Petrologische Untersuchung

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **9 (1952)**

PDF erstellt am: **05.06.2024**

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

schliffe). Die so am Utzenstorfer Kern- und Rindenmaterial und auch an künstlichen meteoritischen Schmelzprodukten gewonnenen Untersuchungsresultate wurden weiter verglichen mit solchen, die man an andern Meteoriten und an künstlichen Schmelzprodukten ultrabasischer Gesteine erhalten hatte. So ließ sich zeigen, daß die Erscheinungen am Utzenstorfer Meteoriten keineswegs singulärer Natur sind, sondern allgemeinere Gültigkeit besitzen; sie ließen sich auch an einem abgedeckten Dünnschliff des Ulmizer feststellen, von dem es gelang, ein Rindensplitterchen anzupolieren und zugleich auch im Auflicht zu untersuchen.

Die Natur der Steinmeteoriten mit ihrer Glas- und Erzdurchsetzung verlangt für eine fehlerfreie und erschöpfende Diagnose *möglichst dünne Schliffe*, was bei der lockeren Beschaffenheit des zu untersuchenden Materials gar nicht leicht erreichbar ist. Die vorliegenden Resultate aber zeigen, daß unter Berücksichtigung der eben erwähnten Methoden und Maßnahmen die bisherigen Kenntnisse über die Meteoritennatur erweitert werden konnten.

Das reichliche Material erlaubte eine systematischere petrochemische Untersuchung als am Ulmizer Meteoriten. Sie wurde außerdem durch semiquantitative spektroskopische Analysen und röntenographische Untersuchungen ergänzt. Für die Ausführung der letztern sei Herrn Prof. Nowacki bestens gedankt.

A. PETROLOGISCHE UNTERSUCHUNG (H. H.)

I. Aeußeres Aussehen und makroskopische Beschaffenheit

Unser Meteorit ist wohl beim Auffallen in die drei allerdings recht verschieden großen Stücke zerfallen; denn sie passen beim Zusammenfügen so aufeinander, daß sie alle von einer einheitlichen Außenrinde bedeckt erscheinen, ohne daß die seitlichen Flächen der aneinander geschlossenen Stücke auch Rindenbildung aufweisen würden. Die Stücke, fast lückenlos aneinandergereiht, stellen dann ein schildförmiges oder an eine große Muschel mit ungleichmäßig gewölbten Hälften erinnerndes Gebilde dar (22 × 14 × 8 cm). Siehe Übersichtsphoto in Gerber (1929). Kern und Rinde werden zu den zwei charakteristischen Hauptanteilen des Meteoriten, verschieden in Zusammensetzung und Gefüge, sowohl makroskopisch wie mikroskopisch.

a) Die Rinde

Die vor dem Zerfall auf dem Erdboden zusammenhängende außerirdische Gesteinsmasse wurde beim Flug durch die Atmosphäre angeschmolzen, wodurch die heute vorliegende Physiognomie, wenn nicht gerade bestimmt, so doch zum mindesten nicht unwesentlich beeinflußt wurde.

Auf jeden Fall stehen die Gestalt des Meteoriten und die gesamte Ausbildung der Rinde und besonders deren Oberflächenskulptur in engster Beziehung zueinander. Allerdings konnten weder Piëzoglypten (nach Daubrée durch die erosive Kraft der auf die Brustfläche anstürmenden erhitzten Gase entstandene Vertiefungen) noch Rhemaglypten (nach Berwerth durch Herausbrechen von Teilchen erzeugte Gruben und Grübchen) beobachtet werden.

So viel ist deutlich, daß der Schmelzprozeß nach der Erstarrung eine dunkel gefärbte dichte «Rinde» von durchschnittlich 1 bis 1,5 mm Dicke hinterließ, die makroskopisch keine weitere Differenzierung erkennen läßt und welche den ganzen Meteoritenkörper umgab.

Der etwas dickleibige, muschelförmige Körper mit einer flachern und einer gewölbteren Hälfte läßt deutlich «oben» und «unten» und außerdem «vorne» und «hinten» erkennen, welche Orientierung mit der Skulptur und Zieselierung der Rinde in Übereinstimmung gebracht werden kann. Es scheint, als ob der Himmelskörper auf seiner Reise durch die Erdatmosphäre seine Orientierung unverändert beibehalten hat, also nicht rotierte. Es handelt sich somit um einen typischen «orientierten» Meteoriten. Wie die Flächenakzessorien einer Kristallfläche über die geschichtliche Entwicklung eines Kristalls Auskunft zu geben vermögen, so tun es auch hier die kleinmorphologischen Rinden-Verhältnisse.

Als *Stirnseite* muß die flachere Seite der Muschel, also die während des Fluges der Erde zugekehrte untere Seite, bezeichnet werden. Ihre gerundete «Schloßgegend» war nach vorne gerichtet und stellt den Apex, den «Scheitel» oder die «Stirne» dar. Die stärker gewölbte Hälfte dagegen war nach oben gekehrt und repräsentiert die Rückenseite (vgl. Bild 6).

Auf der *Stirnseite* ist die Schmelzrindenmächtigkeit geringer, weil die Strömung die Schmelze nach hinten abstreifte, unter Hinterlassung deutlicher Driftspuren an der erstarrten Schmelzkruste. Nicht nur gehen diese Driftspuren fast völlig radial vom Scheitel nach hinten auseinander, sondern hinter dem Maximalscheitelpunkt der schwachen Wölbung auf der Unterseite vermochte sich die Schmelze wulst- oder tropfenartig anzureichern (vgl. Bild 6).

Je nach der Dicke der Rinde hat sie eine rötlichbraune bis braunrötliche Färbung. Ist sie dünn ausgestrichen, tendiert die Farbe mehr nach Kupferrot.

Auf der *Rückenseite* hat die Rinde eine völlig andere Skulptur; sie ist durchwegs narbig, wulstig, höckerig und zeigt kaum Orientierungsspuren. Hier konnte sich, im Strömungsschatten liegend, die Schmelze eher erhalten und hat auch kaum Gelegenheit gefunden, von Strömungen orientiert zu werden; ihre Farbe ist Dunkelbraun bis Braunschwarz. Sie wird, wie auch die Rinde der Stirnseite, von brotkrustenartigen Kontraktionsrissen durchzogen (vgl. Bild 4).

Die beim Schmelzprozeß entstandenen Gase entwichen durch die Schmelze unter Hinterlassung feinster Poren, die bei Lupenbetrachtung kraterähnliches Aussehen und bei genauem Beobachten mit dem freien Auge wie Nadelstiche aussehen (vgl. Bild 4, links unten).

An der stellenweise spitz zulaufenden Kante zwischen Stirn- und Rükkenseite hat sich hinten von der Stirnseite her die Schmelzmasse im Windschatten in schlackig-porösen, 2 bis 3 mm dicken Wülsten angereichert und weist hier «Borkenrindencharakter» (B r e z i n a) auf.

Da Rindenmächtigkeiten über 2 mm selten beobachtet worden sind, muß angenommen werden, daß infolge Abtropfens der Schmelze nicht mehr Material haften bleibt.

Makroskopisch scheint sich die Rinde gut vom Kernmaterial zu trennen. Erst beim Versuch, reines Rindenmaterial zu Analysenzwecken zu gewinnen, bemerkt man, wie innig die Verwachsung mit Kernsubstanz ist, was auch aus der später folgenden eingehenden Darstellung der Rindenverhältnisse verständlich werden wird (siehe S. 101).

b) Das Kernmaterial

Unmittelbar unter der Rinde folgt die Kernmasse. Ihre völlig unebene und unregelmäßig absetzende Bruchfläche zeigt dem unbewaffneten Auge ein lose gefügtes Gemengsel von bröselig-erdigem Charakter körnig beschaffener Mineralien. Dieses ist lichtgrau gefärbt, vielfach aber durch limonitische Zersetzungsprodukte rostbraun gefleckt. Lichtgraue und rostbraune Stellen sind unscharf gegeneinander abgegrenzt und ganz unregelmäßig verteilt. Oft sind nur mehr kleine Bereiche des ursprünglich hellen und frischen Gesteins inselartig in der braun gefärbten Masse zurückgeblieben.

Die Betrachtung des unveränderten hellen Anteils mit der Lupe zeigt ein weißes, fast kreidig aussehendes, feinstgranuliertes Material mit gelegentlichen kleinen Drusenräumen, welches gröbere, meist rundlich geformte graue oder braune, vielfach sogar völlig kugelig gestaltete Körper umschließt. Diese rundlichen Gebilde nennt man *Chondren*, welche auch nur von den aus dem Himmelsraum stammenden Körpern bekannt sind. Ihre Durchmesser können alle möglichen Größen aufweisen, die größten in unserem Falle 2 bis 2,5 mm. Mit dem Stahlstift lösen sich die Chondren leicht aus ihrem Verbande und hinterlassen je nach der Vollkommenheit ihrer Rundung entsprechend geformte Hohlräume. Bild 2 gibt eine Vorstellung von der Gestaltung dieser Gebilde.

Die einen besitzen eine sehr unregelmäßige Oberfläche, sehen wie agglomeriert aus, die andern erscheinen ziemlich gut kugelig bis elliptisch geformt, weisen aber Eindrücke durch benachbarte Chondren auf; doch lassen sich auch ideal kugelige finden.

Aus der lichtgrau bis braun gesprenkelten Gesteinsmasse leuchten kleinste metallisch glänzende Flitterchen hervor, deren Bestimmung selbst mit der Lupe nicht sicher ist.

II. Mikroskopische Untersuchung des Kernanteils

a) Der Mineralbestand

Der Mineralbestand der Kernmasse ist relativ einfach; Olivin, Orthopyroxen, ganz wenig Klinopyroxen, Magnetit, Chromeisen, gediegen Fe und Eisenmonosulfid, FeS. Die ausgeprägte Trümmerstruktur und die dadurch im mikroskopischen Bilde hervorgerufene Dunkelzeichnung (Totalreflexion kleinster Teilchen) sowie die beträchtliche hydroxydische Durchsetzung erschweren eine genaue optische Erfassung des Mineralbestandes recht erheblich. Die Verhältnisse sind hier wesentlich ungünstiger als beim Ulmizer Meteoriten.

Da gediegen Fe und FeS mengenmäßig sich mit etwa 15 Prozent beteiligen, entfallen auf die Silikate 85 Prozent, in die sich praktisch Olivin und Orthopyroxen hälftig teilen.

Die opaken Mineralien Nickeleisen und Eisensulfid verteilen sich im Verhältnis 3 : 1.

Olivin hat relativ gute Spaltbarkeit, besonders nach (001)
$2\,V\alpha = 88\,° - 90\,°$, $n\beta = 1{,}685$

Nach Winchell liegt somit ein Olivin mit 20 Prozent Fe_2SiO_4 vor.

Orthopyroxen ist sofort an seiner schwachen Doppelbrechung erkenntlich.

$2\,V\alpha = 80° - 84°$, $n\beta$ liegt bei 1,670
$n\gamma$ liegt bei 1,676

Nach Heß harmonieren die Achsenwinkelwerte und die Brechungsindizes in diesem Falle nicht völlig miteinander; die Brechungsindizes liegen gegenüber den Achsenwinkelwerten zu tief. Das Mittel aus beiden Ablesungen entspricht 88 % En.

Klinopyroxen konnte vereinzelt auch als stenglige Zwischenlagerung in strahlig-fasrigen Enstatitchondren beobachtet werden.

Erst nachdem etwa ein Dutzend Dünnschliffe hergestellt war, gelang es, an einem besonders dünnen Präparat (dünnste Stellen $\sim$ 0,015 mm) eindeutig

Feldspat festzustellen.

Eine genauere Bestimmung ist freilich meist infolge der Kleinheit der Individuen nicht möglich. Es ist jedoch kaum anders möglich, als die Substanz, die sich mit ihrer auffällig niedrigen Lichtbrechung aus ihrer Pyroxen-Olivinumgebung deutlich abhebt, die eine sehr niedrige Doppelbrechung besitzt und mehrfach typische polysynthetische Zwillingslamellierung aufweist, als Plagioklas zu deuten. Strukturell zeigt sie mit ihren Zwickel- und Schlauchformen ein ausgesprochenes Korrosionsverhalten.

Größere Feldspatfelder wurden innerhalb einer Chondre festgestellt, welche dort zusammen mit Glas die eigentliche Grundmasse ausmachen (vgl. Textfigur 1). In der dargestellten Chondre dominiert ein // (001) angeschnittener skelettförmiger Olivinkristall. Die Nord-Süd-Richtung entspricht seiner a-Achse = $n\gamma$, so daß die nordwärts gelegene Dachbegrenzung, die hauptsächlich in der rechten Skeletthälfte gut entwickelt ist, den Prismenflächen $(\bar{1}10)$ und $(\bar{1}\bar{1}0)$ entspricht (gemessener Winkel = 125° statt 130° 3′). Die umgebende Feldspatsubstanz ist ebenso glasdurchsetzt wie der Olivin. Reliktische Olivinfetzen schwimmen im umgebenden jünger gebildeten Feldspat, der teilweise noch alte Umgrenzungen des ursprünglich größern Olivins erkennen läßt.

Andere Nichterzmineralien konnten aus den oben angeführten Gründen nicht mit Sicherheit festgestellt werden; sichere Anhaltspunkte über das Auftreten von Maskelynit, Merrillit, Oldhamit fehlen gänzlich, während doch bei weitgehend ähnlichen Mineral- und Strukturverhältnissen

Textfigur 1

0,45 mm

im Ulmizer Meteorit sich mehrfach Maskelynit-Feldspat in klarer Weise zu erkennen gibt.

Sowohl Olivin als Pyroxen können chondritisch ausgebildet sein. Darüber erfolgt eine gesonderte Betrachtung. Zwischen die beiden vorher erwähnten silikatischen Anteile greifen nun die metallischen Mineralien mit buchtigen Begrenzungen hinein. Sie sind in der Hauptsache durch

Nickeleisen (Fe, Ni) (nach dem Ätzverhalten als Kamazit anzusprechen) und

Schwefeleisen (FeS) vertreten.

Beide stellen im Anschliff homogene Felder dar.

In Zwickeln und Buchten des Nickeleisens siedeln sich gelegentlich einzelne Körner von

Cohenit (Fe_3C) an.

