

VII. Vergleich des Mineralbestandes im Staub aus Silikotikerlungen mit demjenigen des bearbeiteten Gesteins¹⁾

Von
A. GLAUSER

I. Einleitung

Es wurde die Aufgabe gestellt, die Beziehungen des Mineralbestandes einiger Staublungen zu demjenigen der Gesteine festzustellen, welche Veranlassung zu Silikosefällen gaben. Zu diesem Zweck wurden solche Fälle näher geprüft, bei welchen die Anamnese ergab, dass der von Silikose Befallene wenigstens zum grössten Teil seiner Arbeitszeit den Staub eines Gesteines bekannter Zusammensetzung einatmete. So konnten zu dieser Untersuchung folgende Fälle herangezogen werden²⁾.

Fall 1: Mineur in Stollenbauten bei Sargans. Hauptsächlichstes Gestein, das Veranlassung zur Silikose gab: Brekzien des Verrucano (2).

Fall 3: Mineur und Steinbrucharbeiter im Reusstal. Wichtigstes silikogenes Gestein: Aaregranit (2).

Fall 9: Steinbrucharbeiter in einem Schotterwerk des St.-Galler Rheintales (Buchs). Wichtigstes silikogenes Gestein: Sandstein der Mittleren Kreide (2).

Fall 11: Mineur im Gotthardgebiet (Lucendo). Wichtigstes silikogenes Gestein: Gotthardgranit (4).

Fall 45: Mineur im Schieferwerk Engi (Kt. Glarus). Wichtigstes silikogenes Gestein: Kalkphyllit (Flysch) (2 und 4).

Fall 49: Steinbrucharbeiter in einem Schotterwerk des Mittellandes (Oftringen, Kt. Aargau). Wichtigstes silikogenes Gestein: Niederterrassen-Schotter der Wigger.

In allen diesen Fällen wurden sowohl der Lungenstaub als auch das Gestein, das Veranlassung zur Silikose gab, einer mineralogischen und z. T. chemischen Analyse unterzogen. Leider war es nur im Falle 49 möglich, den zur Einatmung gelangten Betriebsstaub mineralogisch zu untersuchen.

Im Laufe der Untersuchung kristallisierten sich die folgenden Fragestellungen heraus: 1. Welche exogenen Mineralien werden in den Silikotikerlungen angetroffen? 2. Lassen sich Gesteinskomponenten finden, die in den Lungen deutlich zersetzt werden? 3. Gibt es Mineralien, die dort mengenmässig angereichert werden?

¹⁾ Ausgeführt auf der Geotechnischen Prüfstelle des Mineralogisch-petrographischen Institutes der E.T.H.

²⁾ Die Fälle 1, 3, 9, 11 sind angeführt in der Arbeit «Kombinierte pathologisch-anatomische und mineralogisch-röntgenographische Untersuchungen an Silikoselungen» von A. VON ALBERTINI, E. BRANDENBERGER und J. R. RÜTTNER (2).

Die Probleme wurden teils mit Herrn Prof. Dr. F. DE QUERVAIN, teils mit Herrn Dr. J. R. RÜTTNER besprochen. Die hier wiedergegebenen Resultate wurden zum grossen Teil durch diese Zusammenarbeit erhalten. Ich bin den oben Erwähnten übrigens auch für die kritische Durchsicht des Manuskriptes zu grossem Dank verpflichtet.

II. Methodik

1. Die Gewinnung der Lungenstäube

Um den in den Lungen auftretenden Staub zu erhalten, wurde ein grösseres Stück Lunge vorerst getrocknet und dann bei ca. 500°C verascht. Die in den Aschen enthaltenen organogenen Mineralien wie Apatit, β -Ca-Phosphat und weitere noch nicht näher untersuchte Komponenten wurden in heisser konzentrierter Salzsäure gelöst. (Die Anwendung von Königswasser erwies sich als unvorteilhaft, da diese Säure innerhalb von 12 Stunden gewisse Silikate wie Orthoklas bei einer Korngrösse um $1\ \mu$ anzugreifen vermag.) Der in heisser Salzsäure unlösliche Anteil wurde mit destilliertem Wasser ausgewaschen, jedoch nicht getrocknet, da beim Trocknen die sehr kleinen Teilchen zusammenbackten. Die Staubsuspension wurde nun einige Zeit gekocht, damit die allenfalls zusammengebackenen Teilchen auseinanderbrachen; dann wurden mit dem noch heissen Gemisch mittels eines Glasstabes Aufstriche auf Objektträger hergestellt und diese getrocknet. Auf diese Weise konnten möglichst gleichmässig dispergierte Staubschichten erzeugt werden, die dann noch den Vorteil boten, dass die einzelnen Teilchen unbeweglich waren beim Mikroskopieren.

2. Die mikroskopische Untersuchung des Lungenstaubes

Die getrockneten Aufstriche wurden nun mittels der Immersionsmethode mikroskopisch untersucht. Es war möglich, mittels dieser Methode Körner bis zu ca. $1\ \mu$ Grösse zu identifizieren. Traten diese isoliert auf, so war die Methode bis $\frac{1}{2}\ \mu$ hinunter brauchbar. Immerhin kamen Fälle vor, bei welchen die Immersionsmethode versagte, so z. B., wenn es sich darum handelte, bei Körnern von der erwähnten Kleinheit Quarz von Oligoklas zu unterscheiden, welche ungefähr dieselben Brechungsindizes besitzen.

Neben der mikroskopischen Untersuchung von Aufstrichen des Lungenstaubes wurden auch Lungenschnitte geprüft. Diese wurden bei 500°C verascht (13). Wenn es erforderlich wurde, die organogenen Bildungen herauszulösen, so wurden die veraschten Schnitte in heisser Salzsäure und hierauf in destilliertem Wasser gebadet und dann getrocknet. Die veraschten Lungenschnitte wurden ebenfalls mittels der Immersionsmethode mikroskopisch untersucht.

3. Die mineralogische Untersuchung der silikogenen Gesteine

Hier gibt es prinzipiell zwei Untersuchungsmöglichkeiten: 1. den Dünnschliff, 2. das Gesteinspulver, das man, wie beim Lungenstaub, in Form einer Suspension auf den Objektträger bringt und dann trocknet. Diese letztere Methode bietet den Vorteil, dass sie besser, als dies der Dünnschliff erlaubt, den prozentualen Anteil an Mineralien angibt. Der Staubaufstrich wurde dann entsprechend den Lungenstäuben mittels der Immersionsmethode geprüft.

4. Die chemische Untersuchung der silikogenen Gesteine und der Lungenaschen

Falls von den Gesteinen, die für die Beurteilung der Silikosegefährlichkeit von Wichtigkeit waren, keine chemischen Analysen vorlagen (11), wurden solche ausgeführt. Es geschah dies bei den Fällen 1 und 49. Wo es möglich war, wurde aus den Analysendaten der Mineralbestand errechnet und die so erhaltene mineralogische Zusammensetzung mit derjenigen verglichen, die unter dem Mikroskop beobachtet werden konnte.

Ferner wurden die Lungenaschen der hier beschriebenen Silikosefälle analysiert. Die Lungen wurden vorerst getrocknet und dann bei 500° C verascht. Die Aschen setzten sich aus organogenen Bildungen und aus exogenen Mineralien, d. h. aus solchen, die von aussen in die Lungen gelangten, zusammen. Die ersteren wurden weggelöst, indem die Lungenaschen wiederholt mit heisser Salzsäure gekocht wurden. Die in Salzsäure unlöslichen Rückstände sind dann wie Gesteine analysiert worden. Auch hier war es in den meisten Fällen möglich, aus den Analysen den Mineralbestand zu errechnen und ihn mit dem mikroskopischen Befund zu vergleichen.

III. Die mineralogische und chemische Untersuchung der einzelnen Fälle

Fall 1³⁾ (2).

Es handelt sich hier um einen Mineur aus einem Stollenbau bei Sargans (St. Gallen), der dort 6 Jahre lang arbeitete. Die Expositionszeit im Staubmilieu betrug 5 Jahre. Zwischen der Entfernung des Arbeiters von seinem Arbeitsplatz und seinem Tod lag 1 Jahr.

a) Die mineralogische und chemische Zusammensetzung des silikogenen Gesteins

Die Gesteine, deren Stäube in erster Linie zur Einatmung gelangten, waren Schiefer, Sandsteine und Brekzien des Verrucano (Perm) der Mürtischendecke.

Die mineralogische Analyse einiger Dünnschliffe der zwei Haupttypen dieser Gesteine aus dem Stollenbau ergab folgende mengenmässige Zusammensetzung:

³⁾ Es sei auch verwiesen auf F. LANG und R. ZOLLINGER (7).

1. Grobe Sandsteine bis Brekzien.

- 40—50 % Quarz
- 20 % Orthoklas
- 10 % Albit bis Oligoklas
- 15—25 % Serizit
- 5 % Karbonate + akzessorisch Hämatit

Die Feldspäte sind häufig ziemlich stark zersetzt: serizitisiert und kaolinisiert.

