

# Serpentin und Talk von Disentis-Surrhein

Autor(en): **Parker, Robert L.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **1 (1921)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-1598>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Serpentin und Talk von Disentis-Surrhein.

Von-

**Robert L. Parker.**

Der Abbau von „Lavezstein“, der in Graubünden seit alten Zeiten in kleinem Maßstabe betrieben wurde und die Beschaffung von Ofenplatten bezweckte, nahm im Zeichen der Kriegswirtschaft einen recht bemerkenswerten Aufschwung, besonders auch deshalb, weil sich die Ausbeutung von Talk, ein für die Papierindustrie wertvolles Material, hinzugesellte. Namentlich von der Montan- und Rohstoff A.-G. wurden bei Disentis und Surrhein große Tagbaugruben ausgebeutet, etwas später dann auch Stollenbetriebe eingerichtet. Diese großen künstlichen Aufschlüsse, die naturgemäß ganz frisches Material lieferten, boten eine äußerst günstige Stätte zur mineralogischen und petrographischen Untersuchung der Talk- und sonst einbrechenden Gesteine. Herr Dr. G. Brauchlin von der oben genannten Gesellschaft hatte die große Freundlichkeit, dem Autor die Ausnützung dieser willkommenen Studiengelegenheit zu gestatten, wofür ihm an dieser Stelle der beste Dank ausgesprochen sei. Im folgenden finden sich einige Ergebnisse der Untersuchung zusammengestellt.<sup>1</sup>

Die Talklagerstätten der Umgebung von Disentis liegen als linsenförmige Einlagerungen in den Sericitschiefern des zwischen Aarmassiv im Norden und St. Gotthardmassiv im Süden gelegenen „Tavetscher Zwischenmassivs“. Die Sericitschiefer erweisen sich bei näherer Betrachtung zum größten Teil als sedimentogener Natur; doch lassen sich auch eruptive Derivate feststellen, wobei bemerkt werden muß, daß die Unterscheidung beider Gruppen oft recht heikler Natur ist und sich wesentlich auf die richtige Einschätzung von Reliktstruk-

<sup>1</sup> Eine geologisch-technische Behandlung dieses Gegenstandes gab Arn. Heim, Zeitschrift für praktische Geologie, 1918, Heft 1. Siehe auch H. Fehlmann, Der Schweizerische Bergbau während des Weltkrieges, Bern 1919.

turen unter dem Mikroskope stützt. Bei diesen Eruptivderivaten handelt es sich um dioritische Abkömmlinge, wahrscheinlich dioritporphyritischer Natur, eine Tatsache, die einiges Interesse beansprucht im Lichte von neueren Funden in dieser Gegend, zweifelloser Porphyrite, durch Dr. Fr. Weber. In engster Weise mit den Talkgesteinen verknüpft treten Serpentinegesteine auf, und es wird noch gezeigt werden, daß zwischen beiden alle möglichen Uebergangsstadien nachweisbar sind, indem die Serpentine als Endprodukt allmählicher Umwandlung die Talkgesteine (auch reinen mineralischen Talk) liefern. Von den Serpentinarten selbst ist zu bemerken, daß sie gänzlich frei von Mineralrelikten eines primären Muttergesteins sind, daß infolgedessen ihre vermutliche Abstammung nur auf Umwegen zu ermitteln ist. Sie bieten aber trotzdem manches Interessante, weshalb sich eine allgemeine Zweiteilung des Stoffes in

- I. Gesteine mit ausgesprochenem Serpentinhabitus,
- II. Gesteine mit deutlich wahrnehmbarer Talkführung.

empfiehlt. Die Lavezsteine sind zu den Uebergängen zwischen beiden Kategorien zu rechnen, sind also schon reichlich talkführende Glieder, meistens aber mit recht deutlichen Ueberresten der Serpentinstruktur, wie im weitern noch zu erörtern sein wird.

Bezüglich der Fundorte ist noch voranzuschicken, daß die Hauptausbeutungsstellen zwei Stollenvortriebe waren, der eine südlich Disentis, mit einem oberen und einem unteren Stollen, der andere bei Surrhein am Eingang zum Somvixertal. Außerdem kamen noch die Tagbaugruben in Betracht, diese in der Nähe des Dorfes Surrhein gelegen, deren wichtigste die Grube Puzastg einige 30 Meter über dem Stollen Surrhein gelegen ist.<sup>1</sup>

### I. Serpentine<sup>2</sup> (talkarme Gesteine).

Das hierher gehörige Material wurde in der Grube Puzastg gesammelt, wo es in Verbindung mit dem Talkvorkommnis von Surrhein steht, zum weitaus größten Teil jedoch aus den

<sup>1</sup> Karten und Skizzen der Gruben und Stollen finden sich bei Arn. Heim und H. Fehlmann (a. a. O.).

<sup>2</sup> Es sei darauf aufmerksam gemacht, daß die so reichhaltige Auswahl von Serpentinarten, die in der Literatur Erwähnung findet, auf Beobachtungen beruht, die sehr oft an mineralischen Vor-

zwei Stollen südlich Disentis. Vergleichsweise wurden noch Proben von den sog. Felsköppli bei Mompe Medel herangezogen.

Das makroskopische Aussehen dieser Suite bietet gar keine Anhaltspunkte für die Beurteilung ihrer feineren mineralischen oder strukturellen Verhältnisse; auch die Texturen lassen nur eine allgemeine Zweiteilung zu, in lagenförmig texturierte Gesteine und massige. Es ist deshalb zweckmäßig, die makroskopische Beschreibung der ganzen Gesteinssuite an dieser Stelle zusammenzufassen, um bei der dann folgenden mikroskopischen Untersuchung eine genaue Einteilung vorzunehmen.

Die lagenförmig texturierten Serpentine sind außerordentlich kompakt und zäh; sie erscheinen grün und schwarz gebändert, infolge von abwechselnden Lagen von Serpentin und solchen von kleinen, schwarzgrau glänzenden Blättchen. Diese liegen alle mit der Blattfläche parallel zum Hauptbruch, was zusammen mit dem ganzen Aussehen den Eindruck etwa eines kristallisationsschieferigen Gesteins erweckt. Der Serpentin ist ungewöhnlich hellgrün gefärbt und bietet keine Möglichkeiten für eine nähere Diagnose; er erscheint nicht vollkommen dicht, sondern erweist sich unter der Lupe als aus kleinen Aggregaten zusammengesetzt. Die Schliffe dieser Gesteine sind die der Untergruppe 2 b (pag. 26), bei deren Beschreibung auch gezeigt wird, daß die Blättchen Chlorite sind, in enger Vergesellschaftung mit Magnetit.

Die massigen Serpentine lassen sich zunächst in chloritführende und chloritfreie oder -arme trennen. Erstere sind naturgemäß etwas mehr schuppig im Habitus und sind sowohl nach ihrer geologischen Lagerung wie auch mikroskopisch mit den lagenförmigen eng verwandt; auch makroskopische Zwischenglieder sind unschwer aufzufinden; sie sind das Material der später unterschiedenen Untergruppe 2 a

---

kommen gemacht wurden. So nennt R. Brauns (Lit. 3) die gesteinsbildenden oder dichten Serpentine schlechtweg „gemeine Serpentine“, und die von ihm unterschiedenen Arten beziehen sich auf Kluft- oder mineralische Serpentine. Es liegt aber nahe, wie Brauns auch andeutet, die Terminologie der Mineralserpentine auf die Mikroausbildung der dichten Serpentine auszudehnen. In diesem Sinne ist wohl auch die Nomenklatur in der mikroskopischen Physiographie von H. Rosenbusch zu verstehen, und alle Diagnosen der vorliegenden Arbeit stützen sich auf dieselbe.

(pag. 22). Ihre Farbe ist meist dunkler als die der lagenförmigen, und die Chloritblättchen sind hier stets zu rundlichen Häufchen zusammengeschart. Gewisse Proben sind ganz besonders dicht und kompakt gebaut und ihre Chlorite nur auf dem Hauptbruch sichtbar; sie liefern die Schliffe für die ganz feinschuppigen Glieder der Untergruppe 2 a; eine scharfe Trennung der beiden später zu besprechenden Unterabteilungen ist indessen nicht möglich.

Die chloritarmen oder -freien Serpentine endlich sind dunkel schwarzgrüne oder auch bläulichgrüne Gesteine, ganz massig und dicht ausgebildet. Chloritschüppchen können meist nur bei zielbewußtem Suchen mit der Lupe erkannt werden. Das Aussehen ist hier recht charakteristisch und läßt mit ziemlicher Sicherheit auf Schliffe der Gruppe 1 (Maschenstruktur) schließen. Typisch ist bei allen diesen Serpentinaen die Unsicherheit der Diagnose, sowie die obige rein empirische Deutung der verschiedenen Merkmale.

Um das gesamte Bild zu vervollständigen, muß von den sekundären Bildungen verschiedener Arten Erwähnung getan werden. Solche sind vor allem Kluftausfüllungen von Chrysofilfasern, ferner Magnesitmassen, auch Mischungen beider, das Karbonat, oft rötlich gefärbt wegen eines Eisengehaltes. Kaum ein Handstück ist zu schlagen, das nicht solche Karbonatadern oder Neubildungen des Serpentin, namentlich häufig letztere führte, entweder innerhalb des Gesteinstückes, oder sehr häufig auf den Flächen, nach denen das Stück losbricht. Nebenbei tritt Talk auf, bald als umgewandelte Teile des Serpentin selber, bald als sekundäre Bildung, in Form fettiger, blaugrüner Schuppen von sekretionsartigem Aussehen, wohl stets mit Karbonat vergesellschaftet.

### Mikroskopische Beobachtungen.

Aus einer ersten Betrachtung der Dünnschliffe dieser Reihe geht hervor, daß eine Struktur, die im mikroskopischen Bild höchst charakteristisch hervortritt, häufig wiederkehrt. Es ist dies die sogenannte „Maschenstruktur“; die Gesteine von diesem Typus werden in einer ersten Gruppe für sich zur Behandlung gelangen. Eine zweite Gruppe wird dann Serpentine anderer Typen umfassen. Auch Mischtypen treten auf und werden Erwähnung finden.

## 1. Serpentinegesteine mit „Maschenstruktur“.

Das Serpentinmineral nimmt in der Zusammensetzung dieser Gesteine bei weitem die wichtigste Stelle ein. Sekundär erscheint etwas Talk und untergeordnet, mit diesen beiden Komponenten genetisch eng verknüpft, treten Magnetit und Karbonat auf. Akzessorisch findet sich zuweilen Chlorit. Neben dem weitaus wichtigsten Maschenserpentin tritt der Serpentin in noch zwei anderen Mikroausbildungen auf, deren eine ausgesprochen sekundärer Natur ist, die andere wahrscheinlich ebenfalls eine nachträgliche Bildung darstellt.

Um der Maschenstruktur, wie sie in diesen hochmetamorphen Serpentin vorliegt, das richtige Verständnis entgegenzubringen, müßte sie in den Einzelheiten ihrer Entstehung verfolgt werden können. Wie das Muttergestein selbst, so fehlen auch die Glieder niederer Metamorphose, die ein solches Studium ermöglichen würden. Es muß deshalb auf die in der Literatur (Lit. 4—5 usw.) beschriebenen Vorgänge dieser Art verwiesen werden; auch mögen noch folgende ergänzende Bemerkungen, gemacht an der Hand außerordentlich lehrreicher Schiffe<sup>1</sup> des „Palaeopikrits“ von Amelose,<sup>2</sup> einige Anhaltspunkte geben. Der Olivin dieses Gesteins ist noch verhältnismäßig wenig metamorphosiert. Die Serpentinisierung beginnt bekanntlich an den Rändern der Olivinindividuen, sowie an deren Spaltrissen. Das Umwandlungsprodukt lagert sich dementsprechend längs den Umrissen und zu beiden Seiten der Spaltrisse bandartig an, und so entsteht die maschenartige Anordnung des Serpentin, die die noch unveränderten Olivinreste umhüllt (Abbildungen Lit. 6 usw.).

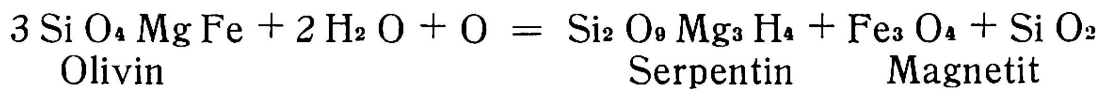
In der ersten Phase, die im Pikrit festgehalten werden kann, sind diese Bänder bei parallel polarisiertem Licht ziemlich lebhaft grün gefärbt und beherbergen in den inneren Teilen einen außerordentlich feinen schwarzen Staub, der aus Magnetit besteht. In fast allen Fällen sind die Ränder weniger ausgesprochen gefärbt als das Innere, so daß von einem zonalen Bau gesprochen werden darf. Sehr prägnant erscheint diese Anordnung bei gekreuzten Nicols, da die inneren grünen Partien nahezu oder ganz isotrop erscheinen, während die lich-

<sup>1</sup> Ich bin Herrn Professor Grubenmann für die Ueberlassung dieser Schiffe mit den Handstücken aus der Sammlung der E. T. Hochschule zu besonderem Dank verpflichtet.