Cohenit ist vom umgebenden Nickeleisen durch abweichendes Relief und die schwach gelbliche Tönung erkenntlich. Auffällige Verwachsungs- und Gefügeverhältnisse zwischen beiden fehlen. Auch zwischen Schwefeleisen und Nickeleisen bestehen keine solchen. Dies muß hier deshalb er-

wähnt werden, weil in der Rindenzone in dieser Beziehung die Verhältnisse völlig anders sind und dort nicht mehr die «primären» Zustände, mit der Rindenbildung in Zusammenhang stehende, vorliegen.

Es wird hier absichtlich die Bezeichnung «Schwefeleisen» angewandt und die beiden Namen «Magnetkies» und «Troilit» umgangen. Nach Haraldsen weist das Gebiet $FeS_{0,99}$ — $FeS_{1,10}$ zwischen den Temperaturen 130° — 300° C mindestens zwei Umwandlungspunkte auf, die durch thermische, dilatometrische und Leitfähigkeits-Messungen nachgewiesen worden sind. Röntgenographisch konnte noch kein Unterschied festgestellt werden. Im vorliegenden Falle ist noch nicht untersucht worden, ob es sich um paramagnetischen Troilit oder ferromagnetischen Magnetkies handelt. Die früher für Troilit, also für das meteoritische Schwefeleisen, angenommene Isotropie — in allen Fällen war deutliche Anisotropie zu sehen — besteht auf keinen Fall, weshalb, lediglich darnach entschieden, auch die Bezeichnung Magnetkies (Pyrrhotin) angewandt werden könnte; sie wird aber wegen der Unentschiedenheit zwischen para- oder ferromagnetisch fallengelassen.

b) Gefüge und Chondrenbildung

Die meisten Steinmeteoriten weisen eine Trümmerstruktur auf, nur relativ selten trifft man eine magmatische Ausscheidungsstruktur an. Kürzlich ist vom Moore-County-Meteoriten von Heß und Henderson (1949) eine schön entwickelte gabbro-noritische Struktur beschrieben worden. Es scheint sich die Beziehung zu bestätigen, daß alle Steinmeteoriten mit Trümmerstruktur stets auch *Chondren* aufweisen, also zu den *Chondriten* gehören, unter welche auch unser Utzenstorfer Meteorit gezählt werden muß. Durch normale Eruptivgesteinsstruktur charakterisierte Steinmeteoriten dagegen entsprechen den *Achondriten*, wie z. B. der oben erwähnte Moore-County-Meteorit.

Die Bezeichnung «Chondre» ist wohl von Gustav Rose eingeführt worden und geht auf das griechische Wort «χονδρος» = Korn zurück. Obwohl nicht durchwegs von allen Autoren in völlig gleichem Sinne angewandt, wird sie doch am meisten für völlig kugelig oder ellipsoidisch geformte Gebilde gebraucht (Rose, Tschermak, Wülfing). In der neuesten Zeit hat vor allem der Amerikaner Merrill (1929) sich einläßlich mit dieser Erscheinung abgegeben, nachdem 1901 der Wiener Meteoritenforscher Berwerth (1901) die petrologische Natur der gerade durch das Auftreten der Chondren so typisch charakterisierten Steinmeteoriten, der Chondrite, zu präzisieren vermochte. Heute kommt dem Begriff der Chondre eine recht weite Fassung zu. Man versteht darunter eine nach außen abgerundete silikatische mineralische Einheit, die

innerlich recht verschiedene Strukturverhältnisse aufweisen kann. Bald stellt sie ein einheitliches Mineral (monogranular), bald eine Assoziation (polygranular) von Mineralien derselben oder auch verschiedener Zusammensetzung dar. Auch Glas mit allen Farbabstufungen von farblos bis dunkelbraun kann am Aufbau der Chondren beteiligt sein.

Das Wesentliche der Chondre, die rundliche Abgrenzung eines als Einheit anzusprechenden Körpers, kann alle erdenklichen Übergangsgrade annehmen. Im strengeren Sinne bedeuteten zunächst Chondren nur völlig kugelig oder ellipsoidisch geformte mineralische Körner mit gänzlich scharfer Abgrenzung, wie sie auf einer Drehbank erreicht werden kann; sie stellen auf jeden Fall sehr auffällige Gebilde dar und veranlaßten zur Bezeichnung «Chondre». Für diese ist denn auch in der Regel eine radial zentrische bis azentrische Faserstruktur (Sphärolithen ähnlich) charakteristisch, deren Kristallinität alle Abstufungen erkennen läßt, von Kryptokristallinität mit eben noch erkenntlichem Fasercharakter bis zu deutlich ausgebildeten, parallel bis subparallel angeordneten Prismenentwicklungen; meistens handelt es sich dabei um Enstatit, Olivin ist aber nicht ausgeschlossen. Solche sphärolitisch aussehende Gebilde sind natürlich nicht monosomatisch, sie weisen aber auch nicht den Charakter der polysomatischen Chondren auf, der sich immerhin bei den subparallel prismatisch-säulig gefügten anzustreben beginnt.

Die polysomatisch entwickelten Chondren verlieren gerne die vollendete Kugelgestaltung; gelegentlich sind aber auch polysomatische und körnig gefügte Chondren völlig kugelig gestaltet und scharf abgegrenzt. Die Ausbildung wohldifferenzierter Mineralkörner, unbekümmert, ob gleicher oder verschiedener Art, begünstigt das Verlassen einer scharf ausgebildeten Umgrenzung und strebt ein Verschmelzen mit der allgemeinen körnig-brekziösen Zwischenmasse an, so aber, daß eine gewisse rundliche Abgrenzung immer noch durch das Dazwischentreten von Erz- oder von feinstkörniger Substanz (Glas- oder Zerreibselmasse) erhalten oder doch angedeutet bleibt. Solchen körnig ausgebildeten polysomatischen Chondren ist sehr häufig eine *porphyrische* Struktur eigen: idiomorph bis abgerundete Olivin- oder Pyroxenkristalle werden von einer glasig aussehenden, in Wirklichkeit kryptokristallenen Grundmasse umgeben. Diese weist im allgemeinen keine Färbung auf wie der glasige Anteil der monosomatischen Chondren, sie erscheint allerdings gegenüber den Einsprenglingen infolge der Totalreflexion der kryptokristallinen Systeme gerne in dunklerer Tönung und reagiert bei Nicols sozusagen isotrop.

Nur selten begegnet man im Utzenstorfer Stein Verhältnissen, die auf Seite 73 schon erwähnt wurden, welche deutlich glasdurchsetzte Plagioklase als Grundmasse polygranularer Chondren aufweisen.

Es ist also schon die strukturelle Variabilität der Chondren, welche zu verschiedenen Chondritengefügen führt, dann kann es aber auch die Art und Weise sein, wie diese verschieden struierten Chondren miteinander in eine Grund- oder Zwischenmasse eingelagert sind. In der Regel bildet die Zwischenmasse ein völlig ungeregeltes Gemenge von größern, kleinern und allerkleinsten olivinischen und pyroxenischen Mineralien, ohne daß zwischen diesen eine Kristallisationsfolge wahrzunehmen wäre; die Struktur erinnert am ehesten an ein *Trümmerwerk*. Feldspathaltige Kombinationen sind ohnehin nicht häufig; in unserem Falle tritt Feldspat sehr zurück. Es handelt sich also um dieselben Mineralien, welche die Chondren zusammensetzen. Wechselnde Mengen metallischer Anteile, vor allem von Nickeleisen und Schwefeleisen, etwas Magnetit und Chromit ergänzen den Mineralbestand der die Chondren umschließenden Grundmasse. Eisen und Schwefeleisen zeigen mitunter im Strukturbild gegenüber den silikatischen Anteilen ein recht aktives Verhältnis (vgl. Bild 16). In mehr rundlich entwickelten, geschlosseneren Schmelz- oder Lösungsformen tritt das Nickeleisen auf, während das Schwefeleisen gern ein aufgelockerteres Gefüge zeigt und sich etwas dispergierter auf Korngrenzen und Spaltrissen einstellt. Gelegentlich durchzieht gediegen Eisen gangartig die Silikatmasse, die nebenan liegenden Silikatkörner ganz oder teilweise einschließend.

Man findet auch Partien mit feinstkörnigem, kryptokristallinem bis dichtem Material, dessen genauere Interpretation in vielen Fällen Schwierigkeiten bereitet; oft möchte man es als feinstes Silikatzerreibsel, dann aber auch wieder als Entglasungssubstanz ansprechen. Es scheinen auch diese beiden Möglichkeiten genetisch irgendwie in einer noch nicht genügend abgeklärten Weise aufs engste zusammenzuhängen. Ob es sich dabei um Zwischenmassenanteile oder um Bereiche handelt, wie sie die Grundmasse polysomatischer porphyrischer Chondren charakterisiert, ist nicht immer leicht zu sagen.

Allerdings heben sich ja die Chondren gegenüber der Zwischenmasse durch einen dunklen, oft nur hauchdünnen Saum ab. Eine nicht kritische Betrachtung wird diese Randzone als Erz ansprechen, hauptsächlich, wenn sie breites Ausmaß (10—50 μ) besitzt. Dies trifft aber höchst selten zu. Fast immer wird dieses dunkle Material durch Mineralstaub dargestellt, wobei die Konturierung der Chondren noch durch die auf sol-

chen Grenzen besonders gerne zirkulierende Fe-hydroxydische braune Pigmentierung verstärkt wird. In Fällen, wo kryptokristalline strahlig gebaute Chondren vorliegen, läßt sich außerdem auch eine dunkel gefärbte Glashaut beobachten.

Es geht aus dieser allgemeinen Charakterisierung des Chondritengefüges hervor, daß wir hier bedeutenden Mannigfaltigkeiten begegnen, außerdem kann die Vielfalt der Erscheinungen an ein und demselben Meteoriten, ja selbst am selben Schliff beobachtet werden. Mit andern Worten, die heute in einem Chondriten miteinander verassozierten Mineralien weisen recht verschiedene Stufen petrologischer Evolution auf, welche dazu anregen, Fragen nach erreichtem oder nicht erreichtem Gleichgewicht zu stellen und zu prüfen und abzuklären, wie das Miteinanderauftreten verschiedener Entwicklungsstufen möglich ist.

Nach diesen allgemeinen Ausführungen sollen einige Chondrentypen herausgegriffen werden, wie sie vor allem im Utzenstorfer Meteorit angetroffen werden können; weitgehend decken sich die Verhältnisse mit den von Hugi (1930) aus dem Ulmizer Meteoriten beschriebenen, die in seiner Publikation auch eine eingehende Studie erfahren haben, so daß wir uns hier kurz fassen können und nur insoweit darauf näher eingehen, als dies für neue Gesichtspunkte bedeutungsvoll wird. Dabei bedienen wir uns der beigelegten Übersichtszeichnung (Bild 1), welche mikroskopische Strukturverhältnisse unseres Meteoriten wiedergibt, nach welcher über die Trümmerstruktur kein Zweifel bestehen kann.

1. Der häufigste Chondrentyp ist die polysomatische, porphyrische Olivin-Chondre (1 — 1) und (2 — 2). In (1 — 1) liegen mehr isometrisch gestaltete, in (2 — 2) mehr leistenförmige Olivine vor. In beiden Fällen zementiert eine feinst- bis kryptokristalline Grundmasse die Olivinindividuen und verursacht den porphyrischen Charakter. Die in der Längsausdehnung 1,1 bis 1,2 mm langen elliptischen Chondren lassen deutlich die bereits erwähnte umgürtende Staubzone erkennen. In (2 — 2) erscheint eine Reaktion zwischen Grundmasse und Einsprengling noch etwas deutlicher als in (1 — 1), wogegen in der letzteren die Kristallisation der ehemals glasigen Grundmasse weiter fortgeschritten ist als in der vorigen; dies ist in der Tendenz zu strahliger Anordnung der Mikrolithen deutlich ersichtlich.
2. Ein polysomatisches, vollkristallines Olivinchondrum tritt uns in (3 — 3) entgegen, bemerkenswert dadurch, daß das große Olivin-

korn auf der einen Seite einen breiten Saum kleiner Olivinkristalle aufweist. Der Glasanteil ist nur ganz geringfügig in Form von Schläuchen und Fahnen im großen Kristall.

3. Vollkristalline polysomatische Chondren liegen außerdem noch in (4 — 4) und (5 — 5) vor. (5 — 5) ist besonders durch das Pflastergefüge der kleinen, rundlichen Olivine gekennzeichnet.
4. Ein vollkristallines polysomatisches Enstatitchondrum mit eingeschlossenen Olivinkörnern zeigt (6 — 6), an welchem außerdem noch der ausgesprochene Trümmercharakter ersichtlich ist.
5. Monosomatisch sind die beiden Olivinchondren (7—7) und (8—8), welche, wie es meistens zutrifft, von dunkelbraunen Glaszügen durchsetzt sind. Auch im Utzenstorfer Meteoriten konnten Zwillingskristalle angetroffen werden, wie sie Hugi (1930) textlich und graphisch vom Ulmizer festgehalten hat (Hugi, Tafel X, Bild 2). Bei Anwendung des Drehtisches erweisen sich die breit aussehenden Glasbänder als höchst dünne Lamellen, parallel (010), gelegentlich seitlich miteinander verbunden, wodurch bei beliebigerer Schnittorientierung Biegungen, gekrümmter Verlauf oder sogar ein Netzwerk vorgetäuscht werden. Die Gitterung in (9 — 9) ist ebenfalls auf eine vorwiegend nach einer einzigen Fläche parallel verlaufende dünnste Glaseinlagerung zurückzuführen, wobei das Überspringen auf die benachbarte Lamelle zur Gitterzeichnung führt.
6. Die monosomatischen Enstatitchondren stellen meist Trümmerfetzen dar, sie sind aus der Zeichnung ohne weiteres durch die scharfen, parallel verlaufenden oder rechtwinklig sich kreuzenden Spaltrisse erkenntlich.
7. In (10 — 10) treffen wir eine feinstkristalline, strahlig-exzentrische Enstatitchondre an, wie sie zuerst beim Studium der Chondriten auffiel und zur Bezeichnung Kügelchen-Meteoriten Veranlassung gab. Es scheint hier wirklich exzentrisch am Außenrand eines tropfenförmigen Gebildes die Kristallisation angesetzt zu haben.
8. In (11 — 11) liegt ein schlecht abgerundetes Fragment eines kryptokristallinen Gebildes vor.
9. Mit (12 — 12) ist eine Stelle charakterisiert, die feinstkristallines Zerreibsel oder beginnende Rekristallisation umfaßt; ähnliche Verhältnisse liegen wenig einwärts der linken obern Bildecke vor; auf die unentschiedene Stellung dieses Gefügeanteils wurde bereits auf

Seite 73 aufmerksam gemacht. Vielleicht handelt es sich um ein Strukturelement, das Berwerth (1902) mit «Netzbronzit» bezeichnet, welches nach diesem Forscher sehr verbreitet sein soll, das ich jedoch in meinen vorliegenden Präparaten sonst nicht in typischer Ausbildung angetroffen habe.