2. Sandige Tonschiefer bis Phyllite.

- 30 % und darüber Quarz
- 15 % Feldspäte, wovon 10 % Albit. Diese sind häufig zersetzt.
- 50 % Serizit
- 5 % Karbonate

Im Arbeitsgebiet dominierten die Brekzien. Diese waren nach einer Schätzung von F. DE QUERVAIN ungefähr zu $\frac{2}{3}$, Tonschiefer zu $\frac{1}{3}$ vorhanden. Daneben traten noch Quarzadern auf, die jedoch selten mehr als 3—5 % der gesamten Gesteinsmasse ausmachten (7).

Die Frage muss leider offen gelassen werden, ob die zur Einatmung gelangten Stäube dieselbe mineralogische Zusammensetzung aufwiesen wie die Gesteine. Es ist nicht ausgeschlossen, dass sich in den Stäuben gegenüber den Gesteinen eine gewisse Anreicherung an Serizit ergab, da sich dieses Mineral seiner Blättchenform wegen länger in der Schwebe hält als die mehr isometrischen Partikel, wie sie Quarz und Feldspäte bilden.

Sowohl von einer Brekzien- als auch von einer Schieferprobe wurden chemische Analysen ausgeführt. Sie sind in der Tabelle I am Schlusse der Arbeit wiedergegeben. Aus ihnen liessen sich die Analysenwerte einer Gesteinsmischung berechnen, in welcher das Verhältnis der Brekzien zu den Schieferen entsprechend den Beobachtungen im Arbeitsgebiet 2 : 1 beträgt. Aus den Gewichtsprozenten der Oxyde (Seite 108) ergibt sich folgende mineralogische Zusammensetzung einer solchen Gesteinsmischung:

- 38 % Quarz
- 26 % Serizit
- 7 % Orthoklas
- 21 % Albit bis Oligoklas
- 3 % Hämatit
- 5 % Kalzium-, resp. Kalzium-Magnesiumkarbonat

100 %

Dieser errechnete Mineralbestand kann nun mit demjenigen verglichen werden, der durch die mikroskopische Untersuchung bestimmt wurde. Nach dieser hat die erwähnte Gesteinsmischung ungefähr die folgende Zusammensetzung:

- 40 % Quarz
- 30 % Serizit
- 15 % Orthoklas
- 13 % Albit bis Oligoklas
- 5 % Karbonate

Die Werte für Quarz, Serizit und die Karbonate der chemischen Bestimmung stimmen mit denjenigen der mineralogischen recht gut überein. Die

Summe der Feldspäte ist bei beiden ungefähr gleich; aus der chemischen Analyse ergibt sich jedoch weniger Orthoklas, dafür mehr Plagioklas, als bei der rein mineralogischen Untersuchung erhalten wurde.

b) Die mineralogische Zusammensetzung des Lungenstaubes

Es wurden sowohl veraschte Schnitte [vom Lungenteil L_4 (13)] als auch Staubaufstriche untersucht.

Bei den veraschten Schnitten, die nicht mit Säure behandelt wurden, zeigten sich, wie bei fast allen Schnitten, die bei den andern Fällen ausgeführt wurden, folgende Erscheinungen:

In den einzelnen Staubzellen liessen sich sehr oft die Mineralien nicht deutlich erkennen, da ihre Umrandungen unscharf waren, ferner fiel auf, dass in diesen Staubzellen meist ein Mineral anwesend war mit der Lichtbrechung 1,575 (?). Durch Behandlung mit einer starken Säure konnte dieses Mineral herausgelöst werden. Vermutlich handelte es sich dabei um Hydroxylapatit, der in Lungenstäuben röntgenographisch wiederholt festgestellt wurde. Nachdem dieses relativ hoch lichtbrechende Mineral in Lösung gegangen war, zeigten die Mineralien in den Staubzellen meist deutliche Umrisse, wenn sie nicht zu dicht nebeneinander oder übereinander lagen. Diese Tatsache deutet darauf hin, dass die einzelnen Mineralien, die von aussen in die Lunge gelangten, durch jenes organogene Mineral verkittet wurden. Damit die exogenen Mineralien in ihren Umrisse deutlich erkennbar wurden, war es nötig, eine Einbettungsflüssigkeit zu wählen, deren Brechungsindex bei 1,60 lag oder dann bei ca. 1,50.

Quarz konnte in den veraschten Schnitten und Staubaufstrichen ohne weiteres erkannt werden, wenn der Brechungsindex der Einbettungsflüssigkeit $\sim 1,540$ betrug. In diesem Falle besaßen die Quarzkörner ein schwach positives Relief, d. h. sie leuchteten beim Heben des Tubus auf. Immerhin zeigten auch Oligoklaskörner dieselbe Erscheinung.

Die Grössenordnung der Quarzkörner betrug $\frac{1}{10}$ — 2μ . Nur ausnahmsweise konnten Quarzkörner gesehen werden, die grösser als 3μ waren. Am häufigsten schienen Partikel von $\frac{1}{5}$ — 1μ zu sein. In einer Einbettungsflüssigkeit mit dem Brechungsindex 1,6 konnten die Umrisse der Körner studiert werden. Bis zu einer Korngrösse von $1\frac{1}{2} \mu$ hinunter war deutlich sichtbar, dass die Körner oft sehr scharfe Splitter mit Spitzen, Kanten und Ecken darstellten. An diesen Partikeln liessen sich keinerlei Lösungserscheinungen feststellen, wie sie sich namentlich durch das Auftreten von gerundeten Ecken zeigen müssten. Bei Körnern, deren Grösse unter $1\frac{1}{2} \mu$ lag, konnte im allgemeinen über die Form bei den zur Verfügung stehenden mikroskopischen Mitteln nichts Bestimmtes ausgesagt werden. Immerhin schienen sehr kleine Körner häufig rundliche Formen zu besitzen. Um hieraus einen Schluss ziehen zu können, müssten natürlich noch eingeatmete Betriebsstäube in dieser Hinsicht geprüft werden.

Serizit konnte im Polarisationsmikroskop am besten unter gekreuzten Nicols erkannt werden, indem dieses Mineral eine hohe Doppelbrechung besitzt. Im Gegensatz zum Quarz, der in Form von Körnern vorhanden war, trat der Serizit als kleine Schuppen auf. Diese mochten im Durchschnitt etwas grösser sein als die Quarzkörner. Blättchen mit einer Länge von $2\ \mu$ waren ausserordentlich häufig. Serizitkristalle von einer Grösse, die unter $\frac{1}{2}\ \mu$ lag, konnten von Quarz nur noch sehr schwer unterschieden werden. Hin und wieder traten Serizitblättchen auf mit einer Länge bis zu $10\ \mu$. In den veraschten Schnitten konnte man erkennen, wie der Serizit häufig in der Längsrichtung der Schüppchen den Alveolarwänden anlag.

Feldspat konnte sowohl in den veraschten Schnitten als auch in den Aufstrichen nur vereinzelt festgestellt werden. Damit Orthoklas, Mikroklin und Albit mittels der Immersionsmethode von Quarz unterschieden werden konnten, war es nötig, eine Einbettungsflüssigkeit zu benutzen, bei welcher diese Mineralien ein möglichst stark negatives Relief besaßen, währenddem der Quarz mit einem sehr schwach positiven Relief in Erscheinung trat. Dies war bei einem n von ca. 1,545 gewährleistet. Immerhin war es dann nicht möglich, in ein und demselben Schnitt oder Aufstrich abzuschätzen, wieviel der mengenmässige Anteil der erwähnten Feldspäte gegenüber Quarz betrug. Um ihn zu ermitteln, waren mindestens zwei Präparate notwendig, bei welchen die Staubsuspensionen möglichst gleichmässig aufgetragen wurden. Es konnte dann in dem einen Aufstrich die Menge an Quarzkörnern und in dem anderen diejenige der Feldspäte bestimmt und miteinander verglichen werden. Natürlich waren auf diese Art nur rohe Schätzungen möglich.

Wie erwähnt, liess sich mittels der Immersionsmethode Oligoklas von Quarz bei der hier auftretenden Feinheit der Körner nicht unterscheiden. Feldspäte mit einem höheren n als 1,55 waren nicht vorhanden.

An weiteren Mineralien traten auf: Hämatit, Rutil und Zirkon. Das erstere Mineral war im Lungenstaub ziemlich häufig anzutreffen. Diejenigen Körner, die im Staub eingeatmet worden waren, unterschieden sich im allgemeinen gut von den Eisenoxyd-Bildungen, die sich beim Veraschen der Lungenschnitte hin und wieder einstellten und auf der Verbrennung organischer Eisenverbindungen, besonders von solchen aus dem Blut, beruhten. Dieses organische Eisenoxyd trat höchst selten in Form von einzelnen Körnern auf, sondern war in den veraschten Schnitten sehr oft in Häufchenform oder als Schnüre angeordnet.

