

# Sind künstliche Mineralfasern ein Umweltproblem?

Ein interdisziplinäres kristallographisches Forschungsprojekt Gießener Mineralogen

Von Günter Strübel

**Krebsverursachende Risikofaktoren sind neben Asbest auch Stäube, die sich unter bestimmten Voraussetzungen aus künstlichen Mineralfasern (KMF) bilden können. Im Rahmen des Projekts wird untersucht, in welchen industriellen Einsatzbereichen und unter welchen Bedingungen aus KMF lungengängige, kristalline, faserförmige, zelltoxische oder/und zu einer Vermehrung von Bindegewebe führende, potentiell krebserregende Staubpartikel entstehen. Im September 1987 besuchten die Mitarbeiter der Angewandten Mineralogie an der Justus-Liebig-Universität Dörfer in Zentralanatolien, in denen auffällig hohe Sterblichkeitsraten durch Krebserkrankungen der Atemwege auftreten. Die Ursachen sind eingeatmete Faserzeolithe, feldspatähnliche Minerale, in Ackerböden und Gesteinen, die sich auch bei der Rekristallisation von künstlichen Mineralfasern bilden können. Über die Forschung zum Langzeitverhalten künstlicher Mineralfasern, die von den Gießener Mineralogen in Zusammenarbeit mit der Berufsgenossenschaft der Keramik- und Glasindustrie und der Gießener Arbeitsmedizin durchgeführt werden, berichtet der Leiter der Forschungsgruppe.**

Weltweit werden heute immer noch einige tausend Todesfälle von Menschen registriert, die vor Jahrzehnten in Asbestminen oder in der asbestverarbeitenden Industrie tätig waren.

Um Asbest durch weniger gesundheitsgefährdende Stoffe zu ersetzen, sind in den vergangenen Jahren je nach Anwendungsbereich unterschiedliche Mineralien entwickelt worden. Vielfach haben diese ebenfalls eine faserige Struktur, die sich jedoch von der des Asbestes unterscheidet. Asbest ist eine Sammelbezeichnung für Mineralphasen aus verschiedenen Gruppen der Klasse der Silikate, die sich durch gemeinsame morphologische und kristallographische Besonderheiten auszeichnen. Obwohl die gesundheitlichen Risiken der Asbestminerale sehr genau bekannt sind und keiner der Asbestersatzstoffe das breite Eigenschaftsspektrum besitzt, das Chrysotil- und Krokydolit-Asbeste durch ihre Unterschiedlichkeit insgesamt abdecken, ist der weltweite Trend – weg vom Asbest – nicht mehr aufzuhalten.

Einer der wesentlichsten Unterschiede zwischen künstlichen Mineralfasern (KMF) – Abb. 1 – und Asbestmineralen liegt in der

Tatsache, daß die KMF nicht in einem kristallinen, sondern im Glaszustand vorliegen, d. h. amorph sind. Je nach Ausgangsmaterial werden diese synthetischen Fasern in Glas- (Abb. 2), Stein-, Schlacken- und Keramikfasern eingeteilt. Während Glas-

Stein- und Schlackenfasern vor allem Isolationszwecken im Hausbau, bei Heizungs-, Klima- und Kälteanlagen und unter Hallendächern (Abb. 3) sowie zur Schalldämmung eingesetzt werden, liegt der Hauptanwendungsbereich der keramischen Fasern

