Asbest und andere faserförmige Arbeitsstoffe
Gesundheitsgefährdung und Schutzmassnahmen

suvaPro
Sicher arbeiten

Asbest und andere faserförmige Arbeitsstoffe
Gesundheitsgefährdung und Schutzmassnahmen

Suva
Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
Gesundheitsschutz
Postfach, 6002 Luzern
Telefon 041 419 51 11
Fax 041 419 59 17 (für Bestellungen)
Internet www.suva.ch

Asbest und andere faserförmige Arbeitsstoffe
Gesundheitsgefährdung und Schutzmassnahmen

Verfasser: Egon Hürlimann, Bereich Chemie

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.
1. Auflage – Januar 1998 – 12'000

Titelbild: Isolierarbeiten mit Keramikfasern in einer engen Brennkammer.

Bestellnummer: 66080.d

Inhalt

1 Einleitung 3

2 Grundlagen des Gesundheitsschutzes am Arbeitsplatz 5
2.1 Gesetzliche Grundlagen 5
2.2 Ermitteln der Gesundheitsgefährdung 5
2.3 Die drei Grundsätze des betrieblichen Gesundheitsschutzes 5
2.4 Arbeitsmedizinische Vorsorge 6

3 Faserarten 7
3.1 Begriffe 7
3.2 Übersicht 7

4 Gesundheitsgefährdung durch faserförmige Stäube 9
4.1 Anerkannte, durch faserförmige Stäube verursachte Berufskrankheiten 9
4.1.1 Erkrankungen durch Asbestfasern 9
4.1.2 Erkrankungen durch künstliche Mineralfasern 10
4.1.3 Erkrankungen durch natürliche organische Fasern 10
4.2 Fasereigenschaften, die möglicherweise zu einer Gesundheitsgefährdung führen 10
4.2.1 Fasergeometrie 10
4.2.2 Biobeständigkeit 11
4.2.3 Oberflächenbeschaffenheit 11
4.2.4 Verstaubungsverhalten 11
4.3 Krebserzeugende Wirkung von Nicht-Asbest-Fasern: eine Standortbestimmung 12
4.4 Zusammenfassung der Gesundheitsgefährdungen und Folgerungen 13

5 Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte (MAK-Werte) und deren Überwachung 14
5.1 Partikelabhängiger Grenzwert: die Faserzahl 14
5.2 Messverfahren zur Ermittlung der Faserzahl 15
5.3 Massenabhängiger Grenzwert: Feinstaubkonzentration 16

6 Faserförmige Stäube an typischen Arbeitsplätzen: Vorkommen - Exposition - Beurteilung - Schutzmassnahmen 17
6.1 Asbest 17
6.1.1 Asbest als Werkstoff: Herstellung, Be- und Verarbeitung 17
6.1.2 Asbest-Sanierung 20
6.1.3 Zusammenfassung zur aktuellen Asbestgefährdung 23
6.2 Künstliche Mineralfasern (KMF) 23
6.2.1 Isolierwollen (Glas- und Steinwolle-Fasern) für thermische und akustische Isolationen 23
6.2.2 Textilglasfasern 26
6.2.3 Keramikfasern 27
6.2.4 Faserstaubkonzentrationen an Arbeitsplätzen ohne Umgang mit KMF 28
6.3 Organische Fasern 29
6.3.1 Dämmstoffe auf der Basis organischer Fasern 29

7 Literatur 31

8 Zusammenfassung 32

Anhang: Beschreibung und Verwendungsmöglichkeiten ausgewählter Fasern 34
A 1 Anorganische Synthesefasern 34
A 2 Organische Synthesefasern 37
A 3 Anorganische Naturfasern 38
A 4 Organische Naturfasern 39
A 5 Übersicht Asbestersatzstoffe 39

1 Einleitung

Diese Broschüre gibt Ihnen eine Übersicht über die Gesundheitsgefährdung durch faserförmige Stoffe an typischen Arbeitsplätzen in der Schweiz und informiert über die nötigen Schutzmassnahmen. Einbezogen werden sowohl Asbest- wie auch Nicht-Asbest-Fasern. Ziel der Broschüre ist die Verhütung von Berufskrankheiten. Sie richtet sich an Unternehmer sowie Sicherheits- und Gesundheitsschutz-Verantwortliche von Betrieben, in denen solche Stoffe hergestellt, bearbeitet oder entsorgt werden, sowie an interessierte technische Büros und involvierte Behörden.

In vielen industriellen und gewerblichen Werkstoffen und Produkten werden schon seit vielen Jahren faserförmige Materialien (kurz: Fasern) eingesetzt. Denn Fasern bieten aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften für viele Anwendungszwecke optimale Voraussetzungen. Meist werden sie verwendet im Verbund mit Bindemitteln und Füllstoffen.

Diese Faserprodukte werden u.a. eingesetzt

- als Platten, Matten oder Formmassen für die Brandschutz- und Wärmeisolation
- als Brems- und Kupplungsbeläge im Fahrzeugbau
- als Dichtungen bei hohen thermischen oder chemischen Beanspruchungen.

Eine weite Verbreitung finden Faserprodukte auch im Hoch- und Tiefbau in Form von

- ebenen Platten, Wellplatten oder
- Druck- und Kanalrohren.

Jahrzehntelang galt der **Asbest** (Bild 1) als das Mineral der tausend Möglichkeiten, da er wie keine andere Faser für viele technische Produkte optimale Eigenschaften besitzt. Als vermehrt asbestbedingte Erkrankungen festgestellt und die gesundheitsgefährdende Wirkung anerkannt wurde, ordnete die Suva ab Mitte der 60er Jahre schrittweise verschärfte Massnahmen zur Verminderung der Staubbelastung an. Ende der 70er Jahre wurde die Anwendung der Spritzasbest-Isolierung eingestellt. Weiter konnten die Staubbelastungen in vielen asbestverarbeitenden Betrieben mittels kontinuierlicher Verbesserung der Lüftungsanlagen deutlich gesenkt werden. Als der Asbest vermehrt als umweltgefährdender Stoff anerkannt wurde, erfolgte 1990 zum Schutz der Öffentlichkeit in der Schweiz ein generelles Anwendungsverbot.

Infolge des Asbestverbotes in bedeutenden Industrieländern wie den USA, Deutschland, Schweden und auch in der Schweiz war die Industrie gezwungen, geeignete **Ersatzprodukte** (Bild 2) zu entwickeln (siehe dazu

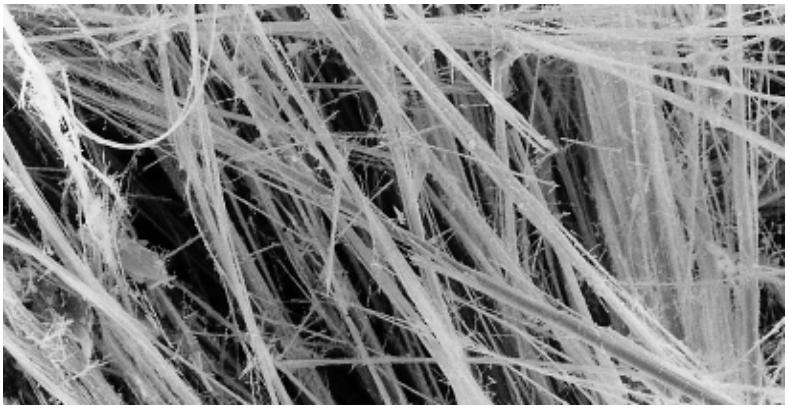


Bild 1
Asbestfasern (Krokydolith-Asbest, auch Blauasbest genannt), Vergrösserung 500 x. Es handelt sich dabei um äusserst feine Fasern, welche sich der Länge nach in noch feinere Fibrillen aufspalten können.

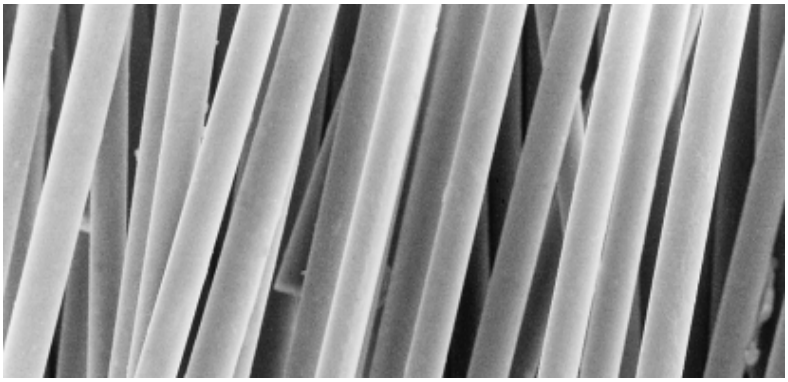


Bild 2
Anorganische Synthesefasern (Textilglasfasern), Vergrösserung 500 x. Im Gegensatz zu Asbestfasern haben diese Fasern in der Regel einen grösseren Durchmesser und eine festere Struktur. Eine Längsspaltung tritt in der Regel nicht auf.

Literaturangabe [1] in Kapitel 7). In vielen Produkten, in denen früher die multifunktionelle Asbestfaser allen Anforderungen genügte, müssen heute als Ersatz Kombinationen diverser Faserarten (sogenannte Fasercocktails) eingesetzt werden. Infolge intensiver Entwicklungsarbeit ist es heute aus technischer Sicht möglich, den Asbest in praktisch allen Anwendungsgebieten zu ersetzen.

Die Untersuchungen der **Gesundheitsgefährdung** durch Fasern wurden seit rund 15 - 20 Jahren systematisch auf Nicht-Asbest-Fasern ausgeweitet. Die vorwiegend auf Tierversuchen beruhenden Resultate werden von Experten jedoch kontrovers diskutiert, insbesondere die Aussage, dass grundsätzlich alle Fasern zu schweren Erkrankungen (Tumoren) führen können, falls gewisse Voraussetzungen erfüllt sind [2], [3]. Diese Aussage bezieht sich insbesondere auf die künstlichen Mineralfasern (KMF), die zum Teil schon seit Jahrzehnten hergestellt und verarbeitet werden.

Die Suva hat sich vor vielen Jahren die Aufgabe gestellt, Arbeitsplätze, an denen Nicht-Asbest-Fasern verwendet werden, zu eruieren und bezüglich der Faserexposition[1] der Arbeitnehmer zu beurteilen. Mit Arbeitsplatzbegehungen und Messaktionen konnten fundierte Kenntnisse über die Faserbelastung an den typischen Arbeitsplätzen gewonnen werden. Die Darstellung dieser Erkenntnisse machen einen wesentlichen Teil der vorliegenden Publikation aus.

Im ersten Teil der Broschüre (Kapitel 2 bis 5) stehen die Grundlagen im Vordergrund: Grundsätze des Gesundheitsschutzes am Arbeitsplatz, Faserarten und Gesundheitsgefährdung, Angaben zu faserverursachten Berufskrankheiten, **M**aximale **A**rbeitsplatz-**K**onzentrationswerte **(MAK)** und Messmethoden für faserförmige Stoffe.

Im zweiten Teil (Kapitel 6) werden wichtige Faserarten vorgestellt und die beim Umgang auftretenden Expositionen an den Arbeitsplätzen beurteilt sowie jeweils die erforderlichen Schutzmassnahmen aufgezeigt.

In Anhang A1 bis A 4 stellen wir als Ergänzung einige Faserarten detaillierter vor.

In Anhang A 5 werden in einer Tabelle die wichtigsten Asbestersatzstoffe sowie deren Anwendungsbereiche im Überblick dargestellt.

[1] Exposition: einem Stoff (z.B. Faserstaub) ausgesetzt sein.

2 Grundlagen des Gesundheitsschutzes am Arbeitsplatz

2.1 Gesetzliche Grundlagen

Die grundlegenden rechtlichen Bestimmungen über die Berufskrankheiten-Prophylaxe sind

- im Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) [4] und in der dazugehörenden
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV) [5]

festgehalten.

Eine zusätzliche Gesetzesgrundlage ist die

- Verfügung des Eidgenössischen Departementes des Innern über die technischen Massnahmen zur Verhütung von Berufskrankheiten, die durch chemische Stoffe verursacht werden [6].

Aus dem Gesetz (UVG Art. 82 Abs. 1) geht klar hervor, dass die Pflicht zur Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten im Betrieb in erster Linie beim Arbeitgeber bzw. Vorgesetzten liegt. Er ist verpflichtet, alle Massnahmen zu treffen, die

- nach der Erfahrung notwendig
- nach dem Stand der Technik anwendbar und
- den gegebenen Verhältnissen angemessen sind.

Die im Zusammenhang mit Faserstäuben wichtigen Sicherheitsanforderungen sind gemäss VUV:

- Schutzmassnahmen beim Auftreten von gesundheitsgefährdenden Stoffen (Art. 44)
- Lüftungstechnische Massnahmen (Art. 33)
- Persönliche Schutzausrüstungen (Art. 5)
- Arbeitsmedizinische Vorsorge (Art. 70 - 81)

Gestützt auf Art. 50 Abs. 3 VUV veröffentlicht die Suva periodisch die Publikation "Grenzwerte am Arbeitsplatz" mit den Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationswerten [7]. Diese Grenzwerte sind verbindlich und müssen eingehalten werden.

Für die Aufsicht über die Anwendung der Vorschriften zur Verhütung von Berufskrankheiten ist in allen Betrieben, die dem UVG unterstellt sind, die Suva zuständig (VUV Art. 50).

2.2 Ermitteln der Gesundheitsgefährdung

Der Arbeitgeber kann die Pflicht, seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beim Umgang mit Fasern vor Berufskrankheiten zu schützen, nur wahrnehmen, wenn er sich eingehend mit den Arbeitsstoffen auseinandersetzt. Insbesondere soll er sich dabei über folgende Punkte Klarheit verschaffen:

	Ja/Nein
• **Treten im Arbeitsprozess faserförmige Stoffe auf?**	
• **Sind die Faserarten bekannt?**	
• **Können lungengängige Fasern[2] (siehe Kap. 4.2.1) freigesetzt werden?**	
• **Existieren Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationswerte (MAK-Werte)?**	
• **Liegen Untersuchungen vor, die aufzeigen, mit welchen Faserkonzentrationen bei entsprechenden Arbeitsplatzsituationen zu rechnen ist?**	
• **Sind die geeigneten Schutzmassnahmen bekannt?**	
• **Werden diese angewandt?**	
• **Gibt es weitere Hinweise und Verhaltensregeln vom Hersteller, von Berufsverbänden oder der Suva?**	

[2] Definition "lungengängige Fasern": Länge $L \geq 5$ µm
Durchmesser $D \leq 3$ µm
Verhältnis $L : D > 3$

Aufgrund dieser Ermittlung ist der Arbeitgeber in der Lage, die notwendigen Massnahmen zu planen und in der Praxis umzusetzen.

2.3 Die drei Grundsätze des betrieblichen Gesundheitsschutzes

Besteht eine Gesundheitsgefährdung durch faserförmige Stoffe, sind Schutzmassnahmen in der folgenden Reihenfolge festzulegen:

1. Ersatz gefährlicher Stoffe und Verfahren

Als **erste** Massnahme sind gesundheitsgefährdende Stoffe und Verfahren wenn immer möglich durch weniger gefährliche zu erset-

zen. Dies setzt allerdings voraus, dass die technische Realisierbarkeit gegeben ist.

Beispiel: Ersatz des stark gesundheitsgefährdenden Asbestes durch deutlich weniger gefährliche Ersatzstoffe.

2. Kollektivschutz

Arbeitsplätze müssen unter Berücksichtigung von Verfahren, Werkstoffen und Einsatzbedingungen so eingerichtet sein, dass in der Atemluft der Beschäftigten keine gesundheitsgefährdenden Faserstaubkonzentrationen vorliegen. Dies ist in der Regel dann erreicht, wenn eine **Unterschreitung der MAK-Werte** gewährleistet ist.

Je nach Situation lässt sich dieses Schutzziel mit folgenden Massnahmen erreichen:

- geschlossene Arbeitsweise (Kapselung)
- Absaugung bei der Staub-Emissionsquelle (Quellenabsaugung)
- künstliche Raumlüftung
- ausreichende natürliche Lüftung

3. Individualschutz

Lässt sich der Kollektivschutz aus besonderen Gründen nicht oder nicht ausreichend bewerkstelligen, sind **zusätzlich** persönliche Schutzmittel zu verwenden. So kann es notwendig sein, für gewisse Arbeiten Atemschutzgeräte zu tragen.

Geeignete Atemschutzgeräte für faserförmige Stäube sind Filtergeräte gegen Partikel. Sie werden entsprechend ihrem Abscheidevermögen in die Partikelfilterklassen P1 (geringes Abscheidevermögen), P2 (mittleres Abscheidevermögen) und P3 (hohes Abscheidevermögen) eingeteilt. Die Wahl der Partikelfilterklasse richtet sich nach der Faserkonzentration in der Atemluft, wobei die Klasse P1 beim Auftreten von krebserzeugenden Stoffen nicht verwendet werden darf.

Folgende Atemschutzgeräte haben sich u.a. in der Praxis bewährt:

a) Halb- oder Viertelmasken mit einem Partikelfilter der Klassen P1, P2 und P3
b) Partikelfiltrierende Halbmasken der Klassen FFP1, FFP2 und FFP3
c) Filtergeräte mit Gebläse und Helm oder Haube der Klassen TH1P, TH2P und TH3P

Bei der Anschaffung von Atemschutzgeräten (Masken, Filtern) ist darauf zu achten, dass sie den europäischen Normen EN 140, EN 143 oder EN 149 entsprechen.

Weitere persönliche Schutzmittel für den Umgang mit Fasermaterialien sind:

- geschlossene Arbeitskleider
- Schutzbrillen
- Handschuhe

Alle notwendigen persönlichen Schutzmittel sind durch den Arbeitgeber zur Verfügung zu stellen. Der Arbeitnehmer ist verpflichtet, die Weisungen seines Vorgesetzten zu befolgen und die Schutzmittel sachgerecht anzuwenden.

2.4 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Neben den technischen, persönlichen und organisatorischen Schutzmassnahmen nimmt auch die arbeitsmedizinische Vorsorge eine wichtige Stellung ein bei der Berufskrankheiten-Prophylaxe. Sie wird bei bestimmten gesundheitsgefährdenden Stoffen auch dann angewandt, wenn die MAK-Werte eingehalten werden. Die Suva entscheidet jeweils, ob ein Betrieb, ein Betriebsteil oder einzelne ausgewählte Arbeitnehmer der Vorsorge unterstellt werden.