Eine herauspräparierte, völlig kugelig umgrenzte Chondre mit 1,3 mm Durchmesser, von dunkelgrauer Farbe und glatter Oberfläche wurde mikroskopisch und röntgenographisch untersucht. Mikroskopisch zeigte sie mit unregelmäßigen Grenzlinien aneinanderstoßende Felder, die aus strahlig-nadligem Enstatit bestanden. Die Felder selbst wiesen untereinander keine Parallelität der Enstatite auf, immerhin war eine subparallele Orientierung angestrebt. Es konnten keine weitern Mineralarten festgestellt werden, auch Maskelynit nicht. Der Röntgenfilm wies nur Enstatitlinien auf.

Über die Stellung des Chondriten von Utzenstorf in der Systematik der Meteoriten folgen kurze Ausführungen im chemischen Teil.

c) Zur Beschaffenheit der Chondren und zur Bildung der Chondrite

1. Pyrometamorphe Erscheinungen an Chondren

Die Ansichten über die Natur der auffälligen Gebilde, wie sie in den Chondren vorliegen, bestimmen auch weitgehend die Vorstellungen über Wesen und Entstehung der Chondriten. Die recht verschiedenen Auffassungen, die sich bis in die neuesten Zeiten, allerdings nicht mehr in ihrer frühern Schärfe, noch bemerkbar machen, waren vor allem dadurch bedingt, daß die einzelnen Forscher, nur von den gerade für sie besonders auffälligen Einzelerscheinungen ausgehend, zu sehr verallgemeinerten. Reichenbach (1860) betonte die Trümmerstruktur, nach welcher ältere Meteoriten als Trümmer in jüngern eingeschlossen sind, während Sorby (1864) vor allem Gewicht auf die kugelige Schmelztropfenform legte, aber auch auf die Verschiedenheit der meteoritischen Glaskörper gegenüber den irdischen, die wir vom Peles Haar oder von den Lapilli her kennen (1877), hinwies. Er verglich die glasigen Chondren mit den mit dem Lötrohr erzeugten Glasperlen, die strahlig fasrige Kristallisationserscheinungen erkennen lassen, und vermutete, daß in den Chondren Meteoritenbestandteile vorlägen, die ursprünglich abgelöste Glaskugeln,

Tropfen eines Feuerregens, darstellten. Zweifellos hatte damit Sorby nur die radialstrahligen, sphärolithisch aussehenden Chondren ins Auge gefaßt.

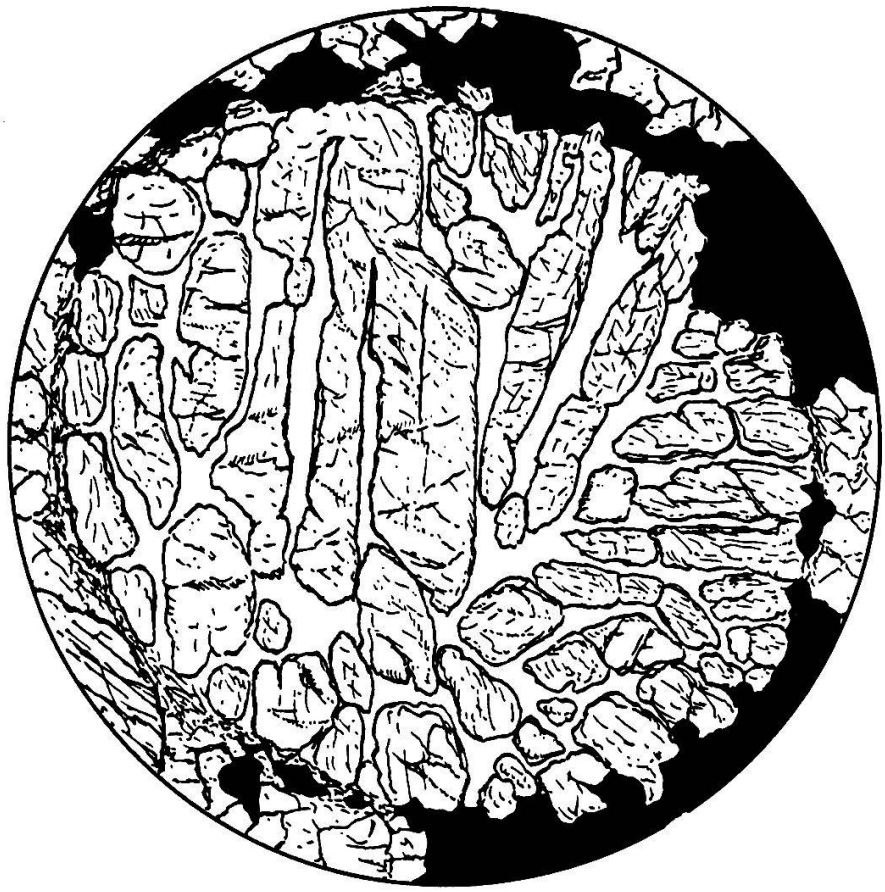
Demgegenüber erklärte Tschermak (1874/1875) die Kugelgestalt der Chondren entstanden durch einen Abreibungsprozeß, der sich während einer vulkanischen Explosion auswirkte, und die Chondriten als Zerreibungstuffe. Auch für Daubrée (1879) spielte die Abrundung durch Reibung eine Hauptrolle. Doch schon acht Jahre nach Tschermaks erster Äußerung modifizierte derselbe Autor (1882) seine Ansicht dahin, daß die Kügelchen erstarrte und zerstäubte silikatische Schmelztropfen und die sie umgebende Grundmasse ein aus Splittern bestehender vulkanischer Detritus darstellen.

Mit der Publikation über die Untersuchung des Chondriten von Zavid von F. Berwerth (1902) wurden in die Betrachtung der Chondriten und der Meteoriten ganz allgemein neue Gesichtspunkte eingeführt, die in der Petrologie irdischer Gesteine durchaus geläufig sind. Mit dieser Arbeit begann der Begriff der *Metamorphose* die geschichtliche Entwicklung der Meteoriten zu beleben und wurde die Brücke zwischen Erstarrung aus Schmelzfluß und vulkanischer Zertrümmerung geschlagen. Berwerth erklärte den Chondriten von Zavid «als ein durch Umschmelzung metamorphosierten meteoritischen Tuff». Damit ließen sich die Gegensätze, auf der einen Seite nur von Meteoriten her bekannte Erscheinungen, auf der andern solche, die auch von tellurischen Produkten bekannt sind, vereinen.

Diese Berwerth'sche Ansicht machte sich vor allem der amerikanische Meteoritenforscher Merrill (1921) zu eigen und konnte sie in umfangreicher Weise an seinen vielen Meteoritenuntersuchungen bestätigen.

Wie äußert sich nun diese Metamorphose? Es darf von vornherein nicht erwartet werden, daß sie Verhältnisse schafft, die mit denjenigen, welche auf unserer Erde vorliegen, identisch sind; jedenfalls dürfte hier nach der chemisch qualitativen Seite eine Analogie nicht angetroffen werden. Gewisse mechanisch-strukturelle Einzelheiten allerdings sind mit irdischen wohl vergleichbar.

Vor allem fallen in dieser Beziehung die physiographischen Bilder der kristallin vollkörnig oder der «porphyrisch» gebauten polysomatischen Chondren auf. So läßt die große Chondre (2 — 2) der Übersichtszeichnung (Bild 1) deutlich eine mechanische Aufsprengung der einzelnen Olivinkörner erkennen, bei andern ist dies ebenfalls ersichtlich; beson-



Textfigur 2 Chondrendurchmesser = 0,1 mm

ders klar liegen die Verhältnisse, wie sie in Textfigur 2 vom Ulmizer Meteoriten dargestellt sind. Schon die räumliche Orientierung der etwas länglichen Einzelkörner läßt unter einigen derselben einen engern Zusammenhang ahnen. Bei × Nicols wird es klar, daß die ganze Chondre eigentlich nur aus 3 bis 4 Körnern besteht, die einzeln mechanisch (und teilweise chemisch) aufgespalten wurden. Hier ist die Zwischenmasse Maskelynitfeldspat (helle Grundmasse der Zeichnung). Die Auftrennung der Einzelkörner erfolgte vorzugsweise entlang kristallographischen Kohäsionsminima.

Doch handelt es sich nicht um einen rein mechanischen Auflockerungseffekt, wie er durch Zertrümmerung allein erzielt wird, sondern ihm folgte ein *chemischer Korrosionsvorgang.* Zu mechanischen Aufspaltungsformen gesellen sich Korrosionsformen, wie letztere uns von Einsprenglingen aus glasig oder mikrokristallin beschaffenen Grundmassen her bekannt sind oder wie solche überall da uns entgegentreten, wo nach vorausgegangener mechanisch-tektonischer Zertrümmerung auflösende, verdrängende und metasomatisch wirkende Lösungen in Aktion treten. Es

dürfte aus den Gefügeverhältnissen ohne Zweifel hervorgehen, daß auf die Kataklase ein Schmelzvorgang mit korrosiver Wirkung folgte. Es ist darin eine «*Pyrometamorphose*» zu erblicken; diese hat zum mindesten zu einer teilweisen Schmelzung geführt, eine Möglichkeit, die bei der stofflichen Heterogenität des Ausgangsmaterials verständlich erscheint und auf welche ja auch schon Berwerth in der angeführten Arbeit aufmerksam macht.

Textfigur 3

0,125 mm

Auf die Erhitzung mit Schmelzen folgte wohl sehr rasch eine Abkühlung mit Kristallisation. Die beigefügten Zeichnungen geben eine klare Vorstellung von diesem Schmelz- und Kristallisationsprozeß. Textfigur 3 zeigt durch die Schmelze stark korrodierte Olivine, die bis zu Relikten in der Schmelze erhalten geblieben sind, aus welch letzterer sich sperrigbündelige, häufig leistenartig aussehende Kristalle entwickeln. Es ist kaum möglich, mit Sicherheit die Natur dieses gittrigen Kristallwerks mikroskopisch zu bestimmen. Berwerth (1901) glaubt es nach seinen Untersuchungen als aus Bronzit bestehend ansehen zu können, «*Netzbronzit*», und hält es für aufs feinste feldspatdurchwachsen. Die von ihm angegebene optische Orientierung der Leisten (Längsrichtung = γ) konnte auch in den uns vorliegenden Präparaten festgestellt werden.

Allerdings wurde mehrfach auch eine 45 °-Auslöschung gemessen, so daß auch Klinopyroxene vorliegen dürften. Die «Netzbronzit»-Erscheinung stellte sich überhaupt unter den Chondriten als sehr verbreitet heraus, fast allen «porphyrisch» gebauten Chondren scheint sie eigen zu sein und tritt nur je nach der Kristallinität des Grundmassennetzes mehr oder weniger gut in Erscheinung. «Porphyrische» Chondren mit «Einsprenglingen» in reiner Glasmasse gibt es eigentlich gar nicht. Eine röntgenographische Untersuchung dieser Verhältnisse an unserem Material scheitert an der Unmöglichkeit des für solche Zwecke notwendigen Isolierens. Dasselbe gilt wohl allgemeiner für alle Proben dieses Charakters, die ja in unzählbarer Vielheit auftreten und hier nur als beliebig herausgegriffene Beispiele zur Darstellung gelangten.

Bild 7 belegt besonders eindringlich das schlauchartige Eindringen der Schmelzzwischenmasse in die Olivine einer polysomatischen Chondre. Sie läßt aber auch schön erkennen, wie von den Korrosionsschläuchen aus die neu ausscheidenden Kristalle in die unversehrt gebliebenen Olivine hineinspießen.

Es erscheint angezeigt, hier in diesem Zusammenhang darauf aufmerksam zu machen, wie dieselben pyrometamorphen Erscheinungen in physiographisch genau gleicher Weise am Innenrand der äußersten Zone der Meteoritenrinde festzustellen sind. Obwohl die mikroskopische Natur der Rinde selbst eine gesonderte Betrachtung erfährt, müssen hier Beobachtungen über Schmelzeffekte im Meteoriteninnern und über das Verhalten einer erzeugten Schmelze gegenüber dem intakten Anteil gerade wegen dieser Übereinstimmung eine Erwähnung finden. In der Rinde liegt demnach ebenfalls ein Produkt einer Metamorphose vor, die allerdings nur den alleräußersten Teil des Meteoriten erfaßte und die sich erst in allerjüngster Zeit ereignete, ganz unabhängig von der den Chondriten in seinen Wesenszügen kennzeichnenden älteren, welche den ganzen Chondriten überhaupt erst wohl formte.

In den mikroskopischen Präparaten läßt sich nun sehr schön verfolgen, wie der Schmelzprozeß um sich greift. Dicht aneinander, übereinander und untereinander in das intakte Mineral vorwärtsgreifende feinste sack- und wurmförmige Glaskanäle (1—3 μ Dicke), die sich mit ihren weitest vorgeschobenen Punkten zu einer «Front» vereinigen lassen, verursachen eine allgemeine Trübung und Verdunklung infolge Häufung totalreflektierender Wirkungen. Eine solche «Front» verläuft nun ± parallel zu den Grenzen des angegriffenen Kristalls, sie kann aber fjordartig in dessen Inneres einbuchten. Gelegentlich ist dieser «Schlauchfront» noch ein

bis 20 oder 30 μ Breite messender Saum mit feinsten punktförmigen Einschlüssen vorgelagert, deren Charakter nicht weiter präzisiert werden konnte; es scheint sich um ein zeitliches Vorstadium der Schlauchfront zu handeln, kleine lokalisierte Zerfallszentren des Kristalls darstellend. Aus dieser trüben Masse entwickeln sich, in allen Übergangsstadien ist dies anzutreffen, die anschießenden fächrig-taflig-strahligen Neuausscheidungen, wie wir sie im Netzbronzit kennengelernt haben, und zwar sind die physiographischen Verhältnisse völlig übereinstimmend, ob wir uns im Bereiche der «porphyrischen» Chondren oder am Reaktionsrand von Außenrinde zum Meteoritenkern befinden. In beiden Fällen läßt die verdrängende Schmelze oft nur mehr Relikte der ursprünglich vorhandenen Kristalle übrig (vgl. Bild 5). Über die nähern Verhältnisse, wie sie sich an der Rinde entwickeln, geben die Ausführungen im diesbezüglichen Abschnitt Auskunft.

