

Ann. Naturhist. Mus. Wien	90	A	1-20	Wien, Jänner 1989
---------------------------	----	---	------	-------------------

MINERALOGIE UND PETROGRAPHIE

Zweidimensionale Gefügeuntersuchungen an einer anpolierten Fläche des Leoville-Chondriten

Von MARTIN KIRCHMAYER¹⁾
mit einem Beitrag von MANFRED PICK¹⁾

(Mit 11 Textabbildungen und 1 Tafel)

Manuskript eingelangt am 13. Feber 1987

Zusammenfassung

In vielen Chondriten sind die Chondren mehr oder weniger deutlich gelängt. Oft zerschneiden dann noch Fissuren die Chondren, ja mitunter den gesamten Chondriten. Eine gefügekundliche Bearbeitung dieser Erscheinungen erlaubt eine genetische Erklärung. Der wohl bekannteste Chondrit, der solche gelängte Chondren zeigt, ist der C 3 V – Chondrit Leoville. Ein polierter Anschliff davon wird mit Hilfe des gefügekundlichen, von SCHMIDT eingeführten, Azimuth-Diagrammes und der Bucher-Hartmannschen Gefügeregel untersucht. Es können 4 Arten der „Deformation“ unterschieden werden, und damit auch die früh-, eine mittel- und eine spät-paraakkretionäre Phase sowie eine postakkretionäre Phase.

Die „Deformationsphasen“, besser „Formungsphasen“, können zwar nicht sofort bestimmten Prozessen bei der Bildung des Chondriten (z. B. Auflast, Streß-System) zugeordnet werden, wohl aber die sich aus den gefügekundlichen Meßwerten zwingend ableitbare unterschiedliche Setzung der Gefügekoordinaten.

Die erhaltenen Ergebnisse wurden mit vorangegangenen, von anderer Seite unternommenen nichtgefügekundlichen Untersuchungen verglichen und für übereinstimmend befunden. Von einer größeren Reihe von mit der Bildanalyse erhaltenen zweidimensionalen Ergebnissen wurden jene hier hinzugenommen, die bezüglich der gefügekundlichen Tropie eine die Gefügekunde unterstützende Aussage besonders deutlich ablesen lassen.

Der Leoville-Chondrit ist in den para-akkretionären Phasen durch Auflast (= Überlagerung) geformt oder deformiert worden, in der post-akkretionären Phase hingegen durch ein orthorhombisches Streß-System.

Summary

This is a pilot investigation of a chondrite by European-alpine-type fabric methods, applied to meteorite fabrics. We can recognize 4 kinds of deformations representing the early-para-, the middle-para- and the late-para-accretionary phase, followed by the post-accretionary phase. For chondrules and similarly deformed aggregates such deformation cycles follow each other without interruption. One

¹⁾ Anschriften der Verfasser: Dr. Martin KIRCHMAYER, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 236, Postfach 10 40 40, D-6900 Heidelberg 1, Bundesrepublik Deutschland. – Manfred PICK, Ernst Leitz Wetzlar GmbH, Postfach 20 20, D-6330 Wetzlar, Bundesrepublik Deutschland.

large xenolith, however, shows the 1st and the 2nd type of deformation of an allochthonous provenance and joins the common deformation cycle as soon as the 1st and the 2nd types of the chondrule deformation has reached the xenolith fabric conditions. The whole chondrite consists of 6 petrographically different fabric elements, which show 7 different lineation types.

Since the sample was not cut according to the fabric present and it was not possible to study the specimen, we only can discuss the deformation fabrics of chondrules and related objects from a 2-dimensional polished plane. The xenolith, showing allochthonous 1st type and 2nd type of deformation should be investigated by further studies, which would unveil an additional part of the fabric history of the Leoville-Chondrite. The chondrules of the Leoville-Chondrite show clearly a deformation by overburden. In the postaccretional phase the Leoville-chondrite has been fissured by an orthorhombic stress-system.

Einleitung

Der Leser sollte sich, wenn er es nicht schon ist, mit den gefügekundlichen Grundlagen vertraut machen, wie sie in SANDER (1930, 1948, 1950) oder in anderen Gefügekundelehrbüchern wie HOENES (1956), HOENES & AMSTUTZ (1974), SARANTSCHINA (1963) etc. dargelegt sind. Dazu ist der Symmetrie-Element-Gesichtspunkt von CURIE (1884), wie er in KIRCHMAYER (1965, 1984) erklärt wird, hinzuzunehmen, die HARTMANNSche Gefügeregel von BUCHER (1920), in der Form, wie sich auch von BECK-MANNAGETTA & al. (1984) in der Korngefügekunde angewandt wurde, sowie die auf Meteorite zugeschnittene und modifizierte WEYNSCHENKSche Klassifikation (1949), wie sie auch in KIRCHMAYER (1959) nachgelesen werden kann. Projektionsmethode nach SCHMIDT (1925). Zusätzliche moderne Gefügedefinitionen werden in diese Abhandlung eingebaut.

Gelegentlich eines Briefwechsels mit Frau M. CHRISTOPHE, P. und M. CURIE – Universität Paris, im Mai 1984, bot ich an, meteoritisches Material gefügekundlich zu untersuchen, da ich mich mit dem CURIESchen Symmetrie-Element-Konzept, das jetzt 100 Jahre alt wurde, seit Jahrzehnten beschäftige, und ich dieses Konzept auf die Untersuchungen an Meteoriten erweitern wollte. Frau CHRISTOPHE ging in dankbarer Weise auf das Angebot ein und übersandte ein Photo des Leoville-Meteoriten von einem 3 cm im Durchmesser großen Anschliff und drei unten besprochene Literatur-Stücke. Das Photo ist als Tafel 1 abgebildet.

Im Laufe des sich darüber entwickelten Schriftverkehrs schälte sich die Kenntnis heraus, daß der Leoville-Chondrit sieben Lineationsarten aufweist, die hier mit englischen Ausdrücken wiedergegeben werden sollen:

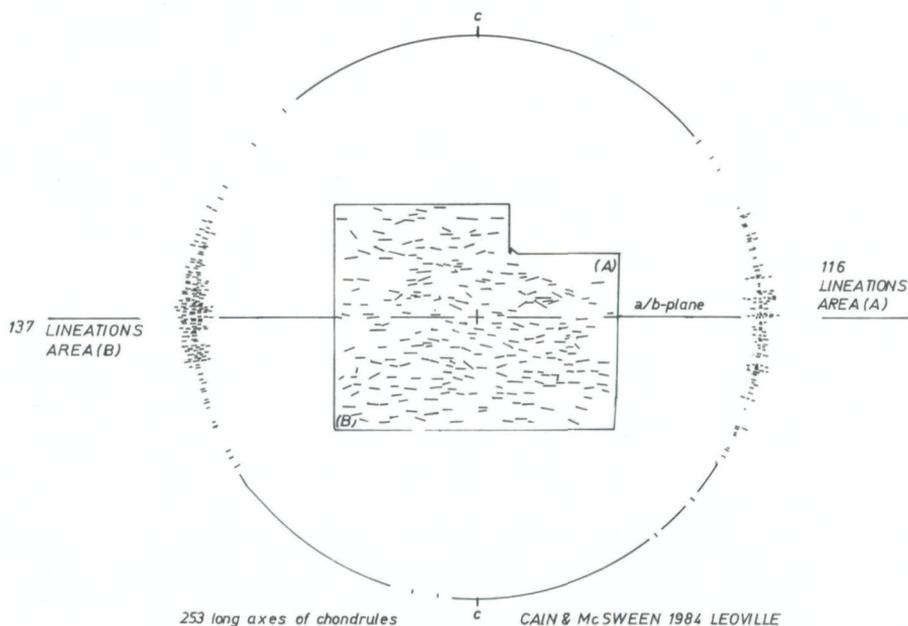
1. *Chondrules-Elongation*;
2. *Xenolith-Point-Symmetry-Lineation*;
3. *Xenolith-Space-Symmetry-Lineation (Chondrules within the Xenolith)*;
4. *White-Inclusion-Lineation*;
5. *Fine-Grained-Inclusion-Lineation*;
6. *Fine-Grained-Matrix-Lineation*;
7. *Metal-Grain-Lineation (within chondrules)*.