Betriebe, deren Mitarbeiter Umgang mit Asbest oder asbesthaltigen Produkten haben bzw. hatten, werden der arbeitsmedizinischen Vorsorge unterstellt. Die Vorsorge umfasst eine allgemeine Eintrittsuntersuchung, in festgelegten Zeitabständen allgemeine Kontrolluntersuchungen sowie nach Austritt aus dem Betrieb Nachuntersuchungen.

Mitarbeiter, die berufsbedingt Kontakte mit Nicht-Asbest-Fasern haben, werden keiner arbeitsmedzinischen Vorsorgeuntersuchung unterstellt.

3 Faserarten

3.1 Begriffe

Die Bezeichnung "Faser" ist ein Sammelbegriff, der grundsätzlich für alle langgestreckten Partikel gilt. Langgestreckt bedeutet, dass die Länge des Partikels im Verhältnis zu seinem Durchmesser deutlich grösser ist. Ansonsten spricht man von kompakten Partikeln. Die Länge von faserförmigen Partikeln kann begrenzt sein (eigentliche Fasern, z.B. Haare) oder nahezu endlos (sogenannte Filamente).

Fasern treten entweder einzeln oder gebündelt auf.

Die Einteilung der Fasern erfolgt einerseits stoffspezifisch aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Fasermaterials. So unterscheidet man:

- **anorganische Fasern**
  Ausgangsmaterial: natürliche Mineralien, Gesteine, Salze, Metalle
- **organische Fasern**
  Ausgangsmaterial: pflanzliche und tierische Stoffe, Produkte auf Erdölbasis

Andererseits wird bei der Einteilung berücksichtigt, wie das Fasermaterial gewonnen wird (Herstellungsverfahren):

- **Naturfasern:**
  Natürlich vorkommendes Ausgangsmaterial, das mittels (chemisch-)physikalischer Verfahren bis zur Faser aufgearbeitet wird. Eine Stoffveränderung tritt dabei nicht auf.
  Beispiele: Asbest, Sepiolith, Hanf, Wolle.
- **Synthesefasern:**
  Synthetische Faserherstellung, bei der in einem 1. Schritt aus organischen oder anorganischen Rohstoffen das Fasergrundmaterial chemisch hergestellt wird. Dabei tritt eine Stoffveränderung ein. In einem 2. Schritt erfolgt daraus die eigentliche Faserherstellung.
  Beispiele: Kohlenstoffasern, künstliche Mineralfasern, Polyamidfasern.

Die meisten Fasern lassen sich in einem zusätzlichen Verfahren zu Vliesstoffen, Filzen und – als Fäden oder Gespinste – zu Geweben, Wirk- und Strickwaren, Geflechten und Seilwaren verarbeiten.

3.2 Übersicht

In der industriellen Anwendung finden wir eine grosse Vielfalt von anorganischen und organischen Natur- und Synthesefasern. Insbesondere hat die Entwicklung von Asbest-Ersatzfasern zu vielen neuen Fasermaterialien geführt.

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die heute bekannten Fasern sowie deren stoff- und herstellungsspezifische Einreihung.

Im Anhang (siehe Seite 34) werden wichtige Faserarten eingehender beschrieben.

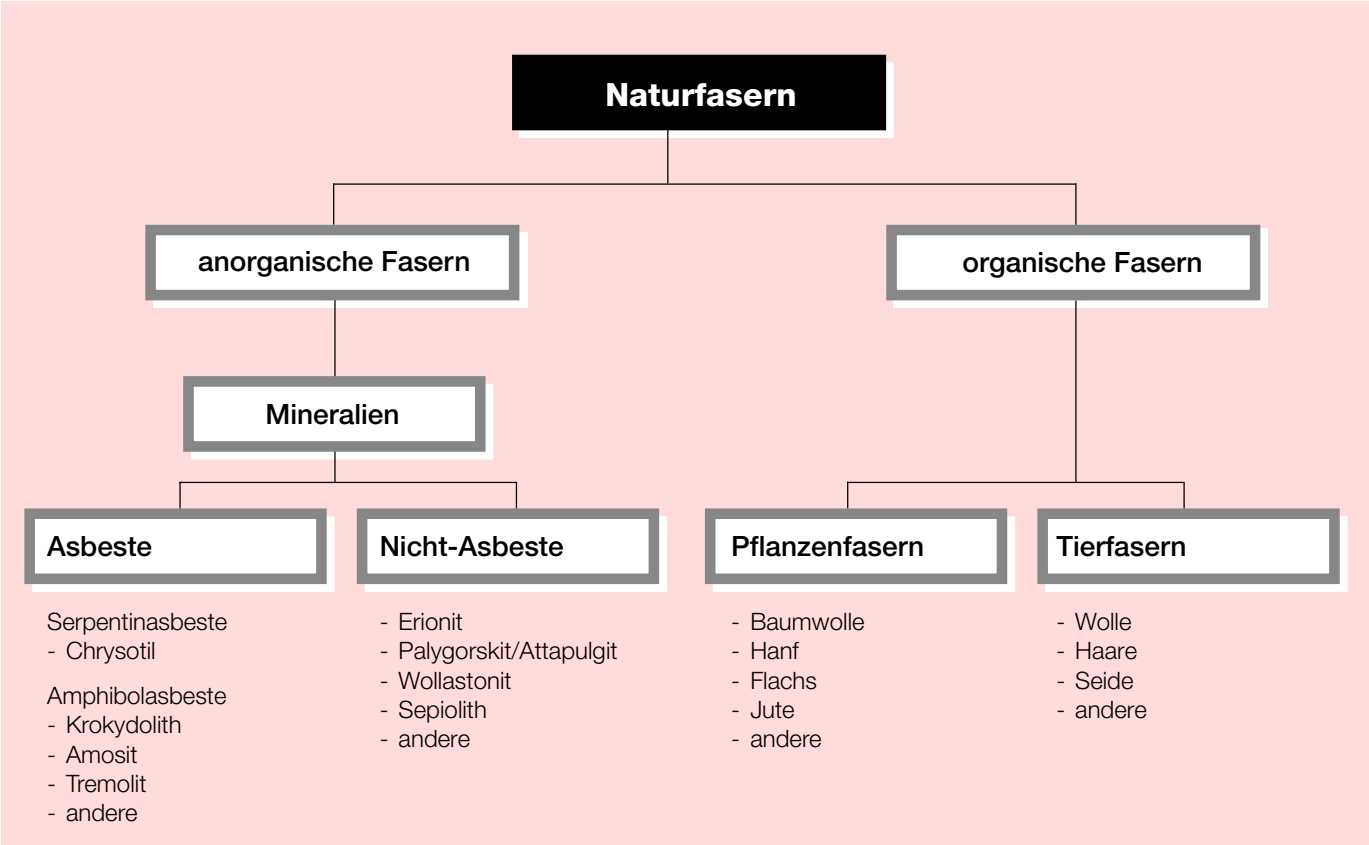


Tabelle 1: Naturfasern.

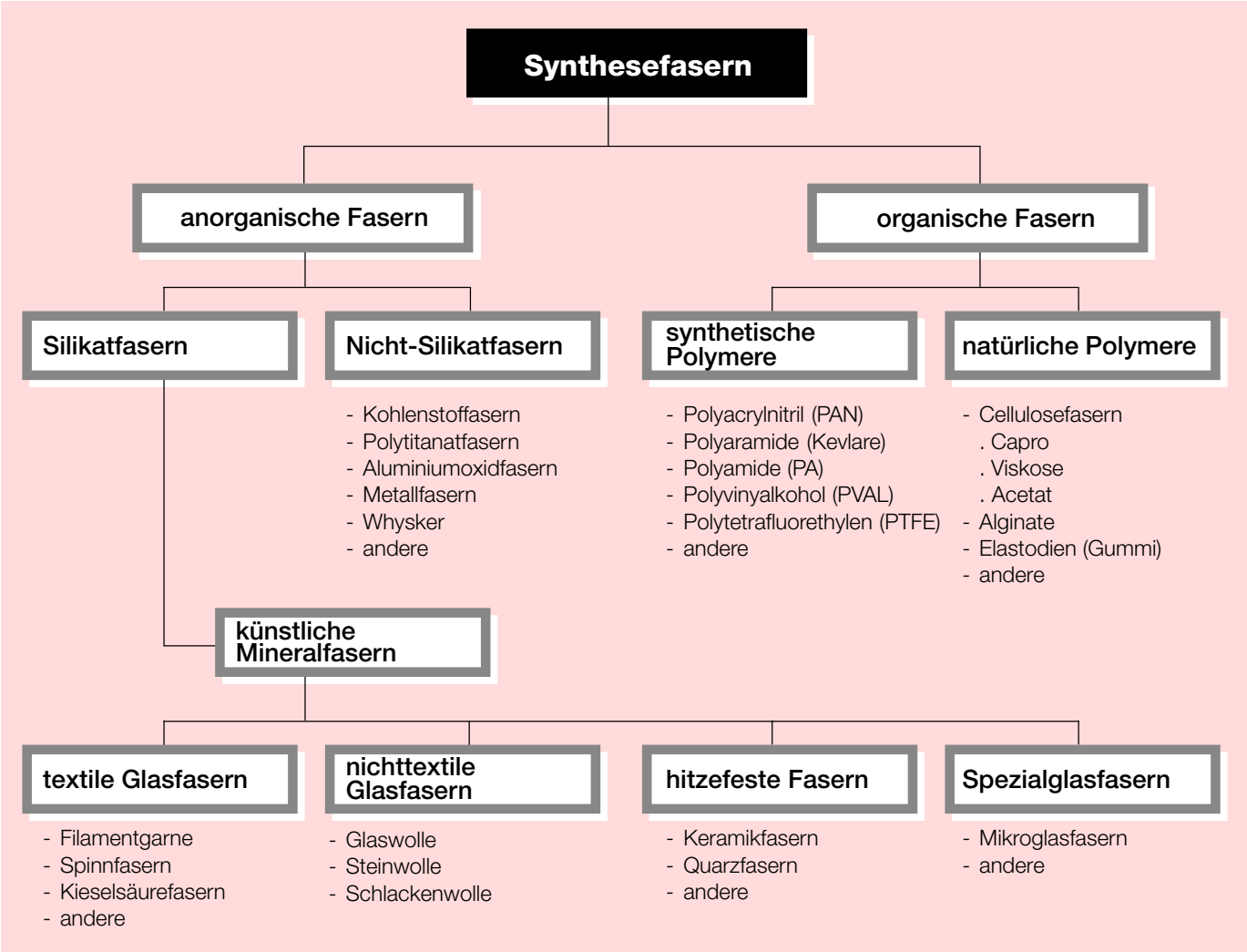


Tabelle 2: Synthesefasern.

4 Gesundheitsgefährdung durch faserförmige Stäube

Die Frage der Gesundheitsgefährdung beim Umgang mit Fasermaterialien wird auch heute noch zum Teil heftig und kontrovers diskutiert. Zuerst waren es die Asbestfasern, die als Ursache für schwere berufsbedingte Erkrankungen erkannt wurden. Aufgrund von Tierexperimenten hat man später auch gewissen Nicht-Asbest-Fasern gesundheitsgefährdende Wirkungen zugewiesen. Einzelne Wissenschaftler [2] leiteten daraus die Aussage ab, dass alle Fasern krebserzeugende Wirkungen haben, falls sie hinreichend lang und dünn sind sowie eine genügend hohe Biobeständigkeit aufweisen. Dies hat dazu geführt, dass sich die Arbeitsmedizin weltweit vermehrt der Faserproblematik annahm.

In diesem Kapitel werden versicherungstechnisch anerkannte, durch faserförmige Stäube verursachte Erkrankungen vorgestellt sowie die Eigenschaften von Fasern beschrieben, die zu einer Gesundheitsgefährdung führen können.

4.1 Anerkannte, durch faserförmige Stäube verursachte Berufskrankheiten

Von allen technisch bedeutenden Fasern nimmt der **Asbest** als Verursacher von berufsbedingten Erkrankungen die wichtigste Stellung ein. Berufskrankheiten, die durch Nicht-Asbest-Fasern ausgelöst wurden, sind dagegen sehr selten anzutreffen.

Die dominierende Rolle der Asbestfaser als Verursacherin von Berufskrankheiten ist u.a. zurückzuführen auf

- die grosse Verbreitung des Asbestes in Industrie und Gewerbe während rund 40 Jahren
- die Arbeitsplatzbedingungen, die insbesondere zwischen 1950 und 1975 zum Teil zu hohen Asbeststaubbelastungen der betroffenen Arbeitnehmer führten
- die starke gesundheitsgefährdende Wirkung des Asbestes
- die hohe Biobeständigkeit dieser Faser

Die heute bekannten, durch Fasern verursachten Berufskrankheiten sind im folgenden kurz erwähnt und beschrieben:

4.1.1 Erkrankungen durch Asbestfasern

Asbestose

Die Asbestose, auch Asbest-Staublunge genannt, entsteht durch eine zunehmende Bindegewebevermehrung in der Lunge (Lungenfibrose). Sie bewirkt mit fortschreitender Krankheit zunehmende Atemnot, Lungenfunktionsstörungen und in schweren Fällen Ateminvalidität.

An Asbestose leidende Patienten erkranken zudem signifikant häufiger an bösartigen Lungentumoren (Lungenkrebs) als die Durchschnittsbevölkerung. Das Tumorrisiko wird noch um ein Vielfaches erhöht bei zusätzlichem Tabakkonsum. Die Latenzzeit[3] einer Asbestose beträgt meist 15 Jahre und mehr.

Die Asbestose ist eine Krankheit, die vor allem durch hohe und langjährige Faserexposition verursacht wird, wie sie in den 50er bis 70er Jahren häufig anzutreffen war.

Die Suva anerkennt zurzeit noch etwa 5 Asbestoseerkrankungen pro Jahr als Berufskrankheit, wobei die Tendenz sinkend ist. Der Grund für diese positive Entwicklung liegt in den verbesserten, staubärmeren Arbeitsplatzbedingungen seit Anfang der 80er Jahre sowie im Verbot der Spritzasbest-Isolierung seit 1975.

Lungenkrebs (Bronchialkarzinom)

Bei hoher, langjähriger Asbeststaubexposition ist mit einem erhöhten Lungenkrebsrisiko zu rechnen.

Malignes Mesotheliom

Unter einem malignen Mesotheliom versteht man einen bösartigen Tumor (Krebs), der vorwiegend vom Brustfell (Pleura) und seltener

[3] Latenzzeit: Zeitraum zwischen Exposition und Ausbruch der Erkrankung.

vom Bauchfell (Peritoneum) ausgeht und deshalb Pleuramesotheliom bzw. Peritonealmesotheliom genannt wird. Die Krankheit verläuft praktisch immer tödlich.

Die Latenzzeit ist mit 20–40 Jahren ausserordentlich lang. Mesotheliome können sich auch bei deutlich tieferen Expositionsbedingungen bilden, als dies bei der Asbestose beobachtet worden ist.

Zurzeit werden von der Suva pro Jahr 25–30 Erkrankungen anerkannt. Dies bedeutet Stagnation auf oberem Niveau der jährlich auftretenden Erkrankungen. Aufgrund der langen Latenzzeit ist noch kein Rückgang seit dem Ergreifen von verschiedenen Massnahmen zur Verminderung der Staubbelastung zu erkennen.

Pleuraplaques

Unter Pleuraplaques versteht man eine Bindegewebevermehrung im Bereich des Brustfells. Sie tritt bei asbestexponierten Arbeitern häufig auf. In den meisten Fällen haben die Pleuraplaques keinerlei negativen Einfluss auf den Organismus und die Lungentätigkeit.

4.1.2 Erkrankungen durch künstliche Mineralfasern

Anerkannte berufsbedingte Erkrankungen durch künstliche Mineralfasern wie Textilglasfasern, Isolierwollen (Glas- und Steinwolle) oder Keramikfasern beschränken sich bis heute auf Fälle, die auf Einwirkungen durch dicke Fasern auf die Haut oder Augen zurückzuführen waren. Es ist erwiesen, dass es sich dabei meistens um mechanische Reizungen der Haut handelt, was mit starker Rötung und Juckreiz einhergehen kann.
In seltenen Fällen können auch allergische Reaktionen eintreten, ebenso wie irritative Binde- und Hornhautentzündungen der Augen. Die Haut- und Augenreizungen sind in der Regel flüchtig und leichtgradig.

4.1.3 Erkrankungen durch natürliche organische Fasern

Berufsbedingte Erkrankungen durch natürliche organische Fasern treten in der Schweiz in Form von allergischem Asthma (anfallsweise Verengung der Bronchien) oder einer allergischen Lungenentzündung (sogenannte extrinsische Alveolitis oder Hypersensitivitätspneumonie) auf. Dabei ist zu beachten, dass die eigentliche Krankheitsursache in der Regel nicht in den Fasern, sondern vielmehr in Stoffen zu suchen ist, die der Faseroberfläche anhaften.

4.2 Fasereigenschaften, die möglicherweise zu einer Gesundheitsgefährdung führen

4.2.1 Fasergeometrie

Beim Umgang mit Fasern sind grundsätzlich die zwei folgenden Einwirkungen einzelner Fasern auf den Menschen möglich:

- äussere Einwirkung: z.B. auf die Haut, auf die Augen (Bild 3)
- innere Einwirkung: auf den Atemtrakt (Bronchien und Lunge) und den Bauch-Brustfell-Bereich (Bild 4)

Bild 3
Gewisse Fasertypen können Hautentzündungen verursachen, falls sie eine genügend hohe Festigkeit (Sprödigkeit) besitzen. Es handelt sich dabei vorwiegend um grobe ("dicke") Fasern.

Bild 4
Feine Fasern mit einem Durchmesser von weniger als 3 µm können über die Atemwege bis in den untersten Lungenbereich gelangen und sich dort in den Lungenzellen verankern.

"Dicke", nicht lungengängige Fasern

Da Faserstoffe üblicherweise aus einem Gemisch von Einzelfasern mit unterschiedlichen Durchmessern bestehen, kommen "dicke" und "dünne" Fasern im gleichen Verbund vor. Somit können Fasern äussere wie auch innere Wirkungen auf den Menschen ausüben.

Dicke Fasern können, falls sie eine hinreichende Festigkeit besitzen, Haut- und Augenverletzungen verursachen. Manchmal sind Hauterkrankungen eine zusätzliche Folge solcher Hautirritationen.

