

# Zur Kenntnis der Pyroxene der Meteoriten.

Von

*H. Michel.*

Mit einer Tafel (Nr. V).

---

In den Meteoriten treten sowohl monokline wie auch rhombische Pyroxene als wesentliche Gemengteile auf. Die monoklinen Pyroxene hat W. Wahl einer Untersuchung unterzogen und sie mit den Pyroxenen der Diabase zusammen in der Gruppe der Enstatitaugite vereinigt. Zur Erklärung der abweichenden optischen Verhältnisse bei den Enstatitaugiten nahm W. Wahl an, daß das durch zahlreiche Synthesen erhaltene monokline  $MgSiO_3$  in isomorpher Beimengung in diesen Augiten enthalten ist, wodurch auch der relativ niedere Kalkgehalt seine Erklärung fand. Dieses monokline  $MgSiO_3$  war von Ebelmen, Michel-Levy, Fouqué, Hautefeuille, Meunier künstlich dargestellt worden und hatte nahezu übereinstimmende physikalische Eigenschaften ergeben. W. Wahl stellte es gleichfalls dar.

W. Wahl hat aber auch das annähernd reine monokline  $MgSiO_3$  in den Meteoriten angetroffen, und zwar in den Chondriten von Bjurböle und Mezö-Madaracs. Für die künstlichen Mg-Pyroxene wie für die Chondritenpyroxene sind charakteristisch die polysynthetische Zwillingsbildung nach 100 und die ungefähr  $28^\circ$  auf 010 betragende und symmetrisch verlaufende Auslöschungsschiefe *cy*.

Diese Pyroxene sind aber nicht auf die Chondriten beschränkt, sondern finden sich ganz allgemein verbreitet in den Meteoriten sowohl allein als auch in Gemeinschaft mit rhombischen Pyroxenen gleicher Zusammensetzung und mit den Enstatitaugiten. In irdischen Gesteinen scheint das monokline  $MgSiO_3$  sehr selten zu sein und wir müssen uns fragen, warum das  $MgSiO_3$  gerade in den Meteoriten so häufig in monokliner Form auftritt.

Um diese Verhältnisse zu erörtern, müssen wir zunächst die über die Enstatite und monoklinen Mg-Pyroxene angestellten Untersuchungen erwähnen.

Über die Beziehungen der Glieder der Enstatitgruppe zu den analog zusammengesetzten durch künstliche Darstellung erhaltenen monoklinen Verbindungen sind derzeit mehrere Ansichten geäußert.

Während früher ganz allgemein von einer Dimorphie gesprochen wurde, behauptete Groth<sup>1)</sup> 1904, daß die beiden Formen des  $MgSiO_3$  (und  $FeSiO_3$ ) zu einander im Verhältnis der Polysymmetrie stünden und das deshalb, weil die monoklinen Kristalle von  $MgSiO_3$  immer polysynthetische Zwillinge nach (100) sind und bei genügend feiner Verzwillingung dadurch tatsächlich pseudorhombische Kristalle geliefert werden können. Die Ansicht Groths wurde in einer Arbeit von E. T. Allen, F. E.

---

<sup>1)</sup> P. Groth. Einleitung in die chemische Kristallographie, p. 7.

Wright und J. C. Klement<sup>1)</sup> über die Mineralien der Zusammensetzung  $MgSiO_3$  bekämpft. Nach den genannten Autoren ist die Verbindung  $MgSiO_3$  tetramorph und zwischen den beiden der Pyroxengruppe angehörigen Gliedern existiert ein Umwandlungspunkt zwischen 1100 und 1500°, unterhalb dieser Temperatur ist der Enstatit stabil, oberhalb derselben die monokline Modifikation.

Diese monokline Modifikation wurde von W. Wahl<sup>2)</sup> als Klioenstatit-Klinohypersthen bezeichnet. Auch zu der Frage über das Verhältnis Enstatit zu Klioenstatit hat W. Wahl<sup>3)</sup> Stellung genommen. In einer Arbeit über die Analogien zwischen den Gliedern der Pyroxen- und Feldspatgruppen verweist er zwar darauf, daß sich die Theorie von Mallard und Michel-Levy auch für den Fall Enstatit-Klioenstatit verwenden läßt, kommt aber dann doch zu dem Schlusse, daß infolge der Wärmetönung, die von den amerikanischen Autoren bei der Umwandlung Enstatit-Klioenstatit gefunden wurde, eine monotrope Umwandlung angenommen werden müsse, obwohl es sich zweifellos um «äußerst nahestehende Modifikationen» handle.

Auf die Einwände W. Wahls entgegnete F. Zambonini<sup>4)</sup> in eingehender Weise. Er zeigte, daß die physikalischen Eigenschaften des Enstatites und Klioenstatites innerhalb der Fehlergrenze übereinstimmen, daß die variierende Auslöschschiefe  $\gamma$  auf (010), die das einzige Unterscheidungsmerkmal ist, für die Polysymmetrie spricht und nicht für Polymorphie. Die von verschiedenen Autoren erhaltenen künstlichen monoklinen Kristalle der Zusammensetzung  $MgSiO_3$  zeigen nämlich keine konstante Auslöschschiefe, was mit dem verschiedenen Grad der Feinheit der Verzwilligung und der dadurch bedingten Kompensation im Einklang stehe.

In einer Notiz «Über Enstatit und Klioenstatit» hat F. E. Wright<sup>5)</sup> eine Korrektur seiner Winkeltabelle gegeben und gleichzeitig auf den verschiedenen Gehalt an Wärmeenergie in Enstatit und Klioenstatit verwiesen, der beweist, daß Polymorphie vorliege. F. Zambonini<sup>6)</sup> hält auch nach diesen Korrekturen seine Behauptung aufrecht, daß Enstatit und Klioenstatit sehr nahestehende Kristallformen besitzen, und macht darauf aufmerksam, daß die theoretischen Werte des Enstatits immer zwischen denen liegen, die F. E. Wright für die entsprechenden positiven und negativen Formen des Klioenstatits gefunden hat, die zu Zwillingen zusammentreten. Bezüglich der Energieänderung bemerkt er, daß die Bestimmungen so große Schwankungen zeigen, daß man daraus keine sicheren Schlüsse ziehen dürfe.

E. T. Allen und W. P. White<sup>7)</sup> haben im Verein mit F. E. Wright und E. S. Larsen das System  $CaSiO_3$ — $MgSiO_3$  bearbeitet und haben gefunden, daß sich das  $MgSiO_3$  in drei Modifikationen bilden kann: bei niedriger Temperatur tritt es als Enstatit auf, genügend hoch erhitzt, über 1150°, ist das  $\beta MgSiO_3$  stabil, identisch mit dem Klioenstatit Wahls, über 1365° ist eine rhombische Modifikation des  $\alpha MgSiO_3$  stabil, die mit dem Forsterit viel Ähnlichkeit hat und deren Schmelzpunkt bei 1524° gelegen

<sup>1)</sup> E. T. Allen, F. E. Wright und J. C. Klement, Mineralien von der Zusammensetzung  $MgSiO_3$ ; ein Fall von Tetramorphie. Am. Journ. of Sci., 1906, 22, p. 385.

<sup>2)</sup> W. Wahl, Die Enstatitaugite. Tschermarks Min. u. Petr. Mitt., 26, p. 121.

<sup>3)</sup> W. Wahl, Analogien zwischen Gliedern der Pyroxen- und Feldspatgruppen und über die Perthitstrukturen. Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar, 50, 1906—1907, p. 2.

<sup>4)</sup> F. Zambonini, Die morphotropischen Beziehungen zwischen Enstatit, Diopsid, Hedenbergit, Ägirin und Spodumen. Zeitschr. f. Krist., 46, p. 1, 1909.

<sup>5)</sup> F. E. Wright, Über Enstatit und Klioenstatit. Zeitschr. f. Krist., 46, p. 600.

<sup>6)</sup> F. Zambonini, Über Enstatit und Klioenstatit. Zeitschr. f. Krist. 46, p. 601.

