als Feuerschutzbekleidung eingesetzt werden können, lässt sich durch Vakuumbedampfen der Stoffe mit Aluminium (zur Erhöhung der Lichtreflexion) erweitern.

**Schlackenfasern** (Schlackenwolle nach DIN 60001 T1, Aug. 1970) sind Mineralfasern, die durch Zerstäuben der aus dem Hochofen fließenden heißen Schlacke (Metalloxide, -sulfide, -chloride, -fluoride aus der Metallerzeugung oder Erzverhüttung) mittels Pressluft oder durch Zerblasen bzw. Abschleudern von umgeschmolzener Schlacke als Schlacken- oder Hüttenwolle hergestellt werden.

Schlackenfasern sind feuchtigkeitsstabil, chemikalienresistent und unbrennbar. Sie wirken wärme-, elektrizitäts- und schallsolierend.

**Steinwolle** (Gesteinswolle, Basaltwolle) entsteht unter Flussmittelzusatz aus der Schmelze natürlicher Gesteine, vor allem aus Basalt. Basaltische Schmelzen (Laven) sind in der Regel alkalireiche Vulkanite mit verhältnismäßig

einheitlicher Zusammensetzung. Wasserfreie Basalte haben einen Schmelzpunkt von ca. 1280°C, der mit steigendem Wasseranteil sinkt. Steinwolle ist bis zu Temperaturen von 900°C stabil. Die langfaserige Wolle wird von Wasser, Säuren und Laugen nicht angegriffen.

*Verwendung:* für bautechnische Werkstoffe, im Hochofen- und Lokomotivenbau sowie für feuerfeste Kleidung.

**Keramikfasern** umfassen eine große Gruppe anorganischer, überwiegend nichtmetallischer Verbindungen (Silikate, Oxide, Silicide, Carbide und Nitride) mit mehr als 30 Vol.% kristallinem Material.

Keramikfasern werden meist pulvermetallurgisch hergestellt, was ein Arbeiten bei Temperaturen unterhalb des Schmelzpunkts der Verbindungen ermöglicht. Bei der Herstellung wird eine Feststoffsuspension durch Düsen gepresst, die entstandenen Fasern werden durch Glühen von flüchtigen Bestandteilen befreit und anschließend gesintert.

*Klassische Keramikfasern* bestehen aus silikatischen Verbindungen (Ton, Kaolin und Illit), denen Magerungsmittel (Quarz, Sand oder gebrannter Ton) zur Minderung der Schwindung bei Trocknung und Brand sowie als Sinterhilfsmittel Magnesit oder Dolomit zugegeben sind.

*Glaskeramikfasern* entstehen pulvermetallurgisch. Durch Vermahlen ausgewählter Gläser mit Mineralisatoren werden Sinterglaskeramiken hergestellt. Das Tempern von Glaspulver bewirkt eine gleichmäßig von den Korngrenzen ausgehende, ins Glaskorn hineinlaufende Kristallisationsfront. Die Fasern werden langsam bis zum Keimbildungs-(Haltepunkt) und Kristallisationspunkt getempert.

*Oxidkeramikfasern* bestehen aus polykristallinen, kieselensäurefreien Verbindungen. Meist wird von  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Sinterkorund) ausgegangen, daneben werden BeO, MgO, ZrO<sub>2</sub> und MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (Spinell), aber auch Ferrite, Titanate, Yttrium-, Thorium- und Uranoxid eingesetzt. Zu Fasern versponnenes Aluminiumoxid (Saphiber) z.B. wird zur Wärmedämmung und Verstärkung von Leichtmetallbauteilen verwendet. Die Einsatztemperaturen können oberhalb 1800°C liegen.

Die Hartstoffe Siliciumcarbid, -nitrid und Borcarbid werden vor allem als Verbundwerkstoffe im Flugzeugbau, in der Raumfahrt und zur Herstellung von Sportgeräten verwendet. Die Verbindungen zeigen neben einer hohen Temperaturbeständigkeit auch eine hohe Festigkeit und Härte.