Es scheint sich nun aber in unserem Utzenstorfer Meteoriten auch eine Schmelze außerhalb der porphyrischen Chondren gebildet zu haben, die durch Zirkulation heißer Gase zwischen dem feinen Trümmermaterial hervorgerufen sein kann. Aus ihr schieden sich in der Folge ähnlich struierte Kristallate aus, wie sie die Grundmasse der «porphyrischen» Chondren kennzeichnen. Doch ist ihre Bildung möglicherweise auch lediglich durch Sammel- oder Rekristallisation bei Temperaturanstieg eines staubfeinen Zwischenmaterials bedingt. Diese fein- bis kryptokristalline Zwischenmasse stellt wohl teilweise die makroskopisch erkennbare kreidig-erdige Substanz dar (vgl. auch Seite 78, Punkt 9).

Vom Zavid-Meteoriten erwähnt Berwerth (1902), daß die feinkristalline Grundmasse der porphyrischen Chondren sich auch zwischen den Chondren als «Netzbronzit» hindurchzieht. In dieser Beziehung weist unser Meteorit mit dem Zavider eine gewisse Ähnlichkeit auf. Obwohl Merrill (1921) für seine Meteoritenbetrachtungen von der Berwerthschen Ansicht, die Entwicklung der Chondrite lasse Metamorphosierungsprozesse erkennen, beeinflußt wurde, legt er den Akzent nicht ganz auf dieselben Phänomene. Für ihn sind vor allem Rekristallisationserscheinungen, hervorgerufen durch Erhitzung und mechanische Druckeffekte, die bezeichnenden Merkmale metamorphosierender Einflüsse. Nach diesem Forscher nimmt das kristalline Aussehen und der Gehalt an Maskelynit eines Chondriten im selben Maße zu wie die Abnahme des Glasanteiles. Im Maskelynit erblickt er allerdings das Ausscheidungsprodukt einer auch wieder intermediär entstandenen Schmelze, die in Analogie mit dem normalen, primär sich vollziehenden Ausscheidungs-

akt ihre Verfestigung zeitlich nach derjenigen der Pyroxene (Netzbronzit *Berwerths)* mit der Kristallisation von Feldspat oder sogar von Quarz abschließt.

Auch bei W a h l (1911) spielt ein nachträglicher Schmelzvorgang eine weniger hervorstechende Rolle; die von ihm erwähnten «porphyrischen» Chondren werden als primär aus schmelzflüssigen Tropfen entstanden aufgefaßt, in welchen schon vor der Zerstäubung der Schmelze zu Tropfen sich Kristalle ausschieden. Diese «porphyrischen» Chondren sind nach diesem Forscher durchaus gleichzustellen mit den Enstatitkügelchen, und nur in der Weise sind sie voneinander verschieden, daß bei den ersten sich eine Kristallisation ohne vorhergehende Unterkühlung, bei den letzteren sich eine spontane radialfasrig-exzentrische Ausscheidung nach vorausgegangener Unterkühlung einstellte. Es kann sich nun im erstern Falle der Frühausscheidung eines Olivinkristalls trotzdem etwas Restschmelze im Einsprengling erhalten, wodurch die Waben-, Gitter- oder Lamellenolivine mit ihrem dunklen Glas zustande kommen (Übersichtszeichnung 1, 7 — 7, 8 — 8).

2. Zweierlei Chondrentypen und Diskussion über die Chondrennatur

M e r r i l l (1920) kam im Laufe seiner umfangreichen und eingehenden Meteoritenuntersuchungen zur Auffassung, daß in den Chondren zwei verschiedene Bildungen ungleichen Ursprungs vorliegen:

1. Einmal die kugelig bis elliptisch geformten, kryptokristallinen bis feinststrahligen, mit zentrischem oder exzentrischem Radiationspunkt, mit ihren sehr glatten, oft glasigen und dünnen Hüllen, meist Enstatitkügelchen darstellend. Eine zu diesem Typ gehörige ist in der Übersichtszeichnung (Bild 1) (10 — 10) dargestellt, eine weitere wird durch Bild 3a in kleinerem und in Bild 3b in größerem Maßstabe wiedergegeben; diese sind völlig unversehrt, während die zweitoberste links auf der Übersichtszeichnung (Bild 1) einem Explosionsfragment entspricht. Wie besonders die Bilder 3a und 3b erkennen lassen, spielt der glasige Anteil noch eine recht bedeutende Rolle. Die divergentstrahlig gefügten, leistenförmigen Kristalle sind durchsetzt von braungefärbten Glaseinlagerungen, die schlauchartig gegen die Oberfläche austreten und in allen Dicken- und Dispersitätsgraden anzutreffen sind. Diesen Gebilden möchte M e r r i l l eine direkte Entstehung aus feurig-flüssiger Schmelze zu-

schreiben; sie entsprechen also der Sorbyschen Interpretation als festgewordenem Schmelztropfen mit schon erreichter Kryptokristallinität. Mit Sphärolithen, die wir aus irdischen glasigen Gesteinsmagmen kennen, haben sie insofern nichts zu tun, als sie nicht lokale Kristallisationszentren in einer dichten oder gar noch glasigen Grundmasse darstellen, sondern erstarrte Tropfen aus einem feurigen Schmelzregen, die außerhalb ihres sie heute umgebenden Milieus gebildet wurden.

2. Die meist vollkristallin-körnig oder porphyrisch beschaffenen Chondren, wie sie in der Übersichtszeichnung (Bild 1) unter (1 — 1), (2 — 2), (3 — 3) und (4 — 4) und andern skizziert sind, dürften mehr oder weniger intensive Reibungsprozesse durchgemacht haben. Es lassen sich oft Stellen finden, die deutlich zeigen, daß einzelne in der Chondre randlich gelegene Kristalle auf die Rundungsgrenze der Gesamtchondre zurückgeschliffen wurden (vgl. Hinweis S. 87, oben). Es handelt sich demnach hier keinesfalls um eine Rundung, die mit der Tropfenform etwas zu tun hat, sondern die grundsätzlich anderer Entstehung, nämlich mechanisch abrasiver Natur ist. Häufig ist auch die Rundung wenig ausgesprochen und kann sogar brekziös-splittrigen Umgrenzungen Platz machen. Eine Möglichkeit zu mechanischer Abrundung dürfte bei den Zerstäubungsprozessen in mit Gasen und Festmaterialien durchmischten Explosionswirbeln, vielleicht sogar in Koppelung mit Abschmelzung und Abschleudern des Geschmolzenen, durchaus gegeben sein. Merrill (1920) schlägt für ihre Gestaltung daher nicht die Bezeichnung «Chondre», sondern «chondroides» Gebilde vor. Damit würde «Chondre» nur auf die sphärisch zentrierten oder azentrisch strahligen Enstatit-Kügelchen beschränkt bleiben.

So scheinen sich zunächst zwei genetisch ganz verschiedene Chondrentypen gegenüberzustehen; es frägt sich aber, ob diese Trennung so scharf durchgeführt werden kann, da ja gerade Wahl schöne Beispiele abbildet, die das Hineinwachsen isometrisch bis gedrängt prismatisch entwickelter Enstatite vom Außen- d. h. Tropfenrande nach der Mitte der Chondre erkennen lassen; die Zwischenräume innerhalb der porphyrischen Chondren sollen von einem hellen Glas erfüllt sein.

Es scheint mir aber, eine solche Entstehungsmöglichkeit schließe nicht aus, daß die ursprüngliche Tropfenform, aus der bei etwas langsamer Kristallisation sich ein monogranulares oder polygranulares Gebilde ent-

wickelt hatte, in einem späteren Stadium nicht noch einem weiteren rundenden Schleif- und Abreibeprozeß unterlag.

Zunächst sei festgehalten, daß auch für B e r w e r t h (1901) die Enstatitkügelchen, die Netzbronzite der allgemeinen chondritischen Zwischenmasse und diejenige der Grundmasse in den «porphyrischen» Chondren nicht nur phänomenologisch, sondern auch genetisch dasselbe zu sein scheinen: Kristallisationsprodukte von in den Schmelzzustand geratenen Anteilen eines tuffogenen oder explosiv zertrümmerten Felsmaterials.

Beim Studium der Chondren stößt man freilich immer und immer wieder auf die Schwierigkeit, im Olivin oder im Pyroxen primär eingewachsene Glaslamellen oder -bänder von solchem Glas zu unterscheiden, das die Grundmasse des «porphyrisch» gebauten Chondrums darstellt. Vor allem gilt dies dann, wenn die eingeschlossenen Glaspartien hell erscheinen und ihre dunklere Färbung lediglich durch die Totalreflexion der aufs innigste dicht gescharten, allerfeinsten, fadenartigen oder auch rundlichen Glaskörperchen hervorgerufen wird. Sind die Glaskörperchen aber selbst dunkler, meist ins Braune gehend, so resultiert eine ausgesprochen braune bis dunkelbraune Allgemeinfärbung, wie wir sie von den Glaseinschlüssen aus Mineralien irdischer Vulkanite her kennen, so daß wir solche Erscheinungen ohne weiteres als Glas diagnostizieren.

In den Meteoriten von Utzenstorf und Ulmiz zeigt die Grundmasse der «porphyrischen» Chondren meistens die B e r w e r t h sche Netzbronzit-Erscheinung, die wir im vorigen Abschnitt geschildert haben. Hat sie jedoch nur ein kryptokristallines Anfangsstadium erreicht, so ist sie von den oben erwähnten ungefärbten Glaseinschlüssen in vielen Fällen überhaupt nicht und manchmal nur bei eingehendstem Studium zu unterscheiden. Zudem ist es oft außerordentlich schwierig, zu erkennen, ob es sich um beginnende und steckengebliebene Schmelz- oder Frittungserscheinungen handelt oder ob eine vorhanden gewesene Schmelzphase im ersten kryptokristallinen Erstarrungsstadium fixiert worden ist. Alles, was in den hierher gehörigen Diskussionsbereich gehört, erscheint infolge der kleinsten Teilchen als Trübung und bei $\times$ Nicols isotrop.

Im allgemeinen macht sich aber ein Unterschied doch in der Weise geltend, daß die als eingeschlossenes Glas angesprochenen Partien kaum Kristallisationserscheinungen erkennen lassen, während doch bei den als Grundmasse zu deutenden die Entwicklung des Netzbronzits in allen ihren Stadien beobachtet werden kann. Das spricht nun dafür, daß die Grundmasse genetisch eben nicht mit dem eingeschlossenen Glas in Beziehung gebracht werden darf, wie es die Bezeichnung «porphyrisch»

eigentlich erwarten läßt, in Erwartung der Verhältnisse bei irdischen Vulkaniten, wo die Einsprenglinge ungefähr dieselbe Glasmasse enthalten, wie sie die glasige Grundmasse beitzt. Man darf deshalb doch mit einer gewissen Berechtigung die kryptokristalline Grundmasse der «porphyrischen» Chondren, wie Berwerth es tat, als eine nachträgliche, also metamorphe Bildung ansehen, obwohl häufig physiographisch Körper vorliegen, die man kaum anders denn als Kristalleinsprenglinge in entglaster Grundmasse ansprechen möchte. Da ja aber auch von letztern Korrosions- und Lösungserscheinungen bekannt sind, so dürfen solche nicht allein als entscheidend für die nachträgliche An- und Umschmelzung ins Feld geführt werden.

Es ist aber immerhin auffällig — sofern es überhaupt statthaft ist, Vergleiche mit irdischen Gesteinen entscheidend heranzuziehen —, daß das Verhältnis von früh ausgeschiedenem Kristall zu der die Grundmasse liefernden Restschmelze ein unverändertes bleibt; die Mannigfaltigkeit der Zwischengenerationen von Einsprenglingen ist im Meteoritenbereich in gar keiner Weise bekannt. Es existieren nur deutlich individualisierte «Einsprenglinge» desselben Entwicklungsgrades einerseits und «Grundmasse» anderseits; letztere allerdings in allen Stadien homogen gearteter Kristallisation. Das sind auf jeden Fall einige Beobachtungen, welche zur Klärung und Deutung gewisser zu Konvergenzen neigender Erscheinungen beitragen.

Einer sehr schwierigen Unterscheidung der beiden Glassubstanzen bin ich vor allem in dem chondrenreichen Meteoriten von Tennasilm in Estland (gefallen 1872) begegnet. In diesem Stein sind alle erdenklichen Zustands- und Ausbildungsformen, die man von Chondren kennt, nebeneinander repräsentiert: Völlig runde, braun und trübe durchscheinende Glastropfen und -tröpfchen (Chondrendurchmesser bis herab zu 150 μ), feinste radialexzentrische Faserung zeigend und bei × Nicols eine wohlausgebildetes Auslöschungskreuz bildend, dann wieder splittrige Trümmer solcher Gebilde und wieder solche mit gewundener Faserung, deren Ansatzpunkt an exzentrisch gelegenem Olivinkristallfragment sitzt. Es stellen sich auch feinstfasrig struierte Enstatitkugeln (Durchmesser = 0,85 mm) ein, deren mikrokristalline Faserstruktur bei × Nicols eine Aufteilung in drei bis vier übergeordnete, mit gebuchteten Linien gegeneinander abgegrenzte Auslöschungsfelder erkennen läßt. Offenbar liegt hier das Bestreben vor, drei bis vier gesonderte größere Kristalle entwickeln zu lassen. In der Tat lassen sich auch solche im fortgeschritteneren Entwicklungsstadium antreffen; es sind elliptisch umgrenzte Chondren, die

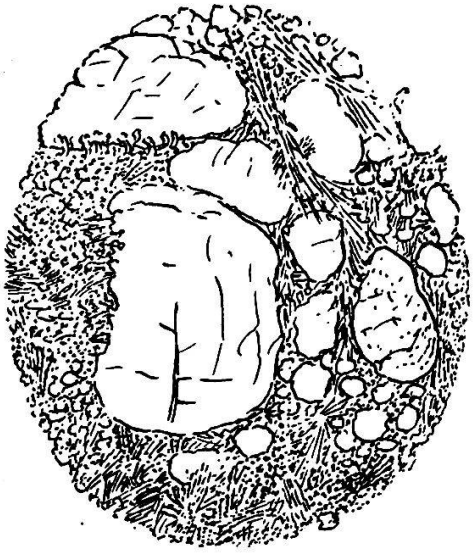
vorwiegend prismatisch entwickelte hypidiomorphe Enstatite in den Größen von 0,2 bis 0,7 mm kreuz und quer angeordnet enthalten. Diese Ausmaße stehen in Übereinstimmung mit den Auslöschungsfeldern der eben erwähnten mikro-kryptokristallin gefaserten Enstatitkugeln. Die Enstatite dieser grobkristallinen Chondren weisen aber entlang den kristallmorphologischen Hauptebenen die durch feinste Glasporeneinlagerungen verursachten Trübungen auf und erzeugen Bilder ähnlich denjenigen, die durch nachträgliches Schmelzen hervorgerufen werden. Am Chondrenrand erscheinen die Enstatitkristalle deutlich abradiert, ohne natürlich gewachsene Endbegrenzung.

