

## Physikalisch-chemische Bemerkungen über technisches und meteorisches Eisen.

Von

F. Rinne in Hannover.

Mit 12 Figuren im Text.

---

Die im Anschluß an vorliegende Veröffentlichung zu gebende Beschreibung eines Meteoreisens von Magdeburg veranlaßt mich, zunächst auf einige von seiten der Mineralogen im allgemeinen noch wenig gewürdigte Verhältnisse des künstlichen Eisens einzugehen und weiterhin gewisse Vergleiche zwischen letzterem und natürlichem Eisen heranzuziehen, welche die Deutung der Meteoreisen erleichtern.

Bezüglich des technischen Eisens ist in letzter Zeit eine förmliche neue Wissenschaft, eine Siderologie, erblüht, die, gestützt auf mikroskopische Untersuchungen an Schliften, mit Hilfe physikalisch-chemischer Theorien ein sehr anschauliches Bild von den außerordentlich merkwürdigen und praktisch hoch bedeutsamen Eigenschaften des Eisens geliefert hat. Es sei gestattet, einige Hauptzüge dieses Bildes im folgenden wiederzugeben.

Bekanntermaßen kommt in chemischer Hinsicht bei dem technisch verwerteten Eisen außer Fe wesentlich Mn, Si, event. P und S, und als besonders wichtiger Stoff C in Betracht, dessen verschiedener Gehalt im Eisen ja die Gliederung in Roheisen (ca. 4,7—2,3 %), Stahl (ca. 2,3—0,5 %) und Schmiedeeisen (ca. 0,5—0,0 %) bedingt<sup>1</sup>. Zuweilen spielen

<sup>1</sup> In England und Frankreich rechnet man das (im flüssigen Zustande, durch Bessemer-, Thomas- oder Siemens-Martinprozeß erhaltene) Flußeisen (Flußschmiedeeisen) auch zum Stahl (nicht härtpbarer Stahl).

Ni, auch Cr, Wo und andere Stoffe eine wichtige Rolle. Ziehen wir hier nur Fe, C, Ni, P und S in Betracht, so sind beim gewerblichen Eisen an Bestandteilen, die aus einem oder mehreren dieser Elemente zusammengesetzt sind, folgende zu berücksichtigen.

Zunächst das Eisen selbst; man hat ihm den Namen Ferrit gegeben. Es vermag Kohlenstoff<sup>1</sup> bis etwa 2 % in fester Lösung zu beherbergen (ähnlich wie manche Mineralien auch nicht isomorphe Stoffe dilut in sich enthalten). Um die Zugehörigkeit zum Ferrit und zugleich die chemische Natur dieser molekularen (Fe, C)-Mischung im Namen auszudrücken, mag sie Carboferrit<sup>2</sup> genannt werden. Es ist derselbe Körper, den man, besonders bei bestimmter weiter unten zu erwähnender Textur, nach dem um die Metallographie hochverdienten Forscher MARTENS mit dem Ehrennamen Martensit bezeichnet.

Auch Ni kann im festen Eisen gelöst sein. Diese feste Lösung sei hier Nickelferrit benannt, bei größerem Ni-Gehalt Ferronickelit, der sich also als Fe-haltiges Nickel darstellt. Das Eisenkarbid  $\text{Fe}_3\text{C}$  im technischen Eisen heißt Cementit. Perlit ist ein mechanisches Gemenge von Ferrit und Cementit. Es führt 0,9 % C, besteht somit aus 86,5 % Ferrit und 13,5 % Cementit. Weiter seien Graphit, Phosphoreisen  $\text{Fe}_3\text{P}$  und Schwefeleisen  $\text{FeS}$  erwähnt.

Im Meteoreisen finden sich bekanntermaßen eine Reihe von Stoffen, welche solchen im technischen Eisen an die Seite gestellt werden können: Nickeleisen, Cohenit, der dem Cementit entspricht, Schreibersit (Rhabdit) als  $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_3\text{P}$ , Troilit als  $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})\text{S}$ , Graphit bezw. Diamant (der auch im technischen Eisen vorkommt).

Bezüglich der kristallographischen Verhältnisse, insbesondere von Ferrit, Martensit, Nickelferrit und Perlit, interessieren hier folgende Erfahrungen.

Ferrit gehört, wie vor allem würfelige Spaltbarkeit und Ätzzfiguren beweisen, dem regulären System an. Das Gefüge

<sup>1</sup> Möglicherweise hat man sich diesen C in Karbidform, als  $\text{Fe}_3\text{C}$  zu denken.

<sup>2</sup> Ähnlich wie man z. B. einen Cölestin, der Baryumsulfat in fester Lösung enthält, Barytocölestin nennt.

nur aus Ferrit bestehenden Eisens ist für gewöhnlich etwa ein mikroskopisch marmorartiges, also ausgesprochen körniges



Fig. 1. Körniger Ferrit. Vergr. 1:75.

