

(Aus dem Mineralogisch-geologischen Institut der Technischen Hochschule
Hannover.)

Über die Asbestosiskörperchen.

Von

P. J. Beger, Hannover.

Mit einem Bericht über den der Arbeit zugrunde liegenden Fall von
Lungenasbestosis von **H. Stroebe.**

Mit 46 Abbildungen im Text.

(Eingegangen am 23. März 1933.)

Inhaltsangabe.

Die Lungenasbestosis zeichnet sich vor den gewöhnlichen Silicosen durch das Vorhandensein der eigenartigen Asbestosiskörperchen in der Lunge aus. Die Grundlage für die Bildung dieser Körperchen sind nadelige Staubteilchen. Solche Nadelchen konnten in Schnitten von einer Asbestosislunge in erheblicher Menge festgestellt werden. Es gelang vermittels krystalloptischer Methoden, sie als *Chrysotilasbest* zu identifizieren.

Durch Beobachtung der Doppelbrechung der Nadeln ließ sich zeigen, daß, wie bei dem leicht zersetzbaren Chrysotilasbest zu erwarten ist, die Metallatome des wasserhaltigen Magnesiumsilicates von der saueren Körperflüssigkeit aus dem Krystallgitter herausgelöst werden. Die Form der Nadeln erleidet dabei keine Veränderung. Auch die Doppelbrechung verliert sich nicht. Es bleibt das *Kieselsäuregerüst des Gitters* bestehen.

Die Asbestosiskörperchen bilden sich, indem von den Nadeln ein *Stoff adsorbiert* und als Gel koaguliert wird. Es handelt sich um *Eiweiß*. Das geht aus folgenden Umständen hervor: Das Gel kann nur aus der Körperflüssigkeit stammen. Es ist verbrennbar. Durch Löslichkeit in Säuren und in Alkalien gibt es seine amphotere Natur kund. Von Trypsinlösung wird es verdaut.

In vitro kann man durch Einbringen säurebehandelten Asbeststaubes in Lösungen von Hühnereiweiß den Asbestosiskörperchen analoge Gebilde darstellen.

In die Eiweißhüllen der Asbestosiskörperchen werden die *Kieselsäuregerüste* der Asbestnadeln *dispersiert*. So verfallen sie einer allmählichen Vernichtung. Damit wird der *Abbau der Asbestosiskörperchen* eingeleitet; es erfolgt Resorption der kiesel-säurehaltigen Eiweißmasse durch die Körperflüssigkeit. Als nicht resorbierter Rest bleiben Körnerzüge von Eisenoxyd stehen. Sie stammen von dem Eisen her, das die Asbestosiskörperchen braun färbt.

Sonach spielt sich im Körper eine komplizierte Reaktion ab. Sie läßt sich, wie versucht worden ist, mit Hilfe einfacher Vorstellungen erklären. Bei günstigem Verlauf bewirkt sie die Beseitigung der eingeatmeten Asbestnadeln. Man wird annehmen dürfen, daß in diesem Falle die Lunge *keine ernstliche Schädigung* erleidet. Da aber der Ablauf aller Reaktionen von den Bedingungen des Systemes abhängig ist, muß erwartet werden, daß auch dieser Prozeß von den besonderen Zuständen

des Organismus bzw. der verschiedenen Organismen beeinflußt wird. In Rücksicht darauf, daß der Körper ein hochkompliziertes System ist, kann man sich vorstellen, daß die Abhängigkeit sogar sehr empfindlich sein mag. So läßt es sich verstehen, daß trotz gleicher Arbeitsbedingungen offenbar der *größte Teil der Asbestarbeiter von der Erkrankung verschont* bleibt, während bei dem *Rest Asbestosisfälle verschiedenen Schweregrades* vorauszusetzen sind.

Es dürfte kein Zweifel sein, daß die *Lungenasbestosis als Abart der Silicosen* zu den „Berufskrankheiten im Sinne der Unfallversicherung“ zu zählen und als solche *rechtlich anzuerkennen* ist.

Inhaltsübersicht.

Zielsetzung. S. 282.

Untersuchungsmaterial. S. 283.

Grundsätzliches zur Untersuchungsweise. S. 284.

Unterschied Asbest—Asbestosiskörperchen. S. 285.

I. Die Asbestnadeln. S. 287.

Allgemeines. S. 287.

Gestalt. S. 287.

Größe. S. 287.

Verteilung. S. 288.

Häufigkeit. S. 288.

Identifizierung. S. 288.

Brechungsexponenten. S. 288.

Lage und Verteilung der optischen Vektoren. S. 289, 291.

Gangunterschied. S. 290.

Zersetzbarekeit. S. 292.

Einfluß des Zersetzunggrades auf die Doppelbrechung. S. 294.

Einfluß des Glühens auf die Doppelbrechung. S. 296.

Unterscheidung von anderen Mineralien. S. 298.

II. Die Asbestosiskörperchen. S. 299.

Allgemeines. S. 299.

Gestalt. S. 299.

Größe. S. 299.

Verteilung. S. 299.

Aufbau. S. 299.

aus Nadel S. 300.

und Gelhülle S. 300.

Arbeitshypothese über Auf- und Abbau der Asbestosiskörperchen. S. 301.

Die Eiweißnatur des umhüllenden Geles. S. 311.

Isolierung des Untersuchungsmateriales. S. 311.

Verbrennbarkeit. S. 312.

Beobachtungen über Auflösung der Nadeln. S. 314, 318, 322.

Rückstand von Eisenoxyd. S. 314.

Nachweis des Eisens in der Gelhülle. S. 316.

Löslichkeit in Säuren. S. 318.

H_2SO_4 . S. 318.

HCl. S. 321.

HNO_3 . S. 322.

Verschiedene Widerstandsfähigkeit. S. 322.

Dispersion der Nadeln. S. 314, 318, 322, 342.

Löslichkeit in Alkalien. S. 322.

$Ba(OH)_2$. S. 322.

Na_2CO_3 . S. 323.

- K(OH). S. 323.
- Verschiedene Widerstandsfähigkeit. S. 323.
- Binretreaktion. S. 318, 225.
- Verdauung mit Trypsin. S. 326.
- Adsorption von Hühnereiweiß auf Asbestfasern. S. 328.
- Beurteilung der Aussichten auf Materialgewinnung zu einer quantitativen Verbrennung. S. 329.
- Anzahl und Verteilung der Fremdkörper im Schnitt. S. 330.
- Anzahl der Asbestosiskörperchen auf 1 qcm Lungenfläche. S. 331.
- Volumen und Masse der Körperchen. S. 331.
- Schätzung des benötigten Lungenvolumens zur Gewinnung von 1 mg Körpercheneiweiß. S. 331.
- Abbau der Asbestosiskörperchen. S. 332.
- Abbau der Kieselgerüste. S. 332.
- Überreste von Eisenoxyd. S. 337.
- Abhängigkeit des Abbaues von der körperlichen Disposition. S. 339.
- Deutung des Bildungsvorganges von Asbestosiskörperchen im Gegensatz zur Nichtbildung von Körperchen bei gewöhnlicher Silicosis. S. 340.
- Verhalten des Quarzstaubes. S. 340.
- Verhalten von Asbeststaub. S. 341.
- Adsorption von Eiweiß. S. 342.
- Dispersion des Kieselsäuregerüstes. S. 342.
- Rolle des Eisens. S. 343.
- Stellung der Asbestosis im Versicherungsrecht. S. 344.
- Anmerkungen. S. 346.
- Schrifttum. S. 352.

Unter *Asbestosiskörperchen* versteht man eigenartige Gebilde von goldbrauner Farbe und mannigfaltiger, aber typischer Form. Sie finden sich in unzählbarer Menge in den Lungen von Asbestosiskranken und gelten als bezeichnend für diese Abart der Silicosen.

Lungenasbestosis tritt ausschließlich bei Asbestarbeitern auf (*Stewart 1928b; Mc. Donald 1927*). Es scheint demnach der Zusammenhang dieser schweren Erkrankung mit dem Fabrikationsmaterial Asbest, der durch die Namengebung betont wird¹, sehr offenkundig zu sein. Deshalb vielleicht ist ein *exakter Nachweis der Anwesenheit von Asbest* in solchen erkrankten Lungen *noch nicht geführt worden*, anscheinend aber auch aus gewichtigerem Grunde nicht: weil nämlich die Objekte zu hart an der unteren Grenze liegen, bis zu der die möglichen Untersuchungsmethoden eben noch ausgedehnt werden können. Der Versuch, mittels einer röntgenographischen Methode die Asbestnatur gewisser Fremdkörperchen aus der Lunge zu bestätigen, ist zwar schon in den Anfängen des Meinungsaustausches über Lungenasbestosis unternommen worden, jedoch ohne Erfolg (*Cooke 1929b*). Andere mineralogische Methoden mögen nicht bekannt gewesen² oder nicht anwendbar erschienen sein. Jedenfalls ist eine Entscheidung noch nicht herbeigeführt worden.

In der *Literatur* der letzten Jahre finden sich sehr *verschiedene Stellungnahmen*. Cooke weist die Annahme eines Zusammenhangs der Asbestosiskörperchen mit Asbest 1928 noch sehr bestimmt zurück³, kommt aber im folgenden Jahre in der

Erkenntnis einen erheblichen Schritt weiter (1929a, b). *Mc. Donald* witterte von Anfang an mit sicherem Instinkt die Beziehung zum Asbest, sprach sich aber trotzdem sehr zurückhaltend aus^{4, 5}. Neben anderen vorsichtigen Meinungen⁶ finden sich sehr unbedingte Äußerungen⁷. Im selben Sinne wird in deutschen Veröffentlichungen neuen Datums (*Beintker* 1931; *Timmermans* 1931) die Identität der in den Asbestosiskörperchen vorhandenen „Nadeln“ mit Asbestfasern einfach als zutreffend unterstellt, und man muß zugeben: nicht ohne eine gewisse innere Berechtigung. Indessen wird in Amerika nahezu gleichzeitig der alte Wunsch in Erinnerung gebracht, durch eine röntgenographische Untersuchung Klarheit zu schaffen (*Gardner* und *Cummings* 1931).

Es läßt sich sonach nicht verkennen, daß eine unerfreuliche Unsicherheit hinsichtlich der grundlegenden Tatsachen besteht, eine Unsicherheit, deren Auswirkung sich bis in die soziale Gesetzgebung und Rechtsprechung zu erstrecken scheint. Ebenso offensichtlich ist es, daß eine Lösung des Problems als dringlich empfunden wird. Das Verdienst, die Fragestellung an den Mineralogen herangetragen zu haben, gebührt den Herren Prof. Dr. *Stroebe*, Dr. *Feuerhake* und Dr. *Tiedje* in Hannover. Als behandelnde Ärzte hatten Dr. *Feuerhake* und Dr. *Tiedje* bei einem hier vorgekommenen Fall die Diagnose Asbeststaublunge bereits *zu Lebzeiten* des Patienten gestellt. Die von Prof. *Stroebe* vorgenommene Obduktion erbrachte die Bestätigung*.

Der Anregung gemäß war es das erste Ziel meiner Untersuchung, den *Nachweis für die Anwesenheit von Asbest in der Lunge* jenes an Asbestosis verstorbenen Werkmeisters zu erbringen. Daraus erwuchs mir sofort ein zweites: *die Veränderungen aufzuklären, die der Asbest in der Lunge erfährt*. Hingegen würde es über meinen Gesichtskreis hinausfallen, auch den Veränderungen nachzugehen, die der Asbest an der Lunge bewirkt.

Als Untersuchungsmaterial standen mir, dank dem unermüdlichen Entgegenkommen der genannten Ärzte, insbesondere Herrn Prof.s *Stroebe*, zahlreiche Lungenschnitte und ein ansehnliches Stück der Lunge des Verstorbenen zur Verfügung.

Wohl gelang es, das Vorhandensein von Asbestpartikeln darin sicherzustellen; doch bedurfte es dazu ebenso großer Vorsicht und Kritik wie Erfahrung: Betrachtet man einen Schnitt unter dem Mikroskope (Abb. 1), so bleibt das Auge staunend an der Unmenge der vielgestaltigen, goldbraunen, stark lichtbrechenden Gebilde hängen, die für die Asbestosis so charakteristisch sind, niemals jedoch auch nur im entferntesten an Asbest erinnern. Ihre Formenmannigfaltigkeit ist durch die üblichen Vergleiche „hantelähnlich“, „keulenförmig“ usw. keinesfalls erschöpfend beschrieben. Sie ist auch unmöglich mit Worten restlos zu beschreiben; denn jeder Blick ins Mikroskop enthüllt neue Abwandlungen. Die Betrachtung der Abbildungen wird jedoch einen Eindruck von dem Formentypus geben.

Die Länge der Körperchen kommt kaum je an die Größenordnung $10^2 \mu$ heran. 70μ mögen als guter Durchschnitt gelten. Die Dicke liegt nahe bei $10^0 \mu$. Gibt man 3μ als Mittelwert an, so greift man damit vielleicht schon zu hoch. Diese geringe Dicke bewirkt in Verbindung mit der Segmentierung der Körperchen (Abb. 1, 18, 19, 20) und der hohen Lichtbrechung ihrer Substanz, daß Beugungerscheinungen

* Vergleiche die Mitteilung über die Krankengeschichte und den Sektionsbefund durch *H. Stroebe* am Schluß dieser Arbeit.

anfangen, eine wichtige Rolle zu spielen (vgl. Abb. 12, 13, 15). Damit ergab sich die Notwendigkeit, die vom Mikroskop erzeugte *Abbildung des Objektes sehr kritisch zu bewerten*. Mit Vergrößerungen um 600, die bei mineralogischen Untersuchungen bereits für stark zu gelten pflegen, konnte ich Asbestfäden in den Asbestosiskörperchen kaum ahnen, geschweige denn erkennen. Erst der Übergang zu einer Fluoritimmersion (1,8 mm, num. Ap. 1,3) verhalf dank ihres ausgezeichneten Auflösungsvermögens zu sicheren Entscheidungen. Ich möchte in diesem Zusammenhange

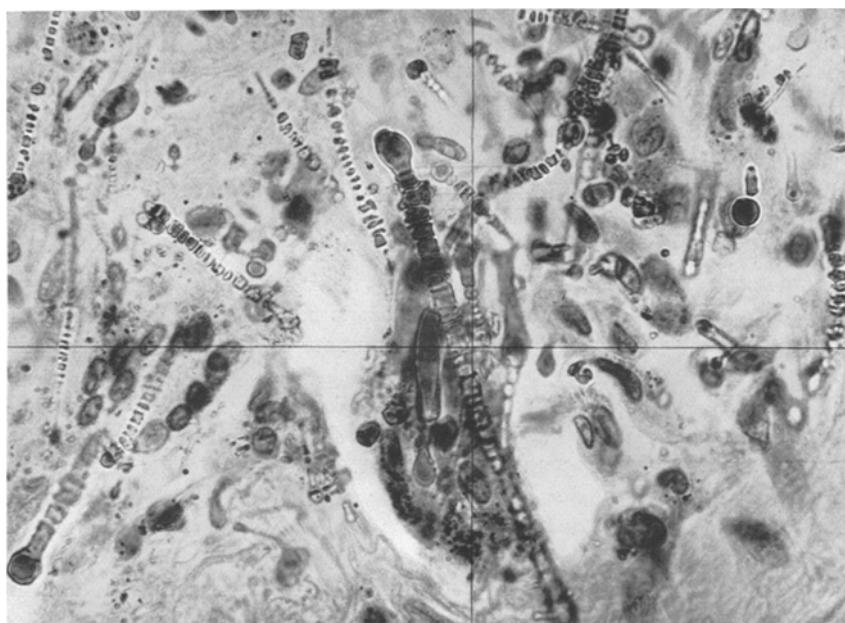


Abb. 1. *Asbestosiskörperchen aus Lungenschnitt*. Vergrößerung 800mal. Normalbild. Teils jugendliche Formen (dunkles Körperchen mitten, wenig links vom Fadenkreuz!); überwiegend aber Abbaustadien, vor allem links oben.

nicht verfehlten, eines Mikroskopes aus der bewährten Werkstatt von *Winkel-Göttingen* rühmend Erwähnung zu tun, das mir mit seiner unübertrefflichen Optik als nie versagender Helfer bei dieser Arbeit dient hat.

Neben den physikalischen Schwierigkeiten bestand eine persönliche: Der Mineraloge ist solcher Objekte ungewöhnt. Er ist dem Anorganischen verhaftet, nicht bodenständig auf dem Felde der Biologie. Das bedeutet, daß die Lösung der Aufgabe nur insoweit versucht werden durfte, als die Grenzen des eigenen Bereiches das Vordringen gestatteten. Um diese Beschränkung sorgsamst zu respektieren, um mich vor Beeinflussungen, vor der Bildung von Vorurteilen zu bewahren, denen der Neuling auf fremdem Gebiet leichter verfällt als der Erfahrene, habe ich das Studium der Literatur über die Asbestosis und Asbestosiskörperchen zurückgestellt bis nach Vollendung meiner experimentellen Ermittlungen. Dadurch begab ich mich zwar in die Gefahr, mühsame Arbeit anderer Autoren nur zu wiederholen. Jedoch schien mir solche völlige Unvoreingenommenheit insofern wertvoll, als durch unabhängige Feststellung die Sicherheit oder Unsicherheit fremder und eigener Ergebnisse am deutlichsten offenbar werden kann.

So ergab es sich zwangsläufig, daß ich zunächst ohne weitere Rücksicht auf die früheren Autoren über meine eigene Untersuchung berichtet habe. Was mir aus der Literatur, soweit sie mir zugänglich war, als Beleg, Einwand oder Ergänzung bedeutsam erschien, habe ich nachträglich in Form von Anmerkungen aufgeführt.

Der Mediziner wird manches ausführlicher, der Mineraloge vieles knapper darstellen wünschen.

Da wegen der besonderen Schwierigkeiten die *Arbeitstechnik* für das Gelingen der Beobachtungen nicht selten entscheidend ist, habe ich mich befleißigt, soweit es notwendig erschien, das Wesentliche darüber mitzuteilen. Wer eine Nachprüfung beabsichtigt, wird sich dadurch vor mannigfachen Umwegen und entmutigenden Fehlschlägen bewahren können, die mir nicht erspart geblieben sind.

Bei der Durchmusterung eines Schnittes von einer Asbestosislunge nach anorganischem Material sieht man zunächst nichts Auffälliges, als die überaus eigenartigen goldgelben bis goldbraunen Partikeln, jene „curious“ (Cooke 1929b; Haddow 1929) oder „foreign“ (Mc. Donald 1927) oder „asbestosis bodies“ (Stewart 1928b) der angelsächsischen Literatur, auch „curious golden yellow segmented structures“ (Simson 1928) und noch anders genannt (vgl. Abb. 1, 11, 19, 26 u. a.). Auch für den in medizinischen oder überhaupt biologischen Dingen ganz Unbewanderten kann kein Zweifel bestehen, daß sie Fremdkörper in der Lunge sind und als solche die schweren Erkrankungsscheinungen verursachen. Ebenso zweifellos ist es aber, daß sie nicht im geringsten einem bekannten anorganischen Gebilde vergleichbar sind. Man möchte — wie dies auch schon geschehen ist — viel eher an Organismen denken^{8, 9}, wenn man solche rasch gefaßte Meinung nicht ebenso rasch verwerfen müßte im Hinblick auf die ungeheure Variabilität der Form der Körperchen¹⁰.

Der morphologischen Mannigfaltigkeit steht augenscheinlich stoffliche Einheit gegenüber. Sie wird betont durch die im Hinblick auf die Vielgestaltigkeit überraschende Gleichmäßigkeit der intensiven Färbung und der hohen Lichtbrechung der Körper.

Asbest nun ist ein Sammelbegriff für *faserige* Strukturvarietäten verschiedener Mineralien. Die Fasern sind in dünner Schicht *farblos durchsichtig*. Ihr Lichtbrechungsvermögen ist relativ *niedrig*. Überdies sind sie *doppeltbrechend*, während die Asbestosiskörperchen — im ganzen — das Licht einfach brechen.

Es ist also in keiner dieser leicht ermittelbaren Eigenschaften zwischen Asbest und Asbestosiskörperchen eine Übereinstimmung vorhanden. Da es hinreichend gesichert erscheint, daß die Körperchen mit der Krankheit in ursächlichem Zusammenhange stehen¹¹, da ferner die Krankheit auf Asbestarbeiter beschränkt ist, wird man annehmen dürfen, daß in den Körperchen entweder eingearmete Asbestteilchen *mechanisch eingekapselt* und dadurch der ersten Beobachtung entzogen worden sind, oder aber, daß die Körperchen *chemische Reaktionsprodukte* mit dem Asbeste darstellen, derart, daß dieser vollkommen abgebaut worden wäre.

Welche Möglichkeit auch zutreffen mag: Der Krankheitsprozeß zieht sich über Jahre hin. Demnach dürfte die Umwandlung des eingearmeten

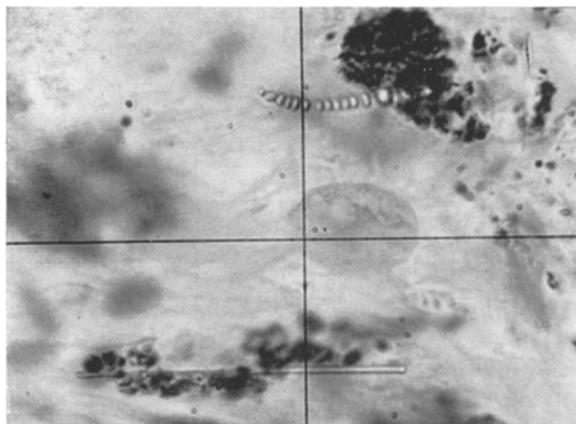


Abb. 2. *Asbestnadel in Lungenschnitt*. Vergrößerung 1200mal. Im unteren Teile des Bildes eine Asbestnadel, umgeben von dunklen Staubkörnern. Sie ist gerade, weil noch unzersetzt und daher starr. Oben rechts ein perl-schnurähnliches Körperchen, ebenfalls mit einer Staubwolke vergesellschaftet.

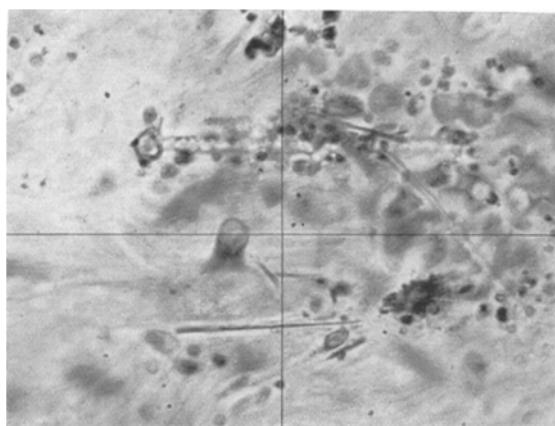


Abb. 3. *Lungenschnitt mit mehreren Asbestnadeln*. Vergrößerung 1200mal. Die Nadel, die den unteren Arm des Fadenkreuzes schneidet, ist schief durch den Schnitt gespielt. Sie liegt also nicht als zufällige Verunreinigung auf der Fläche des Präparates. Ähnlich ist es bei der im oberen rechten Quadranten befindlichen Nadel. Sie trägt — im Bilde nicht zu erkennen — bereits eine dünne Gehhüle. In ihrer Nachbarschaft, von links (Kopf) bis weit nach rechts verlaufend, ein Asbestosiskörperchen. Es ist jedoch, da in anderer Ebene liegend, nicht scharf eingestellt. Auch in diesem Schnitte fällt die Vergesellschaftung mit Staubkörnchen auf.

Asbeststaubes nicht sehr rasch verlaufen und somit Aussicht bestehen, wenig oder gar nicht veränderte Teilchen von Asbest in den Lungen-

schnitten zu finden und durch ihre optischen Eigenschaften identifizieren zu können. Auf Grund dieser Erwägungen habe ich danach gesucht und Erfolg gehabt.

Versteckt unter den Strukturen des Lungengewebes, insbesondere schwierig zu sehen in den markanter gezeichneten Linien des reichlich vorhandenen Bindegewebes, liegen *hauchzarte Asbestpartikeln*¹². Infolge ihrer geringen Länge sind sie durchweg gerade (Abb. 2, 3). Eher findet man sie nach offenbar stattgefundener mechanischer Beanspruchung zerbrochen (Abb. 7, 11, linker unterer Quadrant!) statt gekrümmmt. Sie machen daher, im Gegensatz zur makroskopischen Erscheinungsform, nicht den Eindruck von *biegsamen Fasern*, sondern von *starren Nadeln*. Daß sie in diesem Zustande auf das Körpergewebe mechanische Reize ausüben können, erscheint verständlich und überdies insofern beachtenswert, als man bei der Frage nach den Ursachen der Verdrängung des Lungengewebes durch Bindegewebe auch diesen Umstand wird berücksichtigen müssen. In den Asbestosiskörperchen ist die Geradheit der Asbestnadeln zwar weitgehend erhalten geblieben (vgl. Abb. 1), die Starrheit und Sprödigkeit aber sind sehr gemildert oder gar aufgehoben, wie die gekrümmten, ja sogar ringförmig aufgerollten Formen der Abb. 12, 14 und 15 dartun. Neben der Einkapselung — wenn ich so sagen darf — geht demnach eine Veränderung des Asbestes einher. Als Enderfolg wird man eine Verminderung der mechanischen Reizung annehmen dürfen.

Es mag von Interesse sein, einige *Maße* beobachteter Asbestnadeln kennenzulernen. Die Durchmesser entzogen sich selbstverständlich jeder üblichen mikrometrischen Meßeinrichtung des Mikroskopes. Sie erscheinen bei 1000facher Vergrößerung kaum dicker als die Fäden im Schrauben-Mikrometerokular. Ich habe daher die Nadeln auf einen in $1/2$ mm geteilten Glasmaßstab projiziert und die Dimensionen mit einer Einstelllupe abgelesen, wobei Zehntel Millimeter geschätzt werden konnten. Es wurden folgende in μ angegebene Werte gefunden, aus denen sich als Mittel für die Länge $\sim 50 \mu$, für die Dicke $\sim 0,5 \mu$ berechnet. Die zusammengehörigen Maße jeder Nadel sind untereinander gesetzt.

Tabelle 1. Abmessungen von Asbestnadeln in μ .

Länge	109	94	87	60	49	45	38	36	35	33	33	28	25	25	Mittel	~ 50
Dicke	0,8	0,4	0,3	0,3	0,8	1,0	0,2	0,7	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	Mittel	$\sim 0,5$

Auf dreierlei möchte ich hinweisen: Lange Nadeln sind selten. Das gilt auch für die Asbestosiskörperchen; in meinen Protokollen findet sich die Bemerkung: „ungewöhnlich langer Körper = 120μ “. Bei den Asbestosiskörperchen ist jedoch der Durchschnitt für die Länge um 20μ größer als bei den Nadeln. Unter den Nadeln häufen sich die kürzeren. Damit ist nicht gesagt, daß zwischen Nadeln und Körpern ein grundlegender Gegensatz bestünde. Der Unterschied kann daher kommen, daß bei der Herstellung der Schnitte die Nadeln leichter brechen als die Körperchen. (Vor allem gewinnen die Körperchen durch die noch zu beschreibende Umhüllung an Länge!)

Sodann: Der Durchmesser der Nadeln ist erstaunlich gering. Er ähnelt den Wellenlängen des sichtbaren Lichtes; er unterschreitet sie sogar häufiger als er sie überschreitet. Nicht selten fällt er an die Grenze des Auflösungsvermögens des angewandten Objektives¹³. Es ist verständlich, daß derlei beugende Strukturen in dem Gewirr anderer beugender Strukturen (Bindegewebe) dem beobachtenden Auge leicht verborgen bleiben, selbst wenn man die Lehren *R. Kochs* (*Cohns* Beitr. 1877) über die günstigste Apertur bzw. Beleuchtung beherzigt¹⁴.

Endlich: Zwischen Länge und Dicke besteht kein konstantes Verhältnis — für das auch kein Grund ersichtlich wäre; lange Nadeln können sehr schlank, kurze sehr plump sein.

Wenngleich die *Verteilung* der Nadeln in der Lunge ziemlich regellos sein mag, so gewinnt man doch den Eindruck, daß sie in jenen Partien gehäuft auftreten, in denen sich auch die winzigen dunklen Körnchen angereichert haben, die zumeist für Kohlestaub gehalten werden. An solchen Stellen pflegen ebenso die Asbestosiskörperchen am reichlichsten aufzutreten, wofür sich eine Erklärung unschwer finden läßt. Es handelt sich um enge, leicht verstopfbare Kanäle (vgl. Abb. 26, auch 2, 3).

Die *Anzahl* der Nadeln, verglichen mit der Anzahl der Asbestosiskörperchen, ist gering. Der Zählung nach käme auf ein Gesichtsfeld von 0,09 qmm durchschnittlich eine Nadel. Die Verteilung ist aber recht unregelmäßig. Gesichtsfelder, in denen sich keine Nadeln finden, sind nicht selten. Anderseits ist es nicht häufig, daß mehr als drei Nadeln beisammen liegen. Als dichteste Vergesellschaftung zählte ich in einem Quadranten jenes Gesichtsfeldes von 0,09 qmm 8 Nadeln. Die Art des Gewebes, ob Lungenbläschen oder Bindegewebe, scheint ohne Einfluß auf die Verteilung zu sein.

Mit der Feststellung der Anwesenheit nadelförmiger Fremdkörper in der Lunge ist noch keineswegs sichergestellt, daß diese Nadeln Asbest seien. Im Hinblick auf die minimalen Dimensionen, überhaupt die besonderen Umstände des Vorkommens, schien der Versuch einer Identifizierung mittels optischer oder röntgenographischer Methoden kaum Aussicht auf Erfolg zu haben. Bezüglich der *optischen Untersuchung* widerlegte jedoch eine Probe die Befürchtung, wenngleich erst nach etlicher Übung: *Es läßt sich zeigen, daß die Nadeln entscheidende optische Eigenschaften des Chrysotilasbestes haben.*

Als krystallisierte Substanz sind die Nadeln *doppeltbrechend*. Die *Brechungsexponenten* sind höher als das Brechungsvermögen der umhüllenden Masse, und zwar ist der Brechungsindex parallel der Nadelrichtung deutlich größer als die beiden Indices senkrecht dazu. Diese beiden unterscheiden sich nicht merklich voneinander. In der Größe kommen sie dem Brechungsverhältnis ihrer Umgebung sehr nahe: bei

einer geringen Hebung des Tubus werden die Mineralgrenzen sehr verwaschen; doch wandert der Lichtschein noch in die Nadeln hinein.

Dadurch erhält man sogar einen Anhalt für die ungefähre Höhe von n_α bzw. n_β . Zwar liegen die hierbei zu berücksichtigenden Umstände der Präparate nicht eben klar. Die Beobachtungen sind an Nadeln angestellt worden, die sich in Bindegewebe befinden. Zur Konservierung des Gewebes hat eine Formalinlösung gedient. Dann sind Celloidinschnitte hergestellt worden, die in Canadabalsam mit relativ viel Xylol als Lösungsmittel eingebettet sind. Das bedeutet gewiß recht unübersichtliche Bedingungen. Fügt man gleich hinzu, daß das Bindegewebe etwas stärker bricht als der Canadabalsam, so scheint die Sachlage durchaus nicht klarer, da durch den reichlichen Zusatz von Lösungsmittel der Brechungsexponent des Balsams auf einen verhältnismäßig niederen Wert herabgesetzt ist. Es kam indessen ein sonst nicht gerade dankbar begrüßter Zufall zu Hilfe: In einigen gefärbten Präparaten hatten sich etliche Gipsnadeln ausgeschieden¹⁵, und da zeigte es sich, daß der Brechungsexponent des Balsams fast genau mit n_γ des Gipses (= 1,5296) übereinstimmt. Demnach kann es als gesichert gelten, daß n_α und n_β nahe oberhalb 1,53 liegen, sowie daß n_γ nur wenig, aber deutlich größer ist.

