

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 87 (1994)
Heft: 2: Pollution and pollutant transport in the geosphere, a major environmental issue : symposium held during the 173rd annual meeting of the Swiss Academy of Natural Sciences

Artikel: Anorganische Partikel in der menschlichen Lunge
Autor: Romer, Michael
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-167468>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Anorganische Partikel in der menschlichen Lunge

MICHAEL ROMER¹

Key words: Asbestos, lung, mesothelioma

ZUSAMMENFASSUNG

Staubinduzierte Erkrankungen der Atemorgane stellen in allen industrialisierten Ländern wichtige Berufskrankheiten dar. Spezielle Bedeutung kommt dabei dem Mesotheliom zu, da in vielen Fällen nur eine geringfügige Asbestexposition gefunden werden kann. Die Analyse von Lungenstaub kann einen wesentlichen Beitrag zur versicherungstechnischen Beurteilung staubinduzierter Erkrankungen der Atemorgane leisten. Dazu sind Vergleichswerte von beruflich nicht staubbelasteten Individuen unerlässlich.

Diese Untersuchung zeigt, dass trotz der weiten Verbreitung von Chrysotil (über 90% vom Gesamtasbestverbrauch) in Normallungen und in Proben von Mesotheliompatienten diese Faserart in vergleichbaren und niedrigen Konzentrationen auftritt. In Normallungen überwiegen Fasern von Mullit und Rutil, bei beruflicher Asbestbelastung steigen Krokydolith- und Amositkonzentrationen im Lungengewebe an.

Bei den anorganischen, nicht-faserförmigen Lungenstaubkomponenten überwiegen Mineralien gegenüber den metallreichen Partikeln industrieller Herkunft in beiden untersuchten Lungenkollektiven. Korrelationen von Staubinhalt der Lungenproben mit Alter oder Expositionsdauer können nicht gezeigt werden.

ABSTRACT

Within occupational diseases dust induced changes in the respiratory system play an important role. Mesotheliomas are of special concern because many reports of such cases don't show strong exposures to asbestos. Lung dust analysis can give important evidence in the judgement of dust induced diseases in the industrial medicine. Therefore dust concentrations in normal lungs are required.

Contrary to the industrial use of asbestos (over 90% chrysotile), crocidolite and amosite dominate in lung dust and correlate with occupational exposure to asbestos. Mullite and rutile are the most numerous fibres in normal lungs.

Non fibrous lung dust particles occur in comparable amounts in both investigated groups and are dominated by common minerals. No correlation was found within the groups between lung dust contents and ages or just duration of exposure.

Einführung

Eine Vielzahl unterschiedlicher Partikel, darunter Mineralien oder industrielle Emissionen, können durch natürliche Prozesse (Erosion, Verwitterung, Vulkanausbrüche, etc.) oder antropogene Aktivitäten (Industrie, Verkehr, etc.) in die Atmosphäre gebracht werden. Genügend kleine oder leichte Partikel können so über längere Zeiträume als Aerosol vorliegen und damit während der Atmung aufgenommen werden. Die Anatomie von

¹ EMPA, Anorganische Chemie, Überlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf und Zürcherische Arbeitsgemeinschaft zur Erforschung und Bekämpfung der Staublungen in der Schweiz.

Atemwegen und Lunge führt zu einer effizienten Filterung der Atemluft. Verschiedene Reinigungsmechanismen führen anschliessend zur Elimination der Staubpartikel aus dem Organ (Holt 1987). Nur ein sehr geringer Anteil der Staubpartikel gelangt bis in die Lungenbläschen oder wird im Lungengewebe selbst zurückgehalten.

Die Natur des aufgenommenen Staubes (Kristallstruktur, Morphologie) und dessen chemische Beständigkeit entscheiden über die Mobilität und die Verweilzeit der Partikel im Gewebe und damit über die pathogene (krankmachende) Potenz (Rüttner 1983; Guthrie 1992). Die Reinigungsfunktion der Lunge ist bei massiver, beruflicher Staubeinwirkung quantitativ nicht mehr ausreichend (Blümke et al. 1983), es kommt in Abhängigkeit der Staubart (Quarz, Asbest, etc.) und der im Organ zurückgehaltenen Menge (Dosis) zu histologisch-anatomisch differenzierbaren Erkrankungen der Atemorgane (Tab. 1). Die „Zürcherische Arbeitsgemeinschaft zur Erforschung und Bekämpfung der Staublungen in der Schweiz“ befasst sich als interdisziplinäre Forschergruppe seit 1945 mit staubinduzierten Erkrankungen der Atemorgane (Rüttner 1983). Die Pneumokoniosen (staubinduzierte Bindegewebsvermehrung des Lungengewebes) spielen heute dank der verbesserten Arbeitsplatzsituationen innerhalb der Berufskrankheiten eine untergeordnete Rolle, Lungenkrebs sowie Karzinome von Brust- und Bauchfell stehen zunehmend im Vordergrund (Anton 1989; Gibbs et al. 1990). Die bösartigen Tumore des Brustfells (Pleuramesotheliom), respektive des Bauchfells (Peritonealmesotheliom) stehen in direktem kausalem Zusammenhang mit meist 20 bis 40 Jahre zurückliegenden Asbestexpositionen (Wagner et al. 1960; Baris et al. 1991; Mark & Yokoi 1991). Davon sind neben Arbeitern der Asbestindustrie (Spritzasbest, Asbestzement, etc.) auch Beschäftigte vieler Tätigkeitsbereiche betroffen, die nur geringen Asbestbelastungen oder gar nur indirekt einer versteckten oder Nachbarschaftsexposition ausgesetzt waren (Woitowitz et al. 1988; Rödelisperger et al. 1990a; Rödelisperger et al. 1990b; Tuomi et al. 1991; Wälchli et al. 1993).