<sup>2</sup> Siehe auch Lit. 3.

teren randlichen Teile deutlich graue Polarisationsfarbe zeigen, so daß man den Eindruck einer schwarzen Zone im Innern des Bandes erhält. Von Faserung ist nichts zu sehen, obschon die Farbenverteilung im parallel polarisierten Licht leicht den Eindruck einer Faserung nach der Längsausdehnung des Bandes erwecken kann. In den doppelbrechenden Teilen ist  $e_g$  oder die größere optische Elastizität in dieser Längsrichtung gelegen,  $e_p$  oder die kleinere optische Elastizität senkrecht dazu. Die Erklärung dieser Verhältnisse dürfte etwa folgende Ueberlegung geben.

Der Uebergang von Olivin in Serpentin geschieht nach der gewöhnlich angenommenen Gleichung



Die Wirkung des Sauerstoffs ist aber wahrscheinlich die, vorhandenes Eisenoxydul zu  $\text{Fe}_2 \text{O}_3$  zu oxydieren, das dann mit noch restierendem  $\text{Fe O}$  das gemischte Oxyd liefert. Ein Zwischenstadium ohne Beanspruchung einer Oxydation könnte folgendes sein:



Die grünen isotropen Partien ließen sich hiernach auffassen als noch gelartiger Serpentin (siehe auch *Weinschenk Lit. 7*), der das grünfärbende Eisenoxydul noch im Ueberschuß gelöst enthält. Geht nun das Gel in den kristallinen Zustand über unter gleichzeitiger Oxydation des Eisens, also unter Magnetitbildung, so treten die farblosen, doppelbrechenden Teile auf, ebenso Magnetitstaub, der sich in vorhandenen Hohlräumen (Spaltrissen usw.) absetzt. Quarz wird entsprechend seiner Löslichkeit weggeführt und trägt vielleicht zu den häufigen Quarzadern im Gestein bei. Eine Unterstützung erfährt diese Erklärung durch die am Pikrit leicht zu machende Beobachtung, daß die grünen innern Teile der Bänder<sup>1</sup> unter teilweiser Ausbleichung Doppelbrechung annehmen, was aber stets mit einer Verdichtung des Erzstaubes verbunden ist, der nunmehr im Serpentinband als feine Erzader erscheint. Die Richtung dieser Ader wird beiläufig diejenige des von ihm ausgefüllten Hohlraumes, beispielsweise eines Spaltrisses, sein.

<sup>1</sup> Auf pag. 40 wird auf diese Frage nochmals zurückgekommen und eine andere, etwas abweichende Hypothese vom Standpunkt des Chlorits aus zur Erklärung dieser Bildung vorgeschlagen.

Die optische Orientierung der anisotrop gewordenen inneren Partien stimmt zuerst mit der eben angegebenen überein. Es läßt sich aber feststellen, daß zuerst die äußeren Teile (das Band reagiert dann gegenüber dem Gipsblättchen Rot I. Ordnung nicht einheitlich), nachträglich auch die inneren die Orientierung ändern und zwar so, daß nunmehr  $e_p$  in die Längsrichtung der Bänder, oder wie man auch sagen kann, parallel den Erzäderchen,  $e_g$  senkrecht zu diesen, zu liegen kommt.

An diesem Punkte angelangt, kann die Beobachtung wieder am eigentlichen Gegenstand dieser Untersuchung einsetzen, und darf es nicht unerwähnt bleiben, daß die weiteren Eigenschaften des Pikritserpentins sich mit denen der Disentiser Serpentine vollkommen decken. Auch andere Serpentine, die zum Vergleich herangezogen wurden, zum Beispiel solche von Tringenstein und Niederbieten, stimmten weitgehend mit den mitgeteilten und noch mitzuteilenden Beobachtungen überein.

Im Disentiser Serpentin sind die Magnetitäderchen bereits recht ausgesprochener und kompakter Natur. Es wurde darauf hingewiesen, daß die Erzpartikelchen sich in vorhandenen Spalten usw. absetzen, und es scheint darum natürlich, daß die im Schliff von den Magnetitäderchen gezeichneten Polygone oft Formen aufweisen, die an Umrisse und Spaltbarkeit des Olivins erinnern. Es entspricht ganz den schon gewonnenen Anschauungen, zu sehen, daß bei der weit vorgeschrittenen Erzausscheidung die Serpentinbänder im parallel polarisierten Licht farblos bis nur ganz schwach grün erscheinen und stets Doppelbrechung aufweisen. Die optische Orientierung der Bänder ist die nämliche wie die zuletzt angegebene:  $e_p$  nach der Längsrichtung des Bandes,  $e_g$  senkrecht dazu. Die schwach grünlichen Stellen sind pleochroitisch und zeigen nach  $e_p$  blaßgelblichgrün, nach  $e_g$  blaßgelb. An gewissen Orten ist schon bei schwacher Vergrößerung eine deutliche Riefung des Bandes zu sehen, deren Richtung wohl am anschaulichsten als senkrecht bis schwach geneigt zur Erzader angegeben werden kann. Eine genaue Betrachtung dieser Erscheinung bei starker Vergrößerung führt zum Schlusse, daß es sich um eine feine Faserung handelt. Die starke Vergrößerung zeigt aber des weitern, daß diese Faserung in zarterer Ausbildung in den Serpentinbändern viel verbreiteter ist, als auf den ersten Blick ersichtlich. Die Interferenzfarbe im Orthoskop ist die typisch



graublau des Serpentin, und es ist natürlich, daß bei gekreuzten Nicols die Faserung viel deutlicher in die Erscheinung tritt als sonst. Verstärkt wird das Hervortreten noch durch eine häufig auftretende wellige Krümmung der Fasern, die bedingt, daß an einer gegebenen Stelle die Auslöschung im Orthoskop nicht für die ganze Ausdehnung der Fasern gleichzeitig eintritt, also eine undulöse Auslöschung zustande kommt. Die einzelnen Fäserchen sind unter sich parallel, wechseln aber gelegentlich ihre Richtung, wodurch wieder Unregelmäßigkeiten in der Auslöschung verursacht werden.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß die Serpentinbänder der Maschenstruktur in den Disentiser Gesteinen aus einem feinfaserigen Aggregat bestehen, das nach der gewöhnlich parallelen Anordnung der Fasern als Chrysotil zu bezeichnen wäre. Auffallend ist allerdings die Verteilung der optischen Elastizitäten; denn wie gezeigt wurde, ist die Richtung von  $e_g$  zugleich Längsrichtung der Fasern. Normalerweise ist die Orientierung beim Chrysotil die umgekehrte; doch werden solche Anomalien auch in der Literatur (Lit 8 und 9) angeführt. Eine genaue Feststellung der optischen Orientierung im Konoskop war infolge sehr schlechter Axenbilder nicht durchführbar. Vom genetischen Standpunkt aus dürften die eben festgestellten Verhältnisse ein weiteres Stadium des einleitend kurz skizzierten Vorganges bedeuten in dem Sinne, daß nachdem die optische Umorientierung erfolgt war, der faserige Bau der Bänder noch hinzugekommen ist. Vorweggenommen sei noch, daß der Umwandlungszyklus an diesem Punkte noch nicht abgeschlossen ist, daß vielmehr jetzt die Vertalkung einsetzt. Ausführlicher beschrieben wird dieses Stadium erst bei der Besprechung des Talks (Abschnitt II).

In wenig metamorphen Gesteinen umgeben die Serpentinmaschen Reste von noch nicht umgewandeltem Olivin. In der vorliegenden Serie ist aber auch dieser Olivin der Metamorphose anheimgefallen, und es scheint der Vorgang, der sich dabei abspielt, kein wesentlich anderer gewesen zu sein als der bis jetzt beschriebene. Zeitlich laufen aber beide Vorgänge unabhängig nebeneinander, und der Bandserpentin ist stets weiter vorgeschritten als die zentralen Teile, die noch Stadien aufweisen, die mit jenen am Pikrit beschriebenen zu vergleichen sind. So umgeben die Maschen oft deutlich grün gefärbtes, isotropes Material, das als frühes Stadium der Um-

wandlung erkannt wurde.<sup>1</sup> Viel häufiger sind allerdings die Fälle, wo als erste Zeichen der Kristallinität längere Streifen oder spießartige Formen sich von der isotropen Umgebung durch ihre Doppelbrechung abheben. Die Interferenzfarbe im Orthoskop ist dann die graublau des Serpentin, und  $e_p$  fällt stets in die Längsrichtung der Gebilde. Die Schliffe bieten reichliche Gelegenheit zum Studium der Weiterentwicklung dieser Formen und es zeigt sich, daß Aeste entstehen, die ihrerseits sich auch weiter verzweigen können. So entstehen zierlich verästelte Gebilde, die zu fächerförmigen und radialen Aggregaten pikrolithischen<sup>2</sup> Serpentin führen. Faserrichtung ist stets  $e_p$ ; bei den radialfaserigen Formen zeigt sich nicht selten sphärische Aggregatpolarisation.

Anschließend sind zu behandeln größere Individuen von denselben Eigenschaften wie die Maschenzentren, die aber von der Maschenstruktur ganz unabhängig sind. Die Abwesenheit der typischen Maschenstruktur berechtigte nicht ohne weiteres (Lit. 10) zur Annahme, daß das Ausgangsmaterial kein Olivin war; doch wird das Studium anderer Gesteine zeigen, daß ein anderes magnesiumreiches Silikat (Diallag), das sich mit dem Olivin im Ausgangsgestein etwa vergesellschaftet fand, den Stoff dazu bot. Die Erzführung dieser Teile ist reichlich, zum Teil grobe Magnetitanhäufungen, zum Teil in der Form feiner Partikelchen, die oft eine gesetzmäßige, auf zwei sich kreuzenden Richtungen beschränkte Anordnung zeigen. Diese Richtungen können durch die feine Spaltbarkeit eines Pyroxens erklärt werden, wie des weitern noch begründet wird (pag. 21).

Größere und kleinere Risse und Spalten sind in den Serpentinesteinen nicht selten von sekundärem oder Kluftserpentin erfüllt. Auch in verschiedenen Schliffen der vorliegenden Serie treten solche Klüftchen auf und ziehen sich unregelmäßig über die Schlifffläche hin. Der Serpentin, der als Füllmasse dient, ist stets ein ziemlich grober, parallelfaseriger, also Chrysotil. Er steht senkrecht oder schwach geneigt zum Salband der Kluft; doch ist es bemerkenswert, daß er nicht in

<sup>1</sup> In der Literatur (s. Rosenbusch, Physiographie) wird der Grund der Isotropie vielfach in einer Kompensationserscheinung gesucht; es soll sich der isotrope Teil aus vielen kleinen, regellos übereinander gelagerten Blättchen zusammensetzen, die dann durch gegenseitige Kompensation die Doppelbrechung aufheben.

<sup>2</sup> Siehe Rosenbusch, „Physiographie“, Bd. II, pag. 391 ff.

allen Fällen bis zu diesem Salband hinreicht. Man bemerkt nämlich des öftern, daß zwischen den Hauptfasern des Chrysotils und dem Kluftrand ein ganz schmaler Streifen sich einschleibt, ebenfalls aus Serpentin bestehend, der aber, wie im abgeblendeten Licht genau zu sehen ist, die Faser parallel dem Salbande führt. Der Einwand, es könne sich hier um verworfene Teile der Hauptfasern handeln, wird dadurch beseitigt, daß gut festzustellen ist, daß, wenn die Hauptfasern wirklich deutliche Verwerfung zeigen, demzufolge sie schwach s-förmig erscheinen, die randliche Bildung dennoch auftritt und ganz selbständig erscheint. Materiell wird wohl zwischen Hauptfasern und Randfasern kein Unterschied sein. Beide sind fast oder ganz farblos, polarisieren gleich (im Orthoskop erscheint das typische Graublau), und sind naturgemäß erzfrei. Gerade das Fehlen des in den andern Schlifftteilen so reichlichen Magnetits lenkt die Aufmerksamkeit sofort auf diese Klufbildungen.