Damit fügen sich die Brechungsexponenten der Nadeln gut in die Grenzen ein, die nach den Literaturangaben die Werte für Chrysotil-asbest umschließen. *Mügge* gibt folgende Zusammenstellung (*Rosenbusch-Mügge* 1927, Tabelle 200; vgl. Anmerkung¹⁶):

$$\begin{array}{ll} n_\alpha = 1,508 - 1,543 & n_\gamma - n_\alpha = \text{etwa } + 0,013 \\ n_\beta = 1,512 - ? & n_\gamma // \text{Faserrichtung} \\ n_\gamma = 1,522 - 1,555 & \end{array}$$

Es liegt also in den Lungenschnitten ein Asbest vor, dessen Brechungsvermögen mit $n_\alpha \sim 1,53$ dem Mittelwert von n_α des Chrysotils nahe kommt. Zugleich sieht man in der Tabelle die oben mitgeteilte Beziehung bestätigt: merklich größerer Index in der Nadelrichtung, wenig voneinander abweichende Werte senkrecht dazu. Man könnte meinen, noch hinzufügen zu dürfen, daß diese freien, von keiner Hülle umgebenen Nadeln kaum eine durchgreifende Veränderung in der Lunge erfahren haben möchten, da die Brechungsquotienten mit denen des normalen Minerals vereinbar sind. Indessen schwanken die Werte für das frische Mineral innerhalb so weiter Grenzen, daß eine derartige Aussage unbegründet erscheinen muß.

Vermöge guter Optik und einiger Übung kann man die Beobachtungen über den relativen Wert der Brechungsexponenten trotz des geringen Durchmessers der Objekte mit großer Sicherheit ausführen. Ich muß allerdings bekennen, daß ich selbst davon überrascht war und deshalb Wert gelegt habe auf die Kontrolle, die durch die *Interferenzerscheinungen* doppelbrechender Substanzen bei Untersuchung zwischen gekreuzten Nicols ermöglicht wird.

Freilich ist auch diese Kontrolle bei solch winzigen Objekten schwierig. Einerseits ist die geringe Ausdehnung ihrer „Leuchtfäche“ für die Erkennung von Auslöschung und Aufhellung recht ungünstig; anderseits braucht man sich nur zu vergegenwärtigen, daß Mineralien mit ähnlicher Doppelbrechung, z. B. die Plagioklase (Albit: $n_\gamma - n_\alpha = 0,010$; Anorthit: $n_\gamma - n_\alpha = 0,013$), schon in Dünnschliffen von normaler Dicke nur matte, blaugraue bis weißliche Interferenzfarben

aufweisen. Die normale Dünnschliffdicke liegt aber bei $25\text{ }\mu$, so daß der Gangunterschied der beiden Wellen, die die Krystalschicht durchlaufen haben, bei solchen Plagioklasen leicht $300\text{ m}\mu$ erreichen kann, während er bei den dicksten Asbestnadeln der Lungenschnitte auf kaum mehr als $10\text{ m}\mu$ kommt.

Eine Erinnerung an die Fresnelsche Formel (vgl. etwa *Rosenbusch-Wilfing* 1921—1924, S. 148) läßt leicht erkennen, daß bei derartig kleinen Gangunterschieden ein Krystall zwischen gekreuzten Nicols nur ganz geringe Aufhellung bewirken kann.

Es ist nämlich die Intensität J^2 der aus dem Analysator austretenden Interferenzwelle von drei Faktoren abhängig: 1. Von der Intensität R^2 der aus dem Polarisator kommenden, auf den Krystall auffallenden Schwingung; 2. von dem Winkel φ , den die Schwingungsrichtungen des Krystals mit den Nicolschwingungsrichtungen bilden; 3. von dem Gangunterschied, mit dem die beiden Wellen, die den Krystall durchlaufen haben, aus ihm austreten:

$$J^2 = R^2 \sin^2 2\varphi \sin^2 \left[180^\circ \frac{d (n_\gamma' - n_\alpha')}{\lambda} \right]$$

Während man es in der Hand hat, für die ersten beiden Faktoren — Beleuchtungsintensität und Lage des Krystalles — die günstigsten Bedingungen zu wählen, ist der dritte Faktor jeglicher Beeinflussung entzogen; der Gangunterschied ist eine gegebene Größe; er ist proportional der Dicke d und der Doppelbrechung $(n_\gamma' - n_\alpha')$ der durchstrahlten Krystalschicht.

Rechnet man für in der Lunge vorkommende Asbestnadeln von ausgezeichneter Dicke den dritten Faktor der Fresnelschen Formel aus, indem man den Schwerpunkt des gefilterten Spektrums der Mikroskopierlampe mit $500\text{ m}\mu$, die Doppelbrechung der Nadeln mit $0,010$ einsetzt, so erhält man für die Nadeln von maximaler Dicke ($\sim 1\text{ }\mu$) einen Wert $\lesssim 0,004$. Für Nadeln von der halben Dicke: $0,5\text{ }\mu$ — das ist die Durchschnittsdicke — wird der Wert $< 0,001$; für die am häufigsten vertretenen sehr dünnen Nadeln von $0,3\text{ }\mu$ sinkt er gar auf $< 0,0004$. Das bedeutet: *Die Helligkeit, mit der die Asbestnadeln im polarisierten Lichte in der günstigsten Lage zu den Nicolschwingungsrichtungen ($\varphi = 45^\circ$) zur Beobachtung gelangen können, beträgt nur einen nahe bei Null liegenden Bruchteil der auf die Nadeln auffallenden Intensität R^2* , die ihrerseits wieder infolge des Verlustes im Polarisator kaum die Hälfte der Intensität ausmacht, mit der die Lichtquelle in der Eintrittspupille des Mikroskopes abgebildet wird. Die Verluste infolge Reflexion und Absorption seitens der Glas- und Kalkspatoptik sind dabei noch unberücksichtigt geblieben.

Ferner ist die Voraussetzung gemacht, daß die Doppelbrechung $n_\gamma' - n_\alpha' = 0,010$ erreiche. Dies trifft aus zwei Gründen nur in den seltensten Fällen zu: 1. liegen die Nadeln im allgemeinen nicht so, daß die extremen optischen Vektoren n_γ und n_α wirksam werden; doch würde die Abweichung von dieser ausgezeichneten Lage keinen groben Unterschied herbeiführen, da n_β und n_α nahe beieinander liegende Werte haben; 2. wird der Chrysotilasbest durch die Körperflüssigkeit ausgelaugt; das aber hat eine Verringerung der Doppelbrechung zur Folge (vgl. S. 294) und ist daher als erhebliche Verschlechterung der Beobachtungsbedingungen hier bedeutsam.

Diese Überlegungen lassen erwarten, daß man gar nicht darauf rechnen darf, den optischen Anisotropieeffekt aller Asbestnadeln zwischen gekreuzten Nicols mit genügender Deutlichkeit wahrzunehmen, sowie daß zwei Bedingungen erfüllt sein müssen, um einen für die Empfindlichkeit des Auges hinreichenden Unterschied zwischen Auslöschung ($\varphi = 0^\circ$) und Aufhellung ($\varphi = \mp 45^\circ$) zu erzielen: Sowohl d , die Dicke der Nadeln, als auch $(n_\gamma' - n_\alpha')$, ihre Doppelbrechung, dürfen nicht zu gering sein,

weil mit Annäherung eines dieser Glieder an 0 der dritte Faktor der Fresnelschen Formel rapid abnimmt; und R^2 , die Beleuchtungsintensität, muß einen optimalen Wert erreichen.

Ich sage mit Vorbedacht: einen *optimalen* Wert. Das Gesichtsfeld muß aus Rücksicht auf den Kontrast zu dem geringen Aufleuchten der Nadeln tief dunkel bleiben. Allzu große Intensitätssteigerung der Lichtquelle würde eine Aufhellung zur Folge haben, bei starker Übertreibung sogar zu Überstrahlung der Strukturen führen.

Ich habe brauchbare Beleuchtung erzielt durch eine Niedervoltlampe 6 V 30 W, deren Wendel in der Eintrittspupille des Mikroskopes abgebildet wurde. Gefiltert wurde das Licht durch ein „Tageslichtfilter Nr. 1658/26“ der „Lifa“. Bei Belastung mit 4,5 Amp. und geringer Regulierung vermittels der fast völlig geöffneten Irisblende des Mikroskopkondensors ist mit der gemeinhin angewandten Optik (Winkelsche Fluorit-Ölimmersion 1,8 mm, Okulare 11 \times oder 17 \times) die Doppelbrechung selbst dünner Nadeln für einen geübten Beobachter zu erkennen. Vermindert man die Stromstärke auf 3,8–3,7 Amp., so tritt eine wahrnehmbare Aufhellung auch bei den dicksten Nadeln nicht mehr ein. Erhöhung der Belastung bis zu 5 Amp. bewirkt diffuse Erhellung des Gesichtsfeldes mit einem bläugrauen Schleier, von dem selbst die Nadeln mit relativ großem Gangunterschied verhüllt werden. *Man sieht, es kommt auf eine ziemlich sorgsame Behandlung der Beleuchtung an.*

Die *Auslöschung* aller Nadeln, soweit sie überhaupt Doppelbrechung gewahren lassen, ist *gerade*. Das steht im Einklang mit der Tatsache, daß Chrysotilasbest nach seinem Verhalten gegen die optischen Wellen rhombisch erscheint. Damit ist ein weiteres bezeichnendes Merkmal für die mineralogische Art der Nadeln gegeben¹⁶.

Einen Anhalt für die *Größe der Doppelbrechung* zu gewinnen, ist schwer. Für Chrysotil soll $n_y - n_a \sim 0,010$ bis 0,013 sein. Demnach sind, wenn die vorliegenden Nadeln dem Chrysotilasbest angehören, für die dicksten von ihnen, mit Durchmessern bis zu 1 μ , Gangunterschiede von etwa 10 $\mu\mu$ oder wenig mehr zu erwarten.

Von dieser Größenordnung sind die wahrnehmbaren Gangunterschiede. Das läßt sich zwar mit den Hilfsmitteln, die mir zu Gebote stehen, nicht messen. Man kann es aber aus zwei Umständen folgern: Die Interferenzfarben gehen nie über das tief dunkle Blaugrau am äußersten Anfang der ersten Ordnung hinaus; und — was viel entscheidender ist — der Farbumschlag bei Prüfung mit dem Gipsblättchen vom Rot erster Ordnung deutet ebenfalls auf die Richtigkeit der Mutmaßung.

Stellt man die Nadeln mit ihrer Längsrichtung der Schwingungsrichtung n_a des Gipsblättchens parallel, so erscheinen sie orangerot; stellt man sie n_y des Gipses parallel, so schlägt der Farbton in violettrot um.

Damit ist zunächst die oben gemachte Angabe bestätigt, daß n_y in der Faserrichtung schwingt, daß also *die optischen Vektoren wie beim Chrysotilasbest* orientiert sind. Darüber hinaus ist aber auch bis zur Gewißheit wahrscheinlich gemacht, daß die *Größenordnung des Gangunterschiedes mit 10 $\mu\mu$* zweifellos richtig veranschlagt worden ist, oder — was daraus folgt — daß die Doppelbrechung $n_y - n_a \sim 0,010$ ist.

Es besteht also auch in dieser Beziehung Übereinstimmung mit Chrysotil-asbest.

Man kann nämlich nicht eigentlich sagen, daß bei dem „Farbumschlag“ die Farbe wechsle; es erfährt lediglich die Tönung eine leichte Änderung, so leicht, daß sie nur bei Herbeiführung einer gewissen, geeigneten Versuchsanordnung wahrnehmbar wird: man muß ein *Gipsblättchen aussuchen*, dessen Gangunterschied möglichst nahe bei $530 \text{ m}\mu$ liegt. Nur ein solches Blättchen hat die nötige Empfindlichkeit, um bei Kombination mit Krystallen, bei denen der Gangunterschied bloß $10 \text{ m}\mu$ beträgt, eine Farbdifferenz überhaupt sichtbar zu machen (Wenzel 1917).

Übrigens ist noch eine weitere Vorsicht zu beobachten, wenn es gelingen soll, den Farbunterschied wahrzunehmen: man muß die *Mikrometerschraube sorgfältig bedienen*, um die Fokusdifferenz der mehr nach dem Gelben oder Blauen liegenden Wellenlängen auszugleichen. Der geringe Durchmesser der Nadeln macht sich hier sehr geltend!

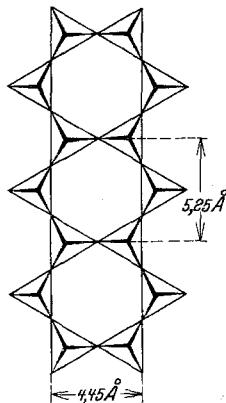


Abb. 4. Zweireihige Kette von Silicium-Sauerstoff-Tetraedern $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{\bullet}$. Nach Schiebold (1932).

Bemerkenswert ist, daß gelegentlich der Farbumschlag bei *dünneren* Nadeln deutlicher ist als bei dickeren. Das verträgt sich nicht mit der Norm, derzufolge der Gangunterschied bei ein und derselben Substanz, also bei gegebener Doppelbrechung, der Dicke der Krystalschicht proportional ist. Es muß demnach bei solchen dickeren Nadeln die Doppelbrechung geringer sein als bei den dünneren, mit anderen Worten: die Substanz ist nicht genau identisch.

Dieser Umstand deutet wieder auf *verschiedenen Zersetzunggrad*. Schon oben wurde gelegentlich der Besprechung der Elastizitätseigenschaften von Nadeln und Asbestosiskörperchen vermerkt, daß der Asbest in der Körperflüssigkeit verändert werde (vgl. S. 287).

Das ist nichts Überraschendes; denn Chrysotilasbest ist chemischen Angriffen gegenüber sehr empfindlich (Leitmeier 1914, S. 405f.). Es erklärt sich dies leicht aus seinem Feinbau. Seine chemische Zusammensetzung läßt sich ungefähr durch die Formel $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$ darstellen, wobei Mg^{2+} durch Fe^{2+} vertreten werden kann. In Rücksicht auf die Krystallstruktur (Warren und Bragg 1931) empfiehlt es sich, die empirische Formel zu verdoppeln und umzuschreiben in $\text{Mg}_6(\text{OH})_6[\text{Si}_4\text{O}_{11}] \text{H}_2\text{O}$. Die räumliche Anordnung der Ionen ist so, daß die $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder durch Gemeinsamkeit von Ecken — bzw. O-Atomen — besonders fest miteinander verbunden sind. Sie bilden zweireihige Ketten (Abb. 4), die in gewisser Anordnung der Faserrichtung parallel liegen und die Ursache für die große Zugfestigkeit in der Faserrichtung sind. Im wesentlichen entlang dieser Ketten, und zwar jeweilen an der Seite, nach der die freien Ecken der $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder herausragen, liegen die $\text{Mg}(\text{OH})$ -Gruppen (Abb. 5). Sie sind nur einseitig, nämlich nur an je eine

Kieselkette gebunden, während ihnen an der anderen Seite ebenfalls $Mg(OH)$ -Gruppen symmetrisch gegenüberliegen, so daß in dieser Richtung sich gleichnamige Ladungen, mithin abstoßende Kräfte, betätigen. Diese Anordnung ist nicht nur die Ursache für die leichte mechanische Teilbarkeit senkrecht zur Faserrichtung, sondern auch für die große chemische Empfindlichkeit des Chrysotilasbestes. Es genügen die schwächsten Säuren, um Magnesium und Eisen herauszulösen, wobei „die zurückbleibende Kiesel säure vollständig die „Struktur“ des Minerals und seine Biegsamkeit behält“ (Terreil 1885, S. 262).

Ich habe mich überzeugt, daß Proben von Chrysotilasbest aus der Fabrik, in der der Krankheitsfall sich ereignet hat, nicht nur von Salpeter-, Schwefel- und Salzsäure, sondern auch von Essig- und von Ameisensäure angegriffen werden. Es ist möglich — aber von mir vorläufig nicht weiter verfolgt worden —, daß die Einwirkungen etwas verschieden geschehen; wenigstens ist das Aussehen der zurückbleibenden Kieselkäste mehr oder weniger unterschiedlich, woran auch das Auswaschen der Säure nichts ändert. So bleiben beispielsweise die mit Salpetersäure behandelten Asbestfasern in ihrer Farbe rein weiß und auch in ihrem Gefüge unverändert. Mit Essigsäure behandelte Fasern hingegen werden nicht nur schmutzig grau, sondern überdies weitgehend aufgeteilt, so daß man im Reagensglas neben verbliebenen Fasern ein schleimiges Gel zu sehen meint. Unter dem Mikroskop erweist es sich jedoch, daß die vermeintliche Gallert aus winzigsten Faserfragmenten besteht, ähnlich wie sie in den Lungenschnitten vorkommen. Von den fünf Säuren, die ich angewandt habe, wirkt keine so stark „dispergierend“ wie die Essigsäure.

Besonders bezeichnend ist in diesem Zusammenhange ein Versuch von Leitmeier (1914, S. 414). Er „behandelte 1 g Serpentin von Kraubath in Steiermark mit 100 g Wasser, in das geringe Mengen von CO_2 eingeleitet worden waren, in einer zugeschmolzenen Glaskugel 6 Monate lang bei Zimmertemperatur (15—18°) auf der Schüttelmaschine und erhielt folgendes Resultat:

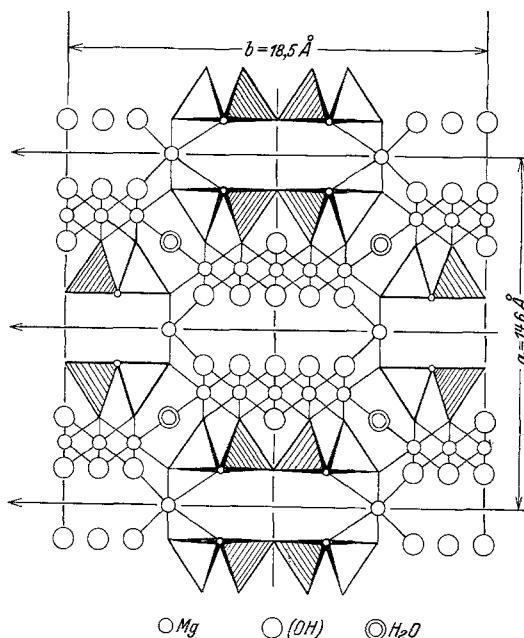


Abb. 5. Struktur des Chrysotil. Projektion der Basisgruppe $\parallel c$. Nach Warren und Bragg (1931).

	Gelöst	Rückstand	
MgO	3,07	MgO	33,64
FeO	0,38	FeO *	9,64
SiO ₂	0,23	CaO	0,28
	<hr/> 3,68	Al ₂ O ₃	0,32
		SiO ₂	39,72
		H ₂ O	12,88
			<hr/> 96,48
		Gelöstes	<hr/> 3,68
			<hr/> 100,16

Die Löslichkeit von $3\frac{1}{2}\%$ ist für die geringe Kohlensäurekonzentration als eine sehr hohe zu bezeichnen". Bedenkt man nun, daß die Konzentration der Kohlensäure in der Lunge nicht unerheblich ist, sowie daß eine fortwährende Bewegung stattfindet, vergleichbar dem Umrühren bei chemischen Arbeiten, so erscheint die Lunge als sehr geeigneter Reaktionsort für die Zersetzung des Chrysotilasbestes.

Wenn nun in den Lungenschnitten der Fall vorkommt, daß dünne Asbestnadeln größeren Gangunterschied aufweisen als dicke, so ist anzunehmen, daß sie dem Angriff der Körperflüssigkeit *kürzere Zeit* ausgesetzt gewesen sind als jene, daß sie also später eingeatmet worden sind.

Man kann diesen aus der Verschiedenheit der Doppelbrechung erschlossenen Sachverhalt leicht nachprüfen, indem man eine Faser von Chrysotilasbest in irgendwelcher Säure einbettet, so unter dem Mikroskope beläßt und von Zeit zu Zeit auf Veränderungen des Gangunterschiedes prüft. Mit der Versuchsdauer müßte eine Erniedrigung der Gangunterschiede stattfinden nach Maßgabe der Mengen von Mg bzw. Fe, die aus dem Asbest herausgelöst werden.

Ich habe einen derartigen Versuch zur ersten Orientierung angesetzt. Geeignete Fasern lieferte ein Stück von Canadischem Asbest aus der Institutssammlung. Als Säure wurde konzentrierte Schwefelsäure verwendet. Die Messung der Gangunterschiede erfolgte mit dem Berekischen Kompassator. Als Lichtquelle diente der Hg-Bogen. Eine Photographie der Asbestfaser mit darüber projizierter Teilung eines Mikrometerokulares sicherte die Wiederauffindung der Stelle, an der die Messung ausgeführt wurde.

Die Faserbündel erwiesen sich trotz ihrer geringen Dicke deutlich gedrillt. Eine Röntgenaufnahme bestätigte das. Demnach konnten nicht die extremalen Werte des Gangunterschiedes bzw. der Doppelbrechung gemessen werden (vgl. auch Anmerkung ¹⁶). Es muß sogar mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß sich im Laufe der Behandlung der Grad der Drillung ändere. Eine sichtbare Zu- oder Abnahme konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Von Interesse erschien es, etwaige Volumänderungen zu verfolgen. Da die obwaltenden Umstände die Ermittlung des senkrechten Durchmessers — parallel dem Lichtwege — ausschlossen, dessen Kenntnis für die Berechnung der Doppelbrechung wünschenswert gewesen wäre, mußte ich mich mit der Feststellung des waagerechten Durchmessers begnügen. Auf die Ermittlung etwaiger Längen-

* Als Fe₂O₃ bestimmt und als FeO berechnet.

veränderungen mußte wegen des Fehlens geeigneter Marken an dem Faserbündel verzichtet werden.

Die Ergebnisse der Messungen finden sich in Tabelle 2 und bezüglich der Gangunterschiede in dem Diagramm auf Seite 296 dargestellt.

Tabelle 2. Gangunterschiede in $m\mu$ von Asbest aus Canada.

	Behandlung	$\lambda 4047$	4358	4916	5461	5790	6234	Dicke in μ
I	—	598,5	541	486	439	412	378,5	91 ∓ 2
II	H_2SO_4 30 Stunden	619,5	591	—	482	456	418	93 ∓ 2
III	264 Stunden	161	145	128,5	117	110	101	93 $\mp 2,5$
IV	336 Stunden	119,3	102	90,6	81,9	77,3	69,7	93 ∓ 2
V	510 Stunden	82,8	73,7	66,4	61,6	57,3	54,9	90,5 ∓ 3
VI	Ausgewaschen, getrocknet	183,3	164	146	130	121,7	111	67 $\mp 2,5$
VII	Geglüht	123	107	152,8	136	125	106,8	63 ∓ 2
VIII	10 Tage gelagert	183,3	164,5	150,7	139,3	125	106,8	63 $\mp 1,5$

- I. Natürliche Faser, ohne Einbettungsmittel gemessen.
 II. Dieselbe Stelle der Faser nach Einbettung in konz. H_2SO_4 ;
 II. nach 30 Stunden.
 III. nach 264 Stunden.
 IV. nach 336 Stunden.
 V. nach 510 Stunden.
 VI. Dieselbe Stelle der Faser nach 16ständigem Auswaschen und anschließendem Trocknen bei Zimmertemperatur; zur Messung in H_2O eingebettet.
 VII. Dieselbe Stelle der Faser nach 1ständigem vorsichtigen Erhitzen bis auf 500° und 2ständigem Glühen bei $500^\circ \mp 5^\circ$; zur Messung in H_2O eingebettet.
 VIII. Dieselbe Stelle, ohne Weiterbehandlung, nach 10ätigem Lagern; zur Messung in H_2O eingebettet.

Ausgegangen wurde von dem frischen Asbest. Die Messung geschah ohne Anwendung eines Einbettungsmittels (Kurve I). Auf Grund der früheren Erfahrungen war zu erwarten, daß der unangegriffene, natürliche Asbest die größten Gangunterschiede aufweisen würde. Die nächste Messung, 30 Stunden nach Beginn der Behandlung mit Säure, brachte eine Überraschung: Die Gangunterschiede waren für sämtliche Wellenlängen größer geworden (Kurve II). Es wäre verfrüht, eine mögliche Erklärung hierfür zu erörtern. Dieser mineralogisch interessante Umstand erheischt weitere Untersuchung. Das darf jedoch vorläufig zurückgestellt werden, da die Sache in dem hier behandelten Zusammenhange nicht wesentlich ist. Ebenso soll auf die geringe Änderung der Faserdicke nicht eingegangen werden, die, sofern sie sich bestätigt, eine für das Verständnis des Vorganges wichtige Ausweitung des Asbestgitters bedeuten würde.

264 Stunden nach der Bedeckung mit H_2SO_4 waren die Gangunterschiede rapid gesunken, insbesondere bei den kurzen Wellenlängen (Kurve III). Die fortgesetzte Einwirkung der Säure führte zu weiterer Verringerung der Gangunterschiede in ganz demselben Sinne, aber in immer geringerem Maße (Kurven IV, V). Damit war die oben ausgesprochene Annahme bestätigt, daß die *Verminderung der Doppelbrechung eine Funktion des Zersetzunggrades bzw. der Zeitdauer* der

Säureeinwirkung sei. Das ist nicht weiter verwunderlich. Bemerkenswert aber ist zweierlei: Zum ersten, daß die Faser als solche trotz der Herauslösung der schweren Atomarten nicht zerstört wird, ja, nicht einmal die geringste Änderung ihrer Gestalt erkennen läßt (Terreil 1885); zum andern, daß zwischen dem Verhalten des Chrysotil-asbestpräparates und dem Verhalten der Nadeln in der Lunge volle Übereinstimmung besteht.

Diese Übereinstimmung geht noch weiter: Wenn man einen Lungenschnitt verascht, fällt es auf, daß die zurückbleibenden

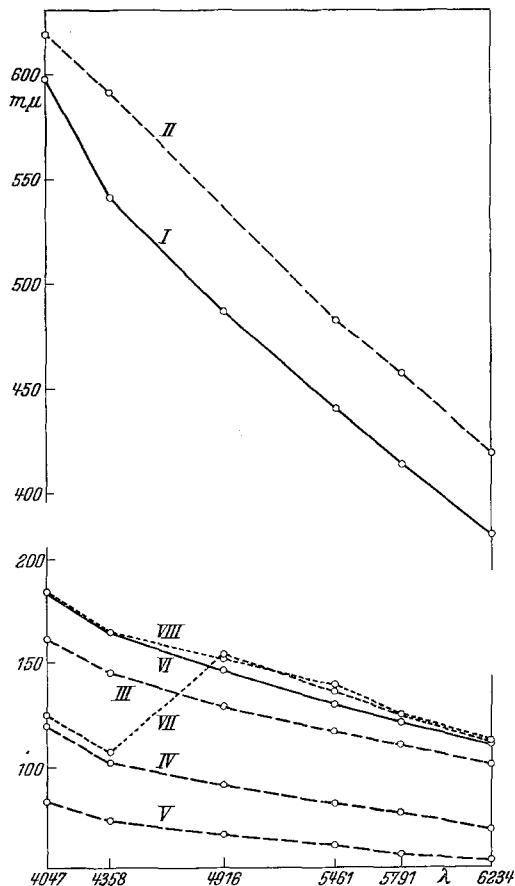
Asbestnadeln erheblich stärkere Doppelbrechung haben als vor dem Glühen (vgl. S. 314). Es lag daher nahe, auch bei dem säurebehandelten Präparat zu untersuchen, ob die Gangunterschiede durch Erhitzung der Substanz eine bleibende Erhöhung erfahren.

Die Säurebehandlung wurde daher nach insgesamt 510 Stunden abgebrochen (Kurve V). Nach mehrmaligem Abspülen fand über 10 Stunden hinweg gründliches Auswaschen statt, indem alle halbe Stunden ein Wasserwechsel vorgenommen wurde. Über Nacht mußte das Präparat sich selbst überlassen bleiben.

Am nächsten Morgen war das

letzte Waschwasser verdunstet und die Faser schwer durchsichtig geworden. Es erwies sich deshalb als nötig, sie zur Ermöglichung der Messung erneut mit Wasser zu bedecken.

Wieder war das Ergebnis der Messung einigermaßen überraschend: Die Gangunterschiede hatten eine *ansehnliche Erhöhung* erfahren und waren in Übereinstimmung mit den früheren Kurvenbildern im Blau rascher gestiegen als im Rot (Kurve VI). Die *Dicke der Faser* hingegen hatte *nicht unerheblich abgenommen*. Der Effekt einer bleibenden Vergrößerung der Gangunterschiede war also bereits durch die Veränderung



des Kieselgerüstes der Asbestfaser infolge des *Austrocknens* erreicht worden.

Das Präparat wurde schließlich noch genau so erhitzt, wie das beim Veraschen von Lungenschnitten bereits geschehen war: Im senkrecht gestellten (Widerstands-) Röhrenofen wurde die Temperatur im Laufe einer Stunde vorsichtig auf 500° gebracht und dann 2 Stunden hindurch bei 500° \mp 5° gehalten. Zum Abkühlen blieb es im Ofen. 14 Stunden nach dem Ausschalten des Stromes wurde es herausgenommen und sofort gemessen. Die Farbe der Faser war rein weiß; oxydierbares Eisen hatte sie demnach nicht mehr in merklichen Mengen enthalten. Zur Messung war Benetzung mit Wasser wieder notwendig, um die optischen Umstände für den Lichtdurchgang günstiger zu gestalten.

Diesmal wies die ermittelte Kurve (VII) sogar eine Merkwürdigkeit auf: Vom grünen bis zum roten Bereich des Spektrums waren die Gangunterschiede nicht wesentlich über die Werte gewachsen, die schon für die getrocknete Substanz galten, während man eine weitere Zunahme hätte erwarten können. Es hat sich jedoch nur die Krümmung der Kurve unbedeutend geändert, insofern, als sie nach oben konvex geworden ist. Ganz überraschend ist aber die Erniedrigung der Gangunterschiede im Blau und das sprunghafte Ansteigen zu dem früheren Maße im Grün.

Zurückliegende, noch unveröffentlichte Erfahrungen am Azoxybenzol veranlaßten mich, nach Ablauf einer kleinen Zeitspanne wieder eine Messung vorzunehmen. Ich hatte die Faser 10 Tage liegen lassen und fand nun auch für die kurzwelligen Hg-Linien Gangunterschiede, die zur Kurve paßten (Kurve VIII). Für die Linien längerer Wellen — von 4916 aufwärts — ergaben sich keine nennenswerten Abweichungen von der vorhergehenden Messung. Man könnte höchstens sagen, daß die Durchkrümmung der Kurve nach oben, entgegengesetzt den Bildern beim normalen und säurebehandelten Asbeste, deutlicher geworden sei. Das Elektronengebäude hat also — hier durch thermische Beanspruchung, im Falle des Azoxybenzols wohl durch einen photochemischen Vorgang — zunächst eine Störung erfahren, die sich in diskontinuierlicher Änderung optischer Größen innerhalb gewisser Spektralbezirke kundgibt. Danach stellt sich die Gleichgewichtslage wieder ein; die untersuchte Eigenschaft ändert sich nunmehr kontinuierlich mit der Wellenlänge. Dieses Verhalten mag in gewissem Sinne an die Anregungsstufen erinnern, die zur Emission von Spektrallinien führen. An dieser Stelle kann ihm, so reizvoll es wäre, nicht weiter nachgespürt werden.

Es muß die Feststellung genügen, daß der durch Säuren ausgelaugte *Chrysotilasbest nach dem Glühen, ja schon nach dem Trocknen bei Zimmertemperatur, höhere Doppelbrechung hat als vorher. Damit ist eine weitere Übereinstimmung mit den Nadeln nachgewiesen, die sich in den Lungenschnitten befinden.*

Die Abb. 30, 30a und 31 lassen die Doppelbrechung geglühter Nadeln aus Lungenschnitten erkennen. Viele der feinen Fasern, die auf Abb. 29 reichlich verstreut, aber nur zum geringsten Teile scharf eingestellt erscheinen, bleiben zwischen gekreuzten Nicols (Abb. 30) dunkel, obwohl sie sich im allgemeinen nicht in Parallelstellung zu den Nicolschwingungsrichtungen befinden. Um sie trotzdem sichtbar zu machen, wurde das Gesichtsfeld durch eine kleine Drehung des Analysators (um etwa 3°) aufgehellt. Man sieht nun, daß die meisten Nadeln infolge unscharfer Einstellung noch dunkler sind als der dunkle Hintergrund, jedoch von hellen Beugungsstreifen begleitet werden. Die hinreichend scharf eingestellten Nadeln hingegen leuchten mehr oder minder hell auf. Bei den beiden dicken, von Eisenoxyd umgebenen Exemplaren (rechts vom Fadenkreuz, vgl. Abb. 29!) durchdringt das Licht sogar diese Umhüllung. Daß auch der Eisenoxydmantel hell erscheint, beruht selbstverständlich nicht auf Interferenz infolge Doppelbrechung, sondern auf der

Tatsache, daß feine Teilchen zwischen gekreuzten Nicols als Selbstleuchter wirken können, ähnlich wie im Dunkelfeld. Man kann in Abb. 30a, die einen von der Platte vergrößerten Ausschnitt der Abb. 30 darstellt, ganze Lichtbündel von der Nadel seitwärts ausstrahlen sehen!