"Dünne", lungengängige Fasern

Fasern, die in den unteren Atemtrakt und in die Lunge gelangen können, also sogenannt lungengängig sind, werden auch als «kritische Fasern» bezeichnet. Die Dimension solcher Fasern ist folgendermassen definiert (WHO-Konvention):

- Länge $L \geq 5$ µm (5/1000 mm)
- Durchmesser $D \leq 3$ µm
- Länge : Durchmesser > 3:1 (durch dieses Mindestverhältnis wird die Abgrenzung zwischen einer Faser und einem kompakten Partikel definiert)

Wichtig: Diese Definition der kritischen Faser beinhaltet lediglich die Lungengängigkeit und Gestalt einer Faser. Sie besagt jedoch nichts über eine allfällige Gesundheitsgefährdung!

Aus der Definition der kritischen Faser lässt sich eine wichtige Aussage ableiten:

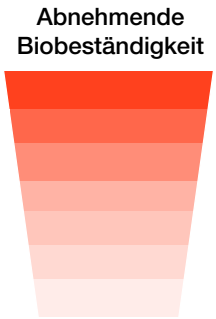
Fasermaterialien, deren Einzelfasern einen Durchmesser von mehr als 3 µm aufweisen, werden heute bezüglich einer Gesundheitsgefährdung des Lungenbereichs als unbedenklich eingestuft!

4.2.2 Biobeständigkeit

Die Biobeständigkeit der Fasern gibt Auskunft darüber, ob und in welchem Zeitraum Fasern, die in die Lunge eingedrungen sind, durch Auflösen in den Körperflüssigkeiten wieder verschwinden (abgebaut werden). Fasern mit einer hohen Löslichkeit in den Körperflüssigkeiten haben eine tiefe Biobeständigkeit und eine entsprechend kurze Verweilzeit. Eine lange Verweilzeit bedeutet, dass die betroffenen Lungenzellen entsprechend lang gereizt werden, was auf eine stärkere tumorerzeugende Wirkung schliessen lässt.

Zurzeit liegt noch keine standardisierte Methode zur einheitlichen Überprüfung der **Biobeständigkeit** der Fasern vor. Nach **zunehmender Löslichkeit** kann folgende Reihenfolge aufgestellt werden:

- Amphibolasbeste: Krokydolith
- Erionit
- Hochleistungskeramikfasern
- Keramikfasern
- Chrysotilasbest
- Glas- und Steinwolle (Isolierwollen)
- organische Natur- und Chemiefasern
- Wollastonit
- Gipsfasern



Diese Reihenfolge basiert vorwiegend auf Erfahrungswerten. Je nach Zusammensetzung der künstlichen Mineralfasern können jedoch die Löslichkeitswerte stark schwanken.

4.2.3 Oberflächenbeschaffenheit

Neben der chemischen Zusammensetzung einer Faser, die deren Biobeständigkeit beeinflusst, ist auch die Oberflächenbeschaffenheit ein viel diskutiertes Thema. Es wird u.a. vermutet, dass an der Faseroberfläche chemisch-physikalische Vorgänge ablaufen, bei denen kurzzeitig sehr reaktionsfreudige chemische Verbindungen auftreten können. Diese sogenannten Radikale sind in der Lage, das Zellgewebe zu verändern.

4.2.4 Verstaubungsverhalten

Eine mögliche Gesundheitsgefährdung durch Fasermaterialien setzt voraus, dass sich lungengängige Fasern aus dem Verbund lösen und, z.B. bei der Bearbeitung am Arbeitsplatz, in den Atembereich der Beschäftigten gelangen können. Diese Eigenschaft, Fasern zu emittieren, wird als Verstaubungsverhalten eines Fasermaterials bezeichnet. Dieses wird u.a. beeinflusst durch:

- Feinheit der Fasern
- Möglichkeit einer Längsspaltung
- Bindemitteleinsatz

Fasermessungen in der Luft am Arbeitsplatz haben z.B. gezeigt, dass beim Umgang mit Keramikfasern deutlich mehr lungengängige Fasern freigesetzt werden als beim Umgang mit Isolierwollen oder Textilgläsern. Der Grund liegt darin, dass der Anteil feiner Fasern bei Keramikfaser-Produkten hoch ist und zudem in der Regel keine Bindemittel verwendet werden.

Selbstverständlich wird die auftretende Faserkonzentration am Arbeitsplatz auch beeinflusst durch die eingesetzten Lüftungsmassnahmen und die Arbeitsweise. Diese sollten wenn möglich dem Verstaubungsverhalten angepasst werden.

4.3 Krebserzeugende Wirkung von Nicht-Asbest-Fasern: eine Standortbestimmung

Zur Abklärung, ob Nicht-Asbest-Fasern ebenfalls krebserzeugende Wirkungen auf den Menschen haben, werden grundsätzlich zwei Erhebungsmöglichkeiten angewandt, nämlich:

Erfahrungen beim Menschen

Grundlage dieser Untersuchungen sind epidemiologische[4] Studien. Dabei wird abgeklärt, ob die Krebsrate (Lungenkrebs und Mesotheliom) bei faserexponierten Personen signifikant höher ist als bei Personen ohne berufsbedingte Faserexposition.

Tierexperimentelle Untersuchungen [2], [3]

Mit Tierversuchen wird abgeklärt, ob eine bestimmte Faser bei Tieren zu einer erhöhten Tumorbildung führt.

Typische Tierversuche mit Fasern sind u.a. die direkte Verabreichung oder Injektion in

- das Brustfell (intrapleurale Injektion)
- das Bauchfell (intraperitoneale Injektion)
- die Bronchien oder die Lunge (intratracheale Instillation)[5]

Für diese Versuche werden in der Regel sehr hohe Faserdosen verabreicht.

Aufgrund dieser beiden Erhebungsmöglichkeiten kann auf der Basis des heutigen Wissensstandes folgendes festgehalten werden:

1. Bei Nicht-Asbest-Faserstoffen konnte anhand der bis heute vorliegenden epidemiologischen Studien beim Menschen kein erhöhtes Lungenkrebs- oder Mesotheliom-Risiko nachgewiesen werden.

   Ausnahme: Erionit, ein natürlicher Faserzeolith, der jedoch als technisches Fasermaterial ohne Bedeutung ist.

   In der Schweiz hat die Suva bisher noch keine berufsbedingten Krebserkrankungen, die auf Nicht-Asbest-Fasern zurückzuführen sind, anerkannt.

2. Die Suva hat folgende Fasern aufgrund von Tierversuchen als krebserzeugend eingestuft:[6]
   - Keramikfasern
   - Kaliumtitanatfasern

3. Bei den folgenden Fasern ist die krebserzeugende Wirkung nicht erwiesen, aufgrund von Tierversuchen sind sie jedoch mit einem entsprechenden Verdacht behaftet:
   - Aluminiumoxidfasern
   - Glas- und Steinwollefasern (Isolierwolle)
   - Siliziumcarbidfasern
   - Aramidfasern

[4] Epidemiologie: Lehre des örtlich und zeitlich gehäuften Auftretens einer Krankheit.

[5] Tropfenweises Einbringen.

[6] In Deutschland wurde zur Beurteilung des krebserzeugenden Potentials neben den Tierversuchen ein zweites Einstufungskriterium eingeführt, der sogenannte Kanzerogenitätsindex. Dieser wird auf der Basis der chemischen Zusammensetzung nach folgender Formel berechnet (TRGS 905) [8]:

$K_I = \Sigma$ Na, K, B, Ca, Mg, Ba-Oxide - 2 x Al-Oxide (Berechnung in Gewichts-%)

Na: Natrium, K: Kalium, B: Bor, Ca: Calcium, Mg: Magnesium, Ba: Barium, Al: Aluminium

Für die Zuordnung des Kanzerogenitätsindexes zu den Kategorien der krebserzeugenden Stoffe gelten folgende Festlegungen:

Kategorie:	K_I
2 (krebserzeugendes Potential erwiesen)	≤ 30
3 (Verdacht auf krebserzeugendes Potential)	30 – 40
0 (kein krebserzeugendes Potential)	≥ 40

Falls bei einer Faser die Tierversuche aufzeigen, dass keine krebserzeugende Wirkung vorliegt, erfolgt eine Einstufung in die nächst höhere Kategorie.

Die Einstufung auf Basis des Kanzerogenitätsindexes wird nur in Deutschland durchgeführt. In der Schweiz wie auch in anderen Ländern wurde dieses Prozedere nicht übernommen, da es in der Fachwelt sehr umstritten ist.

4. Bei allen anderen Fasermaterialien liegen keine Daten vor, die einen hinreichenden Verdacht auf eine krebserzeugende Wirkung begründen.

4.4 Zusammenfassung der Gesundheitsgefährdungen und Folgerungen

- Die Gesundheitsgefährdung durch Fasern ist differenziert zu beurteilen. Sie kann wesentlich durch folgende Merkmale beeinflusst werden:
  - Fasergeometrie: bestimmt weitgehend die Möglichkeit der Freisetzung von lungengängigen Fasern
  - Biobeständigkeit: beeinflusst die Verweilzeit im Organismus
  - Oberflächenbeschaffenheit: beeinflusst u.a. die chemisch-physikalischen Abläufe an der Oberfläche
  - Verstaubungsverhalten: beeinflusst die Staubemission und damit die Staubbelastung am Arbeitsplatz

- Ein Blick in die Berufskrankheiten-Statistik zeigt, dass
  - Asbest in überragender Weise verantwortlich ist für die faserbedingten Berufskrankheiten
  - Erkrankungen durch Nicht-Asbest-Fasern bisher sehr selten aufgetreten und von eher leichter Natur sind.

- Die krebserzeugende Wirkung von industriell wichtigen Nicht-Asbest-Fasern konnte bis anhin bei Menschen nicht nachgewiesen werden. Aufgrund von Tierversuchen wurden jedoch Keramik- und Kaliumtitanatfasern als krebserzeugend eingestuft.

- Die Anforderungen der Arbeitssicherheit beim Umgang mit Fasermaterialien müssen dem Gefährdungspotential angepasst werden.
  In Kapitel 6 werden für ausgewählte Fasern Beispiele vorgestellt.

5 Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte (MAK-Werte) und deren Überwachung

Eine wirksame Massnahme, durch Fasermaterialien verursachte Berufskrankheiten zu verhüten, besteht darin, das Auftreten von Faserstäuben im Arbeitsbereich grundsätzlich zu verhindern. In der Praxis kann dieses Ziel selten erreicht werden, so dass fast immer mit gewissen Immissionen zu rechnen ist. Die Konzentrationen dieser Faserstäube sind möglichst tief zu halten, so dass auch bei langjähriger Exposition keine Gesundheitsgefährdung auftritt.

Die MAK-Werte für die Faserkonzentrationen am Arbeitsplatz werden entsprechend dem gesundheitsgefährdenden Potential der verschiedenen Fasern festgelegt.

Definition des MAK-Wertes

"Der **M**aximale **A**rbeitsplatz**-K**onzentrationswert (MAK-Wert) ist die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitsstoffes in der Luft, die nach derzeitiger Kenntnis in der Regel bei Einwirkung während einer Arbeitszeit von 8 Stunden täglich und bis 42 Stunden pro Woche auch über längere Perioden bei der ganz stark überwiegenden Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten die Gesundheit nicht gefährdet."

Es ist zu beachten, dass die MAK-Werte keine sicheren Grenzen zwischen gefährlichen und ungefährlichen Bereichen sind. Unter dem MAK-Wert liegende Konzentrationen eines Schadstoffes garantieren nicht für die Gesundheit aller Exponierten. Besonders empfindliche oder in ihrer Gesundheit beeinträchtigte Personen können auch bei tieferen Konzentrationen geschädigt werden.

5.1 Partikelabhängiger Grenzwert: die Faserzahl

Bei faserigen Materialien, aus denen lungengängige Fasern freigesetzt werden können und die als gesundheitsgefährdend eingestuft sind, werden die MAK-Werte mit einer "Faserzahl" ausgedrückt. Diese ist definiert als Anzahl lungengängiger Fasern ($L \geq 5$ µm, $D \leq 3$ µm, $L:D > 3$, siehe Kap. 4.2.1) pro Volumeneinheit Luft.

Die Faserzahl wird üblicherweise in folgenden zwei Einheiten angegeben:

Fasern (F)/ml und Fasern (F)/m^3
(wobei 1 F/ml = 1'000'000 F/m^3)

Die aktuellen MAK-Werte (1997), die mit einer Faserzahl angegeben werden, betragen:

Asbeste (alle Arten)

0,25 F/ml bzw. 250'000 F/m^3 K [7]

Wichtig: Der MAK-Wert ist nicht zu verwechseln mit dem vom BUWAL[8] empfohlenen Immissionsgrenzwert von deutlich unter 1'000 F/m^3 resp. 0,001 F/ml. Diese Empfehlung gilt für Aufenthaltsräume für die Allgemeinbevölkerung.

Nicht-Asbeste

- Künstliche Mineralfasern
  - Steinwolle, Glaswolle (Isolierwollen), Keramikfasern K [7], Spezielle Mikrofasern: 0,5 F/ml bzw. 500'000 F/m^3
- Aluminiumoxidfasern
- Siliziumcarbidfasern

  0,5 F/ml bzw. 500'000 F/m^3

[7] K = eingestuft als krebserzeugend
[8] BUWAL = Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft

5.2 Messverfahren zur Ermittlung der Faserzahl

Die Grenzwertfestlegung mittels Faserzahl, wie sie vor allem beim Asbest und bei den künstlichen Mineralfasern gebräuchlich ist, ist verknüpft mit einem bestimmten dazugehörenden Messverfahren (ZH 1/120.31; RTM 1. [9]).

Das Verfahren beinhaltet zwei Schritte:

- Probenahme am Arbeitsplatz
- Lichtmikroskopische Auszählung der Fasern im Labor

Bei der Probenahme wird im Atembereich des Beschäftigten ein definiertes Luftvolumen mit Hilfe einer Pumpe durch einen Partikelfilter gesaugt (Bild 5).

Die auf dem Filter abgeschiedenen Fasern werden nach vorgängiger Präparation mit dem Phasenkontrast-Lichtmikroskop ausgezählt. Dabei werden bei 400–500facher Vergrösserung nur jene Fasern gezählt, die der Definition der Lungengängigkeit entsprechen.

Bei der Lichtmikroskopie werden alle Fasern der definierten Geometrie gezählt, eine Unterscheidung der verschiedenen Faserarten ist nicht möglich. Deshalb müssen in Zweifelsfällen zusätzliche Messungen mit Auszählung

Bild 5
Repräsentative Arbeitsplatzmessungen setzen voraus, dass die Probenahmen auf Mann/Frau durchgeführt werden. Dazu werden leichte, tragbare Pumpen eingesetzt, welche die Luft im Atembereich durch einen Partikelfilter saugen. Die auf dem Filter abgeschiedenen Fasern werden anschliessend im Labor ausgewertet.

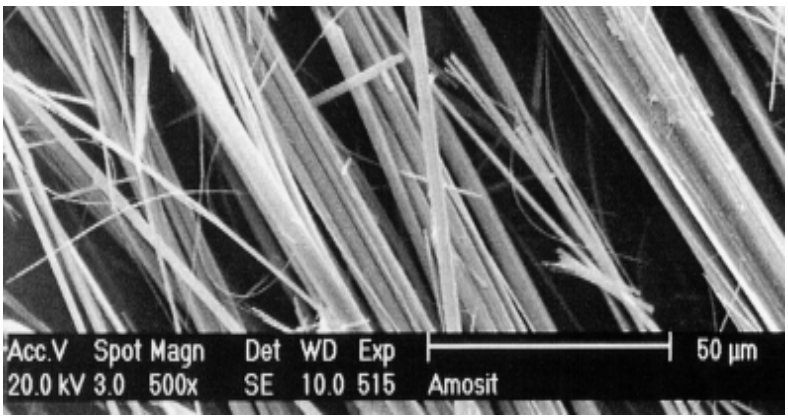


Bild 6
Ein Blick in das Rasterelektronenmikroskop (REM) zeigt ein Faserbündel von Amositasbest, Vergrösserung 500 x. Mit Hilfe moderner Röntgenanalysentechnik können die Fasern bezüglich der chemischen Struktur untersucht und identifiziert werden.

Bild 7
Auswertestation für die Faseranalytik mittels REM und Röntgenspektrometer.

im Rasterelektronenmikroskop (REM) (Bild 6) durchgeführt werden (gemäss ZH 1/120.46 [10]). Dieses Verfahren erlaubt es, jede Einzelfaser bei der Auszählung zu identifizieren und nur die Fasern des gesuchten Fasertyps zu zählen.

Die REM-Methode ist jedoch im Vergleich zur Lichtmikroskopie-Methode viel komplexer und teurer, da aufwendige, hochspezialisierte Laboreinrichtungen notwendig sind (Bild 7). Deshalb wird in der Regel das weniger kostspielige Lichtmikroskop-Verfahren angewandt. Diese Methode erlaubt es uns, bezüglich des MAK-Werts genügend präzise Aussagen zur Faserstaub-Konzentration zu machen. Das REM-Verfahren wird vor allem in der Grundlagenforschung sowie zur Ermittlung von tiefen Faserkonzentrationen im Bereich zwischen 100–10’000 F/m^3 eingesetzt.

Weitere Angaben zu den Messmethoden können der Literatur über die einschlägigen Standard-Messverfahren bzw. den Normen entnommen werden [9], [10].

5.3 Massenabhängiger Grenzwert: Feinstaubkonzentration

Für die Fasermaterialien, die keine lungengängigen Fasern bilden (jedoch möglicherweise kompakte Feinstaubpartikel), wird als Grenzwert anstelle der Faserzahl ein gravimetrischer (massebezogener) Wert festgelegt: die Feinstaubkonzentration.

Als "Feinstaub" wird per Definition derjenige Anteil im gesamten atembaren Staub bezeichnet, der bis in die feinen Lungenbläschen gelangen kann: das sind Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 7 µm.

Wichtig: Es muss immer damit gerechnet werden, dass aus "dicken" Fasern bei mechanischer Einwirkung kleinere Partikel entstehen, die der Feinstaub-Definition entsprechen.

Der MAK-Wert für diese Fasermaterialien beträgt zurzeit 6 mg Feinstaub/m^3. Dies entspricht dem "allgemeinen Staubgrenzwert", der für inerte Stäube angewandt wird; diese rufen keine spezifischen Krankheitserscheinungen hervor und führen in der Lunge zu keiner Bindegewebebildung.