Die optische Orientierung ist stets so, daß  $e_p$  die Faserichtung hat, so daß bei den Hauptfasern  $e_p$  senkrecht zum Salband, bei den Randfasern parallel zu ihm liegt. Im Orthoskop ist diese Verteilung mit dem Gipsblättchen Rot I. Ordnung sehr auffällig zu sehen, indem die Ränder der Klüfte eine andere Farbe annehmen als die mittleren Teile. Zu erwähnen bleibt schließlich eine häufig wiederkehrende Verwachsung von Serpentin mit Karbonat, die auch bei parallel polarisiertem Licht dank dem Reliefunterschied zwischen beiden Mineralien gleich in Erscheinung tritt. Der Serpentin ist stets von langer, fast nadeliger Ausbildung und vereinigt sich auch zu derben Aggregaten. Die optischen Eigenschaften gleichen denen des sekundären Chrysotils. Da diese Ausbildungsart nur mit Karbonat zusammen auftritt, muß angenommen werden, daß dieses das bedingende Moment gewesen ist, also erst das Karbonat vorhanden war, oder viel wahrscheinlicher beide Mineralien zusammen als sekundäre Bildung entstanden.

Der nie fehlende Begleiter des Serpentin, in dieser ersten Serie allerdings noch untergeordnet vorhanden, ist der Talk. Sein Auftreten verändert das mikroskopische Bild im parallel polarisierten Licht in kaum merklicher Weise, da Serpentin und Talk sich sozusagen nicht voneinander abheben. Bei gekreuzten Nicols fällt die Umwandlung infolge der hohen Interferenzfarben des Talkes sofort auf. Vorläufig noch in Form einzelner leuchtender Pünktchen vorhanden, zeigt sich der Talk mit Vorliebe an den Erzäderchen als Umwandlungspro-

dukt der Serpentinbänder. Es ergibt sich somit eine gewisse Analogie im ersten Auftreten von Talk und Serpentin, zweifelsohne hervorgerufen durch dasselbe Phänomen der leichten Angreifbarkeit des Gesteins an den Spaltrissen. Die Vermehrung der Punkte führt zu ausgedehnten Flächen von locker gefügtem Talk; es ist eine häufige Erscheinung, daß alle Serpentinbänder in Talk übergehen, während sich die zentralen Partien der Maschen noch als Serpentin erhalten können. Diese Teile waren ja, wie gezeigt, gewöhnlich in der Entwicklung den Bändern gegenüber hinten nach, und es kann nicht verwundern, daß dieses Material erst als Serpentin den Umwandlungszyklus durchmachen muß, bevor es sich als günstig für die Talkbildung erweist. Die Vertalkung auch dieses Serpentin bleibt naturgemäß auf die Dauer nicht aus, erfolgt aber in späteren Stadien und gliedert sich somit mehr den Vorgängen des Abschnittes II an (pag. 30).

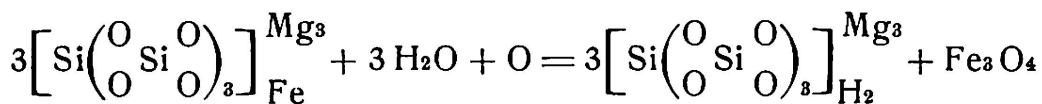
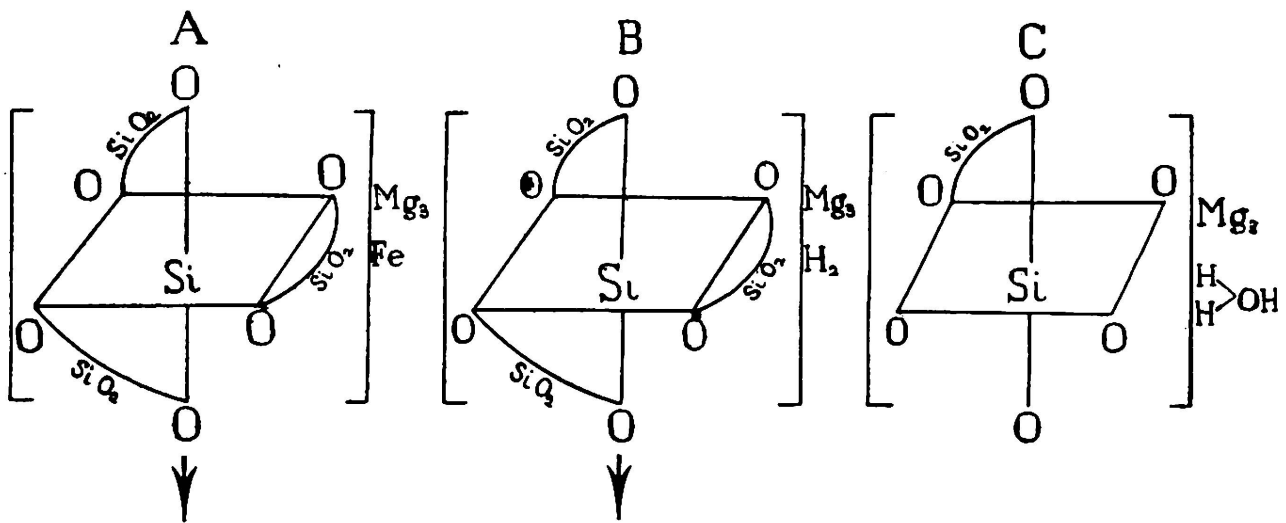
Auch die klufffüllenden Serpentine gehen in Talk über; ferner sind Ansätze dieses Minerals eine häufige Erscheinung bei den größeren Serpentinflächen außerhalb des Maschenkomplexes, bei denen die Abstammung von Pyroxen angenommen wurde. Daneben treten aber vollständig vertalkte Flächen auf, von ähnlicher Art und auch mit derselben Erzführung, wie die eben erwähnten Serpentinfelder, und man muß sich fragen, ob hier Beispiele vorliegen, wo der Serpentin ganz vertalkt ist oder ob der Talk eine andere Vorgeschichte hat. Es ist nicht ohne weiteres einleuchtend, daß jener Serpentin, der sich sonst durchaus nicht als sehr entwickelt zeigt, stellenweise geschlossene Talkflächen erzeugen sollte. Eine andere Bildungsweise, nämlich jene direkt aus dem Pyroxen, darf jedenfalls nicht außer acht gelassen werden. Sie würde sich zwanglos in die sonstigen Vorgänge dieser Serie einreihen, wenn man annimmt, daß die Talkisierung des Pyroxens mit ähnlicher Leichtigkeit sich vollziehen kann, wie die Serpentinisierung des Olivins, so daß beide Vorgänge nebeneinander verlaufen können.<sup>1</sup>

Mit dem Serpentin und Talk eng verknüpft und genetisch auch von ihnen abhängig, tritt noch Karbonat auf. In den meisten Fällen handelt es sich um größere bis ganz große

<sup>1</sup> Nach einer freundlichen Mitteilung des Herrn Kollegen Dr. J. Jakob (s. auch Lit. 11) scheint in der Tat, vom Standpunkt der Stereochemie aus, die direkte Talkbildung aus Pyroxen ein zwangloserer Prozeß zu sein als die Serpentinbildung. Sehr deutlich

Individuen, oft mitten im Talk eingebettet; doch fehlt es nicht an innigen Mischungen von Talk mit Karbonat, worin beide nur klein ausgebildet und namentlich im Orthoskop nicht leicht zu unterscheiden sind; Reliefunterschiede bei schiefer Beleuchtung sind dann die sichersten Unterscheidungsmerkmale. Die großen Individuen können wohl als Resultat der Sammelkristallisation betrachtet werden, wobei die Löslichkeit des Karbonates zur Stoffkonzentration wesentlich beitragen wird. Epigenetisch tritt Karbonat im großen als Adern im Gestein auf, im kleinen als häufiger Ansatz längs den Spaltrissen und Magnetitäderchen. Druckzwillinge fehlen sozusagen durchwegs; dies in Verbindung mit der Säureprobe zeigt, daß es sich in den meisten Fällen um Magnesit handelt, wie auch vom genetischen Standpunkt aus zu erwarten ist.

Sucht man die jetzt mitgeteilten Einzelheiten über die Serpentine der Gruppe 1 für die Beurteilung ihrer Abstammung erscheint dieses an der Hand der von ihm aufgestellten Koordinationsformeln. Dem Pyroxen soll die Formel A, dem Talk die Formel B zukommen.



Die Vertalkung verläuft nach obiger Gleichung und ist also eine partielle Hydrolyse von ganz einfachem Reaktionsmechanismus. Der Serpentin soll durch die Formel  $[\text{SiO}_2 \text{SiO}_6]_{\text{H}_2}^{\text{Mg}_3} \text{O}_2\text{H}_2$  dargestellt werden (C), und es müßten also von jedem Pyroxenmolekül 2 SiO<sub>2</sub>-Gruppen abgespalten werden, was wohl einen entschieden tiefergreifenden Prozeß erfordern würde.

zu verwenden, so fällt zunächst das vollkommene Fehlen von Feldspäten oder ihrer Umwandlungsprodukte auf. Läßt schon diese Tatsache auf ein peridotitisches Gestein als wahrscheinliches Ausgangsmaterial schließen, so bestätigt sich diese Annahme durch die einwandfrei feststellbaren Umwandlungsprodukte des Olivins, zu welchen sich noch solche von Pyroxen gesellen. Auch die chemische Analyse eines Gliedes dieser Reihe führt zu demselben Ergebnis, wie an dem Resultat (pag. 29) ersehen werden kann.

Es erscheint zweckmäßig, an dieser Stelle das Serpentin-gestein von dem „Felsköpfl“ bei Mompe Medel einzuschalten; einmal, weil es von allen angeführten Serpentin-derjenige ist, der seine Herkunft am klarsten durchschauen läßt und dadurch eine Stütze für die Ableitung der Gruppe 1 liefert, andererseits aber zwanglos die Verbindung zwischen den beiden Gruppen 1 und 2 herstellt und wertvolle Anhaltspunkte zum Verständnis der Gesteine der letzteren Kategorie liefert.

Makroskopisch erscheint dieses Gestein dunkler grün als die meisten übrigen Serpentine und zeigt auf dem Bruch gelegentlich gestricke Partien, die an den sog. Bastit (Pseudomorphose von Serpentin nach Pyroxen) erinnern. Chlorit-schüppchen und Neubildung von Serpentin und Karbonat vervollständigen das Bild. Die Textur ist massig zum Unterschied von sonst meist deutlich geschieferten Gesteinen dieser Serien.

Bei der mikroskopischen Betrachtung fällt vor allem das Nebeneinandervorkommen mehrerer Serpentinausbildungsarten auf, sowie ein Strukturbild, welches stark an das eines Massengesteins erinnert. Bis jetzt war bei aller Deutlichkeit der Maschenstruktur die ursprüngliche Gesteinsstruktur durch die Metamorphose weitgehend oder ganz verwischt worden. Hier sind die Formen der ursprünglichen Komponenten erhalten geblieben, so daß die primäre grobkörnige Ausbildung und Tiefengesteinsstruktur noch scharf hervortreten.

Wie schon im parallel polarisierten Licht an dem Auftreten von Erzäderchen ersichtlich ist, stehen gewisse Partien des Schliffs im Zeichen des Maschenserpentins. Bei gekreuzten Nicols ist zu sehen, daß die Ausdehnung dieser Partien größer ist, als sich aus dem Anblick der Aederchen vermuten ließe, was daher rührt, daß die Maschen zum Teil noch nicht bis zur Hauptmagnetitausscheidung gelangt sind, ein Sta-

dium, das in der Gruppe 1 nicht angetroffen wurde, aber anlässlich des Pikrits (pag. 11) beschrieben wurde. Es erübrigt sich, an dieser Stelle nochmals auf jene Erscheinung einzugehen, nur muß hinzugefügt werden, daß schon gefaserte Teile der Bänder sehr vereinzelt noch die Orientierung  $e_g$  nach der Längsausdehnung des Bandes zeigen. Stellen von dieser Eigenschaft sind aber so selten, daß die Uebereinstimmung dieser Maschenstruktur mit den vorigen nicht beeinträchtigt wird. Es ist dies um so interessanter, als man in dieser Tatsache die Berechtigung für die Zuhilfenahme des Pikritserpentins zur Erklärung der Struktur der Gruppe 1 erblicken darf.

