

**Zeitschrift:** Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie  
**Band:** 26 (1946)  
**Heft:** 2  
  
**Artikel:** Die Entwässerung von Chrysotil und Antigorit  
**Autor:** Epprecht, W. / Brandenberger, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-21670>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 27.01.2026

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

# Die Entwässerung von Chrysotil und Antigorit

Von W. Epprecht und E. Brandenberger, Zürich

## 1. Einleitung und Übersicht über die bisherigen Untersuchungen

Über die Kristallstruktur der Serpentinmineralien im weitesten Sinne, insbesondere über jene des Chrysotils liegt bereits eine grössere Zahl von Untersuchungen vor, unter ihnen als nach wie vor bedeutsamste der von B. E. WARREN und W. L. BRAGG 1930 (16) unternommene Versuch einer vollständigen Bestimmung der Chrysotilstruktur. Wenn diese allgemein als eine Kettenstruktur

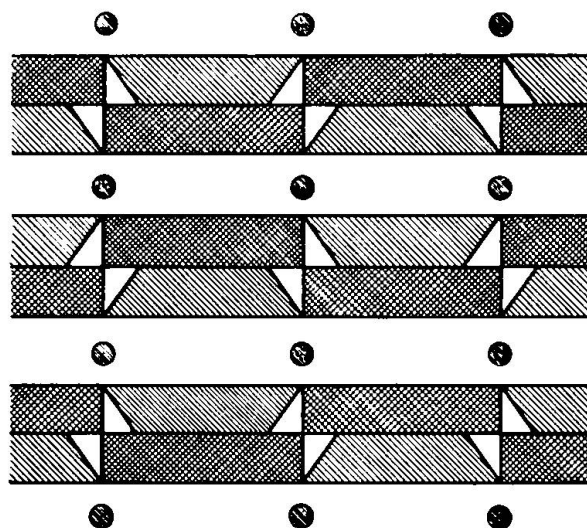


Fig. 1. Schematischer Schnitt durch die Chrysotil-Struktur parallel (001).  $\text{Si}_4\text{O}_{11}$ -Ketten (einfach schraffiert) und alternierende  $\text{Mg}_5\text{O}_6(\text{OH})_6(\text{H}_2\text{O})$ -Bänder (Brucit-Bänder; kreuzweise schraffiert) stehen senkrecht zur Figurenebene und bilden Doppelschichten, welche durch Mg-Kationen (Kreischen) abgesättigt und verbunden sind.

tur beschrieben wird, der B. E. WARREN und K. H. HERING später (1941 (18)) eine Schichtstruktur als wahrscheinlicherer Bauplan des Chrysotils gegenüberstellten, darf andererseits folgendes nicht übersehen werden: Gewiss sind in der WARREN-BRAGG'schen Chrysotil-Struktur die  $(\text{SiO}_4)$ -Gruppen zu Doppelketten von der Zusammensetzung  $\text{Si}_4\text{O}_{11}$  vereinigt, und es bilden oktaedrische Gruppen  $(\text{MgO}_2(\text{OH})_4)$  bzw.  $(\text{MgO}_3(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O}))$  ihrerseits Ketten von einer Zusammensetzung  $\text{Mg}_5\text{O}_6(\text{OH})_6(\text{H}_2\text{O})$ . Diese linearen Atomverbände sind jedoch unter sich durch ihnen gemeinsame Anionen zu Doppelschichten verknüpft, welche abwechselnd „Silikat“-Ketten und „Hydroxyd“-Bänder zusammengepackt enthalten, wie es Fig. 1 im einzelnen schematisch veranschaulicht. Die derart aus den linearen Bauelementen sich ableitende Doppelschicht erhält als Ganzes die Zusammensetzung  $\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{OH})_6(\text{H}_2\text{O})\text{Mg}_5$ , ist somit che-

misch in sich nicht abgesättigt, sondern besitzt pro Formeleinheit der obigen Grösse einen Überschuss an zwei negativen Valenzen. Ihre Kompensation wird durch die zwischen die Schichten eingelagerten Mg-Atome übernommen, ihrerseits in der Rolle inaktiver Kationen auftretend, wie dies die schraffierten Kreise in Fig. 1 andeuten. Dabei leuchtet ohne weiteres ein, dass eine Struktur von dieser Art in besonderem Masse Störungen ihrer vollkommenen Regelmässigkeit und Periodizität anhaften können, welche insbesondere etwa in der Weise zu erwarten sind, dass einzelne  $\text{Si}_4\text{O}_{11}$ -Ketten statt gemäss Fig. 1 auf drei Seiten von Brucit-Bändern umgeben zu sein, sich von Doppelketten zu n-fachen Ketten erweitern (etwa zu Vierfach-Ketten von einer Zusammensetzung  $\text{Si}_8\text{O}_{21}$ ). Ähnliches kann auch für die Bänder aus den  $(\text{Mg}(\text{O}, \text{OH})_6)$ - bzw.  $(\text{Mg}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6)$ -Oktaedern zutreffen. Damit ergeben sich aber sehr mannigfache Übergänge von der idealen Chrysotil-Struktur mit vollkommen periodischer Wiederholung einheitlicher Ketten zu einer aus eigentlichen, in sich wiederum streng regelmässig gebauten Schichten bestehenden Struktur, wie sie dem WARREN-HERINGSCHEN Strukturvorschlag entspricht<sup>1)</sup>. In den bekannten Anomalien der Röntgeninterferenzen des Chrysotils, die sich vor allem im Auftreten kontinuierlicher Schwärzungslinien äussern, sind ja tatsächlich Anzeichen für eine Beeinträchtigung der Raumgitterstruktur in diesem Sinne vorhanden und bereits mehrfach eingehend erörtert worden (siehe z. B. ARUJA (1) und A. GUINIER (9)).

Im Anschluss an die Arbeiten über Chrysotil wurde speziell von ARUJA (2) die Kristallstruktur des Antigorits mit derjenigen von Chrysotil in nähere Beziehung gebracht. Gleichzeitig erfuhren die bei der Erhitzung von Chrysotil sich abspielenden Vorgänge bereits mehrfach auf analytisch-chemischem, optischem und dann vor allem röntgenographischem Wege eine eingehende Untersuchung, so etwa durch HARALDSEN (10), S. CAILLÈRE (6) und neuerdings wieder durch HARGREAVES und TAYLOR (11).

Aus allen bisher vorgenommenen Untersuchungen folgt, dass die Strukturen von Chrysotil und Antigorit einander nahe verwandt sein müssen, wie dies sich bereits in den Abmessungen der Elementarzellen der beiden Kristallarten abzeichnet, welche in den beiden Fällen folgende Werte besitzen:

Chrysotil		Antigorit
Thedford Mines, Quebec		Mikonui, Neuseeland
WARREN-BRAGG (16)	WARREN (17)	ARUJA (2)
$a = 14,66 \text{ \AA}$	$a = 14,66 \text{ \AA}$	$c = 7,26 \text{ \AA}$
$b = 18,5 \text{ \AA}$	$b = 9,24 \text{ \AA}$	$b = 9,24 \text{ \AA}$
$c = 5,33 \text{ \AA}$	$c = 5,33 \text{ \AA}$	$a = 43,4, a/8 = 5,42 \text{ \AA}$
$\beta = 93^\circ 16'$	$\beta = 93^\circ 16'$	$\beta = 91,4^\circ$
Faserachse $\parallel c$		$c \sim \perp$ Basisfläche

Die beiden Gittermaschen unterscheiden sich also im Wesentlichen einzig darin, dass  $a_{\text{Chrysotil}} = 2 c_{\text{Antigorit}}$  und ferner  $a_{\text{Antigorit}} = 8 c_{\text{Chrysotil}}$  ist. Bei unseren Arbeiten stiessen wir gar auf eine Antigoritsorte, bei welcher die Elementarzelle mit derjenigen von Chrysotil praktisch identisch ist. Täfelchen aus dem fraglichen Antigorit von Antigorio (Sammlung Eidg. Techn.

<sup>1)</sup> Über die Beziehungen der Chrysotil-Struktur zur Konstitution anderer Faserstoffe, speziell solcher organischer Natur, vergl. E. BRANDENBERGER (4).

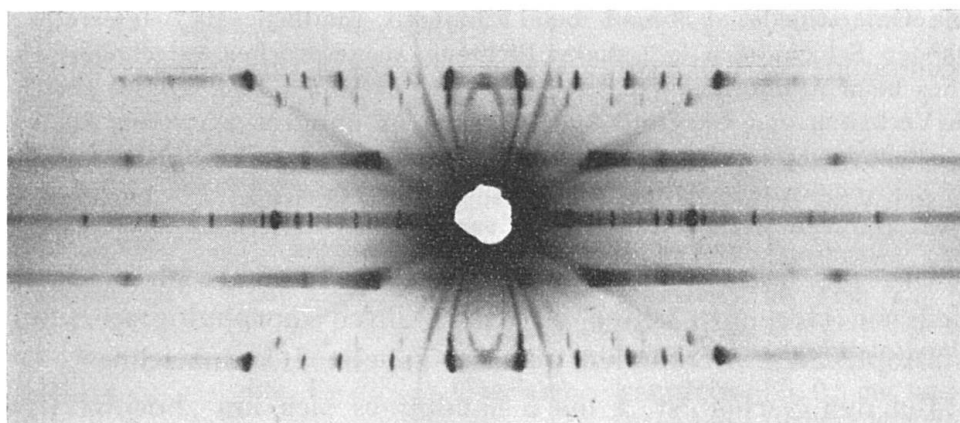


Fig. 2. *Drehkristallaufnahme von Chrysotil (Kanada).*  
 Faseraufnahme, Cu-K-Strahlung. Es sind deutlich die längs den Schichtlinien  
 verschmierten (0kl)-Interferenzen zu erkennen.

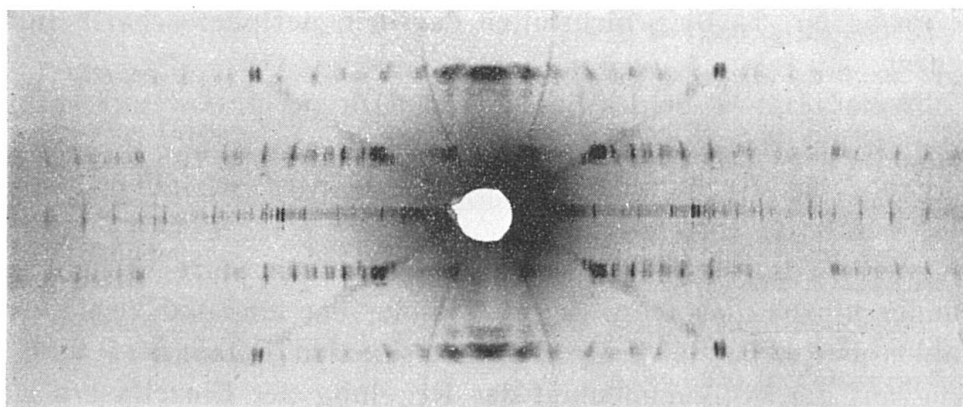


Fig. 3. *Drehkristallaufnahme von Antigorit (Val Antigorio),*  
 gewonnen an Stäbchen, welches parallel der a-Achse aus einem Antigorit-  
 blättchen geschnitten wurde. Die (0kl)-Interferenzen sind gegenüber Chrysotil  
 (Fig. 2) viel weniger radial verschmiert.

Hochschule, Zürich) liessen dünne Stäbchen herausschneiden, welche mit Laueaufnahmen parallel zur a-Achse orientiert worden waren. Drehkristallaufnahmen an solchen Stäbchen sind nahezu vollkommen identisch mit Faseraufnahmen von Chrysotil (vergl. Fig. 2 und 3). Die Gitterkonstanten ergaben sich in diesem Falle zu:

Antigorit	$c = 14,35 \text{ \AA}$	$(c \sim \perp \text{ Schichtfläche})$
	$b = 9,25 \text{ \AA}$	
Val Antigorio	$a = 5,3 \text{ \AA}$	

also praktisch von derselben Grösse wie bei Chrysotil.