Die Ermittlung der Feinstaubkonzentration erfolgt gravimetrisch durch Wägen des Feinstaubanteils auf dem Filter unter Berücksichtigung des Probeluftvolumens.

6 Faserförmige Stäube an typischen Arbeitsplätzen: Vorkommen - Exposition - Beurteilung - Schutzmassnahmen

Im Rahmen ihrer Aufgabe, die Anwendung der Vorschriften zur Verhütung von Berufskrankheiten in den Betrieben zu beaufsichtigen, hat die Suva der Überwachung von faserbelasteten Arbeitsplätzen eine hohe Priorität eingeräumt. Die Überwachung konzentrierte sich während 3–4 Jahrzehnten auf Arbeitsplätze, an denen mit Rohasbest und asbesthaltigen Erzeugnissen umgegangen wurde.

In den letzten Jahren erfolgten zusätzlich systematische Überwachungen von Arbeitsplätzen, an denen mit Nicht-Asbest-Faserprodukten, insbesondere künstlichen Mineralfasern, umgegangen wird. Mit Arbeitsplatzbegehungen und gezielten Messaktionen wurde an typischen Arbeitsplätzen die Faserstaubexposition der Beschäftigten ermittelt und beurteilt.

6.1 Asbest

In der Schweiz wurde aufgrund eines Bundesratsbeschlusses auf den 1. März 1990 ein generelles Asbestverbot eingeführt. Dieses betrifft sowohl die Herstellung von asbesthaltigen Erzeugnissen und Gegenständen als auch die Einfuhr von asbesthaltigen Handelswaren.

Rechtliche Grundlage des Asbestverbotes

Das generelle Verbot für die Verwendung von Asbest ist in der "Verordnung über umweltgefährdende Stoffe" ("Stoffverordnung"), Anhang 3.3 niedergeschrieben [11]. Diese Verordnung stützt sich auf das Umweltschutzgesetz.

Für eine breite Palette von Anwendungen galt das Verbot ohne Verzug ab dem 1. März 1990.

Für spezielle technische Erzeugnisse wie Druck- und Kanalrohre oder Dichtungen für hohe Beanspruchung wurde ein abgestufter Terminplan erlassen, der das Verbot für gewisse Anwendungen bis Ende 1994 hinausschob. Ab diesem Datum sind nun alle Asbesterzeugnisse verboten. Ausnahmebewilligungen sind dem BUWAL zu beantragen und können nur von diesem Bundesamt bewilligt werden.

Aufgrund dieser Entwicklung muss heute die Asbestthematik unter folgenden Aspekten betrachtet werden:

- Asbest als Werkstoff
- Entsorgung von asbesthaltigen Altlasten

In den folgenden Ausführungen werden diese beiden Themen einzeln dargestellt.

6.1.1 Asbest als Werkstoff: Herstellung, Be- und Verarbeitung

Zum Teil erfolgte schon vor der Einführung des generellen Asbestverbotes in der Industrie ein markanter Rückzug aus dem Asbest. Heute zeigt sich folgendes Bild:

Faserzementindustrie (Herstellung)

In den 70er und 80er Jahren wurden ca. 90% des eingeführten Rohasbestes für die Herstellung von Asbestzement-Produkten wie Fassadenplatten, Wellplatten und Rohre benötigt.

Inzwischen sind **sämtliche Produkte asbestfrei**, einige schon seit Ende der 80er Jahre.

Eine Asbestexposition der mit der Herstellung oder Verarbeitung dieser Produkte beschäftigten Personen ist somit nicht mehr vorhanden. Als Ersatzfasern (Bild 8) werden eingesetzt:

- Zellulose
- Polyacrylnitril
- Polyvinylalkohol

Die Gesundheitsgefährdung durch diese Ersatzfasern ist als sehr gering einzustufen, zumal bei diesen Stoffen eine tiefe Faserexposition vorliegt (Bild 9 und 10).

Baugewerbe (Be- und Verarbeitung)

In der Baubranche ist mit dem Verzicht bzw. Verbot von neuen Asbestzementprodukten

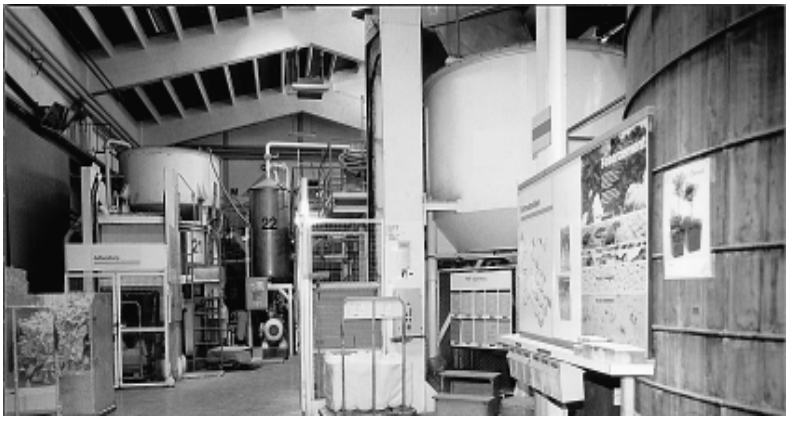


Bild 8
Die Entwicklung vom Asbestzement zum heutigen asbestfreien Faserzement war anspruchsvoll und verlangte die Einführung neuer komplexer Verfahren. Insbesondere die Aufarbeitung der Ersatzfasern erfordert eine Vielzahl neuer Prozessanlagen.

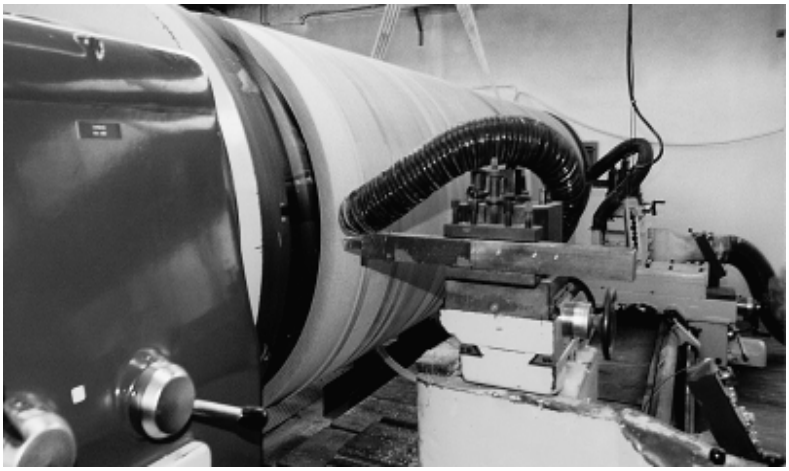


Bild 9
Bei stauberzeugenden Arbeiten sind auch bei asbestfreien Faserzementen Quellenabsaugungen einzusetzen, z.B. bei Dreharbeiten am Kanalrohr.

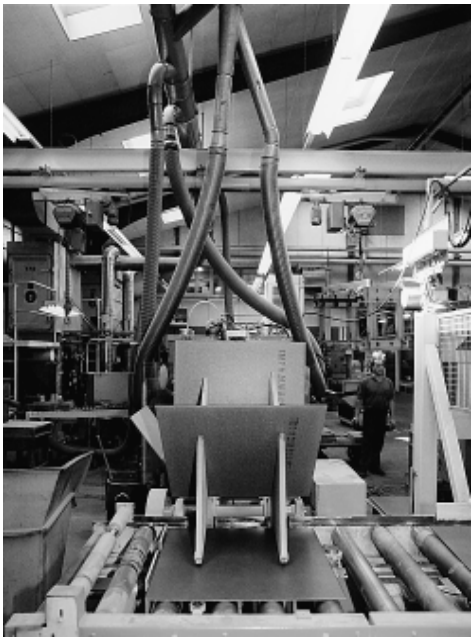


Bild 10
Quellenabsaugungen an der Stanzmaschine für asbestfreie Schieferplatten.

die Gefahr einer Asbestexposition der Beschäftigten wesentlich geringer geworden. Bei Abbrucharbeiten und der Demontage oder der Instandhaltung von älteren Platten oder Rohren ist jedoch noch mit der Freisetzung von Asbeststaub zu rechnen. Die notwendigen Schutzmassnahmen ergeben sich aufgrund der jeweiligen Arbeitsplatzsituation, der Dauer der Arbeiten sowie der dabei auftretenden Faserstaubbelastung (siehe Kapitel 6.1.2).

Bremsbeläge und Kupplungen

Seit 1991 dürfen in die Schweiz eingeführte Neuwagen nur noch asbestfreie Reibbeläge enthalten. Auch Ersatzbeläge für Trommel- und Scheibenbremsen sowie Kupplungen sind heute asbestfrei.

In Betrieben, wo hauptsächlich Brems- und Kupplungsbeläge bearbeitet und ersetzt werden, ist die Asbestexposition sehr stark reduziert worden. Von einer "Nullexposition" kann noch nicht gesprochen werden, da ab und zu noch alte asbesthaltige Beläge entsorgt werden müssen (Bild 11). Die Asbestgefährdung ist jedoch sehr gering (Messungen ergaben

Bild 11
Das Abnieten von alten Bremsbelägen erfordert eine Quellenabsaugung, da auch in Zukunft noch mit asbesthaltigen Belägen zu rechnen ist.

Werte im Bereich von 1/100 des MAK-Wertes). Für Reibbeläge – eine eigentliche Industrie existiert in der Schweiz nicht, die Produkte werden eingeführt – werden folgende Ersatzstoffe eingesetzt:

- Aramide (Kevlar)
- Graphitfasern
- Metallfasern
- evtl. künstliche Mineralfasern

Bei der Bearbeitung von Brems- und Kupplungsbelägen ist es Stand der Technik, dass bei stauberzeugenden Arbeiten Quellenabsaugungen eingesetzt werden (Bild 12). Somit wird die Faserbelastung am Arbeitsplatz tief gehalten. Arbeitsplatzmessungen zeigen, dass Faserkonzentrationen im Bereich von 20'000 bis 50'000 Fasern/m^3 auftreten können. Sie liegen somit weit unterhalb des MAK-Wertes für künstliche Mineralfasern.

Bild 12
Quellenabsaugung beim Zuschneiden von asbestfreien Bremsbelägen.

Dichtungen

Asbesthaltige Dichtungen kamen vorwiegend bei hohen Beanspruchungen zum Einsatz, u.a. in der Chemie und in Kraftwerken. Die Dichtungsmaterialien wurden in die Schweiz eingeführt und hier durch Spezialfirmen zurechtgestanzt oder zugeschnitten.

Mit dem Asbestverbot ist der Import für asbesthaltige Dichtungen gestoppt worden. Als Ersatzstoffe werden u.a. verwendet:

- Aramide (Kevlar)
- Aluminiumsilikate
- graphitlaminierter Edelstahl

Die Faserfreisetzung bei den Stanz- und Zuschneidearbeiten war schon bei asbesthaltigen Dichtungen gering. Wie verschiedene Arbeitsplatzmessungen zeigen, lagen die mittleren Faserkonzentrationen deutlich unterhalb des aktuellen MAK-Wertes von 250'000 F/m^3. Noch tiefer liegt die Faserkonzentration der Ersatzstoffe, da diese in der Regel geringere Anteile an lungengängigen Fasern aufweisen.

Filtermaterialien

Asbesthaltige Filter für die Lebensmittel- und Pharmaindustrie werden seit Ende der 80er Jahre in der Schweiz nicht mehr hergestellt. Der Import ist seit Ende 1994 ebenfalls verboten.

Für die Herstellung hochbeanspruchter Filter werden heute u.a. folgende Stoffe verwendet:

- künstliche Mineralfasern: Keramikfasern und spezielle Mikroglasfasern
- Polypropylenfasern
- Teflonfasern
- Fasern aus oxydiertem Polyacrylnitril

Eine kurzzeitige Asbestexposition ist noch beim Ausbau alter Asbestfilter möglich. Bei den Ersatzfasern ist mit keiner Gesundheitsgefährdung durch künstliche Mineralfasern zu rechnen, da Arbeitsplatzmessungen gezeigt haben, dass die auftretenden Faserkonzentrationen deutlich unter dem Grenzwert liegen.

Textilien

Die Herstellung asbesthaltiger Textilien für Schutzüberzüge oder Handschuhe wurde Ende der 80er Jahre generell eingestellt. Als Ersatzstoffe werden u.a. verwendet:

- Leder
- Aramide (Kevlar)
- neoprenbeschichtete Glasfasern

Die heute bekannten Ersatzstoffe emittieren praktisch keine lungengängigen Fasern. Eine Gesundheitsgefährdung ist daher nicht gegeben.

Füllstoffe

Der Einsatz von Asbest als Faserzusatzstoff für Klebe- und Dichtungsmassen wurde 1989 generell eingestellt.Als Ersatzstoffe werden u.a. verwendet:

- Aramide
- Textilglasfasern
- Glas- und Steinwollen

Eine Exposition der Arbeitnehmer gegenüber lungengängigen Fasern ist am ehesten bei der Einarbeitung von künstlichen Mineralfasern gegeben. Eine Vielzahl von Messungen zeigt jedoch, dass dabei der Grenzwert in der Regel deutlich unterschritten wird (siehe Kap. 6.2.1).

6.1.2 Asbest-Sanierung

Das Asbestverbot hat dafür gesorgt, dass asbesthaltige Werkstoffe am Arbeitsplatz praktisch verschwunden sind. Geblieben sind hingegen unzählige Gebäudeteile und Apparate, in denen zum Teil noch grössere Mengen Asbest vorhanden sind. Gewisse Asbestaltlasten, insbesondere Spritzasbestisolierungen, Bodenbeläge und Leichtbauplatten, müssen aufgrund kantonaler oder kommunaler Gesetzgebung saniert, d.h. entfernt und entsorgt werden.

Die unsachgemässe Entsorgung von Asbestaltlasten kann erfahrungsgemäss zu Faserexpositionen führen, die ein Vielfaches des Grenzwertes betragen (bis 10 Mio. F/m^3). Es ist daher nötig, die beschäftigten Arbeitnehmer mit geeigneten Vorkehrungen zu schützen.

Die Gefährdung und die notwendigen Schutzmassnahmen hängen massgeblich von der Art ab, wie die Asbestfaser im Produkt eingebunden ist. Es wird unterschieden zwischen:

- schwach gebundenem Asbest
- fest gebundenem Asbest.

Die beiden Typen werden im folgenden etwas genauer betrachtet:

Schwach gebundene Asbestprodukte

◆ **Produktebeschreibung**

Schwach gebundene Asbestprodukte haben in der Regel einen hohen Asbestgehalt (> 40 Gew.-%) und ein geringes Raumgewicht (< 1000 kg/m^3). Aufgrund der schwachen Einbindung des Asbestes können sich aus diesen Produkten leicht Fasern freisetzen, was zu einer erhöhten Gesundheitsgefährdung führen kann.Typische Anwendungen sind:

- Spritzasbest als Spritzputz oder -beschichtung
- Asbest-Leichtplatten
- Asbestbeschichtung von Bodenbelägen
- Asbestmatten oder -platten als Isolierstoff
- Asbestschnüre für Abdichtungen
- Asbestmassen für Kabelabschottungen

(Bilder 13, 14, 15)

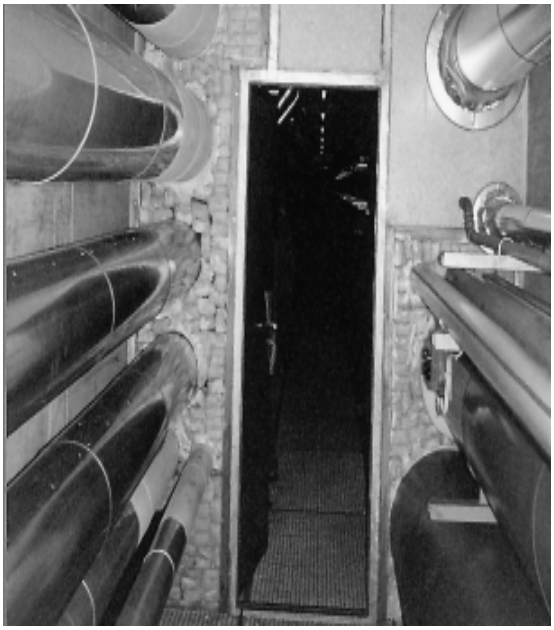


Bild 13
Abschottung eines Brandabschnittes mit Asbestmassen.

Bild 14
Rohrleitungsisolationen aus Asbestmatten.

Bild 15
Stahlträger mit Spritzasbestbeschichtung.

Die fachgerechte Entfernung, insbesondere von grossflächigen Spritzasbestisolierungen, erfordert einen grossen technischen, organisatorischen und finanziellen Aufwand!

◆ Entfernung von schwach gebundenen Asbestprodukten

Sanierungsarbeiten von schwach gebundenem Asbest müssen nach der EKAS[9]-Richtlinie "Spritzasbest und andere schwach gebundene asbesthaltige Materialen" [12] durchgeführt werden (Bilder 16, 17, 18, 19, 20).

Bild 16
Bereiche, in denen Sanierungsarbeiten durchgeführt werden, sind deutlich abzugrenzen und mit Warnschildern zu versehen.

Bild 17
Mit Lüftungsaggregaten muss in der Sanierungszone dauernd ein ausreichender Unterdruck sichergestellt werden.

Bild 18
Flächen ohne Asbestisolationen sind zur Vermeidung einer Kontamination mit Kunststoffolien abzuschotten.

Bild 19
Persönliche Schutzmittel bei Sanierungsarbeiten: Atemschutzgeräte (Haube oder Helm) mit Partikelfilter P3, Schutzanzüge, Handschuhe.

Bild 20
In einer 4kammerigen Dekontaminationsschleuse sind Personen und Werkzeuge asbestfrei zu reinigen.

[9] EKAS: Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit

Für das sachgerechte Entfernen von asbesthaltigen Boden- und Wandbelägen wurde zusätzlich eine Suva-Broschüre veröffentlicht [13]. Darin werden Arbeitsmethoden vorgestellt, die weniger aufwendig sind als die Arbeitsmethoden gemäss EKAS-Richtlinie, den Gesundheitsschutz bei diesen Arbeiten aber trotzdem gewährleisten.

