

Werk

Jahr: 1924

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:1

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0001

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0001

LOG Id: LOG_0060

LOG Titel: Über die Struktur des meteorischen Nickeleisens und ihre Bedeutung für die Bildung der Meteorite

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Über die Struktur des meteorischen Nickeleisens und ihre Bedeutung für die Bildung der Meteorite.

Von **R. Vogel**. — (Mit sieben Abbildungen.)

Bei der δ - γ -Umwandlung der Eisen-Nickelmischkristalle entsteht eine Mischungslücke zwischen 6 und 30 Proz. Ni, welche sich nach tieferen Temperaturen wieder schließt. Diese Feststellung bildet die Grundlage zu einer neuen Erklärung der Widmannstätten-schen Struktur, welche danach als ein infolge der δ - γ -Umwandlung entstandener und bei tieferen Temperaturen instabiler Gefügezustand aufzufassen ist.

Die Widmannstätten-schen Figuren des meteorischen Nickeleisens, welche beim Ätzen polierter Schliefflächen mit verdünnter Salpetersäure zum Vorschein kommen, werden gebildet durch zwei Strukturelemente von verschiedenem und mehr oder weniger veränderlichem Ni-Gehalt, den Kamazit mit rund 5 bis 7 Proz. Ni und den Taenit mit rund 22 bis 35 Proz. Ni. Der Kamazit bildet ein Fachwerk von Lamellen, welche den Flächen des Oktaeders parallel orientiert sind und auf der Schlieffläche als ein Netz entsprechend orientierter Balken erscheinen, der Taenit einen dünnen Belag der Kamazitlamellen, welcher diese vollkommen umhüllt und auf der geätzten Schlieffläche als schmale, glänzende, die Kamazitbalken umsäumende Leisten hervortritt. Die durch diese Lamellensysteme gebildeten Fächer sind erfüllt von einem feineren Gemenge aus Kamazit und Taenit, dem Plessit. In vielen Fällen ist aber auch kein Plessit vorhanden, und die Kamazitbalken sind alsdann nur durch einfache Taenitleisten voneinander getrennt.

Ist der Ni-Gehalt des Meteoriten kleiner als der des Kamazits, so besteht er nur aus diesem, ist er hoher, so tritt zum Kamazit noch der Taenit, dessen Menge mit wachsendem Ni-Gehalt des Meteoriten zunimmt, während die des Kamazits dementsprechend abnimmt. Dagegen erweist sich die Menge des Plessits als recht veränderlich und nicht in einfacher Weise vom Ni-Gehalt des Meteoriten abhängig.

Glüht man meteorisches Nickeleisen aus, so entsteht zunächst im Kamazit eine mikroskopisch feine Körnung, die Unterschiede des Ni-Gehalts von Kamazit und Taenit gleichen sich allmählich aus, und die Widmannstätten-schen Figuren verschwinden*). Auch beim Umschmelzen von Meteorisen erhält man die Widmannstätten-sche Struktur in ihrer ursprünglichen Ausbildung nicht wieder, sondern es entsteht die viel feinere mikroskopische Struktur des synthetischen Nickeleisens, welche jedoch, wie sich zeigen wird, in allen wesentlichen Eigenschaften mit der meteorischen Struktur übereinstimmt.

*) F. Berwerth: Sitzungsber. d. Wien. Akad. d. Wissensch. (I) **114**, 345 (1905). W. Fränkel und G. Tammann „Über meteorisches Eisen“, Zeitschr. f. anorgan. Chem. **60**, 416 (1908); F. Rinne und H. Boeke, Neues Jahrbuch für Mineralogie, Festband 1907, S. 252.