In den Jahren 1982–1992 wurden in der Bundesrepublik jährlich rund 15 Millionen Kubikmeter Mineralfasererzeugnisse verarbeitet. Davon entfielen auf Mineralwolle-Dämmstoffe ca. 400.000 Jahrestonnen, auf Textilglas ca. 50.000 Jahrestonnen und auf keramische Fasern etwa 5.000 Jahrestonnen. Zusätzlich wurden ca. 15.000 keramische Fasern und ca. 80.000t Textilglas importiert.

Als Faser wird allgemein jedes längliche Gebilde bezeichnet, dessen Länge sich zu seiner größten mittleren Querabmessung mindestens wie 10:1 verhält, mit einer Querschnittsfläche kleiner als 0,05mm<sup>2</sup> und einer Breite von weniger als 0,25µm (ASTM-Komitee). Die Definition von Naturfasern, Chemiefasern oder Textilfasern erfolgt nach DIN 60001 (1990).

Tabelle 2: Anwendungsbereiche künstlicher Mineralfasern.

Faserart	Anwendungsbereiche
Endlosfasern	<ul style="list-style-type: none"> <li>– faserverstärkte Werkstoffe (Kunststoffe, Prepregs, Gipskarton, Zementprodukte)</li> <li>– Wärmeisolation (Hitzeschutzkleidung, Isoliervorhänge, Schweißunterlagen)</li> <li>– Elektroisolationen</li> <li>– Reibbeläge</li> <li>– Dichtungen (z.B. Heißgasdichtungen)</li> <li>– Dekoration</li> </ul>
Mineralwolle	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wärmedämmung, Schall- und Brandschutz</li> <li>– technische Isolierung von Rohrleitungen</li> <li>– Reibbeläge</li> <li>– Spezialanwendungen (z.B. Gartenbau: Hydrokultur; metallverarbeitende Industrie)</li> </ul>
Keramikfasern	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Isolationen im Hochtemperaturbereich</li> <li>– Ofenbau</li> <li>– Isolierung von Elektrogeräten</li> <li>– Katalysatorherstellung für Fahrzeuge</li> </ul>
Glasmikrofasern	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Herstellung von Bleibatterien</li> <li>– Filtration (Feinfiltration von Flüssigkeiten, Raumlufffilter, Spritzisolierung zu Dämmzwecken)</li> <li>– technische Isolierungen (Luft- und Raumfahrt, Tieftemperaturisolierungen, Rohrleitungsbau)</li> </ul>

Faserförmige Teilchen mit Längen von maximal 100µm können bis in den Alveolarbereich gelangen, wenn der geometrische Faserdurchmesser unter 3µm liegt und die Faserdichte derjenigen von Mineralien entspricht. Nach bisherigen Erkenntnissen lässt sich eine Überlastung der Lungen bei Unterschreiten eines Grenzwertes für die Feinstaub-Konzentration der Atemluft, der dem Zahlenwert der Dichte entspricht, aber vermeiden. Für Partikeln oder Fasern der Dichte 1g/cm<sup>3</sup> ergibt sich aus der Extrapolation von Messdaten ein Grenzwert von 0,8mg/m<sup>3</sup> als tolerierbare Atemluftkonzentration (BGBl. 7–8/1995, S.52).

Die Hauptmenge an Fasern wird über die Lunge inkorporiert. Die funktionsbestimmende Größe ist dabei der aerodynamische Partikeldurchmesser. Dieser ist definiert als Durchmesser einer Kugel der Dichte 1g/cm<sup>3</sup>, welche in ruhender oder laminar strömender Flüssigkeit die gleiche Sinkgeschwindigkeit besitzt wie das betrachtete Teilchen (gültig für D<sub>ae</sub> 0,5µm).