Radiologisch erkennbare Veränderungen der Atemorgane und Lungenfunktionstests können zum frühen Aufdecken staubinduzierter Erkrankungen der Atemorgane führen. Die histologisch-anatomische Diagnose des Lungengewebes, die Arbeitsanamnese und die Resultate der Lungenstaubanalysen bilden die Grundlagen für die versicherungstechnische Beurteilung von staubinduzierten Lungenerkrankungen (Rüttner et al. 1991). Bei fraglich oder minimal asbestexponierten Individuen ist die Kenntnis der in Lungen von nicht staubbelasteten Menschen (Normallungen) vorhandenen Konzentrationen der ver-

Pneumokoniosen	<ul style="list-style-type: none"> • Silikose und Mischstaubpneumokoniose • Silikatoase (z.B. Asbestose, Talkose) • Graphitpneumokoniose (Vogt & Rüttner 1989) • "Hartmetall-Lunge" (Rüttner et al. 1987) • "Seltene-Erden-Lunge" (Vogt et al. 1986)
Tumoren	<ul style="list-style-type: none"> • Bronchialkarzinom (Woitowitz et al. 1988) • Mesotheliom von Pleura oder Peritoneum

Tab. 1. Einteilung der wichtigsten, staubinduzierten Erkrankungen der Atemorgane.

schiedenen Fasertypen unerlässlich (Churg & Warnock 1980; Stolkin et al. 1981; Churg 1983; Heer & Rüttner 1986).

Die vorliegende Arbeit basiert auf der Untersuchung von 26 Normallungen (keine berufliche Staubbelastung, 14 Männer und 12 Frauen, 58 bis 93 Jahre alt) und 28 Lungen von durchwegs männlichen Mesotheliompatienten, die zufällig aus dem Untersuchungsgut erwähnter Arbeitsgemeinschaft ausgewählt wurden. Bei 27 der 28 Mesotheliompatienten konnten Asbestexpositionen zwischen 4 Wochen und 47 Jahren anamnestisch erfasst, deren Ausmass aber nicht quantifiziert, werden. In dieser Gruppe ist ein grosses Spektrum an Berufsbezeichnungen vereinigt. Der Umstand, dass ca. die Hälfte der 28 Mesotheliompatienten während ihrer beruflichen Tätigkeit passiv einer meist geringen Asbestexposition ausgesetzt waren und nicht selbst mit asbesthaltigen Materialien arbeiteten, verdeutlicht die aktuelle Asbestproblematik.

Methodik

In Abhängigkeit der Fragestellung können verschiedene Aufschluss- und Analysemethoden zur Charakterisierung des anorganischen Lungenstaubes eingesetzt werden (Krewer & Millette 1986; Warheit et al. 1991; Romer 1993). Zur Bestimmung der Faserkonzentration im Lungengewebe wurde die analytische Transmissions-Elektronen-Mikroskopie an speziellen Filterpräparaten angewendet (Spurny 1986). Die Fasern wurden anhand morphologischer, struktureller (Elektronenbeugung) und chemischer (energiedispersive Röntgenspektroskopie) Charakteristika identifiziert. Für die verschiedenen Fasertypen wurden Anzahlkonzentrationen pro mg trockenes Lungengewebe (LTG) bestimmt. Für mineralische Lungenstaubkomponenten die nicht morphologisch definiert sind (z. B. Quarz) wurde die Röntgendiffraktion (Fluorit als interner Standard) zur Bestimmung von Gewichtskonzentrationen eingesetzt, siehe auch Chung (1974) oder Pickard et al. (1985).

Die schonende Isolation des anorganischen Lungenstaubes aus dem Gewebe durch Plasmaveraschung (oder „Kaltveraschung“, Temperatur unter 150 °C) wurde trotz grossem Zeitaufwand chemischen Aufschlussverfahren (z. B. konz. KOH) vorgezogen, da sie auch die Untersuchung chemisch wenig beständiger Lungenstaubkomponenten ermöglicht (Manke et al. 1987).

Resultate

a) Anorganische Fasern

Das Kollektiv der untersuchten Normallungen wird bezüglich anorganischer Fasern von Mullit und Rutil dominiert (Fig. 1 und 2, Tab. 2). Im Vergleich dazu überwiegen in den 28 Lungenproben von Mesotheliompatienten die Asbestminerale, insbesondere Krokydolith („blauer Asbest“) und untergeordnet der als „brauner Asbest“ bezeichnete Amosit (Fig. 3).