Überblickt man rückschauend die Feststellungen, so heben sich folgende Tatsachen heraus: *Sämtliche optischen Umstände, die sich an den Nadeln der Lungenschnitte beobachten lassen: Lichtbrechung, Gangunterschied bzw. Doppelbrechung, Lage und Verteilung der optischen Vektoren, stimmen mit den optischen Eigenschaften von Chrysotilasbest überein. Auch die Form, die Elastizitätseigenschaften, das Verhalten beim chemischen Abbau und nachfolgendem Glühen sind genau gleich wie bei diesem Asbest. Die Identität der Nadeln mit Chrysotilasbest ist damit hinlänglich erwiesen.* Es sind sogar sehr viel mehr Beweisgründe ins Feld geführt, als zu der mineralogischen Bestimmung nötig waren, und es mag überflüssig erscheinen, nochmals auf den bereits erwähnten weiteren Umstand hinzudeuten, daß die Wahrscheinlichkeit der Einatmung von Asbeststaub an sich schon so zwingend ist, daß man bisher die Nadeln ohne Prüfung unbedenklich für Asbest angesprochen hat.

Bei einigen Präparaten, die mir vorlagen, wäre ohne optische Prüfung eine Verwechslung der Asbestnadeln mit den bei der Besprechung der Lichtbrechung erwähnten Gipsnadeln möglich gewesen. Diese können ähnlich zierliche Krystalle bilden wie die Asbestnadeln. Vor allem ist ein Irrtum um so leichter möglich, als bei beiden auch die Brechungsexponenten und das Maß der Doppelbrechung nicht sehr unterschiedlich sind. Meist erreicht indessen der Gips größere Dimensionen. Dann sieht er ohne weiteres nach etwas Fremdartigem aus, und man bemerkt leicht, daß er fast immer über oder unter der Fläche des Schnittes liegt, im Gegensatz zu den Asbestnadeln, die ihn im allgemeinen schräg durchspießen (Abb. 3, unterhalb des Fadenkreuzes). In allen Fällen unterscheidet sich der Gips vom Asbest dadurch, daß viele seiner Nadeln gemäß ihrer monoklinen Symmetrie schief auslöschen.

Die Lage der Gipskrystallchen außerhalb des Schnittes weist mit Sicherheit auf nachträgliche Bildung hin. Es wurde bereits vermerkt, daß die Formalinlösung, in der die Lunge aufbewahrt worden ist, Kalk enthält. Das zur Ausfällung erforderliche Schwefelsäureradikal entstammt zweifellos dem Färbemittel; denn die Gipsnadeln habe ich bei solchen Präparaten gefunden, die nach der Hämalaunmethode gefärbt waren.

Gelegentlich kann man außer den Asbestnadeln noch *andere doppelbrechende Partikeln* in den Lungenschnitten finden¹⁷. Sie sind wegen ihrer gedrungenen, etwas unregelmäßig begrenzten Form am ehesten als längliche Körnchen zu bezeichnen. In der Länge erreichen sie bis zu 10 μ , in der Breite bis zu 6 μ . Die Doppelbrechung ist sehr viel stärker als beim Asbest; Dicke und Interferenzfarben lassen auf eine Doppelbrechung um 0,1 herum schließen.

Diese Krystallfragmente sind sicherlich mit eingearmet worden, denn ich habe derartige Partikeln auch aus Aufschlämmungen einer Probe von Asbest aus jener Fabrik erhalten, in der der Verstorbene beschäftigt war. Obwohl die Auswahl nicht sehr groß ist, möchte ich eine Zuordnung zu einer bestimmten Mineralart nicht wagen.

Während das Auge die Asbestnadeln in den Lungenschnitten suchen muß und sie fast in der Mehrzahl der Gesichtsfelder nicht findet, sind die merkwürdigen *Asbestosiskörperchen* ebenso verbreitet wie auffällig (vgl. zahlreiche Abbildungen, etwa 1 und 11). Durch ihre intensive *goldbraune bis braungelbe Farbe* und durch ihre *starke Lichtbrechung* (Abb. 13) heben sie sich besonders im ungefärbten Schnitt sehr scharf von der Umgebung ab. Überdies sind die Durchmesser größer als bei den Asbestnadeln. Soll man den Gesamteindruck von ihrer *Gestalt* beschreiben, so ist es vielleicht am ehesten zutreffend, wenn man sagt: Die Körperchen bestehen aus unregelmäßig geformten Scheiben, die mit ihren Kreisflächen aneinandergereiht sind, ähnlich wie die Wirbel eines Rückgrates. In den meisten, aber keineswegs in allen Fällen tragen sie an den Enden keulige Verdickungen oder kugelige Köpfe, so daß sie an Hanteln erinnern (z. B. Abb. 17, 18, 19). Nicht selten treten an die Stelle der Scheiben runde, mehr kugelförmige Gebilde; dann mag der Vergleich mit Perl schnüren gestattet sein (Abb. 2, 41). Wieder andere entbehren bei Keulen- oder Hantelform jeglicher Segmentierung. In den Einzelheiten der Gestalt unterscheidet sich jedes Körperchen von den anderen. Keines ist dem anderen gleich.

Genau so variabel wie die Formen sind die *Größen*, besonders hinsichtlich der Mannigfaltigkeit von Kombinationen der Längen und der Durchmesser des „Kopfes“ (Mittel: $7,7\text{ }\mu$) oder des „Griffes“ (Mittel: $3,5\text{ }\mu$). Sehr lange Körperchen können sehr schlank sein, kurze hingegen können große Dicke erreichen. Man kann sagen, daß die Längen zwischen dem 10—100fachen der Dicken variieren. Am ehesten läßt sich ein leidlich konstantes Verhältnis für die Durchmesser von „Kopf“ und „Griff“ angeben. Es liegt ungefähr zwischen 2:1 und 4:1. Einen Mittelwert für die Längen vermag man fast richtiger mit dem Auge zu schätzen, als aus Messungen zu berechnen, weil man immer nur einen Bruchteil von der Anzahl der Körperchen messen wird, die das Auge mit einem Blicke umfaßt. So habe ich $67\text{ }\mu$ als guten Durchschnitt der Längen geschätzt, $67,7\text{ }\mu$ aus 80 Messungen berechnet. Das sind rund $20\text{ }\mu$ mehr, als das Mittel der Längen der Asbestnadeln ausmacht. Die bei dieser Messungsreihe beobachteten extremalen Längen waren $113\text{ }\mu$ und $9\text{ }\mu^{18}$.

Die *Verteilung* der Körperchen ist ebenso regellos wie die Verteilung der Asbestnadeln. Doch soll sich diese Angabe nur auf die von mir untersuchten Schnitte beziehen, nicht auf die Verteilung in der gesamten Lunge.

Bei der Durchmusterung von Präparaten unter Verwendung eines optischen Systems mit gutem Auflösungsvermögen und genügender Vergrößerung findet man — nachdem die ersten Erfahrungen gesammelt sind — sehr bald die *Beziehungen zwischen Asbestosiskörperchen und Asbestnadeln*: Die Asbestosiskörperchen entstehen durch Anlagerung einer

Substanz um die Asbestnadeln herum. Man kann in überaus vielen Fällen die Nadel in dem Körperchen erkennen¹⁹. Die Abbildungen enthalten zahlreiche Beispiele hierfür (Abb. 7, 8, 9, 10, 16, 21, 26).

Daß es sich dabei nicht um eine Vorspiegelung infolge Beugungerscheinungen handelt, geht schon daraus hervor, daß nicht selten die Nadeln streckenweise frei liegen (Abb. 7, 9, 10), unverhüllt von fremder Substanz, durch die die Beugung bewirkt werden könnte. Beugungsstreifen sehen auch anders aus; sie begleiten zum Teil als geschlossene Kurven die seitliche Umgrenzung der Körperchen; erst weiter innen lösen sie sich in Striche und Flecken auf, je nach den Formen der Wülste auf der Oberfläche der Partikeln. Die Abb. 12 und 13, sowie 39a und 39b geben eine Vorstellung davon und von den Veränderungen des Aussehens ein und desselben Objektes durch die Verlagerung der Beugungsstreifen infolge Einstellung auf wenig verschiedene Ebenen.

Noch mehr Beweiskraft mag es haben, daß man das Vorhandensein des Asbestfadens in einzelnen Körperchen durch den Farbumschlag bei Prüfung mit dem Gipsblättchen im polarisierten Lichte zeigen kann. Schon hier sei hervorgehoben, daß keineswegs *alle* eingeschlossenen Nadeln diesen Farbumschlag, also die Doppelbrechung, erkennen lassen. Es gelingt das nur bei einer recht kleinen Anzahl.

Das kann dreierlei Gründe haben: Entweder die Nadeln sind zu dünn, oder sie sind zu stark zersetzt, oder aber die braune Eigenfarbe der umhüllenden Substanz absorbiert das aus den Asbestnadeln austretende Licht und verdeckt daher die Interferenzfarben, so wie auch bei den stark absorbierenden braunen Mineralien, etwa der Biotit- oder Hornblendegruppe, die Interferenzfarben weitgehend unterdrückt zu werden pflegen. Diese dritte Erklärung scheint die zutreffende zu sein; denn nach Entfernung der Hüllsubstanz zeigen die Nadeln durchweg eine — wenn auch sehr schwache — Aufhellung.

Zum Unterschied gegenüber den Asbestnadeln erweist sich die *Hüllmasse nie doppelbrechend*. Dieser Umstand, wie auch verschiedene Einzelheiten der Formen deuten darauf hin, daß es sich um ein *Gel* handelt. Es kann nur aus der Körperflüssigkeit koaguliert worden sein und dürfte demnach mit großer Wahrscheinlichkeit zu den Eiweißstoffen gehören.

Ob es Eiweißstoffe von so stark goldbrauner Farbe gibt, vermag ich nicht zu entscheiden. Das ist auch belanglos; denn das hier vermutete Gel kann durch beigemengtes dreiwertiges Eisen gefärbt sein. Darauf deuten mehrere Erfahrungen.

Für die Gelnatur der Hüllsubstanz spricht nachdrücklich die Bildung *Liesegangscher Ringe*, die in einem gefärbten Präparat zu beobachten sind, dessen Überlassung ich Herrn Prof. Stroebe verdanke (Abb. 16, 17). Der Anblick der Körperchen vermittelt sofort den Eindruck, daß eine rhythmisch ablaufende Reaktion erfolgt sei. Der Schnitt ist zunächst mit Eisenhämatoxylin geschwärzt worden. Nach Abspülen mit Wasser hat eine teilweise Entfärbung durch wässrige Pikrinsäurelösung stattgefunden. Zum Schluß ist mit Säurefuchsin gefärbt worden. Die ersten beiden Vornahmen haben zur Entstehung der *Liesegangschen Ringe* geführt.

In Anbetracht der geringen Dimensionen der Körperchen liegt die Vermutung nahe, daß hier Beugungerscheinungen ein Bild vorgespielt haben könnten, das dem Objekte nicht entspricht. Man sieht jedoch in Abb. 16, wohl auch in Abb. 17 genügend deutlich, wenn auch nicht so klar wie im Negative, daß sich die dunklen Zonen aus gehäuften einzelnen Körnern zusammensetzen. Noch besser lassen sie sich natürlich unter dem Mikroskope vermittels einer gut auflösenden Ölimmersion als Haufwerk einzelner, getrennter Partikeln erkennen. Schon aus diesem Grunde ist es sicher, daß es sich nicht um eine Täuschung durch Beugungerscheinungen handeln kann. Dazu kommt noch, daß die Streifen die Grenzen der Körperchen nicht in kontinuierlichen Zügen begleiten, sondern man sieht, wie gerade die äußeren dunklen Zonen in den „Hantelköpfen“ absetzen, während nur die inneren eine Fortsetzung in der langgestreckten Umhüllung der Nadeln finden (besonders Abb. 17) ²⁰.

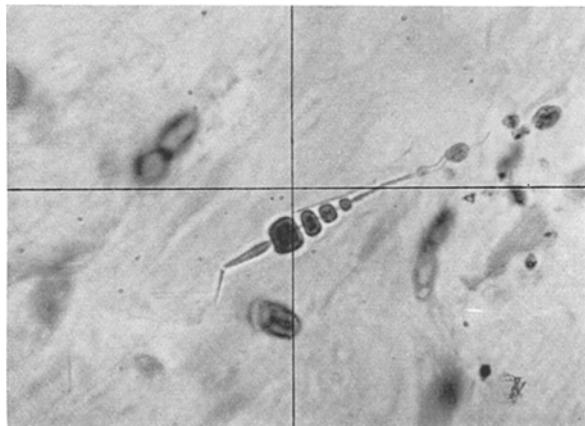


Abb. 7. *Asbestosiskörperchen in Lungenschnitt*. Vergrößerung 1200 mal. Beginn der Adsorption von Gel. Einzelne dicke Perlen sind aufgelagert, noch voneinander getrennt. Überdies ist ein ansehnlicher Teil der Nadel von einem dünnen Gelzyylinder umhüllt. Das ist besonders links unten deutlich zu erkennen. Dort ist die Nadel zerbrochen — ein Kennzeichen ihrer Sprödigkeit. Am anderen Ende hingegen ist sie geschlängelt, wie man es von Asbestfasern erwartet.

Ein Überblick über die Fülle der Erscheinungen, die die Asbestosiskörperchen gewahren lassen, ergab mir zwangsläufig eine genetische Ordnung und damit zugleich eine *Hypothese über den Entwicklungsgang der Körperchen*.

Ich nehme an: Auf den Asbestnadeln werden zunächst kleine Mengen Gel abgeschieden; infolge der Oberflächenspannung bekommen sie im allgemeinen Perlenform (Abb. 7, 8) mit \mp großen Abweichungen von der regelmäßigen Gestalt einer Kugel. Gelangen sie durch Vergrößerung zur Berührung (Abb. 9), dann können sie nach Art von Tropfen oder Gasblasen verschmelzen, ohne sich jedoch wieder zu Kugeln zu runden; denn der Oberflächenspannung der äußeren Grenzschicht wirkt die Spannung der inneren, an der Asbestnadel befindlichen Grenzschicht entgegen (Abb. 10). So werden die Nadeln vollständig oder teilweise eingehüllt, ohne daß aber sonderlich regelmäßige Formen zustande

kommen. Die Häufigkeit der hantelartigen Gebilde erklärt sich leicht, wenn man bedenkt, daß bei kleinen Dimensionen der Grenzflächen- spannung große Bedeutung zukommt, namentlich bei stark gekrümmten

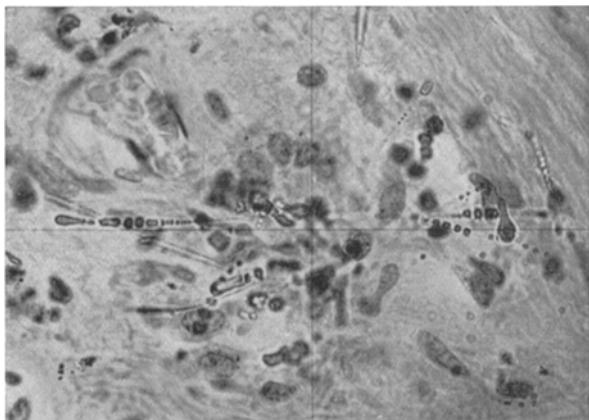


Abb. 8. *Lungenschnitt mit Asbestnadeln und Asbestosiskörperchen im Aufbaustadium.* Vergrößerung 640mal. Im linken unteren Quadranten eine feine Nadel, gebogen, links mit keulenförmiger Auflage als Beginn der Umhüllung. Darüber, den frontalen Faden schneidend, eine unscharf eingestellte Nadel. Parallel dem frontalen Faden sehr langes Körperchen im Aufbaustadium; mitten Nadel noch nackt. Rechts ist das Ende (unscharf) ungefähr ebenso weit vom Bildrand entfernt wie das andere Ende vom linken Bildrande. Dies Körperchen ist 100μ lang.

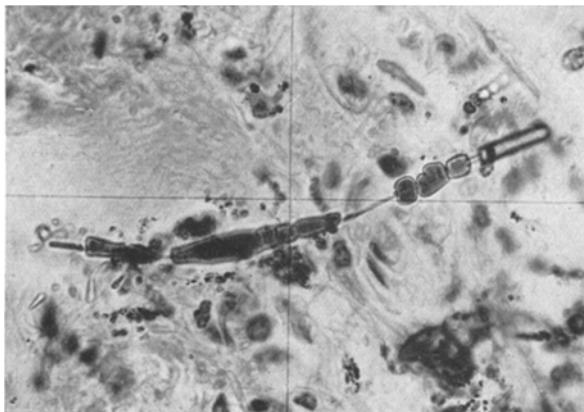


Abb. 9. *Asbestosiskörperchen in Lungenschnitt.* Vergrößerung 640mal. Aufbaustadium. Der Asbestfaden ist zum Teil noch frei, zum Teil besetzt mit unverschmolzenen Perlen, zum Teil mit zusammenhängender Auflage umhüllt, die, wie bei der Überschneidung mit dem sagittalen Faden noch erkennbar, aus Tropfen zusammengeflossen ist.

Grenzflächen (Freundlich 1922, S. 63, 209), wie sie an den Nadelenden vorausgesetzt werden dürfen (vgl. Abb. 31). Zu der besonderen dynamischen Aktivität kommt noch hinzu, daß der Winkelbereich, aus dem

adsorbierbare Substanz herangeholt werden kann, an den Nadelenden sehr viel größer ist als an den Längsseiten der Nadel. Trotz alledem ist es nicht selten, daß Nadeln nur einseitig von Gel bedeckt sind. Derartige Körperchen erscheinen keulenförmig (Abb. 11).

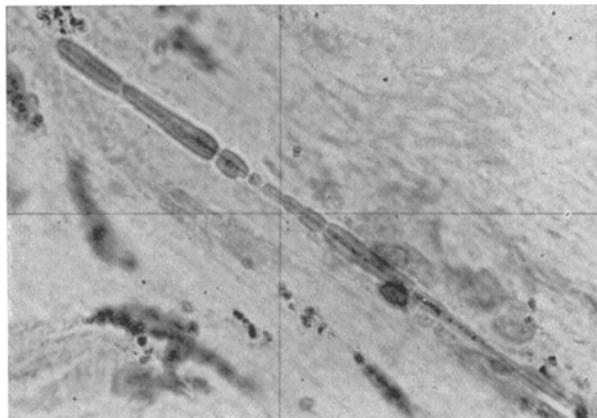


Abb. 10. *Asbestosiskörperchen in Lungenschnitt*. Vergrößerung 950mal. Aufbaustadium. Einzelne Klümpchen und verschmolzene Massen von Gel umgeben die Asbestnadel. Sie ist im Innern des Körperchens noch sichtbar.



Abb. 11. *Asbestosiskörperchen in Lungenschnitt*. Vergrößerung 640mal. Körperchen verschiedener Form. Im linken oberen Quadranten keulig; Bildungsstadium, doch schon vorgeschritten. Im linken unteren Quadranten ein ebenfalls keuliges Körperchen. Es endet mit nackter Nadel. Sie ist am unverhüllten Ende noch so spröde, daß ein Teil abbrechen konnte.

Allen Körperchen, die durch Gelauf Lagerung im Entstehen begriffen sind, ist eines gemeinsam: Wie immer die Einzelformen der Hülle sein mögen, ob kugelig oder zylindrisch oder keulig: in jedem Falle sind sie durch glatte Linien umgrenzt, so, als stellten sie nichtstarre, prall erfüllte Gefäße dar.

In derartigen, im Werden begriffenen Körperchen findet man am ehesten jene Asbestnadeln, die trotz der Einbettung in Gel noch Doppelbrechung aufweisen.

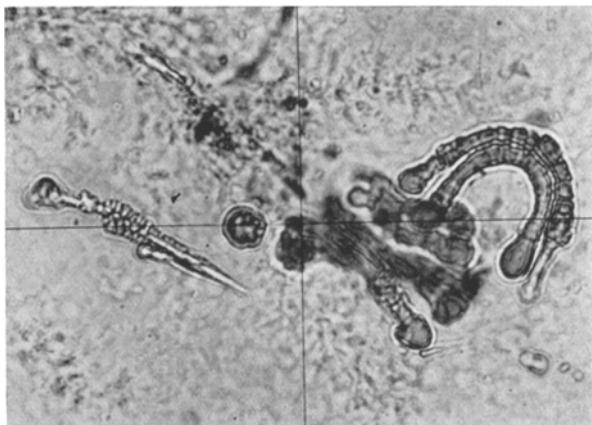


Abb. 12. *Asbestosiskörperchen aus Abstrich.* Vergrößerung 600mal. Das Präparat ist mit Kalilauge behandelt. Die Körperchen sind dadurch in ihrer Form etwas verändert. Es ist Eiweiß aus der Hülle herausgelöst worden; daher rechts die darmartige, links die zackenreiche Begrenzung. Das gestreckte Körperchen links ist sehr viel stärker angegriffen als die gebogenen Körperchen rechts.

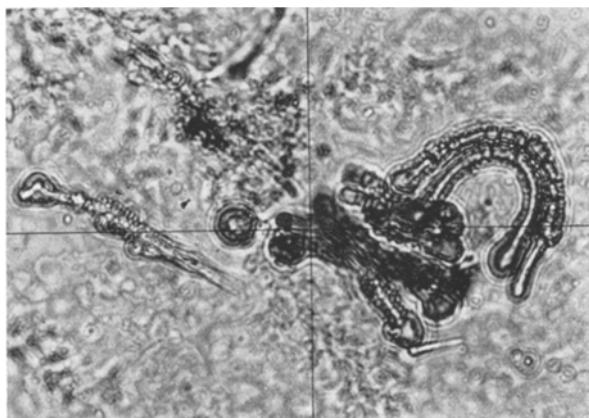


Abb. 13. *Dasselbe Objekt wie Abb. 12, ein wenig anders eingestellt.* Der Vergleich der Abb. 12 und 13 gibt einen Eindruck von dem Einfluß der Beugungerscheinungen auf die Erkennung der feineren Strukturen des Objektes.

Die weit überwiegende Mehrzahl der Asbestosiskörperchen bietet einen ganz anderen Anblick: Sie sind borkig, buchtig, zackig oder gar sägeblattartig gezähnt (Abb. 12, 13). Das kann soweit gehen, daß sie von dornartigen Ausstülpungen besetzt erscheinen (Abb. 14). Die Köpfe

erinnern dann an die unregelmäßigen Oberflächen des Blumenkohls (Abb. 15, rechter Kopf des ringförmig gewundenen Körperchens; Abb. 18).



Abb. 14. *Asbestosiskörperchen aus Lungenschnitt*. Vergrößerung 1300mal. Das Körperchen ist gebogen; die Asbestnadel hat durch die Körperflüssigkeit eine Auslaugung der Metallatome erlitten. Das zurückbleibende Kieselgerüst ist geschmeidig. Die Eiweißhülle ist dornenartig geformt, weil weitgehend resorbiert. In den Dornen ist der Eisenoxydgehalt angereichert. Es findet in der Lunge dieselbe Auflösung statt, wie in alkalischen Lösungen (vgl. Abb. 12!).

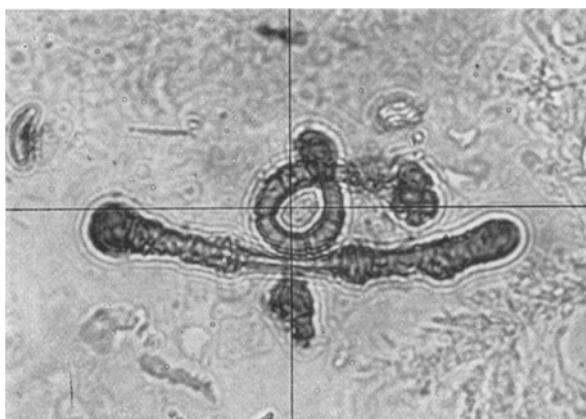


Abb. 15. *Asbestosiskörperchen aus Abstrich*. Vergrößerung 760mal. Das obere Körperchen zeigt die bei Abb. 14 besprochene Geschmeidigkeit im Extrem. Das untere läßt eine typische Bauform erkennen: mitten die Nadel fast unverhüllt, an den Enden dicke Auflagen, so wie es in Abb. 8 die lange Nadel gewahren läßt, die oberhalb des frontalen Fadens vom linken bis zum rechten Bildrande reicht. Beide Körperchen zeigen die ersten Spuren der Auflösung des Eiweißes.

Man gewinnt den Eindruck, daß diese Körperchen aus den prall erfüllten durch Substanzverlust, durch irgendeinen Abbau hervorgegangen sind.

Solche Körperchen sind meist auch stark segmentiert, und zwar kann man verfolgen, daß diese Segmentierung nicht identisch zu sein braucht

mit der Aneinanderreihung von Perlen beim Aufbau der Körperchen, sondern daß sie häufig ein Zerfallstadium darstellt. Die glatt umrandeten



Abb. 16. *Asbestosiskörperchen aus Lungenschnitt*. Mikroskopvergrößerung 1270mal; von Platte vergrößert auf 2350mal. Der Schnitt ist mit Eisenhämatoxylin gefärbt (vgl. S. 300). Bei dem Färbevorgang hat eine rhythmische Färbung stattgefunden. Es haben sich *Liesegangsche* Ringe gebildet, die sich aus einzelnen Körnchen aufbauen. Dieser Umstand spricht dafür, daß die Hülle aus einem Gel besteht. Rechts oben (undeutlich) Teil eines Körperchens mit zentraler Nadel.

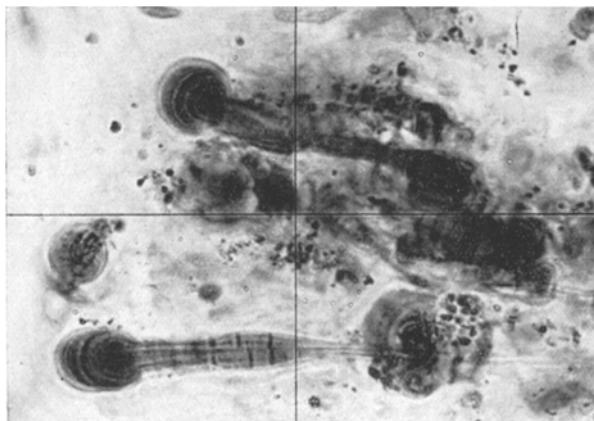


Abb. 17. *Asbestosiskörperchen aus demselben Schnitt wie Abb. 16*. Vergrößerung 1300mal. *Liesegangsche* Ringe. Das Körperchen unten vom selben Typus wie Abb. 8 und 15. Kopf 7 μ dick; zylindrische Hülle hat 3 μ Durchmesser. Dann folgt nach rechts nackte Nadel. Das Bild enthält die Hälfte eines symmetrisch gebauten Körperchens. Länge des *ganzen* Körperchens 93 μ ; des nackten Fadens 35 μ . Bemerkenswert die Zerkleinerung des zylindrischen Teiles der Hülle. Es ist der Beginn des Abbaus: der Anfang der Auflösung in Segmente.

Körperchen des Aufbau Stadiums (Abb. 16) bekommen zunächst Risse quer zur Längsrichtung (Abb. 17, links unten). Diese Risse schnüren sich immer tiefer ein und führen zu Unterteilungen (Abb. 18, 19). Die

Köpfe werden in derselben Weise zerklüftet (Abb. 18). Zu der Aufteilung treten Substanzverluste hinzu (Abb. 20), wodurch die Unregelmäßigkeit der Formen vermehrt wird. In einzelnen Segmenten ballen sich dunkle

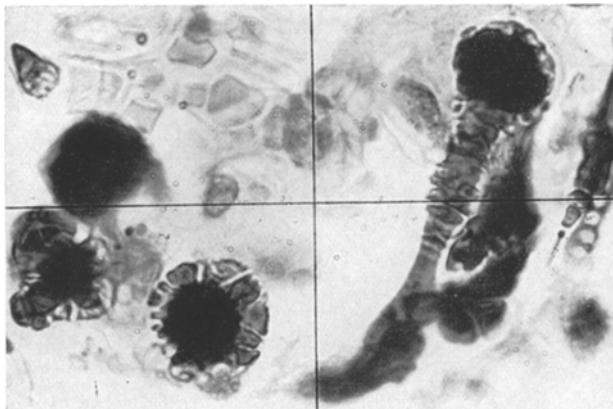


Abb. 18. *Asbestosiskörperchen aus Schnitt*: gefärbt. Vergrößerung 1300mal. Der „Hantelgriff“ ist stärker segmentiert; das bedeutet Fortschritt des Abbaues. Auch die Köpfe sind zerklüftet (linker unterer Quadrant). Die Schwärzung innen kommt von der Färbung.

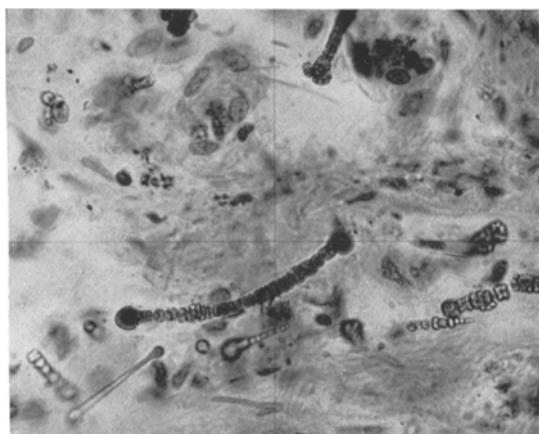


Abb. 19. *Asbestosiskörperchen aus Schnitt*. Vergrößerung 475mal. Normalbild von Körperchen im Stadium des beginnenden Abbaues. Daneben aber auch früheste Wachstumsformen (links unten).

Klumpchen zusammen (Abb. 21, z. B. Kopf des Körperchens rechts mitten; Abb. 22). *Schließlich bleibt nichts übrig als ein Zug von dunklen Körnern*, in dem man die Gestalt der Asbestosiskörperchen nur noch zu ahnen vermag (Abb. 23, 24). Eine Abtrennung solcher auf Asbestosiskörperchen zurückzuführender Körnerzüge von Haufen schwarzer, gelegentlich bräunlich durchscheinender Körner, die als kohliges Pigment

bezeichnet zu werden pflegen, ist oft nicht möglich (Abb. 17, 21, 25). Es ist zu erwarten, daß beides *nebeneinander* vorkommen mag; denn nicht

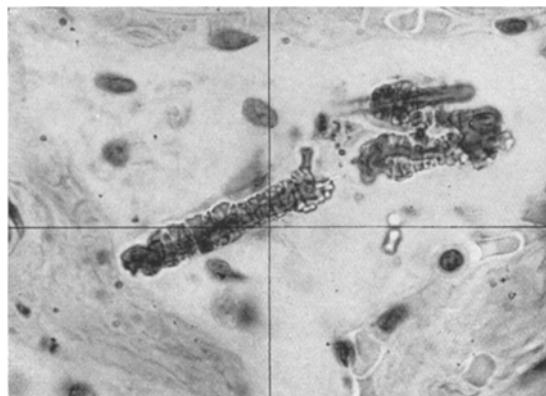


Abb. 20. *Asbestosiskörperchen aus Schnitt*. Vergrößerung 825mal. Fortgeschrittenes Abbauprodukt. Starke Segmentierung infolge Substanzverlustes.