Wichtig: Alle Sanierungsarbeiten an schwach gebundenen Asbestmaterialien müssen vor Arbeitsaufnahme der Suva gemeldet werden.

Fest gebundene Asbestprodukte

◆ Produktebeschreibung

Bei diesen Produkten sind die Asbestfasern durch ein Bindemittel fest eingebunden. Eine Faserfreisetzung erfolgt nur bei einer mechanischen Verletzung des Bindemittels (z.B. beim Fräsen, Brechen) oder unter Umständen bei langjähriger Verwitterung.

Im Baubereich sind vor allem Asbestzementprodukte anzutreffen, welche einen Asbestanteil bis zu 20 Gew.-% haben und ein Raumgewicht von mehr als 1000 kg/m^3:

- Fassadenbekleidungen
- Dachabdeckungen
- Lüftungskanäle
- Rohre
- Formstücke wie Blumenkisten

Als fest gebundene Asbestprodukte gelten auch

- Dichtungen (Verbund mit Gummi)
- Reibbeläge (Verbund mit Harzen)

Wegen der nur geringen Faserfreisetzung bei fest gebundenen Asbestmaterialien müssen diese, falls sie nicht beschädigt sind, nicht vor ihrer betrieblich ohnehin erforderlichen Ersetzung entfernt und entsorgt werden.

◆ Entfernen von fest gebundenen Asbestprodukten

Bei Abbruch, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten an fest gebundenen Asbestmaterialien sind erfahrungsgemäss deutlich tiefere Faserkonzentrationen zu erwarten als bei schwach gebundenen. Wie Messungen der Suva zeigen, können dabei die Konzen-trationen zwischen 100’000 und 600’000 F/m^3 liegen (d.h. zwischen dem 0,4- und 2,4fachen des MAK-Wertes). Es sind daher auch bei diesen Arbeiten wichtige Grundsätze der Arbeitssicherheit einzuhalten[10], u.a.:

- Asbestzementprodukte sind möglichst zerstörungsfrei zu entfernen, z.B. durch Abschrauben der Bauteile, Durchfeuchten vor dem Herausbrechen, Besprühen mit faserbindenden Mitteln u.a. Das Zertrümmern und Werfen dieser Produkte sowie die Verwendung von Schuttrutschen sind nicht zulässig.
- Falls sich unzulässig hohe Staubkonzentrationen am Arbeitsplatz und in der näheren Umgebung nicht vermeiden lassen, sind Filtergeräte gegen Partikeln zu tragen:
  - Halb- oder Viertelmasken mit einem Partikelfilter der Klasse P2 (bei einer 10fachen Grenzwertüberschreitung P3)
  - partikelfiltrierende Halbmasken FFP2 (bei 10facher Grenzwertüberschreitung FFP3)
  - Filtergeräte mit Gebläse und Helm oder Haube der Klasse TH2P(bei 20facher Grenzwertüberschreitung TH3P)
- Beim Umgang mit Asbest sind generell auch folgende hygienischen Massnahmen durchzusetzen:
  - Das Rauchen ist verboten wegen der Gefahr, dass die Schutzmasken unnötigerweise entfernt werden.
  - In den Arbeitsbereichen dürfen die Arbeitnehmer keine Nahrungs- und Genussmittel zu sich nehmen. Für diesen Zweck sind besondere Pausenbereiche einzurichten.
  - Es müssen Waschräume sowie Garderoben mit getrennten Aufbewahrungsmöglichkeiten für Strassen- und Arbeitskleidung zur Verfügung stehen.

Siehe auch [14].

[10] Diese Empfehlungen sind sinngemäss auch auf das Entfernen anderer Produkte wie Dichtungen anzuwenden.

6.1.3 Zusammenfassung zur aktuellen Asbestgefährdung

- Bei gewerblichen und industriellen Arbeitsplätzen ist der Umgang mit Asbest und asbesthaltigen neuen Produkten seit dem Asbestverbot von 1990 nicht mehr gegeben.

  Eine Asbestexposition ist daher nicht mehr vorhanden.

- Bei Instandhaltungsarbeiten und beim Ausbau von fest gebundenen Asbestmaterialien ist kurzzeitig eine Faserfreisetzung möglich.

  Je nach Arbeitsplatzsituation sind technische und organisatorische Massnahmen sowie persönliche Schutzmassnahmen notwendig.

- Ein erhöhtes Gesundheitsrisiko besteht bei Sanierungsarbeiten von schwach gebundenen Asbestmaterialien.

  Diese dürfen nur nach der einschlägigen EKAS-Richtlinie bzw. dem Suva-Merkblatt über das Entfernen von asbesthaltigen Boden- und Wandbelägen durchgeführt werden.

  Alle Sanierungsarbeiten an schwach gebundenen Asbestmaterialien müssen vor Arbeitsaufnahme der Suva gemeldet werden.

6.2 Künstliche Mineralfasern (KMF)

Von den Nicht-Asbest-Fasern sind die künstlichen Mineralfasern für gewerbliche und industrielle Zwecke mit Abstand am wichtigsten. Entsprechend sind sie am Arbeitsplatz weit verbreitet. Insbesondere deren wichtigster Vertreter, die Isolierwolle (Glas- und Steinwolle), wird von vielen Arbeitnehmern häufig ver- und bearbeitet. Durch systematische Messaktionen hat die Suva die bei typischen Arbeiten auftretenden Faserkonzentrationen ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in den folgenden Ausführungen kurz vorgestellt.

6.2.1 Isolierwollen (Glas- und Steinwolle-Fasern) für thermische und akustische Isolationen (Bild 21)

In der Schweiz haben Arbeitnehmer in folgenden Bereichen Kontakt zu Isolierwollen:

- **Herstellung:** 3 Betriebe (2 Glaswolle, 1 Steinwolle) mit insgesamt ca. 80–100 Exponierten.

- **Verarbeitung:** 8–10 meist kleinere Betriebe, die aus Isolierwollen eigentliche Isoliersysteme anfertigen. Exponierte Mitarbeiter: ca. 40–50.

- **Anwendung beim Isolieren:** Viele Betriebe aus dem Baugewerbe (Zimmerleute, Maurer, Isolierer) mit entsprechend hoher Anzahl an Exponierten. Viele Heim- und Hobbywerker.

Herstellung (Bild 22)

Der Herstellungsprozess von Glas- und Steinwolle ist stark automatisiert. Massnahmen zur Verminderung der Staubbelastung, z.B. Quellenabsaugungen, sind bei

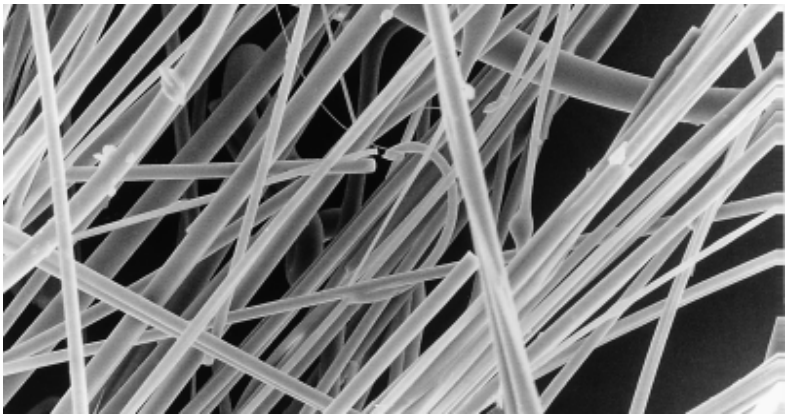


Bild 21
Steinwolle-Fasern, Vergrösserung 500 x.

Bild 22
Im Zerfaserungsgerät, dem "Herzstück" der Isolierwolleproduktion, werden aus der Schmelze die Fasern hergestellt.

den bekannten Emissionsquellen vorhanden. So u.a. beim Durchlaufofen (Emission von Harzmonomeren und Ammoniak), am Sägewerk und im Konfektionierungsbereich (Zuschneiden von Spezialprodukten).

Folgende Konzentrationswerte (Tabelle 3) (Lichtmikroskopie-Verfahren, siehe Kap. 5) wurden festgestellt:

Tätigkeit/Bereich	Faserzahl (Mittelwert)	Streuung
Rohstoffaufbereitung	keine Fasern vorhanden	
Zerfaserer, Spinnerbühne	250'000 F/m³	100'000–330'000 F/m³
Maschinenführer, Kontrollgänge	150'000 F/m³	<100'000–300'000 F/m³
Sägebereich	150'000 F/m³	<100'000–310'000 F/m³
Bandabnahme	200'000 F/m³	140'000–330'000 F/m³
Lagerbereich	< 100'000 F/m³	
Konfektionierung	200'000 F/m³	140'000–350'000 F/m³
Waggon- und LKW-Verlad	< 100'000 F/m³	

Tabelle 3: Messwerte (Faserzahl) bei der Herstellung von Isolierwollen.

Verarbeitungsbetriebe

In ca. 8–10 Betrieben wird Isolierwolle zu Isolierelementen weiterverarbeitet. Diese Arbeit besteht im wesentlichen im Verkleben der verschiedenen Komponenten wie Isolierwolle, Holz-, Eternit- oder Gipsplatten.

Die mittlere Faserzahl lag bei 150'000 F/m³ (< 100'000–250'000 F/m³).

Isolieren auf Baustellen

Folgende typischen Anwendungsbereiche von Bauisolierungen wurden messtechnisch erfasst:

- Dach zwischen Sparren (vorwiegend Innenraum)
- Estrichböden (vorwiegend Innenraum)
- Dach über Sparren (vorwiegend im Freien)
- Flachdach (vorwiegend im Freien)
- Hinterlüftete Fassade (vorwiegend im Freien)
- Verputzte Fassade (vorwiegend im Freien)

Zu bemerken ist, dass bei allen Berufsgattungen die eigentliche Isolierarbeit, also der direkte Kontakt mit den Isolierwollen, nur einen kleinen Teil der Gesamtbeschäftigung ausmacht. Die durchschnittliche Expositionsdauer gegenüber den Fasern beträgt zwischen einigen Stunden und wenigen Tagen pro Monat.

Die auf insgesamt 14 ausgewählten Baustellen durchgeführten Messungen ergaben folgende durchschnittlichen Faserwerte (in Klammern die Streuungen):

- Isolierarbeiten im Freien: 60'000 F/m³ (20'000–140'000 F/m³) (Bilder 23 und 24)
- Isolierarbeiten im Innenraum: 160'000 F/m³ (120'000–270'000 F/m³) (Bild 25)

Parallel dazu wurden zur Faseridentifikation Messungen mit dem Elektronenmikroskop durchgeführt. Diese Messungen ergaben, dass der Anteil an Isolierwolle-Fasern je nach Baustelle zwischen 20 und 100 % variierte. Im Durchschnitt waren jeweils nur ca. 50 % aller lungengängigen Fasern, die mittels

Bild 23
Isolierarbeiten im Freien: Dachisolation.

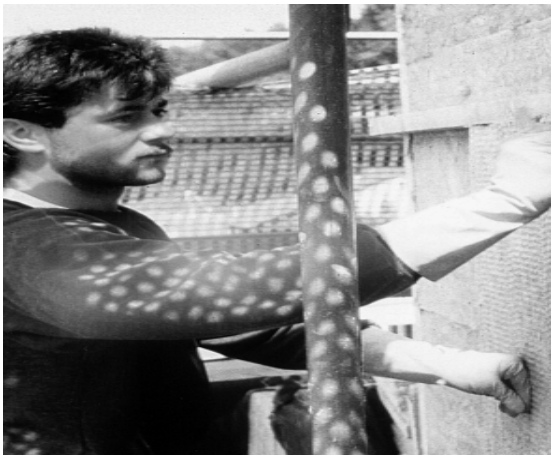


Bild 24
Isolierarbeiten im Freien: Fassadenisolation.

Bild 25
Isolierarbeiten im Innenraum: Dachisolation zwischen Sparren.

Lichtmikroskopie gezählt wurden, eigentliche Produkte-(Isolier-)Fasern. Die restlichen waren entweder Gips- oder organische Fasern. Bei den organischen Fasern handelte es sich vorwiegend um Holz- und Kunststoffasern.

Beurteilung der Faserexposition beim Umgang mit Isolierwollen

- Bei der Herstellung, der Bearbeitung und beim Isolieren lagen die durchschnittlichen Faserkonzentrationen ohne Ausnahme unterhalb des Grenzwertes von 500'000 F/m^3.
- Die höchsten Einzelwerte wurden beim Isolieren im Innenraum gefunden. Aber auch diese Werte erreichten nur das 0,6–0,7fache des Grenzwertes.
- Bei der Definition der MAK-Werte wird mit einer mittleren Exposition von 8 Stunden pro Arbeitstag gerechnet. Die mittlere Expositionsdauer eines Arbeitstages war jedoch in der Regel, insbesondere auf Baustellen, erheblich tiefer.

In Deutschland durchgeführte Messungen [6] ergaben ähnliche Werte, wie sie in der Schweiz gefunden wurden.

Die Messungen zeigen, dass das Verstaubungsverhalten von Isolierwollen günstig zu beurteilen ist, d.h. die Freisetzung von lungengängigen Fasern ist, verglichen etwa mit losen Asbestprodukten, eindeutig geringer.

Generelle Schutzmassnahmen [15]

Beim Umgang mit Isolierwollen (grundsätzlich auch mit anderen künstlichen Mineralfasern) sind zwei Schutzziele zu erreichen:

- Schutz vor Einwirkung lungengängiger Fasern
- Schutz vor Verletzungen durch "dicke" Fasern

Dies kann u.a. durch folgende Massnahmen erreicht werden:

◆ **Produktebezogene Massnahmen**

- Optimale Fasereinbindung in der Matrix durch Zugabe von Gleit- und Schmelzmitteln, Bindemitteln und Oelen, also Verbesserung des Verstaubungsverhaltens durch den Hersteller.
- Einsatz von konfektionierten Platten und Matten auf Baustellen, damit vor Ort keine zusätzlichen Zuschneidearbeiten anfallen.

◆ **Technische Massnahmen**

- Bei der Herstellung sowie bei maschineller Verarbeitung: Lüftungstechnische Massnahmen wie Quellenabsaugungen (Bilder 26 und 27) und technische Raumlüftung. Den dabei eingesetzten Abluftreinigungsanlagen ist die notwendige Aufmerksamkeit zu schenken, insbesondere wenn ein Teil der sogenannten "Reinluft" wieder in die Arbeitsräume zurückgeführt wird. Die Abscheider müssen den Anforderungen der Staubklasse H (high hazard) entsprechen (Norm ICE 335-2-69, Annex AA).

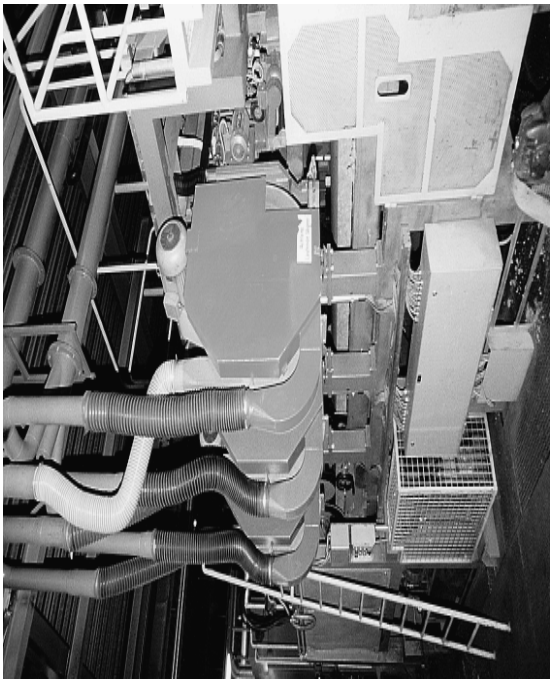


Bild 26
Entlang des Förderbandes werden bei stauberzeugenden Arbeiten, z.B. beim Zuschneiden, Quellenabsaugungen eingesetzt.

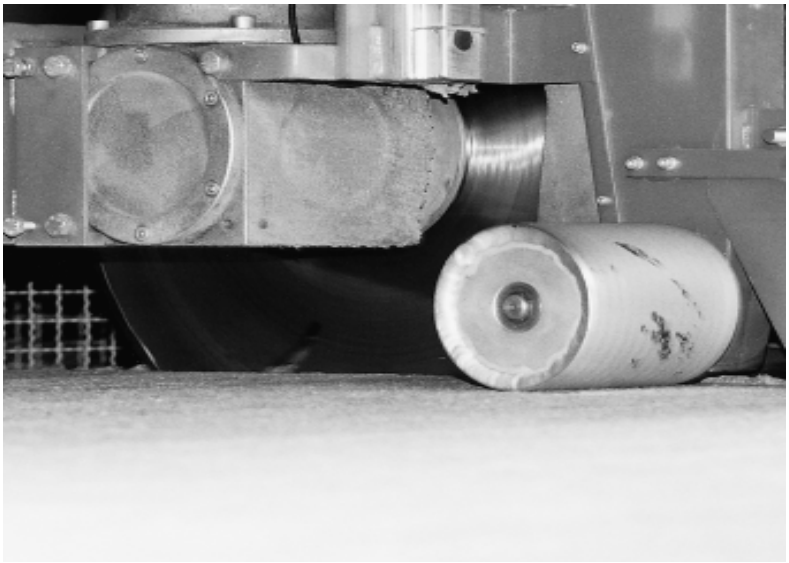


Bild 27
Detailaufnahme einer Absaugvorrichtung, die unmittelbar bei der Schnittstelle des drehenden Messers montiert ist.

- Beim Isolieren auf Baustellen im Innern: Für gute natürliche Lüftung sorgen.
- Nur staubarme Werkzeuge für das Zuschneiden vor Ort einsetzen: Messer, Scheren, jedoch keine Sägen!

◆ **Organisatorische Massnahmen**

- Transport in Verpackung (Kunststoff-Folien).
- Produkte nicht unnötigerweise verletzen, z.B. durch Werfen.
- Bei Reinigungsarbeiten nicht Wischen, sondern geeignete Staubsauger einsetzen.