Eine Belastung mit künstlichen Mineralfasern erfolgt vor allem an Arbeitsplätzen bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Fasermaterialien oder bei der Sanierung von Gebäuden. Veröffentlichte Arbeitsplatzkonzentrationen von Faserstäuben der WHO, 1988, ergaben

- für die Produktion von Glaswollen eine Durchschnittskonzentration im Bereich 10<sup>4</sup> und 5 × 10<sup>4</sup> F/m<sup>3</sup>
- eine Durchschnittskonzentration bei der Herstellung textiler Glasfasern eine Zehnerpotenz darunter
- Konzentrationsmittelwerte für die Produktion von Stein- und Schlackenwollen von 3,2–7,2 × 10<sup>4</sup> F/m<sup>3</sup> (Werte aus den USA)
- bei der Produktion von Glasmikrofasern für spezielle Anwendungen Konzentrationsmittelwerte zwischen 10<sup>6</sup> und 2 × 10<sup>6</sup> F/m<sup>3</sup>.

Die Arbeitsplatzkonzentrationen bei der Verwendung von Isolierwollen (als Dämmstoffmatten, Stopfmassen oder Spritzisolationen) auf Baustellen, in Industrieanlagen und auf Schiffen können in geschlossenen, schlecht belüfteten Räumen ca. 6 × 10<sup>5</sup> F/m<sup>3</sup> betragen.

Eine rasterelektronenmikroskopische Fasercharakterisierung bei der Verwendung von Dämmstoffmatten ergab dabei zu einem Drittel Produktfasern, Gipsfasern und sonstige Mineralfasern.

In Innenräumen werden in der Regel keine Mineralfaserkonzentrationen gemessen, die deutlich über den Hintergrundwerten der Außenluft liegen, wenn die verwendeten Dämmstoffe mit einer Folie abgedeckt sind und

hinter einer Verkleidung z.B aus Gipskarton oder Holzpaneelen liegen. Mäßig bis deutlich erhöhte, auch dauerhaft bestehende Faserkonzentrationen bis zu einigen tausend Fasern pro Kubikmeter finden sich dagegen dann, wenn Fasermatten im Luftaustausch mit dem Innenraum stehen (BGA, 1994).

Tabelle 3: Luftbelastungen mit künstlichen Mineralfasern kritischer Länge am Arbeitsplatz (nach BGA, 1994).

Am Arbeitsplatz gemessene Werte für:	Fasern/m <sup>3</sup>
<i>Glas- und Steinwollerzeugnisse</i>	
Herstellung von Glaswollen	10.000–50.000
Verarbeitung als Dämmstoffe in Hoch- und Tiefbau	65.000–1,1 Millionen
Herstellung von Spezialwollen	1–2 Millionen
Abriss alter Ofenisolierungen aus thermisch belasteter Steinwolle	bis zu 2,5 Millionen
Spritzisolation mit Steinwolle	bis zu 4 Millionen
Einblasen von loser Mineralwolle in enge Räume	bis zu 8 Millionen
<i>Keramikwollen:</i>	
Herstellung und Konfektionierung	300.000–1 Million
Ofenisolierung mit Keramikwollerzeugnissen	380.000–2,5 Millionen
Herstellung von Siliciumcarbid (Grundstoff für Keramikfasern)	110.000–2,7 Millionen
Abriss thermisch belasteter Ofenisolierungen	bis zu 23,5 Millionen

Künstliche Mineralfasern entstehen auch in großen Feuerungsanlagen, wahrscheinlich aus der geschmolzenen Schlacke. Über Zusammensetzung, Konzentration, Herkunft, regionale Verteilung und zeitliche Variation solcher ubiquitären Faseraerosole ist bisher jedoch wenig bekannt. Die Gesamtkonzentration kritischer Fasern liegt in der Regel bedeutend über der von Asbest.

Tabelle 4: Überblick über die Arbeitsplatzkonzentrationen an künstlichen Mineralfasern bei der Produktion (nach BARIG).