In ähnlicher Weise müßten balken- und fachwerkartig mit trüber Glassubstanz durchsetzte monosomatische oder polysomatische Pyroxen- und Olivinchondren gedeutet werden, die sich aus einer silikatischen Schmelze unter Einbau der reliktischen Schmelzlösung entwickelt hätten. Dasselbe gälte selbstverständlich auch für monosomatische, kreisrund umgrenzte Olivinchondren, die in den vorliegenden Fällen verzwillingt erscheinen, ein Glasbalkensystem eingebaut enthalten, ohne daß dieses sich bis an die Außenseite ausdehnt. Im Gegenteil, ein gänzlich glasfreier, 20 bis 30 μ breiter Ring umgürtet den balkendurchsetzten Kern völlig konform mit der kreisrunden Außenbegrenzung. Kern und Saum löschen innerhalb ihrer Zwillingshälften einheitlich aus. Es liegen Verhältnisse vor, die schon von W a h l erwähnt werden, die auf ein langsameres Kristallisieren vom Rande eines Schmelztropfens her unter Entwicklung eines einheitlich größern Kristalls und Einschließen von Glasrest im Innern zurückzuführen sind.

Es ließen sich hier aber auch Chondren feststellen, die scherbig gestaltete, äußerst splittrig zerborstene Olivine in einer graubraunen Grundmasse eingeschlossen enthalten, die völlig glasiges Verhalten aufweist. Die sorgfältigste Beobachtung läßt keine Spuren einer beginnenden Netzbronzitentwicklung oder einer analogen Erscheinung erkennen. Man gewinnt den Eindruck, es seien Olivinscherben in einem Glasteig fixiert. Gänzlich analogen Strukturbildern begegnet man wieder in andern Chondren, in welchen aber die etwas lichter gefärbte glasige Grundmasse schon die Entwicklung von Netzbronzit in ihren Anfängen erkennen läßt.

Eine weitere Chondre desselben estländischen Meteoriten vermag aber folgende wichtige Beziehungen aufzuweisen: Größere klastische Olivinbruchstücke (mit Durchmesser von 0,2 bis 0,5 mm) liegen neben einer feinklastischen Trümmermasse zusammen in derselben Chondre. Das feinklastische Material scheint zusammengesintert und teilweise ge-

schmolzen zu sein; es zeigt aber auch schon neue divergentstrahlige Bildung vom Netzbronzittypus. Dies macht wahrscheinlich, daß die Grundmasse der «porphyrischen» Chondren aus dem Zusammenschmelzen von feinstem Trümmermaterial entstanden sei; ein ähnliches Verhalten ist auch in einer Chondre des Utzenstorfer Meteoriten feststellbar und in Textfigur 4 dargestellt. Aus der kleinklastischen Basis entwickelten sich Glas und hernach strahlige Kristalle. Das Vorhandensein kleinster Kristallfragmente und Kristallkeime förderte wohl auch eher die Neugruppierung in den kristallinen Zustand vom Charakter des Netzbronzites, die in den in den Kristallen eingeschossenen Glaspartien offenbar keine so günstigen Voraussetzungen besaß. Vielleicht spielen aber auch Verschiedenheiten in der chemischen Zusammensetzung eine Rolle.



Textfigur 4

0,25 mm

Übrigens fehlt die Umstellung der Glaslamellen und Glasbalken, welche vor allem die Olivine führen, in die kristalline Phase auch nicht völlig. W a h l (1911) erwähnt, in amphoteritisch ausgebildeten Achondriten, die er als ursprüngliche Chondrite mit kräftiger Sammel- und Rekristallisation ansieht, ein feinkörniges Gemenge an Stelle der Glaslamellen im Olivin beobachtet zu haben. Die Beobachtungen an den eigenen sowie die Vergleiche mit fremden Meteoriten lassen darauf schließen, daß im Grunde wohl zweierlei Schmelzen von verschiedener Ausgangsnatur und entsprechend verschiedenen Glas- und Kristallisierungsformen vorliegen können, daß aber zwischen diesen auch Übergänge und gegenseitige Annäherungen möglich sind. Bei der Komplexheit und Unübersichtlichkeit

der sich auswirkenden Bildungsbedingungen, welche bei der Meteoritenentstehung geherrscht haben, erscheint eine solche Annahme keineswegs unstatthaft.

Eine andere Beobachtung aus dem Meteorit von Tennasilm belegt die ganz allgemein für die Gesteinsmeteoriten so charakteristische physikochemische Unausgeglichenheit, welche bei genetischen Deutungsversuchen in Betracht gezogen werden muß; eine in der Hauptsache aus einer Aggregation gebogener und strahliger Enstatitkristalle bestehende Chondre (Bild 3) besitzt an ihrem Außenrand zwei breitgedrückte Glastropfen (1 — 1) und (2 — 2). Die Länge des subparallel verwachsenen Enstatitkomplexes beträgt 0,85 mm. Die Breite des größern (2 — 2) der angepreßten Glastropfen mißt 63 μ, die Länge 265 μ. Den Außenrand mit den anhaftenden bräunlich gefärbten Glastropfen begleiten außerdem zwei rundliche Olivinkörner (3 — 3) und (4 — 4); sie alle befinden sich aber noch deutlich innerhalb der Chondrengrenze. Die Enstatite sind mit allerfeinsten Glasinterpositionen durchsetzt, wodurch mit der Längsrichtung der Kristalle parallel verlaufende Trübungen entstehen. Die um eine Ecke des annähernd rechteckig begrenzten großen Enstatitkristallfeldes teilweise bogenförmig herumgelegten kleinen randlichen Enstatittropfen zeigen strahligen Innenbau mit einem Auslöschungskreuz, dessen Zentrum an der Umbiegungsstelle liegt; wenigstens für den innern größern Tropfen trifft dies deutlich zu.

Grundsätzlich besteht zwischen Erscheinungen unserer beiden einheimischen Meteoriten und denjenigen des estländischen kein Unterschied; die unsrigen sind jedoch kristalliner, im Stein von Tennasilm spielt die Glasphase eine weit größere Rolle und sind die unausgeglichenen Zustände glasig und vollkristallin markanter nebeneinander vertreten. Dies und das Auftreten von Zwischenzuständen macht ihn aber besonders wertvoll, obwohl auch hier nicht alles gelöst erscheint, das wir gleichfalls an unsern eigenen gerne entschieden sähen.

So stellt sich die Frage, sind die kleinen, rundlichen Olivinkörner, welche die großen Kernolivine der Chondren randlich umgeben (Übersichtszeichnung 1, 3 — 3), Rekristallate, Sammelkristallisationen oder lediglich Agglomerierungen? Diese im Meteorit von Tennasilm noch schöner entwickelten Verhältnisse geben darüber keinen entscheidenden Aufschluß. Da aber die Glasphase allgemein in diesem Vorkommen eine bedeutende Rolle spielt und auch selbst Tropfen agglomeriert sein können, gewinnt die Auffassung vom Agglomerieren an Bedeutung, Agglomerierungen unter gleichzeitig mitwirkendem Fritten und lokalen

Schmelzen an Korngrenzen sind gut denkbar. Sie können aber ebenso leicht in Sammelkristallisationen hinübergeleitet werden, was die Trennung der Erscheinungen erschwert.

3. Bildung der Chondrite

Aus den gemachten Angaben über Struktur und mineralische Zusammensetzung sollte sich ein Bild von der Entstehung der chondritischen Himmelskörper machen lassen. Wenn dies auch heute noch nicht befriedigend gelungen ist, so liegt dies darin begründet, daß selbst ein und dasselbe mikroskopische Präparat Verhältnisse aufweist, die auf ganz verschiedene Entstehung hindeuten und die sogar, wenn man von irdischen Vergleichen ausgeht, einander zu widersprechen scheinen. So wird bald die eine, bald die andere Auffassung mehr in den Vordergrund gerückt. Es dreht sich aber stets um drei Phänomene, die einwandfrei vertreten sind und die einer genetischen Auswertung zugeführt werden müssen: die silikatischen Schmelztropfen, die vollkristallinen Mineralassoziationen und das klastische Gefüge. Wie bei einer stofflichen Mischung aus drei Komponenten können innerhalb dieses «Komponentendreiecks» alle Mischungsgrade angetroffen werden.

Die herrschenden Ansichten über die Bildung der Chondriten (Berwerth, Merrill, Wahl) basieren immer noch auf den Vorstellungen, wie sie Tschermak vertreten hat; vulkanische Explosionstuffe, vergleichbar mit den irdisch bekannten, die von planetarischen Körpern abstammen, hätten auf ihrem Wege durch den Weltenraum pyrometamorphe Veränderungen erfahren.

Auf die verschiedene Anschauung über die Wirkungsweise der Erhitzungsmetamorphose ist im vorigen Abschnitt schon hingewiesen worden. Sowohl dann, wenn auf früher intramagmatisch gebildete Kristalle mit eingeschlossenen Glasresten eine später folgende Erhitzung einwirkte, die zu partiellem Schmelzen und nachherigem Kristallisieren führte, als auch dann, wenn lediglich Erhitzung zu Sammel- und Rekristallisation von geborstenen Kristallen und von Explosionsstaub führte, ist das Unversehrtbleiben von Glaseinschlüssen nicht leicht verständlich.

Wahl möchte die Achondrite als homogene Teile oder angehäufte Zertrümmerungsprodukte von in der Tiefe erstarrten kosmischen Massengesteinen ansehen, die Chondrite mit ihren Glastropfen dagegen entsprächen dann Produkten von an der Oberfläche eines erstarrenden Weltkörpers sich abspielenden vulkanischen Prozessen.

Rekristallisierungsprozesse, die W a h l in verhältnismäßig sehr einfacher Weise experimentell an lockern Chondriten durch Erhitzen mit Erfolg studieren konnte, zeigen aber auch die leichte Möglichkeit auf, mit welcher feinstes Explosionsmaterial zu kristallin gefügten Achondriten umgelagert und dabei früher vorhandene Chondren zum Verschwinden gebracht werden können.

Als weitere Möglichkeit der Chondritenbildung zieht W a h l in Betracht, «eine Kollision schon erstarrter Weltkörper» führe zur Zerstäubung von Silikatschmelzfluß mit Chondren, Mineral- und Gesteinssplittern.

Dieser Deutungsversuch erscheint uns am ehesten vertreten werden zu können. Er sieht einerseits ab von Verhältnissen, wie sie sich irdisch reproduzieren lassen, und berücksichtigt anderseits die astrophysikalischen Erscheinungen, wenn Himmelskörper in ihre gegenseitigen Einflußsphären gelangen; denn von eigentlichen «Kollisionen» kann nicht die Rede sein.

Geraten dagegen Himmelskörper in ihre gegenseitigen Wirkungsbereiche, so erfolgen mechanische Zertrümmerungsprozesse, Temperatursteigerungen, die zu Um- und Einschmelzungen mit nachfolgenden Neuausscheidungen und auch zu Sammel- und Rekristallisationen führen. Höchstwahrscheinlich beteiligen sich dabei auch sauerstofffreie Gase und führen zur Bildung der für die Meteoriten so charakteristischen sulfidischen bis halogenidischen Mineralassoziationen und der metallischen Eisenlegierungen.

Zweifellos werden während einer solchen Katastrophe die Vorgänge kaum in den von unsern irdischen Verhältnissen her gewohnten Abläufen erfolgen. Ein Überdecken von Prozessen, die nicht nur in streng einseitiger Richtung verlaufen, ist durchaus möglich. Die ganze Mannigfaltigkeit der die Chondriten kennzeichnenden Mineralassoziationen und Gefügeverhältnisse und ihr für irdische Verhältnisse widerspruchsvolles Verhalten werden so verständlich.

Die Chondrite erscheinen so als Himmelskörper, deren Ausgangsnatur ursprünglich ein peridotitisch-pyroxenitisch bis gabbroides Tiefengestein dargestellt haben mag. Auf dem Fluge durch den Himmelsraum in die Einflußsphäre anderer Himmelskörper gelangend, erfuhr das Material alle jene vielfältigen, katastrophenartig sich abspielenden Veränderungen, die sie zu den heute vorliegenden Chondriten mit ihren so wechselvollen petrogenetischen Erscheinungen umformten. Wir benötigen dazu keinen Vulkanismus, der glastropfenartige Chondren und tuffogene Pro-

dukte schon vor einem «Metamorphismus» schuf. Solche Erscheinungen und alle übrigen verschiedene Zustandsformen nebeneinander aufweisende können ebenso gut während der räumlich und zeitlich sich überlagernden und unter verschiedenen physiko-chemischen Bedingungen stehenden Unterabschnitten ein und desselben Katastrophen-Großaktes zustande kommen. Sollte eine thermometamorphe Beeinflussung in der Hauptsache zuletzt wirksam gewesen sein und die charakteristischen Veränderungen herbeigeführt haben, so bleiben die zahlreichen Unausgeglichenheiten weiterhin ungeklärt, wie z. B. Glastropfen mit kaum angedeuteter Faserkristallstruktur neben gut entwickelten Neukristallaten und Sammelkristallisationen und Chondren mit prismatisch-radialstrahligem Bau als Übergangsformen. Eine solche Thermometamorphose sollte unbedingt eine generellere Auswirkung zur Folge haben.

Mit dieser Auffassung ist weiter auch diejenige von Merrill (1929) über die Ausscheidung des metallischen Eisens in den Meteoriten verträglich. Nach diesem Forscher kann sich das metallische Eisen unter reduzierenden Bedingungen (H-Atmosphäre) aus ferrochloridischen Dämpfen abgeschieden haben; dies ermöglicht eine viel tiefer liegende Ausscheidungstemperatur als die Kristallisation aus einer von der Silikatphase abgetrennten Eisenschmelze. Damit stehen in Übereinstimmung das gängchen- oder aderartige, zeitlich jüngere Auftreten des Eisens und dessen korrosives Verhalten gegenüber den Silikaten (vgl. Seite und Bild 16). Freilich wurde weder im Ulmizer noch im Utzenstorfer Meteorit Lawrencit ($FeCl_2$) angetroffen, da diese Substanz unter tellurischen Bedingungen nur schwer haltbar ist.