Im Gegensatz zum Anteil von Chrysotil von über 90% am Asbestverbrauch (Murray 1990) tritt diese mineralische Faserart in beiden Lungenkollektiven selten und in vergleichbaren Konzentrationen auf, dies trotz häufiger beruflicher Asbestbelastungen bei den untersuchten Fällen von Mesotheliomen (Tab. 3). In den Lungenproben von 3 der

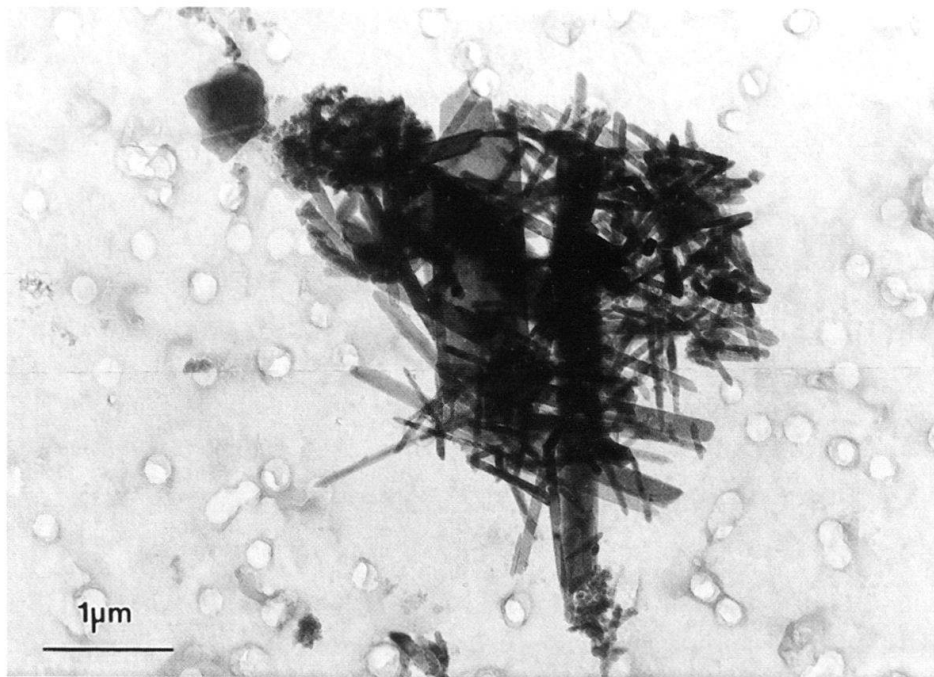


Fig. 1. Aggregat von Mullitfasern aus der Probe der Normallunge K3 im Transmissions-Elektronen-Mikroskop (TEM). Die hellen, scheibenförmigen Bereiche des Kohlenstoffreplikas stellen die Poren vom ursprünglichen 0.2μm-Membranfilter dar.

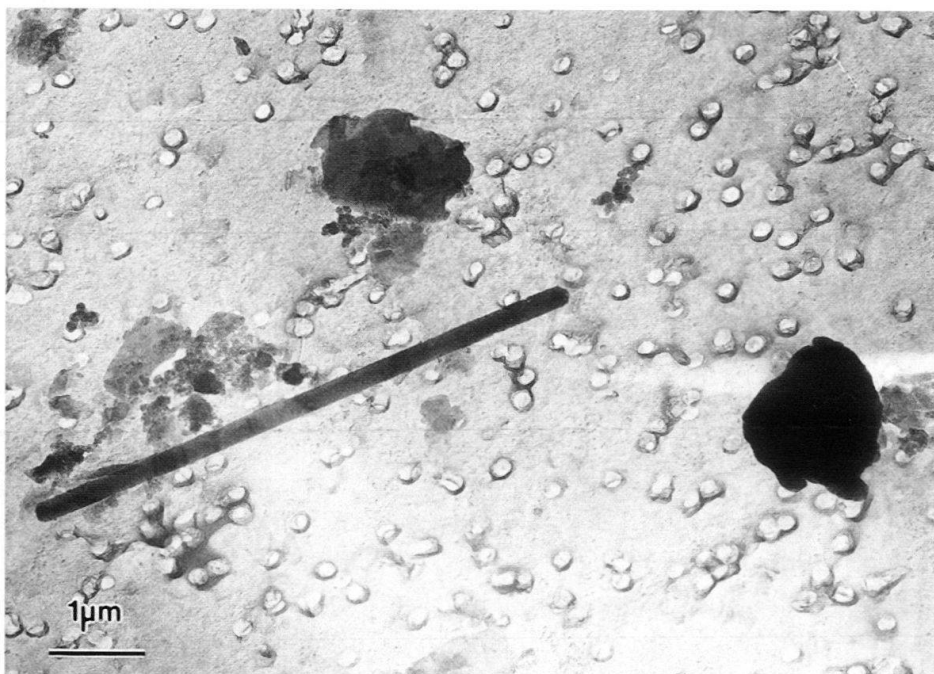


Fig. 2. Grosse Rutilfaser aus der Probe der Normallunge N2 (Präparation und Aufnahme analog zu Fig. 1).