Zehn von uns untersuchte Chrysotilproben verschiedenster Herkunft hatten innerhalb der Fehlergrenzen alle die nämlichen Gitterkonstanten, wie sie von WARREN 1942 (17) bestimmt worden sind. Fig. 2 und 3 zeigen neben der grundsätzlichen Übereinstimmung der Interferenzmuster jedoch auch ty-



pische Unterschiede: während beim Chrysotil sämtliche (0kl)-Interferenzen längs den Schichtlinien in radialer Richtung ausgesprochen verschmiert sind, ist dies beim Antigorit nur in sehr geringem Masse der Fall. Dieses verschiedene Verhalten von Chrysotil und Antigorit ist übrigens auch von ARUJA (2) festgestellt und eingehend besprochen worden.

## 2. Kennzeichnung des verwendeten Materiales

Die im folgenden verwendeten Chrysotilasbeste verschiedener Herkunft lassen sich nach ihren morphologischen und kristalloptischen Merkmalen gemäss Tabelle 1 kennzeichnen.

Bei den Sorten Nr. 1 bis 6 handelt es sich um „hochwertige“ Chrysotilasbeste, die sich mit Leichtigkeit zu seidenartigen, ausserordentlich dünnen Fasern ausfasern lassen. Im Röntgendiagramm (Faserdiagramm) ist für die zehn Asbest-Sorten folgendes Verhalten festzustellen:

Probe Nr. 1—6: Schichtlinien deutlich, peripher scharfe Interferenzen.

Probe Nr. 7—9: Schichtlinien undeutlich, peripher weniger scharf begrenzte Interferenzen.

Probe Nr. 10: Schichtlinien sehr undeutlich, peripher sehr unscharf begrenzte Interferenzen.

Hieraus ergibt sich, dass die verschiedenen Sorten sich untereinander hinsichtlich Güte der Bündelung der ein- und zweidimensionalen Bauverbände zum dreidimensionalen Raumgitter und in Bezug auf die Vollkommenheit der Regelung der Einzelfasern zum Faseraggregat beträchtlich unterscheiden, und zwar in folgendem Sinne:

Nr. 1—6 zeigen schlechte Bündelung bei guter Regelung,

Nr. 7—9 dagegen bessere Bündelung bei weniger vollkommener Regelung, und endlich

Nr. 10 bei guter Bündelung eine nur sehr unvollkommene Regelung.

Die Sorten: Nr. 7—10 unterscheiden sich von den übrigen auch dadurch, dass sie fettiger anzufühlen sind und von Hand nur schlecht (Nr. 7—9) oder gar nicht (Nr. 10) ausfaserbar sind. Mit geeigneten (durch Schlag wirkenden) Mühlen lassen sich jedoch auch die Chrysotile Nr. 7—9 zu sehr feinfaseriger Asbestwolle aufbereiten.

Eine Goniometeraufnahme an der Sorte Nr. 10 liess schliesslich feststellen, dass der Faser auch in diesem Falle einfacher Charakter zukommt, Anzeichen für irgendwelche Orientierungen höherer Ordnung fehlen völlig.

Tabelle 1

Morphologische und kristalloptische Kennzeichen der untersuchten Chrysotilasbeste

Nr.	Herkunft	Bezeichnung	Fasersorte	Eigenschaften
1	Russland	Russ. O—3	Querfaser	grauweiss, bis 2 cm lang $n_\alpha = 1,539$ (hellstrohgelb) $n_\gamma = 1,552$ (strohgelb)
2	Italien Balangero	Bal. L—4	Querfaser	grauweiss, bis 2 cm lang $n_\alpha = 1,537$ (hellgelblich) $n_\gamma = 1,545$ (dunkelstrohgelb)
3	Italien	Bal. F—6	Querfaser	grauweiss, bis 0,5 cm lang $n_\alpha = 1,547$ (hellorange gelb) $n_\gamma = 1,551$ (dunkelorange gelb)
4	Kanada	BC4T	Querfaser	grünlichweiss, bis 2 cm lang $n_\alpha = 1,537$ (hellorange gelb) $n_\gamma = 1,547$ (hellgrün gelb)
5	Rhodesien	CG3	Querfaser	weiss, bis 1,5 cm lang $n_\alpha = 1,551$ (hellorange gelb) $n_\gamma = 1,560$ (grün gelb)
6	Transvaal Kaapsche Hoop Baberton Distr.	—	Querfaser	hellgrün gelb, bis 8 mm lang $n_\alpha = 1,516$ (hellstroh gelb) $n_\gamma = 1,526$ (hellorange gelb) Analyse Nr. 4 von J. JAKOB (12)
7	Poschiavo Alpe Quadrada Graubünden	—	Querfaser	gelblich grau, bis 4 cm lang $n_\alpha = 1,551$ (hellgelblich) $n_\gamma = 1,554$ (orange gelb, hell) nicht sehr gut ausfaserbar
8	Poschiavo Alpe Quadrada	—	Längsfaser	gelbgrünlich-bläulich grün, bis über 30 cm lange Fasern $n_\alpha = 1,550$ (hellorange gelb) $n_\gamma = 1,561$ (farblos-gelblich) fettig, schlecht ausfaserbar
9	Poschiavo	—	Längsfaser	blaugrünlich, bis 20 cm lang $n_\alpha = 1,525$ (hellgelborange) $n_\gamma = 1,536$ (grünlich gelb) brüchig, nicht gut ausfaserbar
10	Zermatt (Findelengletscher)	„Schweizerit“	Längsfaser	hellgelblich grün, bis 7 cm lang $n_\alpha = 1,552$ (hellgelblich) $n_\gamma = 1,560$ (hellgelblich) brüchig, nicht ausfaserbar, es können nur kurze Fäserchen abgetrennt werden oder dickere längere Stäbchen

Bei dem vergleichsweise untersuchten Antigorit aus dem Val Antigorio lag ein mehrere Quadratmillimeter grosses Blättchen von ca. 0.3 Millimeter Dicke vor. Hievon abgetrennte dünnste Flitterchen erscheinen farblos durchsichtig, dickere Blättchen dagegen blaugrünlich durchscheinend.  $n_\gamma$  wurde zu 1.572 bestimmt. Ein anderes Antigorit-Blättchen von derselben Lokalität (0.3 mm dick und  $3 \times 3$  cm gross) von trübgraugrüner Farbe war nur kantendurch-

scheinend und lieferte eine Laueaufnahme, aus der hervorgeht, dass es sich hier um ein Aggregat von Einzelkristallen handelt, welche zwar ungefähr parallele Basisflächen, indessen keine weitere Regelung besitzen. Es liegt hier offenbar ein Antigorit mit ähnlicher Beschaffenheit vor, wie er von ARUJA (2, S. 73) verwendet wurde.

Die Asbeste Nr. 1—5 wurden uns von der Firma ETERNIT A.-G., Niederurnen, die Asbeste Nr. 7—9 von den FILTROX-WERKEN, St. Gallen zur Verfügung gestellt. Für die Überlassung der Proben sei auch an dieser Stelle beiden Gesellschaften unser Dank ausgesprochen. Die Sorte Nr. 6 stellte uns in verdankenswerter Weise Herr Prof. J. JAKOB zur Verfügung, während Nr. 10 der Mineralog. Sammlung der E. T. H., Zürich, entnommen werden durfte.

### 3. Die Entwässerung von Chrysotil beim Erhitzen

#### a) Allgemeiner Verlauf der Entwässerung

Die Glühverlustkurven der Asbestsorten Nr. 1—9 (Fig. 4) wurden derart ermittelt, dass 2—5 gr. ausgefaserter Chrysotilasbest im elektrischen Ofen bei einer bestimmten, konstanten Temperatur bis zur Gewichtskonstanz geglüht wurden. Bei 100° C genügte hierzu im allgemeinen eine Erhitzung während einer Stunde, zwischen 150 und 500° war dagegen eine 3—4 Stunden dauernde Glühbehandlung notwendig, während im Temperaturintervall zwischen 500 und 620° meist Glühen während 24 Stunden erforderlich war, um wenigstens einigermaßen konstantes Gewicht zu erreichen. Nach der vorgenommenen Erhitzung wurden die Proben möglichst schnell im Exsikkator über  $\text{CaCl}_2$  abgekühlt und unmittelbar darauf auf einer Schnellwaage gewogen. Da festgestellt wurde, dass Chrysotil nach seiner thermischen Behandlung begierig Wasser aufnimmt, hatte besonders das Wägen rasch zu erfolgen, wenn unverfälschte Werte erhalten werden sollten. Kontrollversuche, bei denen Chrysotil unmittelbar nach der Entnahme aus dem Ofen in Glasröhrchen eingeschmolzen wurde, bestätigten, dass bei schnellem Wägen nach einer über  $\text{CaCl}_2$  erfolgten Abkühlung keine wesentliche Gewichtsfehler auftreten. Nach ausgeführter Wägung wurden die Proben erneut in den Ofen gebracht, unter der nächsthöheren Temperaturstufe bis zur Gewichtskonstanz geglüht, usw.

Die in Fig. 4 und 5 abgebildeten Gewichtsverlustkurven resultieren streng genommen aus zwei Vorgängen: Wasserabgabe und Oxydationserscheinungen. Da jedoch letztere nur für das Eisen eine Rolle spielen und dieses zudem in nur sehr geringen Mengen (stets

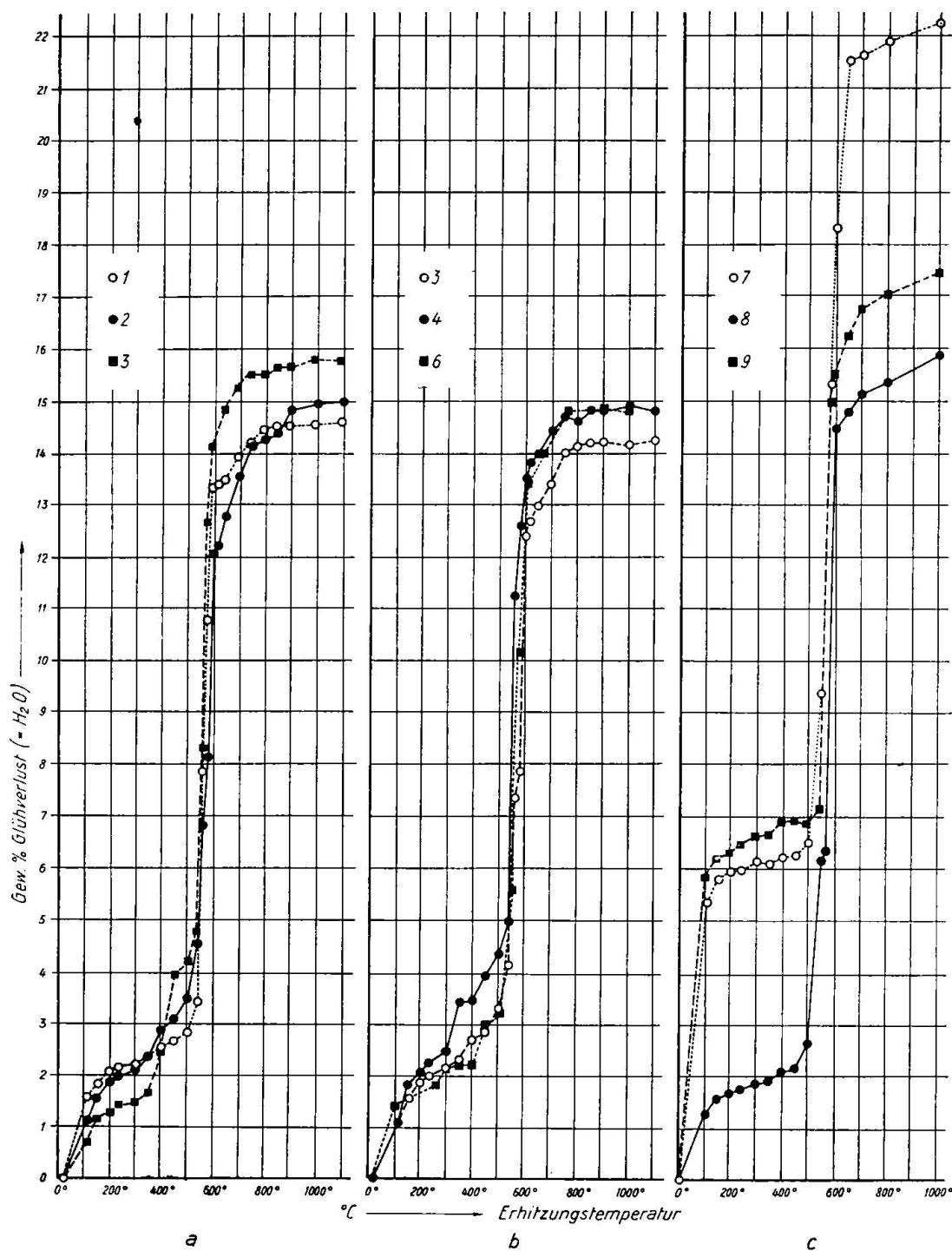


Abb. 4 a—c. Entwässerungskurven von Chrysotil.