Es gibt sechs Arten von gefügekundlichen Formelementen:

1. *Chondrules (and aggregates)*;
2. *Xenolith*;

3. *White Inclusions;*
4. *Fine-Grained Inclusions;*
5. *Fine-Grained Matrix between Chondrules;*
6. *Metal-Grains within Chondrules.*

Wie wir unten sehen werden, wären je Gefügekomponente und pro Lineationsart 8 Diagramme für eine Gefügeuntersuchung nötig, denn mehrere in ein Diagramm zusammenzuzeichnen verträgt das Auge bei der Inspektion nicht; aber andererseits reichen, wollte man das tun, die so erhaltenen Messungen wiederum für eine statistische Auswertung nicht aus. So werden die Formelemente zunächst einmal insgesamt, bis auf den Xenolith, als Schulbeispiel, betrachtet. Gesagt muß allerdings werden, daß die Gefügekunde im englischen Sprachraum als eine alpin-europäische Disziplin gilt und daher außerhalb Europas nicht sehr gepflegt wird. Die WEYNSCHENKSche Klassifikation, sie ist ja im Ursprung eine sedimentologisch-gefügekundliche, fand im englischen Sprachraum nicht sehr Eingang, weil man dort mit anderen und gefügekundlich-fremden Gesichtspunkten und natürlich ebensolchen Begriffen arbeitet. Ich hoffe, daß aber trotzdem diese Bearbeitung Anregung gibt, Meteorite gefügekundlich zu bearbeiten. Vgl. SNEYD & al. (1988).



Kirchmayer 1984

Abb. 1: Überarbeitung der Abbildung des Leoville-Chondriten aus CAIN & McSWEEN (1984 a): Es handelt sich um die Vermessung der Chondren. Die Kreisprojektion enthält die gefügekundliche b- und c-Koordinate. Die ab-Ebene ist eingezeichnet. Die Messungen sind getrennt nach den Anschliffarealen (A) = oben und (B) = unten.

Die Untersuchungsergebnisse

Zuerst eine Überarbeitung der Abbildung in CAIN & McSWEEN (1984 a, b): Die bevorzugte Orientierung der Chondren fiel natürlich schon immer auf, und CAIN & McSWEEN (1984 a, b) bildeten sie auch ab. Sie zeichneten den längsten und den kürzesten Durchmesser der Formelemente. Diese Zeichnung wollen wir jetzt im Sinne der abgeänderten WEYNSCHENKSKEN Klassifikation weiter ausarbeiten und in einer Zentralprojektion zweidimensional darstellen (Abb. 1, 2, 3).

Die Genität ist sehr hoch (Abb. 1). Die Tropie ist sehr niedrig (Abb. 3): 8%-Linie = 0,25.

Die Genität ist eine Maßzahl für die homogene oder inhomogene Verteilung der Formelemente, hier der Chondren, im untersuchten Anschliffbereich. Die Tropie ist eine Maßzahl für die Gerichtetheit oder Richtungslosigkeit der linearen Gefüge, hier der längsten Chondrendurchmesser, im untersuchten Anschliffbereich (siehe analog KARL 1964).

Die Ortslage befindet sich im Zentralbereich des Diagramms. Die Raumlage ist entlang der Peripherie der Projektion gezeichnet (Abb. 1, 2, 3). Wir haben 253 Meßdaten der scheinbaren längsten Achsen der deformierten Chondren (Abb. 1), dann noch 21 Lineationen, also Elongationen, mit einem 1% Auszählkreis ausgezählt. Analog den 253 Meßdaten treten auch 253 Schnittpunkte der scheinbaren

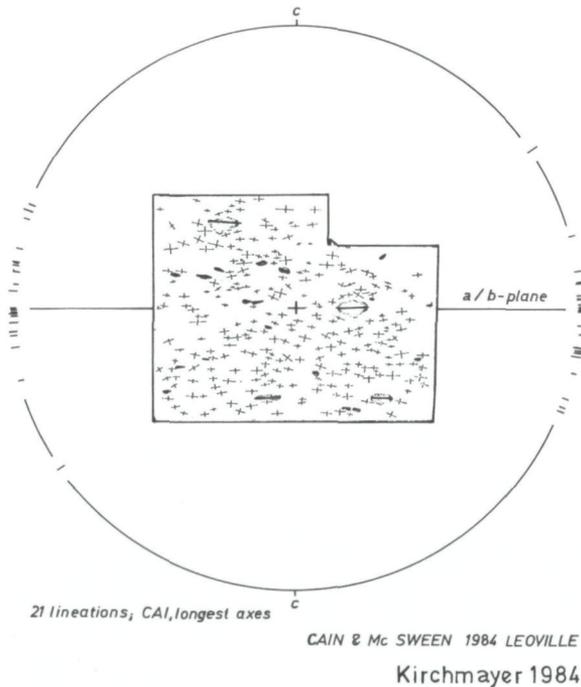
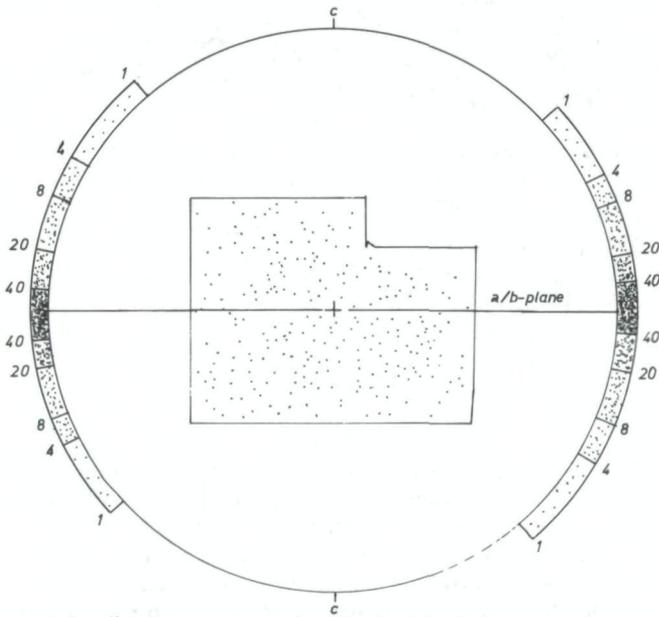


Abb. 2: Überarbeitung der Abbildung des Leoville-Chondriten aus CAIN & McSWEEN (1984 a). 21 Lineationen = Längung der CAI's. Die Kreisprojektion enthält die gefügekundliche b- und c-Koordinate. Die ab-Ebene ist eingezeichnet. (CAI's = Ca-Al-reiche Einschlüsse, typisch für die kohligen Chondrite: vgl. WOOD & HILLER 1984).

längsten und scheinbaren kürzesten Achsen der Chondren auf (Abb. 3). Das Ergebnis der zusätzlichen Untersuchungen der Abbildungen von CAIN & MCSWEEN (1984 a) liegt in der zweidimensionalen gefügekundlich orientierten Darstellung der Formelemente, die wir hiermit auf den gleichen Nenner gebracht haben, ebenso wie die nun folgenden Untersuchungen der Photoaufnahme des Anschliffes von M. CHRISTOPHE. Siehe dazu Taf. 1, Abb. 4-11.

Tafel 1: Die Photoaufnahme zeigt mehrere Formelemente, darunter die Chondren und einen dunklen Xenolith. Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich nur mit den Chondren, einschließlich ähnlich deformierter Aggregate und mit dem Xenolith.

Die Homogenität, oder wie man in der Gefügekunde sagt, die Genität ist sehr hoch, genau wie beim Beispiel von CAIN & MCSWEEN, oben. Die Ortslagen befinden sich ebenso kongruent im Zentrum der Zentralprojektion, und die Raumlagen der Formelemente und Gefügedaten wieder entlang der Peripherie. Auch hier ist die Gefügeuntersuchung dadurch eingeschränkt, daß nur eine 2-dimensionale Anschliffaufnahme zur Verfügung steht, und das Meteoritenstück nicht



253 lineations >40-20-8-4-1%; longest axes of chondrules
 CAIN & MCSWEEN 1984 LEOVILLE

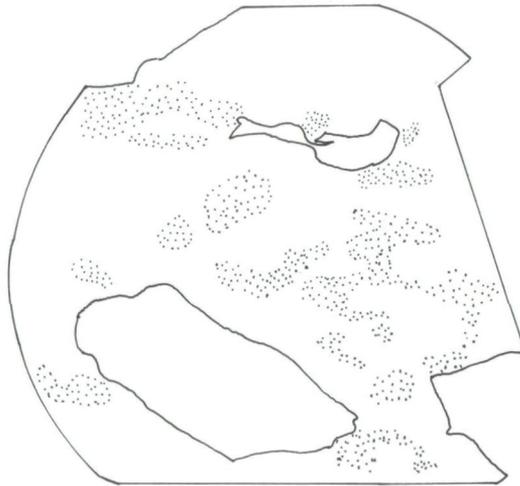
Kirchmayer 1984

Abb. 3: Überarbeitung der Abbildung des Leoville-Chondriten aus CAIN & MCSWEEN (1984). 253 Lineationen = Längung der Chondren und gleichverformter Formelemente. Die Häufung am Peripheriekreis der Projektion wurden ausgezählt nach > 40 - 8 - 4 - 1% des Durchmessers eines 1%-Auszählkreises. Die Punkte innerhalb des Anschliffes markieren die Schnittpunkte der jeweils längsten und der jeweils kürzesten Achsen des Formelementes. Die gefügekundliche ab-Ebene ist eingezeichnet.

vorliegt, so daß keinerlei Gefügekoordinaten eingebracht werden können. Die Photoaufnahme wurde auch nicht gefügeorientiert angefertigt.