(Fig. 1). Von Bedeutung; auch hinsichtlich des Meteoreisens, ist es, daß man in sehr langsam erkaltetem Eisen bzw. in



Fig. 2. Oktaedrischer Ferrit. Vergr. 1:16. Nach OSMOND.

solchem, das nachträglich stark gegläht wurde und allmählich abkühlte, den Ferrit auf geätzten Schlifren (Fig. 2, 3) in

Form mikroskopischer Balken beobachten kann, die sich nach Dreiecksart, aber auch in rechtwinkliger und schiefer Lage zueinander, vielleicht zwillingsmäßig gruppieren. Es wird dadurch ein oktaedrischer Aufbau angezeigt, der in seinen allgemeinen Verhältnissen, abgesehen also von der feineren Struktur der Balken, an das Oktaedergefüge vieler Meteor-



Fig. 3. Oktaedrischer Ferrit mit Perlitfülle. Vergr. 1 : 85. Nach OSMOND.

eisen erinnert. Es ist das auch den Metallurgen nicht entgangen<sup>1</sup>.

Der Carboferrit, Eisen mit C in fester Lösung, geht, seinem chemischen Wesen nach, allmählich in Ferrit, reines Eisen, über. Carboferrit kann mineralogisch als Abart des Ferrits oder Ferrit als äußerstes Grenzglid des Carboferrits aufgefaßt werden. Dem Charakter der Lösungen entsprechend, als Körpern, deren Eigenschaften sich kontinuierlich ändern, ist nicht anzunehmen, daß die kristallographischen Verhältnisse bezüglich des Kristallsystems und der Formen bei Ferrit und Carboferrit sich scharf trennen, so wenig wie z. B. die

<sup>1</sup> Besonders schöne Abbildungen solchen Ferrits finden sich in einer Abhandlung des ausgezeichneten Metallographen F. OSMOND: La cristallographie du fer. Annales des mines. 17. 110. 1900. Fig. 2 und 3 sind dieser Abhandlung entnommen.

von Mineralien, welche färbende Substanzen in fester Lösung führen. Es ist mithin von vornherein wahrscheinlich, daß, wie Ferrit, auch Carboferrit dem regulären System angehört. Der Hinblick auf die Struktur des Martensits befestigt die Meinung. Man erkennt bei diesem für gehärteten Stahl charakteristischen Bestandteil im Schliiff einen Aufbau aus nadeligen, spießigen Gebilden, die sich gruppenweise zu Systemen vereinigen. Vorherrschend wird im Schliiff die Vergesellschaftung in Dreiecksart (Fig. 4) beobachtet, es fehlen



Fig. 4. Martensit. Vergr. 1:1000. Nach OSMOND.

aber auch nicht schiefe und rechtwinkelige Lagerungen der benachbarten Faserbündel zueinander. Es erinnert das an die erwähnte Struktur des hoch erhitzten und langsam gekühlten Ferrits. Wie dort hat man es also wohl mit Aggregaten von Körnern zu tun, die faserig, balkig oder lamellar nach dem Oktaeder aufgebaut<sup>1</sup>, also vergleichbar sind der Textur der körnigen oktaedrischen Meteoreisen, wenn man wieder vom feineren Aufbau der Balken des natürlichen Eisens absieht, der ja schon wegen fehlenden Gehaltes an Ni bei dem in Rede stehenden Martensit nicht auftreten kann.

<sup>1</sup> Ob die oktaedrischen Ferrite bzw. Martensite als einfache Skelettbildung oder als Zwillingstöcke aufzufassen sind, muß noch erforscht werden.

Nickelferrit bzw. Ferronickelit, Eisen und Nickel in fester Lösung, kann füglich als isomorphe Mischung von Fe und Ni angesehen werden. Wie insbesondere GUILLET<sup>1</sup> nachwies, ändert bei geringem C-Gehalt der Eintritt von Ni (bis 10 %) ins Eisen an der Erscheinungsart des Ferrits nichts. Bei höherem Ni-Gehalt (10—27 %) erkennt man Martensitstruktur und schließlich (Ni über 27 %) wird der Aufbau wieder polyedrisch, ähnlich dem gewöhnlichen Ferritgefüge.

Die Ähnlichkeit der Verhältnisse von Ferrit, Carboferrit und Nickelferrit ist also wohl nicht zu verkennen.

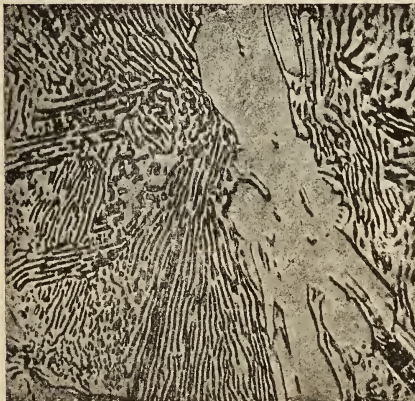


Fig. 5. Cementit und Perlit. Vergr. 1:1000. Nach OSMOND.

Auch P wird nach STEAD<sup>2</sup> vom Eisen in fester Lösung (bis 1,7 %) aufgenommen<sup>3</sup>. Solcher Phosphorferrit zeigt bei einem Gehalt von weniger als 1,7 % P die übliche marmorartige Ferritstruktur. Bei 1,7 % P macht sich eine skelettische Verästelung der Kristalle bemerklich.

Auf die in chemischer Hinsicht unmittelbar vergleichbaren Bestandteile des technischen Eisens und des Meteoreisens, Cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$  und Cohenit  $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_3\text{C}$ , Eisenphosphid  $\text{Fe}_3\text{P}$  und Schreibersit  $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_3\text{P}$ , Eisensulfid  $\text{FeS}$  und Troilit

<sup>1</sup> LÉON GUILLET, La métallographie des aciers au nickel. Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale. 1903. 658.