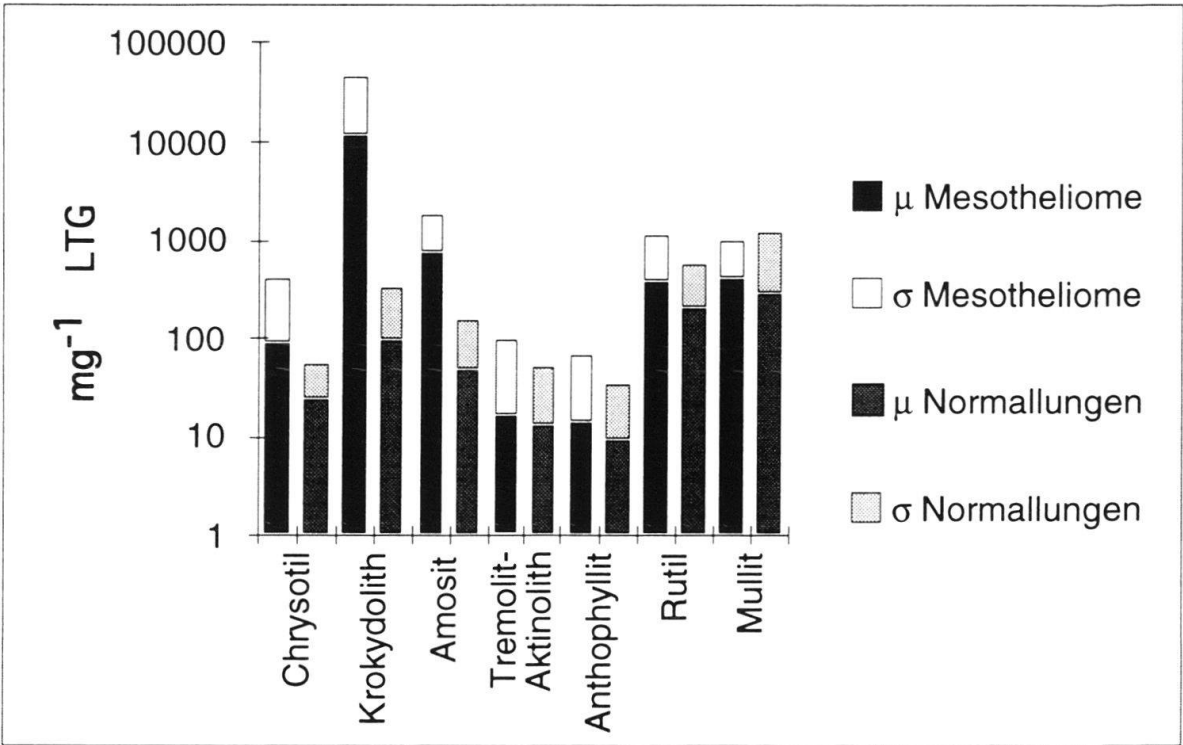


Fig. 3. Faserkonzentrationen in Normallungen und Proben von Mesotheliompatienten, μ = Mittelwert, σ = Standardabweichung (LTG = Lungentrockengewicht).

Fasertyp	Häufigkeit (in %)		Häufigkeit als Hauptfaserart	
	Normallungen (N=26)	Mesotheliome (N=28)	Normallungen (N=26)	Mesotheliome (N=28)
Chrysotil	54	17	4	-
Krokydolith	46	93	19	71
Amosit	35	68	8	18
Tremolit-Aktinolith	31	7	3	-
Anthophyllit	23	4	-	-
Rutil	81	46	39	4
Mullit	77	57	27	7

Tab. 2. Faserhäufigkeiten in Normallungen und Proben von Mesotheliompatienten.

Fasertyp	Mittelwerte (Konzentrationsbereich) [mg ⁻¹ Lungentrockengewicht]		mittlere Faserlänge (Durchmesser) [µm]	
	Normallungen (N=26)	Mesotheliome (N=28)	Normallungen (N=26)	Mesotheliome (N=28)
Chrysotil	24 (0 - 97)	87 (0 - 1'540)	6.9 (0.09)	2.3 (0.09)
Krokydolith	92 (0 - 1'160)	11'300 (0 - 184'000)	6.1 (0.17)	4.4 (0.15)
Amosit	48 (0 - 300)	760 (0 - 3'600)	6.9 (0.28)	3.4 (0.16)
Tremolit-Aktinolith	13 (0 - 185)	16 (0 - 420)	5.5 (0.49)	6.4 (0.52)
Anthophyllit	9 (0 - 90)	14 (0 - 210)	5.0 (0.61)	3.7 (0.28)
Rutil	205 (0 - 1'700)	370 (0 - 3'750)	3.1 (0.44)	3.4 (0.29)
Mullit	280 (0 - 4'300)	402 (0 - 2'300)	2.9 (0.32)	1.8 (0.19)
Total (Asbestanteil)	593 (42%) (31 - 4'500)	13'000 (77%) (126 - 188'000)	4.1 (0.39)	4.2 (0.16)

Tab. 3. Faserkonzentrationen und -abmessungen in Normallungen und Proben von Mesotheliompatienten (*kursiv*). Die Extremwerte in den Gruppen von Lungen gleicher Diagnose sind **fett** hervorgehoben.