Rutil und Zirkon traten nur akzessorisch auf. (Über das Auftreten des ersten in Lungenstäuben soll in einer besonderen Arbeit kurz berichtet werden.)

c) Die chemische Zusammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Anteiles der Lungenasche

Bei Behandlung der Lungenasche mit Salzsäure gingen 37,4 % der Gesamtasche in Lösung. Der unlösliche Anteil wurde wie ein Gestein analysiert

(Analyse: s. Tabelle II). Die Analyse dieser Lungenasche sei hier mit derjenigen der Gesteinsmischung verglichen, die den silikogenen Staub abgab:

	Gestein	Gestein (nach Abzug der Karbonate *)	Lungenasche
SiO ₂	67,93	71,8	68,88
TiO ₂	0,49	0,52	0,39
Al ₂ O ₃	14,0	14,8	22,16
Fe ₂ O ₃	3,09	3,26	2,68
FeO	0,22	0,23	—
MgO	1,26	?	—
CaO	3,08	ca. 1,5	0,58
Na ₂ O	2,12	2,24	2,50
K ₂ O	3,47	3,66	4,54
MnO	0,04	0,04	—
P ₂ O ₅	0,04	0,04	—
CO ₂	2,62	—	—
+ H ₂ O	1,62	1,72	—
	<hr/> 99,98 %	<hr/> 99,81 %	<hr/> 101,73 %

*) Auf 100 % umgerechnet.

Zieht man in Betracht, dass ca. 5,3 % Karbonate im Muttergestein des silikogenen Staubes vorhanden waren, die in den Lungen total in Lösung gegangen sind, so lässt sich die Gesteinsanalyse mit derjenigen des Lungenstaubes am ehesten vergleichen, wenn die Karbonate in der Gesteinsanalyse abgezogen und die unlöslichen Mineralien auf 100 % umgerechnet werden. Dies führt zu den Werten, die sich in der obigen Zusammenstellung in der Kolonne 2 finden.

Der SiO₂-Gehalt des unlöslichen Anteiles der Lungenasche ist ungefähr derselbe wie derjenige des Muttergesteines des pathogenen Staubes; dagegen besitzt die Lungenasche mehr Al₂O₃. Die Gehalte an Alkalien des Gesteines und der Lungenasche sind einander recht ähnlich, ebenso die Fe₂O₃-Gehalte.

Aus der Analyse des unlöslichen Anteiles der Lungenasche liess sich folgender Mineralbestand errechnen:

29 % Quarz
7 % Orthoklas
28 % Albit bis Oligoklas
38 % Serizit
3 % Hämatit
<hr/> 105 %

Der hohe Tonerde-Gehalt der Analyse spiegelt vor allem den hohen Anteil an Serizit wider. Es ist sehr wohl möglich, dass dieses Mineral in den Lungen gegenüber dem erwähnten Gestein angereichert worden ist. Die Anreicherung vollzog sich vielleicht schon im eingeatmeten Betriebsstaub, und zwar wohl dank der Blättchenform des Serizites. Der errechnete Feldspatgehalt des Lungenstaubes stimmt hinsichtlich Orthoklas gut, in bezug auf Plagioklas etwas weniger gut mit denjenigen Werten überein, die aus der Gesteinsanalyse errechnet worden sind. Quarz scheint im Lungenstaub gegenüber den anderen Mineralien eher etwas weniger stark vertreten zu sein als im Gestein. Dies

kann natürlich auf eine nur örtlich bedingte Differenz des Mineralbestandes im Lungengewebe zurückzuführen sein.

Das Mengenverhältnis Serizit zu Quarz im Mikroskop abzuschätzen, war sehr schwierig, da erstens die Serizitblättchen meist grösser waren als die Quarzkörner und zweitens das erstere Mineral vom letzteren bei dieser Kleinheit der Körner nur unter gekreuzten Nicols unterscheidbar war, wobei aber der Quarz seiner geringen Doppelbrechung wegen durch den Serizit «in den Schatten gestellt» wurde.

Der Hämatit schien im Lungenstaub gegenüber dem Gestein etwas angereichert zu sein.

Fall 3 (7).

Hier handelte es sich um einen Arbeiter, der 8 Jahre lang als Mineur im Reusstal arbeitete und weitere 20 Jahre als Steinbrucharbeiter daselbst. Wie die Anamnese zu ergeben scheint, hatte der betreffende Silikotiker während dieser letzteren Zeit oberhalb Altdorf gearbeitet; er hatte in erster Linie Staub eingeatmet, der aus dem Aaregranit entstanden war.

Zwischen der Zeit der Entfernung des Silikotikers aus dem Staubmilieu und seinem Tod verstrichen 2 Jahre.

a) Die mineralogische Zusammensetzung des silikogenen Gesteines

Ein pulverisiertes Stück eines typischen Aaregranites (Göschenen) zeigte folgende Zusammensetzung:

- 30—35 % Quarz
- 40 % Orthoklas + Mikroklin
- 10 % Albit bis Oligoklas
- 8—15 % Biotit
- 5—7 % weitere Gemengteile, wie Serizit, Chlorit, Zoisit, Rutil, Zirkon und Apatit

Auch in diesem Falle konnte nicht ermittelt werden, ob der eingeatmete Betriebsstaub dieselbe mineralogische Zusammensetzung besass wie das Gestein, aus welchem dieser Staub entstanden war.

b) Die mineralogische Analyse des Lungenstaubes

Es wurden sowohl Aufstriche von Lungenstaub als auch veraschte Lungenschnitte geprüft, und zwar letztere von den Stellen L_{10} und L_{r0} .

Wie im Falle 1 zeigte sich auch hier, dass sehr häufig die Mineralien in den einzelnen Staubzellen durch ein in heisser HCl lösliches Mineral miteinander verkittet waren. Wahrscheinlich handelt es sich auch hier um die organogenen Bildungen Hydroxylapatit oder β -Ca-Phosphat.

Hinsichtlich der Korngrössen ergab sich, dass weitaus die meisten Körner Durchmesser von unter 1μ besaßen.

Quarz trat in Körnern auf, die wie im Falle 1 eher selten die Grösse von 3μ überschritten. In diesem Falle liess sich bei geeigneter Einbettung auch

wieder deutlich erkennen, dass bisweilen sehr scharfe Ecken und Kanten auftraten. Bei Körnern unter $1\ \mu$ waren die Umrisse nur undeutlich feststellbar.

Feldspäte (Orthoklas, Mikroklin und Albit) konnten ebenfalls sichtbar gemacht werden durch Einbetten des Staubes in die Flüssigkeit mit $n = 1,545$. Die Korngrösse dieser Mineralien war dieselbe wie die des Quarzes. Mitunter fielen immerhin Körner auf, die $2\ \mu$ wesentlich überschritten. Eine solche Schätzung in Schnitten der Stelle 3 L_{10} erlaubte ca. 30 % aller Körner als Feldspat zu taxieren (Auszählung der Körner war ihrer Kleinheit wegen nicht möglich). Lungenstaub in Aufstrichen ergab ungefähr dieselbe mengenmässige Zusammensetzung.

Biotit wurde sowohl in den veraschten Schnitten als auch in den Staubaufstrichen nur ganz vereinzelt aufgefunden. Die wenigen Körner, die gesehen werden konnten, waren grösser als $3\ \mu$.

Serizit trat dagegen sehr häufig auf. Es war aber aus Gründen, die bei Beschreibung des Falles 1 angeführt wurden, nicht möglich, seinen mengenmässigen Anteil genauer festzustellen.

Wie im Falle 1 waren die Serizitblättchen durchschnittlich etwas grösser als die Quarzkörner.

Zoisit, Rutil und Zirkon. Diese drei Mineralien zeichnen sich durch eine hohe Lichtbrechung aus und waren daher in einer Einbettungsflüssigkeit mit einem niedrigen Brechungsindex durch ihr stark positives Relief sehr leicht zu erkennen. Da es sich aber um sehr kleine Körner handelte, die ungefähr $1\text{--}2\ \mu$ gross waren, waren diese drei Mineralien nicht leicht voneinander zu unterscheiden; denn obschon ihre Doppelbrechungen untereinander sehr verschieden sind, waren die Interferenzfarben bei der erwähnten kleinen Korngrösse so niedrig, dass sie sich nur sehr unwesentlich voneinander unterschieden. Überdies trat dann häufig noch Serizit hinzu, was die Identifizierung der Körner noch erheblich erschwerte.

In einer Einbettungsflüssigkeit mit einem Brechungsindex von ungefähr 1,65 waren die Konturen der niedrig lichtbrechenden Mineralien, wie die des Quarzes und der Feldspäte, so stark geworden, dass jene erwähnten hoch lichtbrechenden Körner bei dieser Kleinheit zwischen den stark heraustretenden niedrig lichtbrechenden sozusagen «ertranken» und kaum sichtbar waren. Immerhin konnten durch Einbetten der Schnitte in eine hoch lichtbrechende Immersionsflüssigkeit Rutil und Zirkon hin und wieder erkannt werden.