Beträchtliche Teile des Schliffes kommen einem Serpentin zu, der im parallel polarisierten Licht schwach grün bis gelb erscheint und strichweise längliche Flecke, annähernd parallel verlaufend und etwas ausgesprochener gelbbraun in der Farbe, aufweist. Magnetit wird oft sehr reichlich geführt und die Anordnung der Erzpartikelchen in dicht aneinandergedrängte Reihen ist ganz so, wie bei gewissen Serpentin- und Talkflächen der Gruppe 1 zu sehen war. Die Herkunft dieses Erzes kann auf zweierlei Weisen erklärt werden: Entweder lag es im ursprünglichen Mineral als Einlagerung vor, oder es stellt eine Ausscheidung infolge Eisenüberschusses bei der Metamorphose dar. Es ist nun auffallend, daß wo braune Flecke auftreten, reichere Erzführung fehlt, daß aber bei starker Vergrößerung in den Flecken selbst winzige Erzpünktchen sichtbar werden. Des weiteren sind die gefleckten Individuen meist deutlicher grün gefärbt und zeigen tiefere Interferenz als die erzreichen, die im Orthoskop ein lichtiges Grau ergeben. Daraus darf füglich geschlossen werden, daß es sich um eine Ausscheidung handelt, bedingt durch einen Umwandlungsprozeß von ähnlicher Art wie derjenige, dessen Verlauf pag. 12 erörtert wurde. Auch hier wird die Anordnung der Partikelchen den Eigenschaften (beispielsweise feinen Spaltrißsystemen usw.) des Mutterminerals entsprechen. Im Orthoskop haben alle Individuen ein stark gestreiftes Aussehen; die Streifung kann schmal sein und nimmt sich dann wie Faserung aus, kann aber auch breiter und lamellenartig sein. Gewisse solche Lamellen verhalten sich wie Zwillinge. Die Richtung der Streifung ist auch Auslöschungsrichtung der Individuen und gewöhnlich parallel den Erzreihen, kann aber auch zu diesen schief stehen. Bei schiefer Beleuchtung tritt die gestreifte Natur dieses Serpentins durch Reliefunterschiede wie bei einer Riefung ebenfalls deutlich hervor, so daß an dem tatsächlich fase-

rigen Bau nicht gezweifelt werden darf. Die Lamellen hingegen sind reliktmäßig zu deuten; ihr Aussehen gemahnt ganz an den lamellierten Bau des Diallags. Die Erzverteilung wird der feinen Diallagspaltbarkeit parallel (100) entsprechen; die gelben Flecke dürften noch sehr wenig verändertes Material sein. Die erwähnten, ganz deutlich erhaltenen Formen des Ausgangsmaterials sind namentlich bei diesen Individuen gut zu sehen und bestätigen ihrerseits die Ableitung von Diallag. Als Rarität trifft man im Schliff auch Stellen an, wo die Lamellen kreuzweise verlaufen und zwar unter einem schwach-schiefen Winkel. Solche können als schief getroffene Basis-schnitte des Diallags gedeutet werden.

Der sonstige Mineralbestand beschränkt sich auf einige wirre Serpentinpartien und sehr spärlichen Talk mit Karbonat und Chlorit. Dieser ist recht grobblättrig ausgebildet und enthält oft große Magnetitkörner in reichlicher Menge. Eine eingehendere Beschreibung des Chlorits wird anlässlich der Gesteine der Gruppe 2 gegeben werden (pag. 38 ff.). Er ist ein Klinochlor und beherbergt wohl die Tonerde des Ausgangsgesteins. In seinen Spaltrissen liegt meist ein lebhaft doppelbrechendes Mineral, das Talk oder Sericit ist. Die Vergesellschaftung mit Chlorit läßt am wahrscheinlichsten ersteren zu.

Als Ausgangsmaterial für diesen Serpentin kommt nur ein Diallag-Peridotit in Betracht. Es mögen noch das Analysenresultat<sup>1</sup> und die Projektionswerte dieses Gesteins angeführt werden.

## 1.

Serpentingestein vom „Felsköppli“ bei Mompe Medel.

	%	Mol. %	
Si O <sub>2</sub>	37,93	37,3	
Ti O <sub>2</sub>	0,00		
CO <sub>2</sub>	1,58	—	
Fe O	1,42	3,0	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,50		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,62	3,1	
Ca O	1,49	1,6	
Mg O	37,41	54,8	
Na K O	0,21	0,2	
H <sub>2</sub> O +	12,10	—	
H <sub>2</sub> O —	0,08	—	
	100,34	100,0	S. G. = 2,6

<sup>1</sup> Sämtliche Analysen wurden vom Autor im Laboratorium des Mineralogisch-Petrographischen Instituts der E. T. H. ausgeführt.



## Gruppenwerte nach U. G r u b e n m a n n.

$$S = 37,3$$

$$A = 0,2$$

$$C = 1,6$$

$$F = 57,8$$

$$M = 0,0$$

$$T = 1,3$$

$$K = 0,6$$

## Projektionswerte nach A. O s a n n.

$$\text{auf } 20 : a = 0,0 \quad c = 0,5 \quad f = 19,5$$

$$\text{auf } 30: ^1 a = 0,0 \quad c = 1,0 \quad f = 29,0$$

Die Analyse mit den Gruppen- und Projektionswerten ist in ihrer starken Verschiebung gegen den femischen Pol eine typisch peridotitische. Der Projektionspunkt (auf 20 bezogen) fällt auf den Gruppenmittelpunkt der Magnesiumsilikatschiefer (V. Gruppe der kristallinen Schiefer). Die Gruppenwerte und die auf 30 berechneten Projektionswerte<sup>1</sup> schließen sich eng an diejenigen des Hornblendeperidotits von Argein Pyrenäen, die A. O s a n n zum Typus Gorduno zählt, unter Angabe folgender Werte:  $s = 36,43$ ;  $A = 1,39$ ;  $C = 1,51$ ;  $F = 57,71$ ;  $a = 0,5$ ;  $c = 1,0$ ;  $f = 28,5$ ; sowie an das Gordunogestein selbst, das die Werte  $s = 37,82$ ;  $A = 0,0$ ;  $C = 1,66$ ;  $F = 58,86$ ;  $a = 0,0$ ;  $c = 1,0$ ;  $f = 29,0$  aufweist.

## 2. Serpentine ohne „Maschenstruktur“.

Diese zweite Gruppe umfaßt Serpentine von recht verschiedenen Ausbildungen; vereinigt wurden sie wegen der gemeinsamen Eigenschaft, keine charakteristischen „Olivinmerkmale“ aufzuweisen, so daß sie gewissermaßen ein Gegenstück bilden zu den Gesteinen der Gruppe 1, wo solche Merkmale ausschlaggebend waren.

**a. Serpentine mit Balkenstruktur und Gitterstruktur.**

Vom Typus a liegen sowohl groß- wie kleinblättrig ausgebildete Gesteine vor, die auch in anderen Punkten nicht ganz übereinstimmen, weshalb eine getrennte Behandlung vorgenommen wird.

α. Die grobgebauten Serpentine dieses Typus zeigen im Orthoskop ein Gewirr von ausgezeichnet blättrigem

<sup>1</sup> Siehe Lit. 12.

Serpentin, das trotz seiner komplizierten Anordnung sich insofern gegliedert erweist, als neben ganz regellos struierten Partien ziemlich scharf umgrenzte Flächen auftreten, deren Material durch einheitliche Orientierung seinen Ursprung aus einem Muttermineral verrät. Die regellosen Partien sind zugleich auch die ausgedehntesten; greift man willkürlich eine Stelle zur Beobachtung heraus, wird sich stets der Eindruck von kreuzweiser Anordnung der Blätter ergeben, bald rechtwinklig, bald nicht, mit stets wechselnder Richtung der Lamellen.

Dieselbe kreuzblättrige Anordnung findet sich auch in den einheitlichen Flächen wieder, nur daß für eine gegebene Fläche die Richtungen stets gleich orientiert sind. Die Lamellen sind nach einer von zwei aufeinander senkrechten Richtungen gelegen und erscheinen förmlich miteinander verflochten, manchmal locker, so daß zwischen den Lamellen viereckige Zwischenräume bleiben, andererseits so gedrungen, daß erst das Gipsblättchen vom Rot I. Ordnung die kreuzweise Lagerung hervortreten läßt. Die Zwischenräume der ersteren Ausbildung sind mit feinem, nicht orientiertem Material gefüllt. Dieser Anordnung wird die Bezeichnung „Gitter“ oder „Fensterstruktur“ zukommen; die gedrungene ist als Beispiel der „Balkenstruktur“ anzusehen. An typisch ausgebildeten Stellen sind die Lamellen nach jeder der beiden Richtungen gleich stark vertreten; doch kann auch eine Richtung weniger bevorzugt sein als die andere, was im extremen Fall zu einfach paralleler Anordnung führt. Viel seltener als die rechtwinklige Verteilung ist eine solche mit spitzem Winkel (zirka  $60^\circ$ ) bei sonst gleichen Verhältnissen.

Die Lamellen, die den geordneten und regellosen Ausbildungen zugrunde liegen, nehmen gerne recht ansehnliche Dimensionen an; eine Neigung zu rosettenartigem Bau ist oft bemerkbar, die bis zu großen fächerförmigen Individuen führt. Eine deutliche Spaltbarkeit ist meist vorhanden, parallel der Richtung der längeren Ausdehnung der Lamelle, welche Richtung auch die der kleineren optischen Elastizität ist. Die Auslöschung ist normalerweise gerade, wird aber mit steigendem radialem Bau mehr und mehr undulös. Die Interferenzfarben im Orthoskop sind ziemlich licht und erreichen mitunter ein schwaches Gelb der ersten Ordnung.

Sehr bemerkenswert ist, daß manche dieser Schiffe im parallel polarisierten Licht eine durch Erzäderchen hervorge-

rufene Felderteilung zeigen, die sich von der Maschenstruktur höchstens durch etwas unschärfere Zeichnung unterscheidet, in nichts aber, was ihren Verlauf und die Form der beschriebenen Polygone betrifft. Es handelt sich aber nur um eine Pseudomaschenstruktur; denn im Orthoskop kann kein Zusammenhang zwischen Felderteilung und Anordnung der Lamellen und Aggregate festgestellt werden; von Serpentinbändern ist, wie aus dem Vorangegangenen ersichtlich, nichts vorhanden. Verfolgt man den Verlauf der Erzäderchen, sieht man vielmehr, wie die Serpentinlamellen schief und unregelmäßig durchquert werden, wie sie auch ihrerseits die Erzäderchen kreuzen, ohne in ihrer Form im mindesten gestört zu werden. Es sieht aus, als ob eine Struktur (Maschenstruktur?) im Entstehen begriffen war, als aber, dank den herrschenden Bedingungen, die Antigoritbildung die Oberhand nahm, um schließlich derart zu überwuchern, daß nur spärliche Kennzeichen der ursprünglichen Bildung geblieben sind. An verschiedenen Stellen ist zu beobachten, daß die Erzadern aus den Antigoritgebieten in Karbonatflächen übertreten, ohne ihren Habitus zu ändern. Dieses Karbonat bildet größere Flächen, zeigt keine Zwillingslamellen und enthält oft die schon erwähnten spitzen Serpentinegebilde, sowie auch andere Einschlüsse, wie Chlorit, Magnetit usw. Ein Fall liegt vor, wo ein Karbonatindividuum ein getreues Bild der echten Maschenstruktur zeigt (Erzadern in wohlbegrenzten [karbonatischen!] Bändern liegend), wo also eine Pseudomorphose angenommen werden muß, was auch für andere weniger eindeutige Stellen durch das Auftreten der Erzadern wahrscheinlich erscheint.

An weiteren Mineralien sind Talk und Chlorit vorhanden. Ersterer ist als Umwandlungsprodukt des Serpentin recht spärlich, doch kommt er in etwas größeren Mengen vor, als wahrscheinlich direktes Ergebnis der Metamorphose von Diallag, und bildet dann, ähnlich wie in der Gruppe 1, größere, von parallel angeordneten Erzpartikelchen erfüllte Flächen. Der Chlorit ist sehr häufig und bildet meist ganz große Nester von derben Blättern, immer vergesellschaftet mit vielen und groß ausgebildeten Magnetitkristallen.