<sup>2</sup> v. JÜPTNER, Siderologie. 3. 78.

<sup>3</sup> Wie man sich beim Carboferrit den gelösten C als Karbid  $\text{Fe}_3\text{C}$  denken kann, so auch hier den P als  $\text{Fe}_3\text{P}$ .

(Fe, Ni, Co)S, Graphit bezw. Diamant sei hier zunächst nicht eingegangen, wohl aber sei das Perlitgemenge bezüglich seiner eigenartigen Struktur gekennzeichnet, was am kürzesten durch Abbildungen (Fig. 5 und 6) geschieht. Man erkennt un-

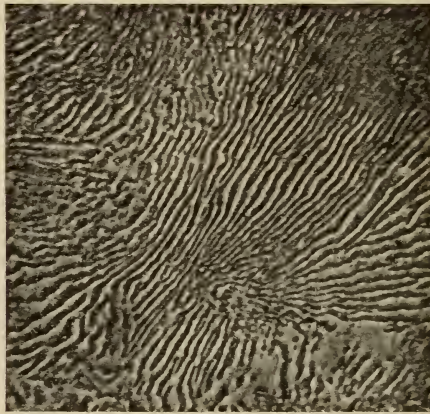


Fig. 6. Perlit. Vergr. 1:1000. Nach OSMOND.

mittelbar die große Ähnlichkeit mit dem Plessitgefüge vieler Meteoreisen, wie es z. B. in Fig. 7 dargestellt ist. Perlit und Plessit sind strukturell offenbar sehr verwandte Aggregate.

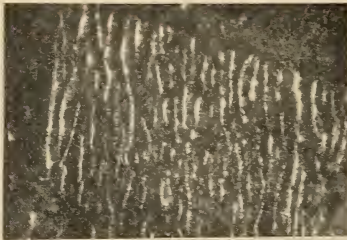


Fig. 7. Plessit in Toluca-Eisen.  
Vergr. 1:40.

Auch sei hier auf die räumliche Beziehung von Ferrit und Perlit in Fig. 3 aufmerksam gemacht, wo Perlit die Lücken zwischen den Ferritbalken füllt, ähnlich wie der Plessit zwischen den Kamacitbalken auf Schnitten durch oktaedrische Meteoreisen erscheint<sup>1</sup>.

Zu einem vortrefflichen Überblick über die Entstehungsgeschichte des technischen Eisens gelangt man auf Grund physikalisch-chemischer Lehren. Dazu möge

<sup>1</sup> Die feinere Struktur des Perlits ist bei der angewandten Vergrößerung noch nicht zu erkennen.

das folgende nach den ROOZEBOOM'schen Darlegungen<sup>1</sup> etwas vereinfachte Schema dienen (Fig. 8). In ihm sind die Temperaturen von 500—1600° als Ordinate, der C-Gehalt von 0—9 % (fortgesetzt zu denken bis 100 %) als Abszisse eingetragen, so daß jeder Punkt im Winkel der linken und unteren Umgrenzungslinie einem Eisen von bestimmter Temperatur und von bestimmtem C-Gehalt entspricht.

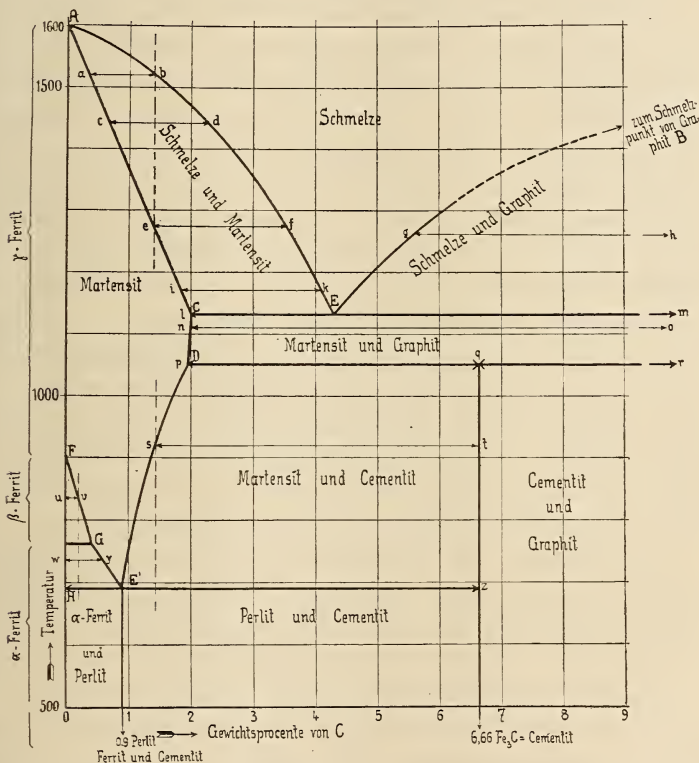


Fig. 8. Erstarrungs- und Umstehungsschema von Eisen mit Kohlenstoff.