Der mengenmässige Anteil dieser drei hoch lichtbrechenden Mineralien am Gesamtstaub betrug höchstens 1 %.

Verglich man die mineralogische Zusammensetzung des Lungenstaubes mit der eines fein pulverisierten Stückes Aaregranit, so fiel auf, dass der Biotit im Lungenstaub fehlte, obschon er zu mindestens 8—15 % im Aaregranit vertreten war. Dagegen schien der Serizit resp. der Muskowit im Lungenstaub etwas häufiger vorzukommen als in diesem Gestein. Um entscheiden zu können, ob sich Biotit in der Lunge gelöst oder zersetzt hatte, oder ob durch irgendeinen Umstand im Verhältnis viel weniger Biotit in die Lunge gelangt

war als andere Mineralien, müsste auch eingeatmeter Betriebsstaub untersucht werden. Das gleiche gilt für eine allfällige Anreicherung von Serizit in der Lunge.

Da von der Lungenasche dieses Falles eine Analyse ausgeführt wurde, die in (2) und (4) wiedergegeben wurde, sei auf diese im Hinblick auf die mineralogische Zusammensetzung und der Beziehung zum Granitstaub noch kurz eingegangen.

Zum Vergleich mit der Zusammensetzung des Lungenstaubes dieses Falles ist hier eine Analyse eines typischen Aaregranites aus dieser Gegend wiedergegeben.

	Aaregranit („Chemismus“ II/46)	Lungenasche des Falles 3
SiO ₂	71,00	40,80
TiO ₂	0,36	0,36
Al ₂ O ₃	13,96	8,44
Fe ₂ O ₃ (alles Fe in Fe ₂ O ₃)	3,75	8,98
MnO	0,11	0,03
MgO	0,11	2,33
CaO	1,82	9,40
Na ₂ O	3,43	1,95
K ₂ O	5,29	4,72
P ₂ O ₅	0,29	23,07
+ H ₂ O	0,54	—
Total	100,66	100,08

Vergleicht man diese beiden Analysen miteinander, so fallen in der Lungenasche gegenüber dem Granit die hohen Gehalte an P₂O₅, CaO, Fe₂O₃ und MgO auf. Bedenkt man, dass diese Asche ausser aus mineralischen Bestandteilen auch aus organogenen aufgebaut wurde, die in starken Säuren löslich waren, so braucht man nur zu vergleichen, ob das Plus der erwähnten Verbindungen die prozentuale Menge des in Königswasser löslichen Anteiles ausmacht. Nach (2) waren 46,5 % der Lungenasche, die ihrerseits 6,35 % des Trockengewichtes der Lunge betrug, löslich. Die Differenzen der prozentualen Werte der genannten Verbindungen, die in der Lungenasche reicher vertreten waren als im Gestein, betragen für Fe₂O₃ 5,23, für MgO 2,22, für CaO 7,58, für P₂O₅ 22,78. Die Summe dieser Differenzen ist 37,81. Diese Zahl ist etwas niedriger als die in Königswasser löslichen 46,5 %. Der Unterschied kann freilich darin beruhen, dass es sich bei der Analyse um örtlich andere Lungenpartien handelte als bei der Säurebehandlung. Weitere Möglichkeiten wären: Lösung eines gewissen Teiles der Silikate bei der Säurebehandlung oder Differenzen im Chemismus des Granites.

Geht man von der Voraussetzung aus, dass 37,81 % der erwähnten Analyse organogen seien, und rechnet man die restlichen 62,19 %, die in Königswasser unlöslich sind, auf 100 % um, so erhält man die Oxydprocente, die im Gesteinsanteil der Lungenasche angenommen werden dürfen. Bei den Werten für die Oxyde, die im Lungenanteil überwiegen, werden diejenigen eingesetzt, die der zitierten Gesteinsanalyse entsprechen.

SiO ₂	65,7	
TiO ₂	0,58	
Al ₂ O ₃	13,6	
Fe ₂ O ₃	3,75	
MnO ₃	0,11	
MgO	0,11	
CaO	1,82	
Na ₂ O	3,14	
K ₂ O	7,65	(wahrscheinlich ein Teil organogen)
P ₂ O ₅	0,29	
	<hr/>	
	96,75	

In dieser Analyse können natürlich einzig SiO₂, TiO₂ und Al₂O₃ mit den entsprechenden Werten des Ausgangsgesteines und untereinander verglichen werden. Auf alle Fälle ist ersichtlich, dass der so errechnete Kieselsäuregehalt des exogenen Anteils in der Lunge relativ gut mit demjenigen des Granites übereinstimmt. Dasselbe gilt für Al₂O₃. Das Verhältnis $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ im angegebenen Gestein beträgt 5,08 und im exogenen Anteil des Lungenstaubes 4,84. Aus diesen Zahlen kann man entnehmen, dass die tonerdehaltigen Silikate, wie Feldspäte und Serizit, hinsichtlich ihrer Löslichkeit sich sozusagen gleich verhalten haben wie der Quarz. Dies soll im folgenden an einem weiteren Fall (11) belegt werden.

Fall 9 (2).

Bei Fall 9 stand die Lunge eines Arbeiters zur Verfügung, der 13 Jahre im Silo eines Hartschotterwerkes eines Steinbruches im St.-Galler Rheintal (Buchserberg) beschäftigt war und an einer Silikose starb.

Seine Expositionsdauer betrug 13 Jahre. Zwischen dem Zeitpunkt der Entfernung des Arbeiters aus dem Staubmilieu und seinem Tod verstrichen 8 Jahre.

a) Die mineralogische Zusammensetzung des Gesteins

Das Gestein, das in diesem Falle den silikogenen Staub lieferte, stammte aus der Mittleren Kreide (Gargasien), es sind die sogenannten Gamserschichten. Sie stellen einen kompakten, sehr druckfesten Sandstein dar, mit folgender durchschnittlicher mineralogischer Zusammensetzung (6):

- 50—60 % Quarz
- 5—10 % Kalzit
- 15—20 % Glaukonit
- 10—30 % weitere Gemengteile, wie «Tonsubstanzen», Phosphorit, Feldspäte, Zirkon

Es sei hier auch auf die chemische Analyse eines typischen Gesteines aus diesen Schichten verwiesen, die sich in der dieser Arbeit beigegebenen Analysentabelle I befindet.

b) Die mineralogische Zusammensetzung des Lungenstaubes

Sowohl in den veraschten Lungenschnitten als auch in den Staubaufstrichen konnte Quarz festgestellt werden. Die Korngrösse dieses Minerals bewegte sich zwischen Bruchteilen von 1μ bis zu $2-3 \mu$. Die Durchmesser der meisten Körner lagen unter 1μ . Hinsichtlich der Umrisse der Quarzkörner gilt das bei den beschriebenen Fällen Erwähnte.

Weder Kalzit noch Glaukonitkörner konnten festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass diese beiden Mineralien in der Lunge zersetzt wurden. Glaukonit stellt ein Kalium-Eisen-Silikat dar, das sehr leicht zersetzbar ist. In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeit von JÖTTEN und PFEFFERKORN (5) hingewiesen, die dem Glaukonit eine pathogene Wirkung in der Lunge zuschreiben, die darauf beruhen soll, dass infolge Ionenaustausch das K des Glaukonites in Lösung gehe und an Stelle von K-Ionen Kalzium-Ionen in das Gitter eintreten. Das Kalium-Kation seinerseits rufe eine Veränderung des pH-Wertes der Lungenflüssigkeit hervor, was die schädigende Wirkung des Quarzes erhöhe. Experimentelle Untersuchungen mit Glaukonit wurden jedoch von den beiden Autoren nicht durchgeführt, so dass obige Erklärungsmöglichkeit einer allfälligen pathogenen Wirkung von Glaukonit vorderhand hypothetisch bleibt.

Der mit Salzsäure oder Königswasser behandelte Lungenstaub dieses Falles enthielt hin und wieder eine farblose Mineralart, die eine ungefähre Lichtbrechung von 1,52 aufwies. Ob es sich dabei um das in (2) angeführte Mineral x handelte, konnte nicht entschieden werden, indem eine erneute Röntgenaufnahme des in HCl unlöslichen Staubanteiles nur Quarz erkennen liess.

An weiteren Mineralien konnten sowohl in den Staubaufstrichen als auch in den Schnitten beobachtet werden: Serizit und sporadisch Rutil. Dieses letztere Mineral trat meist in Form von $5-10 \mu$ langen Stäbchen auf, die eine Breite von $\frac{1}{2}-1 \mu$ besaßen.

c) Die chemische Zusammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Anteiles der Lungenasche

Ein Teil der Lunge dieses Falles wurde behandelt wie im Abschnitt II/4 kurz beschrieben worden ist. Da zu wenig Material zur Verfügung stand, konnten die Alkalien nicht bestimmt werden. (Die Analyse ist in der Tabelle II angeführt.)