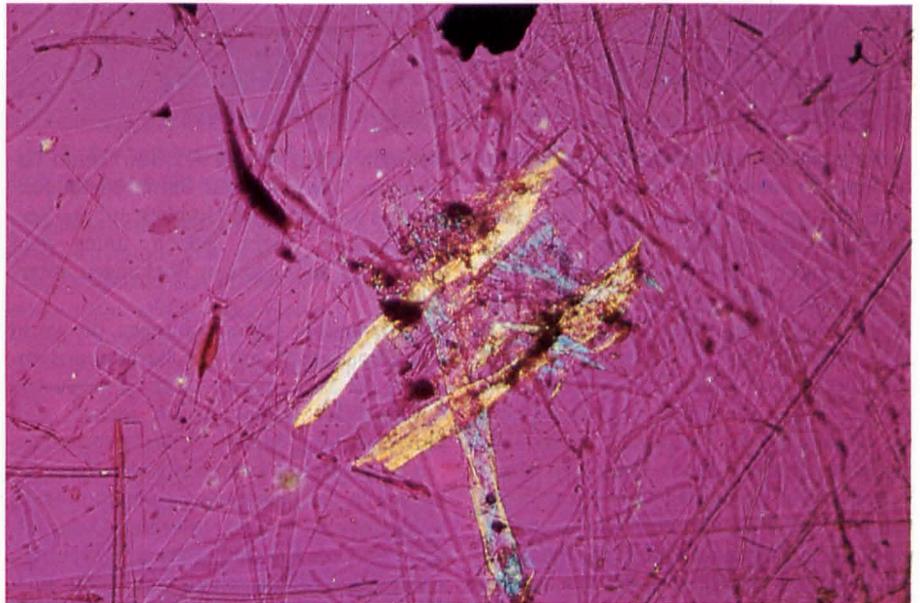


Abb. 3: Kristalline Bereiche (bunte Farben) in einer Glaswolle, die 22 Jahre unter einer Turnhallendecke im Einsatz war. Polarisationsmikroskopische Aufnahme bei Pol. + mit Kompensator Rot I. Ordnung.

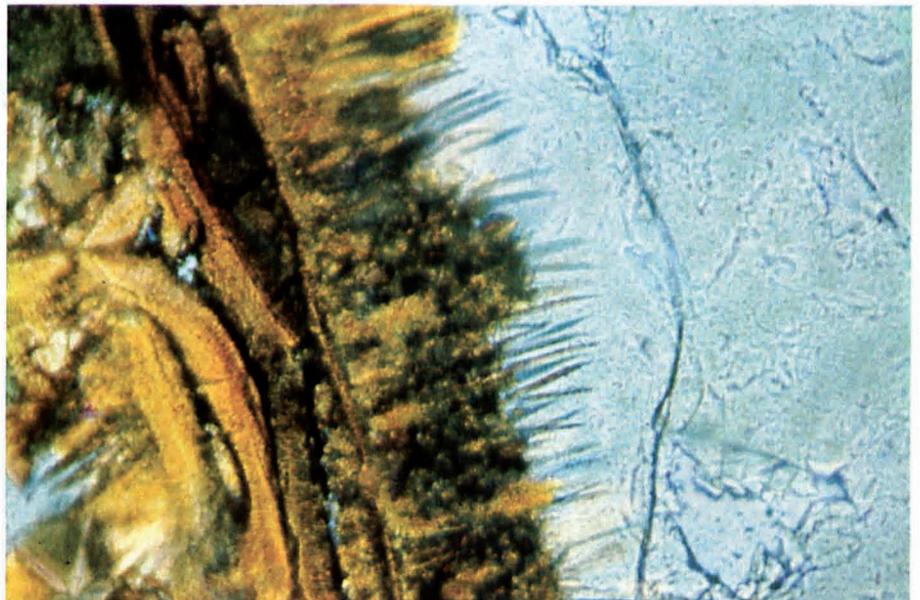


Abb. 4: Dreidimensionale Längen- und Durchmesserverteilung der neugebildeten kristallinen Fasern aus der Glaswolle in Abb. 1.