Die mineralische Zusammensetzung dieser Gesteine gibt keinen Anlaß, ein anderes Ausgangsmaterial in Anspruch zu nehmen als dasjenige der Gruppe 1 und des Gesteins von Mompe Medel. Daß Olivin an seinem Aufbau beteiligt war, geht zum mindesten aus der Karbonatpseudomorphose nach

echtem Maschenserpentin hervor, vielleicht auch aus der Pseudomaschenbildung. Die Metamorphose hat den Serpentin andere Formen als bis jetzt annehmen lassen; und die wirren Partien, sowie diejenigen mit Gitterstruktur sind als vom Olivin stammend zu betrachten. Beispiele für Antigoritbildung aus Olivin sind längst bekannt, ebenso daß in Gesteinen, wie die Stubachite, der Olivin zu schönem Gitterserpentin umgewandelt wird (Abbildung Weinschenk, Lit. 7, pag. 164). — Ob die rechtwinklig struierten Partien auch vom Olivin abzuleiten wären, ist fraglich. Für diese Ableitung spricht allerdings die Tatsache, daß die Pseudomaschen auch in diese Teile eingreifen; es müßten denn diese Pseudomaschen vom Olivin unabhängig sein, was wenig wahrscheinlich ist und jedenfalls an der Hand vorliegenden Materials nicht sicher entschieden werden kann. Die rechtwinklige Balkenstruktur gilt an und für sich wohl meist als pyroxenitischer Herkunft, und die einstige Anwesenheit von Diallag ist auf alle Fälle durch die besprochenen Talkflächen klar dargetan.

β. Die feinblättrigen Serpentine bestehen aus Antigorit, der bei sehr viel kleinerer Ausbildung zum Teil dieselben Formen aufweist wie derjenige der vorigen Kategorie. Bei starker Vergrößerung zeigt sich im Orthoskop ein scheinbar regelloses Gemenge von Blättchen, die mit manchen Uebergängen von rundlichen Schuppen bis zu fast nadelförmig gestreckten Individuen variieren können. Die rosetten- und fächerförmigen Aggregate sind auch hier häufig; ebenso sind soweit festgestellt werden kann, die Verhältnisse der optischen Orientierung die nämlichen. Bei schwächerer Vergrößerung zeigt die umfassendere Uebersicht indessen, zumal in den gestreckt blättrigen Varietäten, eine sehr deutlich gekreuzte Lagerungsart unter Bevorzugung von Winkeln von annähernd  $90^{\circ}$ . Der Antigorit hat das Bestreben, sich in ein möglichst einheitliches Gewebe aufzulösen und erscheint in manchen Schlif- fen auf weite Strecken ganz gleichmäßig nach zwei sich gleichbleibenden Richtungen kreuzweise gelagert, ohne sonstige Gliederung. Wo Ungleichmäßigkeiten auftreten, sei es in Form von Flächen von Serpentin abweichender Art oder gar von Relikten früherer Bestandteile, sind sie wohl nie einzeln vorhanden und entsprechen offenbar Stellen weniger vollständiger Metamorphose.

Stellen abweichender Beschaffenheit sind in der Hauptsache folgender Natur: 1. Isotrope oder ganz schwach doppel-

brechende Partien; sie entsprechen den frühesten Umwandlungsstadien der Maschenzentren usw. und sind auch hier als erst beginnende Umwandlung zu betrachten; auch ihre charakteristische Auflösung in ein System von spießigen Formen ist zu beobachten. 2. Flächen von gröberer Ausbildung und regelloser Lagerung: sie ähneln den wirren Partien der vorigen Schliffe. 3. Flächen von gröberer, aber geordneter Ausbildungsart: eine parallel lamellare Lagerung ist hier die Regel nach der Art der besprochenen Gebilde des Gesteins von Mompe Medel; auch ist manchmal die fleckig auftretende gelbe Farbe, die pag. 20 erwähnt und als noch sehr wenig umgewandeltes Material gedeutet wurde, zu beobachten. Sehr sprechend für diese Annahme ist die Tatsache, daß solche Stellen gelegentlich abnorme Polarisationsfarben zeigen, so daß dann direkt von einem Mineralrelikt gesprochen werden kann, wenn auch die Formen mehr denen von Serpentin ähneln. — Die großen homogenen Serpentinfelder führen wenig oder keinen Magnetit. Solcher tritt aber häufig an Stellen anormaler Ausbildung auf und zwar als Aederchen einer Pseudomaschenbildung. An ganz vereinzelt Stellen scheinen bei starker Vergrößerung sogar Ueberreste von Bänderbildung noch vorhanden zu sein, was dann wieder für reliktsche Natur der Pseudomaschen spricht. Weitaus das meiste Erz ist aber als ganz grobe, oft annähernd idioblastische Kristalle an den häufig auftretenden Chlorit gebunden. Dieser bildet gerne ganze Nester, ist farblos und polarisiert grün bis grüngrau der ersten Ordnung. Von weiteren Komponenten sind noch etwas Karbonat und Talk zu erwähnen.

#### **b. Serpentine mit porphyroblastischer Struktur.**

Der Typus b zeigt im parallel polarisierten Licht ein farbloses Grundgewebe, in welchem oft annähernd parallel geordnet fast gänzlich farblose Porphyroblasten liegen, die meistens bedeutende Magnetitanhäufungen am Rand haben. Bei gekreuzten Nicols zeigt sich das Grundgewebe als kompliziertes Gemenge von Serpentin, die Porphyroblasten als Chlorit. Der Serpentin des Grundgewebes, meistens sehr grob ausgebildet, ist bald ganz wirr, bald deutlich parallel gelagert und ist sehr häufig zu Aggregaten vereinigt, in welchen die Chloritporphyroblasten zu liegen pflegen. Die Form der Aggregate schwankt zwischen einer blättrigen und einer schwach radia-

len oder garbenartigen, wobei es recht schwer festzustellen ist, ob ein grobfaseriger (zum Teil dann metaxitischer) oder ein grobblättriger Serpentin vorliegt. Die Auslöschung ist je nach der Aggregatform einheitlich oder undulös, im ersten Fall mit Bezug auf eine deutlich erkennbare Spaltbarkeit immer gerade. Dieses Material zeigt nur schlechte Achsenbilder; bei den blättrigen Gebilden ergab sich aber der Eindruck, daß die erste negative Bisektrix  $e_g$  auf der Blattfläche senkrecht steht. Die Längsrichtung des Blattes ist stets die kleinere der beiden anderen optischen Elastizitäten, muß also  $e_p$  sein. Diese Orientierung entspricht den Angaben für Antigorit. Seine Polarisationsfarben sind verhältnismäßig hoch und erreichen meist ein liches Blaugrau der ersten Ordnung oder gar einen gelblichen Ton. Die Chloritporphyroblasten haben etwas stärkere Lichtbrechung als der Antigorit, so daß sie sich auch ohne Magnetitränder deutlich von dem Grundgewebe abheben. Wo aber solche hinzukommen, ist der Gegensatz sehr ausgesprochen. Die Individuen sind stets farblos und weisen gute Spaltbarkeit auf; manchmal sind sie gebogen und verhalten sich dann unregelmäßig im Orthoskop. Die Auslöschung ist nicht selten eine gerade; doch gibt es Schnitte, wo Zwillingslamellen deutlich hervortreten, und auf diesen ist sie stets schief, mitunter bis zu  $8^\circ$ . Die Interferenzfarbe ist grau mit ganz schwachem Stich ins Bräunliche, also eine Nuance tiefer als die des Antigorits der Umgebung. Im Konoskop erhält man sehr verschwommene Achsenbilder, die aber zweiachsig zu sein scheinen;  $e_g$  ist immer in der Längsrichtung der Blätter gelegen. Nach diesen Eigenschaften muß der Chlorit ein Klinochlor sein.

Die übrige Mineralführung beansprucht weniger Interesse. Magnetit ist auf die Chlorite beschränkt, woselbst er aber recht große Dimensionen annehmen kann. Talk tritt untergeordnet in den bekannten bunt polarisierenden Schüppchen auf, welche die Tendenz haben, sich zusammenzutun, was auch ein lebhafteres Hervortreten der Farben verursacht. Hin und wieder ist er mit der nadligen Serpentinart vermennt, die schon in den Karbonaten der Gruppe 1 angetroffen wurde. Karbonat tritt meist in Zügen von ganz großen Individuen auf, welche deutliche Spaltbarkeit, aber keine Zwillingslamellierung zeigen und als Magnesit anzusehen sind.

Diese Gesteine enthalten keine positiven Anhaltspunkte mineralischer oder struktureller Art, die mit Sicherheit auf

ihre Abstammung schließen ließen. Die eigenartigen Verhältnisse der Lagerungsart des Chlorits gegenüber Antigorit reizen zum Heranziehen mancher Gesteine, die aber durch das Fehlen von Feldspatanzeichen ausgeschlossen sind. Dagegen ist die ganz enge Vergesellschaftung mit Serpentin geklärt Herkunft neben der Mineralführung mit ein Grund, auch hier peridotisches Ausgangsmaterial in Anspruch zu nehmen und die strukturelle Ausbildung des Serpentinesteins mehr im Umwandlungsprozeß als im Ausgangsgestein begründet anzusehen. Der Serpentin wurde als Antigorit charakterisiert; sein Habitus spricht eher für Hornblende als für Pyroxen als Muttermineral. Dabei wäre eine vielleicht brauchbare Erklärung folgende: Der Diallag (Diopsidmolekül) ging randlich in Hornblende über (ein Prozeß dieser Art ist Lit. 13 beschrieben), unter Erhaltung eines tonerdereichen Zentrums (Tschermaks Molekül). Später ergab die Hornblende den Serpentin, das Zentrum den Chlorit unter Ausscheidung des überschüssigen Eisens als Magnetit. Dadurch kämen zum Schluß die von Magnetit umrandeten Chlorite mitten in den Serpentin zu liegen.

Von den pag. 29 wiedergegebenen Analysenresultaten sind:

2. Maschenserpentin vom Stollen Surrhein.
3. Serpentin ohne Maschenstruktur (porphyroblastisch!)  
Stollen Disentis.
4. Mäßig vertalkter Maschenserpentin, Stollen Surrhein.
5. Stark vertalkter Serpentin ohne Maschenstruktur, Stollen Disentis.
6. Stark vertalkter Serpentin ohne Maschenstruktur, Stollen Surrhein.

Auch diese Analysen sind typisch für Magnesiumsilikatschiefer. Die Projektionswerte der Analysen 5, 6 stimmen mit dem Gruppenmittelpunkt dieser Gesteinsordnung genau überein. Ein augenfälliger Unterschied tritt zwischen dem Chemismus des Maschenserpentins 2 und demjenigen eines typischen Vertreters der Serpentine ohne Maschenstruktur (3) nicht hervor, wie auch zu erwarten war, nachdem gezeigt wurde, daß aller Wahrscheinlichkeit nach die Strukturunterschiede mehr in dem Gang der Metamorphose als in dem Ausgangsgestein begründet sind. In den Analysen 2, 4, 5 ist der Gehalt an Karbonat hoch; es muß sich nach dem Chemismus um Magnesit mit geringer kalzitischer Beimengung handeln,

	2.		3.		4.		5.		6.		
	%	Mol. %	%	Mol. %	%	Mol. %	%	Mol. %	%	Mol. %	
Si O <sub>2</sub>	32,15	34,2	36,42	34,9	33,64	34,2	30,18	32,4	54,05	49,7	Si O <sub>2</sub>
Ti O <sub>2</sub>	0,00	—	0,00	—	0,00	—	0,00	—	0,00	—	Ti O <sub>2</sub>
C O <sub>2</sub>	15,20	—	2,46	—	10,95	—	21,71	—	1,37	—	C O <sub>2</sub>
Fe O	3,58	4,6	1,05	1,8	4,51	6,3	1,72	5,1	2,98	4,5	Fe O
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,79	—	1,35	—	3,20	—	4,33	—	3,18	—	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,32	2,7	6,56	3,7	2,89	1,7	1,67	1,0	3,32	1,7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ca O	4,33	4,9	5,57	5,4	2,54	2,7	1,64	1,9	2,10	2,0	Ca O
Mg O	33,67	53,6	37,71	54,0	36,36	55,1	37,09	59,6	30,64	42,1	Mg O
Na <sub>2</sub> O } K <sub>2</sub> O }	0,06	0,0	0,26	0,2	0,07	0,0	0,06	0,0	sp	0,0	{ Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O }
H <sub>2</sub> O +	4,66	—	8,85	—	5,65	—	2,18	—	2,33	—	H <sub>2</sub> O +
H <sub>2</sub> O -	0,04	—	0,07	—	0,10	—	0,01	—	0,06	—	H <sub>2</sub> O -
	99,80	100,0	100,30	100,0	99,91	100,0	100,59	100,0	100,03	100,0	
SG	2,8		2,7		2,7		2,9				SG

Gruppenwerte nach U. Grubenmann.