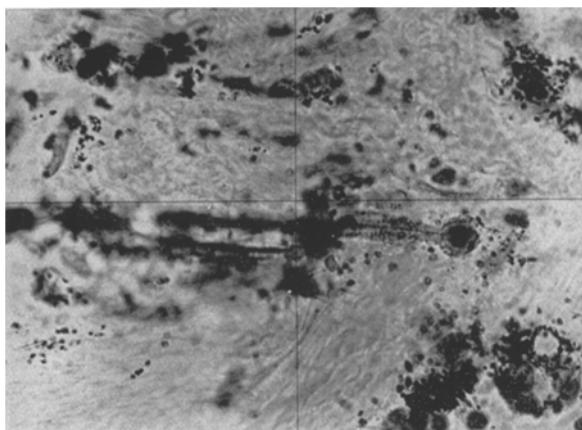


Abb. 21. *Asbestosiskörperchen in Lungenschnitt*. Vergrößerung 650mal. Das Körperchen im rechten unteren Quadranten ist im Stadium der Resorption. In einzelnen Segmenten, besonders aber im Kopf, haben sich bereits Körnchen von Eisenoxyd ausgeschieden. Sie sind allerdings so winzig, daß sie in der Reproduktion nicht deutlich hervorstehen. Die unregelmäßig verteilten schwarzen Körnchen, die in keinem Zusammenhang mit Asbestosiskörperchen stehen, dürften eingetauselter Staub sein. Sie häufen sich zu ganzen Wolken.

nur Asbestnadeln, sondern Staub *jeglicher Art* wird sich dort festsetzen, wo die engsten Wege zu passieren sind.

Es würde demnach dem Aufbau der Asbestosiskörperchen ein Abbau folgen. *Der gesamte Vorgang kann nur dem einen Zwecke dienen, die Asbestnadeln zu beseitigen.* Tatsächlich läßt es sich beobachten, daß in den

ersten Zerfallsstadien wohl noch Asbestnadeln in den Körperchen vorhanden sind, daß ihnen jedoch, im Gegensatz zu denen in den wachsenden Körperchen, kaum je noch Doppelbrechung eigen ist. Mit zunehmendem

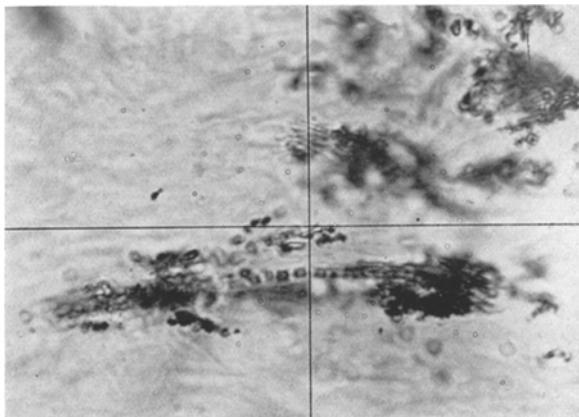


Abb. 22. *Asbestosiskörperchen in Lungenschnitt*. Vergrößerung 1300mal. Stark aufgeteiltes Abbaustadium. In den Segmenten um den sagittalen Faden herum haben sich Eisenoxydkörnchen ausgeschieden. An den Enden des Körperchens werden die ausgeschiedenen Körnchen überdeckt von außerhalb liegenden Partikeln. Die Segmente sind weitgehend aufgezehrt.

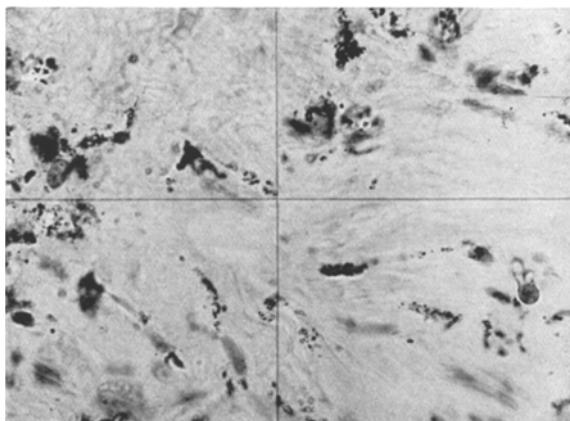


Abb. 23. *Lungenschnitt mit Körnerzügen*. Vergrößerung 640mal. Die Körnerzüge erinnern in ihrer Anordnung an die Asbestosiskörperchen. Sie bestehen aus Eisenoxyd bzw. -hydroxyd und sind in HCl löslich. Sie werden aufgefaßt als die nichtresorbierten Reste von Asbestosiskörperchen.

Fortschritt des Abbaues wird die Auffindung von Nadeln seltener möglich, so daß es scheint, als gereichte den Nadeln der Vorgang der Eiweißadsorption letzten Endes zur Vernichtung, wobei das Überbleiben der schwarzen Körner einen Mangel im Reaktionsablauf darstellt. Man kann

vermuten, daß die Körner aus Eisenoxyd bestehen, da, wie erwähnt, die Braunfärbung des Eiweißgeles auf Eisen zurückzuführen sein dürfte.

Sehr häufig finden sich alle Stadien von der unbedeckten Nadel bis zum Endprodukt des Abbaues, dem Körnerzug, nebeneinander (Abb. 26).

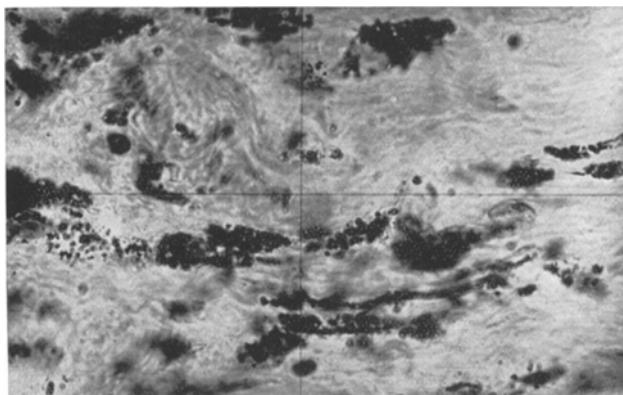


Abb. 24. *Lungenschnitt mit Körnerzügen.* Vergrößerung 640mal. Es sind Körner mit denselben Eigenschaften wie bei Abb. 23 beschrieben. In der rechten Hälfte des Bildes ist der Zusammenhang mit Asbestosiskörperchen zu erkennen (frontaler Faden, $\frac{1}{8}$ vom Schnittpunkt des Fadenkreuzes).



Abb. 25. *Lungenschnitt mit viel Staubkörnern.* Vergrößerung 640mal. Die Abbildung soll zeigen, daß die Unterscheidung von eingearmetem, in Wolken verteiltem Staub von Körnerzügen aus Asbestosiskörperchen häufig unmöglich ist. Es gehen z. B. rechts oben zwei Körperchenreste in eine Wolke über.

Neben den gestreckten Asbestosiskörperchen gibt es auch rundliche bis kugelige (Abb. 27). Das können abgebrochene „Hantelköpfe“ sein; es können ferner Umhüllungen kurzer Asbeststäubchen sein. Man könnte überdies an Einhüllungen jener stark doppeltbrechenden Mineralkörper denken, die außer den Asbestnadeln in den Lungenschnitten gefunden

worden sind. Obwohl ich nicht in der Lage bin, die zuletzt geäußerte Möglichkeit zu widerlegen, glaube ich, sie nicht annehmen zu sollen.

Die Frage ist nun, wieweit sich die vorgetragene, aus der Anschauung entsprungene Arbeitshypothese begründen lässt. *Es ist zunächst zu*

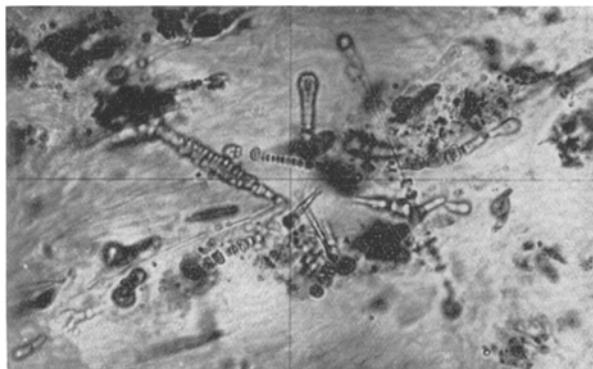


Abb. 26. *Lungenschnitt mit Asbestosiskörperchen aller Entwicklungsstufen.* Vergrößerung 640mal. Typisches Bild: Nackte Nadeln (links unten); jugendliches Entwicklungsstadium mit Hülle nur an den Enden (rechts); fortgeschritteneres Stadium mit prallen Hüllklümpchen (senkrecht zum vorigen, rechts); verschiedene Abbaustadien (mittten, links); Körnerzüge (links oben).

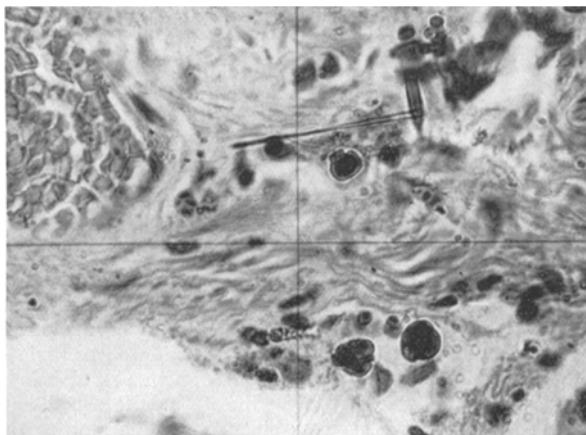


Abb. 27. *Lungenschnitt mit rundlichen Körperchen.* Vergrößerung 640mal. Die rundlichen Körnchen, wie rechts unten, können Umhüllungen kleiner Mineralfragmente sein oder abgebrochene Köpfe von hantelförmigen Asbestosiskörperchen. Oben eine unverhüllte Nadel.

beweisen, daß das auf den Asbestnadeln koagulierte Gel aus Eiweiß besteht. Hierzu wäre es wünschenswert, die Körperchen ohne irgendeine vor-aufgegangene chemische Veränderung isolieren zu können. In unserem Falle war das nicht in aller Strenge möglich, da die Lunge zur Konserverung in eine Formalinlösung gelegt worden war. Wohl aber konnte

jeder weitere chemische Angriff vermieden werden durch Anwendung der rein mechanischen Anreicherungsmethode, die *M. J. Stewart* (1928a) vorgeschlagen hat: Man stellt frische Schnittflächen her und streicht sie mit dem Messer ab. Die an der Klinge haftende Masse enthält zahlreiche Asbestosiskörper. Man kann sie leicht auf Objektträger überführen und auf diese Weise aus wenigen Kubikzentimetern Lunge genügendes Material für umfangreiche Versuchsreihen erhalten.

Nach und nach lehrte die Erfahrung, daß sich derartige Abstriche sehr gutwillig weiterbehandeln lassen. Es empfiehlt sich, die feuchte Masse zunächst auf dem Objektträger an trocknen zu lassen. Danach haftet sie gar nicht schlecht am Glase, so daß man ohne Gefahr von Unfällen aus fein ausgezogenen Tropf pipetten

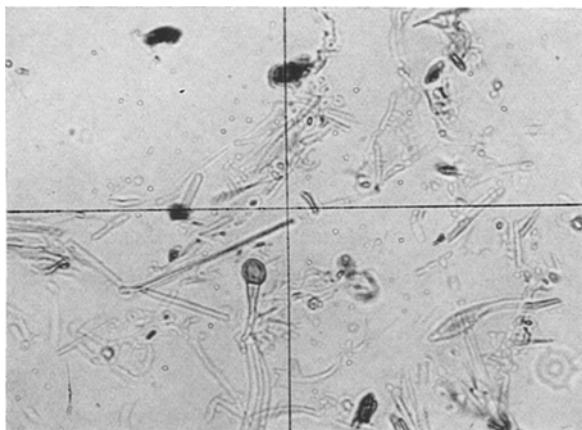


Abb. 28. *Veraschter Lungenschnitt*. Vergrößerung 1300mal. Das adsorbierte Eiweiß ist verbrannt. Von den meisten Nadeln ist auch das Eisen verschwunden — es findet sich an anderen Stellen in zusammengesinterten Massen. Nur an einzelnen Körperchen ist es ganz oder teilweise hängengeblieben. Es hat dann ungefähr die äußere Form der Körperchen bewahrt.

Reagenzien zusetzen, in derselben Weise mit Wasser auswaschen, überschüssige Lösungen mit Filtrierpapier absaugen kann. Um nach Ausführung der Reaktionen das Präparat aufzubewahren und bequemer und vorteilhafter mikroskopisch untersuchen zu können, habe ich es als zweckmäßig befunden, den Abstrich mit einem Deckglas zu versehen. Es empfiehlt sich, den Abstrich ebenso wie den auf das Deckglas gebrachten und dort zu verteilenden Tropfen Canadabalsam mit einer reichlichen Menge von Alkohol oder Xylol zu versetzen. Die sehr dünne Flüssigkeit wirkt dann beim Auflegen des Deckglases einerseits wie ein Puffer, anderseits wie ein Gleitmittel, so daß der Abstrich weder auseinander fließt noch sonst beschädigt wird. Das Gewicht des Deckglases muß genügen, den Überschuß der leicht beweglichen Balsamlösung auszuquetschen.

Wenn das Gel, das die Asbestnadeln einhüllt, eine organische Substanz ist, so muß es durch *Verbrennung* entfernt werden können. Ich habe das mit Erfolg versucht; und zwar habe ich, um besser vergleichbare Verhältnisse zu bekommen, nicht Abstriche verascht, sondern uneingebettete Schnitte, die ich der unermüdlichen Hilfsbereitschaft Herrn Prof. s *Stroebe* verdanke. Nachdem sie auf dem Objektträger ausgebreitet und mit

Alkohol gewaschen worden waren, wurden sie in einem zwecks guter Oxydationsbedingungen senkrecht aufgehängten elektrischen Widerstandsofen (*Heraeus*-Röhrenofen) vorsichtig erhitzt und 2 Stunden lang

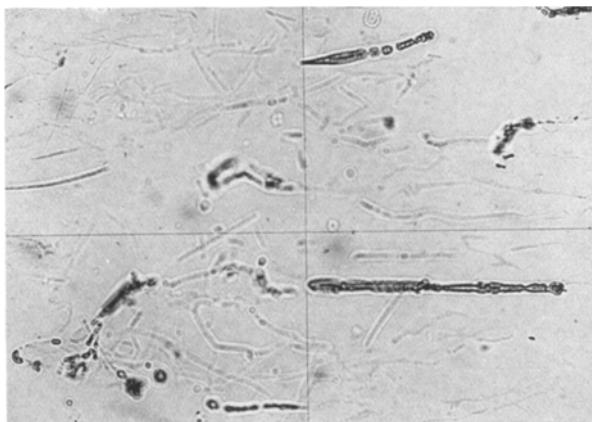


Abb. 29. *Veraschter Lungenschnitt*. Vergrößerung 660mal. Zwei Körperchen zeigen die Umhüllungen noch gut; doch lässt ein Vergleich mit unversehrten Körperchen die Schrumpfung erkennen. Die Beugungsbilder von unscharf eingestellten Nadeln erinnern an Perlenschnüre. Die Kieselgerüste der Nadeln sind randlich korrodiert; SiO_2 ist in das Eiweiß dispergiert worden.

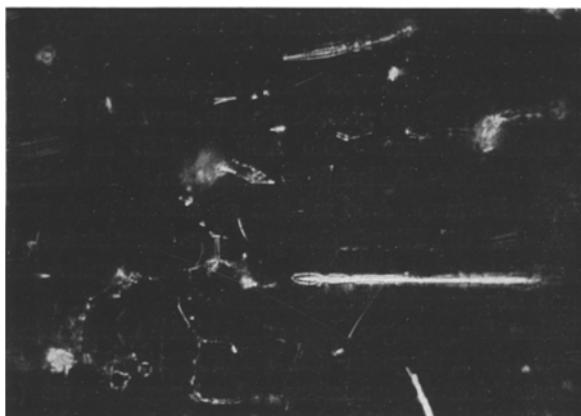


Abb. 30. *Dieselbe Stelle wie Abb. 29 zwischen gekreuzten Nicols*. Vergrößerung 660mal. Im polarisierten Lichte geben sich die Asbestnadeln als Krystalle zu erkennen, indem sie mit Interferenzfarben aufleuchten. Auch die Eisenoxydhaut leuchtet; ihre feinen Teilchen wirken als Selbstleuchter. Zwischen Hülle und Nadel eine isotrope Zone: ein Hohlraum. Der Eisengehalt ist beim Verbrennen des Eiweißes an den Oxydationssaum transportiert worden.

bei $500^\circ \mp 5^\circ$ gehalten. Bei der nachfolgenden mikroskopischen Untersuchung findet man die Erwartung bestätigt: Die umhüllende Substanz ist von weitaus den meisten Nadeln verschwunden (Abb. 28—31). Sie

ist gleich dem Lungengewebe verbrannt, wodurch ihre organische Natur hinreichend wahrscheinlich gemacht ist. Was sich bei der Veraschung nicht verflüchtigt hat, sind die Kieselgerüste der Asbestnadeln und das Eisen, auf dessen Anwesenheit oben aus der Farbe der Gelhülle geschlossen wurde.

Folgendes ist auffällig: Bei den wenigsten Nadeln ist das Eisen haftengeblieben, am allerwenigsten in Formen, die an die Asbestosiskörperchen erinnern (Abb. 29). In der überwiegenden Zahl sind die Nadeln glatt, vollkommen frei gebrannt und klar durchsichtig. Infolge der oben besprochenen Erhöhung der Doppelbrechung (S. 296) durch das Glühen sind die charakteristischen optischen Eigenschaften des Chrysotilasbestes sehr viel leichter wahrnehmbar als in den Lungenschnitten selbst. Be merkenswert ist, daß viele Nadeln in Reihen von Bruchstücken aufgelöst sind. Man könnte geneigt sein, das auf größere Zerbrechlichkeit infolge Vermehrung der Sprödigkeit durch das Glühen zurückzuführen — eine Tatsache, mit der zweifellos zu rechnen ist. Indessen läßt die Anordnung der 2—5 oder 6 Teilstücke meist leicht erkennen, daß eine mechanische Einwirkung nach dem Glühen nicht stattgefunden hat. Der Umstand, daß man nicht selten an den beiden Enden der Teilstücke eine Zuspitzung oder unregelmäßige Verdünnung erkennen kann (Abb. 30a, 31!), legt die Schlußfolgerung nahe, daß an den Trennungsstellen das Kieselgerüst der Asbestnadeln aufgelöst worden ist, daß also, wie oben (S. 308) angenommen wurde, tatsächlich die Eiweißauflage die Lösung der Nadeln ermöglicht.

Hierfür spricht auch das Vorkommen perlschnurartiger Fäden. Sie sind weniger zahlreich als die glatten Nadeln, zum Teil aber gleich ihnen vollkommen nackt gebrannt. Die Abb. 29 läßt an etlichen Stellen Beugungsbilder solcher Perlschnüre erkennen. Asbestfasern haben niemals derartige Formen. Also müssen sie nachträglich erworben sein. Ich nehme an, daß die Einschnürungen der Kieselskelete den Stellen entsprechen, an denen sich Auflageverdickungen befunden haben, so daß dort vermehrte Lösung stattfinden konnte.

In verhältnismäßig geringer Menge sind Nadeln vorhanden, auf denen der Eisengehalt der Auflage in der Weise sitzengeblieben ist, daß die Form der Asbestosiskörperchen kaum verlorengegangen ist (Abb. 29, 30, 31). Ein Vergleich mit den Abb. 9, 11, 26, auch 1, von denen die ersten drei nahezu dieselbe Vergrößerung haben wie 29, läßt indessen sofort erkennen, daß in den Formen und Dimensionen gewisse Unterschiede vorhanden sind. Insbesondere ist eine Schrumpfung der Durchmesser auffällig, die jene Faltenbildung der Oberfläche zur Folge hat, welche den Formen eine neue, gegenüber den unversehrten Körperchen fremde Note gibt. Dazu kommt ein Wechsel in der Farbe: an Stelle des Goldgelbes der Körperchen ist das Rostrot des Eisenoxydes oder das Schwarz des Eisenoxyduloxides getreten ²². Daß sich trotz oxydierender Atmosphäre

Fe_3O_4 gebildet hat, darf der reduzierenden Wirkung der verbrennenden organischen Substanz zugeschrieben werden; und daß es erhalten geblieben ist, obwohl bei Temperaturen von 500° an aufwärts Fe_3O_4 zu Fe_2O_3 oxydiert wird, mag an der Konstanthaltung bei der unteren Grenztemperatur und der Kürze der Versuchsdauer liegen.

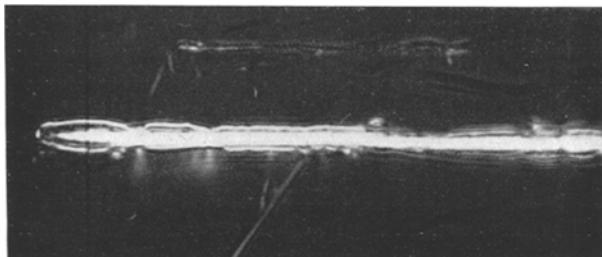


Abb. 30a. *Vergrößerter Teilausschnitt aus Abb. 30.* Vergrößerung 2000mal. Links unten gehen von der Umhüllung der Nadel Lichtbündel aus. Dadurch wird die Wirkung als Selbstleuchter sehr deutlich. Das Ende der Nadel ist zugespitzt, und zwar etwas unregelmäßig. Wegen der großen Eiweißmasse des früheren Kopfes hat dort besonders kräftige Dispersion stattgefunden.

Die Eisenoxydhülle kann gelegentlich so dick sein, daß sie infolge Absorption und Reflexion des Lichtes die eingelagerte Asbestnadel und ihre Doppelbrechung nicht zu erkennen erlaubt. Sehr häufig ist sie jedoch zart genug, um noch hinreichend durchsichtig zu sein. Durch ihre Wirkung als Selbstleuchter in dem von

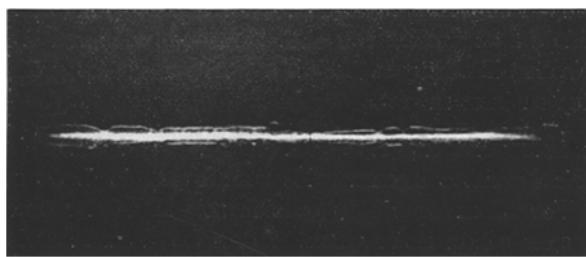


Abb. 31. *Geglühtes Körperchen aus Lungenschnitt.* Vergrößerung 1300mal. Polarisiertes Licht; 45° -Stellung. Auch hier leuchtet um die Nadel herum eine zarte Hülle von Eisenoxyd. Vergleich mit anderen Körperchen ähnlicher Vergrößerung läßt die Schrumpfung erkennen. Die Nadel ist korrodiert, am stärksten dort, wo die Auflage von Eiweiß am dicksten war.

gekreuzten Nicols erzeugten Dunkelfeld verrät sie sich in den Abb. 30, (30a) und besonders 31 als hauchdünnes, die Nadel lose umhüllendes Häutchen. Auch bei derartigen Gebilden sieht man die auflösende Wirkung der Hüllsubstanz auf das Kieselgerüst des Asbestes, und auch hier ist, wie oben bei der Besprechung der perlensartig eingeschnürten Fäden bereits gesagt wurde, der höhere Wirkungsgrad der Verdickungen der Hülle sehr deutlich. Abb. 31 zeigt schön, wie sich die Nadel an den Enden diffus verliert, und wie ihr Durchmesser bei den Anschwellungen der Hülle im ersten Drittel von rechts und in der Mitte abnimmt. Im übrigen ist die Nadel nur noch nahe am rechten Ende über eine kleine Strecke hinweg lediglich glatt begrenzt, sonst jedoch über ihre ganze Ausdehnung hin unregelmäßig

angefressen. Alle die hier und im vorhergehenden angeführten Umstände können als *Beleg dafür herangezogen werden, daß die Nadeln in der Hüllsubstanz aufgelöst werden.* Weiter unten sollen noch überzeugendere Beweisgründe mitgeteilt werden.

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, daß sich zwischen den gänzlich frei gebrannten Nadeln und den mit Eisenoxyd überkrusteten, in der Form den Asbestosiskörperchen ähnelnden, mancherlei Übergangsstadien befinden: Nadeln mit hauchdünnen Oxydüberzügen, kaum wahrnehmbar gelbgrün gefärbt; nackte Nadeln mit Eisenoxydköpfen u. dgl. Die ganze Mannigfaltigkeit der Körperchenbildung spiegelt sich in den Verbrennungsprodukten wieder. Daß dabei unverhältnismäßig viele Nadeln völlig frei von Resten der Hüllmasse sind, bedarf noch der Erklärung. Ich möchte keine Vermutung äußern, sondern nur auf die Tatsache hinweisen, daß sich in den Präparaten ganze Ballen zusammengesinterten Eisenoxydes finden, die sich nur durch eine Stoffwanderung angehäuft haben können, so, als hätte sich das Eiweiß vor dem Verbrennen örtlich fließend oder kriechend vereinigt, ähnlich wie die Oberflächeneigenschaften das Nähern und Verschmelzen von Tropfen ermöglichen.

Es ist bis jetzt von Eisenoxyden als Verbrennungsrückständen gesprochen worden, ohne daß der *Nachweis für die stoffliche Natur* erbracht worden wäre. Er gelingt sehr leicht: mit einem Tropfen konz. Salzsäure läßt sich das Eisenoxyd von den Nadeln weglösen²³. Schon an der Färbung, die die Säure annimmt, erkennt man das Eisen als gelösten Stoff, und es sind Reaktionen mit Rhodankalium oder Ferrocyanikalium fast überflüssig. Beide fallen positiv aus und überraschen durch die Tiefe der charakteristischen Färbungen. Die Ferrioxydmenge ist größer, als man vom Ansehen meinen möchte.

Es ist kein Zweifel, daß das an den Nadeln haftende *Eisenoxyd aus den Asbestosiskörperchen* stammt. Es verrät sich *in ihnen* schon durch die Farbe. Vor allem aber läßt es sich mit Hilfe der obengenannten Reaktionen sehr schön nachweisen. Ich habe dazu Abstrichpräparate verwendet. Sie wurden zunächst einer kurzen Behandlung mit Salzsäure unterworfen. Es kommt dabei sehr auf die Kürze der Einwirkungsdauer bzw. auf genügende Verdünnung der Säure an; denn im Gegensatz zum Oxyd, das in Säuren nicht übermäßig leicht löslich ist, wird die Verbindung, in der sich das Eisen in den Körperchen befindet, besonders von Salzsäure sehr rasch, von Schwefelsäure etwas langsamer, von Salpetersäure am langsamsten angegriffen. Vielleicht ist diese leichte Löslichkeit aber auch nur auf sehr feine Verteilung zurückzuführen. Der Fortschritt der Reaktion läßt sich an der zunehmenden Entfärbung der Hüllmasse verfolgen. Ist sie völlig oder auch nur fast ganz entfärbt, dann gelingt der Eisennachweis selbstverständlich nicht recht innerhalb der Körperchen, sondern nur in der umgebenden Lösung. Dieser Umstand und gewisse andere Erwägungen führen zu der Meinung, daß das Eisen

in dem adsorbierten Gel nicht fest gebunden ist. Vielleicht ist es nur in Form des Hydroxydes beigemengt.

Am drastischsten erfolgt die „*Berlinerblau-Reaktion*“. Als eleganteste Ausführung, auf die ich in der Absicht gekommen bin, den Niederschlag auf die Körperchen zu beschränken, empfehle ich folgende Handhabung: Der Abstrich wird zuerst mit Ferrocyanikaliumlösung getränkt und dann der Einwirkung von Salzsäuredämpfen ausgesetzt, indem man den Objektträger mit der Schicht nach unten auf ein Schälchen oder sonst geeignetes Gefäß legt, in dem sich einige Tropfen starker Salzsäure befinden. Die Reaktion gelingt aber nicht minder deutlich, wenn man die Salzsäure in mäßiger Konzentration einige Augenblicke auf den Abstrich wirken läßt und danach mit Fließpapier sorgfältig absaugt. Nach Befeuchtung des Abstriches mit einem Tropfen Ferrocyanikalium bildet sich ein so dichter Niederschlag von Berlinerblau, daß das ganze Präparat bei makroskopischer Betrachtung tief blaugrün erscheint. Die Asbestosiskörperchen werden, je nach der Menge der Hüllsubstanz und je nach deren Eisengehalt im einen Extrem undurchsichtig und eher schwarz als dunkelblau, im anderen hell durchscheinend und preußischblau. Bei den besonders eisenreichen kommt es sogar häufig vor, daß der Niederschlag die Form der Asbestosiskörperchen mehr oder minder verdeckt, indem er über die Grenzen quillt. *Am wenigsten Eisen scheinen die Jugendstadien der Körperchen zu haben.* In neutraler Lösung gelingt die Reaktion natürlich nicht, während sie nach dem Ansäuern sofort einsetzt²⁴.

Mit *Ferricyankalium* in saurer Lösung tritt nur eine Verfärbung der Körperchen zu einem schmutzigen Olivgrün bis Braun ein. Demnach ist, wie zu erwarten, Eisen in der Ferrostufe nicht vorhanden.

Auch mit *Rhodankalium* läßt sich der charakteristische Farbeffekt erzielen, doch ist er wegen geringerer Absorption des Lichtes weniger auffallend als die Färbung bei der Berlinerblau-Reaktion. Ferner scheint sich die Rotfärbung mit der Zeit zu verlieren. Dauerpräparate machen mir nach halbjährigem Liegen den Eindruck wesentlich geringerer Intensität der Färbung.

Noch bequemer, als Lungenschnitte zu veraschen, möchte es scheinen, ganze Lungenstücke zu verbrennen und aus der Asche Präparate herzustellen. Ich bin von dem Erfolge nicht befriedigt gewesen. Man erhält einerseits zuviel aus dem Blute stammendes Eisenoxyd, in dem dann die Nadeln, manchmal zu ganzen Filzen vereinigt, versteckt liegen, anderseits zerbrechen die Nadeln zu leicht zu kleinen und kleinsten Stücken, da sie durch das Glühen spröde geworden sind. Jedenfalls entstehen Beobachtungsumstände, die zu Täuschungen und Fehlschlüssen Veranlassung geben können. Neues und anderes als an den veraschten Schnitten habe ich in der Asche von Lungenstücken nicht gefunden.

Durch die Verbrennung ist mit genügender Sicherheit dargetan worden, daß die Hüllsubstanz organischer Natur ist; nicht jedoch ist damit bereits erwiesen, daß es sich um einen Eiweißkörper handelt.

Am einfachsten mag eine Prüfung mittels der *Biuret-Reaktion* scheinen. Abgesehen von anderen Schwierigkeiten, auf die weiter unten zurückzukommen sein wird, macht indessen schon der Umstand die Reaktion im vorliegenden Falle wertlos, daß die Asbestosiskörperchen in den Abstrichen ebenso wie in Schnitten mit anderer Lungensubstanz vergesellschaftet sind. Obgleich die Reaktion positiv ausfällt, ist sie nicht eindeutig; ich fand keinen Kunstgriff, sie auf die Körperchen zu beschränken.

Ich habe auch keine andere anwendbare spezielle Reaktion auf Eiweiß kennengelernt und mich daher begnügen müssen, den Eiweißcharakter der Hüllsubstanz aus dem allgemeinen Verhalten zu begründen.

Die Eiweißkörper gehören durchweg zu den *amphoteren* Stoffen. Es gibt unter ihnen welche, bei denen der Säurecharakter weitaus überwiegt, so das Casein. Selbst bei ihm tut sich indessen das amphotere Verhalten dadurch kund, daß es sich in konzentrierten Säuren gut löst. Andere sind ausgesprochen basisch, wie die Histone und Protamine. Diese werden von schwächeren Alkalilösungen sogar zunächst ausgefällt; es bedarf kräftiger Alkalikonzentrationen, um sie wieder in Lösung zu bringen.