Auffällig ist der hohe SiO_2 -Gehalt gegenüber den anderen Oxyden im unlöslichen Anteil der Lungenasche. Dies ist dadurch erklärlich, dass das silikogene Gestein ausser den Karbonaten Calcit und eventuell Dolomit in erster Linie Quarz enthielt. Sowohl Feldspäte als auch Glimmer traten nur sehr untergeordnet auf.

Der in Salzsäure unlösliche Anteil der Lungenasche betrug nur 31 %. In Lösung gegangen sind die organogenen Bildungen, wohl in erster Linie Phosphate, auf keinen Fall aber Karbonate. Denn es wurde beim Lösen der Asche in Salzsäure keine CO_2 -Entwicklung wahrgenommen.

Fall 11.

Dies war ein Mineur, der bei neunjähriger Gesteinsstaub-Exposition an einer Silikose gestorben war. Die Anamnese wies darauf hin, dass dieser Arbeiter während dieser Dauer in erster Linie Staub des Gotthardgranites eingeatmet hatte, und zwar offenbar hauptsächlich solchen von der Gegend des Lucendrosees.

Es verfloss 1 Jahr vom Zeitpunkt der Entfernung dieses Arbeiters aus dem Staubmilieu bis zu seinem Tod.

Es soll im folgenden die mineralogische Zusammensetzung dieses Gesteins mit derjenigen des Lungenstaubes verglichen werden.

a) Die mineralogische Zusammensetzung des Gesteins

Ein Pulverpräparat des Fibbiigranites aus dem Lucendrogebiet zeigt folgende Zusammensetzung:

25 %	Quarz
15 %	Orthoklas + Albit, $n < 1,545$
35 %	Albit bis Oligoklas, $n \sim 1,545$
15 %	Biotit
10 %	Zoisit, Epidot + Serizit
	Akzessorisch Apatit, Zirkon, Rutil, Erz

Ferner setzten sich drei Dünnschliffe eines Gotthardgranites aus dieser Gegend folgendermassen zusammen⁴⁾:

30 %	Quarz
30 %	Orthoklas
20 %	Albit
10 %	Biotit
5 %	Zoisit + Epidot
5 %	Serizit, Zirkon, Apatit, Granat, Rutil

Betriebsstaub stand für die Untersuchung leider nicht zur Verfügung, so dass nicht festgestellt werden konnte, wie die effektive Zusammensetzung des hauptsächlichsten Staubes war, der durch den Mineur des Falles 11 eingeatmet wurde.

b) Die mineralogische Zusammensetzung des Lungenstaubes

Es wurden sowohl veraschte Lungenschnitte als auch Staubaufstriche ausgeführt, und zwar von je zwei Stellen der Lunge.

In den veraschten Schnitten zeigte sich ebenfalls sehr häufig die Erscheinung, dass die einzelnen Mineralien in den Staubzellen durch ein in heissem HCl lösliches Mineral mit einer Lichtbrechung von ca. 1,58 verkittet waren. Ferner wiesen veraschte staubfreie Alveolarwände, die bei starker Vergrösse-

⁴⁾ Eine chemische Analyse dieses Gesteins findet sich in der Tabelle I am Schlusse dieser Arbeit.

ring in einer geeigneten Einbettungsflüssigkeit als dünne Stränge sichtbar waren, einen ähnlichen Brechungsindex auf.

Quarz und Feldspäte traten in ungefähr derselben Korngrösse auf: von Bruchteilen eines μ bis zu $2-3 \mu$. Die Hauptmenge der Körnchen dieser Mineralarten besass einen Durchmesser von etwas weniger als 1μ . Auch hier war bezeichnend, dass Körner von $1\frac{1}{2} \mu$ und darüber häufig scharfe Ecken und Kanten bildeten.

In einer Einbettungsflüssigkeit mit $n = 1,545$ konnten im Lungenstaub oder in den Lungenschnitten, die mit heisser Salzsäure behandelt wurden, ungefähr $10-20 \%$ Körner mit einem schwach negativen Relief festgestellt werden (Abb. 1 und 2). Es handelte sich bei diesen in der Hauptsache entweder um

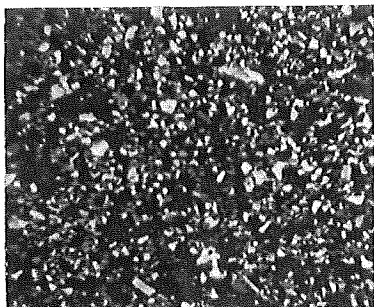


Abb. 1 Lungenstaub des Falles 11. Brechungsindex der Einbettungsflüssigkeit = 1,60. Hauptsächlichstes Mineral: Quarz. Er tritt in diesem Medium durch sein starkes Relief hervor.

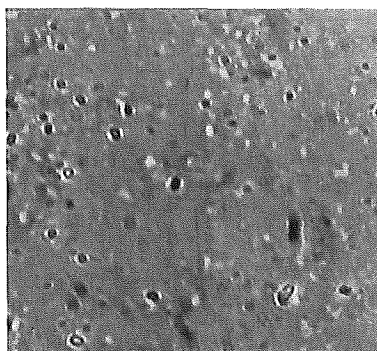


Abb. 2 Lungenstaub des Falles 11. Brechungsindex der Einbettungsflüssigkeit = 1,545. Orthoklas und Albit treten als weisse Punkte hervor.

Orthoklas oder Albit. Der Albit bis Oligoklas, der im Fibbiagranit vertreten ist, besitzt einen Brechungsexponenten, der sehr wenig von Quarz verschieden ist. Es war daher nicht möglich, mittels der Immersionsmethode in den vorhandenen Präparaten diese beiden Mineralien zu trennen, und es ist somit auch kaum möglich, einen bestimmten Wert für den Mengenanteil an Quarz anzugeben. Ca. 60% der Körner besaßen in der Einbettungsflüssigkeit $n = 1,545$ sozusagen kein Relief mehr.

Serizit trat nicht besonders häufig auf. Dieses Mineral war oft etwas grösser als Quarz resp. die Feldspäte.

Biotit konnte nur vereinzelt festgestellt werden. Die bräunlichgelben, pleochroitischen Blättchen waren fast durchwegs grösser als 2μ .

Zoisit. Bettete man die Lungenstaubpräparate in eine Flüssigkeit mit einem Brechungsindex von 1,54 ein, so fiel eine grössere Anzahl von Körnern auf, die ein hohes Relief besaßen. Das Relief dieser Körner war ebenfalls noch

sehr hoch in einer Einbettungsflüssigkeit von 1,60, so dass ihr Brechungsindex um 1,70 geschätzt werden konnte. (In einer Flüssigkeit mit einem solchen n waren die fraglichen Körner leider nicht mehr zu erkennen, da sie unter den übrigen mit einem sehr stark negativen Relief mit ihren breiten Konturen untergingen.) Verglich man jedoch die Staublungenpräparate mit den Pulverpräparaten des entsprechenden Gesteins, so konnten die hoch lichtbrechenden Körner mit einer übrigens ziemlich hohen Doppelbrechung als Zoisit bestimmt werden. Dieses Mineral tritt sowohl im Gotthard- als auch im Aaregranit als Umwandlungsprodukt der Plagioklase — veranlasst durch die Epimetamorphose — auf.

Die Zoisitkörner im Lungenstaub waren meist rundlich. Ihre Grösse übertraf in den meisten Fällen die des Quarzes und der Feldspäte, indem der Durchmesser des ersten Minerals 1—6 μ betrug, wobei die meisten Körner einen solchen von 1—2 μ besaßen.

Im Lungenstaub konnte ferner noch akzessorisch Rutil, eventuell Zirkon, festgestellt werden.

c) Die chemische Zusammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Anteiles der veraschten Lunge

Auch in diesem Fall wurde ein grösseres Stück Lunge verascht und wiederholt mit Salzsäure behandelt. Der unlösliche Anteil betrug 83,3 %. Das, was in Lösung ging, setzte sich aus organogenen Bildungen zusammen.

Im folgenden sei die Analyse des Ausgangsgesteines, das in diesem Fall in erster Linie den silikogenen Staub lieferte, mit derjenigen des unlöslichen Anteiles der Lungenasche verglichen:

	Fibbiagranit („Chemismus“ III/9)	Lungenasche (unlöslicher Anteil)
SiO ₂	72,02 %	76,06 %
TiO ₂	0,27 %	0,07 %
Al ₂ O ₃	14,45 %	13,37 %
Fe ₂ O ₃	0,52 %	0,44 %
FeO	1,57 %	—
MgO	0,21 %	0,09 %
CaO	2,27 %	0,53 %
Na ₂ O	3,21 %	4,05 %
K ₂ O	4,84 %	4,25 %
MnO	0,03 %	
P ₂ O ₅	0,42 %	
+ H ₂ O	0,46 %	
— H ₂ O	0,00 %	
	<hr/> 100,27 %	<hr/> 98,86 %

Diese beiden Analysen sind einander recht ähnlich, ist doch der Chemismus des unlöslichen Anteiles dieser Lunge ebenfalls der eines Granites. Aus den Gewichtsprozenten dieses Aschenrückstandes kann man den folgenden Mineralbestand errechnen:

Quarz	30 %
Orthoklas	24 %
Albit bis Oligoklas	42 %
Serizit	2 %
Rutil	0 %
	98 %

Diese mineralogische Zusammensetzung ist mit derjenigen des oben beschriebenen Fibbiagranites ziemlich verwandt. Erwähnenswert ist, dass der exogene Anteil der Lungenasche nur zu ca. $\frac{1}{3}$ aus Quarz, dagegen zu $\frac{2}{3}$ aus Feldspäten besteht. Ähnlich wird sich übrigens auch der Fall 3 verhalten, bei dem ebenfalls in erster Linie Granitstaub eingeatmet wurde.