Zu diesen wohlstudierten Eigentümlichkeiten der meteorischen Struktur kommt noch eine wenig bekannte, auf welche man erst in neuerer Zeit bei eingehenderem, mikroskopischem Studium hier und da aufmerksam geworden ist. Es handelt sich dabei, wie im folgenden gezeigt wird, um ein Gefüge aus feinen, Ni-reicheren, orientierten Nadeln oder Lamellen, welche innerhalb des Kamazits gewissermaßen eine Wiederholung der Widmannstätten'schen Figuren im kleinen bilden. Diese Strukturierung des Kamazits, welche nicht mit einem lokal vorkommenden Eutektikum, an welchem Troilit beteiligt ist, verwechselt werden darf, ist nicht immer vorhanden. Eine mir von Herrn Geheimrat G. TAMMANN zur Verfügung gestellte Probe von Tolucaeisen zeigte die Struktur von vornherein, beim Erhitzen wurde sie noch deutlicher, und auch der Taenit begann eine ähnliche Struktur zu zeigen, indem dunklere, Fe-reichere Felder sichtbar wurden. An Proben der Eisen von Butler und Gibeon (Deutsch-Südwestafrika) war eine Strukturierung des Kamazits anfänglich nicht sichtbar, trat aber nach fünfständigem Erhitzen auf 1000° deutlich hervor.

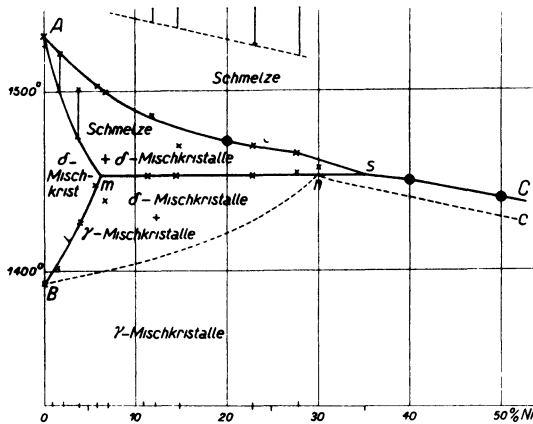


Fig. 1.

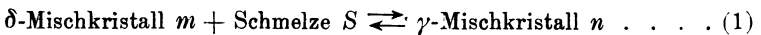
An Proben der Eisen von Butler und Gibeon (Deutsch-Südwestafrika) war eine Strukturierung des Kamazits anfänglich nicht sichtbar, trat aber nach fünfständigem Erhitzen auf 1000° deutlich hervor.

Die durch die letztgenannte Komplikation noch vermehrten Schwierigkeiten, welche einer befriedigenden Erklärung der meteorischen Struktur im Einklang mit den Erfahrungen an synthetischen Fe-Ni-Legierungen bisher entgegenstanden, konnten nun behoben und ein neuer Weg zum Verständnis

der meteorischen Struktur durch die Vervollständigung des Zustandsdiagramms der Fe-Ni-Legierungen hinsichtlich der δ - γ -Umwandlung der Eisen-Nickelmischkristalle gezeigt werden. Das Ergebnis zeigt Fig. 1.

Die Umwandlung der δ - in γ -Mischkristalle vollzieht sich in folgender Weise: Im Gebiet der Fe-reichen Fe-Ni-Legierungen von 0 bis etwa 35 Proz. Ni beginnt die Kristallisation bei den Temperaturen der Kurve AS mit der Ausscheidung von Mischkristallen des δ -Eisens, über 35 Proz. Ni hingegen bilden sich bei den Temperaturen von SC direkt aus den Schmelzen Mischkristalle des γ -Eisens. Die Zusammensetzung der sich ausscheidenden δ -Mischkristalle ändert sich auf Am, die der γ -Mischkristalle auf nc, und beide Kurven geben zugleich die Temperaturen an, bei denen die Kristallisation beendigt ist.