Gehört nun die Hüllmasse der Asbestosiskörperchen zu derartigen amphoteren Eiweißkörpern, so muß sie sich sowohl in Säuren, als auch in Alkalien lösen. Dieser Forderung genügt sie^{25, 26}, und in Ansehung des Umstandes, daß das Vorhandensein *anorganischer* amphoterer, noch dazu leichtflüchtiger Stoffe keinerlei Wahrscheinlichkeit hat, kann es als gesichert gelten, daß sie aus Eiweiß besteht.

Für die mikroskopische Beobachtung des Lösungsvorganges ist die weniger flüchtige Schwefelsäure geeigneter als die rasch verdampfende Salz- oder Salpetersäure. Überdies scheint Schwefelsäure bis zu relativ großen Verdünnungen besonders wirksam zu sein. Wieder wurden Abstrichpräparate zu den Untersuchungen verwendet.

Bei Behandlung mit kalter verdünnter Schwefelsäure (1 Vol. H_2SO_4 + 4 Vol. H_2O) sieht man schon nach wenigen Minuten den Fortschritt der Zersetzung: Nach 10 Min. erscheinen die Körperchen nur noch lichtgelb. Bei denen, die aus diskusartigen Scheiben zusammengesetzt sind, werden die Abstände zwischen den einzelnen Platten größer, die Scheiben also schmäler. Ebenso verringert sich das Volumen der Kugelchen von perl schnurartigen Körperchen. Einzelne kleine Kugelchen verschwinden bereits.

Nach etwa 20 Min. schreitet der Angriff langsamer fort. Man erkennt indessen schon nach dieser kurzen Zeit, daß die Asbestfasern bei den stark granulierten Körperchen zerstört sind. Sie sind in mehr oder minder zahlreiche — und entsprechend kurze — Bruchstücke aufgeteilt, deren Enden durch Auflösung der Hüllmasse freigelegt werden; ja, es verschwinden ganze Kugelchen- oder Plattenreihen, ohne eine Spur der Nadel

zu hinterlassen, um die sie sich angesetzt hatten. Damit werden die Beobachtungen bestätigt, die in dieser Hinsicht an den veraschten Schnitten gemacht wurden.

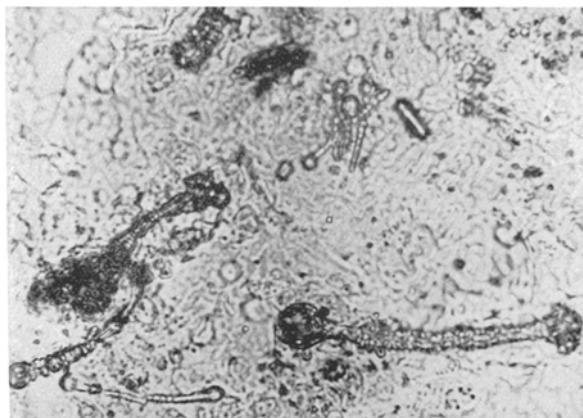


Abb. 32. *Asbestosiskörperchen aus Abstrich.* Vergrößerung 500mal. Behandelt mit kalter verdünnter Schwefelsäure (1 : 12 Vol.). Unmittelbar nach Befeuchtung mit Säure. Der Angriff erfolgt in den ersten Minuten sehr energisch. Das Eisen wird rasch herausgelöst. Die Körperchen erscheinen deshalb erheblich aufgehellt. Es sind drei Gruppen vorhanden: rechts unten, links unten, oben mitten.

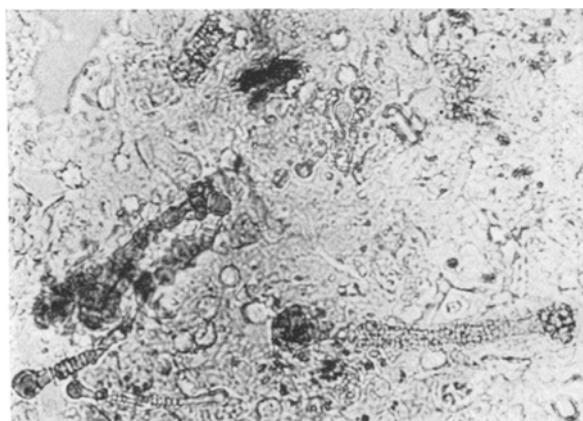


Abb. 33. *Dieselbe Stelle, 1 Stunde nach Benetzung mit Säure.* Bei den Körperchen unten ist wohl eine weitere Aufheilung durch Entziehung des Eisenoxydes zu spüren, kaum jedoch eine Auflösung des Eiweißes. Hingegen das Körperchen oben rechts ist dünner geworden, wie überhaupt kleine Perlen und frei stehende Scheiben am raschesten der Lösung verfallen müssen.

Mit zunehmender Zeit bemerkt man immer weitergehende, aber auch immer langsamer fortschreitende Zerstörung der Körperchen. Die Abb. 32—37 geben eine beredte Übersicht über den Verlauf der Auflösung. Es ist bei dieser Versuchsreihe kalte Schwefelsäure in der Verdünnung 1 : 12 Vol. angewandt worden.

Abb. 32 zeigt das Aussehen des Abstriches unmittelbar nach der Befeuchtung mit Säure. Die folgenden Abbildungen stellen die Zustände nach 1, 2, 4, 6, 8 Stunden dar. Man sieht, daß nicht alle Körperchen gleich stark angegriffen werden; das rechts unten liegende ist verhältnismäßig widerstandsfähig. Die Körperchenhaufen

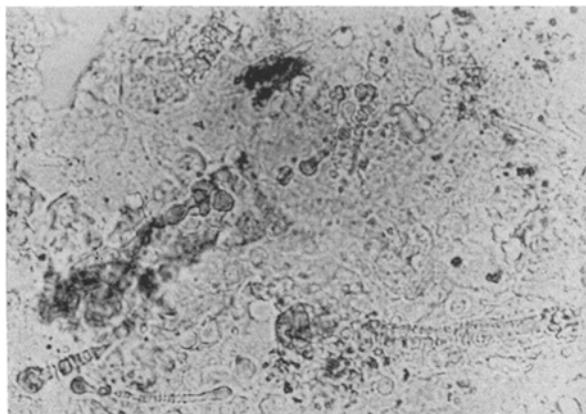


Abb. 34. Dieselbe Stelle, 2 Stunden nach Benetzung mit Säure. Die obersten Körperchen der Gruppe links unten haben besonders gelitten.

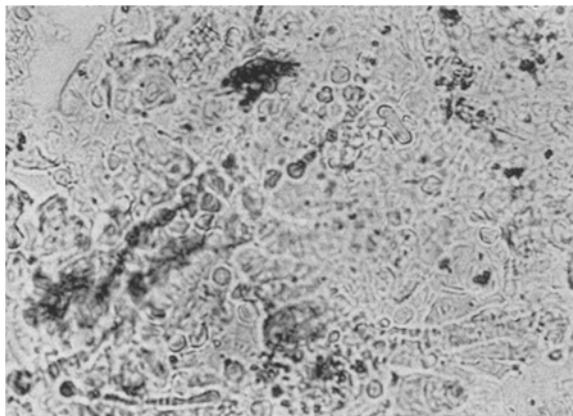


Abb. 35. Dieselbe Stelle, 4 Stunden nach Benetzung mit Säure. Man hat nicht mehr den Eindruck so rascher Einwirkung der Säure wie am Anfang des Versuches, obwohl der Fortschritt der Auflösung unverkennbar ist. Insbesondere sind die beiden Körperchen, auf die bei Abb. 31 aufmerksam gemacht wurde, trotz ihrer Größe fast nicht mehr aufzufinden.

unten links und oben mitten hingegen sind weitergehend gelöst, einzelne Körperchen daraus bis zum völligen Verschwinden.

Eine andere Versuchsreihe war zu dem Zwecke angesetzt worden, den Einfluß der Säurekonzentration auf die Lösungsgeschwindigkeit festzustellen. Es wurden Abstriche mit konzentrierter und mit verdünnter Schwefelsäure in den Abstufungen von 1 Vol. H_2SO_4 + 1, 2, 3 . . . 12 Vol. H_2O behandelt. Wie zu erwarten, greift konzentrierte Säure am heftigsten an. Aber auch alle übrigen Konzentrationen

legen die Kieselgerüste der Asbestnadeln frei, indem sie die Eiweißhülle weglösen. Nach 18stündiger Einwirkung war in keinem Präparate mehr eine Spur von Eiweißhülle auf den Nadeln zu entdecken.

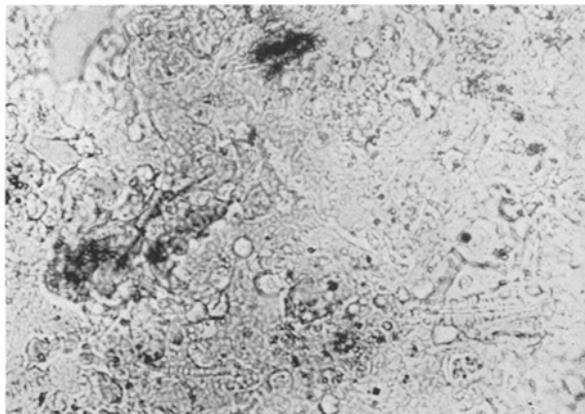


Abb. 36. *Dieselbe Stelle, 6 Stunden nach Benetzung mit Säure.* Die obere Gruppe ist fast ganz verschwunden. Von der Gruppe links unten ist lediglich gut nur noch das unterste Körperchen erhalten. Im Gegensatz zu dem Körperchen rechts unten, das verhältnismäßig resistent ist, sind auch Asbestnadeln nicht wahrnehmbar.

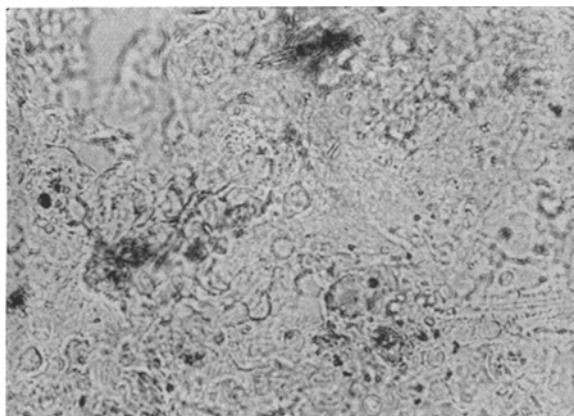


Abb. 37. *Dieselbe Stelle, 8 Stunden nach Benetzung mit Säure.* Mit Ausnahme des Körperchens rechts unten ist die Auflösung allenfalls fast vollendet. Man sieht also, daß die Eiweißhüllen in Säure löslich sind. Die Geschwindigkeit der Lösung ist abhängig von Form und Alter der Körperchen.

Die entblößten Nadeln sind ohne Ausnahme schwach doppelbrechend, mit dem größeren Brechungsexponenten in der Nadelrichtung, wie das eben für den Chrysotilasbest und seine Kieselskelete charakteristisch ist.

Die anderen starken Säuren wirken analog²⁷, doch verdunsten sie zu rasch, als daß einmalige Benetzung genügte, alle Nadeln ihrer Hülle zu entkleiden. Am

ehesten geschieht das noch bei kalt angewandter Salzsäure, die auch die Körperchen durch Extraktion des Eisens am raschesten entfärbt. Erhöhung der Temperatur ist nicht förderlich, da die kleine Säuremenge, die jeweilen anwendbar ist, dann noch rascher verdampft. Durch Behandlung von Abstrichen mit konz. HNO_3 kann man eine Reihe von Präparaten herstellen, die wegen der langsamem Einwirkung dieser Säure den stufenweisen Angriff und damit den Lösungsvorgang schön zeigt. Man braucht nur auf jedem Abstrich einen Tropfen Salpetersäure bei Zimmertemperatur verdunsten zu lassen und dies so oft zu wiederholen, als der Nummer des Präparates innerhalb der Reihe entspricht. 6 Abstriche genügen. Es fällt dabei auf, daß die Körperchen, die im Anfangsstadium der Umhüllung stehen und daher als eisenarm anzusprechen sind (S. 317), am ehesten entfärbt und gelöst werden, während, je älter und je weiter umgebildet die Hülle ist, der Angriff durch die Säure desto geringer erscheint. Man gewinnt den Eindruck, daß die mannigfach gegliederten und geschrumpften, gealterten Hüllen nur noch Ruinen darstellen, insofern als die Eiweißmasse zum größten Teile von der Körperflüssigkeit resorbiert zu sein scheint. Daher die unregelmäßige, faltige und wulstige Oberfläche! In den übriggebliebenen Resten wäre dann das nicht resorbierte Eisen relativ angereichert. Damit müßte die erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen die Säure zusammenhängen.

Eine solche Versuchsreihe zeigt die Auflösung der Hüllsubstanz durch Säure auch in Dauerpräparaten außerordentlich überzeugend, weil den abgerauchten Säuremengen Zeitabschnitte äquivalent sind. Sie zeigt überdies, daß mit der Häufigkeit des Abrauchens die Anzahl der Körperchen oder vielmehr ihrer hinterlassenen Spuren, der Nadeln, abnimmt. *Ganz allgemein beobachtet man bei allen mit irgendwelcher starken Säure behandelten Abstrichen, daß weniger Nadeln hinterbleiben, als Körperchen vorhanden waren.* Da die Kieselgerüste des Asbestes nur durch Flußsäure gelöst werden könnten, nicht aber durch die angewandten Säuren, bleibt nur die Annahme übrig, daß die Nadeln in dem Eiweiß dispergiert werden, das sie umhüllt. Dafür sprechen ja auch die Formen der Nadeln, die nach der Veraschung von Schnitten zurückblieben (Vgl. S. 314).

Bevor jedoch dieser Gedankengang weiterverfolgt werden kann, ist über die *Einwirkung von Alkalien* auf das einhüllende Gel zu berichten.

Es wurden zunächst Abstriche verwendet, die ohne weitere Vorbehandlung entweder mit Kalilauge oder mit Natriumcarbonatlösung oder mit Barytwasser, jedes in verschiedenen Konzentrationen, versetzt wurden.

Barytwasser scheint infolge seiner raschen Umwandlung in Bariumcarbonat nicht imstande zu sein, eine erkennbare Einwirkung auf die Asbestosiskörperchen auszuüben.

Mit *Natriumcarbonat* und *Kalilauge* hingegen findet Veränderung statt, und zwar verläuft der Vorgang bei beiden Reagenzien analog, nur mit dem einen Unterschiede, daß Kalilauge rascher angreift.

Eine merkliche Veränderung der Gelhüllen durch Na_2CO_3 -Lösungen war nach 72stündiger Versuchsdauer nur bei den Jugendformen nachweisbar, die auf Grund verschiedener Erfahrungen als eisenärmer anzusprechen sind als die Altersformen; und zwar erfolgt die Veränderung

im Sinne einer Alterung der Körperchen: aus den prallen Formen gehen Gebilde mit faltigen Oberflächen hervor. Des weiteren darf man sagen, daß diese gewiß auf Resorption beruhende Umgestaltung innerhalb des angewandten Konzentrationsbereiches deutlich zunimmt mit Abnahme der Konzentration. Doch ist die Einwirkung im ganzen sehr milde, so daß es vorerst gewagt erscheinen mag, die geringen Umwandlungen der Formen als Auflösungserscheinungen zu deuten.

Nach 8tägiger Versuchsdauer hat sich indessen die Sachlage schon geändert. Es häufen sich nicht nur Gestalten, denen vergleichbar, die in den Abb. 39 und 40 dargestellt sind, sondern oft sind die Asbestskelete ringsum besetzt von Gebilden, unregelmäßig geformten Dornen vergleichbar, ja, diese Dornen verlieren sich nach außen gar nicht selten in Züge einzelner, voneinander isolierter Partikelchen, abgeschnürter Teilchen, so daß nunmehr kein Zweifel daran sein kann, daß die Hüllmasse durch das Alkalicarbonat aufgelöst wird.

Genau wie nach den Erfahrungen bei der Säurebehandlung gewinnt man auch hier den Eindruck, daß die Gelmasse umso resistenter ist, je mehr in ihr das Eisen angereichert ist, und bei den stehengebliebenen Teilen möchte man glauben, sie bestünden wesentlich aus dem nicht gelösten Eisen. Indessen findet es sich nach Behandlung eines solchen Präparates mit Salzsäure, daß dann nach Lösung des Eisens noch immer Eiweißreste vorhanden sind.

Das Ergebnis der Behandlung mit Kalilauge ist dem der Behandlung mit Natriumcarbonat gleich; nur der Ablauf des Vorganges erfolgt rascher. Die Abb. 12 und 13 zeigen Körperchen, die ohne voraufgegangene Enteisenung zur Ausführung der Biuretreaktion mit $\frac{2}{1}$ norm. Kalilauge behandelt worden sind.

Diesen Versuchsreihen haftet allerdings etwas Unbefriedigendes an. Wenn sie auch für den, der zahlreiche Parallelversuche durchgeführt hat, hinreichend überzeugend sein mögen, so ist es doch unschön, daß ähnliche Formen, wie sie sich durch Auflösung des Geles bilden, von Anfang an in den Abstrichen und Lungenschnitten vorhanden sind. Aus solchen Formen wurde ja von vornherein auf die Resorption der Hüllsubstanz geschlossen! Die Vermehrung der Lösungsformen durch Auszählung darzutun, wäre ein ebenso unsicheres wie umständliches Verfahren, da es vor und nach der Reaktion dem subjektiven Ermessen anheimgestellt bleibt, ob ein einzelnes Partikelchen als Lösungsform betrachtet werden soll oder nicht. Die schwerstwiegende Mißlichkeit liegt jedoch darin, daß immer Ruinen der Hüllmasse stehenbleiben. Solange aber die Auflösung nicht vollständig erfolgt, ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß das Gel auf die Einwirkung von Alkalilösungen nur mit einer Schrumpfung antwortete.

Um eine Entscheidung herbeizuführen, wurde folgender Versuch angesetzt: Die Betrachtung der Lungenschnitte führte zu der Annahme,

daß als nicht resorbierter Rest der Asbestosiskörperchen jenes schwarze Pigment von Eisenoxydkörnern übrigbliebe (vgl. S. 309). Bei der Behandlung der Abstriche mit Säuren und Alkalien entstand der Eindruck, daß das Gel um so resistenter sei, je mehr in ihm das Eisen angereichert ist. Da zudem durch Alkalien das Eisen aus seinen Lösungen ausgefällt wird, erschien es ratsam, sich zuerst von ihm zu befreien. Es wurden zu diesem Zwecke Abstriche mit Salzsäure vorbehandelt, bis die Asbestosiskörperchen entfärbt waren, d. h. also: bis mindestens die Hauptmenge des Eisens ausgezogen war. Nach gründlichem Waschen wurde Kalilauge in konzentrierter Lösung darauf gegeben und ein Deckglas aufgelegt. Eine geeignete Stelle wurde unter dem Mikroskope eingestellt und während der ganzen Versuchsdauer unverändert so belassen. Nur ein Ersatz der Verdunstungsverluste fand durch gelegentliche Zugabe von Wasser statt.

Es konnte vollständige Auflösung des enteisenten Geles festgestellt werden.

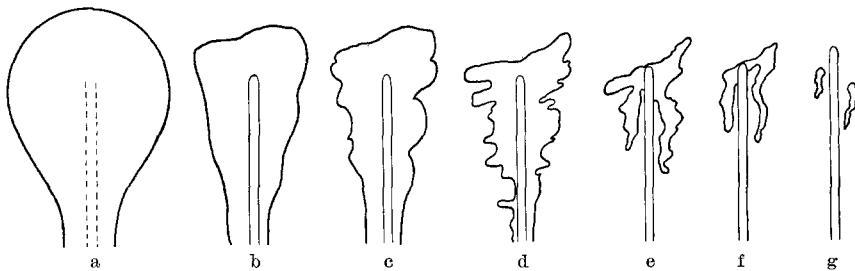


Abb. 38a-g. Einwirkung von Kalilauge auf den Kopf eines Asbestosiskörperchens. a Zu Beginn des Versuches. b Nach 30 Min. c Nach 1 Stunde. d Nach 4 Stunden. e Nach 18 Stunden. f Nach 28 Stunden. g Nach 111 Stunden.
Vergrößerung etwa 2200mal.

Wegen der Farblosigkeit und vor allem wegen der geringen Verschiedenheit der Brechungsexponenten von Gel und Lauge eignen sich die Präparate nicht recht zur photographischen Darstellung. Ich habe es daher vorgezogen, einzelne Stadien der Auflösung an einem „Hantelkopf“ mit Hilfe des Zeichenspiegels wiederzugeben, wobei allerdings auf eine ganz getreue Reproduktion der feinen Einzelheiten der Umrisse verzichtet werden mußte — und verzichtet werden durfte; denn darauf kommt es ja nicht an.

Abb. 38a stellt den Kopf eines symmetrischen hantelförmigen Körperchens vor der Bedeckung mit Kalilauge dar, um einen Vergleich der Größenverhältnisse in den folgenden Abbildungen zu ermöglichen. Die Asbestnadel war schon in diesem Zustand erkennbar. Zu Anfang erfolgte ungemein rasche Auflösung. Bereits 30 Min. nach Aufbringung der Lauge (Abb. 38b) war die ebenmäßig gerundete Form verschwunden. Unter Verkleinerung des Volumens war ein schwach eingebuchtes, keulenförmiges Gebilde entstanden, in dem die Nadel mit erheblich größerer Deutlichkeit zu sehen war als zu Beginn des Versuches — wohl infolge Diffusion von Lauge in das Gel.

Nach 1 Stunde (Abb. 38c) erwiesen sich das Volumen und die Gesamtgestalt wenig verändert; jedoch waren die Umrisse im einzelnen sehr unregelmäßig geworden: tief eingebuchtet und zackig.

Im gleichen Sinne, aber immer langsamer fortschreitend, ging die Veränderung weiter, so daß es nicht lohnend erschien, den nach 2 und 3 Stunden bestehenden

Zustand festzuhalten. Es ist erst das Stadium nach 4 Stunden wieder aufgezeichnet (Abb. 38d). Man erkennt einen nicht unerheblichen Substanzverlust, vor allem am oberen Ende und an der linken Seite der Nadel. Zugleich stellten sich alle Umrißkonturen sehr viel zarter dar; die Brechungsexponenten vom Gel des Körperchens und der umgebenden Lösung haben sich einander genähert, offenbar durch Auflösung von Gelsubstanz in der Lauge und umgekehrt.

Nach 18 Stunden war nur noch ein Rudiment des Kopfes vorhanden (Abb. 38e). Die Auflösung war an der Nadel entlang besonders rasch verlaufen; aber auch an allen übrigen Teilen hatte ein erheblicher Substanzverlust stattgefunden. Nach 24 Stunden war die Asbestnadel in ihrer ganzen Länge fast völlig freigelegt, bis auf die löcherigen Reste der Köpfe.

Nach 28 Stunden (Abb. 38f) war eine weitere Volumabnahme zu beobachten; jedoch erfolgte die Auflösung immer langsamer. Die Reste der Gelmasse des Kopfes verkleinerten sich mit zunehmender Zeit nur unerheblich. 111 Stunden nach Zusatz der Kalilauge (Abb. 38g) waren sie noch immer nicht ganz beseitigt. Erst nach weiteren 65 Stunden konnte von der Hüllsubstanz nichts mehr erkannt werden.

Dieser Versuch läßt keinen Zweifel bestehen, daß *das adsorbierte Gel in Kalilauge restlos löslich* ist. Er kann auch, in Verbindung mit den vorher mitgeteilten Versuchen über die Löslichkeit in Alkalien, als Bestätigung für die ausgesprochene Vermutung genommen werden, daß das im Gel enthaltene Eisen die vollständige Auflösung hindert oder mindestens hemmt.

Da die nicht enteiseten Körperchen sich gegen Natriumcarbonat ebenso verhalten wie gegen Kalilauge, wird man allgemein sagen dürfen, daß *das adsorbierte Gel in Alkalien löslich* ist.

Ob die Verlangsamung der Lösung mit der Dauer der Einwirkung von Säuren oder Alkalien lediglich eine Angelegenheit der Diffusion ist, also der Konzentrationsverhältnisse um das Körperchen herum, oder ob in den inneren Schichten der Hülle Veränderungen des Kolloides stattgefunden haben, oder aber ob verschiedene Eiweißkörper sich am Aufbau beteiligen, sei dahingestellt.

*Durch die Löslichkeit in Alkalien und in Säuren ist das Gel als Amphotер gekennzeichnet, und damit ist — zumal unter Berücksichtigung der Tatsache der Verbrennbarkeit sowie der Umstände von Ort und Art der Koagulation — die Eiweißnatur des Stoffes bis zur Sicherheit wahrscheinlich gemacht*²⁸.

Es möge gestattet sein, hier nochmals auf die Biuretreaktion zurückzukommen. Oben (S. 318) wurde schon gesagt, daß sie sich nicht auf die Gelhüllen beschränken ließ, sondern auch in der umgebenden Lösung die charakteristische violettrötliche Färbung erzeugte, so daß es nicht eindeutig war, ob auch die Körperchen als solche oder nur die — der Menge nach reichlichere — Lösung positiv reagierten.

Die Sachlage erfährt eine weitere Komplikation dadurch, daß die Körperchen im Verlauf der Reaktion verschwinden. Es ist selbstverständlich aussichtslos, die zarte Anfärbung bei dem goldbraunen, eisenhaltigen Gel wahrnehmbar machen zu können. Infolgedessen bleibt nichts anderes übrig, als der Reaktion eine Entfärbung der Körperchen durch Entziehung des Eisens mittels HCl vorzugehen zu lassen. Schon dadurch wird von der Eiweißhülle etwas weggelöst. Fügt man nun nach dem Auswaschen Kalilauge hinzu, so schreitet die Auflösung, wie oben dargestellt, anfänglich ganz besonders schnell fort. Bei Zugabe des Kupfersulfates befindet

sich demnach bereits viel Eiweiß in Lösung. Dieses reagiert rasch, so daß die Lösung sofort verhältnismäßig tief violettrot wird. In die Körperchenmasse hingegen, die sich fortdauernd weiter löst, müssen die Reagenzien erst hineindiffundieren. Infolgedessen geschieht hier die Anfärbung langsam und um so weniger charakteristisch, als nicht nur neben, sondern auch über und unter den Körperchen sich bereits gerötete Lösung befindet. Ich möchte daher in diesem Falle die Biuretreaktion nicht als entscheidend ansehen.

Man kann daran denken, als weiteren Beleg für die Eiweißnatur des Geles zu versuchen, es *mit Trypsin zu verdauen*. Die Aussichten sind nicht

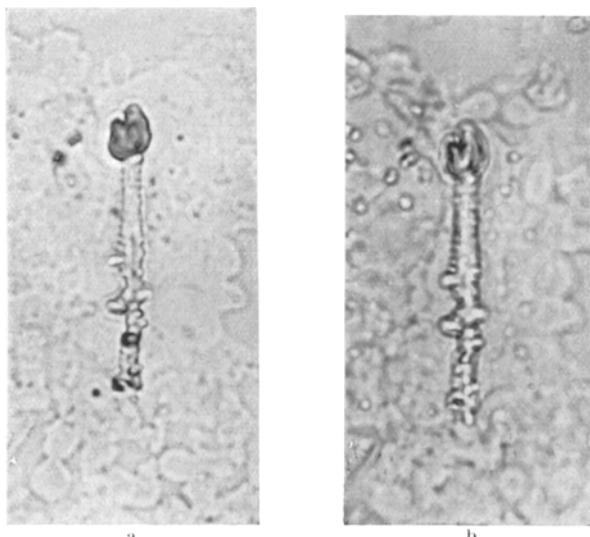


Abb. 39a und b. *Asbestoskörperchen aus Abstrich*. Vergrößerung 925mal. *Mit Trypsinlösung behandelt*. Die beiden, in etwas verschiedener Einstellung photographierten und daher anschaulicheren Bilder zeigen die merkwürdig unregelmäßigen Formen — Einbuchtungen, Ausstülpungen —, wie sie bei Abtransport von Eiweiß aus der Hülle entstehen. Es ist hier Eiweiß durch Trypsin verdaut, also aus dem Körperchen herausgelöst worden. In den Ausstülpungen ist das Eisenoxyd angereichert. Daher die erhöhte Beständigkeit.

übermäßig günstig, da eine Härtung durch die Formalinlösung stattgefunden hat, in der die Lunge aufbewahrt worden ist. Überdies ist der Einwand möglich, daß bei positivem Ausfall des Versuches nicht das Trypsin, sondern das Alkali wirksam gewesen sei, mit dem die Trypsinlösung schwach basisch zu machen ist.

Da eine sehr geringe Menge von Natriumcarbonat genügt, um eine Trypsinlösung schwach alkalisch zu machen, habe ich unbedenklich eine Versuchsreihe angesetzt. Es wurden auf Abstriche Tropfen von Trypsinlösung aufgebracht, und, da die Einwirkung sehr langsam erfolgte, wurden die Objektträger in einem Exsiccator über Wasser aufbewahrt, um das Eintrocknen der Trypsinlösung zu verzögern. Jeden Tag wurde die alte Lösung mit Filterpapier abgesogen und nach zweimaligem Auswaschen des Abstriches durch neue ersetzt. Außerdem wurden kleine Lungenstückchen im Reagensglas mit Trypsinlösung übergossen und das Sediment, in dem sich nach mehreren Tagen die Körperchen in ziemlicher Menge

befanden, mit einer Pipette zur Untersuchung entnommen. Auch hier wurde die Trypsinlösung täglich erneuert.

Der Erfolg war bei beiden Methoden derselbe: Es hatten sich nach einer Versuchsdauer von 14 Tagen Formen angehäuft, wie sie die Abb. 39, 40, 41 zeigen. Die erste stammt aus einem Abstrich; die beiden anderen geben Körperchen wieder, die dem Reagensglase entnommen sind. Man sieht: es sind dieselben Gebilde, wie sie durch Einwirkung von Alkalien entstehen, wie sie jedoch genau so als weit vorgeschrittenes Abbau stadium auch in den unveränderten Lungenschnitten vorkommen. Es



Abb. 40.



Abb. 41.

Abb. 40 und 41. *Asbestosiskörperchen, aus Lungenschnitten durch Trypsinlösung isoliert.* Vergroßerung 925mal. Die Körperchen haben längere Zeit im Reagensglas unter Trypsinlösung gelegen. Dadurch sind sie in derselben Weise abgebaut worden wie das Körperchen der Abb. 39. Bei Abb. 41 ist die Einwirkung der Lösung wegen der besonderen Oberflächenverhältnisse nur am Kopfe deutlich.

sind Ruinen, insofern als viel Eiweiß herausgelöst ist, während in dem stehen gebliebenen Rest das Eisen sich angereichert hat. Wie bei den mit Alkali behandelten Körperchen kann man das übriggebliebene Eiweiß zeigen, indem man das Eisen durch Säure herauslöst. Daß eine Einwirkung der alkalischen Trypsinlösung stattgefunden hat, ergibt sich nur aus der Verschiebung des Mengenverhältnisses der Formen gegenüber dem frischen Abstrich oder Schnitt. Die Häufung der Abbaugebilde ist wenig deutlich zu erkennen bei dem Sediment aus dem Reagensrohr. Durch die beständige Auflösung von Lungengewebe werden immer neue, noch kaum angegriffene Körperchen freigelegt und dem Sedimente zugeführt — es sei denn, daß man zu einer gegebenen Zeit die Lösung mit den Körperchen von den Lungenstückchen trennt.

Ein Blindversuch, bei dem einige Abstriche mit Natriumcarbonatlösung von derselben Konzentration behandelt wurden, wie sie in der Trypsinlösung vorlag, führte zu keiner nennenswerten Veränderung der Körperchen. *Es darf mithin der in den Versuchen beobachtete Abbau der*

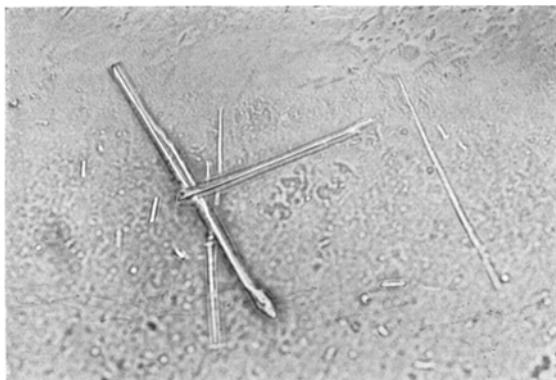


Abb. 42.