<sup>7)</sup> E. T. Allen und W. P. White, Diopside and its relations to Calcium and magnesium meta-silicates. Am. Journ. of Sci., 37, 157, 1909, p. 1—47.

ist. Die Umwandlung Enstatit- $\beta$ MgSiO<sub>3</sub> ist monotrop, die Umwandlung  $\beta$ MgSiO<sub>3</sub>- $\alpha$ MgSiO<sub>3</sub> ist enantiotrop und erfolgt in einem Intervall, das von 1365° je 40° nach beiden Richtungen umfaßt. Die Beweglichkeit der Moleküle bei dieser Umwandlung scheint nur gering zu sein, es stellen sich bei der Rückumwandlung der  $\alpha$ -Form zur  $\beta$ -Form wieder die Zwillingslamellen ein, allerdings manchmal an verschiedenen Stellen. Das  $\alpha$ MgSiO<sub>3</sub> kommt in der Natur nicht vor. Das künstlich erhaltene  $\alpha$ MgSiO<sub>3</sub> zeigte die Kristallform des Olivins und gute Spaltbarkeit nach 100. Die optische Achsenebene // 100,  $a=\beta$ ,  $b=\gamma$ ,  $c=\alpha$ , optischer Charakter (+)  $2V\gamma=60^\circ$ . Gegen Forsterit spricht die Lage der Achsenebenen // 100, gegen Enstatit die Orientierung der Richtungen  $\alpha$  und  $\gamma$ . Jedenfalls handelt es sich um eine äußerst selten auftretende, sehr instabile Modifikation.

Eine Arbeit von G. Zinke<sup>1)</sup> hat für die Lösung der Frage über das Verhältnis von Enstatit zu Klinoenstatit keine Entscheidung gebracht; G. Zinke erhielt gewöhnlich beide Modifikationen des MgSiO<sub>3</sub>. Auch nach seinen Untersuchungen kommen durch Verzwillingung der monoklinen Individuen nach (100) Gebilde zustande, die kristallographisch und optisch mit Enstatit übereinstimmen müssen. Durch Erhitzung des MgSiO<sub>3</sub> im Moissanofen (elektrischer Lichtbogenofen) erhielt er ein rhombisches Produkt, das er mit Enstatit identifizierte und das vielleicht mit dem  $\alpha$ MgSiO<sub>3</sub> ident sein dürfte. Da aber dieses  $\alpha$ MgSiO<sub>3</sub> sicher keine große Bedeutung haben kann, handelt es sich eigentlich doch nur um das Verhältnis Enstatit zu Klinoenstatit ( $\beta$ MgSiO<sub>3</sub>).

Wenn Enstatit und Klinoenstatit im Verhältnis der Polysymmetrie zueinander stehen, dann ist zu erwarten, daß der Enstatit, als die feiner verzwilligte Form, jedenfalls längere Zeit zu seiner Bildung brauchen wird als der monokline Pyroxen, der grobe Zwillingsleisten besitzt. Damit steht durchaus im Einklang, daß der Enstatit als die bei niederen Temperaturen stabile Form betrachtet wird, während bei höheren Temperaturen der monokline Pyroxen beständig sein soll. Anlässlich einer Untersuchung der Feldspate der Meteoriten fiel dem Autor das häufige Auftreten dieser monoklinen, polysynthetisch verzwilligten Pyroxene in den Meteoriten auf und er war geneigt, außer einer von den irdischen Gesteinen abweichenden chemischen Zusammensetzung auch die bei den Meteoriten zweifellos zutreffenden abweichenden physikalischen Bedingungen dafür verantwortlich zu machen. Zu diesen für die Meteoriten charakteristischen physikalischen Bedingungen gehört die plötzliche Erhitzung derselben auf ihrem Fluge durch den Weltraum aus verschiedenen Ursachen und die ebenso plötzlich erfolgende jähe Abkühlung. Dadurch sind zahlreiche bezeichnende thermometamorphe Erscheinungen zustande gekommen, wie sie sich beispielsweise an den Plagioklasen der Meteoriten äußern. Ebenso kann wohl für die ursprüngliche Bildung der Gemengteile der Meteoriten im allgemeinen eine raschere Abkühlung angenommen werden als für die irdischen Gesteine.

Die von Zambonini gegebenen Beweise, daß sich Enstatit und Klinoenstatit in keiner physikalischen Eigenschaft voneinander unterscheiden, wie dies bei polymorphen Modifikationen der Fall sein müßte, sprechen dafür, daß Polysymmetrie vorliegt. Es liegt nun der Gedanke nahe, es den physikalischen Entstehungsbedingungen zuzuschreiben, daß sich in den Meteoriten so häufig Klinoenstatit findet, während die irdischen Gesteine den Enstatit enthalten. Bei rascher Abkühlung kann sich zunächst monokliner Pyroxen bilden und die auftretenden groben Lamellen werden von immer feineren

<sup>1)</sup> G. Zinke, Experimentelle Untersuchungen an einigen Metasilikaten. Neues Jahrb. f. Min., 1911, I, p. 117.

Lamellen umgeben, bis schließlich diese Lamellen submikroskopisch werden und scheinbar rhombische Partien auftreten. Dieses Bild zeigt sich in der Tat bei den Meteoritenpyroxenen häufig und deshalb scheint das rasche Erhitzen und Abkühlen der Meteoriten das Auftreten von Klinoenstatit neben Enstatit zu bedingen.

Daß für die irdischen Enstatite tatsächlich eine langsamere Abkühlung erforderlich ist, beweisen Versuche, die Hofrat Doelter in der letzten Zeit angestellt hat und die ergeben haben, daß das  $MgSiO_3$ , wenn es auch bei hohen Temperaturen längere Zeit gehalten wird, durchaus rhombische Kristalle bildet, während es nur bei rascher Abkühlung Klinoenstatit liefert. Dieser Wechsel ist an keine Temperatur gebunden, sondern hängt nur von der Abkühlungszeit ab. Auch natürlicher Enstatit liefert beim raschen Abkühlen monokline Lamellen. Nach den Angaben von G. Zinke<sup>1)</sup> soll sich der Klinoenstatit bei langsamerer Abkühlung bilden. Diese Angabe stützt sich zum Teil auf den Versuch im Moissanofen, bei dem möglicherweise das  $\alpha MgSiO_3$  erhalten wurde. Die Angaben über die Abkühlungsdauer im Fourquignonofen sind nicht beweisend, denn es kann zufälligerweise auch bei einer anscheinend sehr langsamen Abkühlung gerade der Bereich, in dem Kristallisation stattfindet, sehr rasch durchlaufen werden.

Wichtiger scheint mir eine Angabe von W. Wahl<sup>2)</sup> zu sein, der aus dem Stein von Mezö-Madaracs Chondren beschrieben hat, in denen sich zuerst Enstatit, dann erst in den Zwischenräumen Klinoenstatit ausgeschieden hatte. Diese Tatsache läßt sich aber unter der Annahme von Polymorphie der beiden Formen, wobei der Enstatit bei niederen Temperaturen stabil sein soll, erst recht nicht erklären. Eine umfassende Untersuchung der Pyroxene wird wohl auch in diese Sache Licht bringen. Die Angaben von Allen, Wright und Klement,<sup>3)</sup> daß sich aus einer Schmelze von  $MgSiO_3$  bei langsamer Kühlung das monokline Silikat bilden soll, werden später bei der Beschreibung der Pyroxene aus dem Stein von Bishopville erörtert werden.

Die Art des Auftretens dieser Pyroxene, ihre gegenseitige Vergesellschaftung soll im folgenden an Hand der Steine von Busti, Pawlowka, Frankfort und Bishopville besprochen werden. Diese wenigen Beispiele werden genügen, um zu zeigen, in welcher Mannigfaltigkeit die einzelnen Glieder der Pyroxengruppe vorhanden sein können und welchen Einfluß dabei die wechselnden Temperaturen haben, denen die Meteoriten ausgesetzt sind.