Zusammenfassend können wir alle jene für die Chondriten so charakteristischen Gefügeerscheinungen als diejenigen ansehen, die während der stürmisch sich vollziehenden Veränderungen eines Himmelskörpers mit basisch bis intermediärem Gesteinschemismus erzeugt wurden. Dem Ausgangsmaterial dürfte Tiefengesteinscharakter zugesprochen werden; alle diejenigen Erscheinungen, die für Analogien zu vulkanischer Tätigkeit sprechen, sind diesem Katastrophenakt zuzuschreiben.

Eine weitere Stütze findet diese Auffassung im Fehlen von Übergangsformen zwischen Tiefen- und Ergußgesteinen. Solche Übergänge schaffende physiko-chemische Bedingungen vermag dieser episodenhaft verlaufende Katastrophenvorgang nicht zu bieten.

Schließlich steht eine kontinuierliche Übergangsserie zwischen Stein- und Eisenmeteoriten, wie sie aus den Darlegungen von Brown und Patterson (1947) angenommen werden muß, am besten in Überein-

stimmung mit einer gravitativ wirkenden Differentiationsmöglichkeit unter gleichzeitiger Tiefengesteinsentwicklung. Das Schwerefeld selbst braucht in seiner Dimensionierung keineswegs an das auf unserem Planeten herrschende heranzukommen.

Die Erscheinungen, die sich während einer kosmischen Katastrophe — wie sie im Vorausgehenden angenommen wurde — einstellen, können eine gewisse Analogie erlangen in Vorgängen, auf welche schon Tschermak (1877) in seinen Betrachtungen «Über Vulkanismus und kosmische Erscheinungen» hingewiesen hat. Danach wären die Meteoriten Trümmer eines in statu nascendi begriffenen kleinen Planeten. Bei diesem Anlaß führen Kondensation, Erstarrung, Sprengung der eben gebildeten Erstarrungskruste durch die rasch eingeschlossenen Gase und Zerspratzen der flüssigen Planetarsubstanz zu den jeweils in den Chondriten beobachteten Phänomenen mit teilweise vulkanismusähnlichem Charakter.

Die Tschermaksche Auffassung sowie die von uns in den Vordergrund gerückte Ansicht von der kosmischen Katastrophe räumen dann der thermischen Metamorphose im Werdegang der Meteoriten nicht mehr die selbständige Stellung ein, wie dies bei Merrill, Berwerth und bei Wahl mit seiner ersten Variante der Fall ist; sie wird zur Teilphase des engeren Bildungsaktes selbst.

III. Mikroskopische Untersuchung der Rinde

a) Die Rinde der Stirnseite und die optischen und präparativen Differentierungs-Möglichkeiten

Die makroskopische Betrachtung hat uns bereits auf die Verschiedenheit in der Ausbildung der Rinde auf der Brust- und Rückenseite aufmerksam gemacht. Die Erkennung weiterer Unterschiede und Einzelheiten, die keineswegs von untergeordneter Bedeutung sind, ist weitgehend von der angewendeten Optik und der benützten Untersuchungsmethode abhängig. Dies erhellt am ehesten aus einer Darstellung der Ergebnisse, wie sie der Reihe nach mit den verschiedenen Objektiven und Präparierarten gewonnen werden können.

Die Rinde läßt fast durchwegs eine Gliederung in drei Zonen erkennen. Diese drei Zonen werden uns im Verlaufe der Ausführungen noch eingehend beschäftigen.

1. Mit schwachen Objektiven (bis 3 und 3a *Leitz)* im durchfallenden Licht

1. *Äußere Zone;* bis 46 μ mächtig, sie erscheint vollständig dunkel, matt und kann als opak oder als dunkel gefärbtes Glas angesehen werden.

2. *Mittlere Zone;* sie ist, abgesehen von vereinzelten rundlichen opaken Körnern, völlig durchscheinend und besteht aus kleinbrekziösen und selten größern unzertrümmerten Silikatkristallen. Ihre Mächtigkeit beträgt ungefähr 100 bis 120 μ. Die Grenze von Zone 1 zu 2 ist scharf, diejenige von 2 zur nächsten 3 ist es im allgemeinen auch, doch zeigen sich häufig dunkle, opake Einstülpungen von Zone 3 her.

3. *Innere Zone;* diese erscheint in der Hauptsache wieder opak oder als dunkles Glas: einzelne ± scharf umgrenzte Silikate leuchten bei × Nicols anisotrop hervor. Ihre Mächtigkeit erreicht 0,4 mm. Die Grenze zum eigentlichen Kernmaterial ist völlig kontinuierlich. Zonen 1 und 2 können stellenweise fehlen. (Abschleudern der äußersten Rinde im Schmelzzustand und der losen Trümmerkristalle der zweiten Zone.)

2. Mit schwachen Objektiven im auffallenden Licht (polierter Anschliff)

In Zone 1 ergeben sich kaum neue Beobachtungsdaten.

In Zone 2 geben sich die rundlich opaken Anteile als gediegen Fe oder als Schwefeleisen, die graphisch innig miteinander verwachsen sind, kund; diese Verwachsung ist besonders an den Korngrenzen gegen die Silikate ausgesprochen (Bilder 9 und 10, 13 und 14).

In Zone 3 machen sich die größten Überraschungen geltend. Im Gegensatz zur Durchlichtbeobachtung, bei welcher man fast alles als aus opakem Erz (Bilder 8 und 12) bestehend betrachten möchte, ergibt die Beobachtung am polierten Schliff im reflektierten Licht, daß nur ein sehr beschränkter Teil vom Erz eingenommen wird. Die abweichenden Beobachtungsergebnisse veranlassen, da sie für die Mikroskopie erzführender Gesteine von ganz allgemeinem Interesse sind, dieser Angelegenheit etwas erweiterten Raum zu widmen (Bilder 9 und 10, 13 und 14).

Bei der mengenmäßigen Ausmessung eines Schliffes werden sich beim Durchblick, solange es sich um durchsichtige Mineralien handelt, die innerhalb der Schliffdicke einander über- und unterlagernden Mineralien in ihren Anteilen kompensieren; stets resultieren dadurch für ihre Anteile statistische Mittelwerte. Dieses günstige Verhältnis entfällt jedoch sofort, sobald in der Blickrichtung sich ein opakes Mineral einschaltet. Seine sichtbare horizontale Ausdehnung gibt in allen Fällen immer einen für die ganze

Schliffdicke gültigen Maximalwert; ein Kompensationseffekt kann sich hier nicht mehr einstellen. Deshalb werden in Fällen, wo opake Mineralien mit durchsichtigen zusammen zur Ausmessung gelangen, die erstern gegenüber den letztern einen zu hohen Wert aufweisen.

Rittmann und Vighi haben in theoretischer Weise ein Korrektur-Nomogramm konstruiert, das gestatten sollte, einen Korrekturfaktor einzuführen. Um die Behandlung der Frage überhaupt rechnerisch angehen zu können, haben die beiden Autoren die opaken Mineralien als kugelförmig betrachtet und die Verhältnisse bei variablen Radien und wechselnden Schliffdicken in Betracht gezogen.

Im Laufe jahrelanger chalkographischer Beobachtungen habe ich eine Reihe von Feststellungen in dieser Richtung machen können; sie alle laufen darauf hinaus, daß dann die Abweichungen in der scheinbaren Verteilung von opakem und nicht opakem Anteil am beträchtlichsten sind, wenn das Erz auf feinsten Kapillaren in das Nichterz einzudringen vermag (Textfigur 5). Es kommt also auf das Vermögen der opaken Komponente, in dünnsten Schichten aufzutreten, an; dann besteht aber noch eine weitere Abhängigkeit, ob die Nichterzkomponente sich in einen genügenden Feinheitsgrad aufspalten läßt. Amphibole, Pyroxene, Feldspäte und auch Olivine scheinen sich in dieser Beziehung sehr günstig zu verhalten. Selbstverständlich spielt auch der Opazitätsgrad eine Rolle. Ein Mineral wie z. B. Zinkblende vergrößert das Mißverhältnis zu großen Erzmengen nicht im selben Maße, wie dies für völlig opake Mineralien der Fall ist.

Textfig. 5 *Schematischer Schnitt durch einen Dünnschliff*
mit durchsichtigen Mineralien (punktiert), die auf Spaltrissen oder auf Korngrenzen von opaken Mineralien (schwarz) durchsetzt sind. In der Durchsicht (↓) wirken die opaken Mineralien im Mengenverhältnis des dick ausgezogenen, die durchsichtigen des dünn ausgezogenen Anteils des unter dem Dünnschliff gezogenen Striches; das Mißverhältnis der so beobachteten Anteile von durchsichtig und opak ist deutlich!

Enorm groß können z. B. die Fehler werden, wenn es sich um Magnetkies- und Pyroxen-Mischungen handelt, wie sie in den brekziös entwickelten (häufig Pseudotachylite), erzführenden Pyroxeniten der Ivreazone vorkommen. Dort bilden in den Extremen die Mineralien Magnetkies und Enstatit eine bis ins Emulsionshafte gehende mechanisch dispergierte Mischung. Selbst größere silikatische Kristallfragmente mit bis 0,2 mm Durchmesser (horizontal gemessen) sind im Durchlicht nicht mehr erkenntlich und werden zur Erzmasse gezählt. (Kristallfragmente, sofern es sich nicht um ausgesprochene Netzgitter handelt, werden mit zunehmender Horizontalausdehnung auch zunehmende Dicken- [= Tiefen-] Entwicklung aufweisen.) Bei gegebenem Korndurchmesser werden also solche Silikate überhaupt nicht wahrgenommen, obwohl sie mehr als die Hälfte, zwei Drittel und sogar mehr ausmachen als das Erz, von dem sie zementiert werden. Beträchtliche Randpartien größerer Silikatkristalle erscheinen völlig opak und werden fälschlich zu Erz geschlagen.

Es erscheint angezeigt, sobald man es mit feinen Verwachsungen Erz-Silikat zu tun hat, wie sie beispielsweise in dem vorerwähnten Fall aus der Ivreazone vorliegen oder wie wir sie in unsern Meteoriten antreffen, den Dünnschliff *zu polieren.*

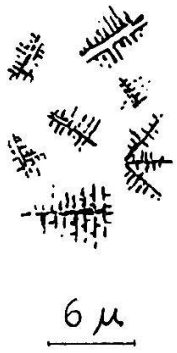
Dabei ist es sehr vorteilhaft, daß *dieselbe* Stelle im Auf- und im Durchlicht betrachtet werden kann; erst so gewinnt man richtige qualitative und quantitative Angaben. Im übrigen hat ein solches präparatives Vorgehen den weitern Vorteil, daß schon bei der Durchlichtmikroskopie die Schwärzung durch die erzführenden Partien differentiellen Charakter annimmt zwischen Anteilen, die direkt an der Schliffoberfläche von der Politur erfaßt worden sind, und solchen, die tiefer im Schliff liegen; dies ist eine Folge davon, daß das allgemeine diffuse Oberlicht durch die Politur des Gesamtschliffes eine gewisse Reflexion erfährt, wobei die an der Schliffoberfläche austretenden tatsächlich polierten Erzanteile der Schwärzung eine andere Nuancierung verleihen als die nicht anpolierten tiefer liegenden.

3. Mit starken Objektiven, besonders Ölimmersionen, im Auflicht

Immersobjektive sollten viel mehr in der Mikroskopie, nicht nur bei Auf-, sondern auch bei Durchlicht, angewandt werden. Sie ersetzen im letztern Falle in mancher Hinsicht die Anwendung der Dunkelfeldkondensoren.

Die äußere Zone verliert teilweise ihren isotrop glasigen Charakter; d. h. ein nicht geordnetes Gemengsel kleinster, sperrig, struierter, skelettförmig entwickelter Magnetitkristalle mit 6 bis 7 μ Längenausdehnung (s. Textfigur 6) durchsetzt eine isotrop erscheinende dunkle Masse, die nicht selten die Tendenz zur leistenförmigen Kristallentwicklung erkennen lassen.

Textfigur 6



Hat man Gelegenheit, die Verhältnisse an der Umbiegungsstelle von Stirn- zu Rückenseite zu studieren, so nimmt man deutliche Zunahme der Kristallinität der gesamten Grundmasse in Richtung zur Rückenseite wahr.

Das Herausleuchten eines roten Tones läßt zunächst vermuten, es handle sich um ein hämatit- bis limonitreiches Material. Das gelegentliche Auftreten vereinzelter Magnetitidioblasten inmitten dieser Zone gestattet aber die Reflexfarbe besonders der größer entwickelten Skelette mit der der Körner-Magnetite zu vergleichen. Es ist besonders die dispersionshafte Verteilung des skelettförmigen magnetitischen Eisenoxyds in der braunrot gefärbten und teilweise glasigen Rindenmasse, die allerdings schon nicht unbedeutenden Kristallzustand aufweist, welche diesen rötlichen Innenreflex erzeugt.

Auch im rotbraun gefärbten Glase der glasig durchsetzten Fachwerkolivin-Chondren sind kleinste isometrisch bis stenglig geformte Magnetitmikrolithen verteilt (vgl. Bild 21).

Die mittlere Zone läßt keine wesentlich neueren Details erkennen: am interessantesten erscheinen die rundlichen, tropfenartig gestalteten Erzeinschlüsse. Sie weisen graphisch-eutektische Verwachsung zwischen Magnetkies und Nickeleisen auf.

Die innere Zone, die schon bei Verwendung schwacher Objektive in der Auflichtmikroskopie im Vergleich zur Durchlichtbetrachtung wesentlich andere Zustände in Mineralgehalt und Verbandsverhältnissen erkennen läßt, *ist von einer Glaskomponente vollständig frei.* Die Opazität der Durchlichtbeobachtung ist ausschließlich die Folge einer *intensiven Durchsetzung* der Olivin- und Pyroxenkristalle mit *Schwefeleisen führenden Spaltrissen.* Von einzelnen mehr kernwärts oder schon außerhalb der innern Zone im Kern selbst gelegenen Eisensulfidzentren ausgehend, erscheinen die Silikate netzartig von Schwefeleisen durchzogen. Kapillarfeine Risse und Sprünge sind in gleicher Weise magnetkieserfüllt. Es muß sich um eine *enorm flüssige Substanz* gehandelt haben, die mit äußerster Beweglichkeit die geringsten Lockerstellen anzufüllen vermochte. Häufig kristallisierte die metallische Flüssigkeit als feinstverwachsenes Eutekt von gediegenem Fe und FeS. Erst bei Verwendung von Immersionsobjektiven 1/7a erkennt man vollends, wie außerordentlich fein die mit Sulfid gefüllten Sprünge der Silikate beschaffen sind; ihre Feinheit geht auf Bruchteile von μ herab.

b) Rinde der Rückenseite

Die Rückenseitenrinde weist stets alle drei Zonen auf, die wir bei der Betrachtung der Brustseite kennengelernt haben, und grundsätzlich gelten hier dieselben vorstehend angeführten Beobachtungen; sich einstellende Abweichungen werden im Folgenden dargestellt.