Zwischen m und S erfolgt bei Wärmeentziehung unter gleichzeitiger Kristallisation der Schmelze S die Umwandlung des primär ausgeschiedenen δ -Mischkristalls m in einen Ni-reicheren γ -Mischkristall n nach der Reaktionsgleichung:



Die Reaktion (1) verläuft nun, wie fast alle Umsetzungen dieser Art, nicht vollständig, weil die primär ausgeschiedenen Mischkristalle m von einer wenig durchlässigen Schicht des Mischkristalls n umhüllt werden, dessen Ni-Gehalt bei der Kristallisation der restierenden Ni-reicheren Schmelze sich dann noch bis über n hinaus erhöhen kann. Hierdurch sowie durch die nachgewiesene Neigung der Mischkristalle, sich bei schnellerer Abkühlung mit Nickel zu übersättigen, wird die Zusammensetzung der Mischkristalle m und n und besonders die der letzteren veränderlich und von den jeweiligen Abkühlungsverhältnissen abhängig.

Die Umwandlung der so entstehenden δ -Mischkristalle vollzieht sich sekundär in Berührung mit den γ -Mischkristallen beim Passieren des Feldes Bmn , also im festen Zustand, wobei sich die Zusammensetzung der ersteren auf mB , die der letzteren auf nB so lange ändert, bis der Ni-Gehalt der letzteren, d. h. der γ -Mischkristalle, dem der betreffenden Legierung gleich geworden ist.

Bei 1455° existiert also zwischen 6 und 30 Proz. Ni eine Mischungslücke, welche durch zwei Mischkristalle mit diesen Ni-Gehalten, also von der mittleren Zusammensetzung des Kamazits und des Taenits, begrenzt ist. Nach tieferen Temperaturen zu schließt sich diese Lücke, indem die primär aus der Schmelze ausgeschiedenen δ -Mischkristalle mB bei ihrer Umwandlung sich in γ -Mischkristalle nB wieder auflösen, so daß das Ergebnis, wenn der Gleichgewichtszustand erreicht wurde, Legierungen mit homogener Struktur sein müßten, welche nur aus einer Art in sich und unter sich homogener Mischkristalle bestehen.

Die mikroskopische Untersuchung der Struktur der Legierungen lehrt nun, daß der Gleichgewichtszustand gewöhnlich nicht erreicht wird. Die bei der δ - γ -Umwandlung gemäß Fig. 1 und Gleichung (1) entstandene Heterogenität des Gefüges ist zurückgeblieben und verschwindet erst bei längerem Erhitzen der Legierungen unter Ausbildung gleichartiger homogener Kristallite. Eingeleitet wird dieser Vorgang wie beim meteorischen Nickeleisen durch das Sichtbarwerden einer mikroskopisch feinen Körnung.

Wie eingehende Versuche zeigten, verläuft die Homogenisierung um so schneller, je höher die Temperatur, je geringer der Ni-Gehalt der Legierung und je feiner die ursprünglichen Ausscheidungen des Ni-reicheren Mischkristalls n sind, und umgekehrt erfolgt die Homogenisierung langsamer, wenn die Temperatur niedrigerer, die Struktur gröber und der Ni-Gehalt der Legierung höher ist, von welchen Momenten das letztere ganz besonders stark verzögernd wirkt.

So war die Homogenisierung einer Legierung mit 12 Proz. Ni, die 7 Stunden auf 600 und 5 Stunden auf 1000° erhitzt worden war, vollkommen, die einer Legierung mit 28 Proz. Ni nach 58stündigem Erhitzen zwischen 1000 und 1200° jedoch noch nicht beendet. In ganz entsprechender Weise werden im meteorischen Tolucaeisen beim Erhitzen die Ni-ärmeren Partien mit wenig und dünnem Taenit schneller, die Ni-reichen mit reichlichem, dick ausgeschiedenem Taenit langsamer homogen.