◆ **Persönliche Schutzausrüstungen**

- Atemschutz:

  Atemschutzgeräte sind dann einzusetzen, wenn die auftretenden Faserstaubkonzentrationen nicht sicher unterhalb des Grenzwertes liegen.Dies ist erfahrungsgemäss der Fall bei:

  • Arbeiten in engen, nicht belüfteten Räumen
  • Abbrucharbeiten

  Geeignete Atemschutzgeräte sind:

  • Halb- oder Viertelmasken mit einem Partikelfilter der Klasse P2 (bei einer 10fachen Grenzwertüberschreitung P3)
  • partikelfiltrierende Halbmasken FFP2 (bei 10facher Grenzwertüberschreitung FFP3)
  • Filtergeräte mit Gebläse und Helm oder Haube der Klasse TH2P(bei 20facher Grenzwertüberschreitung TH3P)

- Augenschutz:

  Bei Überkopfarbeiten oder Abbrucharbeiten sind geschlossene Schutzbrillen zu tragen.

- Handschutz:

  Beim Umgang mit Isolierwollen sollten die Hände geschützt werden durch:

  • Tragen von Handschuhen, z.B. Lederhandschuhen
  • Benutzen von Hautschutzsalben vor und nach der Arbeit und durch gründliches Waschen der Hände

- Schutzkleidung

  Geeignete Schutzanzüge sind bei Arbeiten einzusetzen, bei denen hohe Faserkonzentrationen auftreten können, z.B. bei Abbrucharbeiten, evtl. auch in engen, nicht gelüfteten Räumen während des Isolierens.

6.2.2 **Textilglasfasern** (Bild 28)

Faserstaubexposition beim Umgang mit Textilglas

Da in der Schweiz keine Textilglasfasern hergestellt werden, konzentriert sich bei uns der Umgang mit diesen Fasern auf die folgenden Anwendungsbereiche:

- Herstellung faserverstärkter Werkstoffe wie
  - Kunststoffe (Bild 29)
  - Bauplatten (z.B. Gipskarton)
- Bearbeitung von faserverstärkten Werkstoffen wie
  - fräsen
  - bohren
- Dekoration, Innenausstattung , z.B.
  - der Umgang mit Glasgewebetapeten
- Wärme- und Elektroisolierung

Bei verschiedenen Messungen lagen die Konzentrationen lungengängiger Fasern unterhalb der Nachweisgrenze. Je nach Ar-beitsplatzbedingungen liegt diese zwischen 10’000 und 50’000 F/m^3.

Fazit: Beim Umgang mit Textilglasfasern liegen die auftretenden Faserkonzentrationen weit unter dem Fasergrenzwert, in der Regel auch weit unter dem gravimetrischen Grenzwert.

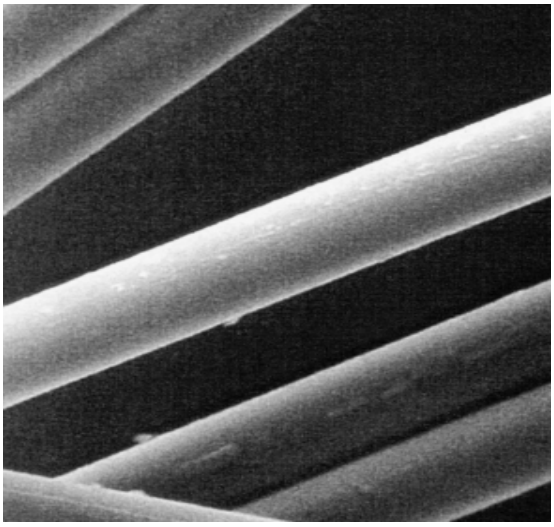


Bild 28
Textilglasfaser, Vergrösserung 500 x.

Bild 29
Industrielle Anwendung von Textilglasfasern: Herstellung von Laminaten in Verbindung mit Kunststoffolien.

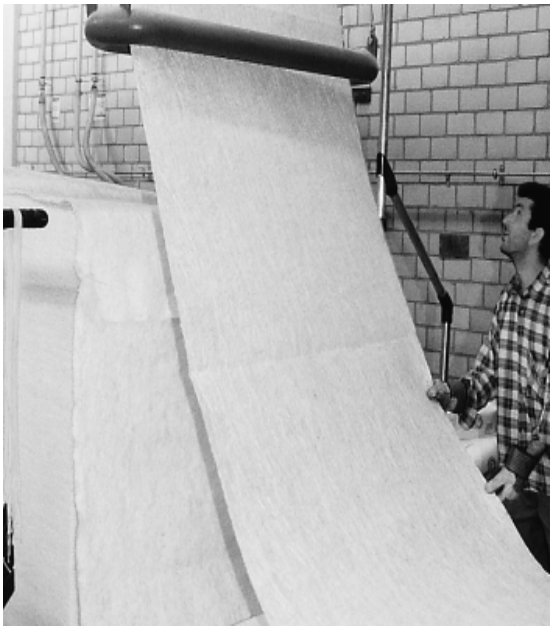


Bild 30
Das Tragen von Lederhandschuhen verhindert einen Hautkontakt mit den sprödstacheligen Fasern, die Hautentzündungen verursachen können.

Quarzmehl als Füllstoff vorliegt, muss der bedeutend tiefere Grenzwert für kristallinen Quarz (MAK-Wert: 0,15 mg Feinquarz/m^3) eingehalten werden.

6.2.3 **Keramikfasern** (Bild 31)

Faserkonzentrationen beim Umgang mit Keramikfasern

Keramikfasern werden in der Schweiz nur von spezialisierten Betrieben verwendet, wobei die Anzahl exponierter Mitarbeiter ca. 50–80 Personen beträgt. Eine Keramikfaserindustrie existiert in der Schweiz nicht.

Schutzmassnahmen

Die Schutzmassnahmen beim Umgang mit Textilglasfasern beschränken sich in der Regel auf persönliche Schutzmittel in den Bereichen:

- Augenschutz
- Haut-, insbesondere Handschutz (siehe Kap. 6.2.1, Bild 30)

Bei Schneid- und Schleifarbeiten an faserverstärkten Kunststoffen sind Quellenabsaugungen oder eine künstliche Raumlüftung in der Regel notwendig, damit die anfallende Feinstaubkonzentration (keine Fasern, in der Regel kompakte Partikel) unterhalb des Grenzwertes bleibt. Falls unter Umständen

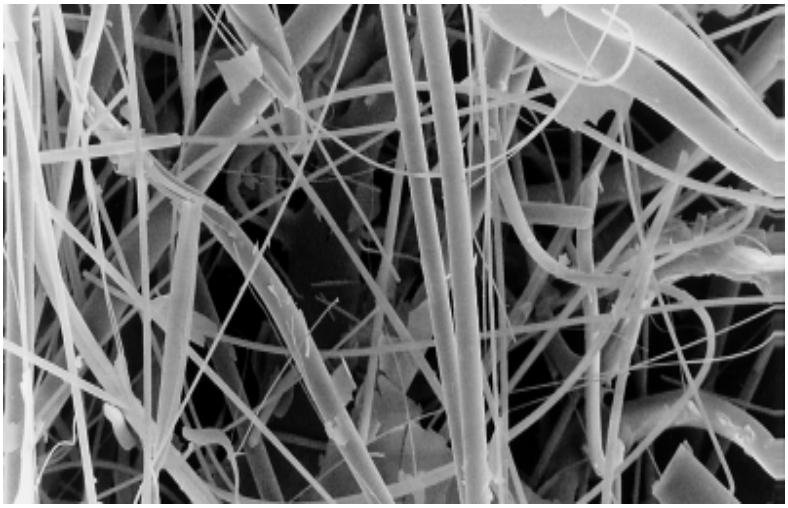


Bild 31
Keramikfasern, Vergrösserung 500 x.

Die Hauptanwendungen sind:

- Technische Isolierung im Hochtemperaturbereich (Bild 32)
  - Feuerungstechnik
  - Elektrogeräte
- Filtration
  - Hochtemperaturfilter
  - Entstaubungstechnik

Bild 32
Vorbereitungsarbeiten und Einstieg in die Brennkammer einer thermischen Abluft-Reinigungsanlage.

Messungen der Suva sowie Literaturangaben [8] zeigen, dass beim Umgang mit Keramikfasern folgende Faserkonzentrationen erreicht werden:

Maschinelle Be- und Verarbeitung:	bis 1,5 Mio. F/m³
Montage/Isolierung:	bis 2,0 Mio. F/m³
Abbrucharbeiten, z.B. von alten Öfen:	über 10 Mio. F/m³

Fazit: Wegen der geringen Faserbindung von Keramikfaserprodukten ist deren Verstaubungsverhalten als ungünstig einzustufen. Entsprechend hoch können bei Fehlen von geeigneten technischen Schutzmassnahmen die auftretenden Faserkonzentrationen sein.

Schutzmassnahmen

Grundsätzlich sind beim Umgang mit Keramikfasern die gleichen Schutzmassnahmen anzuwenden, wie sie bei den Isolierwolle-Fasern (siehe Kap. 6.2.1) beschrieben worden sind (Bild 33). Zusätzlich muss eine Abklärung bezüglich geeigneter Ersatzstoffe erfolgen:

Bis zu Temperaturen von 1000°C werden mittlerweile Ersatzprodukte auf dem Markt

Bild 33
Isolierarbeiten mit Keramikfasern in der engen Brennkammer. Atemschutzgeräte (z.B. partikelfiltrierende Halbmasken FF P2) und Einweg-Schutzanzüge müssen dabei getragen werden.

angeboten, die sich bezüglich der chemischen Zusammensetzung deutlich von den Keramikfasern unterscheiden. Ein wesentlicher Unterschied ist die stark verminderte Biobeständigkeit der Ersatzfasern im Vergleich zu den eigentlichen Keramikfasern. Da die Keramikfasern nicht zuletzt wegen ihrer verhältnismässig hohen Biobeständigkeit als krebserzeugend eingestuft sind, ist der Arbeitgeber aufgefordert, abzuklären, ob Ersatzfaser-Produkte für seine Anwendungsbereiche in Frage kommen.

6.2.4 Faserstaubkonzentrationen an Arbeitsplätzen ohne Umgang mit KMF [16]

Natürliche und anthropogene Quellen [17], [18] sorgen dafür, dass Faserstaub weltweit in der Innen- und Aussenluft vorhanden ist. Die anorganischen Fasern erreichen in normaler Stadtluft Konzentrationen von 6000 F/m³, wobei der Anteil der KMF auf ca. 7 % **(annähernd 400 F/m³)** geschätzt wird. Vor diesem Hintergrund sind die Ergebnisse von Untersuchungen zur Innenraumbelastung durch faserförmige Stäube aus Mineralwolleerzeugnissen zu sehen, die vorwiegend in Büro- und Geschäftsräumen durchgeführt wurden, wo solche Erzeugnisse eingebaut sind und zum grossen Teil in direktem Luftaustausch mit dem Innenraum stehen. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Untersuchungen, die insgesamt 20 Objekte umfasste.

Faserart	arithmetischer Mittelwert [F/m³]	Mittelwert ± Standardabweichung [F/m³]	
Mineralwollefasern	570	570	± 820
Gipsfasern	1390	1390	±1770
sonstige anorganische Fasern	2610	2610	±3670

Tabelle 4: Faserstaubkonzentrationen in Innenräumen mit eingebauten Mineralwolle-Erzeugnissen (Akustikdecken u.ä.).

Die Beurteilung der Faserbelastung in genutzten Innenräumen lässt sich aufgrund der 20 Messobjekte wie folgt zusammenfassen:

- Bei fachgerechtem Einbau der Mineralwolle-Dämmstoffe liegt im Innenraum im Vergleich zur Aussenluft (ca. 400 F/m³) keine erhöhte Faserkonzentration vor. Dies ist in der Praxis der Normalfall.
- Eine mässig erhöhte Faserkonzentration liegt dann vor, wenn die Mineralwolleerzeugnisse so eingebaut sind, dass sie im Luftaustausch mit dem Innenraum stehen. Dieser Fall liegt vornehmlich bei Akustikdecken ohne funktionsfähigen Rieselschutz vor.
- Im Einzelfall wurden Faserkonzentrationen von einigen tausend Fasern/m³ Luft gefunden bei mangelhaften Isolierungen (Einbau entsprach nicht dem Stand der Technik) oder bei vorübergehenden baulichen Eingriffen.

6.3 Organische Fasern

Beim Umgang mit organischen Fasermaterialien (Bild 34) oder bei der Bearbeitung von Werkstoffen, in denen solche Materialien eingebunden sind, treten erfahrungsgemäss nur geringe Staubkonzentrationen auf. Da praktisch alle organischen Fasermaterialien aus "dicken", nicht lungengängigen Einzelfasern bestehen, sind erhöhte Faserkonzentrationen im lungengängigen Bereich auszuschliessen. Messungen, u.a. bei der Herstellung von Faserzementen, wo PVAL(Polyvinylalkohol)- und PAN(Polyacrylnitril)-Fasern eingesetzt werden, belegen diese Aussage.

Schutzmassnahmen beim Umgang mit organischen Fasern sind sinnvoll im Bereich des pesönlichen Schutzes: Auge (Brille) und Hautschutz (geschlossene Kleider). Atemschutzgeräte sind in der Regel nicht notwendig.

6.3.1 Dämmstoffe auf der Basis organischer Fasern

Zu den bestehenden Dämmsystemen wie Isolierwolle, Polystyrol-Hartschaum oder Schaumglas werden seit geraumer Zeit Alternativen auf der Basis von Naturfasern angeboten. Vor allem Dämmstoffe aus Zellulosefasern werden seit einigen Jahren auch in der Schweiz angewendet.

Es handelt sich dabei um ein Recyclingmaterial aus sortiertem Zeitungspapier, bestehend aus Zellulose, Holzschliff, Füllstoffen und Boraten (Salze der Borsäure). In einer Kugelmühle werden die Zeitungen unter Zugabe der Borsalze vermahlen. Daraus wird ein flockenförmiges Produkt hergestellt.
Der hohe Anteil an Borsäure dient als Brandschutz sowie als Schutz gegen Ungeziefer und Schimmelpilze.

In Deutschland wurden unter Federführung der Berufsgenossenschaft Bau Messungen

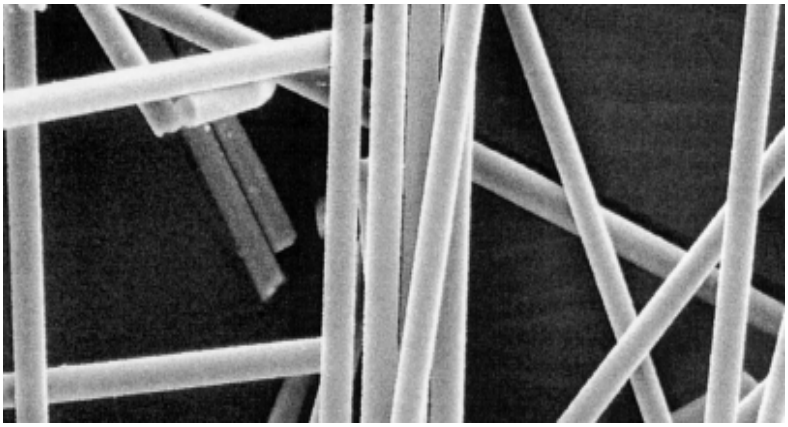


Bild 34
Kunststoffaser (Aramid), Vergrösserung 500 x.

beim Einbringen des Dämmstoffes durchgeführt. Es handelte sich dabei um grosstechnische Simulationsversuche [19]. Im folgenden werden diese Messungen kurz vorgestellt und daraus die Schutzmassnahmen abgeleitet.

Messmethoden

Es wurden personenbezogene Probenahmen durchgeführt zur Bestimmung der

- Gesamtstaubkonzentration
- Feinstaubkonzentration
- Faserzahlkonzentration (lungengängig)

Die Auswertungen im Labor erfolgten gemäss den in Kapitel 5 vorgestellten Methoden.

Versuchsanordnungen

Die Dämmstoffe aus Zellulosefasern werden in loser, flockiger Form auf der Baustelle in eine Verarbeitungsmaschine gefüllt, homogenisiert und durch ein Schlauchsystem an die Einbaustelle gefördert. Das Einbringen ist je nach Anwendungsfall durch mehrere Methoden möglich.

- Aufblasverfahren

  Auf leicht zugängliche oder abgehängte Decken wird das Material offen aufgeblasen und bildet eine fugenlose Dämmschicht. Dies ist sinnvoll bei Dachräumen von Industriehallen oder bei Holzbalkendecken von nicht ausgebauten Wohnraum-Dachgeschossen.

- Einblasverfahren

  Das Material wird direkt aus dem Luftschlauch in vorgesehene Hohlräume eingeblasen, wobei es sich verdichtet.

- Sprühverfahren

  Die leicht angefeuchteten Flocken werden direkt auf massive Wände oder schalldämmende Leichtbauwände aufgeblasen, wobei pro Arbeitsgang Wandstärken von bis zu 20 cm möglich sind.

Messresultate [19]

Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

	Einblasen	Aufblasen	Sprüh-Verfahren
- Gesamtstaubkonzentration [mg/m³]	148	30	188
- Feinstaubkonzentration [mg/m³]	11		21
Rasterelektronenmikroskopie Faserkonzentration [Mio.F/m³]			
- Gesamtfasern	8,6	7,9	4,8
- organische Fasern	7,6	6,9	4,3
- Calciumsulfatfasern	0,1	0,1	–
- Asbestfasern	–	–	–
- sonstige anorganische Fasern	0,9	0,9	0,5

Tabelle 5: Messresultate beim Isolieren mit Zellulosedämmstoffen.

Beurteilung

Die Messungen zeigen, dass während dem Einbringen von Zellulosefasern sehr hohe Staub- und Faserkonzentrationen auftreten. Der allgemeine Staubgrenzwert von 6 mg/m³ Feinstaub wird dabei deutlich überschritten. Da für Zellulosefasern kein Fasergrenzwert vorliegt, lässt sich eine entsprechende Beurteilung nicht vornehmen.