Die hier mehrfach erwähnte Zonengliederung der Rinde ist schon recht früh beobachtet worden; sie findet sich stets am vollständigsten auf der Rückenseite entwickelt und hat nach Studium und Behandlung durch verschiedene Forscher (Brezina, Reinsch, Sorby, zuletzt durch Tschermak) eine gewisse endgültige Darstellung erfahren. Tschermak (1883—1885) spricht von einer äußersten Rinde oder *eigentlichen Schmelzrinde* in glasigem Zustande, von einer zweiten einwärts folgenden *durchsichtigen Saugzone* und endlich von einer innersten *Imprägnationszone,* die sehr stark von Erzmassen imprägniert ist.

1. *Die äußere Zone* ist wesentlich breiter, 0,10 bis 0,25 mm im Mittel, an der Umbiegung von Brust- zu Rückenseite, wo ein wulstartiges Anstauen der rückwärts geströmten Schmelze eingetreten ist, kann die Breite noch größere Beträge erreichen. Sie ist kavernös, von rundlichen Drusen durchsetzt, uneben nach außen; oft stehen sogar ganze Rippen und Grätchen nach außen ab.

Meist läßt schon der gewöhnliche Dünnschliff (0,020 bis 0,030 mm Dicke) *kristalline Beschaffenheit* erkennen, die zunächst durch ein dunkelbraun pigmentiertes strahliges Filzwerk von Silikaten verursacht wird. Die Auflichtbeobachtung läßt dieses bei Verwendung des Immersionsübersichtsobjektives Leitz 16 mm sehr prägnant erkennen (vgl. Bilder 13 und 14). Die Untersuchung, über die weiter unten berichtet wird, ergab, daß es sich dabei um Olivine handelt. Die Abgrenzung zu Zone 2 ist nicht mehr so scharf, wie es bei der Stirnseite der Fall war; das strahlige Kristallingefüge der Zone 1 greift oft zapfen- und schlauchartig zwischen das körnige Trümmerwerk der Zone 2 hinein. Die Dunkelpigmentierung ist im allgemeinen zu äußerst am intensivsten. Die Anordnung der strahligen Kristallite ist recht verschieden. Selbst bei scheinbar völlig divergentstrahligem Verhalten ist die Tendenz, die stenglig-tafligen Kristalle senkrecht zur Außenfläche zu stellen, nicht zu verkennen. Andrerseits trifft man Stellen an, welche eine vollkommene Parallelorientierung der leistenförmigen Kristallite mit der Oberfläche aufweisen. An derselben Stelle kann aber auch beides Verhalten wahrgenommen werden, außen mehr senkrecht, darunter parallel zur Meteoritenumgrenzung. Es dürfte angezeigt sein, bei zukünftigen Beobachtungen Regelungserscheinungen der Rindenkristallite in orientierte Beziehung zur Oberflächentextur und Form des Meteoriten zu bringen (Orientierung zum Apex, zu Fließspuren und Fließwülsten usw.).

Bei der Betrachtung polierter Dünnschliffe mit Immersionssystemen differentiert sich das Rindenmaterial der Außenzone noch weiter. Zwi-

schen das sperrige Gefüge der Silikatkristalle fügt sich eine offenbar glasige Füllmasse ein, die Trägerin zahlreicher Magnetitskelettkristalle ist, wie wir sie schon aus der Außenzone der Stirnrinde kennengelernt haben. Auch hier wieder ist die Anreicherung der Fe-oxydischen Ausscheidsprodukte am Außenrande eine beträchtlichere. Weit besser, als dies in der Durchsichtmikroskopie der Fall ist, sieht man mit dem Objektiv 1/7a im polierten Anschliff die zuerst schmelzflüssig gewordene Außenzone zwischen die unversehrten Olivin- und Pyroxen-Kristalle der zweiten Mittelzone vordringen, da und dort noch unangegriffene Relikte zurücklassend, wobei bis auf geringe glasige Füll- und Zwickelmassen die Schmelze wieder Kristallin wurde, allerdings mit veränderter Kristallphysiognomie (vgl. Bild 11). Ausscheidungen von gedieg. Fe und Eisensulfid trifft man wenig an, sie beginnen sich erst mit Vorrücken gegen die nach innen folgende nächste Mittelzone einzustellen und zeigen das Verhalten tropfenartiger Gebilde; in der Hauptsache sind es Fe-FeS-Eutektoidtropfen.

2. *Die mittlere Zone* bietet gegenüber den Darstellungen der Brustseite keine Neuigkeiten.

3. *Die innere Zone* läßt ebenfalls nichts Neues erkennen. Das Studium mit Immersionsobjekt 1/7a vergrößert nur die Eindrücklichkeit von der Aufspaltung und Zertrümmerung der Olivine und Pyroxene und der nachträglichen Ausfüllung der entstandenen Lockerstellen durch die metallischen Lösungen. Stets ist es das Schwefeleisen, das die Fugen und Spalten der Silikate ausfüllt; höchstens geschieht dies auch noch von eutektoidischen Verwachsungen Fe-FeS (vgl. Bilder 15 und 17), nie aber von gedieg. Fe. In der Übergangsregion zweite bis dritte Zone sind die tropfenförmigen Fe-Einlagerungen stets mit einem feinen Magnetkiessaum oder einer eutektoidischen Mischung Fe-FeS umsäumt.

c) Die Ablösbarkeit der Rinde und ihre isolierte Behandlung

Zunächst erscheint die Rinde gut ablösbar. Eine genauere Untersuchung isolierter Schalenstücke zeigt aber, daß ihnen noch recht beträchtlich Kernmaterial anhaftet. Selbst nach Anwendung von resistenten Stahlbürsten und Stahlsticheln bleiben immer noch weiter warzenhafte Gebilde vor allem aus Erz mit etwas Silikat haften, die ohne Zerbrechen des Rindenstückes sich einfach nicht lostrennen lassen.

Dieses Verhalten ist durch das Vorhandensein der dritten Zone mit ihren netzartigen Sulfidimprägnationen bedingt, welche einzelne kern-

wärts gelegene Bereiche von gedieg. Fe besonders gerne mitverkitten. Die Rinde löst sich also nicht an der Grenze äußere - mittlere und auch nicht an der Grenze mittlere - innere Zone, sondern erst hinter der innersten, also im eigentlichen und offenbar generell lockereren Kernmaterial, wo sich keine Verkittungen geltend machen.

Daraus geht hervor, daß chemisch-analytische Angaben über Rindenzusammensetzungen sehr vorsichtig aufgenommen werden müssen, wenn keine Vermerke über besondere Präparationsmaßnahmen zu ihrer Isolierung vorliegen. In einer Serie von Schliffen quer durch die Rindenpräparate war nur ein Drittel bis ein Viertel der Präparatdicke von der äußersten Faserzone, also der wirklich neuen Zone, eingenommen; diese enthielt außerdem ein Drittel bis ein Viertel Entgasungsvaquolen. Es ist somit verständlich, daß sich kernwärts angebackene Komplexe von gedieg. Fe und Schwefeleisen unter solchen Umständen analytisch übermäßig stark bemerkbar machen. Dies kommt im chemisch-analytischen Teil noch eingehender zur Sprache (siehe S. 118).

d) Spezialuntersuchung der neugebildeten Rindenkristalle

Es steht also fest, daß nur die äußerste Zone der Brustrinde aus vorwiegend glasigem Material besteht, allerdings mit Magnetitskelett-Interpositionen, und daß dagegen neugebildete Silikate in ausgesprochener Weise die Außenzone der Rückenseite aufbauen. Ihre Natur kennen zu lernen, war dringendes Bedürfnis. Trotzdem die Kristalle nicht zu klein waren, bereitete eine mikroskopische Untersuchung große Schwierigkeiten, da sie sich nicht als genügend homogen aufgebaut erwiesen.

Es schien angezeigt, die röntgenographische Untersuchungsmethode anzuwenden und zunächst Kern- und Rindenmaterial untereinander zu vergleichen. Man versuchte, Rindensubstanz wegzupräparieren und aus ihr möglichst Ni-Eisen und Schwefeleisen magnetisch zu eliminieren. Die beiden Filme wiesen aber nur geringe Unterschiede in der Linienanordnung auf, die beide für eine Mischung von Pyroxen und Olivin sprachen; immerhin ließ der zur Rinde gehörende Film ein schwaches Zurücktreten der Pyroxenlinien erkennen. Es ist jedoch leicht verständlich, daß bei der Rindenabtrennung es zu wenig gelang, nur Substanz aus der äußersten Zone zu gewinnen, und daß dabei Anteile der zweiten und dritten Zone mit Pyroxen ins Untersuchungsmaterial gelangten.

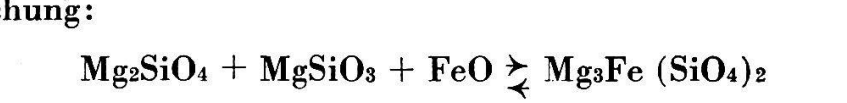
Künstlicher Schmelzversuch

Ein anderer Weg, hier weiterzukommen, eröffnete sich im künstlichen Schmelzversuch. Zunächst wurden kleine Meteoritenstückchen im elektrischen Flammenbogen einer Liliput-Bogenlampe mit Schmelzdauer von 20 bis 30 Sekunden angeschmolzen. Unter starken Dekrepierungserscheinungen bildete sich eine am Stück haftende brodelnde Schmelze, aus welcher gediegen Eisen sich gravitativ tropfenweise aussonderte. Im Augenblick des Ausschaltens erstarrte die Schmelze und ließ eine Schmelzrinde zurück. Davon wurden polierte Dünnschliffe hergestellt, deren mikroskopische Untersuchung weitgehende Übereinstimmungen mit unsern Erscheinungen am natürlichen Meteorit aufwiesen (vgl. Bild 18)). Überraschenderweise erstarrte die Schmelze sozusagen völlig kristallin. Der kristallisierte Schmelzrand weist dieselben Eigenschaften auf wie die Rückenseitenrinde; er besteht aus sperrigen, in sich sehr komplex gebauten leistenförmigen Kristallen, große Blasenräume zwischen sich lassend; kleinste Tröpfchen von Fe-FeS-Eutektoid durchsetzen die Kristalle, zum Teil in gesetzmäßiger Anordnung. Die feinen Magnetitskelette jedoch fehlen größtenteils.

Die davon hergestellten Debye-Scherer-Diagramme wiesen eindeutig auf *Olivin, ohne andere Silikatbeimengung.* Die Messung der Lichtbrechung konnte hier besser vorgenommen werden. Sie lieferte nie Werte, die über 1,685 hinausgingen. Die Linienkoinzidenz — ohne darauf großes Gewicht legen zu wollen — mit einem Film eines isolierten Olivinkristalls aus dem Peridotit vom Val Capolo bei Palagnedra im Centovalli ist eine sehr vorzügliche; der Olivin dieses Gesteins zeigt für $n\beta = 1{,}668$; $2\,V\alpha = 85°$ entsprechend 90 % Mg_2SiO_4.

Man darf also auf jeden Fall vom Olivin der Schmelzrinde annehmen, er enthalte höchstens 10 % Fayalit.

Wiederholte Versuche der künstlichen Schmelzrindenherstellung nach dem oben erwähnten Verfahren lieferten stets völlig übereinstimmende Ergebnisse, d. h. aus einem *Gemisch von Olivin und Pyroxen* bei Anwesenheit von Sauerstoff, gediegen Fe und Schwefeleisen schied sich aus der Schmelze *Olivin* aus. Man hätte, wenn nun nicht auch wieder ein entsprechendes Silikatgemisch entsteht, zum mindesten eine nach höhern Fe-Werten veränderte Zusammensetzung der Olivine erwartet, etwa nach der Gleichung:



$$Mg_2SiO_4 + MgSiO_3 + FeO \rightleftarrows Mg_3Fe\,(SiO_4)_2$$

W a h l (1911) hat darauf hingewiesen, daß die verschiedenen Siderolithe (Übergänge zwischen Stein- und Eisenmeteoriten) mit ihren unterschiedlichen Mengenanteilen an Olivin, Pyroxen und freier Kieselsäure chemisch vor allem durch verschiedene Oxydationsgrade charakterisiert sind. In der oben angeführten Gleichung entspricht das rechtsseitig stehende Olivinmolekül tatsächlich dem höhern Oxydationsgrad, gleichzeitig besitzt es aber auch höhern Eisengehalt, das gediegene Eisen oder das sulfidische ist oxydiert von der vorhandenen Kieselsäuremenge unter Bildung des Orthosilikates aufgenommen worden. Dies trifft aber augenscheinlich für unsern Fall nicht zu. Die neu entstandenen Olivine sind sogar schwach eisenärmer.

Noch auffälliger ist die Tatsache, daß der Schmelzversuch zum selben Ergebnis führt, wenn er an einem magnetkiesführenden Hornblendepyroxenit (Campello im Stronatal, Ivreazone) vorgenommen wird (vgl. Bild 20). Das unerwartete Resultat des Versuches wird einigermaßen verständlicher, wenn die Kristallisationsprodukte genauer untersucht werden. Es ist bereits auf ihren komplexen Bau hingewiesen worden. Beim mikroskopischen Studium ist man versucht, zuerst das Netz- und Gitterwerk (vgl. Bilder 11, 18, 19, 20) der Lamellen als Zwillingserscheinungen zu erklären. Da, wo diese Kristallgebilde randlich ausdünnen, ist aber ersichtlich, daß die Lamellen bräunlich pigmentiert sind. Im Vergleich mit ähnlichen Gebilden, die nur nicht so ausgesprochen geometrisch geformt und gelagert sind, die man in Chondren feststellen kann, wo sie ohne Zweifel *Glas* darstellen, ist man geneigt, *sie ebenfalls als Glas* anzusprechen.