28 Mesotheliomenpatienten liegen die Asbestkonzentrationen unter dem Durchschnittswert für die Normallungen.

Faserförmige Mineralien der Tremolit-Aktinolithreihe oder von Anthophyllit liegen in beiden Lungenkollektiven im Vergleich zu den anderen Asbestypen mit grösseren Faserdurchmessern und in geringeren Konzentrationen vor (Tab. 3).

b) Nicht-faserförmige Partikel

Die beiden Kollektive (Normallungen und Lungen von Mesotheliompatienten) unterscheiden sich weder qualitativ noch quantitativ signifikant in der Zusammensetzung des nicht-faserförmigen Lungenstaubes (Fig. 4). Feldspat, Quarz, Illit, Kaolinit, Talk und Chlorit bilden anzahlmässig je ca. 80% des anorganischen Lungenstaubes, vergleichbar den Werten von Stettler et al. (1986) für Normallungen in den USA. 20% des anorganischen, nichtfaserförmigen Lungenstaubes besteht aus sehr kleinen Aggregaten metallreicher (Ti, Fe, Al, Cr) Kügelchen (Fig. 5).

Konzentrationsangaben aus der Röntgendiffraktion (Gewichtskonzentration) und solche der Elektronenmikroskopie (Häufigkeitsanteile) sind über die Korngrössenverteilung und die Intensitätsfaktoren (Röntgendiffraktion) der entsprechenden Komponenten verbunden. Die aus unabhängigen Analysemethoden resultierenden leicht unter-

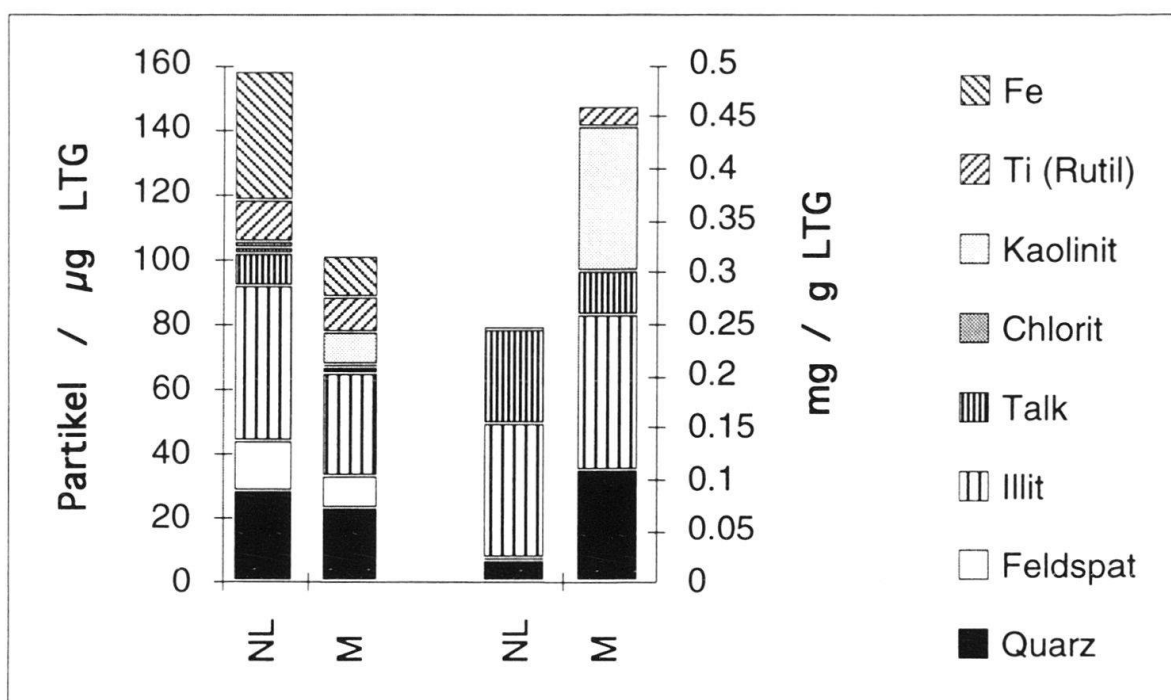


Fig. 4. Durchschnittliche Anzahl- und Gewichtskonzentrationen nicht faserförmiger Lungenstaubkomponenten in Normallungen (NL) und Proben von Mesotheliompatienten (M).