Die Übereinstimmung der Struktur des synthetischen und des meteorischen Nickeleisens und ihres Verhaltens beim Erhitzen wird durch folgende Photogramme veranschaulicht. Fig. 2 zeigt eine Legierung mit 12 Proz. Ni nach gewöhnlicher Abkühlung aus dem Schmelzfluß. Man erkennt deutlich die recht-

winklig orientierten, dem Kamazit entsprechenden balkenartigen Ausscheidungen der Ni-ärmeren γ -Mischkristalle m (Fig. 1), umsäumt von hellglänzenden und im Relief stehenden Leisten des Ni-reicheren Mischkristalls n , welche dem Taenit entsprechen. Die so entstehenden Figuren, welche bei schwächerer Vergrößerung deutlicher, als es die Abbildung zeigt, hervortreten und den gröberen Widmannstättenschen Figuren des Meteoreisens entsprechen (vgl. Fig. 6), bezeichnen wir wegen ihrer Entstehung aus dem Schmelzfluß als Kristallisationsfiguren, („K-Figuren“). In Fig. 3 erkennt man außerdem am synthetischen Nickeleisen von gleicher Zusammensetzung noch besondere Figuren innerhalb des Balkenelements, welche durch orientierte Ni-reichere Nadeln gebildet werden. Dieselben sind das Ergebnis der unvollständig verlaufenen Auflösung der Fe-reicheren Mischkristalle mB in den Ni-reicheren Mischkristallen nB bei der δ - γ -Umwandlung. Wir nennen dieselben zum Unterschied von der ersten Figurenart Umwandlungsfiguren („U-Figuren“). Beide Figurenarten sind, wie Fig. 4 zeigt, nach genügend langem Erhitzen verschwunden, und die Legierung ist in sich homogen geworden. Die helleren und dunkleren Kristallitenteile in Fig. 4 rühren nicht von Verschiedenheiten des Nickelgehalts her, sondern von der verschiedenen Ätzzgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Richtung, in der die Kristallite geschnitten sind.

In Fig. 5 sind netzartig verbundene, im Relief stehende Ausscheidungen des Mischkristalls n (Taenit) und in den von ihm umsäumten primären Mischkristallen m (Kamazit) die U-Figuren zu erkennen. Ein Vergleich mit der in Fig. 6 wiedergegebenen Stelle des Tolucaeisens, an welcher der Taenit in ähnlicher Weise netzartig ausgebildet ist, zeigt augenfällig die Identität des Strukturcharakters des synthetischen und des meteorischen Nickeleisens. Das weiße verzweigte Strukturelement ist Taenit, die Grundmasse Kamazit mit U-Figuren. Die Veränderungen einer taenitarmen Stelle des Tulukaeisens nach 15stündigem Erhitzen auf 1000° veranschaulicht Fig. 7. Die Homogenisierung ist unter Ausbildung neuer Kristallkörner hier schon weit fortgeschritten. Die Auflösung dicker Taenitausscheidungen, während welcher dunkle orientierte eisenreichere Felder im Taenit sichtbar werden, erfolgt ganz bedeutend langsamer.

Die heterogene Struktur der K- und U-Figuren im synthetischen und meteorischen Nickeleisen repräsentiert also einen bei allen Temperaturen unterhalb 1400° instabilen Zustand, der je nach dem Nickelgehalt der Legierung und ihrer Strukturelemente sowie deren gröberer und feinerer Ausbildung durch anhaltendes Erhitzen mehr oder weniger leicht in den stabilen homogenen Strukturzustand, in welchem beide Figurenarten verschwunden und nur noch Kristallkörner von gleichem Nickelgehalt vorhanden sind, übergeführt werden kann.

Auch die schnell vorübergehende Erhitzung des Meteoriten beim Durchgang durch die Atmosphäre, währenddessen er aufleuchtet, bewirkt häufig eine deutliche Strukturveränderung. Dieselbe macht sich in einer dünnen Oberflächenschicht, der Brandzone, als feine von Oxyd durchsetzte Körnung, die durch Schmelzung entstanden ist, bemerkbar. Diese Strukturänderung hat Interesse für die geophysikalische Frage nach der Beschaffenheit der Atmosphäre in den obersten Schichten, in denen der Meteorit zum Aufleuchten kommt, weil aus



Fig. 2.

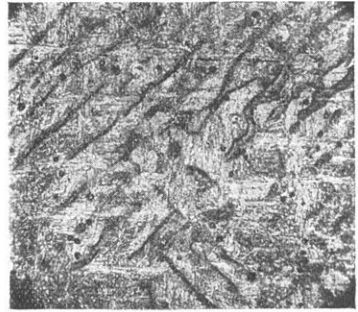


Fig. 3.