Die Kurvennummern entsprechen den in Tabelle 1 angeführten Chrysotilsorten.

unter 2 %) in den untersuchten Asbesten zugegen ist, sind die Gewichtsverlustkurven praktisch identisch mit den Entwässerungskurven.

Fig. 4 lässt folgenden Verlauf der Entwässerungskurven erkennen: bis gegen  $180^{\circ}\text{C}$  (z. T. bis  $200^{\circ}$ ) findet im allgemeinen eine von der Temperatur mehr oder weniger linear abhängige Wasserabgabe statt. Nur selten tritt schon wenig über  $100^{\circ}$  eine Verflachung der Kurven ein, so besonders ausgesprochen bei den Puschlaver-Sorten. Die Annahme eines stöchiometrisch definierten  $-\text{H}_2\text{O}$ -Gehaltes, wie ihn J. JAKOB (12) annimmt, ist mit dieser Feststellung unvereinbar. Im Temperaturgebiet zwischen 200 und  $500^{\circ}$  zeigen die Chrysotilasbeste in ihrem Verhalten bei der Entwässerung individuelle Züge, wobei jedoch auch hier gewisse allgemeine Regeln bestehen: Bei allen Sorten liegt eine deutliche Verflachung zwischen  $200$  und  $300^{\circ}$ , es findet also allgemein zwischen  $200$  und  $300^{\circ}$  eine nur geringe Wasserabgabe statt. Im Bereiche  $280$ — $300^{\circ}$  ist der Wasserverlust aller Chrysotile wieder grösser, um im allgemeinen in der Gegend von  $350$ — $400^{\circ}$  erneut abzusinken. H. BUDIG (5) kam auf Grund dieses Kurvenverlaufes zur Vorstellung, es existiere bei  $280^{\circ}$  ein Dihydrat, bei  $375$ — $400^{\circ}$  dagegen ein Monohydrat, eine Auffassung, der wir jedoch nicht beipflichten, da verschiedene Asbeste in den Temperaturgebieten mit relativ flachem Kurvenverlauf recht unterschiedliche Wassergehalte aufweisen. Es kann daher höchstens in sehr grober Annäherung von eigentlichen Hydratstufen gesprochen werden, wie das auch Fig. 5 belegt, welche für die Sorte Nr. 6 die Entwässerung in Molekularprozente umgerechnet wiedergibt. Bei weiterer Erhitzung setzt bei allen Chrysotil-Asbesten unter  $500^{\circ}$  eine rasch verlaufende Wasserabgabe ein, die sich zwischen  $550^{\circ}$  und  $580^{\circ}$  zu einem steilen Anstieg in der Kurve der Gewichtsverluste steigert. Bei nahezu allen Asbesten (mit Ausnahme von Nr. 7) ist die Wasserabgabe bei  $600^{\circ}$  zur Hauptsache vollendet, und es entweicht bei noch höheren Temperaturen lediglich eine geringe, im übrigen mit steigender Temperatur rasch kleiner werdende Wassermenge, sodass die meisten Asbestsorten bei  $800^{\circ}$  praktisch alles Wasser abgegeben haben.

Abgesehen von den Sorten Nr. 7 und 8 stimmt der zwischen  $500$  und  $1000^{\circ}$  liegende Teil der Entwässerungskurven unserer Chrysotilsorten auffallend gut überein, wie dies besonders in Fig. 4d zum Ausdruck kommt, in der sämtliche Kurven der Fig. 4a—c nochmals aufgetragen wurden, jetzt aber so, dass sie den Kurvenpunkt  $1000^{\circ}$  (dem ein  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt von 0 % entspricht) gemeinsam haben, was sich durch blosses Parallelverschieben der Einzelkurven in vertikaler Richtung herbeiführen lässt. Noch einmal wird darin die grosse Übereinstimmung aller Entwässerungskurven im Abschnitt

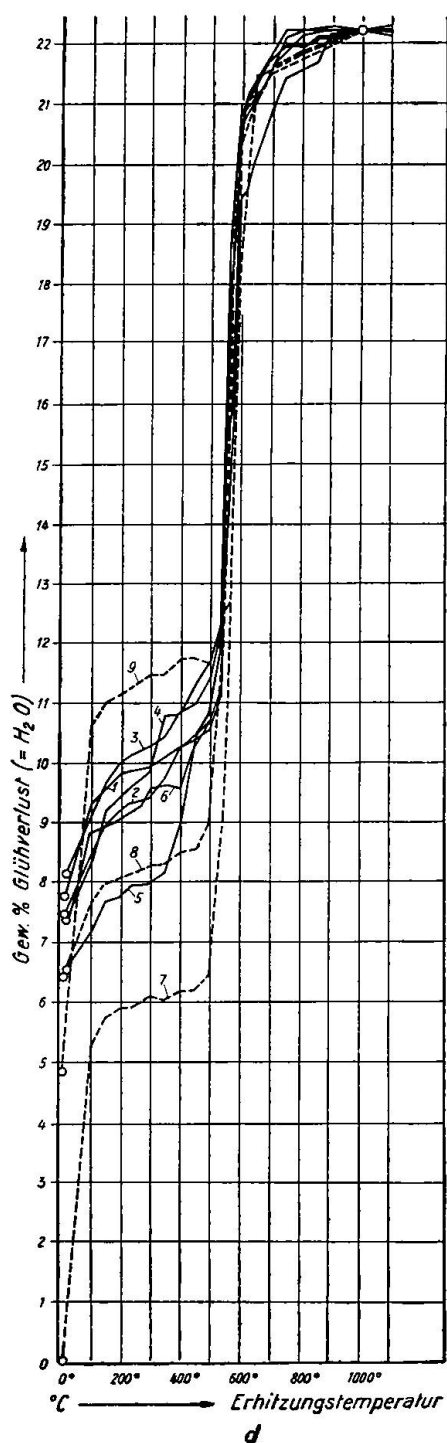


Fig. 4 d.

Entwässerungskurven von Chrysotil, gleiche Kurven wie Fig. 4 a—c, jedoch zum Vergleich so übereinandergezeichnet, dass sie im 1000°-Punkt (0%  $H_2O$  entsprechend) übereinstimmen.

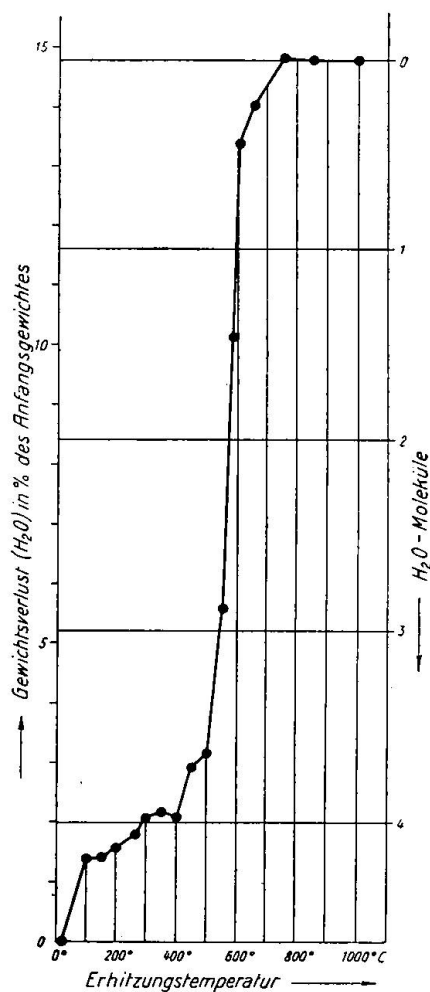


Fig. 5.

Entwässerungskurve der Chrysotil-Asbestsorte Nr. 6 (Transvaal).

zwischen 550 und 1000° augenfällig, während bei niedrigeren Temperaturen sich individuellere Züge bei der Dehydration bemerkbar machen. Abgesehen von den Asbesten Nr. 7 und 8 (die sich, wie schon erwähnt, auch in ihrer Feinstruktur von den übrigen Sorten unterscheiden) weisen somit alle Kurven bei ungefähr 550° einen mehr oder weniger zusammenfallenden, durchwegs deutlichen Knick auf, wobei der Gehalt des erst über dieser Temperatur entweichenden Wassers stets fast genau denselben Betrag von etwa 10 Gew.% ausmacht. Für einen Chrysotil idealer Zusammensetzung (reiner Mg-Chrysotil) ergibt sich hieraus, dass bei 550° eine Zusammensetzung gemäss der Formel  $4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{MgO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  vorliegen muss, im Unterschied zur Normalformel mit  $4\text{H}_2\text{O}$ . Fig. 5 lässt erkennen, dass bei 550° tatsächlich ein Wassergehalt von ziemlich genau 3 „Molekülen“ Wasser besteht. Hieraus folgt bezüglich der Wasserbindungsverhältnisse: nachdem bis 300° zunächst nur rein hygroskopisches Adsorptionswasser dem Chrysotil entweicht, so dass zwischen 300° und 400°C eine Zusammensetzung  $4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{MgO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  verwirklicht wird, findet beim stärkeren Erhitzen zwischen 400° und 550° eine erneute Wasserabgabe statt, wobei in diesem Temperaturintervall von den auf  $4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{MgO}$  entfallenden  $4\text{H}_2\text{O}$ -Molekülen eines entweicht. Ist schliesslich bei 550° die Zusammensetzung  $4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{MgO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  erreicht, so zerfällt der Chrysotil unter Abgabe des restlichen Wassers sehr rasch. Ein kleiner letzter Wasserrest (resp. Rest von (OH)-Ionen) ist schwer austreibbar, so dass auch bei einer Erhitzung auf 750° noch geringe Spuren von  $\text{H}_2\text{O}$  im Erhitzungsprodukt vorhanden sind.

Der Verlauf der Dehydration von Chrysotil lässt so bereits mit aller Deutlichkeit den dreifachen Charakter seines  $\text{H}_2\text{O}$ -Anteils erkennen. Zwei Fragen bleiben allerdings zunächst offen: zum ersten die Aufteilung des dem Chrysotil eigenen Adsorptionswassers in interkristallin eingelagertes und in intrakristallin eingebautes, sodann die Frage, ob das zwischen 400 und 550° entweichende  $\text{H}_2\text{O}$  als eigentliches Kristallwasser oder aber als nur mehr oder weniger ortsgebunden und damit eher als zeolithisches Wasser zu betrachten ist. Dass das bis 550° im Chrysotil verbleibende  $\text{H}_2\text{O}$  als (OH)-Gruppen vorliegt, damit über die Existenz der Chrysotil-Struktur entscheidet, dürfte unbestritten sein.