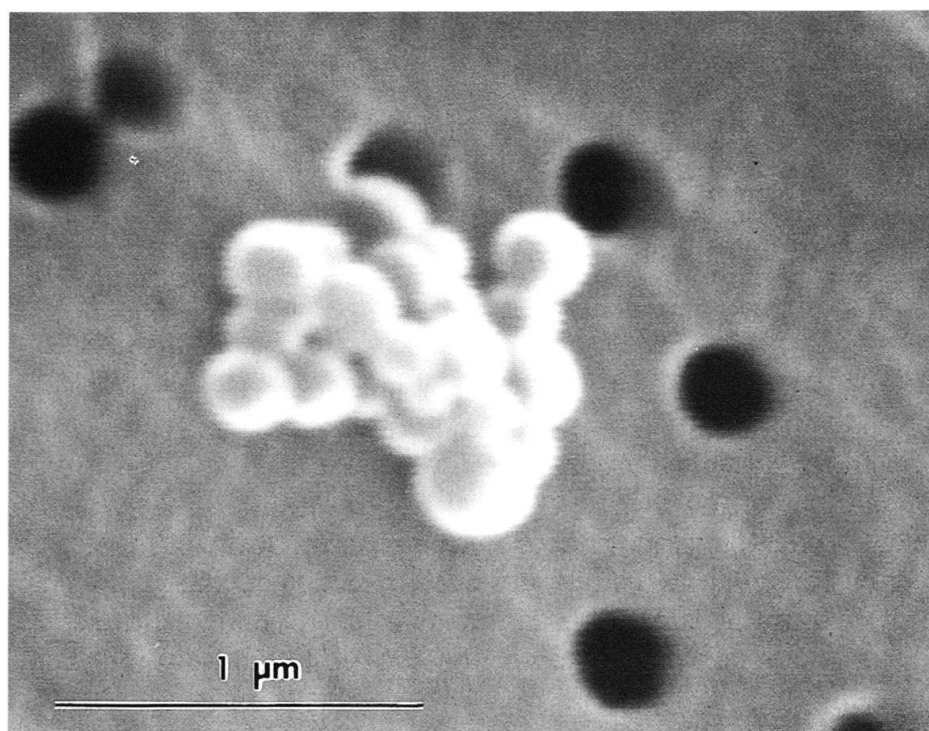


Fig. 5. Aggregat von titanreichen Kügelchen im Lungenstaub der Normallunge K13 (Sekundärelektronenabbildung, Präparation analog zu Fig. 1).

schiedlichen Anteile der mineralischen Lungenstaubkomponenten (Fig. 4) ergeben sich aus den geringfügig verschiedenen, mittleren Partikeldimensionen in den Normallungen, respektive den Lungenproben der Mesotheliompatienten.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Durchschnittskonzentrationen für Krokydolith und Amosit der beiden untersuchten Lungenkollektive unterscheiden sich deutlich, die Konzentrationsbereiche überlappen sich aber so stark, dass keine Grenzwerte angegeben werden können, bei denen von einer beruflichen Asbestbelastung ausgegangen werden oder mit einem Mesotheliom gerechnet werden müsste. Trotz seiner weiten Verbreitung liegt Chrysotil in beiden Lungenkollektiven in vergleichbar niedrigen Konzentrationen vor, im Gegensatz dazu scheinen sich die Amphibolasbestfasern im Lungengewebe über beliebige Zeiträume anzusammeln.

Aufgrund der geringen chemischen Beständigkeit von Chrysotil im Lungengewebe (Hume & Rimstidt 1992) und den meist mehrere Jahre vor der Untersuchung zurückliegenden Exposition kann die Anwesenheit dieser Fasern (Fig. 6) auf eine generelle Kontamination der Atemluft zurückgeführt werden (Bremsbeläge, Zerstörung von Asbestzementprodukten oder Spritzisolationen, etc.). Rutilfasern werden bei der Gesteinsverwitterung oder der industriellen Gesteinsverarbeitung freigesetzt (Roggli 1989), die Quelle für Mullitfasern liegt gemäss der Untersuchung von Churg (1983) in der thermischen Synthese in Kehricht-Verbrennungsanlagen. Die Vorkommen von Aktinolith-Tremolit oder Anthophyllit sind eher der Gesteinsverwitterung als der Verwendung in Asbestprodukten zuzuschreiben, da diese Mineralien in asbestinformer Ausbildung nur in sehr geringen Mengen abgebaut und technisch eingesetzt wurden (Murray 1990).

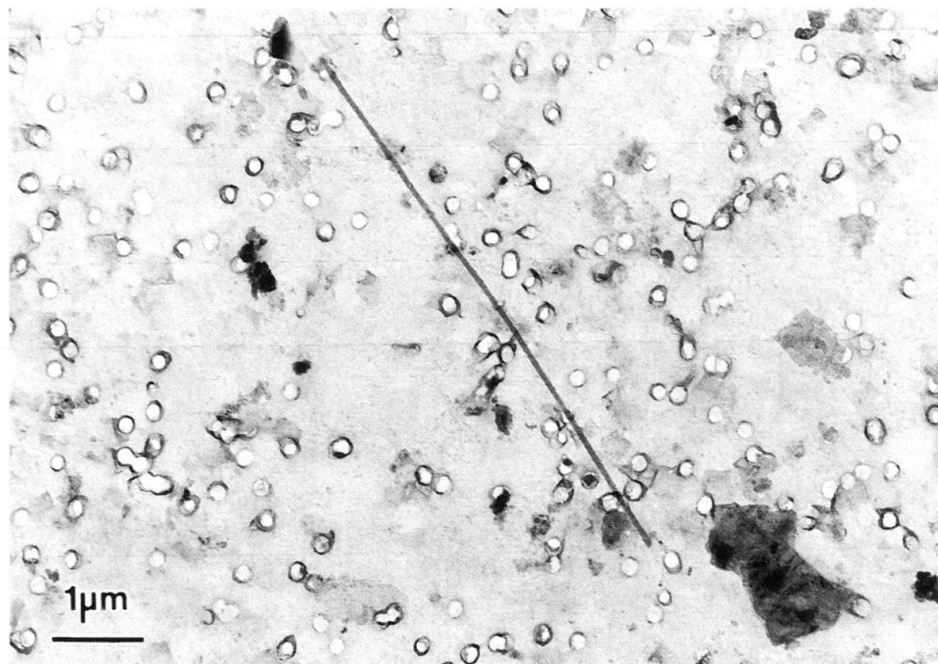


Fig. 6. Einzelfaser von Chrysotil neben partikelförmigen Lungenstaubkomponenten der Normallunge K8 (Präparation und Aufnahme analog zu Fig. 1).