Das reine Eisen bei 500—1600° ist also gekennzeichnet durch die Anfangsordinate. Auf ihr liegt bei A sein Schmelzpunkt (ca. 1600°). Die (nicht mehr gezeichnete) Strecke dieser Linie über A kennzeichnet flüssiges, unter A festes reines Eisen (Ferrit). Durch Aufnahme von Kohlenstoff wird

<sup>1</sup> BAKHUIS ROOZEBOOM, Eisen und Stahl vom Standpunkte der Phasenlehre. Zeitschr. f. physik. Chemie. 1900. 34. 437.



der Erstarrungspunkt einer Eisenschmelze erniedrigt<sup>1</sup>. Daher zieht sich von A eine Linie AE nach rechts abwärts. Entsprechend kommt eine Kurve von dem unbekanntem Schmelzpunkt B reinen Kohlenstoffs (C 100 %), die sich also nach links neigt. In E, dem eutektischen Punkte, treffen sich die beiden Linien. Er ist gekennzeichnet durch  $C = 4,3\%$  und die Temperatur von  $1130^\circ$ .

Der Erstarrungsvorgang läßt sich nun ganz einfach unter dem Gesichtspunkte auffassen, daß die Schmelze bei ihrer Abkühlung gewissermaßen der Zusammensetzung des eutektischen, durch die Lage von E gekennzeichneten Gemisches zustrebt. Ist ihr Gehalt an C größer als  $4,3\%$ , so scheidet sie beim Erkalten zunächst die über  $4,3\%$  vorhandene C-Menge als Graphit aus, um eben das eutektische Normalgemisch mit  $4,3\%$  C zu erreichen. Ist der Gehalt der Schmelze kleiner als  $4,3\%$  C, ist also Eisen im Überschuß gegenüber dem eutektischen Gemisch zugegen, so wird beim Erkalten Eisen ausgesondert, wobei als Besonderheit zu vermerken ist, daß das sich ausscheidende Eisen etwas C in fester Lösung enthält. Angenommen nun, es sei, z. B. durch C-Aussonderung, die Zusammensetzung des Eutektikums erreicht; dann wird diese Restschmelze bei konstanter Temperatur und gleichbleibender Zusammensetzung fest.

In der Skizze Fig. 8 bedeutet hiernach das Gebiet oberhalb AEB vollkommene Schmelze, die Linie BE Ausscheidung von Graphit, die Linie AE Ausscheidung von Eisen mit C in fester Lösung, also von Carboferrit.

Eine Eisenschmelze mit z. B.  $5,6\%$  C und in einer Temperatur von  $1600^\circ$  wird durch den Schnittpunkt der Vertikalen 5,6 (nicht gezeichnet, also zwischen 5 und 6 zu denken) mit der  $1600^\circ$ -Horizontalen gekennzeichnet. ihre Erkaltung durch ein Wandern dieses Punktes auf der 5,6-Vertikalen nach unten. Bei etwa  $1260^\circ$  trifft man auf die Kurve der Graphitausscheidung in g, d. h. es beginnt bei weiterer Abkühlung Graphit auszukristallisieren: der vorher homogene Fluß wandelt sich in einen Brei um, aus Graphitkristallen und Schmelze

<sup>1</sup> Genauer gesagt, die Verfestigung vollzieht sich innerhalb eines Temperaturintervalls, dessen Beginn gegenüber dem Schmelzpunkte des reinen Eisens tiefer liegt.

bestehend. Beim weiteren Erkalten setzt sich die Graphit-aussonderung fort; natürlich wird dadurch der noch flüssige Teil immer ärmer an C, wie das ja der Verlauf von BE nach links andeutet. Bei  $1130^{\circ}$  enthält die Schmelze  $4,3\%$  C gelöst; der eutektische Punkt ist erreicht. Nunmehr wird der noch flüssige Rest unter gleichzeitiger Ausscheidung von Graphit und Eisen mit C in fester Lösung (Martensit) bei konstanter Temperatur ( $1130^{\circ}$ ) fest<sup>1</sup>. Die Bauschanalyse des Eisens ergibt den C-Gehalt der Schmelze:  $5,6\%$ ; es liegt aber kein einheitlicher Körper vor, sondern ähnlich wie bei einem Eruptivgestein ein Gemenge, und zwar von Graphit und Martensit. Der Graphit ist im Erstarrungsintervall von  $1260$ — $1130^{\circ}$  entstanden, und zwar zuerst in selbständiger Ausscheidung, dann als Teil des eutektischen Gemenges, vergleichbar der Bildung eines Minerals als Einsprengling und in der Grundmasse. Der Martensit findet sich nur im eutektischen Gemenge vergleichbar einem nur in der Grundmasse vorkommenden Gesteinsgemengteil.

Hat eine Eisenschmelze weniger als  $4,3\%$  C, so ist zu unterscheiden zwischen Gehalten a) bis  $2\%$  und b) von  $2$ — $4,3\%$  C. Im ersteren Falle (C weniger als  $2\%$ ) kann die eutektische Schmelzzusammensetzung nicht erreicht werden, wie eine Betrachtung der Fig. 8 sehr einfach ergibt. Eine Schmelze z. B. mit  $1,4\%$  C und bei einer Temperatur von knapp  $1600^{\circ}$  ist durch den oberen Punkt der gestrichelten Linie be, eine Abnahme der Temperatur durch Herabsinken dieses Punktes auf der in Rede stehenden Linie gekennzeichnet. Bei b ist gerade der Zeitpunkt für Kristallausscheidung gekommen. Da der Gehalt von  $1,4\%$  C weit ab von dem eutektischen von  $4,3\%$  steht und, wie erwähnt, die Schmelze beim Abkühlen die Zusammensetzung des Eutektikums gewissermaßen anstrebt, so muß die Kristallausscheidung mit der Absonderung von Carboferrit beginnen. Bei der durch b angezeigten Temperatur und chemischen Natur der Schmelze stehen mit letzterer Kristalle von der Zusammensetzung a (also etwa  $99,7\%$  Fe und  $0,3\%$  C) im Einklang. Bei einer

---

<sup>1</sup> Es ist hierbei von etwaigen, in Wirklichkeit eine Rolle spielenden Überkühlungserscheinungen zunächst abgesehen.