Vorausgeschickt sei hier die Erkennung aller 4 Arten der „Deformation“ oder besser der Formung der Gefügeelemente, die der früh-para-, der mittel-para-, der spät-para-akkretionären Phase und der post-akkretionären Phase zugeordnet werden: Die 1. Art der Formung ist gekennzeichnet durch ein Ineinanderfließen von Matrix und der Chondren; die Grenzen zwischen beiden sind verschwommen. Die 2. Art der Formung ist gekennzeichnet durch deutlich abgegrenzte Formelemente, hier also der Chondren. Die 3. Art der Formung sind unregelmäßige Risse, die bald und oft schon innerhalb der Formelemente, hier der Chondren, auslaufen. Die 4. Art der Formung bietet sich als schnurgerade, oft in parallelen Scharen auftretende, durch große Teile des Chondriten hindurchführende Fissuren dar. Die 3. und 4. Art der Formung weisen oft konjugierte Fissurenscharen mit einem bestimmten „Bruchwinkel“ auf (= BUCHER-HARTMANNSCHE Gefügeregel).

Abb. 4: In der Abbildung ist die 1. Deformation nach WEYNSCHENK herausgezeichnet. Man sollte bei den Chondriten aber besser „1. Art der Formung“ sagen. Die Formelementengrenzen der Chondren sind nicht deutlich ausgebildet, es existiert



Kirchmayer 1984

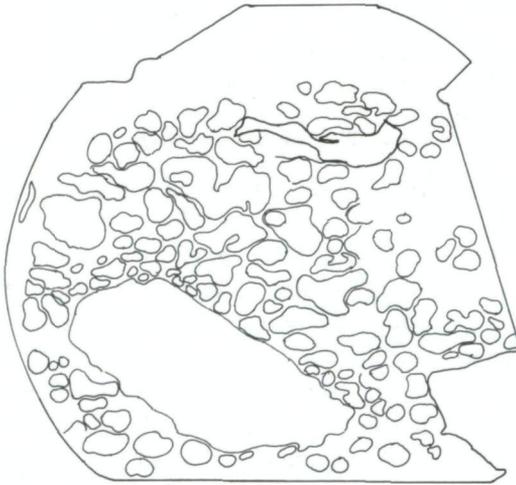
Abb. 4: Leoville-Chondrit der Photoaufnahme Tafel 1. Anschliffzeichnung. Die Umrisse der beiden Xenolithe sind ausgezeichnet. Die Bereiche der früh-para-akkretionären Deformationsphase einschließlich dem Übergang zu der mittel-para-akkretionären Deformationphase wurden punktiert. Diese punktierten Bereiche werden der 1. Formungsphase zugeordnet: Bereiche, in welche die Abgrenzung zwischen Chondren und Matrix verwischt erscheint. Diese Areale zeigen keinerlei Orientierung. Sie repräsentieren offensichtlich jene Stellen im Gestein, in welchen sich die Chondrenumrisse nicht mehr vollkommen ausbilden konnten. Diese Interpretation lehnt sich allerdings an die WEYNSCHENKSche Vorstellung an; ebenso könnte man auch nach einer anderen Erklärung suchen. Es gibt auch Gesteinsbereiche, wenn man die Abb. 4 und 5 miteinander vergleicht, sieht man das, in welchen sich die 1. Art der Formung und die 2. Art überlagern; das sind Übergangsbereiche zwischen den beiden Formungsarten, in welchen einerseits die Abgrenzung zwischen Matrix und Formung verwischt erscheint, aber dennoch sich bereits der Chondren-Umriß, also die 2. Art, abbildet: Wir haben hier einen fließenden Übergang zwischen beiden.

Leoville Chondrite; Chondrules, textural fabrics; 1st type of deformation; early-para-accretionary deformation; transition to 2nd type of deformation.

eine plastische Durchdringung mit den benachbarten Formelementen. Oft auch vereinen mehrere Chondren sich zu einem größeren Formelement, wobei sie schwache Anzeichen der früheren ursprünglichen Gefüge zurücklassen. Alles weist auf einen außerordentlich plastischen und verformbaren Zustand der Chondren in dieser Deformation hin. Ähnliche Beobachtungen machten auch WOOD & HILLER (1984).

Vom genetischen Gesichtspunkt aus ist das nach der WEYNSCHENKschen Nomenklatur eine frühparadiagenetische Deformation. Da wir aber nicht a priori von einem Sediment sprechen wollen, andererseits auch bei einer magmatischen Kristallisationsdifferentiation sofort nach dem Ausfällen der Minerale entsprechende „diagenetische“ Reaktionen stattfinden, wäre der Ausdruck, im weitesten Sinne gebraucht, schon berechtigt. Um aber jedweder genetischen Beziehung zu einem irdischen Sediment aus dem Weg zu gehen, wird hier und weiterfort in Abänderung der WEYNSCHENKschen Klassifikation anstelle der „Para- und der Post-Diagenese“ von „Para- und Post-Akkretion“ gesprochen. Also jetzt: frühpara-akkretionäre Deformationsphase.

Bei einigen Formelementen wird hier in der Abb. 4 der Randbereich der Formelemente, der Chondrulen, deutlich sichtbar. Hier sind wir im Übergangsbereich zu der 2. Art der Deformation, die aber noch mit einbezogen wird. Sobald aber der Randbereich deutlich sichtbar werden sollte, so ist das die volle 2. Art der Deformation; sie wird in der nächsten Abbildung besprochen.



Kirchmayer 1984

Abb. 5: Leoville-Chondrit der Photoaufnahme Tafel 1. Die beiden größten Xenolithe sind nicht berücksichtigt. Die Umrisse der Chondren markieren die 2. Art der Deformation; sie ist die mittelpara-akkretionäre Deformationsphase. (Diese Zeichnung, also die 2. Art der Deformation, bzw. die mittelpara-akkretionäre Deformationsphase, wird die Grundlage werden für einen in der Abb. 11 mitgeteilten Parameter der Chondren – nicht der des größten Xenolithen.)

Leoville Chondrite; Chondrules; textural fabrics; 2nd type of deformation; middle-para-accretional deformation.

Die Raumlage ist, wie üblich, an der Peripherie der Projektion gezeichnet und gepunktet (Abb. 7). Wie aus einer späteren schriftlichen Mitteilung von Frau CHRISTOPHE hervorgeht, stimmen, wie ich dann gesehen habe, die Gebiete der 1. Art der Deformation praktisch mit anderen Beobachtungen von ihr überein.

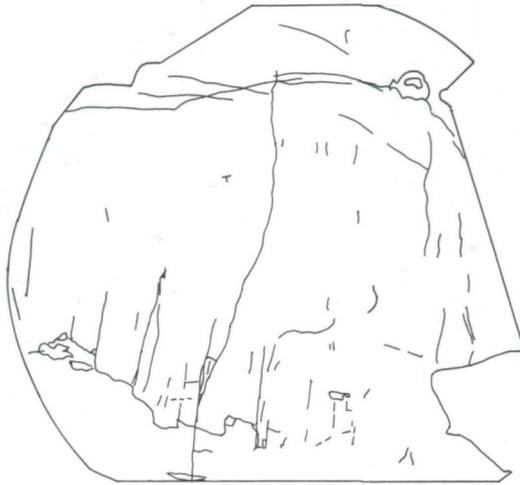
Die 2. Art der Deformation erkennt man sehr klar und eindeutig an den ausgezeichnet geführten Korngrenzen der Chondren, also der Formelemente. Sie haben eine hohe Sphärizität, sie sind gut gerundet und nicht so abgeflacht wie im Beispiel von CAIN & MCSWEEN (1984 a, b, Fig. 1–3). Es existiert sogar eine umgekehrte Abfolge einer „gradierten Schichtung“, die sich von der Oberfläche des Xenolithes hinweg aufbaute.

Vom Xenolith ausgehend kann man eine Sortierung der Chondren von fein nach grob erkennen. In einem Sediment wäre das eine „umgekehrte gradierte Schichtung“. Eine reguläre wäre ja jene, die „unten“ die größeren Formelemente, wie den Xenolith, aufwiese, da im Sediment bei der Sedimentation die größeren Körner den feineren voraneilen. Das große Xenolith-Korn setzt sich also hier nicht in die größeren Chondren-Formelemente fort, sondern eben in die „umgekehrte gradierte Schichtung“.

Ob „sedimentär“ angelegt oder durch Deformation erzeugt, wäre nur am Original auszumachen. Offensichtlich waren die größeren Chondren ursprünglich von der gleichen Formelementegröße wie man sie von der 1. Art der Deformation kennt, und sie haben sich mit den benachbarten zu den größeren und unregelmäßigen Formelementen vereint. Ein solches Verhalten wäre auch typisch für die 2. Art der Deformation; sie ist genetisch eine mittel-para-akkretionäre Deformationsphase.