Endlofasern F/m <sup>3</sup>	Mineralwolle F/m <sup>3</sup>	Keramische Fasern F/m <sup>3</sup>	Spezialfasern F/m <sup>3</sup>
<10.000 bis 100.000*	ca. 50.000 (50%-Wert)	ca. 500.000 (50%-Wert)	100.000 bis 2.000.000*
ca. 300.000 (90%-Wert)	ca. 2.300.000 (90%-Wert)		

\*Bereich der Mittelwerte

## Toxizität

Neben den für den Menschen als tumorerzeugend ausgewiesenen Asbestarten muss auch der Faserzeolith Erionit eindeutig als beim Menschen tumorerzeugend angesehen werden. Darüber hinaus haben aber auch verschiedene künstliche Mineralfasern in Tierversuchen nach inhalativer, intratrachealer oder unmittelbarer Verabreichung in die Brust- (intrapleural) oder Bauchhöhle (intraperitoneal) Tumoren erzeugt.

Bisher vorliegende epidemiologische Studien gestatten weder den Nachweis noch den Ausschluss einer krebserzeugenden Wirkung künstlicher Mineralfasern auf den Menschen. Vergleichsweise umfangreiche epidemiologische Studien bei einer kumulativen Faserstaubdosis über 1–10 Faserjahre wurden an Beschäftigten in der Produktion von künstlichen Mineralfasern durchgeführt. Bei der Produktion von Glaswolle, Stein- oder Schlackenwolle wurde eine statistisch signifikant erhöhte Lungenkrebsmortalität ermittelt, auch traten Mesotheliome auf. Wegen der Anwesenheit konkurrierender Noxen oder Unterschieden im sozioökonomischen Status können hieraus keine definitiven Schlussfolgerungen gezogen werden. Für eine vergleichbare Asbestbelastung wäre ein ähnliches Ergebnis zu erwarten. Die vorliegenden epidemiologischen Studien gestatten weder den Nachweis noch den Ausschluss einer krebserzeugenden Wirkung künstlicher Mineralfasern für den Menschen (Wardenbach).

Aus tierexperimentellen Untersuchungen mit Asbest und anderen Faserstäuben ist jedoch zu schließen, dass auch andere Faserstäube grundsätzlich die Möglichkeit zur Krebserzeugung besitzen, wenn sie hinreichend lang, dünn und biobeständig sind (Abb. 1). Die Biobeständigkeit ist in erster Linie abhängig von der chemischen Zusammensetzung, bei wenig beständigen Fasertypen auch von den Abmessungen: dickere Fasern lösen sich langsamer auf als dünne, längere brechen eher als kürzere. Als weitere Faktoren werden zusätzliche Fasereigenschaften, wie z.B. die Oberflächenbeschaffenheit, diskutiert.

Da verschiedene Faktoren die Kanzerogenität der Fasern bestimmen, ist es nur näherungsweise möglich, die kanzerogene Potenz einer Faserstaubprobe aus der Luft am Arbeitsplatz vorauszusagen. Analogieschlüsse sind deshalb notwendig und erscheinen auch möglich.

Abb. 1: Wesentliche Parameter, die die Kanzerogenität einer Faserstaubprobe bestimmen.

Parameter		Kanzerogene Potenz
Länge	↑	↑
Biobeständigkeit	↑	↑
Durchmesser	↑	↓

Der eindeutige tierexperimentelle Nachweis einer kanzerogenen Wirkung von künstlichen Mineralfasern bei am Arbeitsplatz üblichen Faserkonzentrationen ist schwierig, denn schon für Asbestfasern sind zum Nachweis einer krebserzeugenden Wirkung bei der üblicherweise verwendeten Ratte Luftkonzentrationen erforderlich, die um Größenordnungen über den Luftkonzentrationen liegen, die beim Menschen zu einem epidemiologisch nachweisbaren erhöhten Krebsrisiko führen. Bei den Inhalationsversuchen mit Ratten muss berücksichtigt werden, dass die Ratte nur durch die Nase atmet. Bedingt durch ein besonders effektives Nasenfilter ist die Fasermenge, die in die Nase gelangt, wesentlich niedriger als beim Menschen. Möglicherweise ist bei der Ratte auch das Verhältnis von Latenzzeit zu Lebenszeit nicht ausreichend, um Tumoren zu entwickeln.

