

**Zeitschrift:** Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =  
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

**Band:** 11 (1931)

**Heft:** 1

**Artikel:** Über den Chemismus der Serpentine. I. Mitteilung

**Autor:** Jakob, Johann

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-12528>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 13.10.2024

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

## Über den Chemismus der Serpentine. I. Mitteilung

Von *Johann Jakob* in Zürich

Suchen wir in irgend einem Lehrbuch nach der Formel für Serpentin, so finden wir stets das Verhältnis:  $2 \text{SiO}_2$   $3 \text{MgO}$   $2 \text{H}_2\text{O}$ . Versuchen wir dagegen irgend eine chemische Analyse auf dieses stöchiometrische Verhältnis zu verrechnen, so will die Sache einfach nicht stimmen. Es weichen die verschiedenen Analysen von Serpentin ausserdem recht erheblich voneinander ab. Durch diese und die folgenden Feststellungen wurde ich veranlasst, die chemischen Verhältnisse der Serpentine einer eingehenderen Untersuchung zu unterziehen.

Umfangreiche Untersuchungen über die chemische Konstitution der Glimmer und speziell der Muskovite<sup>1)</sup> haben ergeben, dass diese Minerale wesentlich komplexer gebaut sind, als je vorauszusehen war. Wir können bei den Muskoviten nicht mehr von einem sogenannten „Muskovitmolekül“ sprechen, das den Muskovit aufbaut, etwa wie das Molekül  $\text{NaCl}$  den Steinsalzkristall aufbaut. Eine derartige Baueinheit, die dem  $\text{NaCl}$ -Molekül des Steinsalzes entsprechen würde, wäre bei Muskovit von einer Grösse, dass der Molekülbegriff meines Erachtens nicht mehr geeignet wäre. Es wurde nun für diese höhere Baueinheit der Begriff „chemischer Elementarkörper“ eingeführt. Der chemische Elementarkörper des Muskovits enthält  $120 \text{SiO}_2$ , es sind diese  $120 \text{SiO}_2$  das einzige Konstante an diesem Elementarkörper, alles andere ist von Fall zu Fall einem Wechsel unterworfen. Wir sagen daher, der chemische Elementarkörper des Muskovits wird durch  $120 \text{SiO}_2$  abgegrenzt.

Es ist nun wohl nicht gut gerechtfertigt, zu behaupten, dass eine derart hohe Baueinheit ein besonderes Spezifikum des Muskovits sei und für andere Silikate überhaupt nicht in Frage komme. Gerade die oben erwähnten Unstimmigkeiten betreffend den Chemismus der Ser-

<sup>1)</sup> Zeitschrift für Kristallographie, 72, 327—380, 1929.

pentine lassen vermuten, dass derartige Verhältnisse auch bei der Mineralgruppe der Serpentine vorliegen werden. Es soll hier bereits erwähnt werden, dass dies auch für den Talk zutrifft.

Eine chemische Untersuchung<sup>1)</sup> an dem Stilpnomelan vom Mont Chemin im Wallis hat ferner ergeben, dass gesteinsbildende silikatische Minerale auch grössere Mengen sogenannten „hygroskopischen“ Wassers enthalten können, das bei etwa 100° C. bereits entweicht, und das keinesfalls in beliebigen Mengen auftreten kann, sondern in bestimmten stöchiometrischen Verhältnissen vorliegt. Es wurde damals schon die Ansicht geäussert, dass es in silikatischen Gesteinen und Mineralen im wirklichen Sinne hygroskopisches Wasser gar nicht gibt, dass bei niederen Temperaturen entweichendes Wasser — vorausgesetzt, dass das Mineral oder das Gestein lufttrocken ist — immer auch konstitutionell gebunden sei, etwa wie das Wasser in den Alaunen oder andern ähnlichen Salzen.