Das Konzentrationsverhältnis von Mullit und Rutil zum Asbest (Gesamtasbest oder Krokydolith) im Lungenstaub kann zur Abschätzung einer beruflichen Asbestbelastung herangezogen werden. In 21 der 26 Proben von Normallungen übersteigt die Summenkonzentration von Mullit und Rutil diejenige von Krokydolith und Amosit, bei den Mesotheliompatienten ist dies nur bei 2 der 28 Proben der Fall.

Im Grenzbereich von reiner Umweltbelastung und geringer Asbestbelastung am Arbeitsplatz sind physiologische Einflüsse, eventuell aber auch spezielle Fasertypen (z. B. Krokydolith) mit bestimmten Abmessungen (McDonald et al. 1989) oder die Rauchgewohnheiten (Pott 1989) für eine Krebserkrankung entscheidend.

In den zwei untersuchten Lungenkollektiven liegen nicht-faserförmige Partikel in ähnlichen Konzentrationen vor, dabei überwiegen natürliche Komponenten (Mineralien) solche industrieller Provenienz (metallreich). Patienten mit Mesotheliomen repräsentieren demnach überwiegend Arbeitsplätze mit geringen Staubbelastungen, wie dies für die Auswahl der Normallungen gefordert wurde.

Bezüglich nicht-faserförmiger, anorganischer Lungenstaubkomponenten in den Normallungen konnte weder eine Korrelation von Alter zu Staubkonzentration, noch eine solche von Landesteil oder Region zu qualitativem oder quantitativem Staubinhalt der Lungenproben gefunden werden. Als Erklärung kann der Gleichgewichtszustand von permanenter, geringer Staubaufnahme und gleichzeitiger Lungenreinigung dienen.

Verdankung

Diese Arbeit wurde als Teil einer Dissertation (Romer 1993) von der „Zürcherischen Arbeitsgemeinschaft zur Erforschung und Bekämpfung der Staublungen in der Schweiz“ finanziert und am Institut für Mineralogie und Petrographie der ETH-Zürich (Prof. V. Trommsdorff) durchgeführt.

LITERATURVERZEICHNIS

- ANTON, O. 1989: Mineral-associated health problems: A reasoned approach. *Ind. Minerals* 71, 91–93.
- BARIS, Y. I., COPLU, L., SELCUK, T. Z., EMRI, S. & SAHIN, A. A. 1991: Asbestos-related cancer. In: *Erionit-related diseases* (Ed. by Sluysen, M.), 256–275.
- BLÜMCKE, S., BURKHARDT, A., DOERR, W., FASSEKE, E., GEBBERS, J.-O., HARTUNG, W., HERBST, R., KÖNN, G., MITTERMAYER, CH., MORGENROTH, K., MÜLLER, K.-M., OELLIG, W.-P., PFANNKUCH, F., SCHÄFER, H., SCHEJBAL, V. & VOGEL, M. 1983: *Pathologie der Lunge: Pneumokoniosen*. Springer Verlag.
- CHUNG, F. H. 1974: Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures I: Matrix-Flushing method for quantitative multicomponent analysis. *J. Appl. Cryst.* 7, 519–525.
- CHURG, A. 1983: Nonasbestos pulmonary mineral fibers in the general population. *Env. Res.* 31, 189–200.
- CHURG, A. & WARNOCK, M. L. 1980: Asbestos fibers in the general population. *Am. Rev. Res. Dis.* 122, 669–678.
- GIBBS, A. R., GRIFFITHS, D. M., POOLEY, F. D. & JONES, J. S. P. 1990: Comparison of fibre types and size distributions in lung tissues of paraoccupational and occupational cases of malignant mesothelioma. *Br. J. Ind. Med.* 47, 621–626.
- GUTHRIE, G. D. 1992: Biological effects of inhaled mineals. *Amer. Mineralogist* 77, 225–243.
- HEER, S. & RÜTTNER, J. R. 1986: Zahl und Längenverteilung von Fasern und Ferruginous Bodies aus Lungen asbest- und nichtasbestexponierter Individuen. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 21, 233–235.
- HOLT, P. F. 1987: *Inhaled dust and Disease*. John Wiley & Sons, New York.
- HUME, L. A. & RIMSTIDT, J. D. 1992: The bi durability of Chrysotile Asbestos. *Am. Mineralogist* 77, 1125–1128.
- KREWER, J. A. & MILLETTE, J. R. 1986: Comparison of sodium hypochlorite digestion and low-temperature ashing preparation techniques for lung tissue analysis by TEM. In: *Microbeam Analysis* (Ed. by Romig A. D. & Chambers W. F.), San Francisco Press, San Francisco (USA), 544–546.