Bei den Strukturvorschlägen (siehe S. 229) für den Chrysotil lässt sich die stufenweise Wasserabgabe im Verhältnis 1:3 begründen: Im Falle der BRAGG-WARREN'schen Struktur (16) würde sie darauf beruhen, dass zunächst die  $H_2O$ -Moleküle das Gitter verlassen, während die OH-Ionen bis zu einer höheren Temperatur Gitterbestandteile bleiben; bei der von WARREN (17) diskutierten Struktur wäre das Verhältnis 1:3 damit in Zusammenhang zu bringen, dass es in seiner Struktur zweierlei (OH)-Ionen mit verschiedener Nachbarschaft gibt, deren Zahl im Verhältnis 1:3 steht, wobei es allerdings nicht ohne weiteres einleuchtet, weshalb die weniger häufigen, im Innern der Tetraeder-Oktaederschichten liegenden (OH)-Ionen als erste das Gitter verlassen, und erst später die häufigeren, randständigen (an den Schichtoberflächen liegenden) (OH)-Gruppen ihnen folgen sollen. Unseres Erachtens dürfte das Verhalten bei der Entwässerung eher zugunsten der BRAGG-WARREN'schen Struktur sprechen, wenn auch zuzugeben ist, dass das Verhältnis 1:3 bei der stufenweisen  $H_2O$ -Abgabe manche weitere strukturelle Interpretation zulässt.

b) Die Wasserabgabe und -Wiederaufnahme bis zu Temperaturen von  $300^{\circ}C$

Der Gehalt an Adsorptionswasser kann bei Chrysotil-Asbesten nicht allein durch eine  $-H_2O$ -Bestimmung unter  $110^{\circ}$  ermittelt werden, sondern nur durch Bestimmung des Gewichtsverlustes bei einer Erhitzung auf  $250-300^{\circ}$ . In der Tat nahmen bereits F. W. CLARKE und E. A. SCHNEIDER (7) (1891) an, dass das unter  $250^{\circ}$  entweichende Wasser rein hygroskopisch gebunden sei.

Der Gehalt an bis zu  $300^{\circ}$  entweichendem Wasser hat auf die Dimensionen der Elementarzelle keinen messbaren Einfluss, indem seine Austreibung keinerlei Veränderung des Interferenzbildes gegenüber demjenigen von unbehandeltem Chrysotil bewirkt. Ein sicherer weiterer Beweis für die adsorbtive Bindung dieses Wassers ist die Leichtigkeit der Abgabe und Wiederaufnahme dieses  $H_2O$ -Anteiles, wie sie sich beim Erhitzen auf Temperaturen bis gegen  $300^{\circ}$  und nachträglichem Stehenlassen an Luft oder in Wasserdampf geltend macht. Das bis  $280^{\circ}$  entweichende Wasser des Chrysotils ist lediglich vom Dampfdruck der umgebenden Luft abhängig, was bereits F. ZAMBONINI (1911, (21)) eindeutig festgestellt hat. Eine Reihe eigener Versuche hat diese Auffassung vollauf bestätigen können: bei  $200^{\circ}$  während längerer Zeit erhitzte Asbestmassen (ausgefasert) wurden an Luft über  $CaCl_2$



oder über Wasser im geschlossenen Raume aufbewahrt und die dabei sukzessive eintretende Gewichtsveränderung gemessen. Die Gewichtszunahme (= Wasseraufnahme) pro Zeiteinheit ist in allen Fällen zunächst gross, wird dann zunehmend kleiner, um schliesslich asymptotisch dem Nullwert zuzustreben. In Fig. 6 mit der Zeit in logarithmischem Masstab, ist ersichtlich, wie die  $H_2O$ -Aufnahme aus Luft mit verschiedenen Feuchtigkeitsgraden anfänglich nahezu proportional mit dem Logarithmus der Zeit zunimmt. So

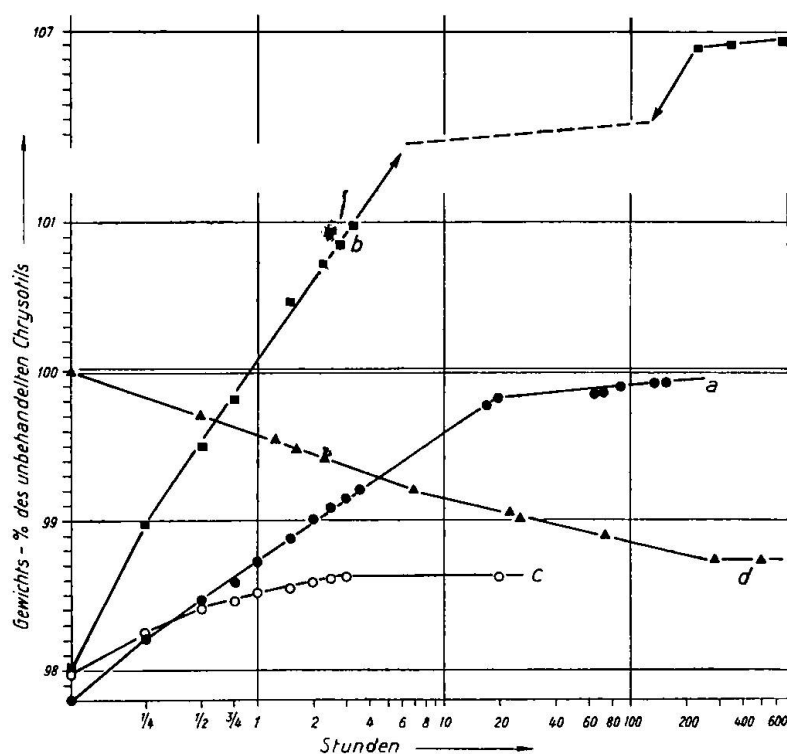


Fig. 6. Wasser-Wiederaufnahme-Kurven von Chrysotil-Asbest. Die Kurven a, b und c zeigen die Gewichtszunahme bei  $18^{\circ}C$  infolge  $H_2O$ -Adsorption aus der umgebenden Atmosphäre, nachdem der Asbest vorher längere Zeit auf  $200^{\circ}C$  erhitzt worden war.

stieg z. B. bei der Aufbewahrung an Luft ( $18^{\circ}C$ , 65 % rel. Feuchtigkeit) der Wassergehalt bis gegen 99,8 % (gerechnet in % des Gewichtes, welches vor der Erhitzung bei gleicher rel. Feuchtigkeit beobachtet wurde) (Kurve a). Anschliessend nahm der Wassergehalt nur noch sehr langsam zu, was sich in einem scharfen Knick in der Kurve a äussert. Dieses Verhalten ist auch von PIGEON und VAN WINSSEN (13) beschrieben worden, wobei diese Forscher besonders die Knickstelle der Kurve als „Sättigungs-Wendepunkt“ hervorheben. Ganz ähnlich verhielt sich jener Chrysotil, der nach einer gleichen Erhitzung auf  $200^{\circ}$  über Wasser aufbewahrt wurde: die

beobachteten Gewichtswerte liegen bei einfach logarithmischer Darstellung praktisch auf einer Geraden bis zum Wert 106,90 ‰ (gegenüber dem Vorbehandlungswert 100 ‰, der bei 65 ‰ rel. Feuchtigkeit gemessen wurde), und von ca. 240 Stunden ab Versuchsbeginn war nur noch eine sehr geringe Wasseraufnahme zu konstatieren (Kurve b). Bei einer entsprechenden Erhitzung und nachträglicher Aufbewahrung im Exsikkator über  $\text{CaCl}_2$  stieg der Wassergehalt nur wenig, und zudem war bald ein Endwert von ca. 98,6 ‰ erreicht (Kurve c). Dass hier tatsächlich der Wasserdampfdruck für den Endwert des Wassergehaltes verantwortlich gemacht werden muss, zeigt Kurve d, die sich auf einen unerhitzten Chrysotil bezieht, der im Anlieferungszustand in den Exsikkator gelegt wurde (zusammen mit Versuchsmaterial c): hier nimmt tatsächlich der Wassergehalt ab und zwar ebenfalls proportional zum Logarithmus der Zeit, bis ein Endwert erreicht ist, der weitgehend demjenigen von Fall c gleichkommt. Alle diese Versuche belegen, dass eine Erhitzung auf 200° Chrysotil insofern nicht bleibend verändert, als das bei der Erhitzung entwichene Wasser nachträglich wieder leicht aufgenommen wird, wobei im Falle einer Aufbewahrung in feuchterer Atmosphäre sogar mehr Wasser adsorbiert wird, als vor der Erhitzung vorhanden war. Entsprechende Versuche, auf deren Beschreibung wir hier verzichten, zeigen, dass unvorbehandelter und auf 100° erhitzter Chrysotil seinen Wassergehalt ebenfalls stark verändert, wenn der Dampfdruck der Atmosphäre verschieden gross gewählt wird. Im übrigen fällt es auf, dass die verschiedenen Chrysotilsorten aus der gleichen Atmosphäre verschieden viel Wasser aufnehmen. Dies dürfte in erster Linie damit zusammenhängen, dass der Faseraufbau und damit die innere Oberfläche der einzelnen Sorten verschiedenartig ist.

c) Die Wasserabgabe und -Wiederaufnahme bei  
höheren Temperaturen

Die Abgabe des bis zu 550° entweichenden Wassers hat keinen Einfluss auf die mit Röntgenstrahlen bestimmbaren Struktureigenschaften des Chrysotils. Auch die optischen Eigenschaften (Brechungsindizes, Auslöschung usw.) ändern sich bis zu dieser Temperatur nicht merklich. Ja es hat sogar die erhebliche Wasserabgabe bis 580° nicht bei allen Chrysotilsorten eine merkliche Veränderung des Interferenzbildes zur Folge, obschon derartig behandelter Chrysotil schon  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{2}{3}$  seines Gesamtwassers abgegeben hat. Immerhin ist festzustellen, dass die Intensität des Interferenzen-

systems des Chrysotils etwa von  $530^{\circ}$  an mit fortschreitender Wasserabgabe mehr und mehr abnimmt unter gleichzeitiger Verstärkung der diffusen Streustrahlung speziell im Bereich kleiner Beugungswinkel. Die Entwässerung des Chrysotils erstreckt sich offensichtlich über einen mindestens  $80^{\circ}$  betragenden Temperaturbereich (etwa  $550$ — $650^{\circ}$ , bei anderen Sorten  $570$ — $650^{\circ}$ ), wobei die entstehenden Dehydrationsprodukte zunächst keine eigentlichen Kristallinterferenzen liefern. Solche können erst von rund  $600^{\circ}$  an (bei einzelnen Sorten jedoch schon von  $550^{\circ}$  an, bei Schweizerit von  $570^{\circ}$  an) beobachtet werden, und zwar durchwegs in Form von Interferenzen, welche sich eindeutig dem Olivin-Gitter zuordnen lassen. Dabei bleibt die Frage offen, ob der Zerfall des Chrysotils zunächst über vollkommen amorphe Zustände (= Zwischenphase A) verläuft, aus denen sich allerdings recht bald kleine Olivinkriställchen bemerkenswerter Grösse entwickeln, oder aber, ob die entstehenden Olivinkristalle zunächst derart geringe Abmessungen besitzen, dass ein amorphes Verhalten vorgetäuscht wird (Tafel 1).

Selbst dann, wenn bereits deutliche Olivininterferenzen vorhanden sind, treten noch reichlich intensive Chrysotilinterferenzen auf, was beweist, dass das Zerfallsintervall des Chrysotils offenbar grösser ist als der Temperaturbereich, in welchem eine primär entstehende amorphe oder pseudoamorphe Zwischenphase (A) auftritt. Andererseits ergab ein von HARALDSEN (10) auf  $600^{\circ}$  erhitzter Chrysotil im Pulverdiagramm nur eine diffuse Linie (Olivin zugehörig?), was auf einen vollständigen Zerfall des Chrysotilgitters hindeutet, der bei dieser Chrysotilprobe offenbar vollendet ist, bevor eine eigentliche Neubildung von Olivin einsetzt. Nach CAILLÈRE (6) sind auf Grund des thermischen Verhaltens zwei Typen von Serpentin-Mineralien zu unterscheiden: als  $\alpha$ -Typus jenen, bei welchem das Erhitzen zum vollständigen Verschwinden der Serpentinlinien führt, und bei dem erst nach Erhitzen auf  $850^{\circ}$  neue (Forsterit- und Enstatit-)Interferenzen auftreten. Diesem Typus gehört ohne Zweifel der von HARALDSEN untersuchte Chrysotil an. Weit aus der grösste Teil der Chrysotile und Antigorite (auch alle von uns untersuchten Sorten) gehören jedoch dem  $\beta$ -Typus an, bei welchem bereits während des thermischen Abbaues des Serpentinminerals sich Forsterit bildet, indem hier dessen Interferenzen neben denjenigen des noch nicht umgewandelten Serpentin-Minerals auftreten.