Fig. 4.

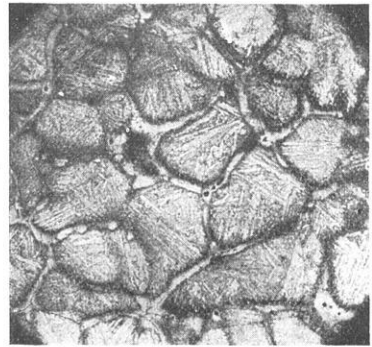


Fig. 5.

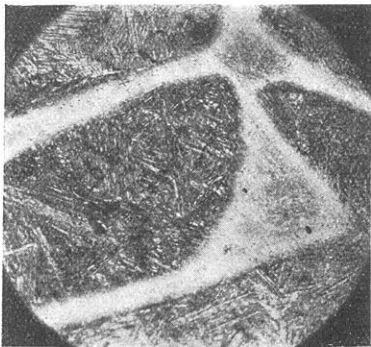


Fig. 6.

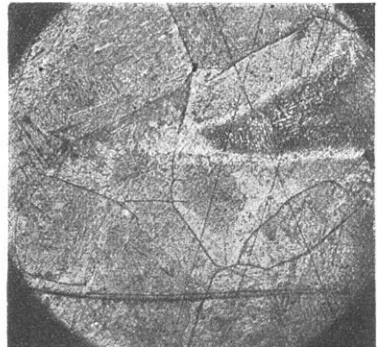


Fig. 7.

der Tiefe der Veränderungszone auf die dem Meteoriten zugeführte Warmemenge geschlossen werden kann.

Die δ - γ -Umwandlung der Eisen-Nickelmischkristalle ist kürzlich auch von H. Hanson untersucht worden*). Nach ihm sollte die δ - γ -Umwandlung nur bis 5 Proz. Nickel reichen, während der Verfasser (vgl. Fig. 1) die Grenze bei etwas über 30 Proz. fand. Diese erhebliche Diskrepanz läßt sich indessen leicht erklären. Aus Hansons Arbeit ist nämlich zu ersehen, daß seine Resultate auf kohlenstoffhaltige Legierungen zu beziehen sind. Eine Betrachtung der im Dreistoffsystem Fe-C-Ni zu erwartenden Verhältnisse zeigt nun, daß schon geringe Kohlenstoffgehalte von wenigen Zehntelprozenten genügen, um die δ - γ -Umwandlung auf den kleinen Konzentrationsbereich von 5 Proz. herabzudrücken. Es entspricht der großen Ähnlichkeit des Verhaltens von Nickel und Kobalt gegenüber dem Eisen, daß die δ - γ -Umwandlung sich im System Eisen-Nickel auf einen ähnlichen Konzentrationsbereich wie im System Eisen-Kobalt, nämlich im ersteren auf etwas über 30 Proz. Nickel, im letzteren auf etwa 25 Proz. Kobalt erstreckt.

Aus vorstehendem ergibt sich:

1. Zwischen der Struktur des synthetischen und der des meteorischen Nickелеisens besteht kein wesentlicher Unterschied.

2. Die δ - γ -Umwandlung erzeugt in der Reihe der Eisen-Nickelmischkristalle eine Lücke, die sich zwischen 1450 und 1400° weiter schließt. Kamazit und Taenit sind die Grenz-mischkristalle dieser Lücke.

3. Das heterogene Gefüge aus Kamazit und Taenit verschwindet bei rascherer Abkühlung nicht nach dem Wärmefluß, sondern bleibt als instabiler Zustand bei tieferen Temperaturen, wo die Umwandlungsgeschwindigkeit verschwindend klein wird, erhalten. Der homogene stabile Gefügestand bildet sich bei genügend langem Erhitzen des Nicleisens auf höhere Temperaturen unter 1400° bzw. bei sehr langsamer Abkühlung.