### Busti.

Über die Pyroxene des Steines von Busti ist eingehend von J. St. Maskelyne<sup>4)</sup> gehandelt worden. Nach den Untersuchungen Maskelynes ist zunächst ein monokliner Pyroxen vorhanden, der mit einem Diopsid große Ähnlichkeit besitzt und den auch G. Tschermak<sup>5)</sup> als solchen beschreibt. Er enthält nach der Analyse Maskelynes einen Gehalt an 23·33% MgO und 19·98 CaO und Maskelyne erklärt den hohen Mg-Gehalt durch Beimengung feiner Enstatitlamellen, die // 001 eingelagert sind. Ein Gehalt an Titansäure bedingt wahrscheinlich den schwachen Pleochroismus, den dieser Pyroxen zeigt. W. Wahl<sup>6)</sup> ist geneigt, ihn nicht für einen durch Enstatit-

<sup>1)</sup> G. Zinke, l. c., p. 140.

<sup>2)</sup> W. Wahl, Enstatitaugite, p. 99 u. 101.

<sup>3)</sup> Allen, Wright und Klement, l. c., p. 431.

<sup>4)</sup> N. St. Maskelyne, On the mineral constituents of meteorites. Phil. Trans. of the Royal Soc., 1870, Vol. 160, p. 189—214.

<sup>5)</sup> G. Tschermak, Die mikroskopische Beschaffenheit der Meteoriten, 1885, p. 9.

<sup>6)</sup> W. Wahl, Die Enstatitaugite, p. 89.

lamellen verunreinigten magnesiumreichen Diopsid zu halten, sondern reiht ihn unter die kalkarmen Enstatitaugite ein, unter denen er allerdings ein relativ kalkreiches Glied darstellen würde. Er kommt reichlicher in dem konkretionsähnlichen Teil des Steines vor, der auch den Oldhamit enthält, als in dem übrigen Teil. Die auftretenden Enstatite sind gleichfalls ausführlich von N. St. Maskelyne beschrieben worden. Er unterschied dreierlei Enstatite, die alle zumeist in der Hauptmasse des Steines auftreten: einen farblos durchsichtigen, selten auftretenden, der bei der Analyse einen Gehalt an 1·677 CaO und 1·177 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ergab, einen grau durchscheinenden, der 2·294—2·376% CaO und 0·154—0·807% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> enthielt, sowie einen stark grau erscheinenden undurchsichtigen Pyroxen, der kalkfrei war, aber 1·458% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> besaß. Von dem zu beschreibenden Klinoenstatit, der bedeutend reichlicher auftritt als der Enstatit, erwähnt weder Maskelyne etwas, noch auch W. Wahl,<sup>1)</sup> der einen Dünnschliff untersucht hat.

In der letzten Zeit hat Direktor Berwerth neue Schliffe des Steines von Busti anfertigen lassen, welche eine Untersuchung der Pyroxene ermöglichten. Bei der Untersuchung ergab sich zunächst ein auffälliger Unterschied zwischen der «konkretionsähnlichen» Partie, die Oldhamit führt, und den anderen Teilen des Steines. Die erstere ist durchaus primär struiert und besteht zum größten Teil aus Oldhamit und Klinoenstatit, nur in geringer Menge ist noch der diopsidähnliche Pyroxen vorhanden, und grenzt sich scharf gegen die andere Masse des Steines ab, die eine ausgesprochene Breccienstruktur besitzt und alle Gemengteile in zertrümmerter und zerbrochener Form zeigt. Neben reinem Enstatit tritt noch Klinoenstatit, der diopsidähnliche Pyroxen, Olivin, Plagioklas auf, dagegen fehlt der Oldhamit ganz, es finden sich selten nur ganz kleine Splitter davon.

Beide Partien sollen getrennt behandelt werden.

### *Oldhamitführende primär struierte Partie.*

**Klinoenstatit.** Außer dem Oldhamit tritt überwiegend Klinoenstatit auf, und zwar zeigt er die charakteristische polysynthetische Verzwilligung nach (100) in hohem Grade. Die Körner enthalten positive und negative Partien, wenn man die in Zwillingsstellung befindlichen Individuen so bezeichnen will, die dort, wo sie einander überlagern, scheinbar rhombische Partien entstehen lassen. Meist überwiegen aber die einem Systeme angehörigen Lamellen, so daß dann neben den scheinbar rhombischen Partien nur noch das eine Lamellensystem von Klinoenstatit auftritt, eine Erscheinung, die eine gesetzmäßige Verwachsung vortäuscht. Wird dieser Klinoenstatit // 100 also  $\perp \beta$  getroffen, so erweckt er den Eindruck von Enstatit, weil die einzelnen Zwillingslamellen gewöhnlich nicht allzu fein sind. Die den beiden Systemen angehörigen Lamellen durchsetzen häufig nicht das ganze Korn, sondern liefern auf der Fläche (010) schachbrettähnliche Zeichnungen, wobei sich die Partien gegeneinander sehr unscharf und verschwommen abgrenzen. Die Auslöschung dieses Klinoenstatites beträgt auf der Fläche (010)  $\gamma = 26—29^\circ$ . Bei schiefer Schnittlage wechselt sie und nimmt Werte bei  $15^\circ$  an, die häufig zu beobachten sind. Der Achsenwinkel nähert sich sehr stark  $90^\circ$ , eine sichere Entscheidung, ob der Klinoenstatit positiv oder negativ sei, konnte daher nicht getroffen werden. Nach unseren jetzigen Vorstellungen ist also ungefähr 12—20% FeSiO<sub>3</sub> in diesem Pyroxen enthalten. Der Klinoenstatit scheint hier entweder primär durch rasche Abkühlung entstanden zu sein oder durch eine sekundäre Erhitzung und darauffolgende rasche Kühlung aus primärem Enstatit gebildet worden zu sein.

<sup>1)</sup> W. Wahl, Die Enstatitaugite, p. 89.

Neben dem Klinoenstatit tritt noch der monokline diopsidähnliche Pyroxen auf, für den W. Wahl<sup>1)</sup> den Namen

**Enstatitdiopsid** vorgeschlagen hat. Er hat eine bedeutend stärkere Doppelbrechung als der Klinoenstatit, mehr als doppelt so stark,  $\gamma - \alpha$  ist ungefähr 0,025, die Auslöschungsschiefe  $c\gamma$  in Schnitten möglichst // 010 beträgt 37—39°, die Achsenebene liegt // der Symmetrieebene; der Achsenwinkel um  $\gamma$  konnte wegen des spärlichen Auftretens leider nicht ziffernmäßig festgestellt werden, doch ist er, nach der Beschaffenheit der Interferenzbilder zu schließen, ungefähr 40—50°, der Pyroxen ist demnach positiv. Er ist reich verzwilligt nach 100 wie auch nach 001, die Streifung nach 001 erscheint meist dichter als die nach 100. Alle diese Merkmale sprechen dafür, daß ein kalkreiches Glied der Enstatitaugitreihe vorliegt und daß der von Wahl vorgeschlagene Name durchaus zutreffend ist. Von N. St. Maskelyne war die Auslöschungsschiefe  $c\gamma$  auf 010 mit 52° angegeben worden, weiters erwähnt er einen nicht unbedeutenden Pleochroismus, der jedoch in den derzeit vorliegenden Schlifften nicht beobachtet werden kann.

Der Enstatitdiopsid kommt in dieser konkretionären Partie mit dem Klinoenstatit meist in eutektstrukturähnlicher Durchdringung vor. In einem größeren Klinoenstatitkorn zeigen sich vereinzelte rundliche bis wurmförmig länglich gekrümmte Partien von Enstatitdiopsid, die alle gemeinsam auslöschten, also gleiche Orientierung haben. Gewöhnlich ist dabei der Klinoenstatit im Überschuß, nur an einer Stelle war Klinoenstatit in solchen vereinzelt, ganz an den Quarz des Schriftgranites erinnernden Partien vorhanden (siehe Fig. 2 und 3). Es muß also Klinoenstatit und Enstatitdiopsid sich gleichzeitig gebildet haben. Entweder ist diese Eutektstruktur primär, was wahrscheinlicher ist, oder es hat der Klinoenstatit  $\text{CaSiO}_3$  in fester Lösung enthalten und bei einer intensiven Erhitzung und Abkühlung dann den Enstatitdiopsid ausgeschieden.