Sowohl beim  $\alpha$ -Typus wie auch bei dem viel häufigeren  $\beta$ -Typus handelt es sich bei der Entwässerung um eine Reaktion I. Ordnung

(vergl. E. BRANDENBERGER (3, S. 153)), die monotrop verläuft (im Laboratorium ist es bisher auch bei sehr langen Versuchsdauern nicht gelungen, aus Olivin durch Hydratation mit reinem Wasser Serpentin herzustellen; in der Natur und bei Anwendung von sauren Lösungen findet jedoch dieser Übergang statt), und zwar um eine Keimreaktion mit einer röntgenamorphen Zwischenphase (A). Beim selteneren  $\alpha$ -Typus hat die Zwischenphase A offenbar grössere Beständigkeit als im Normalfall ( $\beta$ -Typus), wo der Zwischenphase eine recht beschränkte Haltbarkeit (Stabilität) zufällt, sodass aus ihr sehr bald Olivinkeime entstehen, und zwar noch bevor der Zerfall des Chrysotils zum Abschluss gekommen ist. In Fig. 7 sind die Existenz-

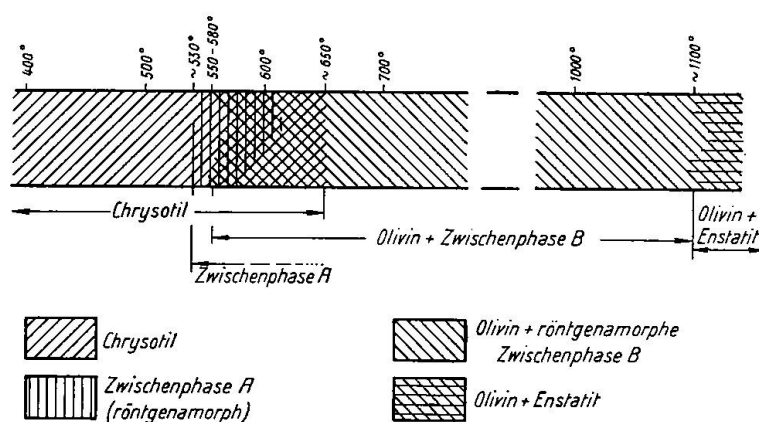
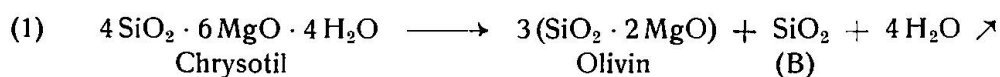


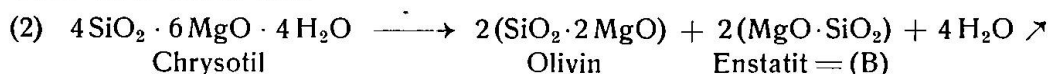
Fig. 7. Schema des Zerfalles von Chrysotilasbest.

bereiche der verschiedenen Kristallarten und der Zwischenphasen schematisch dargestellt. Die Grenzen der einzelnen Existenzbereiche schwanken etwas je nach der Chrysotilsorte; so sind die Temperaturen, welche für die Erzeugung erster Anzeichen von Olivininterferenzen einzuhalten sind, deutlich verschieden: bei Schweizerit um 570°, bei gewissen Sorten um 550°, bei anderen dagegen erst bei ca. 580° oder noch höher.

Zunächst liesse sich die Entwässerung des Chrysotils formulieren als:



oder aber auch als:



Das Röntgendiagramm zeigt nur Anzeichen einer einzigen neuen Kristallart, nämlich von Olivin, und zwar in Form von Interferenzen, welche keinerlei Hinweis auf irgendwelche Anomalien des Gitters der neu entstandenen Olivinkristalle abgeben. Es ist daher anzu-

nehmen, dass die Phase B, sei es nun  $\text{SiO}_2$  oder Enstatit, welche sich gleichzeitig mit Olivin bilden muss, zunächst in röntgenamorpher Form verliert, und hieraus erst bei höherer Temperatur Enstatit entsteht, im einen Falle als Folge einer blossen Auskristallisation von zunächst amorphem  $\text{MgSiO}_3$ , im anderen Falle dagegen als Ergebnis einer Reaktion zwischen zunächst amorphem  $\text{SiO}_2$  und Olivin.

Da jedoch vorläufig nicht entschieden werden kann, welcher der beiden Fälle tatsächlich vorliegt, ist es angezeigt, zunächst von einer röntgenamorphen Zwischenphase B zu sprechen, deren chemische Zusammensetzung vorderhand nicht eindeutig bestimmbar ist. Sie enthält möglicherweise anfänglich auch etwas  $\text{H}_2\text{O}$ , welches erst bei  $850^\circ$  völlig entwichen ist. Auf alle Fälle entweichen zwischen  $650$  und  $850^\circ$  ständig geringe Wassermengen, obwohl röntgenometrisch kein Chrysotil mehr nachweisbar ist.

Zwischen den oberhalb  $550^\circ$  sich bildenden Olivinkristallen und dem ursprünglichen Chrysotil-Faseraggregat bestehen deutliche Lage-Beziehungen, und zwar entsteht beim Erhitzen von Chrysotil je nach der Sorte ein mehr oder weniger gut geregeltes Aggregat von Olivinkristallen, wie sich den Röntgenaufnahmen an geglühten Chrysotilfasern ohne weiteres entnehmen lässt. Bei gut geregelten Olivinaggregaten herrscht stets ein System von Reflexen vor, welches zeigt, dass die Lage der Olivinkristalle mit  $b$  (ca.  $10,2 \text{ \AA}$ ) parallel zur Faserachse des ursprünglichen Chrysotils ( $=c$ ) dominiert (vergl. auch entsprechende Verhältnisse bei Antigorit S. 250). Daneben bestehen aber auch andere Lagen der Olivinkristalle, indem oft noch viele weitere Olivin-Interferenzen vorhanden sind, die mit dieser Textur nicht erfasst werden. Qualitativ hochwertige Chrysotilsorten mit ihrer besonders guten Regelung der Einzelfasern liefern beim Glühen auch entsprechend gut geregelte Olivinaggregate (Sorten Nr. 1—6), unvollkommen geregelte Chrysotile (Nr. 7—9 und besonders 10) ganz analog nur mässig oder überhaupt nicht geregelte Olivin-Aggregate. Der primäre Faserbau des Chrysotils hat so eine entscheidende Einwirkung auf die Textur des neu entstehenden Haufwerkes der Olivinkristalle. Möglicherweise bleiben in der röntgenamorphen Zwischenphase A gewisse Bauelemente der Chrysotilstruktur als solche noch erhalten und üben unter Beibehaltung ihrer ursprünglichen Lage eine orientierende Wirkung auf die neu entstehenden Keime der Olivinkristalle aus. Ebenso gut kann aber auch eine orientierte Verwachsung der sich bildenden Olivinkeime auf dem noch vorhandenen Chrysotil und damit eine Regelung der Olivinkristalle in bestimmte Vorzugslagen erfolgen, wobei diese umso

besser ausfallen wird, je vollkommener die Orientierung innerhalb der Chrysotilfaser selber ist<sup>2)</sup>).

Besonders aufschlussreich ist die Verfolgung der Einzelheiten des Dehydratationsvorganges, indem z. B. das Verhalten der Einzelinterferenzen von Drehkristallaufnahmen bei schrittweiser Erhitzung untersucht wird, wie dies anhand der Äquatorinterferenzen von Schweizerit (Sorte Nr. 10) ausgeführt wurde: Zunächst ist von etwa 530° an eine langsame, aber stetig stärker in Erscheinung tretende Abnahme der Intensität aller Interferenzen festzustellen, wobei sämtliche schwächeren Reflexe zwischen 580 und 600° ohne merkliche Lageverschiebung verschwinden. Die Interferenzen (200), (400), (040) und (0.12.0) sind dagegen auch nach Glühen bei wesentlich höherer Temperatur noch zu erkennen, so (200) und (400) auch noch nach Erhitzung auf 600°, jetzt aber merklich verbreitert, (040) und (0.12.0) selbst noch nach einer Glühbehandlung bei 650°, beide dann gleichfalls deutlich verbreitert. Während die (h00)-Interferenzen wenig über 600° ohne merkliche Lageverschiebung verschwinden, ist speziell bei der Interferenz (0.12.0) von 570° an eine stetige Lageverschiebung nach grösseren Beugungswinkeln zu konstatieren, welche bis zum völligen Verschwinden des Reflexes anhält, und zwar im einzelnen wie folgt:

Tabelle 2

Die Lageveränderung der (0.12.0)-Interferenz im Äquator von Drehkristallaufnahmen (Cu-K-Strahlung) beim sukzessiven Erhitzen von Schweizerit

Glühtemp.	—	400°	550°	565°	570°	570°	580°	600°	650°
Glühzeit	—	5 h	5 h	5 h	5 h	24 h	5 h	5 h	5 h
Beugungswinkel	30°03'	30°03'	30°04'	30°04'	30°10'	30°18'	30°23'	30°36'	30°49'
d (Å)	1,535	1,535	1,533	1,533	1,530	1,524	1,519	1,510	1,501

<sup>2)</sup> Die Bildung von geregelten Olivinaggregaten aus Chrysotilasbest bei dessen Erhitzung über 600° macht sich technisch nicht unmittelbar bemerkbar. Denn trotz der Zerstörung des eigentlichen Faserminerales bleibt eine gewisse Fasertextur erhalten, indem dieselbe durch geregelte Olivinkriställchen nachgebildet wird. Längere Zeit und stark erhitzte Asbestprodukte wie Schnüre, Carton usw. behalten deshalb trotz allem eine gewisse Festigkeit. Die in Olivin übergeführten Fasern sind jedoch sehr spröde und brüchig. Die elastische Biegsamkeit geht bereits oberhalb von 500° verloren. Da Olivin erst bei 1400° schmilzt (reiner Olivin sogar erst gegen 1700°), ist ein aus Chrysotilasbest erzeugtes Produkt viel hitzebeständiger als ein solches aus Hornblendeasbest, welches letzterer schon bei 1000° Schmelzerscheinungen zeigt. Zudem bewirken kurzfristige Erhitzungen auf hohe Temperaturen nur einen teilweisen Zerfall des Chrysotils.



Eine entsprechende Lageverschiebung gegen grössere Beugungswinkel wurde für die (0.12.0)-Interferenzen auch bei allen übrigen Chrysotilsorten festgestellt; sie ist jedoch bei Schweizerit besonders stark ausgeprägt. Bei den Sorten Nr. 1—6 beträgt die Gesamtverschiebung 9—18' gegenüber derjenigen von 46' bei Schweizerit. — Wie schon oben bemerkt, ist mit zunehmender Erhitzung auch eine merkliche Verbreiterung der Interferenzen, besonders der (h00) und der beiden (0k0)-Reflexe verbunden. Sie dürfte ihre Ursache am ehesten in Schwankungen der Gitterkonstanten des zerfallenden Chrysotilgitters finden, und ist übrigens auch bei anderen Dehydratationsvorgängen zu beobachten (vergl. E. BRANDENBERGER (3, S. 192)). Die Verschiebung der (0.12.0)-Interferenz ist auf Tafel 1 deutlich erkennbar.