- MANKE, J., RÖDELSPERGER, K., BRÜCKEL, B. & WOITOWITZ, H.-J. 1987: Evaluation and application of a plasma ashing method for STEM fiber analysis in human lung tissue. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 48, 730–738.
- MARK, E. J. & YOKOI, T. 1991: Absence of evidence for a significant background incidence of diffuse malignant mesothelioma apart from Asbestos exposure. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 643, 196–204.
- MCDONALD, J. C., ARMSTRONG, B., CASE, B., DOELL, D., MCCAUGHEY, W. T. E., MCDONALD, A. D. & SÉBASTIEN, P. 1989: Mesothelioma and Asbestos fiber type. *Cancer* 63, 1544–1547.
- MURRAY, R. 1990: Asbestos: a chronology of its origins and health effects. *Br. J. Ind. Med.* 47, 361–365.
- PICKARD, K. J., WALKER, R. F. & WEST, N. G. 1985: A comparison of X-ray diffraction and infrared spectrophotometric methods for the analysis of α -Quarz in airborne dusts. *Ann. occup. Hyg.* 29, 149–167.
- POTT, F. 1989: A hypothesis for explaining the syncarcinogenic effect of cigarette smoke and Asbestos. In: *Biological interaction of inhaled mineral fibers and cigarette smoke* (Ed. by Felton D.-L.), Batelle Press, Columbus (Ohio, USA), 51–62.
- RÖDELSPERGER, K., WOITOWITZ, H.-J., PATRZICH, R. & BRÜCKEL, B. 1990a: Asbestfasern und Ferruginous Bodies in der menschlichen Lunge. Teil 1: Asbestfaseranalysen bei weitgehendem Ausschluss einer Asbeststaub-Einwirkung am Arbeitsplatz. *Staub, Reinhaltung der Luft* 50, 73–80.
- RÖDELSPERGER, K., WOITOWITZ, H.-J., PATRZICH, R., BRÜCKEL, B. & GOSCH, V. 1990b: Asbestfasern und Ferruginous Bodies in der menschlichen Lunge. Teil 2: Analysen von Ferruginous Bodies bei weitgehendem Ausschluss einer Asbeststaub-Einwirkung am Arbeitsplatz. *Staub, Reinhaltung der Luft* 50, 99–105.
- ROGGLI, V. L. 1989: Nonasbestos mineral fibers in human lungs. In: *Microbeam analysis* (Ed. by Russell P. E.), San Francisco Press, San Francisco (USA), 57–59.
- ROMER, M. 1993: Präparation und mineralogische Analytik von Lungenstaub. Diss. ETH N° 10129.
- RÜTTNER, J. R. 1983: Staublungenforschung in der Schweiz einst und jetzt. *Schweiz. med. Wschr.* 113 Suppl. 15, 51–61.
- RÜTTNER, J. R., SPYCHER, M. A. & STOLKIN, I. 1987: Inorganic particulates in pneumoconiotic lungs of hard metal grinders. *Br. J. of Ind. Med.* 44, 657–660.
- RÜTTNER, J. R., ROMER, M., SPYCHER, M. A., VOGT, P. & WÄLCHLI, P. 1991: Primäre Pleuratumoren: Ursachen. *Atemw.-Lungenkrkh.* 17, 242–247.
- SPURNY, K. R. 1986: Physical characterization of single particles and of particle collectives. In: *Physical and Chemical Characterization of Individual Airborne Particles* (Ed. by Spurny K. R.), John Wiley & Sons, New York, 16–39.
- STETTNER, L. E., PLATEK, S. F., RILEY, R. D., GROTH, D. H. & MASTIN, J. P. 1986: Particle contents of urban lungs: an update. In: *Microbeam Analysis* (Ed. by Romig, A. D. & Chambers, W. F.), San Francisco Press, San Francisco (USA), 547–550.
- STOLKIN, I., RÜTTNER, J. R., SAHU, A. P., SCHIBLI, L. & SPYCHER, M. A. 1981: Elektronenmikroskopische Bestimmung von Zahl und Größenverteilung von mineralischen Fasern in asbestexponierten und nicht asbestexponierten Lungen. *Staub, Reinhaltung der Luft* 41, 118–122.
- TUOMI, T., HUUSKONEN, M., VIRTAMO, M., TOSSAVAINEN, A., TAMMILETHO, L., MATTSON, K., LAHDENSUO, A., MATTILA, J., KARHUNEN, P., LIIPPO, K. & TALA, E. 1991: Relative risk of mesothelioma associated with different levels of exposure to Asbestos. *Scand J. Work Env. Health* 17, 404–408.
- VOGT, P., SPYCHER, M. A. & RÜTTNER, J. R. 1986: Pneumokoniosen durch „Seltene Erden“ (Cer-Pneumokoniose). *Schweiz. med. Wschr.* 116, 1303–1308.
- VOGT, P. & RÜTTNER, J. R. 1989: Graphit-Pneumokoniose. *Pathologe* 9, 82–87.
- WÄLCHLI, P., ROMER, M. & VOGT, P. 1993: Mesotheliome in der Waggonindustrie der deutschen Schweiz. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 28, 447–453.
- WAGNER, J. C., SLEGGS, C. A. & MARCHAND, P. 1960: Diffuse pleural mesothelioma and Asbestos exposure in the north western Cape Province. *Brit. J. Ind. Med.* 17, 260–271.
- WARHEIT, D. B., HWANG, H. C. & ACHINKO, L. 1991: Assessments of lung digestion methods for recovery of fibers. *Env. Res.* 54, 183–193.
- WOITOWITZ, H.-J., LANGE H.-J., ULM K., RÖDELSPERGER, K., WOITOWITZ, R. H. & PACHE, L. 1988: Asbestbedingte Tumoren bei Arbeitnehmern in der Bundesrepublik Deutschland. *Staub, Reinhaltung der Luft* 48, 307–315.

Manuskript eingegangen 15. Oktober 1993

Revidierte Version angenommen 31. März 1994