Vergleicht man die mineralogische Zusammensetzung des Lungenstaubes — wie sie das Mikroskop zeigte — mit derjenigen des entsprechenden Gesteines des Falles 11, so geht hervor, dass:

1. die relative Menge an Orthoklas und Albit im Lungenstaub nicht wesentlich von derjenigen im Gesteinsstaub abwich;
2. Biotit in viel geringerer Menge im Lungenstaub auftrat als im Gotthardgranit und
3. Zoisit in der Lunge gegenüber dem entsprechenden Gestein etwas angereichert zu sein schien.

Ob Punkt 2 auf einer Auflösung des grössten Anteils des Biotites in der Lunge beruht, oder ob bereits im Betriebsstaub die Menge an Biotit gegenüber dem Gestein eine Verringerung erfuhr, muss dahingestellt bleiben.

Ebenso kann nicht entschieden werden, weshalb sich der Zoisit im Lungenstaub offenbar etwas angereichert hatte.

Fall 45.

Obschon es nicht sicher feststeht, ob der verstorbene Silikotiker dieses Falles nur als Mineur im Schieferbruch Engi (Kt. Glarus) gearbeitet hat, oder ob er daneben auch als Steinschleifer bei der Schieferbearbeitung tätig war, sei trotzdem kurz auf den mineralogischen Befund dieses Falles eingegangen.

Die Expositionszeit betrug in diesem Falle 45 Jahre. Das Zeitintervall zwischen der Entfernung des Arbeiters aus dem Staubmilieu und dem Tod betrug 1 Jahr.

Das Gestein stellte einen Kalkphyllit des Flysches dar. Es wurde bereits in der Arbeit von H. GESSNER (3) beschrieben. Nach den dortigen Angaben setzte sich dieser Schiefer⁵⁾ folgendermassen zusammen:

26 % Quarz
43 % Serizit
26 % Kalkspat
5 % weitere Gemengteile

⁵⁾ Seine chemische Analyse ist in der Tabelle I am Schluss aufgeführt.

Erwähnenswert war der relativ hohe Anteil an Rutil. Ferner traten etwas Chlorit und Pyrit auf.

Im Lungenstaub konnten identifiziert werden: Quarz, Serizit und Rutil. Karbonate waren nur ganz untergeordnet vorhanden.

Der **Q u a r z** trat in der Lunge in derselben Grösse auf wie in dem eben beschriebenen Fall. Auch für den **S e r i z i t** galt hinsichtlich der Korngrösse das früher Erwähnte. Auffallend waren in den einzelnen veraschten und teils mit heisser Salzsäure behandelten Lungenschnitten die zahlreichen Rutilnadeln, die bis zu 10 μ Länge erreichen konnten. Dieses Mineral trat oft auch kornförmig auf. Form und Grösse stimmten mit dem im Gestein angetroffenen Rutil überein.

Der in heisser Salzsäure unlösliche Anteil der Lungenasche betrug 61,6 % der Gesamtasche. Die chemische Analyse dieser unlöslichen, aus exogenen Mineralien bestehenden Fraktion ist auf Tabelle II wiedergegeben. Der aus der Analyse errechnete Mineralbestand lautet:

61 % Serizit
40 % Quarz
2 % Rutil
<hr/>
103 %

Zieht man in Betracht, dass vom oben erwähnten Schiefer, der den pathogenen Staub lieferte, die Karbonate in den Lungen grösstenteils in Lösung gingen, so lässt sich der Mineralbestand dieses Gesteines mit der mineralogischen Zusammensetzung des Lungenstaubes am besten vergleichen, wenn die Karbonate ausser Betracht gelassen werden und der restliche Mineralbestand des Gesteines auf 100 % umgerechnet wird. Und so erhält man eine mineralogische Zusammensetzung des Gesteines:

58 % Serizit
35 % Quarz

Diese Werte stimmen relativ gut mit den entsprechenden der Lungenasche überein. Eine Anreicherung von Serizit gegenüber Quarz in den Lungen, die dank der Form des ersterwähnten Minerals eigentlich zu erwarten gewesen wäre, hat anscheinend nicht stattgefunden.

Auffällig an der Zusammensetzung der Lungenasche ist der hohe Wert für TiO_2 , der mit dem überaus häufigen Auftreten von Rutil im Lungenstaub im Zusammenhang steht. (Es wird darüber in einer anderen Arbeit kurz berichtet.)

Fall 49.

Dieser Fall ist insofern von Interesse, als hier Betriebs- und Lungenstaub zur Verfügung standen. Es konnten also diese beiden sowohl hinsichtlich Korngrößenverteilung als auch in bezug auf ihre mineralogische Zusammensetzung

miteinander verglichen werden. Die erstere Untersuchung wurde durch Herrn Prof. Dr. H. GESSNER und Herrn Ing. H. BÜHLER durchgeführt. Die Ergebnisse werden an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Die mineralogische Prüfung der beiden Stäube soll hier wiedergegeben werden.

Der erwähnte Arbeiter war während 22 Jahren im Silo eines Schotterwerkes bei Oftringen tätig, wo er an einer Silikose tödlich erkrankte. Der Tod trat 3 Jahre nach der Entfernung des Arbeiters aus dem Staubmilieu ein.

a) Petrographische Zusammensetzung des Schotters

Der bei Oftringen (Kt. Aargau) zur Zermahlung gelangende Kies stammt aus der Niederterrasse der Wigger. Er besteht in erster Linie aus Komponenten der Nagelfluh aus dem Napfgebiet, vermischt mit Gesteinsmaterial, das vom Reussgletscher transportiert wurde. Im wesentlichen wird dieser Kies durch folgende Komponenten aufgebaut:

- 22 % Quarzite
- 42 % Sandsteine
- 30 % Kalksteine und Kieselkalke
- 6 % Granite, Diorite und weitere kristalline Gesteine

Aus dieser petrographischen Zusammensetzung liess sich ein ungefährer Quarzgehalt von 36 % errechnen.

b) Mineralogische Zusammensetzung des Betriebsstaubes

Im geschlammten Betriebsstaube bei Korngrössen unter 80μ wurden bestimmt:

- 40 % Quarz
- 11 % Plagioklas, meist Oligoklas
- 4 % Orthoklas
- 5 % Serizit
- 40 % Karbonate, zum grössten Teil CaCO_3

Die mikroskopische Untersuchung des Betriebsstaubes zeigte, dass namentlich der Quarz in sehr scharfkantigen Splintern auftrat. Die übrigen Silikate schienen meist nach bevorzugten Spalttrichtungen zerbrochen zu sein. Sie zeigten also weit weniger jenen splitterigen, zuweilen schaligen Bruch, wie er für den Quarz typisch war. Die Karbonate wiesen im allgemeinen nicht besonders scharfe Ecken und Kanten auf.

c) Chemische Zusammensetzung des Betriebsstaubes

Von der Korngrössenfraktion, die kleiner als 0,06 mm war, wurde eine chemische Analyse ausgeführt. Sie ist auf der Tabelle I am Schluss der Arbeit wiedergegeben. Aus dieser Analyse konnte folgender Mineralbestand errechnet werden:

	41,0 %	Kalzium-, resp. Kalzium-Magnesiumkarbonate
	39,0 %	Quarz
	7,0 %	Orthoklas
	7,0 %	Oligoklas
ca.	1,0 %	Serizit
ca.	0,5 %	Hornblende
ca.	1,0 %	Epidot
ca.	0,2 %	Rutil
ca.	1,0 %	Limonit
	98 %	

Diese mineralogische Zusammensetzung stimmt ziemlich gut mit derjenigen überein, die unter dem Mikroskop festgestellt wurde.

d) Mineralogische Untersuchung des Lungenstaubes

In den veraschten Schnitten konnte in einer Einbettungsflüssigkeit mit einem geeigneten Brechungsindex (am besten 1,50) wieder gut beobachtet werden, wie die einzelnen Mineralien in den Staubhäufchen durch einen Stoff miteinander verkittet waren, der in heissem HCl löslich war (Abb. 3 und 4).

Ferner war in den mit Salzsäure behandelten Schnitten häufig zu beobachten, dass die Mineralien in den Staubzellen mosaikartig nebeneinander lagen, als ob sie durch eine allseitig zusammenpressende oder ziehende Kraft gezwungen wären, in ihrer Gesamtheit einen möglichst kleinen Raum einzunehmen.