Auch die Frage nach der Rolle des leichtentweichbaren Wassers in silikatischen Mineralen sollte in dieser Serpentinarbeit näher untersucht werden. Es zeigte sich tatsächlich, dass die Serpentine, so weit bis jetzt solche untersucht wurden, immer auch leicht gebundenes Wasser enthalten, das sie schon bei 100° C. und nach höchstens einer Stunde vollständig abgeben.

Die vorliegende Arbeit kann die gestellten Probleme noch nicht in der gewünschten Weise lösen; sie soll nur als eine vorläufige Mitteilung in dieser Richtung gewertet werden.

Die vorliegenden Untersuchungen erstrecken sich auf folgendes Material:

- 5 Chrysotil,
- 1 Faserserpentin,
- 5 dichte Serpentine,
- 2 Antigorite.

Über die Herkunft der verwendeten Proben ist folgendes zu sagen:

- Nr. 1: hellgelber, beinahe farbloser *Chrysotil* von Templeton in Canada. Dieser *Chrysotil* bildet Gangausfüllungen in dichtem Serpentin, welches letzterer ebenfalls untersucht wurde, siehe Nr. 7. Der Lehrsammlung unseres Instituts entnommen.
- Nr. 2: hellgrüner *Chrysotil* von Reichenstein in Schlesien. Ebenfalls unserer Lehrsammlung entnommen.

---

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift, Band VII, 311—313, 1927.

- Nr. 3: hellgrüner *Chrysotil* von Australien (?), ebenfalls der Lehrsammlung unseres Instituts entnommen.
- Nr. 4: hellgrüner *Chrysotil*, Kaapsche Hoop, Baberton District, Transvaal. Dieser *Chrysotil* durchsetzt adernartig einen dichten *Serpentin*, der ebenfalls untersucht wurde, Nr. 8. Diese Probe wurde der Lehrsammlung des hiesigen geologischen Institutes entnommen.
- Nr. 5: grüner *Chrysotil* von Wurlitz, Fichtelgebirge. Der Lehrsammlung unseres Instituts entnommen.
- Nr. 6: hellgrüner *Faserserpentin* von der Shabanie-Mine, Shabani, Süd-Rhodesia, Afrika. Ich verdanke diese Probe Herrn Dr. CARLO FRIEDLAENDER.
- Nr. 7: hellgelber, beinahe farbloser, *dichter Serpentin*. Das Muttergestein des *Chrysotils* Nr. 1.
- Nr. 8: grauer, *dichter Serpentin*. Das Muttergestein des *Chrysotils* No. 4.
- Nr. 9: hellgrauer, *dichter Serpentin*. Aus der Grupe Premier Diamond in Pretoria, Südafrika. Ich verdanke diese Probe Herrn Prof. Dr. P. NIGGLI.
- Nr. 10: *dichter Edelserpentin* von Snarum in Norwegen. Dieser wurde unserer Lehrsammlung entnommen.
- Nr. 11: *dichter Edelserpentin* von Snarum in Norwegen. Ein anderes Handstück, ebenfalls aus unserer Lehrsammlung.
- Nr. 12: grüner *Antigorit* von Sils im Oberengadin, unserer Lehrsammlung entnommen.
- Nr. 13: grüner *Antigorit* aus einer Kluft in dichtem *Serpentin*. Äusserste Hülle des *Peridotites* gegen den Kontakt mit *Amphibolit*, Valle di Capolo, linkes Ufer, Centovalli im Tessin. Ich verdanke diese Probe Herrn P.-D. Dr. C. BURRI.