Wie allerdings solch eine Formvereinigung stattfindet, kann nur über einen Interpretationsversuch angegeben werden. Denn Schmelzen ist ausgeschlossen. Da aber die gesamte Deformation der Chondren in einem plastischen Zustande vor sich ging, dürfte am ehesten an eine „Sammelkristallisation“ im Zuge der Diagenese oder der Akkretion zu denken sein.

Die 3. Art der Deformation erkennt man an unregelmäßigen paarweise konjugierten und an nicht-paarweisen, nicht-konjugierten Fissuren (Abb. 6), welche sehr oft, und das ist typisch, nicht vollkommen die Gefügeelemente durchtrennen, sondern in ihnen auslaufen. Die Fissurspur ist auch nicht schnurgerade, sondern verläuft unregelmäßig. Die Formelemente waren also noch nicht so konsolidiert, daß sie von einer Fissur gerade, wie in einer Linie, durchtrennt wurden (Anders ist das, zum Unterschiede gesagt, bei der 4. Art der Deformation: Sie ist gekennzeichnet durch geradlinige Fissuren, die die Formelemente komplett und vollständig durchtrennen; sie treten oftmals in parallelen Fissur-Schwärmen auf. Die gesamte 4. Art der Deformation befindet sich, das sei vorausschickend gesagt, im Xenolith-Bereich; er wird zwar nicht in seiner 1. und 2. Art der Deformation untersucht, doch hebt die vergleichsweise Erwähnung des Xenolithen bereits hervor, daß er nicht an der Akkretionsgeschichte der Chondren teilnahm, sondern offensichtlich die 4. Art der Deformation bereits in den Chondren-Bereich als allochthones Formelement einbrachte). Darum ist die 3. Art der Deformation die beherrschende Fissuren-Deformation im Chondren-Bereich. Genetisch gesehen ist die 3. Art der Deformation eine spät-para-akkretionäre Deformation.



Kirchmayer 1984

Abb. 6: Leoville-Chondrit der Photoaufnahme Tafel 1; Anschliffzeichnung. Konjugierte und nicht-konjugierte Fissuren. Sie repräsentieren die 3. und 4. Art der Deformation, und damit die spät-para-akkretionäre und die post-akkretionäre Deformationsphase.

Leoville Chondrite; textural fabrics; conjugate and non-conjugate joints (fissures); 3rd & 4th type of deformation; i. e. late-para-accretional deformation & post-accretional deformation.

Es fällt auf, daß die Fissuren senkrecht zur plastischen Deformationsebene der Chondren verlaufen. Das ist aber nur rein zufällig so. Die plastische Deformation der Chondren erfolgte durch Auflast, wie die Setzung der Gefügekoordinaten anzeigt. Die Fissuren jedoch sind nach der BUCHER-HARTMANNschen Gefügeregel geordnet; sie sind als System über die größte, die mittlere und die kleinste Hauptspannung mit den zugehörigen Normal- und Scherspannungen entstanden. Wir haben also zwei Formungs- oder Deformationssysteme mit verschiedenen Gefügekoordinatensystemen.

Wie wir gesehen haben, besitzen die Chondren keine Plattigkeit, keine Flachheit, aber trotzdem ist eine gewisse schwache Längung der Chondren vorhanden. Da das „Handstück“ nicht orientiert ist und ich nicht in der Lage war, das Meteoritenhandstück zu besichtigen, ist es für mich schwierig zu sagen, ob es eine deutlichere Längung, versteckt unter einem schrägen Polier-Anschliffwinkel gibt. Jedenfalls wurden 146 Meßdaten von Lineationen gesammelt und gepunktet, ausgezählt mit einem 1% Auszählkreis. Alles 2-dimensional natürlich (Abb. 7). Man erhält wieder, wie bei dem Beispiel von CAIN & McSWEEN, oben, allerdings nicht so deutlich, eine a-b-Ebene – gefügekundlich würde sie heißen: die Hauptmineralfäche –. Senkrecht darauf befindet sich die gefügekundliche c-Koordinate. In ihr liegt der Hauptspannungsvektor, verantwortlich für die schwach ausgebildete Längung, und – könnte man das Handstück inspizieren – auch für die Plattigkeit und Flachheit der Formelemente. Hervorzuheben ist auch – wir sprachen ja eben davon, daß der Xenolith ein allochthones Formelement ist –, daß die Längung des einen Xenolithes einer ganz unterschiedlich gelagerten a-b-Ebene folgt, und damit auch einer ganz unterschiedlich gelagerten c-Koordinate. Ein zweiter Nachweis also für die allochthone Natur des Xenolithes.

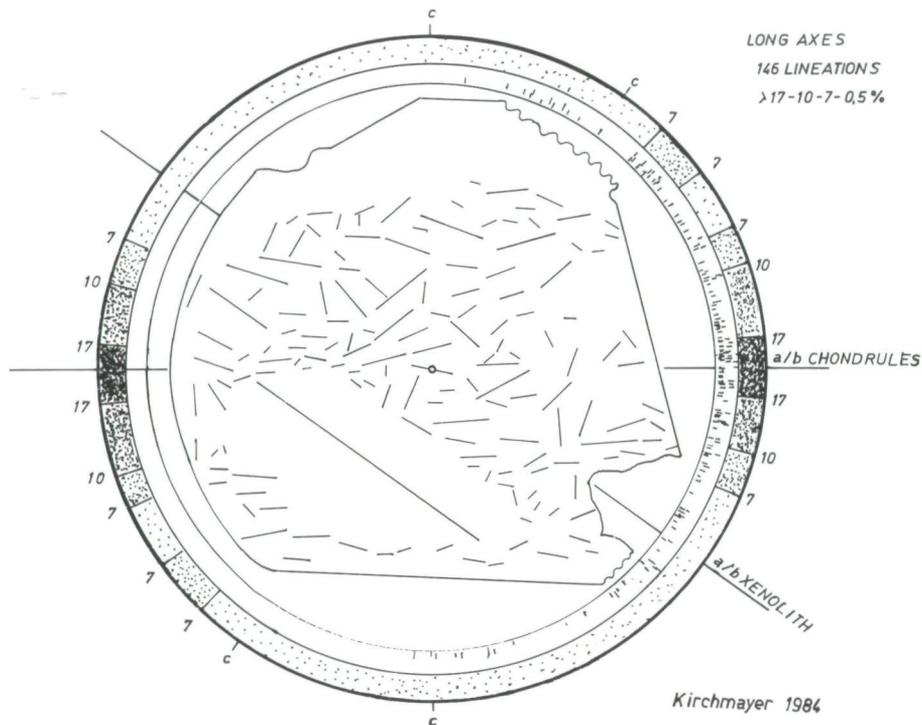


Abb. 7: Leoville-Chondrit der Photoaufnahme Tafel 1; 146 Lineationen = Längungen der Chondren und der Xenolithe sowie der kongruent deformierten Formelemente; ausgezählt $> 17 - 10 - 7 - 0,5\%$ des Durchmessers eines 1%-Auszahlkreises. Die gefügekundlichen b- und c-Koordinaten sind eingezeichnet, ebenso die ab-Ebene der Chondren und die davon verschieden liegende ab-Ebene des größten Xenolithen (Der kleinere Xenolith kann mangels Auflösungsvermögen nicht untersucht werden). Chondren-Tropie: 10%-Linie = 0,19.

Leoville Chondrite; Chondrules and Xenolith; textural fabrics.

Die 3. und 4. Deformation, die Fissuren-Ebenen, bereits vorher erwähnt, sind in Abb. 8 als Flächenpole gezeichnet. Natürlich immer mit der Einschränkung gezeichnet, daß der Anschliff nur 2-dimensionale Gefügedaten hergibt, und auch keinerlei Gefügekordinaten im Anschliff gesetzt sind. Die Formelemente, die Chondren, werden durch drei Hauptscharen eines Fissurenschwarms, jeder von denen nochmals durch kleinere geteilt, durchschnitten. Der große Xenolith jedoch, unterschiedlich wie immer, wird nur durch einen einzelnen parallelen Fissurenschwarm durchtrennt; was wiederum zeigt, daß der Xenolith nicht zu dem Chondren-Gefügesystem gehört. Der kleine Xenolith ist sicher vom großen gefügekundlich verschieden, in welchen Details jedoch, das läßt sich nicht ausmachen. Daher wird er nicht mehr weiter beachtet.