Außer in dieser Form ist Enstatitdiopsid noch in der Weise mit dem  $\text{MgSiO}_3$  Pyroxene verbunden, daß er // 100 und // 001 schmale Lamellen von Enstatit oder einem dem Enstatit sich sehr stark nähernden Klinoenstatit eingelagert enthält, eine Erscheinung, die bereits Maskelyne beobachtet hat. Doch hat er nur die Lamellen nach 001 erkannt, das zweite System «läuft einer zweiten Fläche» parallel. Diese Art von Verwachsung fand sich nur an einer Stelle und es ist das die einzige Art, in der Enstatit in der konkretionären Partie vorhanden ist (siehe Fig. 1). Die eingeschalteten Lamellen sind sehr dünn und mit dem Enstatitdiopsid derart verbunden, daß die Mittellinie  $\alpha$  des Enstatits ( $\alpha = b$ ) mit der optischen Normalen  $\beta$  ( $\beta = b$ ) des Enstatitdiopsides zusammenfällt und die 100 Flächen parallel bleiben. Einzelne Lamellen lassen abermals eine ganz undeutlich verschwommene Streifung erkennen.

Daß hier Enstatit gebildet wurde, mag zum Teil darin bedingt sein, daß das  $\text{MgSiO}_3$  durch das Zusammenkristallisieren mit dem Enstatitdiopsid langsamer abgekühlt wurde, zum Teil mag auch durch die Verwachsung der dünnen Lamellen mit dem monoklinen Pyroxen ein Einfluß auf den Grad der Verzwilligung geübt worden sein, und zwar in dem Sinne, daß die Verzwilligung dadurch feiner wurde.

Derartige Verwachsungen von monoklinem und rhombischem Pyroxen sind seit langem bekannt und sehr oft<sup>2)</sup> beschrieben und abgebildet worden. W. Wahl hat in

<sup>1)</sup> W. Wahl, Die Enstatitaugite, p. 122.

<sup>2)</sup> A. Rosenbusch, Mikrosk. Phys., 1885, Taf. 17, Fig. 6. — Michel-Levy und A. Lacroix, Min. d. roches, 1888, p. 261, Fig. 160. — Aus Meteoriten sind in neuerer Zeit genau beschrieben eine

der oben zitierten Arbeit über die Analogien der Feldspat- und Pyroxengruppen den Namen Pyroxenperthite für solche Verwachsungen vorgeschlagen, und zwar schlägt er für die gesetzmäßigen Verwachsungen den Namen mikroperthitische Struktur vor im Gegensatz zu den perthitischen Verwachsungen, bei denen eine kristallographische Orientierung der Komponenten nicht nachweisbar ist. Nach W. Wahl sind die mikroperthitischen Strukturen durch gleichzeitiges Kristallisieren der Komponenten gebildet oder durch späteren Zerfall (während der Abkühlung) einheitlicher Produkte entstanden. Die perthitischen Strukturen sind dagegen stets sekundärer Natur.

In vorliegendem Fall handelt es sich zweifellos um mikroperthitische Struktur, die ebenso wie die Eutektstruktur durch gleichzeitiges Wachstum zustande gekommen ist. Das System  $\text{CaSiO}_3$ - $\text{MgSiO}_3$  weist nach den Untersuchungen von Allen und White (a. a. O.) bei 68%  $\text{MgSiO}_3$  (Molekülprozent) ein Eutektikum auf, von 46%  $\text{MgSiO}_3$  bis zu 67%  $\text{MgSiO}_3$  reicht das Feld, in welchem  $\text{MgSiO}_3$  vom Diopsid in fester Lösung aufgenommen werden kann, bei einem Gehalt von mehr als 66%  $\text{MgSiO}_3$  sind bei Temperaturen unter 1360°  $\beta$ - $\text{MgSiO}_3$  (Klinoenstatit) und Diopside mit  $\beta$ - $\text{MgSiO}_3$  in fester Lösung (Enstatitaugite) miteinander im Gleichgewicht. Dieser Fall trifft hier offenbar zu, es handelt sich um ein sehr magnesiumreiches Magma, in welchem sich zunächst das  $\text{MgSiO}_3$  allein ausgeschieden hat, bis die Zusammensetzung des Eutektikums erreicht war, dann schieden sich gleichzeitig der  $\text{MgSiO}_3$ -Pyroxen (nach dem Diagramm 98%  $\text{MgSiO}_3$ , 2%  $\text{CaSiO}_3$ ) und Enstatitaugit (nach dem Diagramm 67%  $\text{MgSiO}_3$ , 33%  $\text{CaSiO}_3$ ) aus; nach der Analyse von N. St. Maskelyne hat der Enstatidiopsid eine Zusammensetzung von

	Gew.-Proz.	Molekularquotienten
$\text{SiO}_2$ . . . .	55.49	0.9248
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ . . . .	0.54	0.0034
$\text{CaO}$ . . . .	19.98	0.3568
$\text{MgO}$ . . . .	23.33	0.5832
$\text{Na}_2\text{O}$ . . . .	0.55	0.0089
	99.89	

E. Cohen<sup>1)</sup> hat daraus einen Pyroxen folgender Zusammensetzung berechnet:

$\text{Na}_2\text{O}$ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 4 $\text{SiO}_2$ . . . .	1.56%
$\text{CaO}$ $\text{SiO}_2$ . . . . .	41.41
$\text{MgO}$ $\text{SiO}_2$ . . . . .	58.37
Gefundene $\text{SiO}_2$ . . . . .	—1.79
Alkalien . . . . .	0.34
	99.89

Wenn man bloß das Verhältnis  $\text{MgSiO}_3$  zu  $\text{CaSiO}_3$  in Betracht zieht, so stellt sich dieses in Molekülprozent folgend dar: 38%  $\text{CaSiO}_3$  zu 62%  $\text{MgSiO}_3$ . Bei dieser Berechnung zeigt sich, daß gleichfalls zu wenig Kieselsäure gefunden wurde, und zwar fehlen 1.52% (Mol.-Proz.).

Verwachsung von Hypersthen und Hedenbergithypersthen von F. Berwerth aus dem Eukrit von Peramiho, Sitzber. d. kais. Akad. d. Wiss. Wien I, math.-nat. Kl., CXII, p. 739 und eine Verwachsung von Klinohypersthen mit Hypersthenhedenbergit von W. Wahl aus dem Eukrit von Juvinas, Die Enstatitaugite, p. 85.

<sup>1)</sup> E. Cohen, Meteoritenkunde I, p. 299.

Für das System Enstatit-Diopsid nimmt Vogt<sup>1)</sup> den Typus IV von Rozeboom an, Pöschl<sup>2)</sup> den Typus V, W. Wahl<sup>3)</sup> läßt die Frage offen, ob Typus V oder IV vorliege. Aus dem Diagramm der Amerikaner würde der Typus V folgen. Warum in dem einen Fall eine gesetzmäßige Verwachsung erfolgte, in dem anderen Fall die eutektartige Durchdringung, kann nicht entschieden werden.

Auffällig bleibt immer der Umstand, daß hier ein verhältnismäßig kalkreicher und magnesiumarmer Enstatitaugit mit monoklinem Magnesiumpyroxen ein Eutektikum gebildet hat. Da sich derartige Verwachsungen nur in dem oldhamitführenden Teile finden, kann wohl dem CaS eine Bedeutung zugesprochen werden, das sich vermutlich sehr frühzeitig abgeschieden hat und dadurch den großen Überschuß von Mg über Ca hervorrief, der zweifellos vorhanden war. Erst ganz zum Schluß schied sich neben  $MgSiO_3$  auch der Ca-hältige Pyroxen in verhältnismäßig geringer Menge aus.