### 1. CHRYSOTILE UND FASERSERPENTIN

Die chemischen Analysen ergaben folgende Resultate:

Nr.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
SiO <sub>2</sub>	41,32	42,17	42,15	42,25	41,28	41,97
FeO	0,58	3,33	3,57	1,70	1,93	2,14
MnO	0,04	0,09	0,03	0,02	0,04	0,02
MgO	42,16	40,54	40,41	41,40	42,00	41,90
H <sub>2</sub> O (+105°)	14,57	11,40	12,65	14,05	14,00	13,33
H <sub>2</sub> O (-105°)	1,40	2,53	1,24	0,68	0,82	0,73
	100,07	100,06	100,05	100,10	100,07	100,09

In Molekularprozenten umgerechnet, ergeben sich die Zahlen:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
SiO <sub>2</sub>	26,18	27,77	27,79	27,35	26,64	27,42
FeO	0,31	1,83	1,97	0,92	1,04	1,17
MnO	0,02	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01
MgO	39,77	39,77	39,69	39,93	40,40	40,78
H <sub>2</sub> O +	30,76	25,02	27,81	30,32	30,13	29,03
H <sub>2</sub> O -	2,96	5,56	2,72	1,47	1,77	1,59
	100,00	100,00	100,00	100,00	110,00	100,00

Beachten wir die Daten, die sich für + H<sub>2</sub>O und auch für - H<sub>2</sub>O ergeben, dann fällt uns die Tatsache auf, dass der Betrag für das + H<sub>2</sub>O bei den Analysen Nr. 1 bis 4 ziemlich genau das Multiple des Wertes für - H<sub>2</sub>O darstellt. Für Nr. 2 haben wir genau das Verhältnis 1:4½, für Nr. 1 und 3 das Verhältnis 1:10, für Nr. 4 sogar das Verhältnis 1:20. Für Nr. 5 und 6 liegen die Verhältnisse etwas verdeckter; lassen wir deshalb diese letzteren vorderhand beiseite und betrachten die Verhältnisse bei den Nr. 1—4 etwas näher. Für Nr. 2 stimmt das Verhältnis (- H<sub>2</sub>O):(+ H<sub>2</sub>O) wie 1:4½ sehr scharf, der experimentell gefundene Wert entspricht dem theoretisch geforderten vollständig. Etwas anders verhält es sich bei den Nr. 1, 3 und 4. In diesen drei Analysen ist der Wert für - H<sub>2</sub>O eine Spur zu niedrig ausgefallen; immerhin sind auch diese Werte als gut mit dem theoretischen Werte übereinstimmend zu bezeichnen. Aus diesen ersten vier Analysen ergibt sich bereits ziemlich einwandfrei, dass das - H<sub>2</sub>O nicht in einem beliebigen, sondern in einem stöchiometrischen Verhältnis vorhanden ist.

Da dem - H<sub>2</sub>O nach dem eben Gesagten eine sehr wichtige Rolle zukommt, besonders in bezug auf die Bestimmung der eventuellen Molekülgröße oder aber der Größe des chemischen Elementarkörpers, so ist hier auch der Ort, da etwas über die Bestimmung des - H<sub>2</sub>O gesagt werden muss.

Verschiedene Versuche und Kontrollbestimmungen haben gezeigt, dass das - H<sub>2</sub>O nach einstündigem Erwärmen auf genau 100° C. vollständig weg ist. Ein nachträgliches Erwärmen während vier Stunden auf 120° brachte keinen weiteren Verlust mehr. Um aber ganz sicher zu sein, wurde bei der Bestimmung in der folgenden Weise vorgegangen. Mindestens 1 gr Substanz wurde in einen Platintiegel eingewogen und in einem Trockenschrank bei 105° C. während vier Stunden getrocknet. Der Platintiegel wurde sodann in einem Chlorkalzium-Exsikkator während 12 Stunden (über Nacht) stehen gelassen und dann erst gewogen. Es ist eben oft, und gerade bei dichten Serpentinaen, absolut nötig, dass der Wert für - H<sub>2</sub>O von

einer Genauigkeit ist, dass sogar die zweite Stelle nach dem Komma absolut richtig ist. Unter diesen Umständen ist es erforderlich, dass der Inhalt des Tiegels nach erfolgtem Erwärmen wieder genau die Temperatur des Wägezimmers erreicht hat, was für eine Menge von mindestens 1 gr Serpentin wirklich mehrere Stunden beansprucht.