Der Kamazit entsteht als nickelärmerer Mischkristall des δ -Eisens mit etwa 6 Proz. Nickel primär aus der Schmelze. Seine Abscheidungsform ist die eines Skeletts oder Dendriten, dessen Säulen zu Lamellen parallel den Oktaederflächen verwachsen sind, sein etwas veränderlicher Nickelgehalt erklärt sich durch Übersättigung an Nickel, welche von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängt.

Der Taenit bildet sich als nickelreicherer γ -Mischkristall sekundär nach Gleichung 1 als Umhüllung des Kamazits, doch kann er sich bei den häufig vorkommenden Unterkühlungen der Schmelze auch primär und gleichzeitig mit Kamazit ausscheiden. Durch derartige Störungen des normalen Kristallisationsverlaufs, welche nach der primären Bildung des Kamazit-Taenitskeletts in der noch vorhandenen Schmelze auftreten können, erklärt sich der Plessit. Die große Veränderlichkeit des Ni-Gehalts des Taenits ist im wesentlichen eine Folge des unvollständigen Ablaufs der Reaktion (1).

Dem instabilen, nach schnellerer Abkühlung erhaltenen Gefügestand sind zwei Arten von Figuren von verschiedener Entstehungsursache eigentümlich.

*) Engineering 1923, S. 667

1. Die K-Figuren, welche bei der Kristallisation des flüssigen Nickeleisens sich bilden und an der Umhüllung eines nickelärmeren, dendritisch ausgebildeten Strukturelements (Kamazit) durch eine Schicht eines nickelreicheren (Taenit) kenntlich sind.

2. Die U-Figuren. Dieselben bilden sich bei dem Konzentrationsausgleich zwischen Kamazit und Taenit, den die δ - γ -Umwandlung zur Folge hat, also im festen Zustand, und sind kenntlich als eine besondere Struierung des Kamazits und Taenits.

Die Widmannstättenschen Figuren können entweder K-Figuren oder U-Figuren sein, und beide können auch gleichzeitig auftreten. Ob und welche natürliche Beispiele hierfür unter den Meteoriten vorhanden sind, müssen weitere Versuche, die im Gange sind, lehren. Schon jetzt aber sieht man, daß alle diejenigen Widmannstättenschen Figuren als K-Figuren gekennzeichnet sind, welche das charakteristische Merkmal derselben, die Umhüllung der Kamazitbalken durch eine Taenitleiste zeigen.

Es lassen sich also drei typische Gefügestände unterscheiden, welche als Grundlage für eine Einteilung der Eisen-Nickelmeteoriten nach ihrem Aufbau vom Standpunkt der Gleichgewichtslehre dienen können.

I. Das Kristallisationsgefüge, die K-Figuren. Stabil bei 1455° , bei allen tieferen Temperaturen instabil.

II. Das δ - γ -Umwandlungsgefüge, die U-Figuren. Stabil innerhalb des Zustandsfeldes mnB (Fig. 1) zwischen 1455 und 1400° .

III. Das homogen-körnige Gefüge. Stabil bei allen Temperaturen unterhalb Bn .

In Wirklichkeit hat man natürlich noch mit mannigfachen Übergangszuständen zwischen diesen drei Strukturtypen zu rechnen. Welcher Gefügestand uns in einem Meteoriten entgegentritt, hängt, wenn auch verschiedene Momente wie die Dicke und der Ni-Gehalt des Taenits eine Rolle spielen, doch wesentlich von seiner thermischen Vorgeschichte ab, und allgemein läßt sich sagen, daß das Vorhandensein der instabilen Widmannstättenschen Figuren auf eine schnellere, der homogen-körnige oder der unigrane Zustand auf langsamere Abkühlung des Meteoriten hinweist. Jedenfalls setzt das Vorhandensein Widmannstättenscher Figuren Abkühlungsgeschwindigkeiten voraus, bei denen das Temperaturgebiet von 1600 bis etwa 1000° innerhalb von Stunden, höchstens Tagen durchlaufen wird. Es könnte sich also nur um verhältnismäßig kleine Massen bzw. solche mit großer Oberfläche handeln. Für die Bildung der Widmannstättenschen Struktur an kleinen selbständigen kosmischen Massen mit geringerem Schwerfeld und verhältnismäßig großer Abkühlungsgeschwindigkeit spricht unter anderem die unvollständige Trennung der Silikate*) und des Schwefeleisens vom Nickeleisen, deren häufig unvollendete Tropfenform, das Vorkommen von Silikatglas, die zum Teil ungewöhnliche Größe der Kristallindividuen, welche zeigt, daß die Kristallisation nur von wenigen Zentren ausgegangen ist