### *Brecciöse Partie.*

**Enstatitdiopsid.** In dieser Partie kommt neben dem Enstatitdiopsid und dem Klinoenstatit auch noch reiner, einschlußfreier Enstatit vor.

Der Enstatitdiopsid ist in seinen Eigenschaften übereinstimmend mit dem aus der konkretionären Partie beschriebenen und tritt an Menge sehr zurück. Er scheint aus der primär struierten Partie durch Zertrümmern hervorgegangen zu sein; während jedoch dort der Enstatitdiopsid durchaus frisch und einheitlich aussieht, findet sich hier oft an Stelle eines größeren, einheitlichen Kornes ein ganzes Haufwerk getrübler und fleckig zerfahren aussehender Körner, die eine etwas geringere Doppelbrechung zu besitzen scheinen und aus größeren Enstatitdiopsidkörnern jedenfalls durch Hitzewirkung hervorgegangen sind. Die Lamellierung nach 100 und 001 verschwindet in diesen Aggregaten,  $\gamma$  nimmt Werte von  $34-37^\circ$  an, doch ist die Ermittlung dieser Werte nicht ganz sicher, weil die Richtung der *c*-Achse nicht genau bestimmt werden kann.

**Klinoenstatit.** Der Klinoenstatit ist ebenfalls der gleiche wie in der primär struierten Partie, er führt die gleichen Einschlüsse wie diese, Täfelchen nach 100, wahrscheinlich Glas; der optische Charakter ist neutral. Auch hier sind neben scheinbar rhombischen Partien beide Lamellensysteme oder nur eines vertreten. Hitzewirkungen machen sich dadurch geltend, daß die Auslöschung undulös wird und einzelne Teile des Kornes gegeneinander verschoben erscheinen. In Schnitten nach 100 erscheinen die Einschlüsse besonders groß, durch den Mangel an Zwillingslamellen wird der Eindruck erweckt, als ob Enstatit vorläge.

**Enstatit** tritt in klaren, bisweilen fast einschlußfreien, oft aber auch einschlußreichen Körnern auf und unterscheidet sich vom Klinoenstatit durch die Größe seines Achsenwinkels. Während dort die Hyperbel in einem Schnitt normal zur Achse fast ganz gestreckt erscheint, ist sie hier stark gekrümmt, der Achsenwinkel beträgt ungefähr  $70^\circ$  um  $\gamma$ ; es liegt also ein noch magnesiumreicherer Enstatit vor. Ebenso ist die Doppelbrechung ein wenig geringer. Die Menge dieses Eustatites ist nicht sehr groß. Weil der Enstatit und Klinoenstatit verschiedene Zusammensetzung haben, ist es ganz gut möglich, daß der Klinoenstatit sekundär aus Enstatit hervorgegangen ist; daß sich daneben reiner Enstatit erhalten hat, ist in der abweichenden Zusammensetzung be-

<sup>1)</sup> J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen I, 144; II, 104—113.

<sup>2)</sup> V. Pöschl, Experimentelle Untersuchungen an isomorphen Silikaten. Tscherm. Min. Petr. Mitt. XXVI, p. 432.

<sup>3)</sup> W. Wahl, Die Enstatitaugite, p. 117.

gründet. Doch kann man auch in diesen klaren Körnern bisweilen feine, beiderseits auskeilende Lamellen bemerken, die wohl Klinoenstatit sind. Freilich sind sie sehr selten und ihre Menge ist nicht zu vergleichen mit der des optisch neutralen Klinoenstatites. Neben den Pyroxenen tritt dann noch untergeordnet in einzelnen größeren Körnern Olivin mit einem Achsenwinkel von ungefähr  $80^\circ$  um  $\gamma$  sowie Plagioklas mit einem Gehalt von ungefähr  $30\%$  Anorthit auf.

Es wurde auch der Versuch gemacht, die dreierlei Enstatite Maskelynes mit diesen jetzt beschriebenen zu identifizieren. Die klare und die halb durchscheinende Art sind nach der Analyse kalkhältig und etwas eisenärmer als die dritte, graue, undurchsichtige Art, die den höchsten Eisengehalt aufweist. Auch erwähnt Maskelyne von dieser dritten, kalkfreien Art die Eigenschaft, daß sich senkrecht zur (010) Fläche eine Spaltung geltend macht, die gegen die 100 ungefähr  $73-74^\circ$  geneigt ist. Das würde sehr für Klinoenstatit sprechen.

Es wären demnach die beiden ersten Arten ident mit dem magnesiumreicheren Enstatit, die dritte mit dem eisenreicheren Klinoenstatit. Bei der makroskopischen Untersuchung des Steines kann man zweierlei anscheinend verschiedene Pyroxene unterscheiden: einen weißgrauen undurchsichtigeren und einen grauen durchscheinenden Pyroxen. Die optische Untersuchung von Splintern beiderlei Art ergab keine sichere Entscheidung. Es zeigten sich nämlich unter den Splintern, die meist nach den Spaltflächen 110 getroffen waren, in beiden Fällen Klinoenstatite, doch enthielt der weiße Pyroxen weitaus mehr und gröbere Lamellen, so daß wohl er mit dem Klinoenstatit zu identifizieren sein dürfte. Er ist auch undurchsichtiger als der andere Pyroxen und daher wohl mit der von Maskelyne aufgestellten undurchsichtigen Art ident, die auch die nach 100 geneigte und auf 010 senkrechte Spaltbarkeit zeigte.

Der Enstatitdiopsid läßt sich makroskopisch nicht erkennen, doch war einmal eine lamellenförmige Verwachsung eines weißgrauen undurchsichtigen Pyroxens mit einem grauen durchscheinenden Pyroxen zu beobachten, die möglicherweise mit der Verwachsung Enstatitdiopsid-Enstatit ident ist.

Was die Frage der Entstehung der Klinoenstatite betrifft, so wurde bereits erwähnt, daß er sowohl primär als sekundär entstanden sein könne. Mit Rücksicht auf das so häufige Auftreten von Spindeln von Klinoenstatit im Enstatit der Meteoriten (Klinohypersthen in Hypersthen), die auch an den anderen Gemengteilen thermomorphe Erscheinungen zeigen, ist die Auffassung wahrscheinlich gemacht, daß das Auftreten von Klinoenstatit durch Erhitzung und rasche Abkühlung der vorhandenen Enstatite zu erklären sei.

Der Stein von Busti zeigte eine größere Mannigfaltigkeit der Pyroxene als die nunmehr zu erwähnenden Steine von Frankfort, Pawlowka und Bishopville, in denen aber ganz die gleichen Erscheinungen beobachtet wurden.

### Frankfort.

Auch in diesem Steine treten fast durchwegs in den rhombischen Pyroxenen monokline Spindeln von wechselnder Breite auf, die die gleiche Lichtbrechung wie der Enstatit besitzen und deren Doppelbrechung sich auch nicht merklich unterscheidet. Sie sind wohl sekundärer Entstehung und verdanken ihre Existenz einer raschen Abkühlung. Die rhombischen Pyroxene sind durchwegs negativ mit großem Achsenwinkel.

Im Enstatitaugit dieses Steines sind schachbrettartige Felder zu bemerken, die nicht auslöschen und eine geringere Doppelbrechung zeigen. Es scheinen im Enstatitaugit

orientiert eingelagerte Tafeln von Enstatit zu sein, die in dem relativ dickeren (älteren) Schlicke von Enstatitaugit überlagert werden. Sie grenzen sich ganz unregelmäßig verschwommen gegen den Enstatitaugit ab und zeigen vielfach breitere Höfe, in denen die optischen Verhältnisse sich ändern. Eine konoskopische Prüfung war nicht möglich, doch scheint es sich um dieselbe Verwachsung nach 100 zu handeln wie in Busti. Der Enstatitaugit hat einen kleinen positiven Achsenwinkel und ist demnach verhältnismäßig kalkarm, so daß die Verwachsung von Enstatit mit Enstatitaugit nicht sonderlich erscheint. Der Klinoenstatit ist bedeutend seltener vorhanden als in dem Stein von Busti.