Da das  $-H_2O$  bereits bei  $100^\circ C.$  vollständig entweicht, ist es auch erklärlich, dass der jeweilige Wert für  $-H_2O$  meistens auch etwas zu niedrig ausfällt. Der hohe Dampfdruck wird eben in den meisten Fällen eine, wenn auch geringe Dehydratisierung bedingen.

Der Wert für  $-H_2O$  stellt in der Serpentinanalyse offensichtlich die kleinste stöchiometrische Einheit dar, an der die andern Komponenten gemessen werden. Da aber, wie wir gesehen haben, diese Grösse meistens etwas zu niedrig ausfällt, ist sie als solche nicht gut geeignet, als Masstab zu dienen. Als qualitativer Masstab kann der Wert für  $-H_2O$  recht gute Dienste leisten; für eine richtige Berechnung muss dieser Wert jedoch eine Korrektur erfahren, es geschieht das in der folgenden Weise. Als Beispiel wählen wir Analyse Nr. 1.

In Nr. 1 ziehen wir die Werte für  $FeO$ ,  $MnO$  und  $MgO$  zusammen und bezeichnen diese Summe als  $MgO$ . Es ergeben sich dann als Molekularprocente die Zahlen:

	I.	II.	III.
$SiO_2$	26,18	8,84	17,00
$MgO$	40,10	13,54	26,04
$H_2O +$	30,76	10,38	19,97
$H_2O -$	2,96	1,00	1,92
Korrigierte Einheit:			(1,54)

In Kolonne I finden sich die Mol.%. In Kolonne II finden sich die Zahlen, welche angeben, wie oft die kleinste Komponente 2.96 in den übrigen Komponenten enthalten ist. Das Verhältnis  $(-H_2O):(+H_2O)$  ist offensichtlich 1:10, wobei der Wert für  $-H_2O$  um 0.12 zu niedrig ausgefallen ist. Wählen wir jedoch statt 2.96 als Einheit die Zahl 3.08, dann erhalten wir als Quotient für  $SiO_2$  die Zahl 8.50, was uns andeutet, dass die wirkliche Einheit bloss die Hälfte von 3.08, also 1.54 sein muss. In Kolonne III haben wir nun die Quotienten, die sich aus der korrigierten Einheit 1.54 ergeben. In derselben Weise sind auch die übrigen Analysen zu verrechnen.

Die Einheit für  $-H_2O$  wird künftig immer in der Weise korrigiert, dass der Quotient aus dieser korrigierten Einheit für  $SiO_2$  immer eine ganze Zahl ergibt.

In folgender Tabelle sind nun die Mol.% für  $FeO$ ,  $MnO$  und  $MgO$  unter  $MgO$  vereinigt und in Klammer die auf den Wert für  $SiO_2$  korrigierte Einheit für  $-H_2O$  unten hinzugefügt.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
SiO <sub>2</sub>	26,18	27,77	27,79	27,35	26,64	27,42
MgO	40,10	41,65	41,68	40,86	41,46	41,96
H <sub>2</sub> O +	30,76	25,02	27,81	30,32	30,13	29,03
H <sub>2</sub> O -	2,96	5,56	2,71	1,47	1,77	1,59
Korr. Einh.	(1,54)	(1,388)	(1,389)	(1,519)	(0,592)	(1,613)

Unter Benutzung der korrigierten Einheiten ergeben sich daraus die folgenden Quotienten:

SiO <sub>2</sub>	17,00	20,00	20,00	18,00	45,00	17,00
MgO	26,04	30,01	30,01	26,90	70,03	26,01
H <sub>2</sub> O +	19,97	18,03	20,02	19,96	50,90	17,99
H <sub>2</sub> O -	1,92	4,00	1,95	0,97	2,98	0,99

Daraus ergeben sich für diese Chrysotile als einfachste Verhältnisse:

SiO <sub>2</sub>	17	20	20	18	45	17
MgO	26	30	30	27	70	26
H <sub>2</sub> O +	20	18	20	20	51	18
H <sub>2</sub> O -	2	4	2	1	3	1