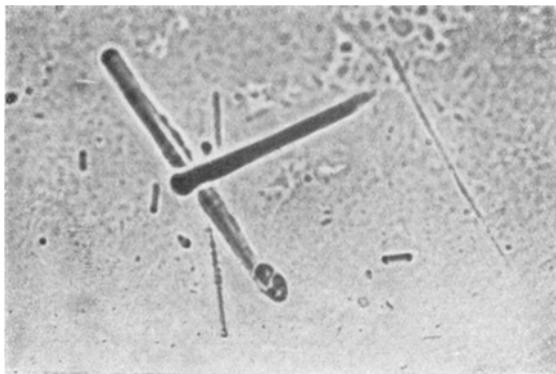


Abb. 43.

Abb. 42 und 43. *Künstliche Koagulation von Hühnereiweiß auf ausgelaugtem Asbest.* Vergrößerung 300mal. Abb. 42 ist namentlich auf die Asbestfasern eingestellt. Sie sind im oberen Teil des Bildes deutlich zu erkennen. Abb. 43 soll mehr die Form der Eiweißhülle veranschaulichen. Die Übereinstimmung mit Asbestoskörperchen ist unverkennbar.

Einwirkung des Trypsins zugeschrieben und darin ein weiterer Beweis dafür erblickt werden, daß die Gelhülle der Körperchen aus Eiweiß besteht.

Schließlich möge noch eines Versuches Erwähnung getan werden, durch den *künstliche Koagulation von Hühnereiweiß auf ausgelaugten Asbestfasern* bezweckt wurde.

Als Asbestmaterial diente kanadischer Asbest aus der Institutssammlung. In „fein“ zerfasertem Zustande, aber noch ungemein grob gegenüber den Nadelchen

der Lungenschnitte, wurde er im Reagensrohr mit verdünnter Schwefelsäure übergossen zur Herauslösung von Mg und Fe. So blieb er, abgesehen von gelegentlichem Umschütteln, einige Wochen sich selbst überlassen. Nach Auswaschen bis zum Verschwinden der Sulfatreaktion wurden die geschmeidigen Kieselsäureskelete auf hohlgeschliffenen Objekträgern ausgebreitet und mit wässrigen Lösungen von Hühnereiweiß verschiedener Konzentration bedeckt. Um die Eintrocknung hintanzuhalten, wurden Deckgläser aufgelegt und überdies die Präparate in einem Exsiccator über Wasser stehengelassen.

Die Prüfung des Erfolges geschah nach Verlauf von 8 Tagen. In 2 Präparaten, nämlich mit den Konzentrationen 1 Vol. Eiweiß + 1 Vol. Wasser, sowie 1 Vol. Eiweiß + 6 Vol. Wasser, waren Koagulationen ähnlicher Art entstanden wie bei den Asbestosiskörperchen. Die Abb. 42 — mehr auf die Asbestfasern — und 43 — mehr auf die Darstellung der Umhüllungen eingestellt — zeigen derartige Gebilde aus dem zuerst genannten Präparaten. Man sieht in Abb. 42 die hellen, scharf begrenzten Asbestfasern, umgeben von einer dunkleren, unscharf gezeichneten Masse. Das ist koaguliertes Eiweiß. Auch die Beugungsstreifen fehlen nicht, die hier wie bei manchen Abbildungen der Asbestosiskörperchen die Grenzen der Gebilde begleiten. Abb. 43 zeigt dieselbe Stelle; ist jedoch auf eine etwas höhere Ebene eingestellt. Infolgedessen erscheinen die kopfartigen Verdickungen der Enden deutlicher; ebenso treten bei den dünneren Fasern unterhalb der Mitte des Bildes und an seiner rechten Seite die perlchnurähnlichen Konturen besser hervor — alles Eigentümlichkeiten, die bei den Asbestosiskörperchen zum Wesentlichen der Gestalt gehören.

Wenn auch nicht alle 12 Präparate zum gleichen Erfolg geführt haben, so lassen doch diese 2 erkennen, daß die Koagulation von Eiweiß aus seinen Lösungen durch und auf Fasern von ausgelaugtem Asbest, also auf dem Kieselsäure-Anionengerüst von Krystallen, ein einfacher Vorgang ist, der außerhalb des menschlichen Körpers zu ganz analogen Gebilden führt wie innerhalb des Körpers.

Der einzige namhafte Unterschied der künstlichen Asbestosiskörperchen gegenüber den natürlichen ist der Mangel an Eisen. Er ist durch die Versuchsumstände, nämlich die Zusammensetzung der Eiweißlösung einerseits und die voraufgegangene Enteisenung des Asbestes anderseits zwangsläufig bedingt.

Wenn sonach auch alles dafür und nichts dagegen spricht, daß das von den Asbestnadeln adsorbierte Gel zu den Eiweißkörpern gehört, so bleiben doch sämtliche Fragen über die besondere Beschaffenheit noch offen. Es ist daher *wünschenswert, vermittels einer quantitativ durchgeföhrten Verbrennung den Sachverhalt erneut zu bekräftigen und weiter zu erkunden.*

Wie bereits oben angedeutet ist, bin ich der Meinung, daß ein so umfangreicher und schwieriger Versuch an völlig frischem, chemisch unverändertem Material vorgenommen werden müßte.

Fürs erste wird man Bedenken haben, ob sich durch die Abstrichmethode soviel Körperchen isolieren lassen, daß die Substanz für eine Verbrennung ausreicht. Ich selbst habe solche Bedenken gehabt und mich deshalb durch eine überschlägliche Rechnung von der Möglichkeit des Unternehmens überzeugt, wobei selbstverständlich nur von der Häufigkeit

der Asbestosiskörperchen in den mir zur Verfügung stehenden Lungen-schnitten ausgegangen werden konnte.

Obwohl anzunehmen ist, daß die Zahlen von Fall zu Fall etwas anders sein werden, mag es nicht ohne Interesse sein, die für meinen Fall errechneten Werte zu hören.

Ich teile zunächst eine Tabelle mit, die eine von mir zur ersten Orientierung vorgenommene Zählung der Fremdkörper in einem Lungenschnitt enthält. Ich habe nur 6 Felder von je 0,09 qmm ausgezählt. Das ist für eine statistische Erfassung zu wenig, doch hat sich genügende Übereinstimmung mit einer umfangreicherer Zählung herausgestellt, die ich weiter unten heranziehen werde.

Tabelle 3. Verteilung der Fremdkörper in einem Lungenschnitt.

Nummer des Feldes von 0,09 qmm	Anisotrope Körper		Isotrope Körper (Asbestosiskörper)		Staubhaufen (resorbierbare Asbestosiskörperchen)
	1. nackte Astbestnadeln	2. kurze asbest- u. andersartige Mineral- partikeln	1. gestreckt	2. rundlich	
I	3	6	10	13	21
II	1	2	12	14	16
III	1	1	17	19	16
IV	—	1	2	4	3
V	—	3	3	4	13
VI	3	2	1	3	19
Mittel:	1,3	2,5	7,5	9,5	14,7

Im einzelnen zeigt die Tabelle große Unregelmäßigkeit in der Verteilung. Es grenzen ja auch im Schnitt Gewebepartien und Lungenbläschen aneinander, so daß sich große und geringe Häufigkeiten notwendig ergeben müssen. In der Lunge im ganzen mögen ebenfalls dichter von Asbestosiskörperchen besetzte Felder mit dünner besetzten wechseln. *Charakteristisch ist, daß die nackten Mineralpartikeln in der Minderzahl sind, während die eingekapselten Fragmente sehr viel zahlreicher und die Resorptionsreste am häufigsten auftreten.* Es sind im Mittel fast 6mal soviel gestreckte Asbestosiskörperchen vorhanden wie nackte Nadeln, und ziemlich genau doppelt soviel Staubhaufen wie Asbestosiskörperchen. Das sind Zahlenverhältnisse, die in Anbetracht des Entwicklungsganges der Asbestosiskörperchen ohne weiteres zu erwarten und einleuchtend sind, und die man umgekehrt als Beleg für die Richtigkeit der vorgetragenen Theorie über den Auf- und Abbau der Körperchen, oder als Maßstab für die Dauer der Erkrankung, für die konstitutionelle Disposition dafür, auswerten könnte.

Noch eines ist bezeichnend: Wenn die kugeligen Asbestosiskörperchen zu den gestreckten im gleichen Verhältnis stünden wie die kurzen Mineralfragmente zu den Nadeln — eine Proportion, die doch wahrscheinlich wäre! — so müßte im Mittel die Zahl der rundlichen Körper 14,4 betragen statt 9,5. Die Differenz ist zu groß, als daß sie auf Irrtum bei der Zählung zurückgeführt werden dürfte. Zwei Gründe sind für den Mangel an Proportionalität möglich: Mineralfragmente, die nach einer Dimension ein wenig verlängert sind, gewinnen durch die Einhüllung beiderseits an Länge, so daß sie infolgedessen bei der Zählung mit zu den gestreckten Körperchen geschlagen werden mögen. *Vor allem aber muß der Abbau bei den winzigen kugeligen Körperchen rascher vonstatten gehen als bei den vergleichsweise großen Nadeln.* Es ist eine aus der Capillarchemie geläufige Sache, daß bei geringen Dimensionen der Einfluß der Grenzflächenspannung mit abnehmendem Radius

rasch wächst. Darum steigen besonders bei gekrümmten Grenzflächen die Löslichkeit und Reaktionsfähigkeit stark an²⁹. *Man kann deshalb den Unterschluß an kugeligen Körperchen gegenüber dem auf Grund der Proportionalität zu erwartenden Werte als ein Anzeichen dafür hinnehmen, daß eine Resorption der Asbestosiskörperchen und mit ihnen der Mineralfragmente stattgefunden hat.*

Etwa verbleibende Rückstände der kugeligen Körperchen, also einzelne winzige Staubkörnchen, entziehen sich gesonderter Zählung. Was in der Tabelle unter Staubhaufen angegeben ist, darf als Überbleibsel der gestreckten Körperchen gelten.

Die Tabelle 3 gibt die eine Grundlage für die Schätzung, ob sich genug Asbestosiskörperchen für eine quantitative Verbrennung gewinnen lassen. Als für diesen Zweck hinreichende Substanzmenge kann man 7—14 mg³⁰ veranschlagen. Die Tabelle enthält die Anzahl der Körper in der Flächeneinheit. Eine zweite derartige Zählung, aber größeren Umfanges und an einem anderen Schnitt angestellt, verdanke ich meinem Assistenten Dr. Stützel. Es sind in zwei zueinander senkrechten Richtungen je 51 Felder von 0,03 qmm ausgezählt worden. Unter Einbeziehung dieser Zählung errechnen sich auf den Quadratzentimeter Schnittfläche folgende Mengen von Körperchen (Tab. 4):

Man kann also die stattliche Anzahl von rund 8000 Asbestosiskörperchen und fast ebenso vielen Kügelchen für einen Quadratzentimeter Lungenfläche ansetzen.

Die andere Grundlage der Rechnung sind die Dimensionen der Körperchen. Von den Kügelchen mag wegen ihrer geringen Masse für diesen rohen Überschlag ganz abgesehen werden. Unter Berücksichtigung des Volums der „Hantelköpfe“ darf der Durchmesser der Asbestosiskörperchen zu $4\text{ }\mu$, die Länge zu $70\text{ }\mu$ angenommen werden (vgl. S. 299). Der Durchmesser der Asbestnadel ist im Mittel zu $0,5\text{ }\mu$, die Länge zu $50\text{ }\mu$ gefunden worden. Unter Zugrundelegung dieser Werte findet man:

$$\begin{array}{rcl} \text{Volum Asbestosiskörper} & = & 879,2\text{ }\mu^3 \\ \text{Volum Asbestnadel} & = & 9,8\text{ }\mu^3 \\ \hline \text{Volum Eiweißhülle} & = & 869,4\text{ }\mu^3 \end{array}$$

Setzt man das spez. Gew. des Eiweißes = 1, das des Chrysotilasbestes = 2,55 (in diesem Falle zu hoch, weil die schweren Mg- und Fe-Atome herausgelöst sind!), so erhält man:

$$\begin{array}{rcl} \text{Masse des Eiweißkörpers} & \sim & 870 \cdot 10^{-9}\text{ mg} \\ \text{Masse der Asbestnadel} & \sim & 25 \cdot 10^{-9}\text{ mg} \\ \hline \text{Masse des Asbestosiskörperchens} & \sim & 900 \cdot 10^{-9}\text{ mg.} \end{array}$$

Auf 1 mg gehen demnach mehr als 1 Million Asbestosiskörperchen, und um 1 mg Eiweiß zusammenzubringen, bedarf es nahezu $1\frac{1}{4}$ Millionen Asbestosiskörperchen.

Auf 1 qcm Lungenschnittfläche liegen fast 8000 Körperchen. Nimmt man an, daß man die frische Lunge in 2 mm dicke Scheiben zerschneiden könne, so entfallen auf 1 ccm Lunge 10 Schnittflächen von je 1 qcm. Aus 1 ccm Lunge lassen sich demnach *bestenfalls* 80000 Körperchen gewinnen, und um 1 mg Körperchen-eiweiß zu sammeln, brauchte man 12 ccm Lunge.

Dies sind jedoch rein theoretische Werte, die sich niemals verwirklichen lassen. Durch das Abstreichen wird nach meinen Erfahrungen nur ein kleiner Bruchteil

von der Anzahl der Körperchen erhalten, die sich auf der Schnittfläche befinden. Ich gehe kaum fehl, wenn ich annehme, daß es weniger als 20% sind.

Ferner müßten die Asbestosiskörperchen von den übrigen Massen getrennt werden, die in die Abstriche hineingehen, wie Gewebefasern, Blutkörperchen u. dgl. Auch beim Zentrifugieren wird man mit 75% oder mehr Verlust rechnen müssen.

Immerhin erscheint es möglich, wenn auch sehr mühsam, aus einer frischen Lunge genug Substanzmenge für die empfohlene Verbrennung herausholen zu können.

Noch eine Bemerkung sei im Anschluß hieran gestattet: Bereits früher ist es versucht (Cooke 1929b) und neuerdings wieder vorgeschlagen worden (Gardner und Cummings 1931), die Identität des Asbestes durch seine Beugungseffekte mit Röntgenstrahlen nachzuweisen: Die vorgenföhrte Rechnung wirkt durchaus nicht ermutigend; denn die Masse der Asbestnadel beträgt nur knapp 3% von der Masse des Asbestosiskörperchens, wobei überdies die unstatthaft Voraussetzung gemacht ist, daß der Abbau des Kieselgerüstes noch nicht begonnen habe.

Im übrigen ist die *röntgenographische Untersuchung zur Identifizierung der Nadeln gar nicht nötig*, da die sehr viel bequemeren und empfindlicheren krystalloptischen Methoden völlig ausreichende Sicherheit gewährleisten.

Nach den bisherigen Darlegungen hat sich die oben skizzierte Hypothese über die Bildung der Asbestosiskörperchen insoweit bestätigt, als die eingeatmeten Asbestnadeln an ihrer Oberfläche ein Gel aus der Körperflüssigkeit adsorbieren, während die Körperflüssigkeit aus dem Innern der Nadeln die schweren Atomarten abbaut. Ferner hat sich zeigen lassen, daß das adsorbierte Gel in Übereinstimmung mit unserer Erwartung wohl ohne Zweifel zu den Eiweißkörpern gehört. Des weiteren deuten die Formen der als gealtert bezeichneten Körperchen darauf hin, daß das adsorbierte Eiweiß vom Körper wieder resorbiert wird, und zwar unter Zurücklassung des Eisens; denn derartige Formen entstehen auch bei künstlichem Abbau, insbesondere dann, wenn infolge Verwendung von Alkalien oder Trypsin als Lösungsmitteln das Eisen nicht mit gelöst wird. Schließlich haben sich etliche Anzeichen ergeben, die als Beweis für die Annahme zu werten sind, daß das Kieselgerüst der Asbestnadeln in dem adsorbierten Eiweiß gelöst wird. Hierher gehören die Beobachtungen über die Korrosion und Quer teilung der Nadeln (S. 314), sowie über die Verschiebung des Zahlenverhältnisses zwischen Asbestosiskörperchen und Nadeln zu Ungunsten der Nadeln, wenn man das Eiweiß der Körperchen irgendwie zerstört (S. 318, 322).

Dieser letzte Punkt scheint mir so wichtig, daß er nicht nur mehr nebenbei erledigt werden darf, wie sich das gelegentlich der früheren Erörterungen gefügt hatte. Ich möchte daher die Aufmerksamkeit nochmals auf ihn lenken.

Um die Sache anschaulich klären zu können, habe ich in einem Abstrich eine Stelle aufgesucht, die möglichst zahlreiche, aber nicht zu dicht bei einander liegende

Körperchen verschiedener Altersstufen enthielt. Diese Stelle blieb während der Versuchsdauer unter dem Mikroskope eingestellt. Der Abstrich wurde nun mit kalter, wenig verdünnter Schwefelsäure (1 Vol. konz. H_2SO_4 + 2 Vol. H_2O) benetzt. Leider erfolgte die Einwirkung anfangs so heftig, daß sich das Aussehen der Körperchen auf der ersten photographischen Platte — die 5 Min. nach Zusatz der Säure belichtet wurde — bereits erheblich geändert hatte (Abb. 44). In unbenetztem Zustande war z. B. einzig bei dem kaulquappenähnlichen Körperchen, dessen Kopf sich ganz rechts, unmittelbar am frontalen Faden, befindet, die Asbestnadel zu erkennen. Sie spießte, noch nicht von Eiweiß eingehüllt, am dünnen Ende aus dem Körperchen heraus. Im Augenblitke der Aufnahme hingegen waren die Körperchen allesamt schon sehr durchsichtig, so daß man bei mehreren die Nadeln erkennen konnte. Auch von den Eiweißhüllen hatte sich bereits viel gelöst. Daher lassen sich in Abb. 44 Jugend- und Altersstadien leider nicht mehr genau unterscheiden. Ferner hatte unmittelbar nach der Zugabe der Säure eine Gasentbindung eingesetzt, die im weiteren Verlauf der Reaktion nicht zunahm. Man sieht in den Abb. 44 und 45 eine Anzahl runder Gasblasen, außen mit dem typischen breiten Schattenring, innen mit konzentrischen Beugungsstreifen. Da diese Blasen auch entfernt von den Körperchen aufsteigen, dürfen sie nicht ausschließlich auf die Körperchen bezogen werden. Infolgedessen interessieren sie hier nicht weiter.

Nach Verlauf einer Stunde war das adsorbierte Eiweiß so gut wie ganz aufgelöst (Abb. 45). Die danach noch erfolgenden Veränderungen waren so gering, daß es sorgfältiger Beobachtung bedurfte, sie wahrzunehmen. Auch später traten keine Veränderungen mehr ein. Abb. 46 zeigt den Zustand, wie er sich 66 Stunden nach Beginn des Versuches darstellte. Die beiden Aufnahmen sind praktisch identisch; nur ist bei der letzten die Einstellung ein wenig anders, und die Gasblasen sind entwichen.

Es muß auf einige Einzelheiten aufmerksam gemacht werden: Im Gesichtsfelde befanden sich 9 Körperchen, von denen jedoch das Plattenformat nur 7 aufgenommen hat. Das bereits erwähnte Körperchen rechts oben, mit dem Kopf am frontalen Faden, ist das einzige, das schon vor Beginn des Versuches die Asbestnadel in dem unteren, von Eiweiß nicht bedeckten Teil deutlich erkennen ließ. Nach Benetzung mit der Säure wurde sie durch das ganze Körperchen hindurch sichtbar, und zwar erwies sie sich in der kopfartigen Verdickung korrodiert, derart, daß ihr Aussehen an diesem Ende etwa einem im Schmelzen befindlichen Eiszapfen vergleichbar war. Der Eiweißmasse des Körperchens mangelte in der Umgebung dieses Endes die klare Durchsichtigkeit. Der Raum war nicht optisch leer, sondern es ging von der Nadel eine diffuse Trübung aus (Abb. 45), die auch nach 66 Stunden noch unverändert bestand (Abb. 46). Das andere Ende der Nadel war bis zum Schluß des Versuches sehr kräftig zu sehen. Man spürte an ihm keinerlei Formänderung. In den Abb. 45 und 46 tritt dies nicht so deutlich hervor, weil auf die diffuse Verteilung in dem Kopf eingestellt ist, nicht aber auf das in einer tieferen Ebene des Schnittes liegende Nadelende.

Das Nebeneinander von unverändertem Teil der Nadel am nicht umhüllten Ende und diffuser Verteilung im Eiweißwulst gibt die Erklärung an die Hand: *Es findet offensichtlich eine Dispersion des Kieselkörnelles der Nadel in das Eiweiß hinein statt*, die nach Maßgabe der wirksamen Menge des Dispersionsmittels verschieden weit geht. Dort, wo die Dispersion schon vorgeschritten ist, scheint der Eiweißabbau bereits zu beginnen; das Körperchen war in diesem Teile nach Art von Abb. 17 tief durchfurcht, so daß es von der Schwefelsäure rasch so zerfressen werden konnte, daß es in Abb. 44 den Eindruck einer gealterten Form macht (vgl. S. 318, vorletzter Abschnitt).

Ganz ähnlich stellte sich die Sachlage bei dem nach links benachbarten Körperchen dar (Abb. 44). Es war vom selben Formtypus wie das zuerst besprochene; jedoch blieb im unbenetzten Zustand die Asbestnadel verborgen, zumal auch das

nach rechts weisende Ende von Eiweiß eingehüllt war. Wohl aber kam sie nach Zugabe der Säure klar zum Vorschein. Besonders hervorgehoben sei, daß sie sich im Bereich der Verdickung des Körperchens in einzelne Teile aufgelöst hatte, die sich wie eine gestrichelte und weiterhin punktierte Linie aneinander reihten. Nach Verlauf

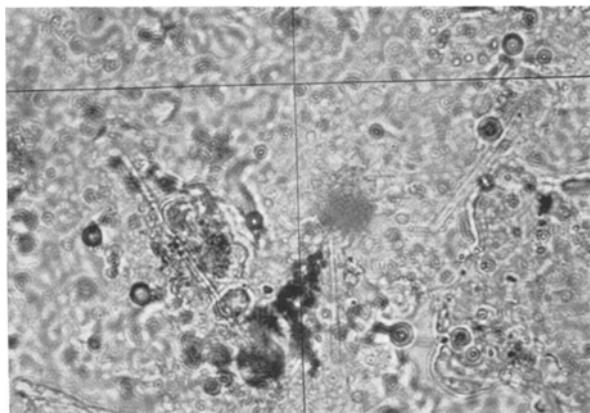


Abb. 44.

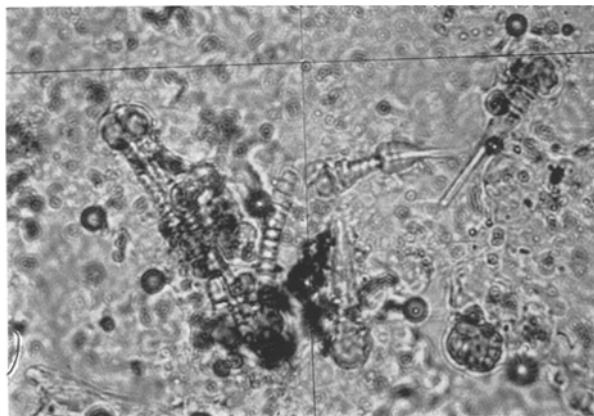


Abb. 45.

Abb. 44, 45 und 46. Asbestoskörperchen aus Abstrich, mit kalter verdünnter Schwefelsäure behandelt ($1\text{ H}_2\text{SO}_4 + 2\text{ H}_2\text{O}$ [Vol.]). Vergrößerung 600mal.

Abb. 44. 5 Min. nach Benetzung. Die Körperchen sind bereits angegriffen.

Abb. 45. 1 Stunde nach Benetzung. Die Körperchen sind fast ganz verschwunden. Manche haben kaum eine Spur hinterlassen. Ihre Asbestnadeln sind demnach völlig zerstört. Bei anderen sieht man eine Trübung innerhalb der Umrisse des ehemaligen Körperchens: Die Kieselsäuregerüste des Asbestes sind nur grob dispergiert. Wieder andere haben fast unverehrte Nadeln liegenlassen.

einer Stunde erschien die Nadel samt ihren Resten nur noch hauchschwach, kaum sichtbar. Auf das polarisierte Licht wirkte sie nicht ein. Nach $1\frac{1}{4}$ Stunden ließ sie sich nur am rechten Ende mehr ahnen als sehen (Abb. 46). Auch hier aber verblieb, zwar nicht dem Auge sichtbar, wohl aber durch die photographische Platte registrier-

bar, eine optische Trübung (Abb. 46). Sie ist räumlich — etwa um $\frac{1}{3}$ — ausgedehnter als der ursprüngliche Durchmesser des Körperchens. Ob das eine Folge von Quellung des Eiweißes infolge der Säurewirkung ist oder eine Diffusionserscheinung, mag dahingestellt bleiben. Ich halte das erste für zutreffend.

Daß hier, trotz der äußerlichen Ähnlichkeit der beiden beschriebenen Körperchen, im Gegensatz zu dem anderen kaum noch eine Spur von der Nadel übrigbleibt, darf als Folge verschiedenen Alters der Körperchen gewertet werden. Bei dem zweiten hat für den Dispersionsvorgang gewiß längere Zeit zur Verfügung gestanden. In Übereinstimmung mit dieser Annahme ist die Teilchengröße hier viel geringer: auf der photographischen Platte ist die Trübung kaum wahrzunehmen, bei subjektiver Beobachtung gelang es überhaupt nicht, sie zu sehen, entzog sich doch

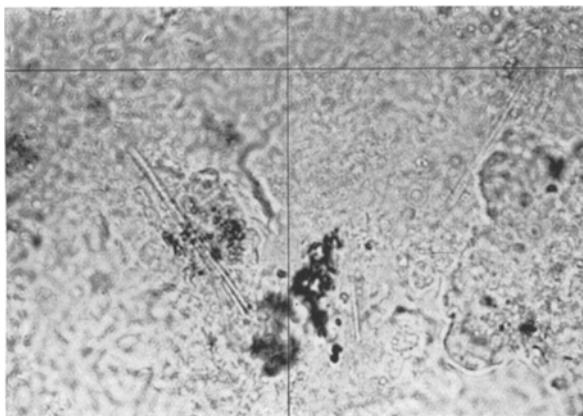


Abb. 46. 66 Stunden nach Benetzung mit Säure. Das Bild ist, abgesehen von einer leichten Veränderung in der Einstellung, genau gleich dem der Abb. 45. Die dort beobachteten Trübungen sind also nicht Eiweißreste, sondern dispergierte Kieselsäure (vgl. S. 341 f.).

sogar der am dünnen Ende des Körperchens verbliebene Überrest der Nadel einer sicheren Beobachtung.

Das dritte Körperchen, ein kugeliges Gebilde, in Abb. 44 genau unter dem nackten Teile der Nadel des zuerst beschriebenen — rechts unten und links oben von je einer Gasblase begleitet — zeigte schon nach Zusatz der Säure in seinem Innern keinerlei Strukturen. Das bedeutet: ein Mineralfragment war nicht mehr erkennbar, obwohl seine ehemalige Anwesenheit vorausgesetzt werden muß. Das läßt darauf schließen, daß hier Massenverhältnisse oder Zeitumstände oder beides der Dispersion besonders günstig waren. In der Tat war nach $\frac{1}{2}$ Stunde bei subjektiver Beobachtung nichts mehr von ihm zu entdecken. Auch die photographischen Platten (Abb. 45, 46) haben keine Spur festzuhalten vermocht. Die Größe der dispergierten SiO_2 -Teilchen war demnach so gering, daß sie sich dem durchfallenden Licht gegenüber nicht einmal mehr als Trübung verhielten.

Links von diesem Kugelchen, nahe am sagittalen Faden, befand sich ein hantelförmiges Körperchen, dessen oberer Kopf jedoch fehlte (Abb. 44). Es war deutlich, aber nicht stark segmentiert. Demnach repräsentierte es zum mindesten kein Altersstadium, wenngleich man es noch weniger zu den ersten Jugendformen rechnen darf. Mit diesem aus der Form erschlossenen Sachverhalt steht es im Einklang, daß die Nadel erhalten geblieben (Abb. 45, 46) und von einer Trübung um sie herum kaum etwas zu sehen ist. Es hat in diesem Falle, im Unterschied zu dem

vorher besprochenen Kugelchen, die Dispersion von Teilchen noch nicht recht begonnen.

In der linken Hälfte des Bildes ist die Übersicht weniger gut. Es überlagern sich dort einige Körperchen. Immerhin läßt sich folgendes eindeutig erkennen: In Abb. 44 liegt nahe am sagittalen Faden ein hantelförmiges Körperchen, in der Form ähnlich dem zuletzt besprochenen, aber schärfer gegliedert — also älter. Schon nach der Benetzung mit Säure war von einer inneren Struktur nichts zu sehen. Dementsprechend war das Körperchen nach einer Stunde restlos verschwunden. Seine Asbestnadel war also ebenso weitgehend dispergiert, wie das Fragment des Kugelchens aus dem benachbarten rechten Quadranten.

Unerwartet war das Ergebnis bei dem langen, ungefähr diagonal liegenden Körperchen links. Nach seiner starken Segmentierung (Abb. 44) hätte man eine erhebliche Zerstörung der Nadel vermuten sollen. Sie erwies sich indessen sogar nur wenig angegriffen (Abb. 45, 46). Einzig in den Hantelkopf waren SiO_2 -Teilchen in so ansehnlicher Menge dispergiert, daß eine Trübung bemerkbar wurde.

In den Abb. 44—46 kann man noch verfolgen, daß die beiden Körperchen, die die letzte Nadel überqueren, ohne Hinterlassung einer Spur verschwunden sind. Ebenso blieben zwei „Perlenketten“, in denen bereits zu Beginn des Versuches kein Mineralrest mehr zu gewahren war, nach Verlauf einer Stunde unauffindbar.

Faßt man die an diesem Versuche gewonnenen Einzelbeobachtungen zusammen, so ordnen sie sich zu folgendem Bild: Von manchen Körperchen bleiben nach Auflösung der Eiweißumhüllung die Kieselgerüste der Asbestnadeln fast unverändert stehen. Sie pflegen nur an den Enden oder an solchen Stellen, wo Verdickungen der Hülle waren, mehr oder minder korrodiert zu sein, je nach dem Massenverhältnis von Eiweiß und Nadel oder je nach der Reaktionsdauer (vgl. Abb. 31). Um derartige Nadeln ist der Raum im allgemeinen optisch leer, sofern man diesen Ausdruck für das durchfallende Licht bei der gewöhnlichen Mikroskopie verwenden will. Es handelt sich hier durchweg um Körperchen in Jugendstadien. Sie sind noch nicht über das Ende des Aufbaues hinaus, und von einem wesentlichen Abbau der Nadeln kann keine Rede sein.

Bei anderen Körperchen bemerkt man nach Weglösung der Eiweißhüllen, daß die Nadeln dort, wo dickere Gelpartien saßen, nicht scharf begrenzt sind, sondern in der Umgebung verschwimmen. Sie verlieren sich an solchen Stellen in eine nach außen immer lichter werdende Trübung. In vorgeschrittenen Fällen markiert diese Trübung deutlich die Umgrenzung der zerstörten Körperchen. Da das Eiweiß aufgelöst und infolgedessen unsichtbar geworden ist, bleibt nur die Annahme, daß die Trübung von den unlöslichen Bestandteilen der Nadeln bewirkt wird: daß nämlich die SiO_2 -Teilchen in das Eiweiß hinein dispergiert worden sind, zunächst in zwar submikroskopischen, aber immerhin noch größeren Partikeln.

Es zeigt sich, daß, je älter die Körperchen oder je dicker die Gelhülle, desto undeutlicher die Nadeln und desto ausbreiteter, aber auch feiner die Trübungen sind. Man darf im großen und ganzen sagen, daß diese Zustände an die stark segmentierten, aber noch prallen Körperchen geknüpft sind, die an Zahl überwiegend vorkommen und demnach ein

über eine gewisse Zeit hinweg stationäres Stadium darzustellen scheinen, in dem Zufuhr und Abfuhr von Eiweiß sich die Waage halten mögen.