Die 3. Art der Deformation ist genetisch eine spät-para-akkretionäre Deformation. Sie wurden in Abb. 9 als drei Fissurschwärme in Gestalt der Flächenpole gezeichnet. Die Synopsis resultiert in Gestalt einer allgemeinen „Streichrichtung“, die man unter Benützung der HARTMANNSCHEN Regel von BUCHER (1920) zur

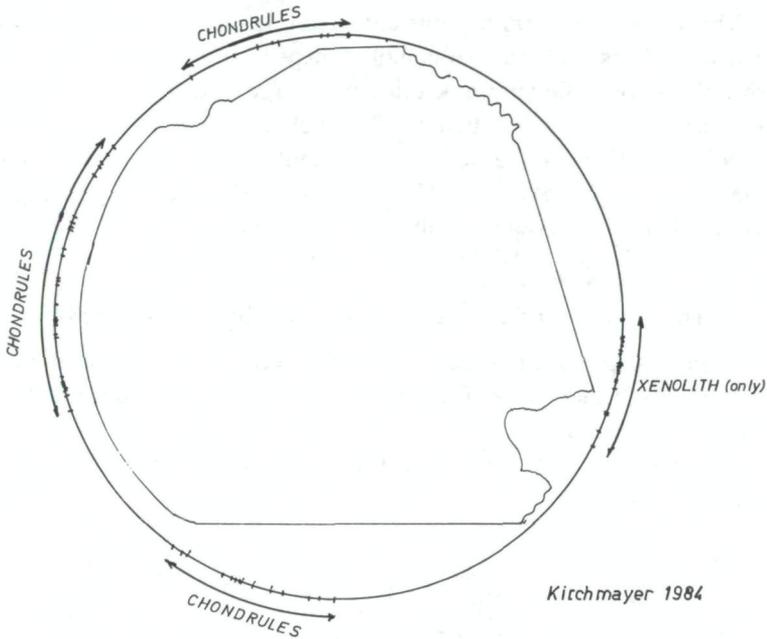


Abb. 8: Leoville-Chondrit der Photoaufnahme Tafel 1, zusammen mit der Zeichnung Abb. 6. 87 Flächenpole der Fissurenflächen (s) der Chondrenfissuren und der Xenolithfissuren (Genau genommen sind die Fissurenlinien die geometrischen Spuren der Fissurenflächen mit der Anschliffoberfläche!)
Leoville Chondrite; textural fabrics; 87 s-poles of chondrules' and xenolith's fissure-planes.

Herausarbeitung der größten und kleinsten Hauptspannung verwenden kann. Die mittlere Hauptspannung verläuft irgendwie senkrecht zum Anschliff (Die wahre Raumlage jedoch wäre aber erst aus einer Inspektion des Handstückes abzuleiten). Sie ist jedenfalls die Schnittlinie zwischen den Fissurenebenen. Ebenso ist zu vermuten, daß die Deformation eine „schnelle“ war; eine schnelle Deformation wäre auch in SANDER (1950: 270) beschrieben.

Einer der beiden Fissurenschwärme der 3. Art der Deformation dient auch als 4. Art der Deformation beim Xenolith (Abb. 10). Bei der 4. Deformation macht der Xenolith bei der Chondren-Akkretionsvorgeschichte mit, genetisch also ab der spät-para-akkretionären Deformationsphase. Das heißt, daß der Chondrenbereich jetzt genügend konsolidiert war, so daß ab der 4. Art der Deformation, ab der post-para-akkretionären Deformation, der Xenolith ein Teil des Leoville-Meteoriten wurde. Wir konstruieren und diskutieren also ab jetzt beide Formelemente, die Chondren und den Xenolith. Auch hier können wir mit Hilfe der HARTMANNschen Regel von BUCHER (1920) die größte und die kleinste Hauptspannung konstruieren, die aber unterschiedlich in der Raumlage gegen die 3. Art der Deformation, gegenüber der spät-para-akkretionären Phase, der Chondren-Formelemente sind.

Wie es auch bei irdischen Gefügen ist, ist immer ein Fissuren-Schwarm vorherrschender entwickelt, und der andere ist nur ganz schwach zu sehen. Aber er ist zur Konstruktion der Hauptspannungen essentiell notwendig. Man sieht, daß

der Xenolith-Fissurenschwarm bestens entwickelt ist, und der dazugehörige Chondrenschwarm wird erst sichtbar bei genauer Inspektion des Anschliff-Photos. Was wiederum auf die verschiedene akkretionäre Vorgeschichte der beiden Formelemente hinweist (Es ist offensichtlich eine Tatsache, daß Chondren, Xenolithe etc., gefügekundlich als Formelemente angesprochen, jeweils eine eigene Geschichte haben können [vgl. WLOTZKA in: HEIDE 1988: 164], was bei gefügekundlichen Untersuchungen stets im Auge behalten werden sollte).

Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Einige der Interpretationen ließ ich bereits in die Gefügebesehrreibung einfließen, damit die Beschreibung der Gefüge für Nicht-Gefügekundler nicht zu trocken wird. Weitere folgen nun:

Zunächst wissen wir von den drei über den Leoville-Meteoriten publizierten Schriften folgendes:

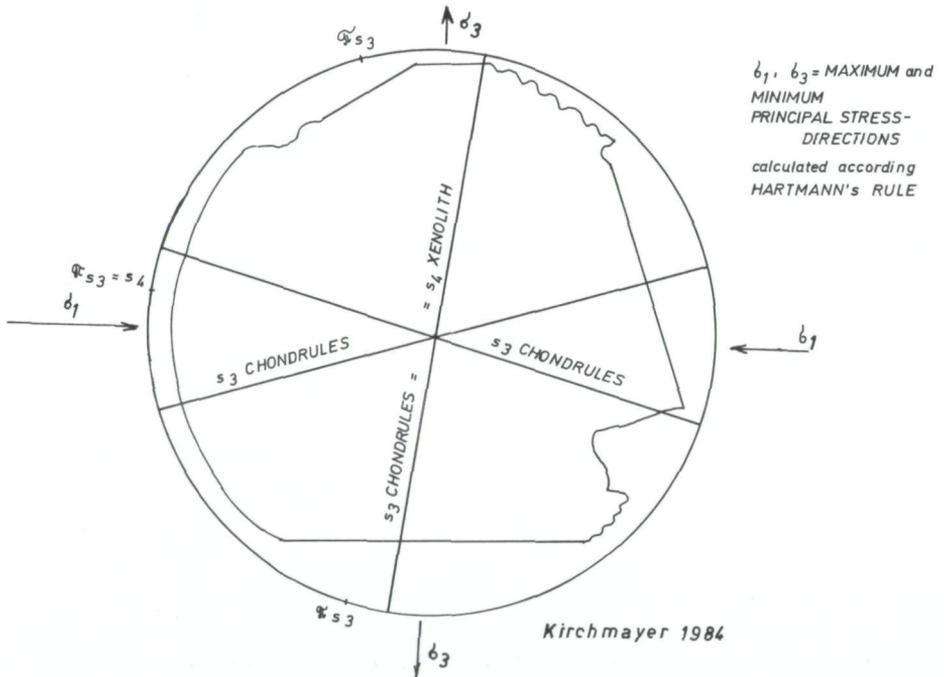


Abb. 9: Leoville-Chondrit der Photoaufnahme Tafel 1, einschließlich der Zeichnung Abb. 6 und der der Abb. 8. Synoptische Fissurenssysteme der 3. Art der Deformation der Chondren, also der spät-paraakkretionären Deformationsphase. Die Streßsysteme wurden nach der HARTMANN'schen Regel von BUCHER (1920) ausgerechnet; sigma 1 ist die größte Hauptspannung, sigma 3 die kleinste, verantwortlich für die 3. Art der Deformation der Chondren, zu welcher sich ab dieser Deformationsart jenes des größten Xenolithen dazugesellt.

Leoville Chondrite; textural fabrics; synoptic fissure system s_3 ; chondrules' 3rd type of deformation i. e. late-para-accretional deformation.

CAIN & MCSWEEN (1984 a): Das Strain-Ellipsoid hat den Wert 2,0 : 1 oder 1,9 : 1. Die einachsige Verkürzung der Formelemente liegt bei 28–34%. Es tritt keine Kataklyse der Formelemente auf, wir haben eine Niedrig-Temperatur-Plastizität. Vom mineralogischen, isotopischen und magnetischen Gesichtspunkt sei eine Temperatur von 500–585° C möglich. Der Strain rührt wahrscheinlich von der Überlagerung im Inneren eines asteroiden Körpers her. Die Frage, warum derartige Deformationen nicht in anderen Chondren auftreten, ist ungelöst (Vermutlich sind derartige Deformationen jedoch häufiger als man glaubt!).

CHRISTOPHE & al. (1979): Einschlagexperimente von der Größe 108–480 kbar konnten die typische Leoville-gefügeorientierten Formelemente nicht produzieren. Alle sonstigen Beobachtungen treffen sich bei einer niedertemperaturglobalen Deformation von einem kalten akkretionären Material.