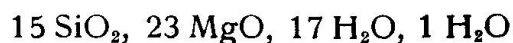
Überblicken wir die bisher gewonnenen Resultate, so können wir folgendes aussagen. Sämtliche bisher untersuchten Chrysotile enthalten leicht entweichbares Wasser, das nicht hygroskopisch-adsorptiv in den Fasern enthalten ist, so naheliegend bei der Feinfaserigkeit dieser Minerale eine solche Annahme auch wäre, sondern das chemisch-konstitutionell gebunden ist, etwa wie das sogenannte Kristallwasser in vielen anorganischen Salzen, zum Beispiel in den Vitriolen und Alaunen und ungezählten Komplexsalzen.

Analyse Nr. 3 zeigt, abgesehen vom leicht entweichbaren Wasser, das stöchiometrische Verhältnis, das herkömmlich für die Serpentine angenommen wird, nämlich 2 SiO<sub>2</sub>, 3 MgO, 2 H<sub>2</sub>O. Durch das Auftreten leicht entweichbaren Wassers wird aber mindestens fünffache Molekülgrösse gefordert; wir nehmen hier in Analogie zu den übrigen Chrysotilen mindestens zehnfache Molekülgrösse an.

Die übrigen Chrysotile weichen von diesem „Normaltypus“ mehr oder weniger ab. Diese Abweichungen sind aber nicht beliebige, kontinuierliche, sondern vielmehr stöchiometrische, streng gesetzmässige, offenbar bedingt durch den Bauplan.

Der hier untersuchte Faserserpentin (Nr. 6) scheint denselben Baugesetzen zu unterliegen, die auch für die Chrysotile Geltung haben.

Ein ganz besonderer Typus scheint der Chrysotil Nr. 5 zu sein. Es scheint hier ein trimerer Typus vorzuliegen, dem die einfache Form:



zu Grunde liegt. Auf drei derartige einfache Formen kommt dann noch 1 MgO. Wie diese Erscheinung zu deuten sein wird, kann noch nicht vorausgesehen werden; jedenfalls scheint dieser Typus überzuleiten zu Verhältnissen, wie solche bei dichten Serpentine vorliegen.

## 2. DICHTER SERPENTINE

Während die bisher betrachteten faserigen Ausbildungsformen des Serpentine sehr einfach gebaut waren und keine andern, als die angegebenen Elemente enthielten, weisen die dichten Serpentine einen wesentlich komplexeren Chemismus auf. Es war das ja von vornherein zu erwarten. Es tritt hier bereits Tonerde in nicht unwesentlichen Mengen auf, demzufolge musste auch streng unterschieden werden zwischen zweiwertigem und dreiwertigem Eisen. Mit den Sesquioxiden treten ferner auch die Alkalien auf, wenn auch in sehr kleinen Mengen.

Auf eine äusserst genaue Bestimmung des leichtflüchtigen Wassers musste hier, des geringen Betrages wegen, ganz besonders Rücksicht genommen werden.

Die Resultate der fünf Analysen von dichten Serpentine sind folgende:

	7.	8.	9.	10.	11.
SiO <sub>2</sub>	40,83	41,20	42,74	35,31	38,62
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	1,26	0,21	0,38	0,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	2,80	1,22	3,08	3,21
FeO	1,02	0,11	0,43	0,22	0,00
MnO	0,04	0,21	0,11	0,04	0,04
MgO	42,94	38,60	41,20	45,07	41,88
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,06	0,44	0,38	0,30
K <sub>2</sub> O	0,00	0,13	0,25	0,20	0,42
H <sub>2</sub> O (+105°)	14,49	14,14	13,25	15,13	15,09
H <sub>2</sub> O (-105°)	0,70	1,39	0,22	0,25	0,29
	100,02	100,08	100,07	100,06	100,05

In Molekularprocente umgerechnet, ergeben sich die Zahlen:

	7.	8.	9.	10.	11.
SiO <sub>2</sub>	26,12	26,96	28,37	22,66	25,04
TiO <sub>2</sub>		0,09			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,49	0,08	0,14	0,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,69	0,30	0,75	0,78
FeO	0,55	0,06	0,24	0,12	
MnO	0,02	0,12	0,06	0,02	0,02
MgO	40,92	37,62	40,74	43,08	40,46
Na <sub>2</sub> O		0,04	0,29	0,24	0,19
K <sub>2</sub> O		0,05	0,11	0,08	0,18
H <sub>2</sub> O +	30,90	30,85	29,32	32,37	32,62
H <sub>2</sub> O -	1,49	3,03	0,49	0,54	0,63
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00



Wir vereinfachen nun in der folgenden Weise.  $\text{TiO}_2$  wird zu  $\text{SiO}_2$  geschlagen.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wird unter  $\text{R}_2\text{O}_3$  vereinigt, desgleichen die Oxyde  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$  und  $\text{MgO}$  unter  $\text{MgO}$ . In gleicher Weise werden die Alkalien unter  $\text{R}_2\text{O}$  zusammengefasst. Wie für die Chrysotile werden auch hier wieder die korrigierten Einheiten berechnet und zwar auch wieder in der Weise, dass der Wert für  $\text{SiO}_2$  eine ganze Zahl liefert. Es ergeben sich nun folgende Werte:

	7.	8.	9.	10.	11.
$\text{SiO}_2$	26,12	27,05	28,37	22,66	25,04
$\text{R}_2\text{O}_3$		1,18	0,38	0,89	0,86
$\text{MgO}$	41,49	37,80	41,04	43,22	40,48
$\text{R}_2\text{O}$		0,09	0,40	0,32	0,37
$\text{H}_2\text{O} +$	30,90	30,85	29,32	32,37	32,62
$\text{H}_2\text{O} -$	1,49	3,03	0,49	0,54	0,63
Korr. Einh.:	(1,536)	(0,773)	(0,4891)	(0,5395)	(0,626)

Ein Blick auf die Zahlenwerte für  $-\text{H}_2\text{O}$  und  $+\text{H}_2\text{O}$  genügt, um zu sehen, dass auch hier wieder auffallende Zahlenverhältnisse bestehen. Für die Nr. 9, 10 und 11 stimmen die erhaltenen Werte für  $-\text{H}_2\text{O}$  besonders gut mit den korrigierten Einheiten überein, ja, sie müssen im Rahmen des analytisch Möglichen als identisch bezeichnet werden.

Eine noch völlig ungeklärte Rolle spielen hier die Sesquioxyde und besonders die Alkalien. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass es sich hier um Unreinheiten (Einschlüsse) handeln kann, obschon hier dichte Serpentine vorliegen. Gegen eine solche Annahme spricht besonders das völlige Fehlen von  $\text{CaO}$ , dessen Vorhandensein in einem solchen Falle dann auch zu erwarten wäre. Lassen wir aber vorderhand die Sesquioxyde und Alkalien weg, und berechnen wir für die übrigen Komponenten auf Grund der korrigierten Einheiten die Quotienten. Es ergeben sich dann die Zahlen:

	7.	8.	9.	10.	11.
$\text{SiO}_2$	17,00	35,00	58,00	42,00	40,00
$\text{MgO}$	27,01	48,90	83,91	80,11	64,67
$\text{H}_2\text{O} +$	20,12	39,91	59,95	60,00	52,11
$\text{H}_2\text{O} -$	0,97	3,92	1,00	1,00	1,00

Daraus ergeben sich folgende theoretische Zahlenwerte:

$\text{SiO}_2$	17	35	58	42	40
$\text{MgO}$	27	49	84	80	(65?)
$\text{H}_2\text{O} +$	20	40	60	60	52
$\text{H}_2\text{O} -$	1	4	1	1	1

Die Abweichungen der experimentell gefundenen Werte von den theoretischen Zahlen liegen überall innerhalb der zulässigen Fehler-

grenze, ausgenommen ist nur der Wert für MgO bei Nr. 11. Vielleicht hängt diese zu grosse Unstimmigkeit zusammen mit der Rolle der Sesquioxyde, die hier vernachlässigt wurden. Immerhin berechtigt uns die grosse Übereinstimmung aller übrigen experimentellen Daten mit den theoretischen Zahlen zu der Annahme, dass Sesquioxyde und Alkalien in diesen Serpentine eine besondere Rolle spielen.