Aus methodischen Gründen können in Inhalationsversuchen mit künstlichen Mineralfasern an Ratten nur Konzentrationen verwendet werden, die deutlich niedriger sind als die Asbestfaserkonzentrationen, die bei Ratten ein erhöhtes Krebsrisiko bewirken. Im Gegensatz zum Inhalationsversuch kann aber nach intraperitonealer Injektion bei Ratten die Kanzerogenität von Asbest und anderen Faserstäuben empfindlich und spezifisch nachgewiesen werden.

Tabelle 5: Ergebnisse von Kanzerogenitätsstudien (entnommen der MAK- und BAT-Werte-Liste 2002 ).

Faserstaub	Epi- dem.	Kanzerogenität				Zell- trans.	Gen- tox.	Einstufung	Einstufungs- begründung
		inh.	i.tr.	i.p.	i.pl.				
<b>anorganische Faserstäube</b>									
Aluminiumoxid					+			III Kat.2	Eindeutig posit Versuche
Attapulgit/Palygorskit	?	+		+	+		?	III Kat.2	Positiver Inhalationsvers
Calcium-Natrium- Metaphosphat			?	?				III Kat.3B	Datenlage nicht ausreichend
Calciumsulfat (Gips)			?	-				IIa MAK- Wert 6 mg/m³ A	Negativer i.p.-T sehr geringer Beständigkeit
Dawsonit					+			III Kat.2	Eindeutig posit Versuche
Erionit	+	+	+	+	+	+	+	III Kat.1	Kanzerogenität epidemiologisch Untersuchung nachgewiesen
Glas	?	?	+	+	+	+	+	III Kat.2	Gesamtheit der Befunde
Halloysit					?			III Kat.3B	Datenlage nicht ausreichend
Kaliumtitanatverbindungen		+	?	+	+	+	?	III Kat.2	Positiver Inhalationsvers Verbindung mit positiven Befun- den anderen Untersuchung
Keramik		+	?	+	?			III Kat.2	Positive Inhalationsvers
Magnesium-Oxid-Sulfat			?	?				III Kat.3B	Datenlage nicht ausreichend
Nemalith/Brucit		?		?	?			III Kat.3B	Datenlage nicht ausreichend
Schlackenwolle	?	?		?	?			III Kat.3B	Datenlage nicht ausreichend
Sepiolith	?	?		?	?			III Kat.3B	Datenlage nicht ausreichend
Siliciumcarbid			+	+	+	+		III Kat.2	Positive i.p., i.p. i.tr.-Versuche, : hohe Biobestär
Steinwolle	?	?	?	+	?		?	III Kat.2	Positive i.p.-Ve
Wollastonit	?	?		-	?		?	IIb	Negativer i.p.-T geringer Biobeständigkeit
alle weiteren anorganischen Faserstäube								III Kat.3B	Datenlage nicht ausreichend
<b>organische Faserstäube</b>									
p-Aramid		?		?				III Kat.3B	Datenlage nicht ausreichend

+ positive(r) Befund(e)		– negative(r) Befund(e)	? Befund(e) nicht bewertbar
Epidem.	Epidemiologie		
inh.	inhalative Verabreichung		
i.tr.	intratracheale Verabreichung		
i.p.	intraperitoneale Verabreichung		
i.pl.	intrapleurale Verabreichung		
Zelltrans.	Zelltransformation		
Gentox.	Gentoxizität		