### Pawlowka.

Aus dem Howardit von Pawlowka sind von Th. Tschernischeff<sup>1)</sup> zwei Pyroxene beschrieben worden, von denen der eine mit einer Auslöschung von 26—29° diallagähnlich, der andere ein Enstatit-Bronzit ist, der schöne Parallelstreifung zeigt. C. Klein<sup>2)</sup> erwähnt gleichfalls einen monoklinen Pyroxen mit Ablösungsflächen nach 100 sowie Bronzit und Enstatit neben Olivin, Anorthit, Andesin und Leuzit. Was die beiden letzteren Gemengteile betrifft, so konnten sie nicht aufgefunden werden, obwohl eine größere Anzahl Schlicke untersucht wurde. Vom Enstatit sagt C. Klein, er habe zum Teil die im Steine von Roda in der gleichen Arbeit beschriebenen Erscheinungen gezeigt. Dort traten Verwachsungen von Diallag und Enstatit in der aus irdischen Gesteinen beschriebenen Weise auf, wie sich weiter auch in den Steinen von Jelica und Manbhoom zeigten.

Zunächst sind auch hier wieder die rhombischen Pyroxene mit monoklinen Spindeln vorhanden, eine mikroperthitische Verwachsung im Sinne W. Wahls. Es sind Pyroxene mit einem sehr großen negativen Achsenwinkel, sie enthalten demnach ungefähr 20—25% des Silikates  $\text{FeSiO}_3$ .

Dagegen beansprucht die Verwachsung Enstatitaugit-Enstatit hier größeres Interesse, da sie mikroklinartige Individuen liefert (siehe Fig. 4). Es sind äußerst feine, unscharf abgegrenzte Lamellen und Spindeln von Enstatit sowohl nach der (100) Fläche des Enstatitaugites als auch ungefähr senkrecht dazu (nur um 1—2° im Durchschnitt davon abweichend) eingelagert, die stellenweise einem Mikroklin täuschend ähnlich sehen. Das vorherrschende Lamellensystem ist das nach (100). Das andere, senkrecht dazu gestellte ist bedeutend spärlicher vorhanden, die Lamellen sind außerordentlich zart.

Ein Schnitt, der ungefähr parallel der (010) Fläche geführt war, ergab folgendes Bild. Im vorherrschenden System trat ein Pyroxen in breiteren Lamellen auf, der eine Auslöschung  $\gamma$  gegen die Längsrichtung der Lamellen von 22—28° stets nur nach der einen Seite zeigte und mit schmälere Lamellen eines nahezu gerade auslöschenden Pyroxens verwachsen war, der nur 2—3° Auslöschungsschiefe besaß. Die schief auslöschenden Partien haben eine etwas stärkere Doppelbrechung, die Lichtbrechungsunterschiede sind äußerst gering und es konnte nicht mit Sicherheit ermittelt werden, welche Substanz stärker lichtbrechend ist. Im konvergenten Licht zeigt sich in dem schief auslöschenden Anteil die Mittellinie  $\alpha$  als stumpfe Bisektrix, im gerade auslöschenden Teil  $\alpha$  als spitze Bisektrix. In beiden Fällen verläuft die Achsenebene normal zur Symmetrieebene parallel der Längsrichtung der Lamellen. Die schief auslöschenden Partien sind wohl identisch mit einem Enstatitaugit, der sich dem Klinoenstatit schon

<sup>1)</sup> Th. Tschernischeff, Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges., 35. Bd., p. 190.

<sup>2)</sup> C. Klein, Sitzber. d. Akad. zu Berlin, 1904, I, p. 138.

bedeutend nähert, was aus der normalsymmetrischen Lage der Achsenebene hervorgeht. Für Enstatitaugit spricht der Umstand, das die monoklinen Partien alle nach derselben Seite auslöschen, während bei Klinoenstatit eine symmetrische Auslöschung nach beiden Seiten wenn auch in nur wenigen Lamellen wahrscheinlicher wäre, sowie die Unterschiede im optischen Charakter und in der Doppelbrechung. Es würde also eine mikroperthitische Verwachsung eines Hypersthens mit einem Diopsidenstatit vorliegen, der dem Klinoenstatit nahesteht, derart, daß die 100 Flächen parallel sind und die Mittellinien  $\alpha$ , die der  $b$ -Achse entsprechen, übereinander fallen.

Ungefähr senkrecht dazu schaltet sich nun das zweite, freilich nur spärlich vorhandene System von dünnen Lamellen ein. Sie zeigen eine symmetrische Auslöschung  $\gamma$  gegen die Längsrichtung der Lamellen von  $26-28^\circ$ , die Achsenebene verläuft parallel mit der Längsrichtung der Lamellen, im Konoskop zeigt sich das Bild der stumpfen Bisektrix  $\alpha$ , es ist also ein monokliner positiver Pyroxen, wahrscheinlich auch ein dem Klinoenstatit sehr nahestehender Diopsid-Enstatit, wenn nicht ein reiner Klinoenstatit. In diesem zweiten Lamellensystem gibt es nur diese symmetrisch schief auslöschenden Lamellen, ein gerade auslöschender Anteil fehlt. Wegen der Feinheit der Lamellen kann eine sichere Entscheidung nicht getroffen werden, ob diese Lamellen identisch sind mit dem monoklinen Anteil des vorherrschenden Systems oder ob eine davon verschiedene dritte Substanz vorliegt. Der Winkel von nahezu  $90^\circ$  ist auffallend und vielleicht dadurch zu erklären, daß Zwillinge nach einer entsprechenden Fläche der Zone (001 zu 100) vorliegen, die allerdings beim Diopsid nicht vorhanden ist. Durch die hier vorhandenen Beimengungen könnte aber eine solche Fläche wohl auftreten, so daß dann die Richtungen der  $c$ -Achse aufeinander senkrecht stehen würden.

Diese Verwachsungen kommen in mehrfacher Anzahl im Steine vor, sind aber stets splitterig begrenzte Bruchstücke und verschieden von den die Hauptmasse des Steines ausmachenden Enstatitaugiten und rhombischen Pyroxenen. Im Steine von Busti und in dem von Frankfort waren sie identisch mit den sonst im Steine vorhandenen Enstatitaugiten und Enstatiten.

Die rhombischen Pyroxene wurden schon besprochen; die Enstatitaugite haben einen kleinen positiven Achsenwinkel und zeigen thermische Veränderungen in der Weise, daß sie sich stellenweise in ein Haufwerk von Körnern auflösen, wobei jedoch der Zusammenhang mit dem primären Korn völlig gewahrt bleibt. Es sind dann noch unveränderte Partien zu bemerken, zwischen denen das wirre Körnerwerk liegt, das aber auch noch größere, einheitlich orientierte Partien aufweist. Die durchgreifende Spaltbarkeit setzt aus, die Doppelbrechung scheint zu sinken, was vielleicht nur auf die Kleinheit der Körner zurückzuführen ist. Die Erscheinung ist ganz der aus Busti beschriebenen entsprechend (siehe Fig. 5).

### Bishopville.

An dem Steine von Bishopville sind die ersten genaueren Untersuchungen rhombischer Meteoritenpyroxene durchgeführt worden. Wie sich die Erkenntnis von der Pyroxennatur des in Bishopville überwiegenden Gemengteiles entwickelte, ist in Cohens Meteoritenkunde I, p. 270, 271 zusammengestellt. In neuerer Zeit sind namentlich von E. T. Allen, F. E. Wright und J. C. Klement (l. c., p. 431) sowie von F. Zambonini (l. c., p. 11) Angaben gemacht worden. Die ersteren Autoren ermittelten die Brechungsquotienten des Enstatites mit  $\gamma = 1.658 \pm 0.003$ ,  $\beta = 1.653 \pm 0.003$ ,  $\alpha = 1.650 \pm 0.003$  nach der Immersionsmethode und den Achsenwinkel um  $\gamma$  mit  $2\sqrt{\gamma} = 31^\circ$ , die im En-

stait auftretenden monoklinen Blättchen haben eine Auslöschung von  $21\frac{1}{2}^\circ$ . Nach ihrer Ansicht tritt um so mehr von der monoklinen Form auf, je langsamer abgekühlt wird. Weil nun im Bishopvillemeteorit nur wenig Klinoenstatit auftritt, müsse er rasch abgekühlt worden sein. Auch aus künstlichen Schmelzen soll sich bei langsamer Abkühlung das monokline Silikat, bei rascherer Kühlung jedoch auch das rhombische Silikat abscheiden.