S	34,2	34,9	34,2	32,4	49,7	S
A	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	A
C	2,7	3,5	1,7	1,0	1,7	C
F	60,4	57,7	62,4	65,6	46,9	F
M	2,2	1,9	1,0	0,9	0,3	M
T	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	T
K	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	K

Projektionswerte nach A. Osann.

a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	a
c	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	c
f	19,0	19,0	19,5	19,5	19,0	f



was mit dem mikroskopischen Befund übereinstimmt (siehe pag. 18). Die Gesteine 3 und 6 sind hingegen verhältnismäßig karbonatarm; das vertalkte Gestein 6 weist ein nicht unbedeutend höheres K auf als das Serpentinegestein 3, welches letzteres aber dem ebenfalls karbonatarmen Serpentin von Mompe Medel in seinem K-Wert nähert. Es ist ohne weiteres verständlich, daß bei der Vertalkung, wo sich doch Magnesit bildet, wenn dieses Mineral abgeführt wird, das K steigen muß, um schließlich den Wert  $K = 1,3$  für reinen Talk zu erreichen.

## II. Talkige Gesteine.

Wenn bei der Untersuchung der Serpentinegesteine zu wiederholten Malen der Talk als Komponente angeführt werden mußte, war dies eine Folge der Unschärfe der nach dem makroskopischen Habitus vorgenommenen Gruppierung des Materials, welche denn auch mehr im Streben nach Uebersichtlichkeit in der Darstellung, als in den natürlichen Verhältnissen begründet liegt. Das zwanglose Nebeneinander- und Auseinanderentstehen von Talk und Serpentin bedingt eine innige Vergesellschaftung der Gesteine des letzten und dieses Abschnittes im Terrain, so daß die Herkunft der Handstücke beider Suiten die nämliche ist, jetzt allerdings mit Einschluß des Stollens von Surrhein, wo wegen der fortgeschrittenen Metamorphose keine eigentlichen Serpentine mehr geschlagen wurden.

Die hierhergehörigen Stücke erhalten ihr spezifisches Gepräge durch eine schon makroskopisch hervortretende reichliche Talkführung, die dann auch das Herrschen des Talkes im Dünnschliffe zur Folge hat. Zwischen den typischen Serpentin- und Talkgesteinen gibt es manche Glieder, die Uebergänge vermitteln, wovon besonders einige, die äußerlich noch ganz Serpentinhabitus haben, im Schliff aber bereits bedeutende Umwandlung aufweisen,<sup>1</sup> über den Verlauf der Metamorphose interessante Einzelheiten bieten. Sie werden im folgenden als „mäßig vertalkte Gesteine“ angeführt.

Die Vertalkung der Serpentine modifiziert ihr m a k r o s k o p i s c h e s Aussehen zunächst in der Weise, daß die be-

<sup>1</sup> Zu beachten ist, daß der Talk sich also ziemlich weitgehend verbergen kann, wodurch die pag. 9, 10 gemachten Bemerkungen über Serpentinhabitus und -diagnose um ein Weiteres unsicherer werden!

kannte matt schwarzgrüne Farbe einer mehr glänzend schwarzgrauen weicht, unter Abnahme der Härte bis zur Schabbarkeit mit dem Messer, und gleichzeitig tritt etwas von dem typisch fettigen Anfühlen des Talkes auf. In diesem Stadium herrscht, wie bei den Serpentinien selbst, eine nahezu massige Textur mit nur gelegentlicher Andeutung einer Schieferung; doch besteht nicht irgendwelche Möglichkeit, von dem Aussehen auf die Abstammung von einem bestimmten Typus zu schließen. Ueberhaupt ist Genaueres über die Mineralführung vom unbewaffneten Auge nicht feststellbar, abgesehen von vielen epigenetischen Bildungen, die aber allen Talkgesteinen gemeinsam sind und zum Schluß noch kurz besprochen werden.

Weitere Verringerung der Härte bis zur Schabbarkeit mit dem Fingernagel sowie starke Zunahme des fettigen Anfühlens begleiten die fortschreitende Vertalkung, die zu schiefrigen bis deutlich blättrigen Gesteinen führt von meist lichtgrauer Farbe, welche herrührt von Ueberresten dunkler, noch nicht umgewandelter Partien, in Mengung mit weißem oder zartgrünem Talk. Von diesem erscheint der Hauptbruch der Handstücke oft förmlich verschmiert, während auf den anderen Bruchflächen der lückenlose Uebergang in Talk in aller Deutlichkeit zu beobachten ist, wie auch, daß die Schieferung das Werk der Neubildung ist. Dieser für die Entstehung des Talks überaus sprechende Anblick erklärt zwanglos die größeren schiefrigen Fasern vom Aussehen reinsten Talks, die beispielsweise im grauen Talkgestein des Stollens Surrhein häufig waren, als extreme Fälle der unmittelbaren Vertalkung dieser Gesteine. Kleine Einlagerungen von noch dunklem, nicht ganz umgewandeltem Material sind bezeichnenderweise auch in diesen Fläsern zu finden. Die Analyse einer solchen Flaser findet sich pag. 33 wiedergegeben.

Im Laufe immer einheitlicherer Vertalkung werden naturgemäß Eisen und Tonerde überflüssig, während der Kalk und ein Teil der Magnesia zur Karbonatbildung herangezogen werden. Das manchmal massenhafte Auftreten von Pyrit und Magnetit, die in schön idiomorphen Kristallen die hochtalkigen Gesteine stellenweise förmlich durchspicken, ist zum Teil der Ausscheidung des Eisens zuzuschreiben; doch weist die Ähnlichkeit mit erzeichen Partien der Sericitschiefer auf die Möglichkeit hin, daß hier wie dort das Werk pneumatolytischer Tätigkeit vorliegt. Freilich fehlt der dort charakteristische

Begleiter Turmalin den Talkgesteinen gänzlich. Chloritblättchen, die mit dem Talk oft innig vermischt sind, sich aber dank ihrer dunkleren Farbe noch gut abheben, werden die Tonerdträger sein. Der größte Teil des Karbonats scheint nicht an Ort und Stelle zu bleiben, sondern sich getrennt zu sekundärer Bildungen anzusammeln. Immerhin ist kein Mangel an Stücken, denen schon von bloßem Auge die reichliche Karbonatführung angesehen werden kann, oft in Form von Körnern bräunlicher Farbe, die als Breunerit gedeutet werden können. Die Anwesenheit von solchen Körnern (wenn auch nur in mikroskopischen Dimensionen) kann die Härte des Gesteins empfindlich beeinflussen, was für die technische Verwertung von Nachteil ist, rein petrographisch aber eine erste approximative Schätzung des Karbonatgehalts ermöglicht.

Von den epigenetischen Bildungen fallen besonders die schönen blättrigen Talkaggregate auf, die in ihrer Größe von ganz kleinen Schüppchen bis zu Blättern von ein Quadrat-zentimeter Fläche schwanken. Sie sind fast immer grün gefärbt, bald blaugrün, bald mehr apfelgrün mit charakteristischem Perlmutterglanz. Häufig bilden sie auf freiliegenden Flächen, seien es Klufflächen oder Gesteinsoberflächen, förmliche Krusten oder Rinden, indem die steil auf der Unterlage stehenden Blättchen sich massenweise zusammenscharen. Diese Erscheinungen waren in wundervoller Ausbildung im Verbindungskamin der Disentiser Stollen zu sehen, wo in der Schein der Grubenlampen die grünlichen Gebilde eigenartig reizvoll hervortraten. Wie nachstehende Analyse zeigt, sind die Blättchen sehr reines Talkmaterial. Verwendet wurden vorsichtig ausgelesene und von allen Unsauberkeiten getrennte Individuen.<sup>1</sup>

## 7.

## Sekretionäre Talkblättchen, Disentis.

	%	Mol.-Verhältnisse
Si O <sub>2</sub>	61,46	1,02 = 4
Ti O <sub>2</sub>	—	
Fe O	2,18	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,60	
Ca O	sp	

<sup>1</sup> Blättchen dieser Art in Kanadabalsam eingebettet, ergaben im Konoskop ausgezeichnete Achsenbilder, negativ reagierend und von fast einachsigen Aussehen. Die Messung des Achsenwinkels mittelst der Kleinschen Lupe ergab für weißes Licht  $2 E = 9^{\circ} 16'$ .

	%	Mol.-Verhältnisse
Mg O	31,49	0,78 = 3
Na <sub>2</sub> O	—	
K <sub>2</sub> O	—	
C O <sub>2</sub>	sp	
H <sub>2</sub> O	4,54	0,25 = 1
	<hr/> 100,27	

Es ergibt sich also die Formel  $3 \text{ Mg O } 4 \text{ Si O}_2 \text{ H}_2 \text{ O}$ .

## 8.

## Talkflaser, Stollen Surrhein.

	%	Mol.-Verhältnisse
Si O <sub>2</sub>	47,49	0,79 = $4 \times 0,197$
Fe O	1,40	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,22	
Ca O	7,20	0,13 = $1 \times 0,13$
Mg O	27,66	0,69 = $3 \times 0,197 + 1 \times 0,1$
Na <sub>2</sub> O	—	
K <sub>2</sub> O	—	
C O <sub>2</sub>	11,68	0,26 = $2 \times 0,13$
H <sub>2</sub> O	2,09	
	<hr/> 99,74	

Es ergibt sich das richtige Verhältnis von Mg O zu Si O<sub>2</sub> für Talk, mit einem Ueberschuß an Mg O, das zusammen mit dem CO<sub>2</sub> und Ca O recht genau der Formel  $(\text{Ca Mg}) (\text{CO}_3)_2$  entspricht.

Der Stoff zu diesen sekretionären Bildungen kommt naturgemäß aus dem Hauptgestein selber, verfrachtet durch die zirkulierenden Wässer, deren Wirkung auch an den von Talk und von Karbonat ausgefüllten Spalten, die sich vom übrigen Gestein mit gangartiger Schärfe abheben, veranschaulicht wird. Nicht selten können solche ausgefüllten Spalten bis zur Neubildung verfolgt werden, zu der sie als Zufuhrkanal gedient haben müssen.

Das sekundäre Karbonat bildet Nester und Adern von mitunter ansehnlicher Größe, die regellos im Gestein angetroffen werden. Es herrscht eine Tendenz zur stengeligen spitzrhombödrischen, gelegentlich gar faserigen Ausbildung, die nicht zufällig sein wird, da bisweilen auch merkwürdig säulige Talkgebilde angetroffen werden. Die Ursache hierzu liegt vielleicht

in der Art der Stoffzufuhr, wahrscheinlicher noch in den herrschenden Streißbedingungen, die in den wie poliert glänzenden, auf weichen Talkfasern häufigen Rutschflächen deutliche Zeichen ihrer mechanischen Wirkungen hinterlassen haben. In der Regel ist das Karbonat von sehr rein weißer Farbe; nur ausnahmsweise wird solches von mehr braunem, sideritähnlichem Aussehen gefunden. Mit Salzsäure ist meistens ein leichtes Brausen zu erzielen, was auf einen gewissen Gehalt von Kalzit hinweist, während die Hauptmenge Magnesit ist. Vermengung mit Talk und Serpentin ist wohl stets zu beobachten. Das Gemenge Talkkarbonat kann so intim sein, daß der heterogene Charakter auf den ersten Blick gar nicht auffällt und das Ganze für Talk gehalten werden könnte, wenn nicht ein Seidenglanz charakteristischerweise auf solchen Mischbildungen aufträte und vor Verwechslung schützte. Der Serpentin ist als grober, oft hellgrüner Chrysotil ausgebildet, der auch in selbständigen Aggregaten erscheint, mitunter von asbestartigem Habitus. Auch eine Pseudomorphose von sehr reinem Talk nach diesem Faserserpentin wurde beobachtet, die die äußere Form des einstigen Aggregates noch deutlich wiedergab.

#### Mikroskopische Beobachtungen.

Bei nur mäßiger Vertalkung ist im Schliff das Strukturbild einer der bekannten Serpentinegruppen in der Regel leicht erkenntlich, nicht mehr aber, wenn die Umwandlung weiter fortgeschritten ist. Eine hochtalkige Probe kann an der Hand der mikroskopischen Untersuchung gewöhnlich ebensowenig auf ihre genauere Herkunft beurteilt werden, wie durch die makroskopische Beurteilung am Handstück. Die Einteilung der talkigen Gesteine nach den verschiedenen Serpentinegattungen erscheint deshalb untunlich und mag zugunsten der allgemein sich abspielenden Vorgänge und ihrer Produkte auf sie verzichtet werden. Zu besprechen sind an erster Stelle (1) Talk und Karbonat, die beiden Hauptkomponenten dieser Gesteine; (2) die Chlorite der Talkgesteine.