CAIN & MCSWEEN (1984 b): Die Plattigkeit, die Flachheit der Chondren und des Xenolithes fiel natürlich auf, die Autoren sahen aber nicht die gefügekundliche Getrenntheit der beiden. Finite-Strain-Analysen zeigen, daß die Chondren ursprünglich nahezu sphärisch waren. Die Gefügesamtheit wird als post-akkretio-

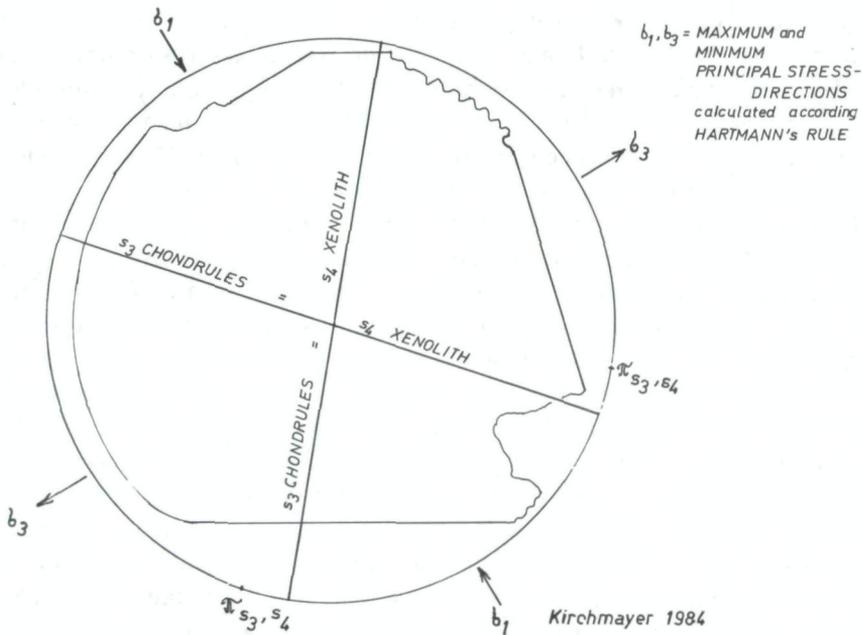


Abb. 10: Leoville-Chondrit der Photoaufnahme Tafel 1, einschließlich der Zeichnung Abb. 6 und der der Abb. 8. Synoptische konjugierte Fissuren der 3. und 4. Art der Deformation. Es herrscht Kongruenz zwischen der 3. Art der Deformation der Chondren mit der 4. Art der Deformation des größten Xenolithen. Wieder wurden die Streßsysteme nach der HARTMANNschen Regel nach BUCHER (1920) gezeichnet: sigma 1 ist die größte Hauptspannung, und sigma 3 die kleinste, verantwortlich für die kongruenten konjugierten und nicht-konjugierten Fissuren-Systeme dieser Deformationsphase. *Leoville Chondrite; textural fabrics; synoptic conjugate fissures; congruence (i. e. homogeneity) of chondrules' 3rd type of deformation & of xenolith's 4th type of deformation.*

näre Deformationsphase, verursacht durch Kompaktion, erklärt. Die Deformation war aber nur auf die Chondren beschränkt. Der Strain-Quotient der Chondren zeigt von 1,9 : 1 bei 28% einachsialer Verkürzung bis zu 3,3 : 1 und 45% einachsialer Verkürzung. Der Chondren-Matrix-Quotient beträgt 65 : 35. Der einachsige Strain für das Gestein hat Werte von 34%, was eine Entwicklung dieser Deformation in einem Zeitraum von 10^5 bis 10^7 Jahre voraussetzt oder bedeutet.

Die Autoren sehen eine plastische Deformation mit ganz geringer Kataklyse. Die Flachheit der Chondren werden durch Kompaktion bei Überlagerung erklärt. Ein besseres Verstehen der Deformation, so meinen die Autoren, würde die Mächtigkeit der Überlagerung, den Minimum-Herkunfts-Asteroid-Körper, die Temperaturbereiche und die Rate der Überlagerungsprozesse sowie die Akkretion erklären.

Weitere Untersuchungsergebnisse finden sich in CAIN & al. (1986).

Eigene Interpretation der beschriebenen Ergebnisse

Was uns bei der letzten Frage weiterbringt, ist eine eindeutige raumorientierte Beschreibung der deformierten Formelemente, was eigentlich vollständig nur über die Handstück- und die Korngefügekunde möglich wäre. Der Anfang sei hiermit gemacht. Wir haben oben schon gesehen, daß im Raum die sonst zusammengeworfenen Spannungsvektoren und die Simple-Streß-Richtungen getrennt werden können und so falschen Schlüssen aus dem Wege gegangen werden kann. Dann haben wir gesehen, daß wir mit abgewandelten WEYNSCHENKSKEN Klassifikationen die para-akkretionären Deformationsphasen mühelos trennen können.

Die auszugsweise dargestellten Daten aus den drei obigen genannten Publikationen geben bereits ein sehr eindrucksvolles Bild über den Leoville-Chondriten. Sie zeigen auch die Richtung der weiteren Untersuchung auf. Der Neubeitrag dieser Arbeit ist die Darstellung der Formelemente in der eindeutigen Raumorientierung. Sofern im Handstück keine b-Koordinate auftritt – was nicht gesagt werden kann –, liegt in der 1. und 2. Deformation ein Simple-Streß-Vektor in den c-Koordinaten vor, die aber verschiedene Raumorientierungen besitzen, immer jedoch senkrecht zu a-b-Ebene, in welchen die Elongationen der Chondren liegen. Das ist also schon eine Verbesserung der bisherigen Aussagen. Die Symmetrie der Elongation besitzt $D_{\infty h}$, und die der mit „simple“-Streß-Auflast-deformierten Chondren $C_{\infty v}$ und C_{2h} . Für den Fall, daß der Anschliff in Gestalt eines orientierten Anschliffes geschnitten worden wäre, könnte man die wahre Raumlage der Streßrichtungen ausfindig machen, und nicht nur die scheinbare.

Bei den Chondren ist auf dem Photo eine Foliation nicht zu erkennen, eine Faltung nicht, und auch nicht eine Boudinagierung. Allerdings mag das unter dem Mikroskop anders sein. In der CAIN & MCSWEEN-Zeichnung jedoch sieht man am Schnittpunkt der langen und der kurzen Achsen der Chondren eine sehr undeutliche Spur einer Foliation, die schräg die langen Chondrenachsen schneidet. Das kann eine Andeutung einer Scherfläche im Sinne der GRIFFITHSchen Theorie (vgl. JAEGER & COOK 1969: 264 ff.) und im Zusammenhang mit der 2. Art der Deforma-

tion sein. Das Gefüge zeigt ein „bedding“-Gefüge; das wäre eine „Sedimentschichtung“. Hier ist das eine a-b-Ebene. Ganz neutral gesagt. Eine Beziehung der metallreicheren zu den metallärmeren Lagen ist aus den Gefügeuntersuchungen nicht herauszulesen. Die mir freundlicherweise schriftlich von Frau CHRISTOPHE mitgeteilte Meinung, daß die „metall-ärmeren Regionen nichts anderes als verwitterte Regionen eines ansonsten homogenen Gesteins“ sind, erklärt die Beziehung der metallreichen und der metallarmen Regionen viel besser.

Spezielle Gefügekundaussagen

1. Sind alle Deformationen auf Simple Stress zurückzuführen?

Genau Auskunft auf diese Frage würde eine dreidimensionale Inspektion des Handstückes geben, zusammen mit einer orientierten Anschliff-Probenahme. Jedenfalls liegt, da die Chondren in einer Ebene gelängt erscheinen, die Simple-Streß-Richtung in der c-Koordinate. (Wären die Chondren in zwei Ebenen gelängt – z. B. beim H Chondrit Beddgelert [vgl. KIRCHMAYER & WLOTZKA 1986] – so wäre die größte Hauptspannung die Winkelhalbierende des kleineren Flächenwinkels; usw.) (vgl. BECK-MANNAGETTA & KIRCHMAYER 1985).

Bei der dritten und der vierten Art der Deformation haben wir es eindeutig mit einem dreiachsigen Hauptspannungsfeld zu tun. Die auf die Fissuren senkrecht auffallende Normalspannung tritt ebenso auf. Ob hier bei der 3. und 4. Art der Deformation eine Scherspannung vorhanden ist, ist aus dem Photo des nichtorientierten Anschliffes nicht zu eruieren. Da aber eine Verkürzung des Gesteins auftritt, könnte das durchaus der Fall sein. Ebenso nicht zu klären ist aus dem nichtorientierten Anschliff, ob es sich um eine ebene Deformation handelt, wo also die Scherspannung in der Raumlage senkrecht auf die mittlere Hauptspannung steht; und was dann in den MOHRschen Kreisen abgebildet werden könnte (vgl. MOHR 1882).

(Die Alternative zur ebenen Deformation wäre die nicht-ebene, bei welcher der genannte Winkel von 90 Grad verschieden ist.)