Wird Chrysotil auf eine über 300° gelegene Temperatur erhitzt, so verliert er die Fähigkeit, nach der Abkühlung wieder gleich viel H<sub>2</sub>O aufzunehmen. Wohl wird noch begierig Wasser aufgenommen, dessen Gehalt erreicht aber unter konstanten Bedingungen nie mehr den Ursprungswert. Die Wasseraufnahme ist auch in diesem Falle (ganz gleichgültig, ob es sich um eine vorangehende Erhitzung auf z. B. 400, 600, 700 oder 800° handle) zuerst schnell, dann immer langsamer. Auch hier ist sie bis zur Sättigung proportional zum Logarithmus der Zeit. In Fig. 8 ist beispielsweise die Entwässerungskurve der Asbestsorte Nr. 2 wiedergegeben, und dazu als weitere Kurve jene, welche anzeigt, wieviel Wasser nach der jeweiligen Erhitzung wieder aus der Atmosphäre (bei Belassen während 6—7 Tagen an feuchter Luft) aufgenommen wurde. Die Versuche zeigen einwandfrei, wie nach einer Erhitzung bis zu 250° der ganze ursprüngliche Gehalt an Wasser wieder erreicht wird, nach einem Glühen bei höheren Temperaturen dagegen nur eine partielle Neuaufnahme von Adsorptionswasser stattfindet. Die überall gleich verlaufende, zuerst rasche, dann immer langsamer sich vollziehende Wasseraufnahme spricht selbstverständlich gleichfalls dafür, dass es sich dabei um reine Adsorptionsvorgänge handelt.

Interessant ist die Tatsache, dass die Menge des adsorbierten Wassers je nach der Vorbehandlungstemperatur verschieden gross ist (Fig. 8). Dieses Verhalten deckt sich mit dem Befund, dass zwischen 300 und 550° ein noch chrysotilartiges Mineral mit Faserbau vorliegt, zwischen 600 und 650° sich dagegen ein lockeres Aggregat geregelter Olivinkriställchen und von Chrysotilresten bildet, zwischen 700 und 1000° schliesslich ein offenbar immer grobkörniger werdendes Aggregat von Olivinkristallen entsteht. Dies würde

das zunächst feststellbare Weiterbestehen einer Adsorptionsfähigkeit nach Art des eigentlichen Chrysotils erklären. Das bei 600° schlagartig zunehmende Adsorptionsvermögen wäre dementsprechend dem partiell zerfallenen Chrysotil zuzuschreiben. Mit wachsendem

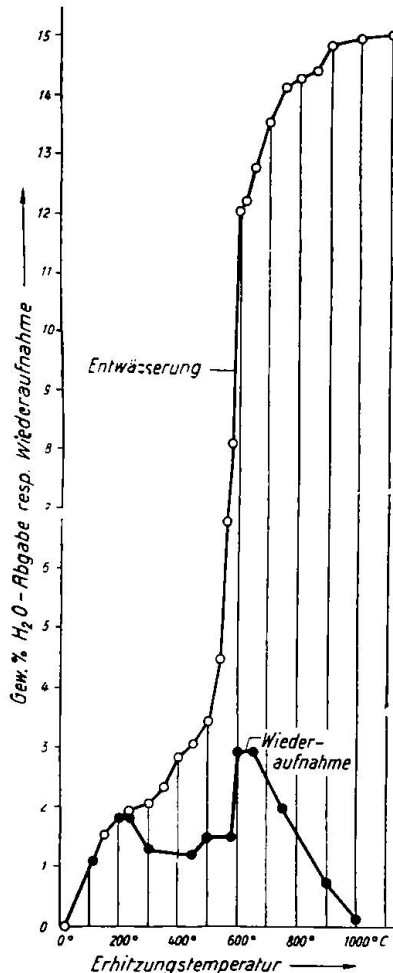


Fig. 8. Entwässerungs- und Wiederbewässerungs-Kurven der Chrysotilsorte Nr. 2.

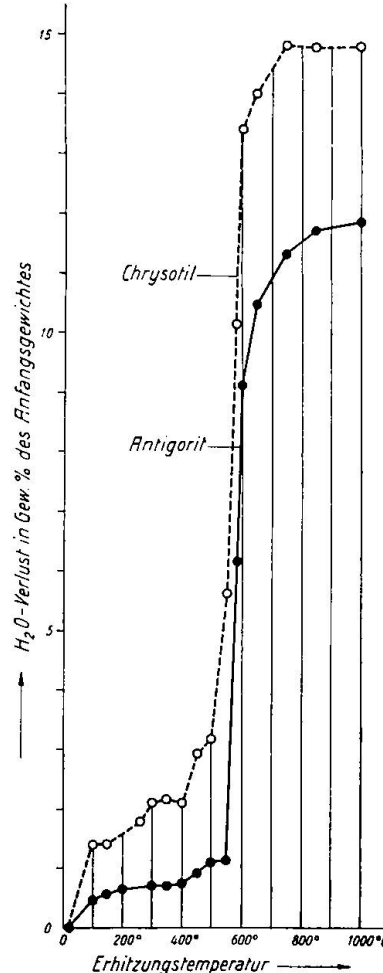


Fig. 9. Entwässerungskurven der Chrysotilsorte Nr. 6 und von Antigorit (Val Antigorio).

Olivinegehalt und zunehmender Grösse der Olivinkristalle geht die Adsorptionsfähigkeit aus verständlichen Gründen nach und nach zurück.

Röntgenometrisch kann zwischen gebranntem Chrysotil irgendwelcher Glühtemperatur (bis 1000°) und seinem an Luft belassenen Abkömmling kein Unterschied bemerkt werden. Das Adsorptionswasser hat ja keinen Einfluss auf die Dimensionen des Gitters der adsorbierenden Kriställchen.



Der Einfluss der Erhitzungsdauer auf den Zerfall von Chrysotil wurde von D. WOLCHOW und D. HAROLD WHITE (1941, 19) eingehend untersucht. Sie fanden, dass unterhalb von  $493^{\circ}$  und oberhalb von  $704^{\circ}$  der Gewichtsverlust von der Erhitzungsdauer unabhängig ist. Zwischen  $500^{\circ}$  und  $700^{\circ}$  bewirkt jedoch sehr langes Erhitzen eine stärkere Wasserabgabe als nur wenige Stunden dauern-des. Es kann daher schon bei  $580^{\circ}$  eine weitgehende Entwässerung erzwungen werden, die mit Olivinbildung verbunden ist. Die vollständige Entwässerung kann aber auch in diesen Fällen erst bei  $700^{\circ}$  und sehr langfristiger Erhitzung erreicht werden.

#### 4. Die Entwässerung von Antigorit

Für die weitere Aufklärung der Struktur des Chrysotils liegt ein Vergleich mit dem nahe verwandten Antigorit nahe, und zwar deshalb, weil die Antigoritstruktur mit der hier vorhandenen Möglichkeit, Einkristallaufnahmen herzustellen, viel genauer erforschbar ist als jene von Chrysotil. Im Zusammenhang mit unseren Untersuchungen war es daher gegeben, gleichfalls die Entwässerung des Antigorits zu studieren und mit dem Chrysotil zu vergleichen. Fig. 9 zeigt die Gewichtsverlustkurve von Antigorit im Vergleich mit derjenigen unserer Chrysotilsorte Nr. 6. Zur Aufnahme dieser Kurve wurde pulverisierter Antigorit von Val Antigorio verwendet, wobei dieser sukzessive erhitzt und jeweils bis zur Gewichtskonstanz geglüht wurde, wie dies bereits auf Seite 234 beschrieben wurde. Auffallend ist zunächst die weitgehende Ähnlichkeit der beiden Kurven, indem die hauptsächliche Wasserabgabe beim Antigorit im gleichen Temperaturgebiet stattfindet wie beim Chrysotil. Auch der im einzelnen erfolgende Verlauf dieser Wasserabgabe über  $550^{\circ}$  ist bei beiden Mineralien praktisch derselbe. Unterschiede bestehen lediglich im Gebiet unterhalb von  $550^{\circ}$ , da einerseits beim Antigorit das unterhalb dieser Temperatur entweichende  $H_2O$  wesentlich geringere Mengen erreicht als beim Chrysotil (1,1 %) und andererseits die hauptsächliche Wasserabgabe im Fall des Antigorits bei  $550^{\circ}$  sehr schroff einsetzt. Bei beiden Mineralien ist hingegen die Abgabe des hygroskopischen Wassers bei  $300^{\circ}$  vollendet, d. h. der vom  $H_2O$ -Dampfdruck der Umgebung abhängige Wasseranteil ist bei beiden Mineralien durch Erhitzung auf  $300^{\circ}$  restlos zu entfernen. Die Wasserabgabe steigt auch beim Antigorit oberhalb von  $400^{\circ}$  wieder langsam an, ist jedoch gegenüber dem Chrysotil in diesem Temperaturgebiet nur sehr gering.

Der Unterschied im Gehalt an Adsorptionswasser scheint uns leicht verständlich, ist doch die Oberfläche des ausgefaserten Chry-

sotils beträchtlich grösser als diejenige eines gewichtsgleichen Antigoritpulvers. Der Faserbau des Chrysotils ermöglicht ferner viel eher einen fibrillären Wassereinbau als der durch eine eigentliche Schichtstruktur ausgezeichnete Antigorit. Zwischen 400 und 550° gibt Chrysotil erhebliche Mengen Wasser ab, Antigorit hingegen nur sehr wenig; erst bei 550° beginnt beim letzteren unvermittelt die Abgabe des Hauptanteiles an  $H_2O$ . Es fragt sich nun, ob sich nicht gerade in diesem verschiedenen Verhalten zwischen 400 und 550° strukturelle Unterschiede der beiden Mineralien äussern. Wie schon im vorangehenden Abschnitt gezeigt wurde, ist es durchaus denkbar, dass zwischen 400 und 550° beim Chrysotil Kristallwasser abgegeben wird, entsprechend dem Strukturvorschlag von WARREN und BRAGG (16). Dies würde beim Antigorit infolge seines anders gearteten Gitteraufbaues (keine  $H_2O$ -Moleküle eingelagert) nicht zutreffen.

Entsprechend wie beim Chrysotil wurden Antigorit-Stäbchen bei verschiedenen hohen Temperaturen geglüht und anschliessend Drehkristallaufnahmen gemacht, um den sukzessiven Zerfall des Antigorites und die Neubildung von Olivin zu verfolgen. Bei 550° beginnt erstmals deutlich eine anomal starke Streustrahlung unter kleinen Beugungswinkeln aufzutreten, die sich bis 700° immer mehr verstärkt und sich zunehmend gegen grössere Beugungswinkel ausdehnt. Sie bleibt bis gegen 750° erhalten und tritt hierauf merklich zurück. Gleichzeitig nehmen die einzelnen Interferenzen an Intensität ab, sie bleiben jedoch auch nach Glühen bei wesentlich höheren Temperaturen als beim Chrysotil erhalten. So sind bei 700° und 720° die Äquatorinterferenzen (003), (005), (040) und (060) noch deutlich zu erkennen, wobei besonders (060) — der (0.12.0)-Interferenz von Chrysotil entsprechend — noch sehr scharf und mit grosser Intensität auftritt. In Analogie zum Chrysotil, bei welchem die (h00)-Reflexe beim Erhitzen ohne wesentliche Lageverschiebung verschwinden, gilt dies auch beim Antigorit für die ihnen entsprechenden (00l)-Interferenzen. Dagegen zeigen die (0k0)-Reflexe bei beiden Mineralien eine deutliche Lageverschiebung (vergl. auch Seite 245), die beim Antigorit sowohl bei (040) als auch bei (060) eindeutig zu verfolgen ist (Tabelle 3).

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, ist die Lageverschiebung bei Antigorit nicht so gross wie beim Schweizerit, sondern erreicht nur die Grösse, wie sie bei canadischen und rhodesischen Asbesten auftritt. Interessant ist, dass trotz des schon fast vollständigen Wasserverlustes bei 720° im Antigorit noch mehrere deutliche Antigorit-

linien auf die Anwesenheit der Antigoritstruktur hinweisen, während bei der gleichen Temperatur und entsprechend grossem Wasserverlust der Chrysotil schon völlig zerfallen ist (vergl. auch Fig. 9).

Tabelle 3

Die Lageverschiebung der (0k0)-Interferenzen (im Äquator von Drehkristallaufnahmen, Cu-K-Strahlung) beim sukzessiven Erhitzen von Antigoritstäbchen ( $//a$ -Achse).