Temperatur von  $1440^{\circ}$  sind es c-Kristalle, die mit einer d-Schmelze harmonieren, und so entsprechend in dem ganzen Felde ACE, wie es die Doppelpfeile probeweise anzeigen. Die korrespondierenden Endpunkte der Pfeile geben die harmonierenden Zusammensetzungen von Schmelzrest und Kristallen an. Hieraus folgt, daß die bei Temperaturerniedrigung sich zunächst ausscheidenden Mischkristalle später nicht mehr bestandfähig sind; sie werden resorbiert, und neue entstehen. Es ändert sich also fortgesetzt die Zusammensetzung des Schmelzrestes und der Kristalle. Die in Betrachtung gezogene Schmelze mit  $1,4\%$  C scheidet also nach obigem bei einer Temperatur der Horizontalen ef Kristalle von der Zusammensetzung e aus, das sind, da b und e auf derselben Vertikalen liegen, Kristalle von der Zusammensetzung der als Beispiel vorausgesetzten ursprünglichen Schmelze; mit anderen Worten, der gesamte Schmelzfluß wird bei der durch e gegebenen Temperatur zu Mischkristallen e fest, und damit hat die von b bis e sich hinziehende Erstarrung ihr Ende erreicht, ohne daß dabei der eutektische Punkt E und die Ausscheidung von Mischkristallen l, sowie von Graphit m erreicht wurde. Das Ergebnis der Verfestigung sind vielmehr einheitliche Mischkristalle der Zusammensetzung  $e = b$ .

Ganz entsprechend ist der Fall bei allen Schmelzen mit weniger als  $2\%$  C. Ein Schmelzfluß, der gerade letzteren Gehalt von  $2\%$  C besitzt, liefert im Verlauf seines langen Erstarrungsintervalles (es ist, wie Fig. 8 zeigt, das größtmögliche) schließlich bei  $1130^{\circ}$  einheitliche Mischkristalle mit einem Gehalt von  $2\%$  C<sup>1</sup>.

Enthält eine Eisenschmelze mehr als  $2\%$  aber weniger als  $4,3\%$  C (entsprechend der Strecke CE), z. B.  $2,6\%$  C, so findet nach Fig. 8 der Beginn der Erstarrung bei etwa  $1400^{\circ}$  statt; es scheiden sich beim Erkalten fortgesetzt Kristalle aus unter Resorption der älteren, bis schließlich bei  $1130^{\circ}$  nur Mischkristalle mit  $2\%$  C beständig sind. Als solche sondert sich zunächst der Überschuß an Eisen, der über die Zusammensetzung des Eutektikums ( $95,7\%$  Fe und  $4,3\%$  C) in der Schmelze ( $97,4\%$  Fe und  $2,6\%$  C) vorhanden ist,

<sup>1</sup> Immer vorausgesetzt natürlich, daß kein C durch Oxydation an der Luft (also Verbrennen durch „Frischen“) verloren geht.

aus, und der nunmehr eutektische Schmelzrest erstarrt bei konstanter Temperatur und konstanter Zusammensetzung zu einem Gemenge von Martensit (natürlich ebenfalls mit 2% C) und Graphit.

Hat eine Eisenschmelze gerade die eutektische Zusammensetzung (mit 4,3% C), so erfolgt nach der Fig. 8 bis 1130° überhaupt keine Ausscheidung weder von Graphit noch von C-haltigem Eisen. Die Schmelze bleibt bis 1130° homogen flüssig und erstarrt dann unter Innehaltung der genannten Temperatur, also mit scharfem Schmelzpunkt wie ein reines Metall, zu einem Gemenge von Graphit m und Martensit l mit 2% C. Gegenüber dem des reinen Eisens ist der Schmelzpunkt des eutektischen Gemisches um fast 500° erniedrigt.

So lehrt die Fig. 8 in einfachster Weise einen Vorgang des Erstarrens kennen, der beiläufig nicht nur für den Metallurgen, sondern auch für den Petrographen von hohem Interesse ist.

Ein sehr eigenartiger Umstand ist es nun weiter, daß das Eisen unter 1130° (unter welcher Temperatur nach Fig. 8 jede Mischung von Eisen und Kohlenstoff fest ist) noch Differenzierungen vornimmt. Das feste Eisen „steht um“. Es paßt sich den neuen Temperaturverhältnissen unter weitgehenden inneren Umwandlungen an. Das reine Eisen zeigt bekanntermaßen verschiedene Modifikationen, die bei Temperaturveränderung ineinander übergehen. Fig. 8 gibt das an. Reines Eisen ist im Zustande des sogen.  $\gamma$ -Ferrit von 1600—900°, des  $\beta$ -Ferrit von 900—770°, und darunter als  $\alpha$ -Ferrit<sup>1</sup> vorhanden.