*) V. M. Goldschmidt Über die Massenverteilung im Erdinnern. Naturwissenschaften 10, 918 (1922).

und darauf schließen laßt, daß es zur Bildung zahlreicher Zentren, welche kleinere Kristalle ergeben würden, an Zeit gefehlt hat, und schließlich auch noch die an keiner künstlichen Legierung erreichte, außerordentlich schöne Ausbildung der Kamazitskelette, welche verständlich wird, wenn die Kristallisation in einem sehr kleinen Schwerefeld stattfindet, wo keine die dendritische Kristallisation störende Konvektionsströme auftreten *).

Die Forderung schneller Abkühlung, welche sehr wohl mit denjenigen Hypothesen im Einklang steht, welche die Meteoriten als Abkommlinge der Kometen oder als Verdichtungsprodukte primitiver kosmischer Materie ansprechen, gilt unter der Voraussetzung, daß der Druck bei der Abkühlung so gering ist, daß sein Einfluß vernachlässigt werden kann. Bildet aber das Nickeleisen den Kern eines größeren Weltkörpers, so kann dasselbe unter den auf ihm lastenden hohen Drucken bei Temperaturen oberhalb seines Schmelzpunktes zäh und sogar hart werden **). Da mit zunehmender Zähigkeit einer Flüssigkeit die Neigung zur dendritischen Kristallausbildung in derselben zu-, das spontane Kristallisationsvermögen abnimmt und auch die Absonderung nicht mischbarer Bestandteile sowie alle Vorgänge, welche auf Diffusion beruhen, außerordentlich verlangsamt werden können, so würden die Eigentümlichkeiten der meteorischen Struktur auch als Folge langsamer Abkühlung unter hohem Drucke verständlich, also unter Verhältnissen entsprechend der Anschauung, nach der die Meteoriten als Trümmer größerer Weltkörper aufzufassen sind.

Zur Frage der elektrischen Vertikalströme.

Von Adolf Schmidt. — (Mit einer Abbildung.)

Nachträgliche Mitteilung einer Karte der geographischen Verteilung der sogenannten Vertikalströme, die der Verfasser seinerzeit auf Grund von Neumayers erdmagnetischen Karten abgeleitet, damals aber nur in zahlenmäßiger Form veröffentlicht hat. Formulierung des Zusammenhanges zwischen den Vertikalströmen und dem erdelektrischen Grundproblem.

Angeregt durch das Referat von Benndorf auf der vorjährigen Innsbrucker Naturforscherversammlung¹⁾ hat sich neuerdings die Aufmerksamkeit wieder den hypothetischen, die Erdoberfläche durchdringenden elektrischen Strömen zugewendet, die nach dem heutigen Stande der Physik zur Erklärung des potentiallosen Teiles des horizontalen erdmagnetischen Feldes angenommen werden müssen. Es ist deshalb zu wünschen, daß das zur Beurteilung der Frage bisher gewonnene Material möglichst vollständig bekanntgegeben werde. Das mag es rechtfertigen, wenn ich hier eine kartographische Darstellung der Verteilung dieser Ströme mitteile, die ich seinerzeit auf der Grundlage von Neumayers

*) R. Vogel: Über dendritische Kristallisation. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **116** 21 (1921).

***) G. Angenheister Sitzungsber. d. Seismologischen Gesellschaft, Jena 1923