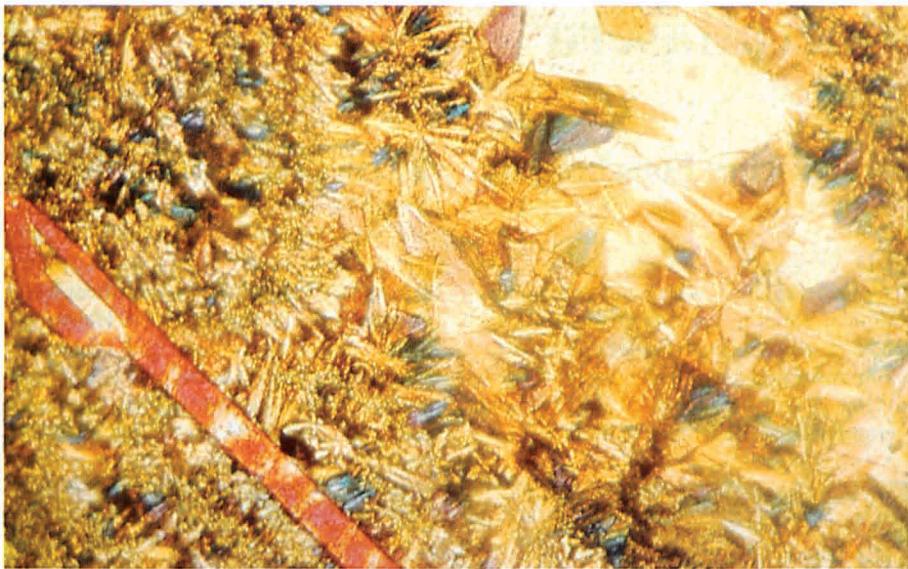


Abb. 6: Synthetisches Basaltglas mit umgebildeten rekristallisierten Phasen

in der Isolation industrieller Hochtemperaturöfen, die heute z. T. komplett mit Fasern zugestellt werden. Hierzu trugen vor allem steigende Energiekosten und die Forderung nach leichterer Ofenbauweise bei. Die Produktion der in den fünfziger Jahren entwickelten Aluminium-Silikatfasern belief sich 1969 weltweit auf 10 Jahrestonnen und 1985 bereits auf 43 000 Jahrestonnen, wovon ca. 20% in der Bundesrepublik verwendet werden. Bei der Diskussion der gesundheitlichen Risiken durch künstliche Mineralfasern geht man vielleicht heute noch davon aus, daß diese vor allem auf Grund ihres glasigen Zustandes und ihrer Dimensionen keine gesundheitlichen Risiken bergen.

Veränderungen der Fasern auf Grund bestimmter Umwelt- und Betriebsbedingungen hat man zwar im Hinblick auf die Verwendbarkeit, nicht jedoch unter dem Aspekt der biologischen Wirkungen untersucht.

Routinemäßige Untersuchungen, die wir in Zusammenarbeit mit der Berufsgenossenschaft der keramischen- und Glasindustrie durchgeführt haben, zeigen jedoch, daß jahrzehntelang hohen Betriebstemperaturen ausgesetzte Fasern auffällige Veränderungen in der Morphologie und der strukturellen Beschaffenheit aufweisen. Dabei bildeten sich aus Keramikfasern u. a. neben faserförmigen Silikatphasen wie Mullit auch

$\text{SiO}_2$ -Phasen wie Cristobalit. Cristobalit ist eine tetragonale  $\text{SiO}_2$ -Hochtemperaturmodifikation, die wie Quarz und andere kristalline  $\text{SiO}_2$ -Phasen mit tetraedischer Koordination des Sauerstoffs um das Silicium in alveolengängigen Stäuben sowohl zelltoxische biologische Wirkungen hervorruft, wie auch zu einer Vermehrung von Bindegewebe (Fibrosen) und zu silikotischen Erkrankungen führen kann.

Da die Größenordnung dieser neu gebildeten, vielfach stark fehlgeordneten Kristallite z. T. im Bereich von wenigen  $1/1000$  nm und darunter und damit an der Grenze des Auflösungsvermögens eines Lichtmikroskopes liegt, sind zu ihrer Bestimmung und objektiven Beurteilung spezielle phasenanalytische und kristallmorphologische Meßmethoden erforderlich. In der Angewandten und Technischen Mineralogie werden diese Verfahren heute routinemäßig eingesetzt. Hierzu zählen neben der klassischen polarisationsoptischen Farbbimmersionsmethode bei Phasenkontrast (Abb. 4), die analytische Transmissions-Elektronenmikroskopie und die Raster-Elektronenmikroskopie (Abb. 5) in Verbindung mit wellenlängenabhängigen und energiedispersiven Mikrosondensystemen.