Hinsichtlich der Korngrößen fiel auf, dass der Quarz häufig durch grössere Teilchen dargestellt wurde als bei den oben beschriebenen Fällen. So mögen ca. 10 % der Körner einen Durchmesser von 4μ erreichen. Auch hier konnte beobachtet werden, wie Körner vom Durchmesser bis $1\frac{1}{2}$ – 2μ hinunter häufig scharf eckig waren. Bei den Konturen der Körner unter dieser Grösse kann nichts Bestimmtes mehr ausgesagt werden.

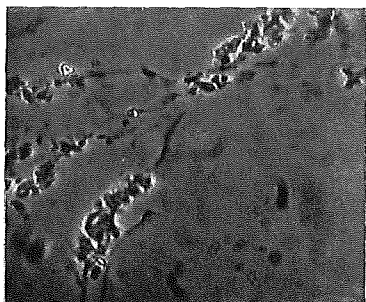


Abb. 3 Veraschter Lungenschnitt des Falles 49. Nicht mit heisser Salzsäure behandelt. Brechungsindex der Einbettungsflüssigkeit = 1,60. Hauptsächlichstes Mineral: Quarz.

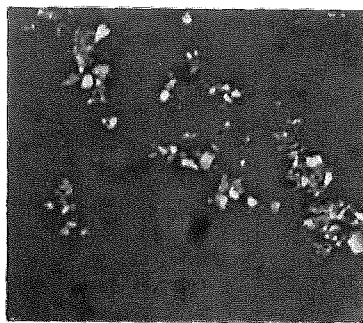


Abb. 4 Veraschter Lungenschnitt des Falles 49. Mit heisser Salzsäure behandelt. Brechungsindex der Einbettungsflüssigkeit = 1,60. Hauptsächlichstes Mineral: Quarz.

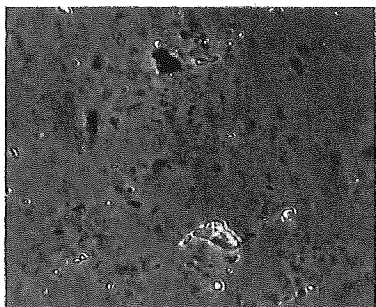


Abb. 5 Lungenstaub des Falles 11. Brechungsindex der Einbettungsflüssigkeit = 1,54. Die hellen Mineralien mit dem starken Relief: Epidot und Zoisit.

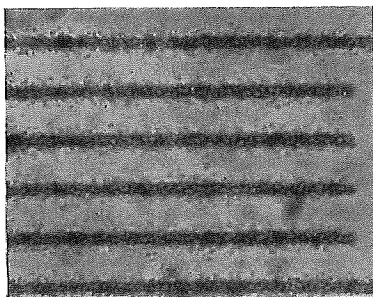


Abb. 6 Maßstab. Abstand zweier Teilstriche = $\frac{1}{100}$ mm.

Sowohl die Prüfung der veraschten Schnitte als auch die der Lungenstaub-aufstriche zeigte, dass die Karbonate fehlten, obschon im Betriebsstaub 40 % davon enthalten waren.

Am häufigsten trat im Lungenstaub der Q u a r z auf. Er mochte 70—80 % der exogenen Mineralien betragen.

F e l d s p ä t e, die niedrigere Brechungsindizes aufwiesen als $n = 1,540$, wie Orthoklas, Mikroklin und Albit, waren ungefähr zu ca. 10 % vorhanden. Oligoklas dagegen mit dem höheren Brechungsindex konnte aus dem früher genannten Grunde nicht von Quarz unterschieden und identifiziert werden.

S e r i z i t trat nur in untergeordneter Menge auf. Sein Anteil betrug durchschnittlich 5 %.

Akzessorisch traten ferner auf: Rutil, Zirkon und eventuell Zoisit; hin und wieder Diatomeenbruchstücke. Bemerkenswert ist, dass die letzteren bisweilen recht gross waren. So konnten in einem Staubaufstrich ein mit Poren besetztes Bruchstück einer rundlichen Diatomee gefunden werden, das einen Durchmesser von 40μ aufwies. Die ausserordentliche Grösse dieses Gebildes gegenüber dem übrigen Lungenstaub lässt es natürlich fraglich erscheinen, ob diese Diatomeen primär mit dem Betriebsstaub in die Lunge gelangt waren, oder ob sie vielleicht später bei der Bearbeitung des Lungenstaubes hineinkamen. Dasselbe gilt für die in den anderen Fällen beobachteten Diatomeen.

e) Chemische Untersuchung des in Salzsäure unlöslichen Anteils der Lungenasche

Der in dieser Säure unlösliche Anteil der Aschensubstanz betrug hier nur 47,4 % der Gesamtasche. Es gingen keine Karbonate in Lösung.

Die Aschenanalyse ist insofern von Interesse, als die Gewichtsprozent im grossen ganzen denjenigen recht ähnlich sind, die aus der Analyse des Betriebsstaubes errechnet werden können, nach Abzug der Karbonate. Die beiden Analysen seien hier einander gegenübergestellt:

	Betriebsstaub (ohne die Karbonate)		Lungenasche (unlöslicher Anteil)
SiO ₂	84,1 %		84,14 %
TiO ₂	0,34 %		0,24 %
Al ₂ O ₃	5,72 %		7,1 %
Fe ₂ O ₃	2,26 %		2,0 %
FeO	0,74 %		—
MnO	0,1 %		—
MgO	0,3 %	} in Silikaten angenommen	0,34 %
CaO	1,36 %		0,64 %
Na ₂ O	1,68 %		1,16 %
K ₂ O	2,24 %		2,05 %
	<u>98,84 %</u>		<u>97,67 %</u>

Der SiO₂-Gehalt ist bei beiden Analysen derselbe; die Gewichtsprozent für Tonerde sind voneinander nicht sehr verschieden und diejenigen der Alkalien stimmen relativ gut miteinander überein. Eine gewisse Differenz ergibt sich beim Kalzium. Es konnte natürlich nicht ermittelt werden, ob sie darauf beruht, dass mit etwas zu viel Ca in Form von Karbonat gerechnet wurde, oder ob in der Analyse der Lungenasche etwas zu wenig Ca gefunden wurde.

Aus der Analyse der Lungenasche konnte folgender ungefähre exogener Mineralbestand errechnet werden:

66 % Quarz
8 % Orthoklas
14 % Oligoklas
7 % Serizit
<u>95 %</u>

Der zu 100 % ergänzte Rest von 5 % dürfte sich zum Teil aus akzessorischen Mineralien, wie Rutil, Zirkon, Zoisit, Epidot, rekrutieren.

IV. Zusammenfassung

Ein Vergleich der mineralogischen Zusammensetzung von Lungenstäuben aus Silikotikerlungen mit den Gesteinen, aus denen diese Stäube entstanden waren, ergab die folgenden Resultate:

1. Das gesteinsbildende Karbonat Kalzit wurde in den Fällen 1, 9, 45 und 49 reichlich eingeatmet, wie aus der Zusammensetzung der Gesteine geschlossen werden konnte, die die in die Lungen gelangenden Stäube lieferten; trotzdem wurde in keinem der geprüften, veraschten histologischen Lungenschnitte oder im extrahierten Lungenstaub Kalzit in nennenswerten Mengen nachgewiesen. Dieses Mineral wurde in den entsprechenden Lungen zersetzt.

2. An dunkeln Silikaten gelangte im Fall 9 Glaukonit in die Lungen. Dieses Mineral konnte aber in der Lungenasche nicht beobachtet werden. Es wird sich wohl ebenfalls zersetzt haben (5).

Im Fall 11 fand sich auch eine gewisse Menge Biotit im Gestein, das den am Arbeitsplatz zur Einatmung gelangenden Staub abgab. Im Lungenstaub konnte

aber dieses Mineral nur ganz vereinzelt beobachtet werden. Es konnte nicht entschieden werden, ob sich dieser Glimmer in den Lungen ebenfalls zersetzt hatte.

3. An hellen gesteinsbildenden Silikaten wurde in den Fällen 3, 11 und 49 ziemlich viel Feldspat eingeatmet, wie aus der mineralogischen und chemischen Zusammensetzung der Gesteine hervorgeht, die die Betriebsstäube lieferten. Besonders in den Fällen 3 und 11 ist in dem zur Einatmung gelangten Granitstaub Feldspat reichlich vorhanden, und zwar sowohl Kali- als auch Natronfeldspat.

In der Tat konnten dann diese Mineralien sowohl in den veraschten histologischen Schnitten als auch im säureunlöslichen Anteil der entsprechenden Lungenaschen festgestellt werden.