Es besteht zwischen der künstlichen und der natürlichen sperrig gebauten umkristallisierten Schmelzrinde insofern ein geringer Unterschied, als im künstlichen Versuch in den meisten Fällen ein feinstverteiltes Silikatglas innerhalb der leistenförmigen Olivine entsteht, das kristallgeometrisch gesetzmäßig eingelagert ist und den komplexen Lamellenbau des Wirtes bedingt, ohne nachweisbare Magnetitskelette. Es kommt aber auch vor, daß im selben Präparat Stellen auftreten, welche die im natürlichen Schmelzrand stets beobachtete Magnetitskelette führende glasige Masse zwischen den Olivinleisten zeigen; es sind in diesem letzten Falle die Verhältnisse künstlich und natürlich weitgehend übereinstimmende.

Die Glaslamellen sind jedenfalls so dünn (vgl. Bild 19), daß die Anisotropie des Wirtes deren Isotropie nicht zur Geltung bringen läßt; bei einer einigermaßen normalen Dünnschliffdicke sind sie schon so zahl-

reich vorhanden, daß die sperrigen Olivinkristalle eine braune Pigmentierung annehmen.

Über die *chemische Natur dieser Glaslamellen* kann nichts Bestimmtes ausgesagt werden. Es dürfte sich jedoch vorwiegend um *Mg-Fe-silikatische Zusammensetzung handeln,* wobei nicht aus dem Auge gelassen werden darf, daß die Schmelzpunkte der Endglieder der Olivinreihe Forsterit und Fayalit mit 1890 ° bzw. 1205 ° sehr bedeutende Unterschiede ausmachen. Bei der raschen Abkühlung ist es daher gut möglich, daß die zuerst ausgeschiedene Mg-reiche Forsteritphase einen Fe-reichen Glasrest zurückläßt.

Die Erörterung der leistenförmig bis taflig entwickelten Olivinkristalle, welche sich aus glasigen Umschmelzprodukten bilden, veranlaßt, auf eine Äußerung von W a h l (1911) zurückzukommen. Nach dieser soll die unterschiedliche strukturelle Beschaffenheit der fasrigen Enstatitchondren und der Olivinchondren mit mehr gedrungenen Wachstumsgebilden darauf zurückzuführen sein, daß dem Olivin eine gleichmäßige Wachstumsgeschwindigkeit in den Richtungen der drei Kristallachsen zukäme. Es dürften sicher aber noch weitere Faktoren bestimmend hinzukommen, sonst hätten wir nicht in allen Fällen der Olivinausscheidung sperrigtaflige Kristallisationsprodukte erhalten, die dem Netzbronzit völlig gleichen. Auch H u g i (1930) hat sich durch die Struktur täuschen lassen, indem er in den Faserkristallen der Rinde (Faserzone) Pyroxen vermutete.

e) Die enge Verwachsung Silikat-Schwefeleisen der dritten Zone

Der für die Lösung der Frage über die Natur der Rindenkristalle angesetzte Schmelzversuch gab aber auch noch unerwarteterweise über eine weitere charakteristische Meteoritenerscheinung Aufschluß, nämlich über die enge Verwachsung und Durchwachsung der Silikate mit Schwefeleisen (vgl. Bild 15). Wie gezeigt wurde, entspricht diese Verwachsung einer Silikatbrekzie, die durch Eisensulfid zementiert wird. Die bisherige maßgebende Ansicht ging dahin (C o h e n, Meteoritenkunde), daß durch den ungeheuren Luftwiderstand beim Flug durch die Atmosphäre die randlichen Silikate brekziert und zertrümmert wurden. Die geschmolzenen Sulfide drangen dann in die Spaltsysteme ein, ja sie wurden in die feinsten Kapillaren hineingejagt.

Auf Grund unserer Versuche benötigt es aber keiner Zertrümmerung durch den Luftwiderstand. *Die Zertrümmerung geschieht durch die*

starke Erhitzung und die Verdampfungserscheinungen der Sulfide. Sie geht bei dem lockeren Gefüge der Meteoriten natürlich noch besser vor sich als im kompakten Pyroxenit-Peridotit, ohne dort aber zu unterbleiben.

Bezeichnenderweise beteiligt sich an der *Füllung der feinen Spaltrisse durch Erz nie metallisches Eisen,* sondern *ausschließlich sulfidisches,* und zwar meist reines Sulfid oder bei etwas breitern Spältchen selten auch eine eutektartige Verwachsung von Fe mit FeS. Es muß also das füllende System eine leichtflüchtige Komponente, hier also den Schwefel, aufweisen. Derjenige Anteil des Schwefeleisens, der nach außen verdampfen konnte, entwich gänzlich in die Luft, der kerneinwärts entstandene Eisensulfiddampf destillierte in die sich bildenden Spaltsysteme der Silikate, die infolge ihrer schlechten Wärmeleitfähigkeit bei der rasch einsetzenden hohen Erhitzung stark aufsprangen.

f) Farbverschiedenheit zwischen Brust- und Rückenseite

Wie schon eingangs kurz erwähnt, sind Brust- und Rückenseite im allgemeinen verschieden gefärbt. Nach der Darstellung der mineralischen und strukturellen Verhältnisse können nun hiefür die Erklärungen gegeben werden. Die Rückenseite ist stets dunkel; sie ist dies, weil die äußerste Zone mit ihrem glasig durchsetzten Sperrwerk von Olivinkristallen nie fehlt und die glasige Zwischenmasse selbst Trägerin allerfeinster Magnetitkristalle ist.

Die Brustseite erscheint dagegen kupferrot, kann jedoch stellenweise ähnlich dunkle Tönungen aufweisen, wie sie der Rückenseite eigen sind. Im ersten Falle fehlt die äußerste Zone ganz; die Oberfläche erscheint glatt und schwach gestriemt, mit Streichspuren; die zweite mittlere ist nur gering oder gar nicht entwickelt, und die innig schwefeleisenimprägnierte dritte Zone verursacht auf dem Querbruch einen dunkelgetönten Außenstreifen, der, flüchtig betrachtet, wie eine Schmelzrinde aussieht, aber keine ist. Die Dunkelfärbung im Querbruch rührt ausschließlich von der intensiven Magnetkiesdurchsetzung her (dritte Zone). In der Beobachtungsrichtung senkrecht zur Oberfläche jedoch dringt die Limonitfärbung der Silikate hindurch, welche durch die innige Pyrrhotinführung verursacht worden ist. Im zweiten Falle wird die Dunkelfärbung durch die einer Rückenseite entsprechende Schmelzrindenausbildung verursacht. Aus den hier geschilderten Verhältnissen wird es verständlich, wenn die Färbung der Rinde und ihre Unterschiede zwischen Stirn-

und Rückenseite bei den einzelnen Meteoriten recht verschieden angegeben wird.

g) Vergleich mit andern Meteoriten und Vergleiche mit irdischen Vorkommen

Der Ulmizer Meteorit hat durch Hugi (1930) bereits eine sehr sorgfältige Untersuchung erfahren; die auf die Rinde bezüglichen Ausführungen dieses Autors können aber noch durch einige Beobachtungen ergänzt werden.

Hugi verweist zunächst auf die Tschermaksche Drei-Zonen-Gliederung der Rinde, wie wir sie auch schon von Utzenstorf kennengelernt haben.

Nach den vorausgegangenen Ausführungen ist am Utzenstorfer Meteorit diese vollständige Zonengliederung aber nicht auf allen Seiten gleichmäßig verteilt, sie ist nur auf der Brustseite in dieser Entwicklung angetroffen worden; auf der Stirnseite ist sie lückenhaft und muß auch qualitativ anders beschaffen sein. Das mir von dem abgedeckten Schliff des Ulmizer Meteoriten zur Verfügung stehende Rindenflitterchen muß nun nach seiner petrologischen Ausbildung zur Rückenseite gehören, denn es zeigt den vollständigen dreigliedrigen Zonenbau:

1. *Äußere Schmelzzone* mit drusig-löcheriger Beschaffenheit, sich opak und isotrop im durchfallenden Licht verhaltend, dies auch bei Anwendung starker Objektive. Im auffallenden Licht mit Objektiv 1/7a in zwei Unterzonen zerfallend, analog den Verhältnissen im Stein von Varpaisjärvi (Wahl 1950).

   a) Äußerste Teilzone (zirka 100 bis 120 μ Mächtigkeit); die mit rotbraunen Innenreflexen aufleuchtende Glaszone enthält, wie im Utzenstorfer Vorkommen, dispersionshaft verteilte Magnetitskelettkristalle.

   b) Innere Teilzone (∾ gleiche Mächtigkeit); aus ihr entwickeln sich leistenförmige Kristallite (Faserzone Hugis). In gleichem Maße, wie die sperrige Kristallisation der Silikate zunimmt, verringern sich die Magnetitskelette. Die Silikatleisten sehen morphologisch und optisch denen vom Utzenstorfer vollkommen gleich, so daß kein Grund besteht, hier andere Verhältnisse anzunehmen.

Im übrigen decken sich hier wie auch für die übrigen Zonen weitgehend die Beobachtungen H u g i s am Ulmizer mit den von uns am Utzenstorfer gemachten. Wegen des reichlicher vorhandenen Materials vom Utzenstorfer konnten hier jedoch die Studien ausgedehnter betrieben und die Ergebnisse erweitert werden.

2. *Die Saug- und die Imprägnationaszone* zeigen nichts Neues. Wir möchten jedoch ihre Erscheinungsformen etwas anders erklären, wozu man durch die künstlich vorgenommenen Versuche besonders veranlaßt wird, da ja auch sie im großen und ganzen eine analoge Zonengliederung aufweisen, mit zu äußerst pyrometamorpher strahlig-sperriger Olivinrinde (Schmelzzone), dann mit Fe- und FeS-freier Zone primärer Silikate in der Mitte (Saugzone) und endlich schwefeleisenäderchenreiche Innenzone (Imprägnationszone), auf welche der intakte Kern folgt.

Die Saugzone wird von H u g i als «letzter Schmelzrest» der gesamten Schmelzkruste aufgefaßt; auch H u g i hebt ihr völliges Fehlen von «Troilit» hervor. Nach unsern Beobachtungen handelt es sich um eine Zone, in welcher es zu keiner Silikatumschmelzung kam; die hier auftretenden Silikate sind ungeschmolzene Kernsilikate, die jedoch durch die raschen Erhitzungseffekte mechanisch zertrümmert erscheinen. Aus dieser Zone ist das *Schwefeleisen* mit niedrigem Schmelzpunkt (1200 ° C) *vollständig herausgeschmolzen und verdampft.* Das Eisen mit seiner gegenüber den Silikaten wesentlich höhern Wärmeleitfähigkeit hat noch die Schmelztemperatur erreichen können und hat sich reliktisch in Tropfenform zwischen den Silikattrümmern ausgeschieden. Die Hauptmasse ist nach außen gewandert, wo sie sich in der Schmelzzone nicht mehr halten konnte und herausfloß; die Kavernen stellen die Entweichungskanäle des abtropfenden geschmolzenen Eisens und Schwefeleisens dar, zum Teil spielten sie die Rolle von Verdampfungsventilen.

Die Imprägnationszone enthält nach unserer Beobachtung überhaupt keine Glassubstanz mehr, wenigstens nicht solche, die in Zusammenhang mit der Rindenbildung zu bringen ist. Was H u g i als solches pyrometamorphes dunkles Glas hielt, wird durch die *starke Sulfiddurchsetzung der Silikate vorgetäuscht.* Wenn schon die Saugzone kein Rindenglas enthält, ist dies für die noch weiter einwärts gelegene Imprägnationszone noch viel weniger der Fall.

Daß die *Fe-* und *FeS-Ausscheidungen* in der Saug- und Imprägnationszone metamorpher, umgeschmolzener Natur sind, geht auch aus ihrer

graphischen Eutektoid-Verwachsung hervor. Im *Kern* sind diese beiden Mineralstoffe stets *homogen* und *für sich individualisiert.* Hier dagegen, im Bereich der Rindenumlagerungen, sind diese beiden Mineralien stets *innig untereinander eutektartig verwachsen* (vgl. Bild 17).

Die Verwachsungsstruktur zwischen Fe und FeS sieht zunächst sehr eutektisch aus, und man wird sie auch zuerst mit den Bildern, die uns Loebe und Becker (1912) anläßlich ihrer Untersuchungen über das System Fe-FeS gegeben haben, parallelisieren, die bei flüchtigem Hinsehen mit unsern Verhältnissen hohe Ähnlichkeit aufweisen. Es zeigt sich jedoch, daß in keinem einzigen Falle, weder in der natürlichen noch in der künstlichen Rinde, sich wirklich eine bei 85 % FeS liegende eutektische Phase gebildet hatte, in welcher bald unter-, bald übereutektische Mischungen angetroffen werden konnten. Was ähnlich aussieht, sind nur eutektartig beschaffene graphische Verwachsungen von in den Mengenverhältnissen sehr wechselnden reinen Fe- und ebenso reinen FeS-Komponenten. Einzig die künstlich erhaltenen Produkte zeigen noch weitere feinste, ebenfalls eutektartig geformte Verwachsungen mit Magnetit und teilweise mit Hämatit (letzterer zum Teil entstanden aus den limonitischen Adern). Mir scheint, der rasche Schmelzeffekt und die ebenso rasche Abkühlung haben die Entwicklung des Eutektes verhindert, so daß hier eher Entmischungsverwachsung vorliegt.

Die kapillarfeine Verwachsung von Schwefeleisen mit Silikat in der Imprägnationszone erinnert an völlig gleich beschaffene Verhältnisse, die ich an mechanisch beanspruchten Pyroxeniten und Lherzolithen der Ivreazone beobachten konnte. Auf jeden Fall handelt es sich rein phänomenologisch um ausgesprochene Konvergenzen, auf die schon auf Seite 97 hingewiesen wurde, wobei man auch auf die dispersionshafte Verteilung zwischen Sulfid und Silikat aufmerksam machte. In der Saugzone der Steinmeteoriten war es die Erhitzung durch den Luftwiderstand, in deren Folge die Silikate aufgesprengt und durch das in den Schmelzzustand versetzte Schwefeleisen imprägniert wurden, in den pseudotachylitischen Gesteinen der Ivreazone war es wohl die Friktionswärme, welche den Magnetkies beweglich machte und zu den in jeder Beziehung gleichen Erscheinungen Veranlassung gab. Ein Beispiel mehr, welches uns die Bedeutung der Konvergenzen in der Petrologie vor Augen führt.