Schutzmassnahmen

Aufgrund der hohen auftretenden Staubkonzentrationen – in der Regel liegen sie über dem Staubgrenzwert – müssen persönliche Schutzmittel eingesetzt werden, da technische Massnahmen, insbesondere Lüftungsmassnahmen, auf der Baustelle ungenügend sind:

- Atemschutzgeräte, z.B.
  - Halb- oder Viertelmasken mit einem Partikelfilter der Klasse P2(bei einer 10fachen Grenzwertüberschreitung P3)
  - partikelfiltrierende Halbmasken FFP2 (bei 10facher Grenzwertüberschreitung FFP3)
  - Filtergeräte mit Gebläse und Helm oder Haube der Klasse TH2P(bei 20facher Grenzwertüberschreitung TH3P)
- Augenschutz: geschlossene Brillen
- Hautschutz: geschlossene Kleider, Überzüge

7 Literatur

[1] Asbestersatzstoff-Katalog, Erhebung über im Handel verfügbare Substitute für Asbest und asbesthaltige Produkte (Band 1 bis 10), Forschungsbericht 10408311, Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V. St. Augustin (1985)

[2] Pott, F.: Beurteilung der Kanzerogenität von inhalierbaren Fasern. In VDI-Bericht 1075: Faserförmige Stäube. VDI-Verlag, Düsseldorf (1993)

[3] Grimm, H.G.: Möglichkeiten zur Abschätzung der Wirkungen von faserigen Stäuben aus der Sicht der Praxis. In VDI-Bericht 1075: Faserförmige Stäube. VDI-Verlag, Düsseldorf (1993)

[4] Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG), SR 832.20 (Bezug bei der EDMZ, Bern)

[5] Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV), (Suva-Form. 1520)

[6] Verfügung des Eidgenössischen Departementes des Innern über die technischen Massnahmen zur Verhütung von Berufskrankheiten, die durch chemische Stoffe verursacht werden (Suva-Form. 1521)

[7] Grenzwerte am Arbeitsplatz 1997 (Suva-Form. 1903)

[8] BIA-Handbuch, Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 120206, Arbeitsumweltdossier Künstliche Mineralfasern, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld (1994)

[9] Verfahren zur Bestimmung von lungengängigen Fasern. Lichtmikroskopisches Verfahren (ZH 1/120.31). Carl Heymanns Verlag, Köln (1/1991)

[10] Verfahren zur getrennten Bestimmung von lungengängigen Asbestfasern und anderen anorganischen Fasern. Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren (ZH 1/120.46), Carl Heymanns Verlag, Köln (1/1991)

[11] Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV), SR 814.013 (zu beziehen bei EDMZ, Bern)

[12] EKAS-Richtlinie Nr. 6503, Spritzasbest und andere schwachgebundene asbesthaltige Materialien (SG-Asbest)

[13] Suva: Technisches Merkblatt: Entfernen von asbesthaltigen Boden- und Wandbelägen, Bestell-Nr. 66070

[14] BIA-Handbuch, Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 120205, Arbeitsumweltdossier Asbest. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld (1994)

[15] Regeln für Sicherheit und Gesundheit beim Umgang mit Künstlichen Mineralfasern (ZH 1/284). Carl Heymanns Verlag, Köln (12/1993)

[16] Dettling, F.: Innenraumbelastungen durch eingebaute Mineralwolle-Produkte. In VDI-Bericht 1075: Faserförmige Stäube. VDI-Verlag, Düsseldorf (1993)

[17] Förster, H.: Anorganische faserförmige Partikel in der Atmosphäre. In VDI-Bericht 1075. VDI-Verlag, Düsseldorf (1993)

[18] Eurima: Ubiquitäre Faserexpositionen in Europa - eine Pilotstudie – Untersuchungsbericht 1996(Eurima: European insulation manufacturers association, Luxemburg)

[19] Fuehres M.: Fasermessungen bei der Verwendung von Zellulose-Fasern. In VDI-Bericht 1075: Faserförmige Stäube. VDI-Verlag, Düsseldorf (1993)

Bezugsquellen:

Für Publikationen der Suva und der EKAS:

Suva, Zentraler Kundendienst, Postfach, 6002 Luzern
Fax 041/419 59 17, Tel. 041/419 58 51

EDMZ:

Eidgenössische Drucksachen und Materialzentrale (EDMZ), Fellerstrasse 21, 3027 Bern
Fax 031/992 00 23, Tel. 031/322 39 51

8 Zusammenfassung

Diese Broschüre gibt eine Übersicht über die Gesundheitsgefährdung durch faserförmige Stoffe (Asbest- und Nicht-Asbest-Fasern) an den Arbeitsplätzen in der Schweiz und informiert über die nötigen Schutzmassnahmen.

Fasern bieten aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften für **viele Anwendungen** optimale Voraussetzungen. Faserprodukte werden u.a. für die Brandschutz- und Wärmeisolation, als Brems- und Kupplungsbeläge, als Dichtungen bei hohen thermischen oder chemischen Beanspruchungen sowie in Form von Platten und Rohren im Hoch- und Tiefbau eingesetzt. Beim Umgang mit faserförmigen Stoffen können jedoch Gesundheitsgefährdungen auftreten.

Vor allem der **Asbest**, der von den 50er bis in die 80er Jahre in grossen Mengen für die verschiedensten Anwendungen eingesetzt wurde, hat zur Erkrankung zahlreicher Arbeitnehmer geführt (Asbestose, malignes Mesotheliom, Lungenkrebs). Als vermehrt asbestbedingte Erkrankungen festgestellt wurden, ordnete die Suva verschärfte Massnahmen zur Verminderung der Asbeststaub-Belastung an. Schliesslich erliess der Bundesrat auf den 1. März 1990 ein generelles Asbestverbot. Bei gewissen asbestbedingten Erkrankungen (Pleuramesotheliom) ist aufgrund der ausserordentlich langen Latenzzeit von 20 bis 40 Jahren heute noch kein Rückgang der jährlich auftretenden Fälle zu erkennen.

Das Asbestverbot hat dafür gesorgt, dass asbesthaltige Werkstoffe am Arbeitsplatz praktisch verschwunden sind. Asbestexpositionen von Arbeitnehmern treten heute noch bei der **Entfernung und Sanierung der Altlasten** auf (insbesondere Spritzasbestisolierungen, Bodenbeläge, Leichtbauplatten). Bei diesen Arbeiten ist es dringend geboten, die beschäftigten Arbeitnehmer fachgerecht gemäss der einschlägigen EKAS-Richtlinie zu schützen. Sanierungsarbeiten an schwachgebundenen Asbestmaterialien müssen vor Arbeitsbeginn der Suva gemeldet werden.

Infolge des Asbestverbots war die Industrie gezwungen, geeignete **Ersatzprodukte** zu entwickeln und einzusetzen. Untersuchungen über die Gesundheitsgefährdung durch Fasern wurden deshalb seit den 80er Jahren systematisch auf **Nicht-Asbest-Fasern** ausgeweitet. Die vorwiegend auf Tierversuchen beruhenden Resultate werden jedoch von den Experten noch kontrovers diskutiert, insbesondere die Aussage, dass grundsätzlich alle Fasern zu schweren Erkrankungen (Tumoren) führen können, falls gewisse Voraussetzungen erfüllt sind. Die krebserzeugende Wirkung von industriell wichtigen Nicht-Asbest-Fasern konnte bis anhin beim Menschen nicht nachgewiesen werden. Die Suva hat denn auch bisher noch keine berufsbedingten, auf Nicht-Asbest-Fasern zurückzuführenden Krebserkrankungen anerkannt. Sie hat jedoch aufgrund von Tierversuchen **Keramikfasern und Kaliumtitanatfasern als krebserzeugend eingestuft**. Bei einer Reihe von weiteren Fasern gilt die krebserzeugende Wirkung nicht als erwiesen, aufgrund von Tierversuchen besteht jedoch ein entsprechender **Verdacht (Aluminiumoxidfasern, Glas- und Steinwollen [Isolierwollen], Siliziumcarbidfasern, Aramidfasern)**.

Für viele Faserarten hat die Suva **Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte (MAK-Werte)** festgelegt, die beim Umgang mit diesen Stoffen zum Schutz der Arbeitnehmer unbedingt einzuhalten sind.

Die vorliegende Publikation enthält in Kapitel 6 detaillierte Angaben über die **Exposition** der Arbeitnehmer gegenüber den industriell häufig verwendeten faserförmigen Arbeitsstoffen **an typischen Arbeitsplätzen in der Schweiz**. Dabei wird jeweils auch auf die erforderlichen Schutzmassnahmen hingewiesen. Diese Erkenntnisse beruhen auf systematischen Messaktionen und Arbeitsplatzbegehungen der Suva.

Grundsätzlich sind **Schutzmassnahmen** in der folgenden Reihenfolge zu treffen:

1. Wenn immer möglich Ersatz der gefährlichen Stoffe und Verfahren durch weniger gefährliche.
2. Kollektivschutz, d.h. geschlossene Systeme, Absaugung, künstliche Lüftung usw., mit dem Ziel, die MAK-Werte zu unterschreiten.
3. Wenn nötig zusätzlich Individualschutz, also Verwendung von persönlichen Schutzausrüstungen, insbesondere von Atemschutzgeräten.

Anhang: Beschreibung und Verwendungsmöglichkeiten ausgewählter Fasern

Chemische Struktur, Grösse und Spaltbarkeit der Fasern sowie die Art ihres Einsatzes in der Praxis sind massgebend für die potentiellen Gesundheitsgefahren für den Anwender. Nachfolgend werden deshalb für einige industriell wichtige Fasertypen diese Aspekte sowie die Herstellungsverfahren ausführlicher beschrieben.

A1 Anorganische Synthesefasern

Die wichtigsten anorganischen Synthesefasern gehören zur Kategorie der **künstlichen Mineralfasern**: Textilglasfasern, Isolierwollen (Glas- und Steinwolle), Keramikfasern. Eine weitere wichtige anorganische Synthesefaser ist die Kohlenstoffaser.

a) Textilglasfasern

Die Bezeichnung "Textilglasfaser" ist ein Sammelbegriff für eine aus geschmolzenem (bis ca. 1200°C) Glas gewonnene Endlosfaser, die für textile Zwecke verwendet wird. Die chemische Zusammensetzung kann je nach Anwendungsbereich variieren. Neben dem mengenmässig überwiegenden Anteil von Siliziumdioxid (Basis des Silikatgerüstes) können Alkalioxide, Calciumcarbonate (Kalk), Magnesiumoxid u.a. als Rohstoffe für die Schmelze eingesetzt werden (Tabelle 1.1).

Die Herstellung der Glasfäden aus der Schmelze erfolgt nach dem Düsenziehverfahren (Bild 1.1):

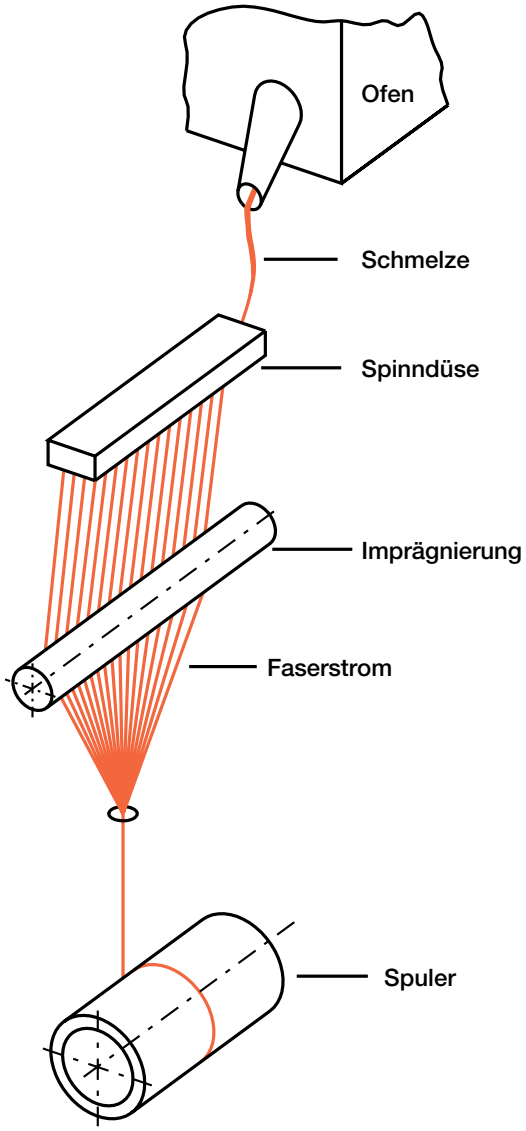


Bild 1.1
Düsenziehverfahren zur Herstellung von Textilglasfasern.

Aus den Glasspinnfäden werden in weiteren Verfahrensschritten die gewünschten Textilerzeugnisse wie Vliese, Matten oder Schläuche hergestellt.

Glastyp	A	A_1	C	D	E	R	Z
SiO_2	72,5	67,5	65,0	74,0	54,5	60,0	71,0
Al_2O_3		3,5		–	14,5	25,0	1,0
Fe_2O_3		0,5		0,2	0,5	0,3	–
B_2O_3	–	1,2	50,0	22,5	7,5	–	–
CaO	9,0	6,5	14,0	0,5	17,0	9,0	–
MgO	3,5	4,5	3,0	0,2	4,5	6,0	–
BaO	–	–	1,0	–	–	–	–
ZrO_2	–	–	–	–	–	–	16,0
TiO_2	–	–	–	–	0,1	0,2	–
Li_2O	–	–	–	–	–	–	1,0
K_2O	–	3,5	8,0	1,5		0,1	–
Na_2O	13,0	13,5	0,5	1,3		0,4	11,0
Dichte [g/cm³]	2,48	2,52	2,49	2,16	2,54	2,50	–
Zugfestigkeit [N/mm²]	2450	3200	3400	2460		4750	–

[1] A-Glas mit Bor-Zusatz

Tabelle 1.1
Zusammensetzung [in %] und Eigenschaften einiger Textilglassorten.

Fasercharakterisierung

Die Fasern haben einen annähernd gleichmässigen, meist runden Querschnitt, der durch die Produktionsbedingungen vorgegeben wird. Der Durchmesser liegt in der Regel zwischen 5 und 25 µm (1 µm = 1/1000 mm). Eine Längsspaltung der Fasern ist nicht bekannt. Dies bedeutet, dass durch mechanische Kräfte keine dünneren Fasern, z.B. durch Halbierung der Ausgangsfaser, entstehen können. Diese Eigenschaft ist aus arbeitshygienischer Sicht besonders bedeutsam (siehe Kap. 4.2.1).

Anwendungsbereiche

Textilglasfasern sind in der industriellen Anwendung weit verbreitet, u.a.:

- zur Verstärkung von Kunststoffen, z.B. als glasfaserverstärkte Kunstharze (GFK)
- im Brandschutz zur Isolierung von Elektroapparaten mit Matten oder zur Verbesserung der Hitze- und Feuerbeständigkeit im Verbund mit Holz, Gips und anderen Baustoffen
- zur Herstellung von feuerbeständigen Schutzanzügen
- in der Entstaubungstechnik als wärmebeständige Schlauch- oder Flächenfilter zur Staubabsaugung aus heissen Gasen.

Eine Produktion von Textilglas existiert in der Schweiz nicht. Die importierten Erzeugnisse werden lediglich ver- und bearbeitet.

b) Nichttextile Glasfasern (Isolierwollen)

Nichttextile Glasfasern, auch Isolierwollen oder Mineral-Dämmstoffe genannt, sind Fasern aus Glas-, Gesteins- und Schlackenmaterialien. Letztere haben in der Schweiz keine Bedeutung.

Die Ausgangsmaterialien resp. die Zusammensetzung der Glasschmelzen sind mit denen der Textilglasfasern vergleichbar.

Herstellung (Bild 1.2)

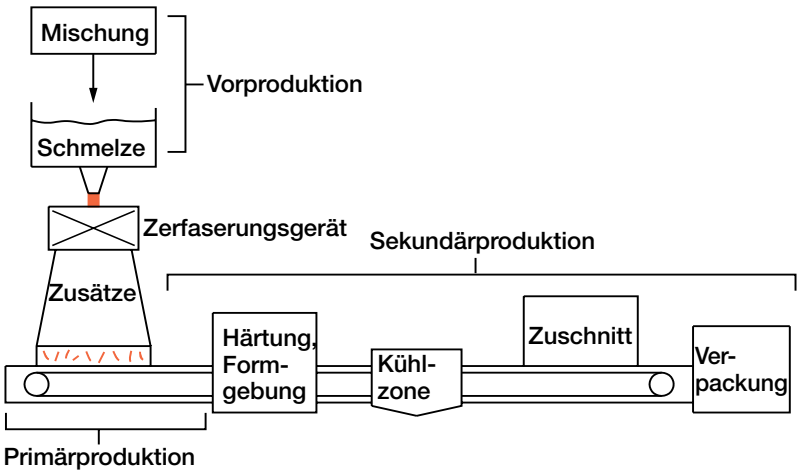


Bild 1.2
Schematische Darstellung der Produktion von Isolierwollen (Glas- und Steinwollefasern).

Zur Zerfaserung der Schmelze sind verschiedene Verfahren bekannt, u.a. folgende zwei:
- Blasverfahren (Bild 1.3)
- Schleuderverfahren (Bild 1.4)

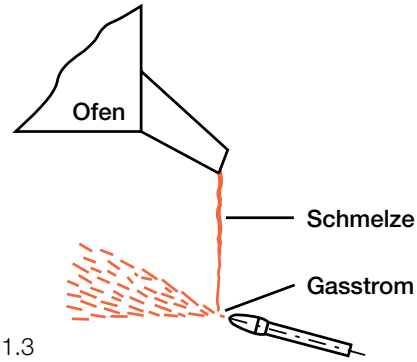


Bild 1.3
Zerfaserung mit dem Blasverfahren.

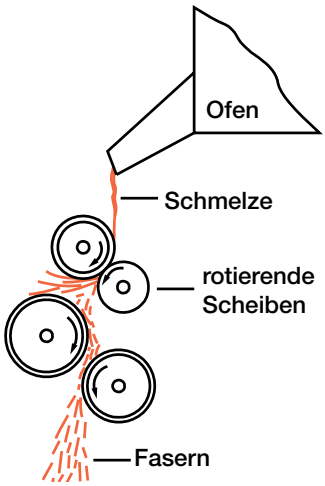


Bild 1.4
Zerfaserung mit dem Schleuderverfahren.

Als Rohstoffe werden eingesetzt:

Glaswolle: Übliche Mineralien wie Siliziumdioxid (50 %) und Aluminiumoxide sowie Flussmittel und andere Zusätze (Alkali- und

Erdalkalioxide usw.), wie sie in der Glasindustrie verwendet werden. Heute wird in der Regel bis zu 80 % Altglas verwendet, neben natürlichen Mineralien und 5 % Soda.

Steinwolle: Natürliche Sediment- und Eruptiv-Gesteine wie Basalt und Diabas sowie Kalkstein (Kalziumcarbonat) und Koks.