Die speziellen gefügekundlichen Aussagen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Alle gelängten Formelemente und auch alle Fissuren haben eine Raumlage, sind also anisotrop und müssen daher in der Raumlage auch nach Genität und Tropie beschrieben werden, bevor man sie weiter untersucht: Eine volumentreue Deformation hat gefügekundlich erwiesenermaßen nicht drei sondern acht Freiheitsgrade (SENG 1936).

2. Die anisotropen Formelemente der Chondrite (und anderer Meteorit-Arten) zwingen zu einer jeweils unterschiedlichen Setzung der Gefügekordinaten; und diese ist z. B. bei einer Auflast und bei einem orthorhombischen Streß-System jeweils verschieden, sodaß man genetische Aussagen ableiten kann.

3. Derartige gefügekundliche Bearbeitungen sind schon von Anfängern durchzuführen und werden von mir im mineralogischen Hauptstudium in einschlägigen Übungen gebracht und auch als Test verlangt. Sie erfordern nur einfache

Geräte, können auch in größeren Untersuchungsreihen durchgeführt werden und sind daher relativ einfach und rasch anzustellen. Bei der heutigen Bedeutung der Chondritenforschung wäre solch eine breite Basis der gefügekundlichen Bearbeitung von deformierten Chondriten und anderen Meteoriten bestimmt ein sehr wünschenswerter Beitrag.

2. Waren langsame oder „schnelle“ Prozesse aktiv?

Diese Frage kann wieder erst eindeutig beantwortet werden, wenn ein orientierter Anschliff zur Verfügung steht und die Inspektion des Leoville-Meteoriten möglich ist. Jedenfalls müssen hier getrennt betrachtet werden die 1. und die 2. Art der Deformation (= Auflast), die früh- und mittel-para-Akkretion, und die 3. und die 4. Art der Deformation, die spät-para- und die post-akkretionäre Deformationsphase (= orthorhombisches Streß-System).

Bei einer langsamen Deformation (= Auflast) liegen die längsten Durchmesser der Chondren in einer Ebene, bei einer „schnellen“ Deformation in zwei Ebenen, was man an der Setzung der Koordinaten unterscheidet. (Mit „schnell“ meine ich keine „Schock-Deformationen“!)

Bei einer „schnellen“ Deformation müßten zudem auf den Fissur-Flächen auflagernde Lineationen auftreten und keine das Gestein durchdringende, wie es die 2. Art (= Auflast) der Deformation anzeigt.

3. Warum zeigt die Xenolith bei der „Einsedimentation“ post-akkretionäre Deformation und das Wirtsgestein nicht?

Das ist leicht zu beantworten: Wie oben gesagt, und zeichnerisch erklärt, hat das Wirtsgestein eine Vorgeschichte, die lückenlos die 1. bis 4. Art der Deformation durchläuft, also genetisch von der früh-para-akkretionären Phase bis zur post-akkretionären jeden Schritt ablesen läßt. Der Xenolith ist ein „einsedimentiertes“ Formelement, ein allochthones also, das schon die 4. Art der Deformation zur „Einsedimentation“ mitbrachte – die 1., 2. und die 3. Art der Xenolith-Deformation dürften im Xenolith-Inneren versteckt sein. Der Xenolith nimmt am lückenlosen Deformationsablauf des Wirtsgesteins erst ab dem Zeitpunkt teil, sobald sich die Konsolidierung des Wirtsgesteins dem des Xenolithen angenähert hat.

Auf den Prozeß der „Einsedimentation“ weist auch die gradierte Schichtung“ der um den Xenolithen auftretenden Chondren hin. Die „Sedimentationsrichtung“ ist die gefügekundliche c-Koordinate.

M. PICK: Bildanalyse der KIRCHMAYERSCHEN Abb. 5, der 2. Art der Deformation, also der mittleren para-akkretionären Deformation der Chondren

Herr KIRCHMAYER besuchte anlässlich eines Tages der offenen Tür in der Verkaufsniederlassung Stuttgart die Neuausstellung des von der Firma Leitz, Wetzlar entwickelten Bildanalysegerätes ASM 68 K. Wir kamen überein, das Herr

PICK mit der von KIRCHMAYER gezeichneten und herausgearbeiteten 2. Deformationsphase einen Pilotversuch macht, um zu sehen, welche Ergebnisse mit dem Bildanalysegerät darstellbar sind, welche Ergebnisse übereinstimmen, sie somit unterstützen, und welche Ergebnisse anders ausfallen. Die Auswertung ist allerdings von der Darstellung her nicht optimal, sie ist aber für die erste Beurteilung vollständig.

Die Auswertung im Einzelnen betreffen: (Formelemente Nr. 1, 3, 4; siehe „Einleitung“; alle jedoch nur 2. Art der Deformation).

Chondren nach den Standardparametern: Fläche, Umfang und Formfaktor (graphisch). Alle Rohdaten, zusätzlich noch mittlerer Feret, kleinster und größter Feret. Alle Ferets (graphisch und numerisch).

„Feret“ ist ein stets durch den Mittelpunkt des Formelements hindurchgehender Schnitt, der in bestimmten Winkelgraden, z. B. 7,5°, erneut zu den vollen 360 Graden, bis zum vollen Formelement-Umfang durch das Bildgerät abgetastet wird.

Lage der Chondren und Xenolithe (nur die beiden größten) als Schwerpunkte. Alle Ferets der (beiden) Xenolithe (numerisch).

Xenolithe (die beiden) nach Standardparametern.

(Die Xenolithe wurden ursprünglich von Herrn KIRCHMAYER aus den Untersuchungen der 2. Deformation herausgenommen, weil ihre 2. Deformation zeitlich viel früher stattfand und sie zum Zeitpunkt der 2. Deformation der Chondren bereits abgeschlossen war.)

Abb. 11 zeigt aus der langen Reihe von möglichen und getätigten Untersuchungen mittels der Bildanalyse nur jenen Programmtest, der die mittleren Ferets

MAX FERET : .177312
 WINKEL : 15
 MIN FERET : .129437
 WINKEL : 97.5

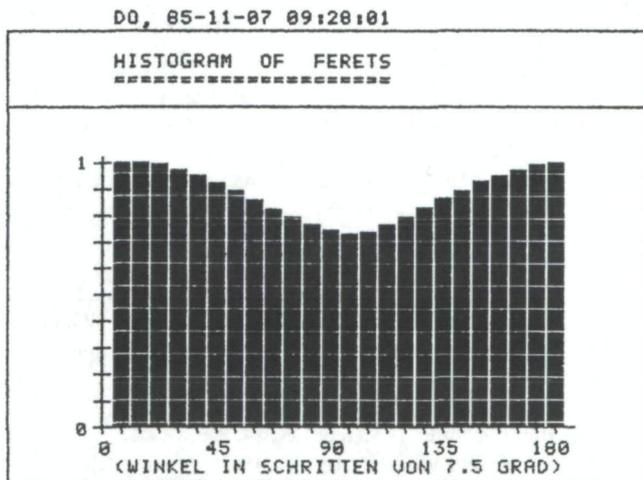


Abb. 11: Alle mittleren Ferets von jedem chondrenartigen Formelement entsprechend ihrem Schnittwinkel aufgetragen. Auswertung mittels Bildanalyse des Gerätes ASM 68 K der Firma Leitz, Wetzlar, durch Herrn M. PICK. Vgl. die Übereinstimmung des hier erhaltenen Ergebnisses mit den Azimutwerten der längsten Chondren-Durchmesser in Abb. 5 und Abb. 7.

(Schnitte durch die Chondren) entsprechend ihren Winkel zeigt, da diese Darstellung besonders gut in die vorher dargelegten gefügekundlichen Untersuchungen paßt:

$$\text{z. B. } \frac{\Sigma \text{ Ferets } (7,5^\circ)}{n}, \frac{\Sigma \text{ Ferets } (50^\circ)}{n}; \text{ etc.}$$

Man erkennt deutlich bei ca. 90° die Hauptrichtung der Chondren, die Lination, welche die gefügekundliche b-Koordinate definiert. Allerdings sind die Winkelschnitte nur relativ zu sehen, da die Orientierung der Schlißzeichnung auf dem Tablett des Bildgerätes nicht ganz gelang. Zudem erkennt man die Maximum-Häufung (vgl. die Auszählung auf Abb. 7), die hier ca. 26% beträgt, was auch als ein Maß für die gefügekundliche Tropie angesehen werden kann.

Danksagung: Es gibt kein Gefügekunde-Lehrbuch der Nicht-Tektonite (vgl. KIRCHMAYER 1986). Die allgemeine Fachkenntnis orientiert sich an dem Kenntnisstand, wie wir ihn von der Gefügestatistik bei Tektoniten her kennen (z. B. SANDER 1930, 1948, 1950; HOENES 1955; KARL 1964; HOENES & AMSTUTZ 1974; WEBER 1981; WALLBRECHER 1986). Meteorite sind aber keine Tektonite. Aus diesem Grunde versuchte ich (KIRCHMAYER), die „Gefügekundliche Sprache“ der heutigen „Meteoriten-Sprache“ anzugleichen. Das alles ist ein Ergebnis der umfangreichen Diskussion und Kritik, die ich zum Wohle der Leser Herrn Univ.-Doz. Dr. Gero KURAT, Naturhistorisches Museum in Wien, verdanke.