Laborversuche an Glas- und Gesteinsfasern bei simulierten Umwelt- und Betriebsbedingungen ergaben, daß sie unter gewissen Voraussetzungen zur Kristallisation neigen (Abb. 6). Dabei bilden sich bevorzugt Faserzeolithe, die ebenso wie Asbest unter biologischen Bedingungen sehr viel beständiger sind, als Glasfasern gleicher chemischer Zusammensetzung. Sie können bei entspre-

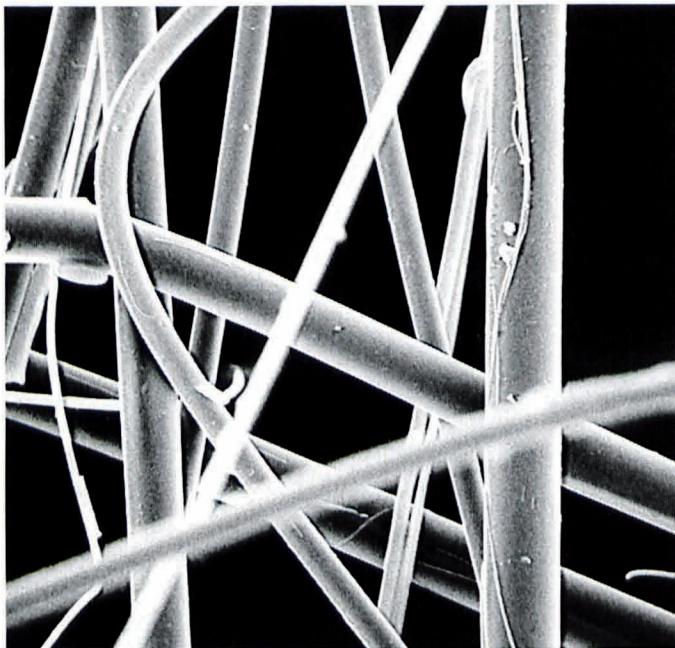


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme fabrikneuer synthetischer Mineralfasern. Die Dicke der Fasern liegt zwischen 5 und 20  $\mu\text{m}$ . (Photos: Abb. 1-3 und Abb. 5 Dr. Döll, Strahlencentrum der Universität Gießen)

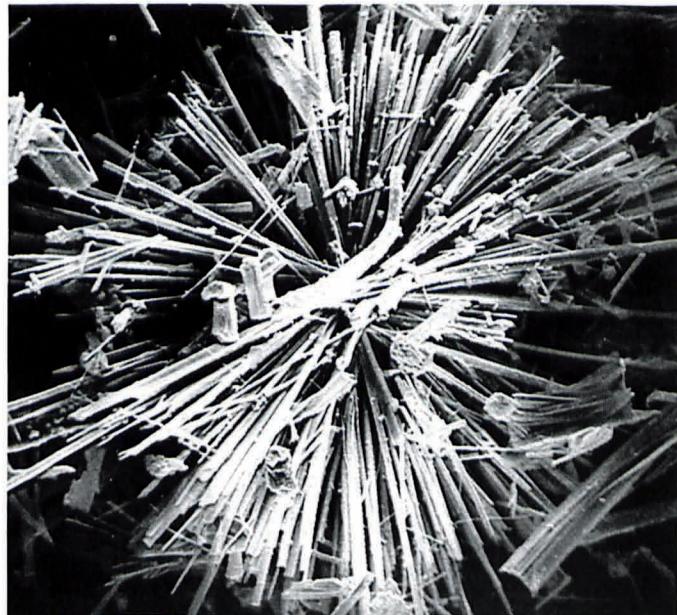


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Glaswolle nach 30 Tagen bei 150 °C in Wasserdampf-atmosphäre (Laborversuch). Die Fasern haben sich zum größten Teil in Zeolithe umgewandelt. Die Dimensionsverhältnisse der kristallinen Fasern sind in Abb. 4 dargestellt.



Abb. 5: Glasfasern in einer Steinwolle, die aus Basalt des Vogelsberges hergestellt wurde. REM-Aufnahme. Der durchschnittliche Durchmesser der Fasern liegt bei  $10\ \mu\text{m}$ .

chenden Faserdimensionen ebenfalls eine krebsregende Wirkung haben.