Im weiteren Verlauf des Abbauvorganges verschwinden die letzten Spuren der Nadeln. Die bereits dispergierten SiO_2 -Partikeln werden immer feiner zerteilt, so daß sich beim Endzustand der Raum, den solche Körperchen einnehmen, nach Fortlösung der Gelhülle für das gewöhnliche Mikroskop wieder optisch leer erweist. Das ist im allgemeinen der Fall bei der Gruppe von Körperchen, deren Gestalt an den groben Unregelmäßigkeiten, Einbuchtungen und Schrumpfungen schon äußerlich erkennen läßt, daß sie sich in jenem Stadium befinden, in dem das Eiweiß wieder resorbiert wird. Es wird zweifellos angenommen werden dürfen, daß auch die mindestens auf die Größe von Submikromen zerteilten SiO_2 -Partikeln abtransportiert werden, vielleicht gar in Form von Additionsverbindungen mit den relativ groß dimensionierten Eiweißmolekülen.

So bleibt, wie es schon der Augenschein bei der ersten Betrachtung der Schnitte vermuten ließ, im normalen Ablauf von den Körperchen nichts übrig als ein Eisenoxyd, genau wie bei der Auflösung des Eiweißstoffes in Alkalien oder bei der Verdauung mit Trypsin. In den Lungenschnitten bildet es — sicher im Verein mit dem unter dem Sammelnamen „kohlige Substanz“ verstandenen Staub verschiedenster Art — jenes schwarze Pigment, das in einzelnen Körnchen, fast öfter noch in ganzen Körnerhaufen und -zügen, so massenhaft vorhanden ist.

Es gilt noch, hierfür die Bestätigung zu erbringen, oder, da dies in strengem Sinne kaum möglich ist, wenigstens die Wahrscheinlichkeit des Zutreffens der Annahme darzutun.

Die Körnchen, in denen Überreste der Asbestosiskörperchen vermutet werden, sind in der großen Mehrzahl vollkommen undurchsichtig. Nur ab und an finden sich welche, die an den Rändern ein wenig durchscheinend sind in bräunlichen Tönen. Welches Eisenoxyd vorliegt, ist nicht zu entscheiden. Man wird in erster Linie an ein Ferrihydroxyd denken müssen. Doch läßt sich durch den bloßen Augenschein keineswegs ausschließen, daß nicht auch wasserfreies Oxyd oder Oxydul oxyd anwesend sein könnten. Wie dem auch sei: allen diesen Oxyden ist in den Präparaten chemisch nicht eben leicht beizukommen. Wohl sind sie ohne Ausnahme in Säuren löslich, indessen erfolgt die Auflösung langsam, besonders bei den wasserfreien Oxyden. Die Umstände liegen daher für subjektive Beobachtung des Fortschrittes der Auflösung nicht sonderlich günstig. Trotzdem wird man die visuelle Beobachtung der Auflösung, also des Verschwindens der Körnchen, als bestes Kennzeichen dafür verwenden dürfen, daß man es mit einem Eisenoxyd zu tun hat; denn welche spezifische Eisenreaktion sonst angewandt werden möge: keine kann einen bündigen Beweis liefern, weil sich der Einwand schwer ausschließen läßt, das reagierende Eisen könnte aus den Gelhüllen benachbarter Körperchen herausgelöst sein.

Als geeignete Säure kommt nur Salzsäure in Frage. Salpetersäure würde zwar rascher wirken — wenigstens bei einigen Eisenoxyden. Indessen liefe man bei ihrer Anwendung Gefahr, sich täuschen zu lassen, da Salpetersäure auch auf andere Staubteilchen stark oxydierend wirken würde. Bei Schwefelsäure ist in ähnlicher Weise zu erwarten, daß sie organische Substanz, wie Kohle, kräftig angreift und aufhellt. Zudem würde sie die Eisenoxyde langsamer lösen als die Salzsäure.

In Abstrichen sind Körnchen nicht nur überhaupt selten, sondern man hat auch keinen Anhalt dafür, ob sie von den Rückständen der Asbestosiskörperchen stammen oder von eingeatmetem Ruß. Ich habe daher am Rande eines Schnittes einen Körnerzug aufgesucht, aus dessen Form sich vermuten ließ, daß er das Überbleibsel eines Asbestosiskörperchens sei. Nach Befreiung dieser Stelle von Deckglas, Canada-balsam sowie Celloidin und nach der Wiedereinstellung unter dem Mikroskop wurde kalte konz. HCl daraufgegeben.

Man kann nun tatsächlich langsame Auflösung konstatieren. *Körnchen, deren Durchmesser weniger als 1 μ beträgt, verschwinden nach Verlauf einiger Stunden.* Die Berlinerblau-Reaktion erfolgt prompt, doch muß das nach dem oben Gesagten für die Beweisführung als unerheblich angesehen werden.

Ebenso möchte ich es als unwesentlich erachten, daß in Schnitten, die mit Salpetersäure behandelt worden waren, nach Zusatz von Rhodankalium ein Teil der Körnchen rötlich durchscheinend wurde, und zwar mit jenem Farbton, der für die Reaktion charakteristisch ist. Es ist ja leicht möglich, daß durch die Salpetersäure Staub anderer Art, also etwa Kohle, aufgehellt wird. Immerhin soll es nicht unterlassen bleiben, den Fall zu vermerken.

Im übrigen mag es genügen, den Ton darauf zu legen, daß *ganze Züge von Körnchen sich in Salzsäure glatt lösen.* Dieser Umstand spricht durchaus dafür, daß ein Eisenoxyd bzw. -hydroxyd vorliegt — eben von jenem Eisen stammend, das in den Eiweißhüllen enthalten und deren Form in den Körnerreihen andeutungsweise abgebildet ist.

Kontrollversuche ergaben, daß nicht alle schwarzen Partikeln von Salzsäure gelöst werden. Es gehört demnach nicht die Gesamtheit der Körnerhaufen dem Eisenoxyd an. Das ist auch nicht zu erwarten; denn es finden sich mancherlei Staubteilchen als sog. kohliges Pigment in jeder Lunge.

Es ist daher auch nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen, daß lösliche Körnchen von *eingeatmetem Eisenstaub* herrühren können. Ich habe deshalb Schnitte von zwei anderen Lungen, deren Bereitstellung ich der unermüdlichen Hilfsbereitschaft Herrn Prof.s Stroebe verdanke, mit Salzsäure behandelt, ohne aber lösliche Partikel mit Sicherheit nachweisen zu können. *Demnach stellen die Reihen säurelöslicher Stäubchen in der Asbestlunge etwas Besonderes dar, und die Herleitung von den Asbestosiskörperchen gewinnt an Wahrscheinlichkeit.* Es wäre ja auch überaus verwunderlich, wenn eingeatmete Eisenflitterchen von den anderen, gleichzeitig eingeatmeten Stäubchen so gesondert würden, daß sich — bei

vergleichbarer Größe — die einen hier, die anderen dort ansammelten; denn nur auf solcher Scheidung könnte es beruhen, daß sich jeweilen ganze Pigmentstreifen entweder praktisch vollständig oder aber gar nicht lösen.

Würdigt man rückblickend die Gesamtheit der Beobachtungen über die Körnerzüge, so kommt man zu dem Ergebnis, daß sich die *mitgeteilte Arbeitshypothese mit großer Wahrscheinlichkeit voll bestätigt*: nach *Resorption des Eiweißgeles samt der darin dispergierten Kieselsäure der Asbestnadeln bleibt als letzte Ruine eines Asbestosiskörperchens ein reihig angeordnetes Haufwerk von schwarzen Eisenoxydkörnern stehen*: der nicht-resorbierte Eisengehalt der Gelhülle.

Damit ist die letzte Phase des Vorganges erfaßt, der sich in der Lunge nach Eindringen eines Asbeststäubchens abspielen kann, der sich aber keineswegs immer bis zu diesem Ende abwickeln muß. Die Resorption wird, wie die tödlichen Krankheitsausgänge lehren, nur soweit und so lange erfolgen, als der Organismus die nötige Aktivität zur Gegenwirkung hat. Worauf diese Aktivität beruhen mag, sei dahingestellt. Nicht fern liegt es, etwa an den Säuregrad der Körperflüssigkeit zu denken³¹. Es ist nicht von der Hand zu weisen, daß bei einem Teil der Arbeiter, die durch Asbeststaub gefährdet sind, die Reaktionskraft und -geschwindigkeit genügend groß sein können, so daß die Lunge vor schweren Veränderungen bewahrt bleibt und mithin eine ernstliche Erkrankung an Asbestosis nie eintritt. Je schwächer aber die Veranlagung für die spezifische Abwehr ist, je langsamer und weniger weitgehend daher die Asbestnadeln aufgezehrt werden, desto mehr werden sich die Veränderungen des Lungengewebes ausbreiten. Damit dürfte wiederum die Fähigkeit zur Resorption der Fremdkörperchen herabgesetzt werden. Es ist sonach vorauszusehen, daß die Erkrankung in sehr verschiedenen Schweregraden auftreten kann. Ich glaube sogar, mir vorstellen zu dürfen, daß in Fällen sehr reaktionsschwacher Personen nicht einmal frühzeitige Aufgabe der Beschäftigung notwendig Rettung bringen muß.

Es ist nicht meines Amtes, ärztliche Ratschläge zu erteilen; doch scheint es mir nach den vorausgegangenen Erörterungen selbstverständlich, daß durch die Erkrankung an Lungenasbestosis immer die spezifische Reaktionsschwäche des Organismus zum Ausdrucke kommt. Da man vorläufig kaum Rat wissen wird, wie diese Schwäche zu beheben sei, halte ich es für gegeben, die Erkrankten so bald als möglich anderen Beschäftigungen zuzuführen; denn andernfalls ist zunehmende Schwere der Erkrankung zu erwarten.

Umgekehrt glaube ich, betonen zu sollen, daß ich für schwer gefährdet nur die reaktionsschwachen Personen halte. Daß die Beschäftigung mit Asbest zu einer Staublungenerkrankung führen kann, ist eine verhältnismäßig junge Erkenntnis. Man wäre sicherlich schon längst darauf

aufmerksam geworden, wenn auch nur die Hälfte der Asbestarbeiter unter den Anzeichen der Asbestosis zugrunde gegangen wäre. Die Gefahr ist demnach nicht so groß, wie es vielleicht in der Zeit scheinen will, zu der die neuartige Krankheit bekannt wird. Es besteht daher für die Arbeiterschaft wohl Grund zur Aufmerksamkeit, nicht aber zur Beunruhigung³².

Noch eine Frage fordert Aufklärung: *Warum entstehen gerade nach Einatmen von Asbeststaub die eigenartigen Asbestosiskörperchen; warum hingegen sind bei anderen Staublungenerkrankungen ähnliche Bildungen unbekannt?*

Nach allen Erfahrungen, die ich aus der Literatur und aus eigenen Beobachtungen gewonnen habe, ist die Umhüllung der eingearbeiteten Staubteilchen auf die Asbestnadeln bei der Lungenasbestosis beschränkt. Herr Prof. Stroebe hat mir zahlreiche Schnitte von zwei Quarzstaublungen zur Verfügung gestellt. Sie stammen von Steinhauern aus Steinbrüchen im Buntsandstein. Ich habe unter den wenigen Mineralfragmenten, die vorhanden waren, nicht ein einziges gefunden, das von einer irgendwie gearteten Hülle umgeben gewesen wäre.

Man könnte fast meinen, dieser Befund laufe den Erwartungen zuwider, die man auf Grund anderer Erfahrungen hegen dürfte. So ist es bekannt, daß hydrophile Kolloide, wie Gelatine oder Eiweißstoffe, dazu neigen, feste Oberflächen zu umhüllen. Zsigmondy (1920, S. 360) zeigte das z. B. in bezug auf Goldteilchen; Freundlich (1928) und Abramson (1928) taten es an Quarzteilchen dar. Im letzten Falle war die Umhüllung so dicht, daß sich die Gebilde bei elektrokinetischen Vorgängen (Kataphorese) wie homogene Gelatine- bzw. Eiweißteilchen verhielten. Derartige Versuche sind aber *in vitro* ausgeführt unter Bedingungen, die anders sind als im lebenden Organismus. Eine Übertragung auf das physiologische Gebiet ist daher nicht ohne weiteres statthaft, wie ja auch umgekehrt ähnliche biologische Vorgänge, die sich im Körper abspielen, nicht immer durch Maßnahmen im Reagensglase künstlich nachgebildet werden können. Um ein Beispiel zu nennen, wäre hier etwa zu erinnern an die oft in ausgesprochen spezifischer Weise erfolgende Adsorption von Micellen hydrophiler Sole durch Bakterien, die als Adsorbentien wirken.

Man kann in der Adsorption eine Wirkung der *Grenzflächenspannung* sehen. In dieser Beziehung wissen wir von den Systemen Quarz-Körperflüssigkeit und Asbest-Körperflüssigkeit nichts. Von dem Gesichtspunkte aus sind also die Unterschiede der normalen Silicosis und der Asbestosis nicht deutbar.

Man kann die Adsorption aber auch als eine *Absättigung von Valenzresten* auffassen. Dann wird es sofort erklärlich, warum in der Lunge Quarzstäubchen Eiweiß nicht adsorbieren, während Asbestnadeln es tun.

Quarz besteht in seinem Feinbau aus SiO_4 -Tetraedern, die, im Gegensatz zu den bandartigen Kieselketten des Asbestes, nach allen drei Dimensionen aneinander gereiht sind, so, daß jede Tetraederecke mit der Ecke eines benachbarten Tetraeders verbunden ist. Jedes O-Atom gehört demnach zwei Tetraedern an. Daraus folgt wieder, daß weder von den positiven noch von den negativen Valenzen unabgesättigte Reste übrigbleiben. Die elektrostatischen Kräfte der Valenzionisation befinden sich also durch jeden Krystallteil hindurch im Gleichgewicht. Man darf daher annehmen, daß das elektrostatische Feld, das an den Grenzflächen des Krystallgitters wirkt, relativ schwach ist. Es bleiben dann als wesentlichste Kräfte für die Heranziehung von Adsorptiven die *van der Waalsschen Kräfte*. Ihnen billigt man im allgemeinen schon keine sehr große Rolle zu, und trotzdem können sie in ähnlichen, jedoch noch einfacheren und daher nicht ohne Vorbehalt vergleichbaren Fällen (Kochsalztyp!) das elektrostatische Feld in der Wirkung auf *weitere Entfernungen* hin übertreffen (*Lennard-Jones und Dent 1928*). Daraus ergibt sich, daß auch in ihrer Überlagerung die Kraftfelder um ein in sich abgesättigtes Krystallgitter keinen sehr großen Wirkungsgrad haben können. Es nimmt sonach nicht wunder, wenn Quarzstäubchen es nicht vermögen, die im Vergleich zu den SiO_4 -Tetraedern riesengroßen und ungeheuer schweren Eiweißmoleküle aus der Körperflüssigkeit heranzuziehen und zu adsorbieren.

Bei den Kiesel tetraedern nämlich, die den Quarz aufbauen, ist der Abstand $\text{Si}—\text{O}$ etwa $1,6 \cdot 10^{-8}$ cm und das Molekulargewicht $\text{SiO}_2 = 60$. Demgegenüber haben jene Eiweißarten mit dem *niedrigsten* Molekulargewicht — 34 500 —, für die man das Ovalbumin als Typus setzen kann, Molekülradien von $2,2 \cdot 10^{-7}$ cm (*The Svedberg*). Es sind also, ganz abgesehen vom 600fachen Gewicht, die Halbmesser um eine Zehnerpotenz größer als die Entfernung $\text{Si}—\text{O}$ im Quarz.

So erscheint es zweifellos, daß schon die kleinsten Eiweißmoleküle nach Masse und Größe in einem offenkundigen Mißverhältnisse stehen zu den Kraftfeldern des Quarzes, die wohl geeignet sind, aus anorganischen Lösungen oder Schmelzen die vergleichsweise winzigen SiO_2 -Gruppen einzufangen und einzuordnen, nicht aber solche ungefüglichen und tragen Komplexe aus organischen Systemen zu adsorbieren.

Beim Asbest liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Bei ihm bilden die zu Ketten aneinander geschlossenen SiO_4 -Tetraeder ein unter sich fest verbundenes und gut zusammenhängendes Gerüst von Anionen. In dieses Netzwerk sind die stark elektropositiven Mg-Ionen eingelagert (Abb. 5 S. 293). Sie bewirken die elektrostatische Stabilisierung des Anionengerüstes. Wird ein Teil von ihnen nach und nach herausgelöst — wie dies in der Lunge geschieht — so sind die zugehörigen Anionen nicht mehr abgesättigt; das elektrostatische Feld muß um so kräftiger werden, je mehr das Gleichgewicht im Innern des Gitters gestört wird.

Dieses Feld wirkt nun entweder auf die Eiweißmoleküle im ganzen, indem es sie als Dipole anzieht; oder aber es wirkt auf die in der Körperflüssigkeit vorhandenen Eiweißionen. Es ist sicher, daß solche Ionen sehr hochwertig sind; so nimmt *Pauli* (1929) 20 und mehr Valenzen an.

Demnach kann von beiden Seiten große Kraft ausgeübt werden; und damit scheinen im System Asbest-Eiweißsol die Bedingungen für die Adsorption von Eiweiß sehr viel günstiger als in allen den Fällen, wo das Adsorbens aus Krystallteilchen besteht, deren elektrostatisches Gleichgewicht nicht gestört ist.

Für diese Auffassung spricht auch der Umstand, daß es eine gewisse Zeit dauert, bis die Asbestnadeln in der Lunge eine sichtbare Umhüllung erhalten; ferner: daß die Verdickung der Hülle nur nach und nach erfolgt; endlich: daß die Adsorption zum Stillstand gelangt, sowie die Hülle einen gewissen Durchmesser erreicht hat. Es liegt die Vermutung nahe, daß dieser Durchmesser abhängig sei von dem Durchmesser der Asbestnadel — mit andern Worten: daß er proportional sei der Anzahl der Mg(OH)-Gruppen, die von der Körperflüssigkeit aus der Asbestnadel ausgelaugt werden, also proportional der Summe der frei gewordenen Valenzen. Aus dem Umstände nämlich, daß die elektropositiven Metallionen nicht mit einem Schlag aus dem Gitterverbande entfernt werden, sondern daß die nach außen wirkende Störung des inneren Gleichgewichtes über längere Zeit hinweggreift, erklären sich die verschiedenen Zustände der Hülle leicht. Zu Ende kommen muß die Adsorption dann, wenn einerseits eine Veränderung im Krystallgitter nicht mehr erfolgen kann, anderseits aber die Summe der im Gitter frei gewordenen Valenzen kompensiert ist durch die Valenzen der aufgelagerten Ionen.

Diese Auffassung bietet weiterhin eine Handhabe zur Deutung der fürs erste vielleicht verwunderlichen Tatsache, daß die Kieselgerüste des Asbestes vom umgebenden Eiweiß gelöst werden. Die großen Eiweißionen können unmöglich in das Gitter hineinschlüpfen, um die Stellen der Mg-Ionen einzunehmen. Eine Elementarzelle des Asbestes hat ja nur die Dimensionen $a = 14,66 \text{ \AA}$; $b = 18,5 \text{ \AA}$; $c = 5,33 \text{ \AA}$; und in diesem Raum sind vier Moleküle $\text{Mg}_6(\text{OH})_6[\text{Si}_4\text{O}_{11}]\text{H}_2\text{O}$ enthalten (Warren und Bragg 1931; Schiebold 1932), so daß die Entfernungen benachbarter Atome, also die Lücken im Gitter, ganz inkommensurabel sind mit den Dimensionen selbst der kleinsten Eiweißionen. Es muß sich infolgedessen innerhalb des Kieselgerüstes der Überschuß an negativen Ladungen repulsiv betätigen, während von außen die positiven Ladungen der adsorbierten Eiweißionen attraktiv wirken. Man kann in dem Zerfall der Anionenketten die notwendige Folge dieses Kräftespieles sehen. Wenn aber die losgelösten Kiesel säureanionen in das Eiweiß hineindispersiert sind oder gar mit den Eiweißkationen verbindungsartige Komplexe gebildet haben, ist kein Zwang mehr vorhanden, daß die Asbestosiskörperchen ihren Zusammenhang bewahren. Nachdem das Adsorbens zerfallen ist, ist die Möglichkeit gegeben, daß auch das Adsorptiv wieder aufgeteilt und resorbiert wird. Es kann der oben beschriebene Abbau der Körperchen beginnen.

Es wäre lehrreich, durch einen Tierversuch zu erkunden, ob sich beim Einatmen von Hornblendeasbest Asbestosiskörperchen mit der bezeichnenden Gelhülle bilden oder nicht. Hornblende ist zwar in der chemischen Zusammensetzung und im Feinbau dem Chrysotil verwandt, jedoch nicht gleich; vor allem sind die Metallatome nicht einseitig wie beim Chrysotil, sondern zweiseitig an gegenüberliegende Kiesellketten gebunden (Schiebold 1932, Warren 1930). Dadurch entfällt die leichte Zersetzung, die beim Chrysotil zu verzeichnen ist. Infolgedessen sollten sich Nadeln von Hornblendeasbest in der Lunge nicht anders verhalten wie jedes andere Stäubchen chemisch und physikalisch stabiler Krystalle. Sie dürften also, genau wie Quarz, keine Gelhüllen adsorbieren. Träfe dies zu, so wäre die vorgetragene Erklärung der Bildung von Asbestosiskörperchen zwar noch nicht bewiesen, aber doch um einen Grad wahrscheinlicher gemacht.

Ob bei der Adsorption von Eiweiß auf den Chrysotilasbestnadeln noch andere Vorgänge eine Rolle spielen, sei dahingestellt. So könnte man an *Sensibilisierung* nach Art der von *L. Michaelis* und *Rona* (1907, 1908) ausgearbeiteten Methode zum Enteiweißen eiweißhaltiger Lösungen denken. Es kann dieses Verfahren so durchgeführt werden, daß man der elektrolythaltigen Proteinlösung ein Fe_2O_3 -Sol (oder Kaolinsuspension o. dgl.) zusetzt. Dann scheiden sich Flocken ab, die aus Micellen von Fe_2O_3 und Eiweiß bestehen.

Die Körperflüssigkeit nun enthält Eiweiß und Elektrolyte. Im rohen Asbeste pflegt ein Teil der Mg-Atome durch Fe^{II} vertreten zu sein. Werden sie in der Lunge aus dem Krystallgitter herausgelöst, so werden sie zugleich in der sauerstofffreichen Umgebung zur Ferristufe oxydiert; und die Bedingungen scheinen der *Michaelis-Ronaschen* Anordnung nicht unähnlich. Die feine Verteilung, in der sich das so ausgeflockte Eisenoxyd bzw. -hydroxyd zwischen den Eiweißmicellen befände, würde auch sogleich die überraschend leichte Löslichkeit in Säuren erklären. Immerhin soll hier nicht mehr gemeint sein als die Andeutung einer Möglichkeit, durch die die Adsorption von Eiweiß gefördert werden könnte. Im übrigen ist schon darauf verwiesen worden, daß man bezüglich der Herkunft des Eisens, das in den Gelhüllen der Asbestosiskörperchen enthalten ist, verschiedener Meinung sein kann. An dieser Stelle sei dazu noch vermerkt, daß der Asbest wohl überall vor der Verarbeitung enteisent wird. Es ist daher keinesfalls ausgeschlossen, daß ein Arbeiter immer nur Staub von eisenfreiem Asbest einatmet³³. Ein Tierversuch würde leicht klären, ob auch unter diesen Umständen die Körperchen mit ihrer charakteristischen goldgelben Farbe entstünden, oder ob farblose oder — was nicht zu erwarten ist — keine Körperchen sich bildeten. Mit anderen Worten: es würde sich herausstellen, ob das Eisen des Asbestes bei dem Aufbau der Asbestosiskörperchen überhaupt eine Rolle spielt oder ganz entbehrlich ist³⁴.

Sehr viel wichtiger jedoch, als an die Erkundung solcher theoretisch interessanten Einzelheiten heranzugehen, ist es, die Verantwortlichkeit auf die Lösung einer praktischen Frage von erheblicher Tragweite zu

lenken: Es kann kein Zweifel sein, daß die an Lungenasbestosis Erkrankten als Opfer ihres Berufes zu beklagen sind. Gleichwohl besteht Unsicherheit, ob die Lungenasbestosis — nach dem Buchstaben des Gesetzes — zu den „Berufskrankheiten im Sinne der Unfallversicherung“ zählt. Gemäß § 1 der „Zweiten Verordnung über Ausdehnung der Unfallversicherung auf Berufskrankheiten“ — vom 11. 2. 29 — RGBI. I, S. 27 — sind „Berufskrankheiten im Sinne der Unfallversicherung die Krankheiten in Spalte II der Anlage, wenn sie durch berufliche Beschäftigung in einem in Spalte III der Anlage neben der Krankheit bezeichneten Betriebe verursacht sind“. Der hierhergehörige Teil der Anlage enthält folgende Angaben:

Lfd. Nr.	Berufskrankheit	Betriebe und Tätigkeiten
16	Schwere Staublungenerkrankungen (Silicose) Trifft eine schwere Staublungenerkrankung mit Lungentuberkulose zusammen, so gilt für die Entschädigung die Tuberkulose als Staublungenerkrankung	<ul style="list-style-type: none"> a) Betriebe der Sandsteingewinnung, -bearbeitung und -verarbeitung, b) Metallschleifereien, c) Porzellanbetriebe, d) Betriebe des Bergbaues

Entschädigungspflicht besteht also nur hinsichtlich *gewisser „schweren Staublungenerkrankungen“*. Als erstes wird demnach zu erörtern sein, ob die *Lungenasbestosis den schweren Staublungenerkrankungen zuzurechnen sei*.

Eine Bejahung dieser Frage ist selbstverständlich, sowie man zugibt, daß der einzige Unterschied gegenüber einer gewöhnlichen Silicosis in der Bildung der Asbestosiskörperchen liegt, sowie daß die Bildung dieser Körperchen nur die Folge der leichten Zersetzlichkeit des Chrysotilasbestes ist, sonst jedoch nichts grundsätzlich Wichtiges bedeutet. In-dessen muß man meines Erachtens, auch wenn man hiervon absehen will, die aufgeworfene Frage bejahen. Eine Definition des Begriffes „schwere Staublunge“ findet sich in den Schriften zum Reichsarbeitsblatt Heft 12, 1929, Nr. 16.

Sie lautet: „Als eine schwere Gesteinsstauberkrankung wird anzusehen sein eine durch Ablagerung von kieselsäurehaltigem Gesteinsstaub hervorgerufene Schwielenbildung in den Lungen, bei der beide Lungen annähernd gleichmäßig von grobknotigen, mindestens erbsengroßen Schwielen durchsetzt sind. Sie ist nur im Röntgenbilde, durch teils runderliche, teils mehr flächenhafte Verschattungen nachweisbar, und äußert sich klinisch durch Kurzatmigkeit infolge Lungenstarre, unter Umständen mit Rückwirkung auf den Kreislauf bis zu ausgesprochenen Erscheinungen der Herzinsuffizienz.“

Diese Definition hört sich an, als hätte für die wesentlichen Punkte die Asbestosis zum Vorbilde gedient. Es ist wohlbedacht nicht von Quarzstaub die Rede, der, wie mir scheint, in weiten Kreisen als einziger Urheber der Silicosen betrachtet wird³⁵, sondern von *kieselsäurehaltigem Gesteinsstaub*. Damit sind *alle Silicate* als mögliche Ursachen zugelassen.

Das halte ich für einen erheblichen Fortschritt gegenüber jener anderen, zweifellos zu engen Auffassung³⁶, und ich halte es sogar für erwägenswert, ob man die Grenze nicht noch weiter ziehen müßte. Die Aufführung der Metallschleifereien und Porzellanbetriebe in Spalte III der oben erwähnten „Anlage“ gibt zu denken. Es ist in der Tat nicht einzusehen, warum andersartiger Staub nicht ebenso schwere Schädigungen bewirken sollte; sind doch unter Nr. 15 der „Anlage“ Erkrankungen durch Thomas-schlackenmehl und unter Nr. 17 die Schneeberger Lungenkrankheit bereits angegeben³⁷.

Die erste Bedingung der Definition: „Ablagerung von kieselsäurehaltigem Gesteinsstaub“ als Ursache der Schädigungen ist bei der Asbestosis erfüllt; als Ursache wirkt das Silicat Asbest, dessen Kieselsäuregerüste, von Eiweiß umhüllt, als Asbestosiskörperchen bei dem von mir untersuchten Fall in einer Menge von der Größenordnung $7 \cdot 10^5$ in dem Kubikzentimeter Lunge liegen, entsprechend einem Gewichte von rund 0,02 mg Asbest. *Wegen der Besonderheit der Eiweißadsorption auf den Asbestnadelchen kann man nach meinem Dafürhalten die Asbestosis als besondere Art der Silicose auffassen.*

Die Schädigungen zu beurteilen, die durch die Ablagerung des kieselsäurehaltigen Asbeststaubes hervorgerufen werden, ist Sache des Arztes. Wenn ich daran denke, wie rasch meine Messer beim Schneiden der schwieligen Lunge stumpf wurden, wenn ich mich weiter erinnere, daß Kurzatmigkeit und Emphysem zum Krankheitsbilde gehören, daß ferner Herzinsuffizienz ein gewöhnliches Ende ist, so möchte ich meinen, daß auch in klinischer Hinsicht bei der Asbestosis alle erheblichen Bedingungen erfüllt sind, die in der Definition gesetzt sind³⁸.

Ich habe sonach nicht die geringsten Bedenken, daß die Lungenasbestosis unbedingt zu den schweren Staublungenenerkrankungen zu zählen ist. Sollten gegenüber der oben angeführten Definition Unterschiede bestehen — etwa in der Größe der Schwieleen od. dgl. sicher mehr zufälligen Bestimmungen —, so müßte meines Erachtens die Definition geändert werden. Eingangs der Definition ist ja durch die vorsichtige Wahl des Prädikates „wird anzusehen sein“ klar zum Ausdrucke gebracht, daß sie nur eine Richtlinie, jedoch nichts Endgültiges sein soll.

Wird die Lungenasbestosis sachlich zutreffend den schweren Staublungenenerkrankungen zugerechnet, so ergibt sich eine sonderbare Rechtslage: Unter den Betrieben (Spalte III der Anlage), in denen die Krankheit erworben sein muß, sofern sie als entschädigungspflichtige Berufskrankheit gelten soll, sind die Stätten der Asbestgewinnung höchstens zum Teil — und das nur zufällig! —, die der Asbestverarbeitung überhaupt nicht angeführt. Daraus geht aber die peinliche Folge hervor, daß, sofern Asbest in einem Bergbaubetriebe gewonnen wird, dort erworbene Asbestosiskörperchen gemäß Spalte III d) notwendig als Berufskrankheit im Sinne der Unfallversicherung anerkannt werden müssen. Hingegen dürften — bei

buchstabentreuer Auslegung der Verordnung — den Arbeitern, die sich die Asbestosis in Asbestfabriken zugezogen haben, die Vorteile der Unfallversicherung nicht zugebilligt werden. Das wäre zweierlei Maß, und das ist nicht der Wille des Gesetzgebers!

Ich bin überzeugt, daß die Unklarheit dieser Sachlage nicht zustande gekommen wäre, wenn zur Zeit des Erlasses der Verordnung mehr Klarheit über die Asbestosis bestanden hätte. Man muß bedenken, daß diese Krankheit erst 1927 anfängt, in der englischen Literatur eine gewisse Rolle zu spielen, und man muß sich vergegenwärtigen, welche Unsicherheit, ja welche Widersprüche sich damals geltend machen; es mögen schon die Anmerkungen^{1, 3, 4, 6, 7, 8, 10} genügen, sich ein Urteil darüber zu bilden. Es ging daher unter keinen Umständen an, die Asbestosis mit Sicherheit der gewöhnlichen Silicosis gleichzustellen und ihr in der Verordnung vom 11. 2. 29 denselben Platz einzuräumen wie der Silicose. *Die abweichende Behandlung der Asbestosis gegenüber der Silicosis ist also nicht auf sachliche Gründe gestützt, sondern sie erklärt sich sehr einfach durch die zufälligen zeitlichen Bedingtheiten.*

Nunmehr aber halte ich eine *Revision der Verordnung für unumgänglich*. Es ist inzwischen ein ansehnlicher Erfahrungsschatz über die medizinischen Zusammenhänge der Asbestosis angehäuft worden. Schon bei dessen Wertung wird der Arzt nicht zweifeln, die Asbestosis als schwere Staublungenerkrankung der Silicosis gleichzuachten.