Für die Rolle der Sesquioxyde und Alkalien stehen drei Möglichkeiten offen:

1. Entweder ersetzen Sesquioxyde und Alkalien isomorph  $\text{SiO}_2$  oder MgO oder sowohl  $\text{SiO}_2$  als auch MgO, oder aber
2. sie spielen eine besondere Rolle im Kristallgebäude.
3. Ferner können Fall 1 und 2 kombiniert auftreten.

Fall 2 scheint mir besonders wahrscheinlich. Wenn man bedenkt, dass die Einheiten, die der Berechnung der Quotienten zu Grunde liegen, ja auch bereits sehr klein sind. Immerhin sind für eine definitive Entscheidung in dieser Angelegenheit eine grössere Anzahl weiterer Analysen nötig.

Es soll hier noch kurz auf einen recht interessanten Zusammenhang zwischen den Nr. 1 und Nr. 7 hingewiesen werden. Nr. 1 ist der Chrysotil, der gangartig den dichten Serpentin Nr. 7 durchsetzt. Zum besseren Vergleich schreiben wir die Resultate der beiden Serpentine nebeneinander:

	1.	7.
$\text{SiO}_2$	17	17
MgO	26	27
$\text{H}_2\text{O} +$	20	20
$\text{H}_2\text{O} -$	2	1

Der Chrysotil des Ganges hat mehr leichtflüchtiges Wasser als der dichte Serpentin, jedoch hat der dichte Serpentin mehr MgO. Es hat hier den Anschein, als ob das  $-\text{H}_2\text{O}$  das MgO zu ersetzen vermag und umgekehrt. Die Erscheinung, dass der Chrysotil des Ganges mehr  $-\text{H}_2\text{O}$  enthält, als das Muttergestein, der dichte Serpentin, scheint jedoch nicht allgemein aufzutreten. Ein Beispiel, das den umgekehrten Fall darstellt, haben wir in den Nr. 4 (Chrysotil) und Nr. 8 (dichter Serpentin):

	4.	8.
$\text{SiO}_2$	18	$17\frac{1}{2}$ (35)
MgO	27	$24\frac{1}{2}$ (49)
$\text{H}_2\text{O} +$	20	20 (40)
$\text{H}_2\text{O} -$	1	2 (4)

## 3. ANTIGORITE

Antigorite wurden bis jetzt nur zwei analysiert. Es ist daher auch hier unmöglich, jetzt schon etwas Abschliessendes zu bieten. Immerhin liefern aber gerade diese Beispiele wichtige Anhaltspunkte für weitere Untersuchungen. Diese Analysen ergaben folgende Resultate:

	12.	Mol. %	13.	Mol. %
SiO <sub>2</sub>	41,91	27,84	41,76	27,99
TiO <sub>2</sub>	0,00		0,03	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,49	0,19	0,65	0,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,90	0,48	2,71	0,68
FeO	0,16	0,09	0,39	0,22
MnO	0,02	0,01	0,02	0,01
MgO	41,36	40,93	40,36	40,29
CaO	0,00		0,00	
Na <sub>2</sub> O	0,43	0,28	0,41	0,26
K <sub>2</sub> O	0,19	0,08	0,24	0,10
H <sub>2</sub> O (+105°)	13,26	29,37	13,17	29,43
H <sub>2</sub> O (-105°)	0,33	0,73	0,33	0,74
	100,05	100,00	100,07	100,00