Fasercharakterisierung

Der Durchmesser von Isolierwolle-Fasern ist vom Herstellungsverfahren abhängig. Der Hauptanteil liegt zwischen 2 und 9 µm, wobei auch Faserdurchmesser unterhalb 1 µm in kleinen Mengen auftreten können. Sie gelten deshalb als lungengängig, d.h. beim Einatmen sind sie infolge ihrer geringen Grösse befähigt, bis zu den Lungenbläschen (Alveolen) vorzudringen (siehe auch 4.2.1).

Eine Längsspaltung der Fasern tritt nicht auf.

Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die im Vergleich zum Asbest wesentlich bessere Löslichkeit in den Körperflüssigkeiten. Dies bedeutet, dass Isolierwolle-Fasern im Gegensatz zu Asbestfasern viel schneller aus dem Organismus verschwinden.

Anwendungsbereiche

Der überwiegende Anteil von Glas- und Steinwolle wird im Hochbau als Dämmstoff für den Wärme-, Schall- und Brandschutz verwendet. Im technischen Bereich werden Isolierwollen auf Drahtgeflechten versteppt und zum Isolieren von Rohrleitungen und Behältern benutzt. Hierfür setzt man auch Formstücke wie Isolierschalen ein.

Glas- und Steinwolle finden weiter Verwendung als faserförmige Füllstoffe in den Bereichen Brandschutz, Reibbeläge, Filtration und chemisch-technische Produkte.

In der Schweiz gibt es drei Betriebe, die Glas- (2 Betriebe) und Steinwolle (1 Betrieb) herstellen. Die grösste Anzahl von Arbeitnehmern, die diese Stoffe verwenden und somit exponiert sind, werden in der Baubranche beschäftigt: Zimmerleute, Dachdecker, Schreiner, Bauisolierer, Maurer usw. Insgesamt dürften es einige tausend Arbeitnehmer sein, die in der Schweiz am Arbeitsplatz mit Isolierwollen in Kontakt kommen.

c) Hitzebeständige Keramikfasern[11]

Hitzebeständige Keramikfasern werden hergestellt aus einer Schmelze einer Mischung aus Aluminiumoxid und Siliziumdioxid (für spezielle Anforderungen kommt zusätzlich noch Zirkoniumoxid dazu). Es entstehen somit Fasern aus nahezu reinem Aluminiumsilikat, die vorwiegend für Isolierungen im Hochtemperaturbereich eingesetzt werden.

Die Herstellung erfolgt ähnlich wie in Bild 1.2 dargestellt: Mischen der Rohstoffe – Schmelzen – Zerfasern – Aufbereiten – Konfektionieren.

In der Schweiz existiert keine Keramikfaser-Industrie. Die Fasern werden u.a. aus Deutschland und Frankreich importiert.

Fasercharakteristik

Der Durchmesser von Keramikfasern liegt im Bereich zwischen 0,5 µm und 7 µm und ist ebenfalls abhängig vom Herstellungsverfahren. In der Regel liegen somit lungengängige Fasern (Durchmesser < 3 µm) vor.

Eine Längsspaltung der Faser ist nicht zu erwarten.

Die Löslichkeit von Keramikfasern in der Körperflüssigkeit ist im Gegensatz zu den Isolierwollen oder Textilglasfasern bedeutend geringer. Dies hat zur Folge, dass die Verweilzeit einer in die Lunge eingedrungenen Faser entsprechend grösser ist.

Bei der Herstellung von Keramikfasern werden im Gegensatz zu den Isolierwollen keine oder nur wenige Bindemittel verwendet. Dadurch verschlechtert sich das Verstaubungsverhalten, was eine grössere Freisetzung von Fasern aus dem Fasergeflecht bewirkt (siehe Kap. 4.2.4).

Anwendungsbereiche

Die Anwendung von Keramikfasern erfolgt u.a. als Watten, Matten, Papier oder Platten sowie als Formteile.

---

[11] Englisch: Refractory Ceramic Fibres (RCF)
Unter Keramikfasern werden bisweilen auch nichtsilikatische Fasern wie Aluminiumoxid- oder Siliziumnitridfasern verstanden. Diese fallen jedoch nicht unter die hitzebeständigen Keramikfasern.

Die Hauptanwendung ist die Isolierung im Hochtemperaturbereich bis ca. 1500°C von Objekten wie

- Hochöfen
- Stahlöfen
- Feuerungsanlagen

Weitere Anwendungen sind u.a.

- Brandschutz
- Elektroisolation
- Reibbeläge
- Filtration

Die Arbeitsplätze, an denen mit Keramikfasern umgegangen wird, konzentrieren sich auf einige wenige Betriebe, die sich auf Isolationen von Hochtemperaturanlagen spezialisiert haben.

Die Zahl der regelmässig exponierten Arbeitnehmer ist gering. Sie dürfte bei ca. 50–80 Beschäftigten liegen.

d) Kohlenstoffasern

Kohlenstoffasern bestehen aus reinem Kohlenstoff und werden in Form flexibler Fasermaterialien verwendet. Der Kohlenstoffgehalt beträgt 95–99,5 %.

Die Herstellung dieser Fasern erfolgt mittels kontrollierter thermischer Zersetzung (Pyrolyse) von faserförmigen Polymeren (Kunststoffe) wie Zelluloseregenerate, Polyacrylnitril und deren Co-Polymerisate. Durch dieses Verfahren – Carbonisieren genannt – lassen sich flexible, hochfeste Fasern gewinnen, die zu textilen Formen wie Spinnfasern, Filamentgarnen, Kabeln und Filzen weiterverarbeitet werden.

In der Schweiz werden keine Kohlenstofffasern hergestellt.

Fasercharakteristik

Kohlenstoffasern haben einen Durchmesser zwischen ca. 7 µm und 12 µm. Sie sind somit in der Regel nicht lungengängig.

Eine Längsspaltung ist nicht bekannt.

Anwendungsbereiche

Kohlenstoffasern werden als Filamentgarne und Kabel wegen ihrer hohen Festigkeit u.a. für die Verstärkung von Kunststoffen (z.B. Epoxiden) sowie von Leichtmetallen und Metallegierungen eingesetzt. Diese Verbundstoffe finden Anwendung u.a. beim Raketen- und Flugzeugbau sowie bei Sportartikeln wie Tennisschlägern oder Segelbooten.

Die Verbreitung von Erzeugnissen aus Kohlenstoffasern am Arbeitsplatz ist gering. Vereinzelt finden sie Verwendung im Flugzeugbau sowie bei der Entwicklung von neuen Werkstoffen.

A 2 Organische Synthesefasern

Organische Synthesefasern – auch Chemiefasern genannt – werden üblicherweise durch Spinnverfahren wie Schmelz-, Trocken- oder Nassspinnen aus den entsprechenden Polymeren (Kunststoffen) gewonnen. Bei diesen handelt es sich vorwiegend um:

- Polymerisate: Polyethylen, Polypropylen, Polyacrylnitril, Polyvinylalkohol
- Polykondensate: Aramide, Polyamide und
- Polyadditions-Produkte: Polyurethan

Die wichtigsten Fasertypen, welche als Asbestersatz eine industrielle Anwendung gefunden haben, werden im folgenden kurz vorgestellt:

a) Polyacrylnitril (PAN)

PAN-Fasern bestehen zu 100 % aus Polyacrylnitril.

Fasercharakteristik

Der Faserdurchmesser beträgt bei Fasern für technische Anwendungen ca. 18 µm. Er liegt somit weit über dem lungengängigen Bereich. Eine Längsspaltung ist bei mechanischer Beanspruchung möglich.

Anwendungsbereiche

PAN-Fasern finden hauptsächlich Verwendung in der Bekleidungsbranche. In der Herstellung von technischen Produkten ist ihre Bedeutung mengenmässig geringer. PAN-Fasern haben in Verbund mit Polyvinylalkohol-Fasern (s. Anhang 2b) bei der Herstellung von Faserzementen als Asbestersatz eine wichtige und somit verbreitete Anwendung gefunden. Faserzementprodukte wie Fassaden- und Wellplatten oder Kanal- und Druckrohre finden häufig Verwendung im Hoch- und Tiefbau. Entsprechend zahlreich sind die Arbeitsplätze, an denen mit einer Exposition gegenüber PAN-Fasern zu rechnen ist.

b) Polyvinylalkohol (PVAL)

PVAL-Fasern werden hergestellt mittels Verspinnen von wässerigen Polyvinylalkohol-Lösungen.

Fasercharakteristik

Der mittlere Faserdurchmesser liegt bei 10–20 µm und somit weit über dem lungengängigen Bereich. Eine Längsspaltung ist nicht bekannt.

Anwendungsbereiche

PVAL-Fasern haben in Verbund mit PAN-Fasern bei der Herstellung von Faserzementen als Asbestersatz eine wichtige und somit stark verbreitete Anwendung gefunden (siehe auch Anhang 2a).

c) Aramide

Aramide sind aromatische Polyamide. Im wesentlichen werden zwei Typen unterschieden: der Kevlar®-Typ und der Nomex®-Typ. Beide Typen bestehen aus Polyphenylenterephthalamid, unterscheiden sich jedoch durch die Stellung der Carbonsäureamidgruppen (Kevlar: para-Stellung, Nomex: meta-Stellung).

Die Aramide gehören zu den hochtemperaturstabilen organischen Fasern. Sie haben daher als Asbestersatz, insbesondere beim Wärmeschutz, eine bedeutende Stellung erlangt.

Fasercharakteristik

Der Faserdurchmesser liegt bei ca. 12 µm und ist damit nicht lungengängig. Allerdings ist die Faser bei mechanischer Beanspruchung spaltbar und wird als Pulp (Kurzfasern, gespalten) mit Durchmessern bis zu 0,1 µm angeboten.

Über ihre Biobeständigkeit fehlen noch schlüssige Untersuchungsergebnisse.

Anwendungsbereiche

Aramidfasern werden in der Schweiz nicht hergestellt. Sie werden vorwiegend dort eingesetzt, wo gute thermische Eigenschaften verlangt werden:

- in Textilien im Arbeitsschutz: Hitzebeständige Überzüge, Handschuhe usw.
- in Reibbelägen (Verstärkerfasern für Brems- und Kupplungsbeläge)
- in Filterfilzen für Heissluftfiltration

Wegen ihres hohen Preises sind Aramidfasern heute an Arbeitsplätzen noch wenig verbreitet. Die Zahl der exponierten Arbeitnehmer dürfte jedoch in Zukunft steigen.

A 3 Anorganische Naturfasern

Bei den anorganischen Naturfasern handelt es sich vorwiegend um faserbildende silikatische Minerale. Grundsätzlich lassen sie sich in Asbeste und Nicht-Asbeste einteilen. Während die Nicht-Asbeste bisher industriell noch keine bedeutende Anwendung fanden, wurden die Asbeste zwischen 1950 und 1980 in grossen Mengen eingesetzt.

a) Asbest

Asbest ist der Sammelbegriff für verschiedene Mineralien, die bergmännisch gewonnen werden.

Man unterscheidet die beiden Asbestarten **Serpentine** und **Amphibole**. Der wichtigste Vertreter der Serpentine ist der Chrysotilasbest, welcher in der industriellen Anwendung die grösste Verbreitung fand.

Bei den Amphibolasbesten wurde der sogenannte Blauasbest, der Krokydolith, am meisten für technische Zwecke verwendet. Von geringerer Bedeutung war dagegen der Amosit.

Fasercharakteristik

Die Asbestfasern haben die Eigenschaft, dass sie sich infolge ihrer kristallinen Struktur sehr gut in der Längsrichtung aufspalten können. Die so gebildeten Fibrillen können Durchmesser bis weit unter 0,1 µm aufweisen. Die Bildung von Fibrillen kann übrigens auch in der Lunge bei eingeatmeten Asbestfasern erfolgen.

Die Löslichkeit der Asbeste, insbesondere der Braun- und Blauasbeste, in den Körperflüssigkeiten ist sehr gering und generell deutlich tiefer als bei anderen bekannten Fasertypen. Dies hat zur Folge, dass sich eingeatmete Asbestfasern jahrzehntelang in der Lunge oder im Bauchfell aufhalten können, ohne sich strukturell zu verändern. Der Amphibolasbest Krokydolith erweist sich dabei als besonders stabil.

Anwendungsbereiche

Ab Mitte dieses Jahrhunderts erlebte der Asbest eine enorme Verbreitung in allen Indu-

strieländern. Dank seinen multifunktionellen Eigenschaften wie

- Hitzebeständigkeit
- Feuerfestigkeit
- grosse Scher- und Biegefestigkeit
- gute Einarbeitbarkeit in Verbundstoffe wie Zement
- tiefe Erstehungskosten

wurde er für viele Anwendungen eingesetzt. Nachdem das Gesundheitsrisiko erkannt wurde, das vom Asbest ausgeht, erfolgte eine stetige Abnahme des Asbestverbrauches. In einigen Industrieländern, u.a. auch der Schweiz, ist der Asbest heute generell verboten (siehe Kap. 6.1) und somit für die industrielle Anwendung unbedeutend geworden.

b) Nicht-Asbest-Fasern

Nicht-Asbest-Fasern haben bis heute nur eine geringe Bedeutung in der industriellen Anwendung gefunden. Entsprechend marginal ist daher auch ihre Verbreitung am Arbeitsplatz.

Nachfolgend werden vier Vertreter kurz vorgestellt:

Wollastonit

Wollastonit ist ein Calciummetasilikat mit Kettenstruktur, das zu mindestens 96,5 % aus Calciumoxid und Siliziumdioxid besteht. Der Faserdurchmesser beträgt 10 bis 500 µm; bei mechanischer Beanspruchung kann eine Aufspaltung in Faserbruchstücke mit Durchmessern bis zu 0,1 µm erfolgen. Kritische Durchmesserbereiche lassen sich durch geeignete Produktionsverfahren jedoch vermeiden.

Wollastonit findet Anwendung z.B. als Füllstoff in den Bereichen Brandschutz (Platten), Wärme- und Elektroisolation (Platten, Füllstoff für Formmassen), Reibbeläge, bautechnische Produkte, chemische Produkte (Anstrichstoffe, Klebstoffe und Formmassen).

Attapulgit

Attapulgit, das identisch ist mit Palygorskit, ist ein Magnesium-Aluminium-Hydrosilikat aus der Gruppe der Tonminerale. Der Faserdurchmesser beträgt im Durchschnitt 0,06 µm und liegt im lungengängigen Bereich; eine Längsspaltung ist zu erwarten. Attapulgit findet Anwendung als Füllstoff in chemischen Produkten als Thixotropiermittel[12] in Anstrichstoffen, Bautenschutzmitteln, Dichtungsmassen oder Klebstoffen.

Sepiolith

Sepiolith ist ein Magnesiumhydrosilikat aus der Gruppe der Tonminerale. Die Faserdurchmesser liegen im lungengängigen Bereich; eine Längsspaltung ist zu erwarten.

Sepiolith wird z.B. als Thixotropiermittel in chemischen Produkten eingesetzt.

Erionit

Der Erionit ist ein faserförmiger Zeolith (kristalline Alkali- resp. Erdalkali-Aluminiumsilikate). Seine Verbreitung in der industriellen Anwendung war immer schon marginal. Seine Anwendung ist mit einem grossen, dem Asbest ähnlichen Gesundheitsrisiko verbunden. Deshalb ist er mittlerweile ganz verschwunden.

A 4 Organische Naturfasern

Die organischen Naturfasern wie Flachs, Hanf, Wolle oder Zellulose haben in der technischen Anwendung keine grosse Bedeutung. Für gewisse Isolierarbeiten im Wärmeschutz werden Zelluloseprodukte in Verbund mit flammhemmenden und anderen Zusätzen verwendet.

Bezüglich der Exposition von Arbeitnehmern am Arbeitsplatz haben die organischen Naturfasern in der technischen Anwendung keine grosse Bedeutung.

A 5 Übersicht Asbestersatzstoffe

In der nachfolgenden **Tabelle 5.1** werden für faserförmige wie auch für nichtfaserförmige Asbestersatzstoffe die wesentlichen Anwendungsbereiche tabellarisch vorgestellt. Einen Überblick über die wichtigsten Fasertypen gibt Kapitel 3.2.

Eine Untersuchung über Asbestersatzstoffe zeigt, dass Asbest in den meisten Fällen nur durch andere Faserstoffe ersetzt werden kann.

Einige der genannten Stoffe, insbesondere die Stein- und Glaswollen, sind keine echten Ersatzprodukte, da diese Stoffe schon früher neben und in Konkurrenz zu den Asbestprodukten eingesetzt wurden.

[12] Thixotropie: Eigenschaft gewisser Gele, sich bei mechanischer Einwirkung (z.B. Rühren) zu verflüssigen.

Asbestersatzstoffe / Anwendungsbereich	Arbeitsschutz (Handschuhe, Schutzüberzüge u.a.)	Brandschutz, Hochtemperaturisolation	Wärmeisolation	Elektroisolation	Dichtungen	Filtration	Reibbeläge: Brems- und Kupplungsbeläge	Bautechnische Produkte (Faserzemente)		Füllstoffe für chemische Produkte
								Hochbau	Tiefbau	
Anorganische Synthesefasern										
Textile Glasfasern	●		●	●	●		●		●	●
Nichttextile Glasfasern[1]	●	●	●	●		●	●			●
Keramikfasern[2]	●	●		●	●	●	●			
Quarzfasern	●	●		●						
Metallfasern							●			
Kohlenstoffasern					●					●
Anorganische Naturfasern										
Wollastonit			●	●						●
Attapulgit										●
Sepiolith										●
Organische Synthesefasern										
Polyacrylnitril						●		●	●	
Polyvinylalkohol								●	●	
Aramide	●	●	●	●	●		●			●
Polypropylen					●	●		●	●	
Polytetrafluorethylen				●	●	●				
Organische Naturfasern										
Baumwolle	●									
Hanf und Flachs										
Zellulosefasern			●			●		●	●	
Faserfreie Stoffe										
Glimmer					●					●
Talk					●					●
Bentonit										●
Leder	●									
Stahl					●				●	
andere							●[3]		●[4]	

Tabelle 5.1: Einsatzbereiche von Asbestersatzstoffen

[1] Stein- und Glaswolle
[2] Hitzebeständige Keramikfasern; engl.: Refractory Ceramic Fibres (RCF)
[3] Graphitfasern
[4] Kunststoffe verstärkt