Vieles habe ich außerdem aufgenommen von einem Schriftwechsel mit Michel-Lévy CHRISTOPHE, Paris, und aus Diskussion im Anschlusse an einen von mir über die Gefügekunde der Chondrite 1986 gehaltenen Vortrag, welcher ein Teil der Ringvorlesung der Fakultät für Geowissenschaften der Universität Heidelberg war, eingerichtet aus Anlaß der 600jährigen Bestehens der Universität durch Dekan Prof. Dr. H. J. LIPPOLT. Ich erfreute mich dabei der vorbereitenden Unterstützung durch das Max-Planck-Institut für Chemie, Abteilung Kosmochemie, D-65 Mainz (Dr. F. WLOTZKA).

Literatur

- BECK-MANNAGETTA, P. & KIRCHMAYER, M., mit Beiträgen von NÉMEC, D. (1985): Gefügekundliche Untersuchungen an einem schrittgranitischen Pegmatoid in der südöstlichen Koralpe mit Bemerkungen über das Koralmkristallin (Österreich). – *Jahrb. Geol. Bundesanstalt Wien*, **128**: 183–195.
- BUCHER, W. H. (1920): The mechanical interpretation of joints. Part 1. – *J. Geology*, **28**: 707–730.
- CAIN, P. M. & MCSWEEN, H. Y. Jr. (1984 a): Interpretation of structural fabric in the Leoville carbonaceous chondrite. – *Lunar Planetary Science*, **XV**: 116–119. – The Lunar Planetary Institute, Houston, Texas.
- & — (1984 b): Strain analysis of the Leoville chondrite and conditions in asteroidal interiors. – Abstract, Meteoritical Society Annual Meeting Albuquerque, **D-8**.
- & WOODWARD, N. B. (1986): Structural deformation of the Leoville chondrite. – *Earth Planetary Science Lett.*, **77**: 165–175.
- CHRISTOPHE, M.-L., MADON, M. & WILLIAIME, C. (1979): Optical and TEM Studies of some Leoville Textural Features. – *Meteoritics*, **14**: 366.
- KURAT, G. & BRANDSTÄTTER, F. (1982): A new calciumaluminate from a refractory inclusion in the Leoville carbonaceous chondrite. – *Earth Planetary Science Lett.*, **61**: 13–22.
- CURIE, P. (1884): Sur le symétrie. – *Soc. min. de France, Bull.* **7**.
- HEIDE, F. (1988): *Kleine Meteoritenkunde*. – 3. stark überarbeitete Auflage; bearbeitet von F. WLOTZKA. – *Verständliche Wissenschaft*, **23**: 188 S., 111 Abb., 23 Tab. – Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

- HOENES, D. (1955): Mikroskopische Grundlagen der technischen Gesteinskunde. – S. 623–695. 179 Abb. – In: H. FREUND (Ed.): Handbuch der Mikroskopie in der Technik. **IV**: Mikroskopie der Silikate, Teil 1: Mikroskopie der Gesteine: 796 S. – Frankfurt am Main (Umschau).
- mit Ergänzungen von AMSTUTZ, G. C. (1974): Mikroskopische Grundlagen der technischen Gesteinskunde. – S. 321–695, 179 Abb. – In: H. FREUND (Ed.): Handbuch der Mikroskopie in der Technik. **IV**: Mikroskopie der Silikate. Teil 1: Mikroskopie der Gesteine: 516 S. – Frankfurt am Main (Umschau).
- JAEGER, C. J. & COOK, N. G. W. (1969): Fundamentals in rock mechanics. – 504 Seiten. – London (CHAPMAN & HALL).
- KARL, F. (1964): Anwendung der Gefügekunde in der Petrotektonik. Teil I. Grundbegriffe. **5**: 142 S., 73 Abb. – Clausthal-Zellerfeld (Pilger).
- KIRCHMAYER, M. (1959): Beiträge zur Frage des Cherts (= Feuersteins) I. Über ein Geopetalgefüge im Chert (Flint) von Nevada, USA. – Neues Jahrbuch Geol. Paläont., Mh. 1959/5: 209–229.
- (1965): Das Symmetrie-Konzept von CURIE 1884 in der Makrogefügekunde. – Neues Jahrbuch Geol. Paläont., Abh. **122**: 343–350.
- (1984): Über das P. CURIESche Symmetrie-Konzept und über die Schriftgranit-Quarze. – Mitteilungen Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, **52**: 11 (79)–17 (85).
- (1986): Gefügekundliche Studien: Das Prinzip und seine Anwendung. – Heidelberger Geowiss. Abh., **6**: 221–232.
- & WLOTZKA, F. (1986): Fabric statistics of chondrules, CAI's, clasts and metals in chondrites. – Abstract, 49th Annual Meeting, Meteoritical Society New York, **H-4/1986**. [Geringfügig ergänzt (in): Meteoritics, **21/1986**: 413–414].
- MOHR, O. (1882): Über die Darstellung des Spannungszustandes und des Deformationszustandes eines Körperelementes und über die Anwendung derselben in der Festigkeitslehre. – Der Civilingenieur, Neue Folge **28**: 113–156. – Leipzig (Felix).
- SANDER, B. (1930): Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. – 352 S., 155 Abb. – Wien (Springer).
- (1948): Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. I. Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten im Bereich Handstück bis Profil. – 215 S., 66 Abb. – Wien (Springer).
- (1950): Einführungen in die Gefügekunde der geologischen Körper. II. Die Korngefüge. – 409 S., 153 Abb., 166 Diagr., 8 zum Teil farbige Tafeln. – Wien und Innsbruck (Springer).
- SARANTSCHINA, G. M. (1963): Die Federow-Methoden. Eine Einführung in die Verfahren mit dem Universaldrehtisch. – 153 S. – Berlin (VEB Deutsch. Verl. Wiss.).
- SCHMIDT, W. (1925): Gefügestatistik. – Tscherm. Miner. Petr. Mitt. (BECKE – Festschrift), N. F. **38**: 392–423.
- SENG, H. (1936): Die Migmatitfrage und der Mechanismus parakristalliner Prägung. – Geol. Rundschau, **27/6**: 471–492, 3 Abb.
- SNEYD, D. S., MCSWEEN, H. Y. Jr., SUGIURA, N., STRANGWAY, D. W. & NORD, G. L. Jr. (1988): Origin of Petrofabrics and Magnetic Anisotropy in Ordinary Chondrites. – Meteoritics, **23/1988**: 139–149.
- WALLBRECHER, E. (1986): Tektonische und gefügeanalytische Arbeitsweisen. – 244 S., 200 Abb. – Stuttgart (Enke).
- WEBER, K. (1981): Methoden der Gefügekunde. – In: BENDER, F. (Ed.): Angewandte Geowissenschaften, **I**: 131–153. – Stuttgart (Enke).
- WEYNSCHENK, R. (1949): Beiträge zur Geologie und Petrographie des Sonnwendgebirges (Tirol), besonders der Hornsteinbreccien. – Schlerschriften, **59**: 66 Seiten, 7 Fig., 26 Abb., 3 Beil. – Innsbruck (Universitätsverlag Wagner).
- WOOD, J. A. & HILLER, K. (1984): Das Sonnensystem. – Geowissen Kompakt, 247 S., 140 Abb., 14 Tab. – Stuttgart (Enke). [Insbes. Seiten 123–144].

Tafelerklärungen

Tafel 1: Photo einer Probe ohne Nr. (Universität P. & M. CURIE, Paris) vom C3V-Chondriten Leoville. „Deformation“, besser Formung und Einregelung von Chondren (runde bis ovale Objekte, gefügekundlich also Formelemente, grau), Ca-Al-reiche Einsprenglingen (weiß) und zwei großen dunklen chondritischen Xenolithen ist deutlich zu erkennen; ebenso sind es die teils unregelmäßig verlaufenden, teils geradlinigen Fissuren. Dann sieht man Bereiche, in welchen die Abgrenzung zwischen Chondren und Matrix verwischt erscheint. Der Durchmesser der Probe ist ca. 3 cm. Aufnahme: Mm. CHRISTOPHE, Paris. (Beachte: Damit das Photo der Tafel 1 mit den vorherigen Gefügezeichnungen der Abbildungen 4–10, ab S. 6 ff., kongruent zu liegen kommt, was für eine Gefügebetrachtung und -diskussion unerlässlich ist, muß die Tafel 1 um 90 Grad im Uhrzeigersinn gedreht gedacht werden; „Oben“ ist auf der Tafel 1 links.)