In der vorliegenden Arbeit ist darüber hinaus der Nachweis in aller Ausführlichkeit und Eindeutigkeit erbracht worden, daß Stäubchen des *Silicates Asbest* in der Lunge eines an Asbestosis Verstorbenen anwesend sind. *Es ist gezeigt worden, daß diese Asbeststäubchen die Veranlassung zur Bildung der Asbestosiskörperchen sind, jener typischen Kennzeichen der Krankheit.* Bis in die Einzelheiten hinein ist dargetan worden, daß die Körperchen wiederum die Vorbedingungen schaffen für die Resorption der Asbestnadeln durch den Organismus. Die Einatmung des Silicatstaubes bringt also den Ablauf einer erstaunlichen Reaktion innerhalb der Lunge in Gang; einer Reaktion, die, wie der Erfolg lehrt, nicht ohne Schädigung des Organes bleibt, in dem sie sich abspielt; die sogar zu vorzeitigem Aufhören der Körperfunktion, zu Kreislaufinsuffizienz, führen kann.

Es ist zu hoffen, daß Gesetzgebung und Rechtsprechung sich in Anerkennung der dargestellten Sachverhalte nicht länger der Notwendigkeit verschließen, die Asbestosis ebenso wie die Silicosis als entschädigungspflichtige schwere Staublungenerkrankung anzuerkennen.

Anmerkungen.

¹ McDonald, 1927, S. 1026: "The fact that exactly similar bodies have been found in the lungs of another asbestos worker, and, so far as I can ascertain, have not been found elsewhere, would seem to indicate that they are essentially derived from or associated in some way with the asbestos itself."

² Vergleiche jedoch *Simson*, 1928, S. 885: Dort werden "very minute doubly refracting particles" bei Fall 2 erwähnt; bei Fall 3 findet sich die Feststellung: "refractile crystalline particles were present"! Die Schnitte sind demnach auch mit polarisiertem Lichte untersucht worden.

³ *Cooke*, 1928, S. 585: "I can make this definite statement: the curious bodies do not exist in asbestos, nor can they be produced from asbestos by any known chemical means."

„They do not polarize light, they contain less iron as Fe_2O_3 , than the chrysotile dust in which the patient worked, and — this is the important point — they do not give a distinctive x-ray pattern by the method devised by Professor Bragg.

These results completely negative the theory that the bodies are asbestos or actual derivatives of asbestos.”

⁴ *Mc. Donald*, 1927, S. 1026: "Till some experimental work is completed the exact nature of these foreign bodies must remain in doubt, but their highly characteristic appearance may well prove to be an important diagnostic point."

⁵ *Mc. Donald*, 1927, S. 1026: "The hypothesis advanced is that these bodies are portions of asbestos fibres in the process of alteration and absorption by hydrolysis, either by direct chemical action or by enzymes".

⁶ *Simson*, 1928, S. 886: "With regard to the unusual structure and chemical nature of the golden yellow bodies found in the lungs in pulmonary asbestosis, until many more cases have been examined and more experimental work has been done very little can be stated. There is no doubt that they are in some way associated with asbestos, or, probably, more particularly with the FeO content, either of the asbestos itself or of the dust of the mill. This dust contains a much higher percentage of iron, which may be derived partly from the lode from which the asbestos is mined."

⁷ *Stewart* 1928a, S. 509: "In passing, one may express the conviction that these bodies are actual derivatives of the inhaled asbestos, and emphatically not animal or vegetable forms."

⁸ *Cooke and Hill*, 1927, S. 890, 891: "The autors of the paper held the view that it was a hyphomycete analogous to that found by Dr. H. H. Scott in batrachians, or that it belonged to the tuberculariaceae, a family of hyphomycetes described by Ehrenberg in 1818."

⁹ *Beintker*, 1931, S. 349, 350, vermutete anfänglich auf Grund der merkwürdigen Formen, die zum Teil „an das Bild von Diatomeen erinnerten, daß sie nicht aus dem Asbest stammten, sondern aus der im gleichen Betriebe verarbeiteten Kieselgurerde“.

¹⁰ *Mc Donald*, 1927, S. 1025: "Others, again, suggest the appearance of minute crustacean forms, but closer examination does not support the idea of either vegetable or animal origin".

S. 1076: „To confirm our own opinion we have submitted (the preparations) to experts in zoology, who are unanimous that they are not of animal nature. We have also submitted them to botanical and chemical authorities, and though there has been a considerable difference of opinion, some regarding them as hyphomycetes, the general opinion has been that they are not vegetable forms“.

¹¹ *Simson*, 1928, S. 886, berichtet über einen Tierversuch von *Mavragordato*: Meerschweinchen mußten 50 Tage hindurch je 2 Stunden lang Chrysotilasbeststaub enthaltende Luft atmen. Das Ergebnis war "a slight generalized fibrosis and a increase in pigment, but the interesting feature was the presence of golden yellow bodies, similar to those seen in the lungs of human pulmonary asbestosis".

¹² Bei Dunkelfeldbeleuchtung dürfte es keine Schwierigkeit bedeuten, die Nadeln zu sehen; doch stand mir kein Dunkelfeldkondensor zur Verfügung. Man kann aber auch mit dem Polarisationsmikroskop eine gelegentlich vorteilhafte Beleuchtung erzielen, indem man die Nicols kreuzt und das Gesichtsfeld durch Einschalten eines Gipsblättchens vom Rot I. Ordnung aufhellt.

¹³ Bei schiefer Beleuchtung gilt für das Auflösungsvermögen A der Quotient

$$A = \frac{\lambda}{2 \cdot \text{num. Apertur}}$$

Im vorliegenden Falle betrug die Apertur 1,30. Beleuchtet wurde mit gefiltertem Licht einer Niedervolt-Glühlampe, dessen Schwerpunkt bei der verwendeten Belastung in dem Bereich um 500 μ lag. Das Auflösungsvermögen reichte demnach gerade noch bis zu 0,2 μ hinab.

¹⁴ Es mag für die subjektive Beobachtung und vor allem für die objektive Festhaltung durch photographische Abbildung so subtiler Objekte gut sein, sich folgende Überlegungen ins Gedächtnis zurückzurufen: Während es gemäß *R. Koch* (*Cohns* Beitr. 1877) nützlich ist, zur *Auffindung* beugender Strukturen die größte (nominale) Apertur anzuwenden — wobei allerdings nur eine minimale Schicht des Objektes zur Abbildung gelangt — finde ich dieses Verfahren für die Betrachtung und Photographie des aufgefundenen Teilchens wenig geeignet: abgesehen davon, daß infolge des geringeren Aplanatismus die Bildwölbung zunehmen würde, bestünde für absorbierende Strukturen der Nachteil, daß nur ein Teil der Zerstreuungskreise zur Abbildung beiträgt, so daß derartige Strukturen verwaschen erscheinen müßten. Vor allem aber ist es auch bei beugenden Strukturen erwünscht, das Objekt nicht nur im Querschnitt, sondern nach Möglichkeit in seiner Tiefenausdehnung darstellen zu können. Ein Gewinn an Schärfentiefe ist aber bekanntlich leicht zu erreichen durch Verminderung der wirksamen Apertur, also durch Einengung des Beleuchtungsbüschels, die sogar mit Vorteil sehr weit gehen kann! Schirmt man, entsprechend der Forderung, daß Objektiv und Beleuchtungskegel möglichst gleiche Aperturen haben sollen, das vom Objekt kommende Strahlenbündel durch eine Blende passend ab, so kann man eine weitere kleine Verbesserung der Bildgüte erreichen. Vgl. auch *Georgi*: Z. wiss. Mikrosk. 36, 40 (1919).

¹⁵ Zum Ansetzen der Formalinlösung ist offenbar gemäß dem normalen Brauch Leitungswasser verwendet worden; jedenfalls fällt aus ihr nach Zusatz von Schwefelsäure Gips aus. Das Sulfation, das in den Schnitten die Ausfällung des Gipes bewirkt hat, ist bei dem Färbeversuch eingeführt worden als Ferriammoniumsulfat, mit dem bei der Eisenhämatoxylinfärbung gearbeitet wird.

¹⁶ Seinem Feinbau nach wird Chrysotilasbest als monoklin angesprochen (*Warren* und *Bragg* 1931). Es brauchte demnach nur ein optischer Vektor senkrecht zur Faserrichtung zu stehen. Doch sieht man unter dem Mikroskop immer ganze Faserbündel. Die einzelnen Teilfasern jedes Bündels sind unter sich nicht krystallographisch parallel orientiert, sondern um die Faserrichtung gegeneinander verdreht — also verdrillt. Deswegen beobachtet man hinsichtlich der beiden möglicherweise geneigt liegenden Vektoren ein statistisches Mittel, das als gerade Auslöschung in Erscheinung treten muß. — Es ist selbstverständlich, daß aus diesem Grunde auch die Brechungsexponenten n_a und n_b nicht gesondert gemessen werden können. Auch für sie erhält man einen Mittelwert — wie ja auch bei der vorliegenden Untersuchung ein Unterschied nicht festgestellt werden konnte (vgl. S. 288).

¹⁷ *Cooke*, W. E., 1929 b, S. 579: "Occasionally biotite fragments occur into fine black spicules, and if our reasoning be correct, some at least of the millions of curious bodies should show a central core of this mineral." (Hier liegt wohl ein Irrtum vor: Biotit ist spaltbar nach einer Fläche; seine Schuppen sind demgemäß nach zwei Dimensionen ausgedehnt. Die Abb. 3, 4, 5 der *Cookeschen* Veröffentlichung, die "illustrate this condition", zeigen jedoch Körperchen von normalem Aussehen; sie sind also nur nach einer Richtung gestreckt!)

¹⁸ Die Länge scheint — bedingt durch die Öffnungsverhältnisse der Luftwege — in allen bisher beschriebenen Fällen sehr übereinstimmend zu sein: *Cooke* (1929b, S. 579) gibt an "20 to 100 microns or more in length"; *McDonald* (1927, S. 1025) vermerkt: "varying in size from 20 μ to 70 μ , or even more in the case of certain

elongated forms". Nur *Timmermans* (1931, S. 286) führt größere Zahlen auf: „Die Größe der Asbestosiskörper schwankt in der Länge zwischen $15\text{ }\mu$ und $160\text{ }\mu$, in der Dicke $1\text{ }\mu$ bis $5\text{ }\mu$.“ „Bei den Asbestosiskörpern von ungewöhnlicher Länge übertrifft der Zentralfaden zuweilen an Länge den Durchmesser des Gesichtsfeldes (?) Wir haben diese großen Asbestosiskörper in der Literatur nicht gefunden.“

¹⁹ *Cooke, W. E.*, 1929b, S. 579: „Under a dissecting microscope it is possible partially to fracture the larger bodies and to show a central fine core“.

²⁰ Mehr aus theoretischen Gründen als durch Beobachtung kam schon *McDonald* (1927, S. 1026) zu dem Ergebnis, die Asbestosiskörperchen beständen aus einem Gel, und zwar aus Kieselgel. Um die Bildungsweise zu erklären, ging er sehr zu treffend davon aus, daß der Chrysotilasbest leicht angreifbar sei, wobei er allerdings — fälschlich — auch Löslichkeit der Kiesel säure voraussetzte: „The silica might pass into a colloidal state, at first in sol form (orthosilicic acid), later passing into a gel (metasilicic acid). If this were so in sol form, it would tend remain associated with the surface of the asbestos fibre by adsorption, and might be held there till it became a gel. In time the gel might adsorb the solution, and so gradual conversion of the fibre into a mass of gel would occur. There might be in the tissues sufficient albuminoid material to effect rapid gelatinization of the sol, particularly if, as would be the case here, the sol was being slowly produced. The fact that the gel is of high surface tension, and formed at an irregular rate, would give it a spheroidal structure and account for some of the appearances seen here. Whether this be the exact explanation or no, it is at least an hypothesis which should be capable of experimental verification.“

McDonalds Intuition schenkte uns damit eine Hypothese der Entstehung, die sich allerdings insofern nicht halten läßt, als das Gel nicht aus SiO_2 besteht, die aber im Grunde dieselben Vorstellungen entwickelt, welche 2 Jahre später *Cooke* benutzt hat, und die sich mir von neuem aufgedrängt haben.

²¹ Es ist bezeichnend, daß auch *Timmermans* (1931) die Segmentierung auf eine Veränderung zurückzuführen geneigt ist: „Die Segmentierungen sind wohl als Schrumpfungsvorgänge anzunehmen.“ Eine bloße Schrumpfung innerhalb des Bildungsfeldes müßte allerdings Veränderungen in den Bedingungen dieses Feldes zur Voraussetzung haben.

²² *Simson, F. W.*, 1928, S. 885: Die „golden yellow bodies were, ... on raising to a red heat, turned black and tended to lose their outline“.

²³ Im Gegensatz zu *Timmermans* (1931) habe ich, zum mindesten nach wiederholter Befeuchtung mit konz. HCl , nicht ein einziges Nadelchen finden können, von dem sich die Eisenoxydkruste nicht völlig gelöst hätte.

²⁴ *Mc Donald, St.*, 1927, S. 1025: „They (the bodies) give a characteristic prussian-blue reaction with potassium ferrocyanide and dilute hydrochloric acid. The reaction is not so obvious unless the solutions are slightly warmed.“ Die letzte Beobachtung habe ich bei meinen Objekten nicht gemacht; die Reaktion erfolgte stets schlagartig und kräftig, gleichgültig, in welcher Weise sie eingeleitet wurde.

²⁵ *Simson, F. W.*, 1928, S. 885: Die „golden yellow bodies were soluble in strong acids.“

²⁶ *Cooke, W. E.*, 1929 b, S. 579: „The bulk of the curious bodies is soluble in strong acids and alkalis.“

²⁷ In Deutschland sind die Asbestosiskörperchen von *E. Beintker* (1931) und von *Fr. D. Timmermans* (1931) untersucht worden. Beide kommen zu gegensätzlichen Angaben. *Beintker* behauptet S. 352: „Die Körper trotzen der Behandlung mit Säuren, es dürfte sich um Kiesel säure handeln, die auf den Fasern niedergeschlagen ist.“ Im übernächsten Satz heißt es aber: „Zerstört man Schnitte durch Salpetersäure, so werden die Körper entfärbt; im zerstörten Gewebe zeigen sich die ... Asbestfasern in großer Menge.“ Es erübrigts sich, dazu etwas zu sagen.

Timmermans schreibt S. 284: „*Cooke* gibt an, die Asbestkörper (soll heißen: Asbestosiskörper) seien in starken Säuren und Basen zum größeren Teile löslich. Wir haben diese Behauptung bei unseren Versuchen nicht bestätigt gefunden. Im Gegenteil, die Asbestkörper lassen sich in rauchender Salpetersäure unbeschädigt kochen. Ebenso sind sie unlöslich in Schwefelsäure und in Salzsäure“ . . . „Die einzige Säure, die nach unseren Untersuchungen die Asbestkörper unmittelbar angreift, ist Flußsäure, und durch diese Untersuchung haben wir den in der englischen Literatur nicht erbrachten Nachweis geführt, daß es sich bei den Asbestkörpern auch wirklich um silicathaltiges Material handelt.“

Cooke hat recht! (Vgl. Anmerkung ²³).

²³ *W. E. Cooke* ist schon 1929 zu praktisch demselben Ergebnis gekommen (Brit. med. J. 1929 II, 580): “The method of formation would appear to be as follows. The fine spicules of asbestos cause, by mechanical action on the bronchioles and alveoli, either minute extravasations of whole blood, or serous exudates, which envelop them. Solution of any soluble fraction of asbestos takes place. . . . Any surface in contact with a colloidal solution may act as an adsorbent, and in the present case the fine spicules must be considered to do so. Interaction between the soluble fraction of chrysotile and plasma proteins takes place, syneuresis occurs, and, with the loss of water, the absorption is rendered irreversible. The adsorbent is permanently ensheathed with stable colloidal aggregates which become moulded into the familiar shapes by alveolar and bronchial currents.”

Zu meinem Bedauern darf ich es nicht verschweigen, daß demgegenüber die Arbeiten von *Beintker* (1931) und *Timmermans* (1931) einen Rückschritt darstellen. Beide Arbeiten enthalten im wesentlichen dasselbe, so daß ich sie gemeinsam besprechen darf: „Es ist wohl der *McDonaldschen* Auffassung (vgl. Anmerkung ²⁰) zuzustimmen, wonach es sich um eine Einkieselung der Asbestfasern handelt.“ (*Timmermans*, S. 309). Zu diesem Fehlresultate haben Fehlbeobachtungen geführt: „Über die chemische Natur der Asbestosiskörper ließ sich folgendes feststellen: Sie sind gegen Schwefelsäure, Salzsäure und Salpetersäure beständig [1]. Um organische Gebilde kann es sich demnach nicht handeln, ebenso wenig um Kalksalze [2]. Auch gegen Hitze sind sie beständig [3]. Bei Rotglut zeigen sie Sinterungerscheinungen. Der in der Hitze zugeführte Sauerstoff (dunkle Rotglut) verändert sie nicht . . .“ [4] (*Timmermans*, S. 307). „Dagegen sind sie in Flußsäure löslich.“ [5] (*Beintker*, S. 352). Hierzu ist zu bemerken: Satz [1] ist in allen Teilen falsch; daher ist auch die Folgerung daraus — Satz [2] — hinfällig. Satz [3] ist ebenfalls falsch; die Eiweißauflagen verbrennen. Auch Satz [4] ist unzutreffend, entweder war die Atmosphäre nicht oxydierend oder die Beobachtung mangelhaft; denn nach Erhitzung in oxydierender Atmosphäre ist die Farbe des an den Nadeln haftenden bleibenden unverbrennlichen Restes anders als die Farbe der Asbestosiskörperchen (vgl. S. 314), wie vor mir schon *Simson* festgestellt hat (Anmerkung ²²). Übrigens wollte man daraufhin die Abb. 5, 7, 9 und andere bei *Timmermans*, S. 287, vergleichen; sie lassen die Undurchsichtigkeit der Auflagerreste klar erkennen! Satz [5] trifft selbstverständlich auf die Kieselgerüste der Nadeln zu, ist jedoch kein Beweis dafür, daß die *Gelhülle* aus Kieselsäure besteht — denn die *Gelhülle* haben *Beintker* und *Timmermans* vor ihren Versuchen entfernt! Man hat sich nämlich zweier für die chemische und die morphologische Untersuchung gleich unmöglich der Isolierungsmethoden bedient: „Unsere Untersuchungen waren in der Methodik geleitet von dem Gedanken, durch Zerstörung des Lungengewebes die Asbestkörper isoliert zu erhalten, um an dem so gewonnenen Material das morphologische und chemische Verhalten der Asbestosiskörper (quasi in Reinkultur) eingehender untersuchen zu können. Unter den chemischen Behandlungen erwies sich am erfolgreichsten die . . . Anreicherungsmethode nach *Beintker*: „Kleine Lungenstückchen werden mit rauchender Salpetersäure behandelt.“ „Diese Anreicherungsmethode ergänzten wir durch eine Veraschungsmethode am Lungenchnitt.“ (*Timmermans*, S. 285). —

Daß nach solcher Vorbehandlung für die beabsichtigte Untersuchung nichts übrigblieb, nimmt nicht wunder!

²⁹ *Podzus*, 1917: Während größere Teilchen von Al_2O_3 , ZrO_2 , ThO_2 in konz. HCl praktisch unlöslich sind, lösen sie sich in Pulvern von $1\text{ }\mu$ Korngröße bis zu mehreren Prozenten!

³⁰ Ungefähr werden benötigt für die Bestimmungen von $\text{C} + \text{H} : 3—5\text{ mg}$, $\text{N} : 2—4\text{ mg}$, Halogen + $\text{S} : 2—5\text{ mg}$.

³¹ Bei dem Falle, von dem das Untersuchungsmaterial stammt, ist mit einem Überschuß an venösem Blute und mit Stauung im Lungenkreislauf zu rechnen; es wurde außer der Asbestosis ein Herzfehler festgestellt (vgl. Sektionsbericht von Prof. *Stroebe*).

³² Ich bin erfreut, für meine lediglich auf der Untersuchung der Asbestosiskörperchen beruhende Meinung einige Bemerkungen in der Arbeit von *Krieger, Rostoski, Saupe* (1931, S. 567) zu finden, die, weil von ganz anderem Standpunkte gewonnen, als um so wirksamere Bekräftigung dienen mögen: Bei Serienuntersuchungen wurden Asbestarbeiter gefunden, für die folgende Angaben gelten:

Geschlecht	Alter	Im Betrieb	Krankheitsstadium
Mann	60 Jahre	31 Jahre	II.—III.
"	70 "	26 "	I.
Frau	61 "	23 "	II.

„Alle drei geben starke Staubgefährdung an.“ „...also trotz der langen Arbeitszeiten und starker Staubgefährdung nicht die stärksten Grade der Erkrankung, einmal sogar nur ein geringer Grad. Das entspricht auch sonst unserer Erfahrung. Wir nehmen an, daß für die Erkrankung an Lungenasbestose neben größerer oder geringerer Vorsicht auch noch zur Zeit nicht bekannte konstitutionelle Momente in Betracht kommen.“

„Es ist noch eine Aussage zu erwähnen, daß bei Beginn der Beschäftigung der Staub den Atem benommen habe, daß aber dann eine Zeit der Gewöhnung ohne Kurzatmigkeit eingetreten sei.“ (S. 568.)

Ich möchte das so deuten: Zuerst mußte der Körper die Resorptionsreaktion in Gang bringen; solange gab es Schwierigkeiten. Dann verrichtete er seine Funktion fast zulänglich; die Belästigung durch den Staub wurde deshalb nicht mehr schwer empfunden. Im allgemeinen wird aber der Körper der Beanspruchung nicht ganz gewachsen sein, die Reaktion also nicht genügend ablaufen. Dann immer muß die Erkrankung mehr oder minder rasch fortschreiten. Das stimmt ausgezeichnet zu den Darlegungen auf S. 339.

³³ In der Fabrik, aus der der Fall gekommen ist, von dem ich das Material zur Untersuchung erhalten habe, wird die Asbestfaser in verarbeitungsfertigem Zustande von auswärts bezogen. Proben dieses Asbestes waren praktisch eisenfrei. Die Lösungen, die durch 4wöchiges Auslaugen des Asbestes mit Säuren erhalten worden waren, gaben mit Rhodankalium kaum einen Hauch von Rotfärbung.

³⁴ *Simson, F. W.*, 1928, S. 886: „Dr. *McCrae* analysed the FeO content of the asbestos used by Dr. *Mavrogordato* in his animal experiments, and found a much lower percentage — namely 0,45.“ (Im Gegensatz zu den meisten Asbesten, die gegen 3% haben!) „Apparently even with very small percentages of FeO the golden yellow bodies are formed in the lungs.“

³⁵ Für diese Meinung habe ich einen überaus treffenden Beleg gefunden: *E. Rosenthal-Deussen, W. Landau, W. Rosenthal* (1931): Bei 13 Gipsformmachern wurde 5mal Silicose I, 1mal Silicose II, 1mal Silicose III beobachtet. Dazu wird in einer Fußnote bemerkt: „Bei den Gipsformmachern ließ sich die Quelle der Silicose nicht ergründen. Die Untersuchung von 4 verschiedenen zur Zeit gebrauchten Gipssorten ergab keine Spur von Quarzgehalt.“ — Ich bin überzeugt, daß das Calciumsulfat Gips die Schädigung zu bewirken vermag.

³⁶ Ich finde dieselbe Ansicht bei *J. Wätjen, F. v. Wolff, W. Jäger* (1931, S. 688): „Der Quarzgehalt hält sich im untersuchten Fall in mäßigen Grenzen und wird kaum allein für die schweren Schädigungen verantwortlich sein.“ Es wurden in einer Mansfelder StaUBLunge 18,0% Carbonate, 11,5% Quarz, 70,5% Tonsubstanz + Feldspat gefunden (S. 693).

³⁷ Die Ansichten, die durch die Anmerkungen ³⁵ u. ³⁶ erhärtet werden sollten, finden weitere Bekräftigung durch die Tierversuche, über die *W. Jötten* (1931) berichtet: „Die stärksten Veränderungen wurden vom Stahlschleifstaub hervorgerufen, danach von den ebenfalls silicatreichen Staubarten wie Tonschiefergestein- und Porzellanstaub... Wesentlich unschädlicher waren trotz ihrer hohen SiO_2 -Werte (!) die Quarzschemotte- und Schamottestaube. Dann kamen — schon nahe an der Indifferenzzone — der Thomasschlacken-, Kohle-, Ruß- und Kalksteinstaub, die mäßig schädigend wirkten, hierauf der Zement-, Textil- und Tabakstaub, ohne aber den Anspruch der Lungengefährlichkeit machen zu können, was wohl schon eher für Bleiweißstaube gelten dürfte Abweichend waren vor allem die Resultate bei den Versuchen mit Quarzschemotte- und Schamottestaub, bei denen man infolge des hohen Gehaltes an freier krystallinischer SiO_2 eine erheblichere Beförderung der tuberkulösen Lungenprozesse hätte erwarten müssen. ... Es zeigt sich hier also, daß es nicht immer richtig ist, anzunehmen, daß eine Staubart umso gefährlicher ist, je mehr freie krystallisierte SiO_2 sie enthält.“ — *Jötten* hat, um einen Maßstab für die schädigende Wirkung der Staubarten zu gewinnen, bei seinen Versuchstieren Lungentuberkuloseinfektionen vorgenommen. Die Versuche sind demnach für Silicose nur unter Vorbehalt vergleichbar. Immerhin geben sie aber einen Anhalt für die Anfälligkeit, die die Lungen infolge Staubeinatmung annehmen.

³⁸ Indem ich „erhebliche Bedingungen“ gesagt habe, habe ich verraten, daß ich mich unterfangen habe, gewisse Bestimmungen der Definition für unerheblich zu halten. Ich finde meine Meinung bestätigt bei *W. Gerlach* (1931). „Diese Definition enthält zwei angreifbare Punkte: die Zugrundelegung der Größe und die annähernd gleichmäßige Verteilung der Knötchen.“

Schrifttum.

- Abramson, H. A.:* New method for the study of cataphoretic protein mobility. *J. amer. chem. Soc.* **50**, 390 (1928). — *Beintker, E.:* Die Asbestosis der Lungen. *Arch. Gewerbepath.* **1931 II**, 345. — *Cohn:* Beitr. Biol. Pflanz. **2**, 1877. — *Cooke, W. E.:* Pulmonary Asbestosis. *Brit. med. J.* **1927 II**, 1024; **1928 II**, 585. — (Occupational Dust. — Section of occupational Diseases.) *Brit. med. J.* **1929a II**, 204. — Asbestos dust and the curious bodies found in pulmonary asbestosis. *Brit. med. J.* **1929 b II**, 578. — *Cooke, W. E. and C. F. Hill:* Pneumoconiosis caused by asbestos dust. *Brit. med. J.* **1927 I**, 890. — *McDonald, St.:* Histology of pulmonary asbestosis. *Brit. med. J.* **1927 II**, 1025. — *Freundlich, H.:* Kapillarchemie, 2. Aufl. Leipzig 1922. — *Freundlich, H. u. H. A. Abramson:* Über die kataphoretische Wanderungsgeschwindigkeit größerer Teilchen in Solen und Gelen. *II. Z. physik. Chem.* **133**, 51 (1928). — *Gardner and Cummings:* Inhalation of asbestos dust, its effect upon primary tuberculous infection. *J. ind. Hyg.* **1931**. — *Gerlach, W.:* Die StaUBLunge des Mansfelder Bergmanns, zugleich ein Beitrag zur Frage StaUBLunge und Lungentuberkulose. *Arch. Gewerbepath.* **1931 II**, 105. — *Haddow, A. C.:* Occupational dust — Section of occupational Diseases. *Brit. med. J.* **1929 II**, 204. — Clinical aspects of pulmonary asbestosis. *Brit. med. J.* **1929 II**, 580. — *Jötten, W.:* Gewerbestaub und Lungentuberkulose. *Fortschr. u. Fortschr.* **7**, 436 (1931). — *Krüger, E., Rostoski u. Saupe:* Über Lungenasbestose. *Arch. Gewerbepath.* **1931 II**, 558. —

Leitmeier, H.: Serpentin. *Doelter, C.*: Handbuch der Mineralchemie Bd. 2, 1. Hälfte, S. 385. Dresden u. Leipzig 1914. — *Lennard-Jones, J. E. and B. M. Dent*: Cohesion at a crystal surface. Trans. Faraday Soc. **24**, 92 (1928). — *Michaelis, L. u. Rona*: Biochem. Z. **2**, 219 (1907); **4**, 11 (1907); **14**, 476 (1908). — *Oliver, Th.*: Clinical aspects of pulmonary asbestosis. Brit. med. J. **1927** II, 1026. — *Pauli, Wo.*: u. *E. Valkó*: Elektrochemie der Kolloide, 1. Aufl. Wien 1929. — *Podzus, E.*: Reaktionsgeschwindigkeit in heterogenen Systemen und Korngroße. Z. physik. Chem. **92**, 227 (1917). — *Rosenbusch-Mügge*: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine, Bd. 1, 2. Hälfte, 5. Aufl. Stuttgart 1927. — *Rosenbusch-Wülfing*: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine, 5. Aufl., Bd. 1, 1. Hälfte Stuttgart 1921/24. — *Rosenthal-Deusen, E., W. Landau u. W. Rosenthal*: Erhebungen über Staublungenerkrankungen in der Steingutindustrie. Arch. Gewerbeopath. **1931** II, 695. — *Schiebold, E.*: Kristallstruktur der Silicate. Erg. exakt. Naturwiss. **11**, 412 (1932). — *Simson, F. W.*: Pulmonary asbestosis in South Africa. Brit. med. J. **1928** I, 885. — *Stewart, M. J.*: The immediate Diagnosis of Pulmonary Asbestosis at Necropsy. Brit. med. J. **1928a** II, 509. — Pulmonary Asbestosis. Brit. med. J. **1928b** II, 675. — A method of examining the sputum for asbestos bodies. Brit. med. J. **1929** II, 581. — *The Svedberg* und Mitarbeiter: Ausführliche Literaturangaben finden sich in *Freundlich, H.*: Kapillarchemie, 4. Aufl., Bd. 2, S. 346—350. Leipzig 1932. — *Terreil, A.*: Analyse d'une chrysotile (serpentine fibreuse ayant l'aspect de l'asbeste); silice fibreuse résultant de l'action des acides sur les serpentines. C. r. hebdomadaires des séances de l'académie des sciences, Paris, **100**, 251 (1885). — *Timmermans, F. D.*: Die Lungenasbestosis und die Asbestosiskörper, ihre Gestalt und Wesenheit. Zbl. Gewerbehyg. **18** (N. F. 8), 280 (1931). — *Udluft, H.*: Silicose als unfallversicherte Berufskrankheit (Geologisch-petrographische Stellungnahme). Z. prakt. Geol. **41**, 32 (1933). — *Wätgen, J., F. v. Wolff u. W. Jäger*: Zur Kenntnis der Mansfelder Staublunge mit chemischer und phasenanalytischer Untersuchung des in der Lunge eingeschlossenen Staubes. Arch. Gewerbeopath. **1931** II, 688. — *Warren, B. E.*: The crystal structure and chemical composition of the monoclinic amphiboles. Z. Kristallogr. **72**, 493 (1930). — *Warren, B. E. and W. L. Bragg*: The structure of Chrysotile. Z. Kristallogr. **76**, 201 (1931). — *Wenzel, A.*: Über die zur Erkennung schwächer Doppelbrechung dienenden empfindlichen Farben. Physik. Z. **18**, 472 (1917). — *Zsigmondy, R.*: Kolloidchemie, 3. Aufl. Leipzig 1920.