(0k0)	Beugungswinkel			d (Å)		
	Zimmertemp.	700°	720°	Zimmertemp.	700°	720°
(040)	19°36'	19°42'	19°51'	2,292	2,280	2,264
(060)	30°00'	30°06'	30°09'	1,537	1,533	1,530

Beim Erhitzen von Antigorit treten die ersten Olivininterferenzen erst nach Glühen bei 700° auf, also rund 150° höher als bei Chrysotil. Sie sind zunächst noch sehr schwach und verschwommen (breit), was auf eine anfänglich geringe Qualität der Kristallkeime bzw. geringe Grösse derselben hindeutet. Erst das Glühen bei 750° ergibt zahlreiche und schärfere Interferenzen von Olivin, und zwar in einer Beschaffenheit, welche auf ein Haufwerk aus Olivinkristallen hinweist, die zur Hauptsache geregelt sind, in einer Minderheit aber auch regellos auftreten. Die Textur des Aggregates der Olivinkristalle ist auch hier von der gleichen Art wie beim Chrysotil (siehe Seite 244): die Drehkristallaufnahme um die  $a$ -Achse des ursprünglichen Antigorites ergibt nämlich als kürzesten Identitätsabstand ca. 10,1 Å (=  $b_0$  von Olivin), diejenige um die  $b$ -Achse des ehemaligen Antigorites einen solchen von ca. 5,8 Å (=  $c_0$  von Olivin). Auch die Indizierung der Äquatorinterferenzen beweist, dass die Antigorit- $c$ -Achse der  $a$ -Achse des neu gebildeten Olivins parallel läuft.

Tabelle 4

Die Lagebeziehungen zwischen Chrysotil, Antigorit und dem durch Erhitzen daraus entstehenden Olivin

Chrysotil		Olivin		Antigorit
a (14,6 Å)	→	a (4,75 Å)	←	c (14,5 Å)
c (5,3 Å)	→	b (10,2 Å)	←	a (5,3 Å)
b (9,2 Å)	→	c (5,9 Å)	←	b (9,2 Å)

Mit dem Auftreten scharfer Olivininterferenzen geht auch hier die Intensität der diffusen Streustrahlung unter kleinen Beugungswinkeln zurück, was offenbar mit dem Verschwinden der anfänglich entstandenen Zwischenphase A (wie beim Chrysotil) in Zusammenhang steht, indem sich diese teilweise in Olivin umwandelt.

### 5. Zugfestigkeitsuntersuchungen an Chrysotil

Über die Zugfestigkeit und den Verlauf des Zerreißvorganges bei Asbesten sind in der Literatur nur wenig Angaben zu finden. F. SYRMOJATNIKOFF (15) berichtet über eine Zerreißmethode, bei der die Asbestfasern an beiden Enden mittels Kolophonium in Röhrchen eingeschmolzen werden, die dann in einer in der Textil-Prüftechnik gebräuchlichen Zerreißmaschine befestigt werden können. Auf Grund einer Reihe von Zerreißfestigkeitsproben kam er dabei auf eine mittlere Reißfestigkeit des Chrysotilasbestes von Bashenov (Ural) von 207–232 kg/mm<sup>2</sup>.

Wir versuchten nun mit ähnlich befestigten Chrysotilfasern die Zug-Dehnungskurve aufzunehmen, sowie die Zerreißfestigkeit und den Verlauf des Zerreiß-Vorganges zu ermitteln. Die Dehnung und Zugspannung wurde bei allen Versuchen automatisch registriert. Diese Versuche wurden im Gaslaboratorium der Eidg. Materialprüfungsanstalt durchgeführt. Herrn Prof. Dr. H. GESSNER möchten wir an dieser Stelle für die Zurverfügungstellung der Zerreißmaschine (Konstruktion Amsler, Typus ZH 180) den besten Dank aussprechen.

Die Resultate sind in Tabelle 5 enthalten, wobei nur jene Versuche angeführt sind, bei denen der Bruch eindeutig in der Faser selbst erfolgte, und nicht in oder nahe bei einer Einspannstelle. Wie die Tabelle zeigt, ist die Reißfestigkeit bei ein und derselben Asbestsorte starken Schwankungen unterworfen. Dies beruht sicherlich zum grössten Teil darauf, dass eine Einzelfaser nie völlig fehlerfrei ist, sondern stets kleine Knickstellen, Einschlüsse usw. aufweist, was die Ermittlung der tatsächlichen Reißfestigkeit der ungestörten Faser sehr erschwert. Um diese Fehlerquellen auszuschalten, sollten sehr kurze Fasern verwendet werden, die fehlerfrei sind; damit würde jedoch die Bestimmung der Dehnung verunmöglicht. Die durchgeführten Versuche lassen keine Schlüsse über die Beziehungen zwischen Reißfestigkeit einerseits und Faserlänge und -Querschnitt anderseits ziehen. Dagegen gelte aus ihnen eindeutig hervor, dass leicht ausfaserbare Sorten mit guter Einregelung der Einzelfasern in die Faserachse viel reissfester sind als jene mit schlechter Einregelung (Sorte Nr. 9). Ferner setzt offenbar eine 14-stündige Erhitzung auf 400 °C die Zugfestigkeit von qualitativ hochwertigem Chrysotilasbest schon stark herab, was insofern bemerkenswert ist, als in diesem Temperaturbereich das Röntgendiagramm noch keinerlei Veränderung feststellen lässt.

Zwischen Reißfestigkeit und Dehnung besteht eine deutliche Abhängigkeit, indem mit steigender Reißfestigkeit auch die Dehnung grösser wird. Dies gilt besonders innerhalb einer einzelnen Chrysotilsorte, während offenbar gewisse Sorten bei ähnlicher Reißfestigkeit verschieden stark dehnbar sind. Spannt man eine Chrysotilfaser sukzessive bis auf eine wenig unter der Reißfestigkeit liegende Belastung, so ist die Dehnung eine lineare Funktion der angelegten Spannung; es gilt somit das Gesetz von HOOKE. Entspannt man kurz vor Erreichen der Reißfestigkeit, so geht die Dehnung wieder vollkommen elastisch zurück. Streckgrenze, Elastizitätsgrenze und Bruchspannung fallen somit praktisch zusammen. Einige Fasern wurden mehrmals hintereinander durch verschiedene, unter der Bruchspannung liegende Spannungen beansprucht und hernach wieder entspannt, ohne dass Anzeichen einer Ermüdung festgestellt werden konnten.

Tabelle 5.  
Zerreissversuche an Chrysotilasbest

		Freie Faserlänge in mm	Faserquerschnitt in mm <sup>2</sup>	Reissfestigkeit in kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung unmittelbar vor dem Bruch in mm	Dehnung unmittelbar vor Bruch in % der urspr. Faserlänge
Rhodesischer Chrysotil langfaserig	unbehandelt	36	0,09	16	0,2	0,5
		37	0,15	40,7	0,7	1,9
		16	0,16	38,5	0,5	3,1
		30	0,20	110	1,1	3,7
		38,5	0,30	23	1,2	3,5
	14 h bei 400° Glühen	27	0,16	4,9	1,1	4,1
		45	0,16	9,3	0,1	0,2
Sorte Nr. 1		9	0,42	16,1	0,4	4,4
		6	0,1	≥ 61	> 0,4	> 6,7
langfaserig, Puschlav Sorte Nr. 9		21	0,37	2,7	0,1	0,5
		33	0,66	5,75	0,4	1,2
		32	0,83	6,6	0,3	0,9
		26	0,83	3,1	0,1	0,4
		20	0,83	6,0	0,2	1,0

Endlich wurde auch versucht, die Einwirkung einer Dehnung auf die Röntgeninterferenzen des Chrysotils zu studieren, wobei die hiezu notwendigen Röntgenaufnahmen in zuvorkommender Weise von Herrn Dr. O. WÄLCHLI in der Hauptabteilung C der Eidgen. Materialprüfungsanstalt (St. Gallen) ausgeführt wurden. Es sei ihm an dieser Stelle dafür unser bester Dank ausgesprochen. — Trockene und durch ständige Imbibition mit destilliertem Wasser feucht gehaltene Fasern wurden im Anlieferungszustand, in stark gedehntem Zustand sowie nach der Entspannung untersucht. Die Apparatur und Aufnahmetechnik entspricht derjenigen von K. WUHRMANN (20). Die Ausmessung der Röntgenfilme ergab nur sehr geringe Unterschiede zwischen gedehnten und ungedehnten, trockenen und feuchten Fasern. Die gemessenen Abweichungen liegen durchaus innerhalb der Messgenauigkeitsgrenzen. Falls die gefundenen Unterschiede wirkliche Veränderungen infolge Dehnung darstellen, so wäre anzunehmen, dass eine Zugbeanspruchung, welche nahezu der Reissfestigkeit gleichkommt, eine sehr geringe (unter 0,3 % liegende) Dehnung des Chrysotilgitters in der Faserachsenrichtung zur Folge hätte, anderseits eine noch erheblich geringere Kontraktion in der Richtung senkrecht zur Faserachse. Die Befeuchtung ist ohne Einfluss auf diese Vorgänge. Somit beruht die Dehnung der Chrysotilasbestfasern bei Zugspannungen praktisch nur auf interkristallinen Aggregatsveränderungen (elastisch reversible Verschiebung der Einzelkristalle gegeneinander) und nicht auf einer Gitterdeformation, die höchstens sehr untergeordnetes Ausmass annimmt. Befeuchtung und Dehnung im feuchten Zu-

stände haben keine Veränderungen gegenüber dem trockenen Zustande zur Folge.

Ferner wurde der Einfluss von Erhitzung und gleichzeitiger Spannung auf den Faserbau untersucht. So wurde z. B. eine Faser der Sorte Nr. 9 (schlecht geregelter Poschiavo-Chrysotilasbest) während 18 Stunden auf  $350^{\circ}$  erhitzt, und dabei frei hängend mit Gewichten so belastet, dass stets eine nur wenig unter der Reiss-Spannung liegende Belastung wirkte. Die Austreibung des Adsorptionswassers bei gleichzeitiger Belastung liess vermuten, dass eventuell der Verlust des grossen Adsorptionswasser-Anteiles eine Besser-Regelung der Einzelfasern innerhalb der Faser zur Folge haben könnte. Dies war jedoch keineswegs der Fall, denn die Faseraufnahmen vor und nach dem Versuch unterscheiden sich nicht.



Fig. 10. Bruchform von zerrissenem Chrysotilasbest.

In einer Reihe weiterer Versuche wurde der Veränderung der Reiss-Spannung bei Temperaturerhöhung besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei wurde so vorgegangen, dass frei hängende Asbestfasern mit Gewichten so gespannt wurden, dass die Reissfestigkeit beinahe erreicht war. Hierauf wurde mittels eines Heiss-Gas-Stromes (welcher durch eine Gasflamme erzeugt wurde) die Temperatur der Asbestfaser langsam gesteigert und die Zerreisstemperatur festgestellt. Es zeigte sich hierbei, dass die Fasern stets bis gegen  $400^{\circ}$  hielten, dann jedoch zwischen  $450$  und  $500^{\circ}$  in der Regel rissen. Die Reissfestigkeit der Chrysotilfasern nimmt somit oberhalb von  $400^{\circ}$  merklich ab, was uns ja auch schon Tabelle 5 zeigte.

Schliesslich ist noch die Form des Faserbruches zu erwähnen: bei allen Zugversuchen war immer ein ausgefaserter Bruch zu konstatieren. Die Einzelfäserchen, welche die Faser aufbauen, reissen stets an verschiedenen Stellen, wodurch eine ausgefranzte Riss-Stelle erzeugt wird (Fig. 10). Die Fransen können hierbei bis 1 cm lang sein. In zwei Reissversuchen konnte festgestellt werden, dass einige Teilfäserchen rissen, die Faser hierauf ruckartig länger wurde, dann aber wieder hielt und erst bei noch höherer Zugspannung endgültig riss. In diesen Fällen bestand offenbar die Faser anfänglich aus wenigen gestreckten und häufigeren etwas verbogenen Einzelfasern. Zunächst wirkte der ganze Zug nur auf die gestreckten Einzelfasern, die in der Folge rissen. Hierauf wurden die übrigen Einzelfasern angespannt, hielten aber die Belastung, welche vorher zum Risse führte, noch aus. Bei noch stärkerer Zugspannung rissen schliesslich auch diese Einzelfasern. Der Reissvorgang verlief in diesen Versuchen gewissermassen staffelförmig.