#### 1. Talk und Karbonat.

a. Die mäßig vertalkten Gesteine: Die ersten Talkansätze wurden als einzelne bunt polarisierende Pünktchen beschrieben, die sich auch zusammenscharen konnten zu

locker gefügten Flächen größerer oder kleinerer Ausdehnung. Bei den Maschenserpentinen konnte festgestellt werden, daß das Spaltrißsystem, von dem die Serpentinbildung ausging, auch die Ansatzstellen zur Talkbildung lieferte und daß es die *Serpentinbänder* waren, die der Vertalkung zuerst anheimfielen unter vorläufiger Erhaltung des Zentrums. Bei vielen nicht zu weitgehend vertalkten Gesteinen sind die Reste dieser Verhältnisse noch zu finden, merkwürdigerweise aber nicht weniger oft gerade die entgegengesetzten, d. h. zuerst Vertalkung des Zentrums unter Schonung der Bänder, die dann erst nachträglich umgewandelt werden. Der Gedanke an eine unmittelbare Talkbildung, also ohne Serpentin als Zwischenstadium, ist hier nicht von der Hand zu weisen und würde das sonst etwas rätselhafte Phänomen zwanglos erklären. Bei den übrigen viel unübersichtlicheren Strukturarten ist eine Gesetzmäßigkeit der Ansatzstellen kaum zu ersehen: einzig bei Gesteinen mit Pseudomaschen hat es den Anschein, als ob die frühen Talkbildungen an diese geknüpft wären.

Bei der Bildung von Talk aus Serpentin entsteht Magnesiumkarbonat als Nebenprodukt, und dieses wurde als fast steter Komponent selbst der nur schwach vertalkten Serpentingesteine erwähnt. Bei den mäßig vertalkten Gesteinen spielt das Karbonat schon eine viel größere Rolle, und es ist vor allem interessant zu beobachten, wie Karbonat die Stelle von Talk einnehmen und diesen ersetzen kann. Das Hinübergreifen von Magnetitadern in Karbonatflächen ist bereits pag. 24 erwähnt worden; es stellt aber nur eine unter verschiedenen Erscheinungsformen dar. Namentlich häufig ist der Ersatz des Talkes der Maschenzentren; die Anordnung ist dann so, daß das Karbonat (manchmal mit noch geringen Mengen Talk) von noch gut erhaltenen Serpentinbändern mit Magnetitadern umgeben ist, in kompletter Analogie zu den sonstigen Verhältnissen. Das Karbonat kann aber in seinem Auftreten auch die Bänder vorziehen, und es liegen schöne Beispiele vor von vertalkten Maschenzentren mit karbonatischen Bändern um sie herum. Wie die Vertalkung, ob sie von außen oder von innen fortschreitet, zum Schluß ausgedehnte Talkfelder liefert, in denen die Erzäderchen noch liegen, so führt auch der wachsende Karbonatansatz zu großen Flächen, die das Erz in ähnlicher Weise führen, also der bereits erwähnte Fall. Besonders bemerkenswert ist die fortbestehende scharfe Trennung von Maschenband und Zentrum, die, wenn schon

beide jetzt aus Karbonat bestehend sich immer noch deutlich voneinander abheben, meist dank einer dunkleren Färbung (Eisengehalt!) des Bänderkarbonats.

b. Hochtalkige Gesteine: Die weitgreifende Vertalkung hat die Verwischung aller alten Struktureigentümlichkeiten zugunsten eines lepid- oder nematoblastischen Gefüges zur Folge. Der Talk war zuerst locker gefügt und paßte sich den vorgefundenen Verhältnissen an; jetzt wird er kompakter und homogener, und es entstehen auf Kosten der ganz regellos gelagerten kleinen Individuen größere Flächen von mehr einheitlicher Orientierung und Polarisationsfarbe. Die Abstammung von Serpentin verrät sich aber trotzdem noch in fortgeschrittenen Stadien; denn abgesehen von etwa erhaltenen, noch erkennbaren Serpentinetzen, ist der Gesamteindruck der Polarisationsfarben des Talkes oft ein nicht ganz normaler, was auf ein noch nicht völliges Verschwinden der bläulichen Interferenzfarbe des Serpentin zurückzuführen ist. Hier ist das makroskopische und mikroskopische Verhalten ganz analog. Die Unterscheidung zwischen Talk und Muskowit ist bekanntlich schwer; immerhin sind die Polarisationsfarben des ersteren infolge etwas höherer Doppelbrechung ( $\gamma - \alpha$  Talk = 0,050, Muskowit 0,038) meist lichter. Zarte rosa bis grünliche Farben 3. bis 4. Ordnung sind sehr charakteristisch bei der durchschnittlichen Schliffdicke und bieten in der Diagnose Anhaltspunkte. Daß auch Muskowitblätter in kleinen Mengen dem Talk beigemischt sein mögen, ist wohl denkbar; doch zeigt der niedrige Alkaligehalt (siehe Analysen pag. 29 und 33), welche enge Grenzen ihrem Auftreten gesetzt sind.

Die Karbonatführung der hochtalkigen Gesteine, die normalerweise hoch sein muß, ist entsprechend der fortgesetzten Möglichkeit zur Abwanderung unregelmäßig und schwankt stark von Schliff zu Schliff. Die Wahl der Schliffstelle ist also von großer Wichtigkeit, wobei der Zufall eine unliebsame Rolle spielt. Es lassen sich im allgemeinen zwei Ausbildungsarten beobachten: entweder ist das Karbonat klein ausgebildet und dann über den ganzen Schliff verteilt in inniger Vermengung mit dem Talk, oder es ist grob ausgebildet (es entstehen Flächen, die das ganze Gesichtsfeld einnehmen können) und dann viel schärfer vom Talk abgegrenzt. Erstere Anordnung ist als die ursprünglichere anzusehen, letztere als schon mehr sekundärer Natur — das Werk der Sammelkristallisation. Die

chemischen Analysen zeigen, daß es sich um Magnesit handelt mit geringer Beimengung von kalzitischer oder dolomitischer Substanz; im folgenden mögen seine näheren Eigenschaften zusammengefaßt werden.

Die ganzen Individuen zeichnen sich durch ein vollständiges Fehlen von Zwillingen nach  $(01\bar{1}2)$  aus und zeigen nur als Seltenheit solche nach  $(02\bar{2}1)$ ; hingegen ist die Tendenz zur idiomorphen Ausbildung eine starke, wie aus zahlreichen großen und kleinen rhomboëdrischen Schnitten zu ersehen ist. Auf allen diesen ist die rhomboëdrische Spaltbarkeit scharf ausgeprägt, wobei aber die Spaltwinkel wegen ungenügend scharfer Orientierung der Schnitte zur Bestimmung des Minerals wertlos sind. Das Karbonat hat im durchfallenden Licht ein recht trübes Aussehen; die Großzahl der Schnitte zeigen sogar eine schmutzig graubraune Färbung, die im parallel polarisierten Licht für Schwingungen des ordentlichen Strahles sehr tief sein kann, um für diejenigen des außerordentlichen Strahles bis zur gänzlichen Farblosigkeit auszubleichen. Das Aussehen und Verhalten ist hier ganz anders als bei den ebenfalls auftretenden, durch Limonitausscheidung gelb gefärbten Körnern, die bei Drehung des Tisches wohl ihr Relief, nicht aber die Farbe ändern. Schnitte, die nahezu senkrecht zur Hauptachse getroffen sind, finden sich in fast jedem Schliff. Im Orthoskop fallen sie wegen der tiefen (bunteren!) Polarisationsfarbe, bzw. wegen der bläulichen Farbe, die der völligen Auslöschung nahe kommt, gleich auf, im parallel polarisierten Licht durch sehr hohes Relief infolge der starken Brechung des ordentlichen Strahls und die fast niemals deutliche Spaltbarkeit. Die Achsenbilder sind die typisch karbonatischen und gut zentriert. Insofern die braune Trübung auf solchen Schnitten wahrnehmbar ist, verändert sie sich bei Drehung des Tisches natürlich nicht,<sup>1</sup> wie auch das Relief naturgemäß sich stets gleich bleibt. Idiomorphe Umgrenzung wurde nicht beobachtet. Einschlüsse von den bekannten spitz ausgebildeten Serpentinindividuen sind in allen Schliffen überaus häufig.

c. Sekretionäre Bildungen: Die sekretionären Talkbildungen treten in Form von Blättchen auf, die bei größerer Ausbildung als der sonstige Umwandlungstalk dank den

<sup>1</sup> Die Erscheinung gemahnt an die Beobachtung von J. L. C. Schroeder van der Kolk! (zitiert in Rosenbusch „Physiographie“ Bd. I, 2, pag 99).



schon erwähnten typischen Polarisationsfarben leicht erkennbar sind. Die Individuen sind meist deutlich umgrenzt, auch dann, wenn sie randlich zerfranst sind, und weisen gern wellig gekrümmte, auch fächerförmige Aggregate auf, die dann unzulöse Auslöschung zeigen. Im Schliff ist auf den Schnitten stets feine Spaltbarkeit nach der Längsrichtung vorhanden, und senkrecht zu dieser steht die Ebene der optischen Achsen, so daß normalerweise gerade Auslöschung stattfinden muß. Das Verhalten eines gesonderten Spaltblättchens wurde schon pag. 32 angegeben.

Neues bietet das sekretionäre Karbonat durch das Hinzutreten von Kalzit mit groß ausgebildeten, im Orthoskop farbenprächtigen Druckzwillingen. Erwähnenswert ist außerdem das mikroskopische Aussehen der Karbonattalkverwachsungen, die sich auch hier durch langgestreckte Formen auszeichnen. Einheitliche Karbonatindividuen, oft zehn oder mehrmals länger als breit, wechsellagern mit Talkaggregaten, bestehend aus lauter in die Länge gezogenen Einzelindividuen. Kataklastische Spuren, sowie mechanische Deformationen fehlen diesen Schliffen durchwegs. Im Gegenteil löschen die Talkstreifen ungewöhnlich gleichmäßig aus; auch das mit Zwillinglamellen versehene Karbonat pflegt keine Unregelmäßigkeiten aufzuweisen, wodurch die Möglichkeit des Entstehens dieser Ausbildungsart durch mechanische Druckwirkung jedenfalls beseitigt wird und Kristallisationsstreckung als Ergebnis chemisch wirkender Streßtigkeit zur plausibelsten Erklärung wird. Für den besondern Fall, daß die Karbonate als Kluftausfüllung dienen, wobei die Längsrichtung quer zum Salband steht, wird vermutlich früher vorhandener Faserserpentin dieser Formannahme seine Hilfe beige-steuert haben.

## 2. Die Chlorite der Talkgesteine.

Die Schriffe der talkigen Gesteine zeigen, daß diese neben dem mehrfach erwähnten Klinochlor der Serpentine Gesteine Chlorit von noch anderer Art führen, des weitern aber auch Substanzen, die trotz aller Aehnlichkeit mit den Chloriten Anlaß geben, die Einreihung in diese Familie fraglich zu machen. Alle diese Mineralien weisen unter sich gemeinschaftliche Eigenschaften auf, so daß es den Anschein hat, als seien sie auseinander entstanden, wie im einzelnen jetzt dargetan werden mag.

Als Ausgangspunkt diene der Klinochlor selber, der oft in noch ganz derselben Ausbildung auftritt wie früher — farblos, mit grauen oder grünen Polarisationsfarben und  $e_g$  parallel der Spaltbarkeit. Diese Eigenschaften können sich aber insofern modifizieren, als die Doppelbrechung eine Tendenz zum Steigen hat, was dann braungelbe oder gar orange Farben der ersten Ordnung, bei den grün polarisierenden ebenfalls ein Lichter- (Gelber-) werden der Interferenzfarbe mit sich bringt. Die Schliffdicke wurde stets an der Hand der Polarisationsfarbe anderer bekannter Komponenten kontrolliert. Dabei können die Schnitte im parallel polarisierten Licht entweder nach wie vor farblos bleiben, oder aber Eigenfarbe mit ausgesprochenem Pleochroismus annehmen; sie sind dann für Schwingungen nach  $e_g$  (im Schnitt stets parallel der Spaltbarkeit) gelblichgrün, senkrecht dazu gelbbraun. Diese Farben sind zart und erstrecken sich nicht immer über das ganze Individuum, sondern können auch strichweise auf sonst farblosen Blättern auftreten. Die Diagnose muß in allen diesen Fällen nach wie vor auf Klinochlor lauten. Bei ganz demselben Aussehen im parallel polarisierten Licht können sich aber im Orthoskop durchaus abweichende Eigenschaften geltend machen. An Stelle nämlich der normalen Interferenzfarben kann das anormale Tintenblau, wie es beim Pennin charakteristisch ist, erscheinen, welcher Wechsel immer mit einer Umgruppierung der optischen Elastizitäten im Blättchen verbunden ist, so daß nunmehr die Längsrichtung gleich  $e_p$  wird. Auch wird beim Gleichbleiben von Eigenfarbe und Pleochroismus das Verhältnis der Farben zu den Elastizitäten gewechselt. Das Blau der Interferenzfarbe schwankt in erheblichem Maße und variiert von sehr dunklem Schwarzblau (fast gänzlicher Isotropie) über prachtvoll tiefviolettblaue Töne zu viel helleren und mehr graublauen oder bläulichgrünen Farben. Eine gesetzmäßige Aenderung der Eigenfarbe mit der Polarisationsfarbe war nicht mit Sicherheit festzustellen; nur ließ sich beobachten, daß vereinzelt viel intensiver als gewöhnlich gefärbte Blätter auch ungewöhnlich helle Interferenzfarben geben.