Dem Kristallographen sind Umwandlungen im festen Zustande durchaus gewöhnliche Erscheinungen (Leucit, Borazit, Ammonitrat, Jodsilber, Schwefel usw.). Fremdartiger<sup>2</sup> er-

<sup>1</sup> Die Übergänge machen sich durch Knicke in der Abkühlungskurve kenntlich, der von  $\alpha$ - in  $\beta$ -Ferrit ferner durch den Verlust des Magnetismus, was sich leicht an einem als Pendel aufgehängten Drahtnagel zeigen läßt. Bei Kirschrotglut folgt er dem Magneten nicht mehr. Magnetit macht es bekanntermaßen ebenso. (Vergl. F. RINNE, Über das Verschwinden und Wiedererscheinen des Magnetismus beim Erhitzen und Abkühlen von Magneteisenerz. Centralbl. f. Min. etc. 1902, p. 294.)

<sup>2</sup> in der Gesteinswelt aber wohl nicht ohne Analogon.

scheint hingegen das im folgenden zu erwähnende, in der Tat höchst eigenartige Umstehen des C-haltigen Eisens: aus der Eisenschmelze ausgeschiedene Kristalle, also feste Stoffe, wandeln sich derart um, daß sie sich trotz ihres festen Zustandes einmal verhalten wie eine Lösung, aus welcher Bestandteile auskristallisieren, andererseits treten Kristalle trotz ihres festen Aggregatzustandes in chemische Wechselwirkung, so daß neue chemische Verbindungen entstehen. Die Fig. 8 verdeutlicht diese Verhältnisse in sehr einfacher Art.

Von besonderem Interesse ist hier der erst erwähnte Fall der Ausscheidung von Kristallen aus einer bereits festen Lösung. Es handelt sich dabei um die Differenzierung des Carboferrits, also des Ferrits, welcher C bzw.  $\text{Fe}_3\text{C}$  in fester Lösung enthält (Martensit). Man erkennt in Fig. 8 links unten eine V-Kurve ähnlich der oben in der Figur befindlichen, welche letztere, wie erwähnt, die Erstarrung der Schmelze versinnbildlicht, und in der Tat folgt der Kristallisationsvorgang der festen Martensitlösung mutatis mutandis einem Schema entsprechend dem für das Erstarren des Eisens gültigen. Auch hier strebt die (feste) Lösung beim Abkühlen gewissermaßen einem Normalgemisch zu, nämlich einem solchen mit 99,1 % Fe und 0,9 % C. Bei einem Gehalt über 0,9 % C im Martensit, also bei C-Überschuß, scheidet sich beim Wärmeverlust der C in Gestalt einer C-haltigen chemischen Verbindung, nämlich als Cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$  aus, bei Gehalten unter 0,9 % C, also bei Eisenüberschuß, reines Eisen (Ferrit<sup>1</sup>). Auf jeden Fall kann somit der Rest der festen Lösung die Zusammensetzung des Normalgemisches erreichen. In Fig. 8 bedeutet das Feld A C D E' G F A den Bereich der festen Lösung Martensit; die Linie D E' stellt Ausscheidung von Cementit<sup>2</sup>, F G E' Aussonderung von Ferrit (erst  $\beta$ -, dann  $\alpha$ -Ferrit) dar. Die Linien D E' und F G E' schneiden sich in E', welcher Punkt also beiden Linien angehört und somit sowohl Cementit- als Ferrit-ausscheidung repräsentiert.

Ein Eisen mit z. B. 1,4 % C, das zu Martensit verfestigt ist, würde nach der Fig. 8 aus der festen Lösung bei s Ce-

<sup>1</sup>  $\alpha$ - und  $\beta$ -Ferrit bilden mit C keine Mischkristalle.

<sup>2</sup> Die kurze Strecke CD bedeutet Aussonderung von Graphit.

mentit  $t$  aussondern, diese Cementitbildung würde dem Temperaturabfall entsprechend auf  $s E'$  weiter voranschreiten, bis bei  $690^\circ$  der Martensitrest die Zusammensetzung  $E'$ , d. h.  $99,1\%$  Fe und  $0,9\%$  C erreicht hat. Dann bildet sich sowohl Cementit  $z = t$  als auch  $\alpha$ -Ferrit, bei konstanter Temperatur und konstanter Zusammensetzung, mithin Perlit. Bei einem Gehalt unter  $0,9\%$  C, d. h. bei Eisenüberschuß, etwa entsprechend der durch  $v$  gestrichelten Linie in Fig. 8, würde sich der Martensit bei Temperaturerniedrigung allmählich des überschießenden Eisens als Ferrit entledigen. Das würde bei  $v$  beginnen, sich entlang  $v G E'$  (Zusammensetzung des jeweils übrigen Martensits) fortsetzen, und bei  $690^\circ$  würde der dann als  $99,1\%$  Fe und  $0,9\%$  C zusammengesetzte Rest der festen Lösung sich gleichfalls zu Perlit, also Ferrit und Cementit, auseinanderteilen. Diese Umlagerungen von Martensit in Ferrit und Cementit geschehen also nicht bei konstanter Temperatur, sie nehmen vielmehr, ganz ähnlich wie die Erstarrungen gemischter Schmelzen es im allgemeinen tun, Temperaturintervalle in Anspruch, im erst erörterten Beispiel ( $1,4\%$  C) das Intervall von etwa  $920^\circ$  ( $s$ ) bis  $690^\circ$  ( $E'$ ), also  $230^\circ$ , im letzten Fall das von  $830^\circ$  ( $v$ ) bis  $690^\circ$ . Nur die feste Lösung mit  $0,9\%$  C wandelt sich, wie die Fig. 8 unmittelbar zeigt, bei konstanter Temperatur um. Der mit gerade  $0,9\%$  C ausgestattete Martensit bleibt bis  $690^\circ$  bestehen, um sich dann in das Perlitgemenge von Ferrit und Cementit auseinanderzuteilen.