Es ist dann aber nicht recht erklärlich, warum in den irdischen Gesteinen, bei denen mit geringen Ausnahmen wahrscheinlich eine bedeutend langsamere Abkühlung stattgefunden hat, nicht durchwegs Klinoenstatit zu beobachten ist, sondern sich im Gegenteil zu allermeist Enstatit bildet. Es müßte dann für die größere Zahl der Meteoriten eine langsamere Abkühlung angenommen werden als für irdische Gesteine. Wenn schon eine solche langsame Abkühlung für die primär struierten Teile zutreffen könnte, so ist für die zertrümmerten und durch ein Netz von Schmelzmasse verkitteten Teile wohl eine raschere Abkühlung anzunehmen. Zudem kommt der Klinoenstatit reichlichst in den Chondriten vor und die Bildung der chondrenartigen sphärolitischen Aggregate ist von jeher als ein Zeichen rascher Kühlung angesehen worden. Der verschiedenen Viskosität läßt sich diese Erscheinung auch nicht zuschreiben.

F. Zambonini hat an dem Enstatit aus Bishopville das spezifische Gewicht bestimmt es mit  $s=3.1909$  gefunden und dieser Wert stimmt mit dem von Allen, Wright und Klement für die monokline Form gegebenen überein. Darauf sowie auf die Brechungsquotienten, die ebenfalls mit denen des Klinoenstatites übereinstimmen, stützt F. Zambonini zum Teil seine Behauptung, die Grothsche Ansicht von dem Vorhandensein einer Polysymmetrie sei die richtige.

Die Untersuchung der Schiffe ergab bezüglich der Pyroxene folgendes:

Der rhombische Pyroxen, der einen kleinen positiven Achsenwinkel hat, enthält ganz verschwommen abgegrenzte, nicht oder schief auslöschende Partien, die nach tafelförmig eingelagert und wohl mit dem Klinoenstatit identisch sind. Die Doppelbrechung des Enstatits ergab sich mit  $\gamma-\alpha=0.012$ .

Dieser Enstatit, der nach der Größe der Achsenwinkel sehr nahe dem  $MgSiO_3$  stehen muß, wie auch die ausgeführten Analysen ergeben haben, zeigt randlich sehr häufig einen Körnerzerfall, während sich in dem mittleren Teil des Kornes dann gewöhnlich undulöse Auslöschung einstellt. Diese undulöse Auslöschung sowie auftretende Verbiegungserscheinungen lassen den Schluß zu, daß der Stein auch mechanischen Einwirkungen ausgesetzt war, die wohl auch auf Hitzewirkungen zurückzuführen sind. Wenn einzelne Gemengteile so weit erhitzt werden, daß sie eine beträchtlichere Volumsveränderung erleiden, wobei jedoch der Stein noch sein starres Gefüge behält, so werden Spannungserscheinungen auftreten, die ihren Ausdruck in undulöser Auslöschung finden werden.

Enstatitaugit tritt gleichfalls, wenn auch nur sehr untergeordnet, auf. Er hat einen kleinen positiven Achsenwinkel, eine Doppelbrechung doppelt so hoch wie der Enstatit, Lichtbrechung höher als der Enstatit und zeigt in gleicher Weise den Körnerzerfall und undulöse Auslöschung.

Der Enstatit scheint älter zu sein. Der brecciöse Charakter des Steines ist dadurch verwischt, daß die in Bruchstücken und Splintern vorhandenen Gemengteile durch ein kristallinisches Netzwerk verkittet wurden, wobei die scharfen Ecken und Kanten der Splitter teilweise verloren gingen.

Die angeführten wenigen Beispiele zeigen, wie weit verbreitet in den Meteoriten die Klinoenstatite sind und wie sie mit den sonst noch auftretenden Enstatiten und

Enstatitaugiten vergesellschaftet sein können. Ohne Zweifel läßt sich dieses reichliche und charakteristische Auftreten der monoklinen  $MgSiO_3$ -Komponente in den Meteoriten nicht durch eine langsamere Abkühlung erklären, wie es von Allen, Wright und Klement angenommen wurde. Die Bedingungen, die bei der Bildung der Meteoriten zu der Zeit geherrscht haben, als sie noch nicht in den Weltraum hinausgeschleudert waren, sondern noch ihrem mütterlichen Gestirn angehörten, lassen sich zum Teil aus der Beschaffenheit der Meteoriten erschließen. Man findet meist in den Steinen eine brecciöse Grundmasse, die primär struierte Brocken enthält und deren splitterige Bestandteile durch ein kristallinisches Netz von zumeist Pyroxenkörnern verbunden erscheinen. In den Steinen von Luotolaks und Pawlowka beispielsweise zeigt sich aber eine weitere Erscheinung, daß nämlich primär struierte Partien umgeben von der splitterigen und verkitteten Grundmasse selbst wiederum wohl abgegrenzte eckige Bruchstücke in einer brecciösen Grundmasse gewissermaßen zweiter Generation bilden. Diese Brocken, die einesteils primär struierte Bruchstücke, andernteils jedoch auch die brecciöse verkittete Grundmasse enthalten, beweisen, daß eine mehrmalige Zertrümmerung stattgefunden haben muß, und man kann sich auf Grund jener Erscheinungen die Bildung dieser Meteoriten wohl so vorstellen, daß man, wenn man zur besseren Veranschaulichung irdische Verhältnisse zum Vergleich heranziehen will, an einen kleinen Himmelskörper denkt, dessen Oberfläche sich teilweise noch in schmelzflüssigem Zustand befindet. Es wird zunächst eine dünne Erstarrungsrinde gebildet, die natürlich primäre Struktur zeigt. Wenn das Magma genügend Gase enthält, wird diese dünne Decke zerrissen und in kleine Brocken sowie einzelne Mineralsplitter zerstäubt, die wiederum in die Schmelzmasse, die jetzt eine Art Lavasee darstellt, zurückfallen und nun miteinander zu brecciösen Massen von dem Aussehen der meisten Meteoriten verbunden werden. Das Netzwerk zeigt natürlich auch wieder primäre Struktur. Nun muß aber in einzelnen Fällen wenigstens abermals eine Zertrümmerung dieser Decke stattgefunden haben, wobei nun Brocken geliefert wurden, die bereits einen primären und brecciösen Anteil besaßen und die beim Zurückfallen in die Schmelzmasse neuerdings verkittet wurden. Die Abschleuderung einzelner Teile dieses kleinen Himmelskörpers kann zu einer beliebigen Zeit in diesem sich wiederholenden Wechselspiel stattfinden, ebenso wie beim neuerlichen Emporbrechen des Magmas auch in der Tiefe ausgeschiedene Brocken von tiefengesteinsähnlichem Habitus emporgebracht werden können. Diese brecciösen Massen sind nicht entsprechend den lockeren irdischen Tuffmassen, wenn auch ihre Entstehung bis zu einem gewissen Grade analog ist. Bezeichnend für sie ist das die einzelnen Splitter verkittende kristalline Netzwerk, das den irdischen Tuffen fehlt.

Es ist nun einzusehen, daß bereits unter diesen bei der Bildung wirksamen Bedingungen sich nach den hier vertretenen Ansichten Klinoenstatit bilden können, da sich solche Vorgänge nur an der Oberfläche eines Himmelskörpers abspielen können und für derartige durch wiederholtes Verkitten zertrümmerter Brocken entstandene Gesteine sicherlich eher rasche Abkühlung als langsamere angenommen werden muß.