Die Bewertung von Inhalationsstudien für die Einstufung von Faserstäuben durch die DFG ergab für Keramikfasern eine 10-fach stärkere Kanzerogenität im Vergleich mit Krokydolithfasern, eine 50-fach stärkere Wirkung relativ zu Chrysotilfasern. Krokydolith zeigt dabei im Tierversuch erst bei Faserkonzentrationen über 1 000 F/ml eine kanzerogene Wirkung. Die Versuche wurden an Ratten mit relativ langen und dicken Keramikfasern durchgeführt, die Krokydolith-Fasern entsprachen der WHO-Faserdefinition, waren jedoch im Mittel länger als am Arbeitsplatz üblich, so dass man von einem noch größeren Unterschied zwischen den Fasern ausgehen muss. Bei Inhalationsversuchen mit künstlichen Mineralfasern werden wegen des relativ großen Faserdurchmessers nur Faserkonzentrationen bis etwa 200 Fasern pro ml (=  $2 \times 10^8$  F/m<sup>3</sup>) erreicht. Die Ergebnisse verschiedener Inhalationsversuche weisen darauf hin, dass die Exposition im zweiten Versuchsjahr höchstens einen geringen zusätzlichen kanzerogenen Effekt ausübt.

Da in Inhalationsexperimenten jedoch bei weitem nicht so hohe Konzentrationen an relativ dicken, arbeitsplatztypischen Faserstäuben aus handelsüblichen Mineralfasern geprüft werden können wie bei den relativ dünnen Asbestfasern, kann eine inhalative Kanzerogenitätsprüfung solcher Fasern auch dann negativ ausfallen, wenn die kanzerogene Potenz pro Faser kaum geringer ist als die von Keramikfasern, was bedeutet, dass sie die kanzerogene Potenz von Krokydolith übersteigt.

Die inhalative Kanzerogenitätsprüfung von Fasern mit Ratten ist nur in besonderen Fällen, insbesondere bei sehr dünnen und zugleich langen und biobeständigen Fasern, in der Lage, eine unterschiedliche kanzerogene Potenz von Faserproben klar erkennen zu lassen. Die umfangreichsten Daten zur Kanzerogenität von künstlichen Mineralfasern wurden mit Hilfe von Serosa-Tests (i.p.-Test = intraperitonealer Injektionstest) an Ratten gewonnen.

Im intraperitonealen Injektionstest lassen sich im Vergleich zum Inhalationsversuch erheblich größere Faserzahlen applizieren. Dabei sind Pleura und Peritoneum histologisch gleich aufgebaut, und beide haben beim Tier auf die Verabreichung mehrerer anorganischer Fasertypen mit einer Mesotheliombildung reagiert. Obwohl der Wirkungsmechanismus der kanzerogenen Fasern nicht bekannt ist, sprechen bisherige Befunde insgesamt für die Schlußfolgerung, dass die für die Kanzerogenese entscheidenden Vorgänge im Lungen- und im Serosagewebe analog verlaufen.

## Gefährdung (Henschler)

### a) Anorganische Fasern:

Für die meisten anorganischen Fasern wurde ein kanzerogenes Potenzial nachgewiesen. Aus Gründen des vorbeugenden Arbeitsschutzes werden daher alle hier nicht näher erläuterten anorganischen Faserstäube als krebserzeugend angesehen und in die Gruppe C3 eingeordnet.

#### Aluminiumoxid:

Aus Kanzerogenitätsstudien mit intrapleuraler Applikation an Ratten ergeben sich eindeutige Hinweise auf ein krebserzeugendes Potenzial von Aluminiumoxidfasern. Daraus ergibt sich eine Handhabung wie für andere Fasern, die in Gruppe C2 eingestuft wurden.

#### Calcium-Natrium-Metaphosphat:

Für diesen Fasertyp liegen nur Ergebnisse mit sehr geringem kritischen Faser-Anteil vor. Wegen der unzureichenden Datenlage ist eine Bewertung des kanzerogenen Potenzials derzeit nicht möglich.

#### Gips:

Negative Befunde im Tierversuch wie auch die Eigenschaft der Gipsfasern, sich in wässrigem Milieu aufzulösen, spricht gegen eine kanzerogene Wirkung dieser Fasern. Der MAK-Wert für Feinstaub bleibt daher bestehen.