Die chemischen Analysen der säureunlöslichen Aschensubstanz der Silikotikerlungen ergaben denn auch Zusammensetzungen, die mit denjenigen der Gesteine recht verwandt sind, die die eingeatmeten Betriebsstäube erzeugt hatten. Dies ist in den Fällen 11 und 49 besonders deutlich. Aus den Gewichtsprozenten an SiO_2 , Al_2O_3 , denen der Alkalien und eventuell noch aus dem Gehalt an Ca, liess sich der ungefähre Gehalt an Feldspäten im Lungenstaub errechnen. Beim Fall 11 konnte aus der Analyse der Lungenasche geschlossen werden, dass an exogenen Mineralien in den Lungen ungefähr $\frac{1}{3}$ Quarz und $\frac{2}{3}$ Feldspäte vorhanden waren. (Ähnlich wird es sich im Fall 3 verhalten.) Es darf also angenommen werden, dass die sauren Feldspäte in den Lungen ungefähr gleich schwer zersetzt werden wie der Quarz.

Serizit wurde in erster Linie in den Fällen 1 und 45 reichlich eingeatmet. Er war — wie zu erwarten — in den entsprechenden Lungenaschen besonders häufig vorhanden. Die Analysen der säureunlöslichen Anteile ergaben denn auch recht hohe Al_2O_3 -Werte.

Ob sich der Serizit gegenüber dem Quarz in den Lungen etwas angereichert hatte, konnte nicht mit Sicherheit ermittelt werden. Eventuell traf dies im Fall 1 zu; aber offenbar nicht im Fall 45.

4. Was den Quarz betrifft, so besass das bearbeitete Gestein in allen Fällen einen höheren Quarzgehalt als 20 %. In allen Fällen wurde denn auch ein grosser Anteil an Quarz in den Lungenstäuben gefunden. Im Verhältnis zur Menge der anderen exogenen Mineralien war er im Lungenstaub des Falles 9 am reichlichsten vorhanden (wohl über 80 %). In den Fällen 1 und 9 dagegen betrug er nur etwa einen Drittel des exogenen Mineralanteils in den Lungen — wie aus den Analysen errechnet werden konnte.

In den veraschten Schnitten wurden häufig Körner von $1\frac{1}{2}$ bis $4\ \mu$ beobachtet, die sehr scharfe Ecken und Kanten aufwiesen und keinerlei Andeutung von Lösungserscheinungen zeigten. Bei Körnern, die kleiner als $1\frac{1}{2}\ \mu$ waren, waren die Konturen nicht mehr genau zu beobachten; immerhin schienen in vielen Fällen eher rundliche Körner vorzuliegen.

5. An akzessorischen Mineralien konnte in allen Fällen Rutil nachgewiesen werden. Besonders häufig trat er im Fall 45 (Engi) auf. Zoisit und Epidot wurden im Lungenstaub des Falles 11 relativ häufig beobachtet.

Tabelle I Analysen von Gesteinen, die Veranlassung zu Silikosefällen gaben.

	Nr. 1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	71,00	72,02	78,34	45,47	71,59	60,62	49,69
TiO ₂	0,36	0,27	0,24	—	0,24	0,99	0,20
Al ₂ O ₃	13,96	14,45	3,30	14,62	12,70	16,55	3,38
Fe ₂ O ₃	1,98	0,52	4,90	4,38	1,55	6,17	1,33
FeO	1,60	1,57	—	—	0,00	0,33	0,44
MnO	0,11	0,03	0,04	—	0,05	0,03	0,06
MgO	0,11	0,21	2,26	1,96	0,65	2,48	1,02
CaO	1,82	2,27	3,35	14,34	3,70	1,84	22,60
Na ₂ O	3,43	3,21	0,25	—	2,22	1,91	0,99
K ₂ O	5,29	4,84	1,57	—	2,81	4,74	1,32
P ₂ O ₅	0,29	0,42	0,09	—	0,00	0,11	0,00
H ₂ O +	0,54	0,46	2,10	3,33	1,31	2,23	1,19
H ₂ O —	—	0,00	0,12	—	0,03	0,08	0,10
CO ₂	0,00	0,00	2,90	13,34	2,83	1,42	18,11
	—	—	S 0,29	—	—	—	—
Σ	100,49	100,27	99,75		99,71	99,50	100,43

Nr. 1 Aaregranit, Göschenen. «Chemismus» II/46 (11).

Nr. 2 Gotthardgranit (Fibbiigranit), Gotthardpass. «Chemismus» III/9.

Nr. 3 Sandstein der Mittleren Kreide (Gamserschichten), Buchserberg (St.-Galler Rheintal) (6). Analytiker: F. DE QUERVAIN.

Nr. 4 Flyschschiefer (Kalkphyllit), Landesplattenberg bei Engi (Kt. Glarus). «Chemismus» XIII/18.

Nr. 5 Verrucano-Brekzie, Mels bei Sargans (Kt. St. Gallen). Analytiker: A. GLAUSER.

Nr. 6 Verrucano-Tonschiefer, Mels bei Sargans (Kt. St. Gallen). Analytiker: A. GLAUSER.

Nr. 7 Betriebsstaub aus einem Schotterwerk bei Oftringen (Kt. Aargau). Gebrochenes Gestein: Grobe Gerölle aus Niederterrassenschotter der Wigger. Analytiker: A. GLAUSER.

Tabelle II Analysen des in Salzsäure unlöslichen Anteiles von Lungenaschen.

	Fall Nr. 1	9	11	45	49
SiO ₂	68,88	91,24	76,06	67,23	84,14
TiO ₂	0,39	0,24	0,07	1,86	0,24
Al ₂ O ₃	22,16	1,49	13,37	21,19	7,10
Fe ₂ O ₃	2,68	1,28	0,44	0,82	2,00
MgO	0,00	1,05	0,09	1,03	0,34
CaO	0,58	0,73	0,53	0,28	0,64
Na ₂ O	2,50	—	4,05	0,49	1,16
K ₂ O	4,54	—	4,25	4,98	2,05
Σ	101,73	96,03	98,86	97,88	97,67

Analytiker: A. GLAUSER.

Literaturverzeichnis:

- (1) VON ALBERTINI, A., E. BRANDENBERGER und J. R. RÜTTNER: Untersuchung eines Falles von Steinhauersilikose. Zeitschrift für Unfallmedizin und Berufskrankheiten, Nr. 4, 1936.
- (2) VON ALBERTINI, A., E. BRANDENBERGER und J. R. RÜTTNER: Kombinierte pathologisch-anatomische und mineralogisch-röntgenographische Untersuchungen an Silikose-lungen. In Beiheft Nr. 3/4 «Über die Silikose», Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 92, 1947.
- (3) GESSNER, H., F. DE QUERVAIN und H. BÜHLER: Die Ergebnisse der Staubuntersuchungen in silikosegefährdeten Betrieben. In Beiheft Nr. 3/4 «Über die Silikose», Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 92, 1947.
- (4) GESSNER, H., J. R. RÜTTNER und H. BÜHLER: Zur Bestimmung des Korngrößenbereiches von silikogenem Staub. Schweiz. Medizin. Wochenschrift, Jahrgang 79, 1949.
- (5) JÖTTEN, K. W. und G. PFEFFERKORN: Über eine Erklärungsmöglichkeit zur Schädigung durch Glaukonit. Deutsche Medizin. Wochenschrift, Nr. 1, 1949.
- (6) DE QUERVAIN, F.: Sandsteine und Echinodermenbrekzien der Gargasienstufe (Mittlere Kreide) der helvetischen Kalkalpen. Schweiz. Min. Petr. Mitt. XI, 1931.
- (7) LANG, F. und R. ZOLLINGER: Akute Mineursilikosen nach einem Stollenbau. Zeitschrift für Unfallmedizin und Berufskrankheiten, Nr. 2, 1949.
- (8) NAGELSCHMIDT, G.: Mineralogical aspects of pneumoconiosis research. Research 2, 1949.
- (9) NAGELSCHMIDT, G. and E. J. KING: Isolation and identification of minerals in lung residues and air-borne dusts from coal mines. Biochemical Journal, vol. 35, Nos. 1 and 2, 1941.
- (10) NIGGLI, P.: Lehrbuch der Mineralogie und Kristallchemie. Teil II. Kristalloptik und Strukturbestimmung. 1942.
- (11) NIGGLI, P., F. DE QUERVAIN und R. U. WINTERHALTER: Chemismus schweizerischer Gesteine. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie, 14. Lieferung, 1930; und 20. Lieferung, 1942 (zitiert: «Chemismus»).
- (12) ROSS und F. W. SEHL: Determination of free silica. Journal of Industry and Engineering Chemistry, Analytical Edition, No. 7, 1935.
- (13) RÜTTNER, J. R. und F. DE QUERVAIN: Die Methodik der mikro-lokalisatorischen Darstellung und kristalloptischen Identifizierung von Staubablagerungen in silikotischen Geweben. Zeitschrift für Unfallmedizin und Berufskrankheiten, Jahrgang 40, Nr. 1, 1947.
- (14) WILLY, W.: Bearbeitung einiger bei der Untersuchung silikosegefährlicher Gesteine auftretender Probleme. Diplomarbeit, Mineralog.-petrograph. Institut der E.T.H., Zürich 1949.