Nun macht aber der Meteorit, wenn er von dem Himmelskörper abgeschleudert ist, noch Erhitzungsperioden durch, welche eine Reihe von Erscheinungen im Steine hervorrufen, die viele Male beschrieben und für die von den meisten Forschern Erhitzung während des Fluges angenommen wird. Die randlichen Zerfallszonen beispielsweise sind wohl darauf zurückzuführen, in manchen Fällen dringt auch die Schmelzmasse, die äußerlich den Stein umkleidet, in kleinen Adern in das Innere ein; im Stein von Shergotty hat wohl die Umwandlung des primären Labradorites zum Labradormaske-

lynit in einer solchen Erhitzungsperiode stattgefunden, wobei jedoch der Pyroxen seine Form starr beibehalten hat, wohl infolge der zu geringen Erhitzung, so daß das Glas jetzt genau die Form des primären Labradors ausfüllt. Doch macht sich die Volumsveränderung (wie an anderer Stelle ausführlich auseinandergesetzt ist<sup>1)</sup>) dadurch geltend, daß im Pyroxen Spannungen auftreten und daß der Maskelynit Risse zeigt. Die Verbiegungs- und Verwerfungserscheinungen, die sich an den Plagioklasen häufig beobachten lassen, werden in der gleichen Arbeit ebenfalls auf Erhitzungsperioden zurückgeführt. Solche Erhitzungsperioden können bei Annäherung an einen anderen Himmelskörper hervorgerufen werden. Der Klintoenstatit kann also auch während dieser Perioden aus Enstatit hervorgegangen sein.

Unter der Annahme von Polymorphie erklärt sich die Ansicht von Allen, Wright und Klement, daß um so mehr von der monoklinen Modifikation des  $MgSiO_3$  aufzutreten, je langsamer abgekühlt wird, doch ergibt sich dann der bereits erwähnte Widerspruch mit den irdischen Verhältnissen.

Dagegen läßt sich unter der Voraussetzung von Polysymmetrie zwischen den beiden Formen des  $MgSiO_3$  das häufige Auftreten der monoklinen Form in den Meteoriten und das Fehlen derselben in den irdischen Gesteinen mit der sehr verschiedenen Abkühlungszeit in Zusammenhang bringen, wodurch vice versa die Grothsche Ansicht vom Zutreffen einer Polysymmetrie in diesem Falle gestützt wird.

Das Material zu der vorliegenden Untersuchung verdanke ich Professor F. Berwerth, dem ich für die außerordentlich wohlwollende Unterstützung meinen ergebensten Dank sage.

Die Negative der Mikrophotogramme hat Herr Dr. H. Leitmeier hergestellt, wofür ihm bestens gedankt sei.

<sup>1)</sup> H. Michel, Die Feldspate der Meteoriten. Tscherm. Min. Petr. Mitt., 31. Bd., H. 5—6.

## Tafelerklärung.

Alle Bilder sind mit gekreuzten Nicols aufgenommen.

- Fig. 1. Stein von Busti. Die Hauptmasse ist der Enstatitdiopsid, der mit einem dem Enstatit sich sehr stark nähernden Klintoenstatit oder Enstatit verwachsen ist. Die beiden im Bilde dunkel erscheinenden Lamellensysteme sind der Klintoenstatit. In der Mitte ist ein großer trüber Glasbrocken vom Enstatit umwachsen. Umschlossen wird das Ganze von größerer verwilligtem Klintoenstatit, von dem im linken oberen Quadranten ein Individuum zu sehen ist; demselben Individuum gehört der etwas dunkler gefärbte Brocken im Enstatitdiopsid am linken Rande sowie ein schmaler Saum zwischen diesem und dem links oben erscheinenden Brocken von Oldhamit an.
- Fig. 2. Stein von Busti. Es ist eine Partie dargestellt, die die Grenze zwischen dem brecciösen und dem primär struiereten Teil erkennen läßt. Im letzteren ist von zwei großen Oldhamitindividuen eingeschlossen ein großer Enstatitdiopsid, der von Klintoenstatit eutektstrukturartig durchdrungen wird. Die Grenze der beiden Partien verläuft mehrfach ausgezackt, aber doch scharf.
- Fig. 3. Stein von Busti. Dieselbe Partie in stärkerer Vergrößerung. Die weiß erscheinenden Partien (kleine runde Brocken und wurmförmige ausgezackte Partien) gehören einem zufällig nahezu parallel (100) getroffenen Klintoenstatit an, der den Enstatitdiopsid durchdringt. Der rechte untere Teil des Enstatitdiopsides wird von einem zweiten Klintoenstatitindividuum umwachsen, das in Fig. 2 nahezu weiß erscheint. Die beiden Klintoenstatitindividuen im rechten oberen Eck stehen in keiner Beziehung zum Enstatitdiopsid.
- Fig. 4. Stein von Pawlowka. Mikroklinähnliche Verwachsung von Enstatitaugit mit Enstatit (und Klintoenstatit?).
- Fig. 5. Stein von Pawlowka. In Zerfall begriffener Enstatitaugit.

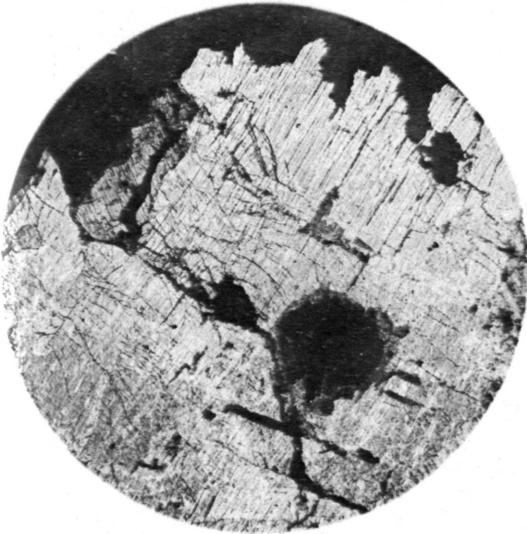


Fig. 1.



Fig. 2.

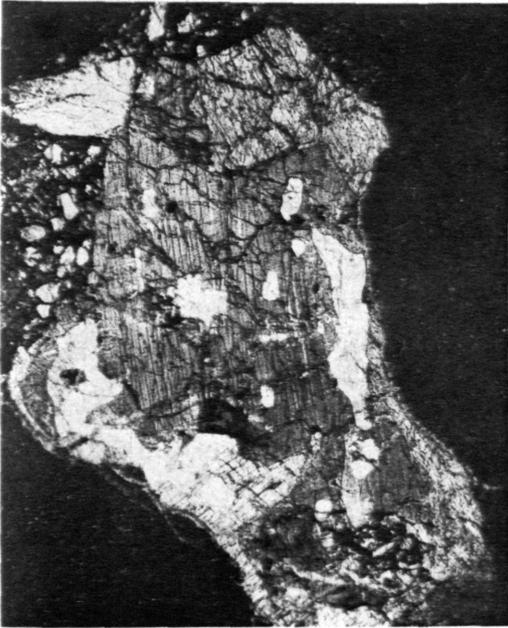


Fig. 3.



Fig. 4.

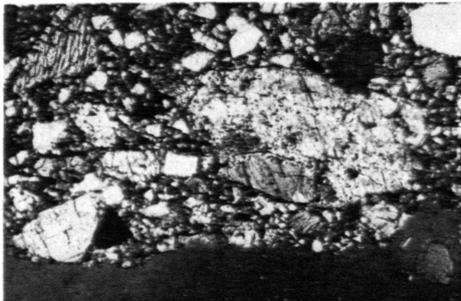


Fig. 5.

Negative von Dr. H. Leitmeier.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien](#)

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: [27](#)

Autor(en)/Author(s): Michel Hermann

Artikel/Article: [Zur Kenntnis der Pyroxene der Meteoriten. Tafel V. 93-106](#)