#### Dawsonit:

Die Einstufung in die Gruppe C2 erfolgte auf Grund von Kanzerogenitätsstudien mit intrapleuraler Applikation, die eindeutige Hinweise auf ein kanzerogenes Potenzial dieser Fasern liefern.

### b) Glasfasern:

Unter den künstlichen Mineralfasern sind die Glasfasern am besten untersucht. In epidemiologischen Studien ergaben sich bei der Produktion textiler Glasfasern keine erhöhten Risiken, wohl aber für die Beschäftigten in der Produktion von Glaswolle. Jedoch konnten weder für Glasfasern noch für Glaswolle auf Grund von überlagerten sozioökologischen Faktoren eindeutig erhöhte Risiken nachgewiesen werden. Tierversuche mit intratrachealer, intraperitonealer und intrapleuraler Applikation lassen ein kanzerogenes Potenzial von Glasfasern erkennen. Glasfasern zeigen in geeigneten Testsystemen auch zelltransformierende und gentoxische Aktivität. Aus der Gesamtheit aller Befunde ergeben sich eindeutige Hinweise auf ein kanzerogenes Potenzial von Glasfasern im Tierversuch.

### c) Halloysit:

Proben alveolengängiger kurzfasriger Halloysitfasern (ohne Stanton-Fasern), die aus der Trinkwasserversorgung von Hongkong stammten, führten im Intrapleuraltest bei hohen Dosierungen kritischer Fasern zu schwach erhöhten Tumorinzidenzen. Da jedoch Reinheitsuntersuchungen fehlen, ist eine eindeutige Aussage über die kanzerogene Aktivität nicht gegeben.

### d) Kaliumtitanat:

Bei inhalativer, intraperitonealer und intrapleuraler Applikation wiesen Kaliumtitanatfasern eine krebserzeugende Wirkung im Tierversuch auf. In vitro führte eine Probe Kaliumtitanatfasern bei Mäusefibroblasten nicht zu DNS-Strangbrüchen, aber zu einer schwach erhöhten Zelltransformationsrate.

### e) Keramikfasern:

In Inhalationsversuchen und Experimenten mit intraperitonealer Applikation erwiesen sich verschiedene

Keramikfasern aus Aluminiumsilikat, Kaolin und Zirkon an Ratten und Hamstern als kanzerogen, so dass der gesamten Gruppe ein krebserzeugendes Potenzial zuzuschreiben ist. Bei Ratten wurden sowohl Lungentumoren als auch Mesotheliome, bei Hamstern Mesotheliome gefunden. In einer Untersuchung traten zusätzlich auch maligne Histozytome auf. Hitzebehandelte Keramikfasern ergaben geringere Tumorinzidenzen als entsprechende unbehandelte Fasern.

f) Magnesium-Oxid-Sulfat:

unzureichende Datenlage

Nemalith/Brucit:

ist häufig mit Chrytosil verunreinigt, daher unklare Datenlage.

Schlackenwolle:

in epidemiologischen Studien häufig gleichzeitiges Auftreten von Schlackenwolle und Anwesenheit von aromatischen Kohlenwasserstoffen, u.a. Benzpyren. Das beobachtete zweifach erhöhte Lungenkrebsrisiko ist somit nicht eindeutig auf die Schlackenwolle zurückzuführen. In Inhalationsversuchen mit Ratten und Goldhamstern wurden keine Tumoren nachgewiesen, jedoch wurden nur sehr geringe Faserkonzentrationen in der Lunge gemessen. Daher kann das kanzerogene Potenzial von Schlackenwolle auf Grund der unzureichenden Datenbasis bisher nicht bewertet werden.