Bildung und Auftreten der Zeolithe in der Natur steht vielfach in einem engen Zusammenhang mit dem Vulkanismus. Durch die im Laufe der Zeit erfolgende Umwandlung der glasigen Partikel vulkanischer Tuffe bilden sich Zeolithe, die sich aufgrund ihrer Resistenz gegen Verwitterungseinflüsse im Baugrund und im Ackerboden anreichern können.

Zahlreiche Krebsfälle in Zentralanatolien – es treten auffallend häufig Tumoren des Rippenfells (Mesotheliome) auf – lassen sich heute zweifelsfrei auf den ständigen Kontakt der Bewohner mit Faserzeolithen ihrer Umgebung zurückführen (Abb. 7). In den Mesotheliom-Dörfern Karain, Tuzköy und Sarihidir in der Provinz Nevsehir treten Mesotheliome 1000mal häufiger auf, als es aufgrund der Sterblichkeitsstatik zu erwarten wäre. Ältere Bewohner von Sarihidir, die bis 1955 am steilen Südufer des Kizilirmak in Höhlenwohnungen oder in Häusern aus Tuffstein lebten, die reich mit Faserzeolithen durchsetzt waren, sind an Mesotheliomen erkrankt bzw. gestorben. Nach dem Bau einer Brücke über den Fluß wurde Sarihidir am Nordufer in zeolithfreier Umgebung neu errichtet (Abb. 8). Jüngere Einwohner sind heute von der Krankheit nicht mehr betroffen.

Daß die Frage, inwieweit Stäube von künstlichen Mineralfasern eine gesundheitliche Gefährdung darstellen, kontrovers diskutiert wird, hat seine Ursache nicht zuletzt in einer Reihe von vermeidbaren Mißverständnissen. Diese beziehen sich vor allem auf die Definition des Begriffes Faser, die



Abb. 7: Probenahme in den vulkanischen Tuffiten bei Tuzköy durch Mitarbeiter der Universität Gießen im September 1987.

problematische Abgrenzung von amorph-glasig-kristallin und auf die Identifizierungsmöglichkeiten einzelner Asbesttypen und anderer silikatischer Fasern.

Die in Laborversuchen und an vielen, unter Betriebsbedingungen eingesetzten, künstlichen Mineralfasern gewonnenen Erkenntnisse über ihr Umwandlungsverhalten sind sicher in zahlreichen Fällen, besonders dort, wo künstliche Mineralfasern mit Kunststoffen als Verbundwerkstoffe eingesetzt werden, nicht relevant für die Praxis. Chrysotil-Asbestfasern können sich nur dann aus künstlichen Mineralfasern bilden, wenn diese Magnesium enthalten, was nur bei ganz wenigen der Fall ist. Zeolithe bilden sich nur bei entsprechenden Alkaligehalten, die in Keramikfasern schon aus

Gründen der Hochtemperaturanwendungsgebiete ausgeschlossen werden können. Mit Sicherheit bilden sich aber aus Keramikfasern vor allem im industriellen Hochtemperaturbereich kristalline, wenn auch oft sehr stark fehlgeordnete, faserförmige mullitähnliche Silikate und Cristobalit. Da die bestehenden Definitionen krebszeugender Mineralfasern als Grundlage für Gesundheitsschutzmaßnahmen im Einzelfall falsch eingeschätzt werden können, die Krankheitssymptome aber oft erst nach 20 bis 30 Jahren nach dem Kontakt mit den Mineralfasern zum Ausbruch kommen, ist es dringend geboten, heute Daten und Erkenntnisse über das Langzeitverhalten der künstlichen Mineralfasern zu gewinnen und die Risikobereiche abzugrenzen.



Abb. 8: Aufschlüsse bei Sarihidir. Links faserzeolithfreie Gesteinsschichten von Neu-Sarihidir, rechts Alt-Sarihidir mit Zeolith, dazwischen die Brücke über den Kizilirmak.