Den umgekehrten leicht übersichtlichen Weg gehen die Erscheinungen beim Erwärmen.

Alles dies, was die Figur im Bereiche unter  $A C E m$  repräsentiert, vollzieht sich im festen Zustande des Eisens. Es handelt sich nicht mehr um Schmelz- bzw. Erstarrungserscheinungen, sondern um ein „Umstehen“. Daher kann man füglich das Gemenge, dem das feste Eisen beim Abkühlen gewissermaßen zustrebt und das es bei  $690^\circ$  erreicht, nicht eutektisches, d. h. leichtschmelziges Gemenge, und den Punkt  $E'$  nicht eutektischen Punkt nennen. Es handelt sich vielmehr bei dem in Rede stehenden Gemenge im Falle der Abkühlung um das zuletzt entstehende Umlagerungsprodukt, das beim Erwärmen sich dann auch am

ehesten, also leichtesten wieder zurückverwandelt. Daher mögen die Ausdrücke eutropisches Gemenge und eutropischer Punkt hier angewandt werden<sup>1</sup>.

Eutropisches Gemenge und eutropischer Punkt entsprechen ganz dem eutektischen Gemenge und eutektischen Punkt, beziehen sich aber auf Vorgänge im festen Material. Entsprechend kann man die Ausdrücke eutropische Linie (nach einem eutropischen Punkt ziehende Ausscheidungslinie, z. B. DE' oder FGE') und eutropische Horizontale (durch einen eutropischen Punkt gehende Wagerechte, z. B. HE'z) gebrauchen.

Das Erstarrungs- bzw. Umstehungsergebnis eutektischer bzw. eutropischer Lösungen wird man, weil es sowohl chemisch als physikalisch etwas in sich Geschlossenes ist, trotz seiner Gemengenatur mit einem besonderen Namen belegen dürfen, wie man das ja auch bei charakteristischen Mineralgemengen, nämlich bei Gesteinen, tut<sup>2</sup>. Als solche Namen sind Eutektit und Eutropit unmittelbar verständlich. Im besonderen machen dann Benennungen, wie Zinn-Bleieutektit, sich selbst klar. Dem so besonders wichtigen Ferrit-Cementit-Eutropit hat man bereits eine Bezeichnung für sich, nämlich den schon oben erwähnten Namen Perlit, nach dem bei schiefer Beleuchtung hervortretenden Perlmutterglanz des Gemenges gegeben.

Auf die Entmischungen, welche ein über 4,3% C enthaltendes Eisen nach seiner Erstarrung erfährt, sei hier nicht näher eingegangen. Das Bild Fig. 8 macht im übrigen die Verhältnisse unmittelbar anschaulich. Man braucht nur dem Temperaturabfall entsprechend auf derjenigen Vertikalen, welche die chemische Bauschzusammensetzung vorstellt, einen Punkt laufen zu lassen und zu verfolgen, in welche Felder der Figur er eintaucht. Den Beschriftungen entsprechend findet die Umwandlung statt<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Da eine Verwechslung mit den LINCK'schen eutropischen Reihen ganz ausgeschlossen erscheint, darf der Name eutropisches Gemenge, eutropischer Punkt usw. in obigem Sinne unbedenklich verwandt werden.

<sup>2</sup> Gesteinen gegenüber hat ein eutropisches oder eutektisches Gemenge eine ganz bestimmte chemische Zusammensetzung noch voraus.

<sup>3</sup> Bemerkte sei, daß gerade dieser Teil des Diagramms noch mancherlei weiterer Forschung bedarf.

Schließlich ist nun aber noch als allgemein wichtiger Umstand zu betonen, daß Überkühlungen, also Erstarrungs- bzw. Umstehungsverzüge sich ereignen, ja Entmischungen und Verwandlungen vollständig ausbleiben können. Dabei kommt sehr wesentlich in Betracht, wie tief und wie schnell der Temperaturabfall über die normale Umwandlungsgrenze hinausgegangen ist, insofern als die Umwandlungsgeschwindigkeit bei niederen Temperaturwerten sehr gering und schließlich praktisch so gut wie 0 sein kann. Auf einer solchen Überkühlungserscheinung beruht z. B. das Härten des Stahls<sup>1</sup>.

Natürlich sind die Lehren der physikalischen Chemie auch auf das Nickeleisen angewandt. Es liegen in der Hinsicht eine Reihe ausgezeichnete Forschungen, insbesondere von LE CHATELIER, DUMONT, DUMAS, GUILLAUME, GUILLET, HOPKINSON, OSMOND u. a. vor. Von vornherein ist es bei so nahe verwandten Stoffen, wie Eisen und Nickel es sind, wahrscheinlich, daß aus ihrer Schmelze sich Mischkristalle aussondern, doch sind auch chemische Fe-Ni-Verbindungen als Schmelzausscheidungen nicht ausgeschlossen.