Sepiolith:

unzureichende Datenlage

SiC:

Bei intratrachealer und intraperitonealer bzw. intrapleuraler Applikation zeigten zwei Proben von SiC-Whiskern eine starke, dosisabhängige Erhöhung der Tumorinzidenzen bei Ratten. SiC-Fasern besitzen eine hohe kanzerogene Potenz, da erhöhte Tumorinzidenzen bereits in Gegenwart geringer Zahlen kritischer Fasern beobachtet wurden. Eine Probe zeigte in vitro zelltransformierende Aktivität bei Zwerchfellmesothelzellen der Ratte und Lungenepithelzellen des Hamsters.

Steinwolle:

Aus Untersuchungen mit intraperitonealer Applikation ergeben sich deutliche Hinweise, dass Steinwollefasern offensichtlich erhebliche kanzerogene Potenz aufweisen können, ansonsten unzureichende Datenbasis.

Wollastonit:

Zahlreiche negative Befunde in Tierversuchen stehen in Einklang mit der geringen Beständigkeit der Wollastonit-Fasern. Daher ist es wahrscheinlich, dass kein kanzerogenes Potenzial besteht. Es muss noch geprüft werden, ob für Wollastonit-Fasern ein MAK-Wert aufgestellt werden kann.

### **Gentoxizität und Zelltransformation**

Auch hier kommt der Fasergestalt eine wesentliche Bedeutung zu. In verschiedenen Testsystemen waren numerische und strukturelle Chromosomenveränderungen nachweisbar, während es für Punktmutationen keine eindeutigen Hinweise gibt.

## **Therapie und Diagnostik**

Eine vollständige Übertragung des gegenwärtigen theoretischen Wissens auf Maßnahmen zur einheitlichen, wirkungsbezogenen Messung von Stäuben im Rahmen des technischen Arbeitsschutzes ist derzeit nicht möglich. Gründe hierfür sind die individuellen Streubreiten der abgelagerten Primärpartikel in den

Atemwegsregionen und die z.T. unbefriedigenden Kenntnisse über ihre Wirkungsmechanismen. Auch sind die messtechnischen Voraussetzungen teilweise noch unzureichend (MAK-Werte-Liste).

### **Erste Hilfe**

Nach Einatmen erkennbarer Staubmengen den Verletzten an die frische Luft bringen, benetzte Kleidungsstücke entfernen, betroffene Körperteile mit Wasser und Seife gründlich reinigen. Inhalationen, Sauerstoffbeatmung, Bronchodilatoren und Antibiotika können das Krankheitsbild vorübergehend verbessern. Überwachungsuntersuchung nach dem BG-Grundsatz G 1.2.

## **Prophylaxe**

Der Faserstaub kann nur dort in die Luft geraten, wo mit den Mineralfasern gearbeitet wird – etwa bei Arbeitern in der Herstellung oder im Vertrieb. Beim Einbau von Dämmplatten aus Mineralfasern sollte der Raum gut gelüftet werden, damit die Konzentration der winzigen Fasern in der Luft möglichst gering bleibt. Aufwirbeln von Staub sollte vermieden werden – also lieber staubsaugen als kehren; die Dämmplatten mit einem Messer schneiden und keine Säge verwenden. Bei Abbrucharbeiten sollten vorhandene Dämmstoffe befeuchtet werden. Feinstaubmasken sind nach Auskunft der Fachvereinigung Mineralfaserindustrie beim Abbruch von Mineralfaser-Dämmstoffen notwendig, die Temperaturen über 200 °C ausgesetzt waren, und bei Arbeiten in engen, nicht belüfteten Räumen.

Wer bei Neubauten dennoch lieber ein anderes Material anwenden will, kann zum Beispiel Zellulosedämmstoff, Wolle oder Korkplatten nehmen (top medizin 8, 1994).

### **Literatur**

Barig, A.: Künstliche Mineralfasern. 10. Münchner Gefahrstoff-Tage, Symposium 1993, S. 365–368

Henschler: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe: Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. Abschnitte Faserstäube und künstliche Mineralfasern, VCH Verlagsgesellschaft Weinheim

Wardenbach, P.: Toxikologie künstlicher Mineralfasern. 10. Münchner Gefahrstoff-Tage, Symposium 1993, S. 48–58