Vereinfachen wir auch hier wieder in der gewohnten Weise:

	12.		13.	
SiO <sub>2</sub>	27,84	38,00	28,01	38,00
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,67		0,94	
MgO	41,03	56,00	40,52	54,97
R <sub>2</sub> O	0,36		0,36	
H <sub>2</sub> O +	29,37	40,09	29,43	39,92
H <sub>2</sub> O -	0,73	1,00	0,74	1,00
Korr. Einh.:	(0,7326)		(0,7371)	

Diese Resultate entsprechen sehr genau den theoretischen Zahlen:

Nr. 12.	38 SiO <sub>2</sub>	56 MgO	40 (+ H <sub>2</sub> O)	1 (- H <sub>2</sub> O)
Nr. 13.	38 „	55 „	40 „	1 „

Auch hier bei diesen Antigoriten haben wir bei der Formelberechnung die Sesquioxyde und die Alkalien weggelassen, und dennoch stimmen die erhaltenen Zahlen merkwürdig scharf mit den theoretischen Werten überein. Auffallend ist die Übereinstimmung der beiden Analysen, so dass man vermuten könnte, es handle sich um das gleiche Mineral von der gleichen Lagerstätte, und doch entstammt das eine aus dem Engadin und das andere aus dem Centovalli.

Besonders überraschend sind hier vor allem die Werte für — H<sub>2</sub>O und dann die für die Alkalien; letztere sind in beiden Analysen identisch, die Werte für — H<sub>2</sub>O sind nahezu identisch. Zudem zeigt es sich hier, dass die Werte für die Alkalien praktisch genau dem

halben Wert für  $-\text{H}_2\text{O}$  entsprechen. Wir haben hier nochmals einen deutlichen Fingerzeig dafür, dass es sich in den Alkalien, und somit wohl auch in den Sesquioxiden, nicht um mechanische Verunreinigungen handeln kann. Wir haben es auch in diesen Komponenten mit wesentlichen Bausteinen zu tun; dieses in alle Einzelheiten zu untersuchen, wird Aufgabe einer nächsten, umfassenderen Arbeit sein.

Es ist sehr wohl möglich, dass diese sesquioxyd- und alkali-haltigen Serpentine bereits in die Gruppe der Chlorite überführen und vielleicht erst mit diesen zusammen völlig verstanden werden können.

#### KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER GEWONNENEN RESULTATE

Die Resultate können in folgende Sätze zusammengefasst werden:

1. Der Chemismus der Serpentine kann nicht durch eine Formel wiedergegeben werden, es gibt vielmehr sehr viel Formeln. Ein tieferes, umfassenderes Gesetz konnte noch nicht gegeben werden.
2. Alle bisher untersuchten Serpentine enthalten leicht entweichbares Wasser, sogenanntes  $-\text{H}_2\text{O}$ , das aber keinesfalls als hygroskopisches Wasser angesprochen werden darf. Dieses  $-\text{H}_2\text{O}$  ist in stöchiometrischen Verhältnissen vorhanden und muss daher als chemisch gebunden angenommen werden, etwa wie das Kristallwasser in den Vitriolen, Alaunen und zahllosen Komplexsalzen.
3. Unter den verschiedenen Arten von Serpentin scheint eine Art von Polymerisation zu bestehen: Es gibt solche mit 20, dann solche mit 40, und endlich solche mit 60 ( $+\text{H}_2\text{O}$ ), wobei diese Zahlen häufig nicht ganz erfüllt sind.

Monomer sind die Nr. 1, 2, 3, 4, 6, 7.

Dimer „ „ „ 8, 12, 13.

Trimer „ „ „ 5, 9, 10, 11.

Es scheint jedoch allen diesen Serpentine ein gemeinsamer Bauplan zugrunde zu liegen. Diesen zu finden, wird Aufgabe der nächsten Arbeiten sein.

Zürich, Mineralogisch-petrographisches Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule.

Eingegangen: 5. Januar 1931.