Die konoskopische Untersuchung dieser Substanzen war sehr wenig aufschlußreich; immerhin konnte an solch blau interferierenden Individuen hie und da ein einachsiges Kreuz beobachtet und positive Doppelbrechung nachgewiesen werden. Verwachsungen von solchen Blättchen, mit den als Klino-

chlor bezeichneten, sind sehr häufig, ja fast regelmäßig vorhanden, wobei es den Anschein hat, als liegen letztere relik-tisch in den andern drin. Oft ist dieses Verhältnis nur bei gekreuzten Nicols sichtbar, da an der Hand der Eigenfarbe kein Unterschied zutage tritt; indessen sind auch Verwachsungen von ungleich stark gefärbten Exemplaren gefunden worden, die sich dann ohne Analysator sofort erkennen lassen.

Allem Anschein nach handelt es sich hier um eine Umwandlung des Klinochlors in Pennin, welche auch in Zwischenstadien zu beobachten ist, daher das Auftreten etwas undefinierter Uebergangsglieder. Allerdings gemahnen die heller blau interferierenden Schnitte im Orthoskop außerordentlich an Serpentin, und ganz fraglos sind grüne, nicht pleochroitische, des weitern gewisse mit Bänderanordnung von grünlichgelb zu gelblichgrün wechselnden Substanzen als solchen anzusehen, womit auch Uebergänge von Pennin zu Serpentin gegeben erscheinen. Verwachsungen von ganz eindeutigem Serpentin mit ebensolchem Klinochlor sind durchaus keine seltene Erscheinung; sie treten in Form von scheinbar einheitlichen Klinochlorblättchen auf, um sich im Orthoskop umso schärfer sowohl nach Interferenz wie nach Benehmen gegen dem Gipsblättchen Rot I. Ordnung als heterogen zu unterscheiden. Gewöhnlich ist eine isotrope oder sehr tief doppelbrechende Linie an der Grenze beider Mineralarten vorhanden.

Die Tatsachen müssen als sich zu einem Kreise schließend angesehen werden, was bei der bekannten, engen Verwandtschaft der in Frage kommenden Mineralien auch das Natürliche ist. Freilich sind die Ursachen der Umwandlung nicht in allen Fällen gleich leicht erfaßlich. Daß ein Klinochlor (nach Tschermak<sup>1</sup>  $\text{Sp. At-Sp}_2 \text{At}_3$ ) in einem serpentinreichen Milieu sich zu dem an „Sp“-Molekülen reicheren Pennin (nach Tschermak  $\text{Sp}_3 \text{At}_2\text{-Sp. At}$ ) umwandeln kann, wäre leicht begreiflich, ebenso daß dieser seinerseits durch weitere Aufnahme solcher Moleküle sich dem reinen Serpentin nähern kann. Daß aber Serpentin unter Umständen bei fehlender Tonerdequelle (bei der Olivinumwandlung z. B.) sehr chloritähnlich werden kann, scheint etwas erstaunlich. Es ist dies aber eine Erscheinung, die von den verschiedensten Beobachtern schon konstatiert wurde, und auch das vorliegende Studium der Maschenserpentine (pag 12) zeigt, daß an solchen

<sup>1</sup> Lit. 14.

chloritähnlichen Zwischenstadien, die erst nachträglich nach erfolgter Erzausscheidung typischen Serpentinhabitus annehmen, unbedingt festzuhalten ist. Eine Erklärung der ganzen Erscheinung kann offenbar nur dann befriedigen, wenn sie auch vom Standpunkte des Chlorits aus annehmbar erscheint, und so mag es am Platze sein, noch einmal in aller Kürze auf diese Mineralgruppe zurückzukommen.

Die Chlorite stellen eine Mischkristallreihe zwischen Amesit und Serpentin dar (Tschermak a. a. O.). Daß es sich um ein sehr vollständiges und variationsfähiges Mischungsverhältnis handelt, geht wohl daraus hervor, daß abgesehen von den Hauptvertretern der Reihe (an sich ja schon chemisch recht variabel) zahlreiche untergeordnete Varietäten, zum Teil recht wenig scharf präzisierte Natur, beschrieben wurden, die teilweise auch nachträglich angefochten wurden auf Grund mangelnder Selbständigkeit. Sie stellen wohl nichts anderes dar als ungewöhnliche Mischungsglieder, von welchen genügend peinliche Untersuchung wohl noch viele mehr aufdecken würde. Sehr auffallend ist deswegen das fast gänzliche Ausbleiben von verbürgten Beispielen der extremen Endglieder, und dies sowohl gegen Amesit als gegen Serpentin. Daß es sich in beiden Fällen nicht um die gleiche Erscheinung handelt, beweist die Tatsache, daß der Amesit für sich von gänzlich untergeordneter Bedeutung ist, im Gegensatz zur enormen Verbreitung vom Serpentin. Eine endgültige Lösung der Frage über die Beständigkeit dieser Endglieder bleibt wohl dem Experimente vorbehalten.

Für die Sp-reichen Endglieder ist aber auch im günstigsten Falle, daß die Körper bestandsfähig sind, ein häufigeres Auftreten nicht zu erwarten, da in Mineralien und Gesteinen, die einen genügend großen Magnesiumreichtum haben für Bildungen dieser Art, die Tonerde oft nur als ganz unregelmäßig vikariierender Bestandteil zugegen ist, unter Umständen überhaupt fehlt. Die weite Verbreitung von schwach tonerdeführenden Serpentinien ist verschiedentlich hervorgehoben worden; doch veranlaßt das unstetige Verhalten dieser Tonerdeführung, eine direkte Ableitung solcher Serpentine als Endglieder der Chloritreihe noch als zweifelhaft hinzustellen.<sup>1</sup> Als weiteres Moment muß aber noch in Betracht gezogen werden, daß mit dem Magnesiumreichtum häufig auch eine reichliche Eisenführung parallel geht, so daß namentlich bei Vorgängen,

<sup>1</sup> Siehe z. B. Lit. 15, Bd. II, 1. Hälfte, pag. 411.

die mit Oxydation verknüpft sind, bei denen also auf das Vorhandensein von Fe<sup>III</sup> gerechnet werden darf, günstige Verhältnisse bestehen für die isomorphe Vertretung von Al<sup>III</sup> durch Fe<sup>III</sup>. So könnten dann Amesitmoleküle, wo teilweiser, unter Umständen auch vollständiger Ersatz von Al<sup>III</sup> durch Fe<sup>III</sup> stattgefunden hat (im Grenzfall also der Form  $H_4Mg_2Fe_2SiO_6$ ) auftreten, die dann mit Sp-Molekülen Verbindungen liefern könnten, die eng mit den normalen Chloriten verwandt wären, und gewissermaßen an die Stelle der normalen tonerdehaltigen Endglieder treten würden.

Es scheint die Hoffnung gerechtfertigt, daß die systematische Einordnung mancher der „chloritähnlichen“ und „serpentinähnlichen“ Mineralien im Sinne dieser Anschauungsweise gelingen müßte. Der Villarsit von R. Brauns<sup>1</sup> ist ein typisches Beispiel von solchen Mineralien. Er tritt bekanntlich als erstes Umwandlungsprodukt des Olivins auf, und besitzt, wie bereits H. Rosenbusch hervorhob,<sup>2</sup> chloritähnlichen Pleochroismus. Auch die in dieser Arbeit beschriebenen chloritähnlichen Zwischenprodukte wären unter diese Kategorie zu nehmen, und zwar sowohl diejenige vom Serpentinierungsprozeß, als auch die vom späteren Talkisierungsprozeß. Die vorübergehenden Ungleichgewichtsbedingungen, die bei letzterem wohl auftreten müssen, könnten sehr wohl die Ursache erneuerter Eisenaufnahme durch den Serpentin und schon bestehenden Klinochlor sein. Als Zeichen, daß dies tatsächlich der Fall ist, ist die Zunahme der Doppelbrechung und der Eigenfarbe bei den Chloriten zu erwähnen, ferner auch das Verschwinden der Erzäderchen in reliktschen Serpentinbändern, die dafür aber wieder die charakteristische Färbung aufweisen, endlich auch die Pseudomorphosen von Karbonat und Bänderserpentin, in denen der Magnetit oft fehlt.

Zum Schlusse sei es dem Autor noch gestattet, Herrn Prof. Dr. U. Grubenmann für viele Anregungen und kräftige Unterstützung bei den Ausführungen dieser Arbeit aufs herzlichste zu danken.

Zürich  
Mineralogisch-Petrographisches Institut  
der E. T. H.

<sup>1</sup> Lit. 16, ferner Lit. 17.

<sup>2</sup> Mikroskopische Physiographie.

## Literaturnachweis.

1. Arnold Heim: Der Talkbergbau von Disentis in Graubünden. Zeitschrift für praktische Geologie, 26. Jahrgang 1918, Heft 1.
2. H. F e h l m a n n: Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges, Bern 1919.
3. R. B r a u n s: Studien über den Palaeopikrit von Amelose bei Biedenkopf und dessen Umwandlungsprodukte. Neues Jahrbuch für Min., Geol. und Pal. V. Beilage-Bd., 1887.
4. G. T s c h e r m a k: Beobachtungen über die Verbreitung des Olivins. Ueber Serpentinbildung. Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften, Bd. LVI, 1. Abt., Wien 1867.
5. R. v. D r a s c h e. Ueber Serpentine und serpentinähnliche Gesteine. Tschermaks Min. Mitteilungen, Heft I, 1871.
6. E. C o h e n: Sammlung von Mikrophotographien zur Veranschaulichung der Mikrostrukturen der Minerale und Gesteine. 2. Aufl., 1884, Tafel XLIV, Fig. 3.
7. E. W e i n s c h e n k: Die gesteinsbildenden Mineralien. Freiburg i. Br. 1915.
8. U. G r u b e n m a n n: Beiträge zur Geologie des Unterengadins. II. Teil: Die kristallinen Gesteine. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, Neue Folge XXIII. 1909.
9. G. T s c h e r m a k: Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften, Wien 1890, 99, 254 (Zitat nach Hinze. Handbuch der Mineralogie).
10. F. B e c k e: Olivinfels und Antigoritserpentin aus dem Stubbachtal (Hohe Tauern). Tschermaks Min. u. Petr. Mitteil. 14, 1894.
11. J. J a k o b: Zur Theorie der magmatischen Mineralisatoren. Zeitschrift für anorganische Chemie, Bd. 106, 1919.
12. A. O s a n n: Der chemische Faktor in einer natürlichen Klassifikation der Eruptivgesteine, I. Abhandlung der Heidelberger Akad. der Wissenschaften, 8. Abhandl. der Math. Naturw. Klasse, Heidelberg, 1919.
13. F r e d e r i c k, H. H a t c h: Ueber den Gabbro aus der Wildschönau im Tirol und die aus ihm hervorgehenden schiefrigen Gesteine. Tschermaks Min. u. Petr. Mitteilungen, VII. Bd., 1886.
14. G. T s c h e r m a k: Die Chloritgruppe. Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaft, Bd. XCIX, IV. Heft.
15. C. D o e l t e r: Handbuch der Mineralchemie, Dresden 1914.
16. R. B r a u n s: Minerale und Gesteine aus dem hessischen Hinterland. Zeitschrift der deutschen Geol. Gesellschaft, Bd. XL., Heft 3, 1888.
17. H. M i c h e l: Geologisch-petrographische Untersuchungen im Gebiet der Erzgebirgsbruchzone westlich Bodenbach. Tschermaks Min. u. Petr. Mitteilungen XXXII, Band 1914.
18. Chr. T a r n u z z e r: Talkschiefer und Lavezsteine des Bündner Oberlandes. LVIII. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens, 1918.
19. H. R o s e n b u s c h und E. A. W ü l f i n g: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine, Bd. I, 1. u. 2. Hälfte, IV. Aufl., Stuttgart 1905.
20. U. G r u b e n m a n n: Die kristallinen Schiefer, II. Auflage, Berlin 1910.