## 6. Zusammenfassung

Auf Grund von Drehkristallaufnahmen und Entwässerungskurven von 10 verschiedenen Chrysotilsorten und einem Antigorit (aus dem Val Antigorio) werden die nahen Beziehungen unter diesen beiden



Kristallarten einer näheren Betrachtung unterzogen. Dabei ergeben sich eine Reihe von Gründen, welche beim Chrysotil für eine dem BRAGG-WARREN'schen Strukturvorschlag (16) nahekommende Struktur sprechen, während Antigorit offenbar eine reine Schichtstruktur (wie von ARUJA (2) vorgeschlagen) besitzt. Chrysotile verschiedener Herkunft unterscheiden sich in Bezug auf ihren Bau zum Teil wesentlich voneinander, und zwar in doppelter Hinsicht: durch den Grad der Einregelung der Einzelfasern und die Vollkommenheit der Bündelung der verschiedenen Gitterbauelemente (Ketten aus  $\text{Mg}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6$ -Oktaedern und  $\text{Si}_4\text{O}_{11}$ -Doppelketten), was sich vor allem in den Drehkristallaufnahmen deutlich zeigt, sich aber auch in verschiedener Adsorptionsfähigkeit und Reissfestigkeit äussert.

Die sukzessive Erhitzung von Chrysotil und Antigorit hat zunächst zur Folge, dass bis gegen  $300^\circ$  das Adsorptionswasser ausgetrieben wird. Erst bei dieser Temperatur entspricht der Pauschalchemismus der Idealzusammensetzung  $4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{MgO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (abgesehen von dem sehr untergeordneten Ersatz von Mg durch Fe"). Eine weitere Erhitzung bewirkt beim Chrysotil, dass bis gegen  $550^\circ$  ein weiteres  $\text{H}_2\text{O}$  pro Formeleinheit austritt, während Antigorit bei dieser Behandlung praktisch keine Änderungen erfährt. Zwischen  $550^\circ$  und  $600^\circ$  findet dann bei beiden Kristallarten die eigentliche Entwässerung statt, wobei vorerst eine röntgenamorphe Zwischenphase A entstehen muss, die bei Chrysotil bereits unterhalb  $600^\circ$  in Olivin übergeht, währenddem sie bei Antigorit sich erst oberhalb  $700^\circ$  ganz oder teilweise in Olivin umwandelt. Der Entwässerungsvorgang vollzieht sich allgemein über grössere Temperaturintervalle; letzte Reste der ursprünglichen Kristallart sind bei 15stündiger Erhitzung von Chrysotil noch bei  $650^\circ$ , bei Antigorit nach 75stündigem Glühen bei  $720^\circ$  nachzuweisen. Neben Olivin bildet sich eine weitere röntgenamorphe Phase (Zwischenphase B), die entweder aus  $\text{SiO}_2$  oder  $\text{MgSiO}_3$  besteht, und erst oberhalb von  $1100^\circ$  zur Bildung von Enstatit führt (ev. durch Reaktion von  $\text{SiO}_2$  mit Olivin). Die geschilderten Dehydratationsvorgänge haben einen grossen Einfluss auf das Wasser-Adsorptionsvermögen und die Zugfestigkeit der Fasern, wie dies anhand von ausgedehnten Versuchsreihen belegt wird. Das bis  $300^\circ$  austreibbare Adsorptionswasser wird nach dem Erkalten wieder reversibel aufgenommen und ist nur vom  $\text{H}_2\text{O}$ -Dampfgehalt der Luft abhängig. Stärker erhitzte Asbeste nehmen gleichfalls noch Adsorptionswasser aus der Luft auf, das jedoch nicht das schon ausgetriebene Gitter-Wasser ersetzt. Ein relativ grosses Wasser-Adsorptionsvermögen ist bei auf  $600^\circ$

erhitztem Chrysotil vorhanden, während bei stärkerer Glüh-Vorbehandlung die Adsorptionsfähigkeit stark nachlässt. Es bestehen ferner Lagebeziehungen zwischen den Serpentinmineralien und den sich daraus durch Erhitzen ergebenden Olivinkriställchen, wobei die strukturelle Verwandtschaft zwischen Chrysotil und Antigorit erneut bestätigt wird. Der Chrysotil-a-Achse entspricht nach dem Erhitzen vorzugsweise a von Olivin, die Chrysotil-c-Achse (= a-Antigorit) geht in b-Olivin über, und b-Chrysotil (= b-Antigorit) entspricht nach dem Glühen meistens der Olivin-c-Achse.

Die Durchführung der vorstehenden Untersuchung zur Frage der Entwässerung von Chrysotil und Antigorit wurde uns ermöglicht durch die Gewährung eines Forschungskredites aus den Arbeitsbeschaffungsmitteln des Bundes an das Mineralogische Institut der Universität Zürich.

Herr Professor Dr. P. NIGGLI möchten wir auch an dieser Stelle für sein fortgesetztes Interesse an unserer Studie angelegentlich danken.

#### Literaturverzeichnis

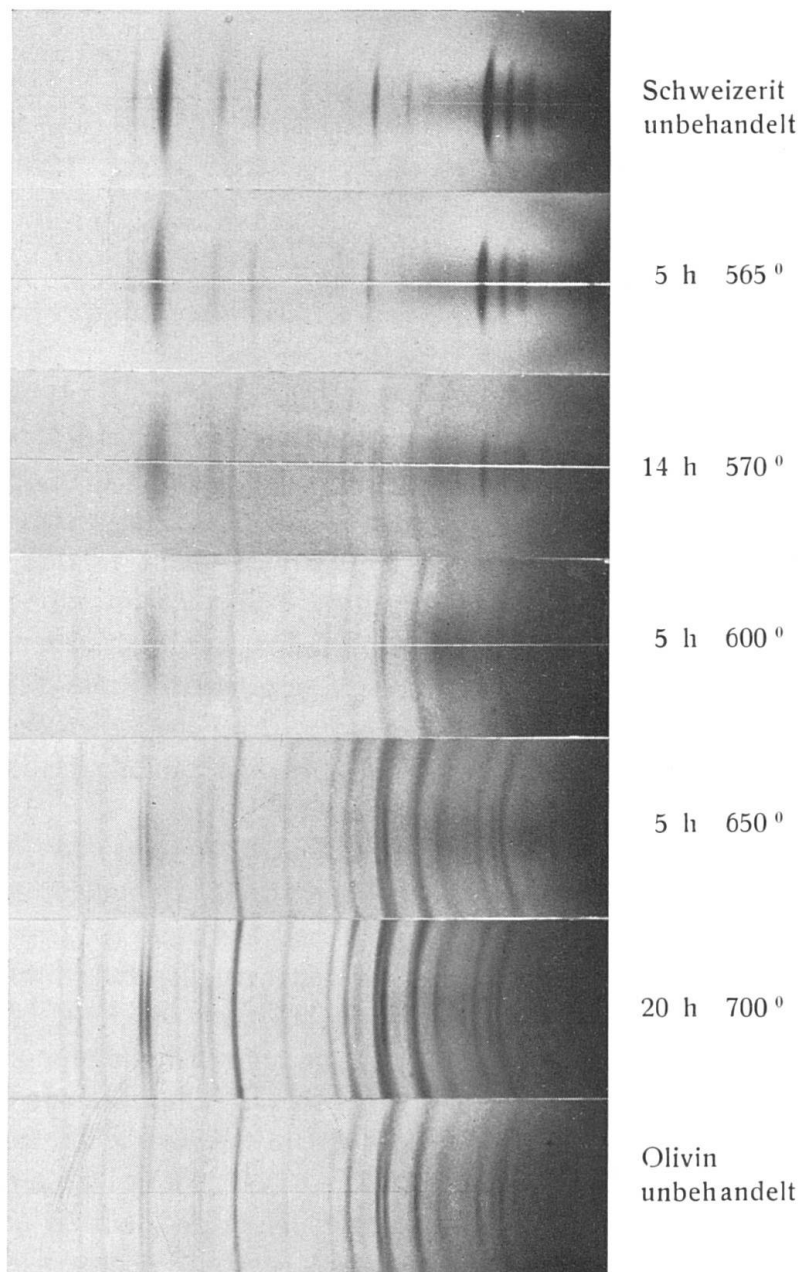
1. ARUJA, E. Displacement of X-ray reflections. *Nature* (1944) 53.
2. — An X-ray study of the crystal-structure of antigorite. *The Mineral. Mag.*, London, 27 (1945) 65—74.
3. BRANDENBERGER, E. Röntgenographisch-analytische Chemie. Basel 1945.
4. — Grundlagen der Werkstoffchemie. Zürich 1947.
5. BUDIG, H. Untersuchungen der Wasserbindung im Asbest mit Hilfe des thermischen Abbaues. *Österr. Chemikerzeitung* 44 (1941) 197—199.
6. CAILLÈRE, S. Contribution à l'étude des minéraux des serpentines. *Bull. Soc. Franç. Min.* 59 (1936) 163.
7. CLARKE, F. W. und SCHNEIDER, E. A. Experimentaluntersuchungen über die Konstitution der natürl. Silikate. *Z. Krist.* 18 (1891) 390—418.
8. GRUNER, J. W. Notes on the structure of serpentines. *Amer. Mineral* 22 (1937) 97—103.
9. GUINIER, A. I. Imperfections of crystal lattices as investigated by the study of X-ray diffuse scattering. *Proc. of Phys. Soc.* 57 (1945) 310.
10. HARALDSEN, H. Eine röntgenographische und chemische Untersuchung über die thermische Umwandlung des Serpentin. *Centralblatt Min. Geol. Abt. A* (1928) 297—315.
11. HARGREAVES, A. und TAYLOR, W. H. An X-ray examination of decomposition products of Chrysotile (asbestos) and Serpentine. *Min. Mag.* 27 (1946) 204.
12. JAKOB, J. Über den Chemismus der Serpentine I. *Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt.* 11 (1931) 56—66.
13. PIDGEON, L. M. und WINSEN, A. VAN. Die Sorption von H<sub>2</sub>O durch Asbestfasern. *Canad. J. Res.* 9 (1933) 153—158.
14. SELFRIDGE, G. C. An X-ray and optical investigation of serpentine minerals. *Amer. Mineral* 21 (1936) 463—503.



15. SYROMJATNIKOFF, F. Über einen Versuch, die Zugfestigkeit der Chrysotil-Asbestfasern zu bestimmen. *Z. Krist.* 66 (1928) 191—194.
16. WARREN, B. E. and BRAGG, W. L. The structure of Chrysotile. *Z. Krist.* 76 (1930) 201—210.
17. WARREN, B. E. X-ray study of Chrysotile-asbestos. Referat in *Amer. Mineral* 27 (1942) 235.
18. WARREN, B. E. and HERING, K. W. The Random Structure of Chrysotile Asbestos. *Physic. Rev.* (2) 59 (1945) 925.
19. WOLCHOW, D. und WHITE, W. H. *Canad. J. Res. B.* 19 (1941) 49—60. Thermische Untersuchungen am Asbest.
20. WUHRMANN, K. Textur und technologische Eigenschaften bei faserigen Werkstoffen. *Schweiz. Archiv. f. angew. Wissensch. u. Technik.* 12 (1946) 13—22, 37—48.
21. ZAMBONINI, F. Beitrag zum Studium der Hydrosilikate. Ref. in *Z. Krist.* 49 (1911) 73—105.

Mineralogisches Institut der Universität Zürich und der E. T. H.,  
September 1946.

Eingegangen: 10. Oktober 1946.



Tafel 1. Äquatorinterferenzen von Chrysotil (Schweizerit)  
erhalten an Fasern, welche bei verschiedenen Temperaturstufen erhitzt wurden.  
Von 570 ° C an erscheinen mit zunehmender Intensität Olivin-Interferenzen.  
Zuunterst zum Vergleich das Pulverdiagramm von natürlichem Olivin. Im  
ersten Viertel links die intensive (0.12.0)-Interferenz, welche bei zunehmender  
Erhitzung deutlich nach links wandert.