Weiterhin erhebt sich die Frage, ob beim Nickeleisen auch im festen Material sich noch Zustandsänderungen oder chemische Umsetzungen ereignen, die beim Kohlenstoffeisen von so hoher Bedeutung sind. In der Tat hat man dafür Anzeichen, und zwar in magnetischen Änderungen<sup>2</sup>. Die Verhältnisse liegen verwickelter als beim Eisen, lassen sich aber, wenn man von feineren Umständen zunächst absieht, dahin zusammenfassen, daß für die verschiedenen künstlichen Eisennickellegierungen z. B. das Auftreten des Magnetismus beim Abkühlen je nach der chemischen Zusammensetzung des Materials bei Temperaturen statt hat, die in ihrer sie verknüpfenden Kurve einen Linienzug darstellen, wie er in seinem

---

<sup>1</sup> Beim Härten des Stahls wird das betreffende Eisen bis zum Martensitzustand erhitzt und dann sehr schnell abgekühlt. Hierbei langt die Zeit nicht zur Entmischung in Ferrit und Cementit. Die feste Lösung Martensit bleibt in der niederen gewöhnlichen Temperatur auf absehbare Zeiten bestehen. Harter Stahl ist also eine überkühlte feste Lösung. Das Anlassen (schwaches Erwärmen) des gehärteten Stahls, das zum Spannungsausgleich nötig ist, ruft eine gelinde Rückwandlung hervor.

<sup>2</sup> Auch in Umwandlungen der Festigkeitseigenschaften.



allgemeinen Verlauf durch DEFG in Fig. 9 angedeutet ist. Diese Kurve erinnert durchaus an eine Entmischungslinie. Das Erscheinen (und Verschwinden) des Magnetismus findet im allgemeinen nicht bei einem Temperaturpunkt statt, sondern in einem Temperaturintervall, was wiederum an Entmischungsvorgänge erinnert.

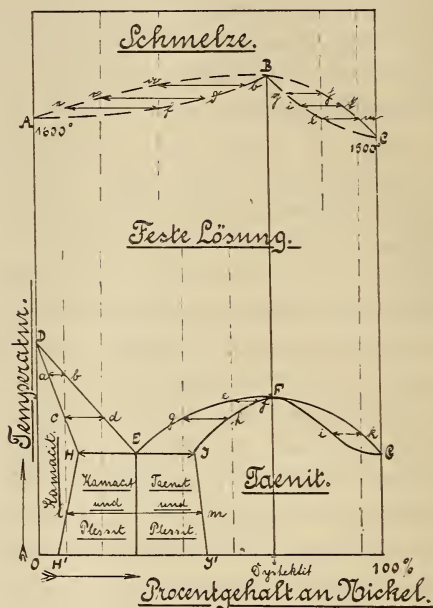


Fig. 9. Erstarrungs- und Umstehungsschema von Eisennickel.

So könnte man also auf Grund der magnetischen Änderungen sehr wohl annehmen, daß sich auch andere innere Umwälzungen in den festen Fe-Ni-Legierungen bei Temperaturänderungen vollziehen, daß also die magnetischen Wandlungen eben nur ein leicht erkennbarer Ausdruck auch von sonstigen inneren Vorgängen sind. Geht man nun aber in Erwartung drastischer Erscheinungen, wie man sie in der Tat beim Kohlenstoffeisen findet, an die Ergebnisse der Schliffforschung von künstlichem Nicleisen heran, so erfährt man eine Enttäuschung, insofern deutliche kristallographische Merkmale solcher Umwandlungen bislang sich bei dem in Rede stehenden Material nicht kenntlich machten. Die Erklärung hierfür liegt wohl darin, daß Eisen und Nickel als chemisch

nahe verwandte Stoffe bei Veränderung der äußeren Umstände, insbesondere der Temperatur, weniger als Eisen und Kohlenstoff zu Trennungen von und Umsetzungen miteinander neigen. Man darf vermuten, daß die durch magnetische Veränderungen angezeigten inneren Umwandlungen keine von sehr einschneidender chemischer Bedeutung sind und etwa nur mit einer Veränderung der gegenseitigen Löslichkeit von Eisen und Nickel Hand in Hand gehen. Weiterhin ist hierbei zu bedenken, daß die in Rede stehenden inneren Umwälzungen z. T. bei verhältnismäßig sehr niedrigen Temperaturen verlaufen. Gewisse Fe-Ni-Legierungen gewinnen ihren Magnetismus beim Abkühlen bekanntermaßen selbst erst unter  $0^{\circ}$  und verlieren ihn beim Erwärmen gegen knapp  $400^{\circ}$ . Bei derart niedrigen Temperaturen gehen die Wanderungen der kleinsten Teilchen fester Körper langsam vor sich, so daß ein Sichtbarwerden von Entmischungen, also ein Trennen auf merkliche Entfernungen auch für das bewaffnete Auge in ungünstigen Fällen erst bei sehr allmählichem Abkühlen und daher sehr langem Verweilen bei den günstigen Temperaturen sich vollziehen mag. In der Natur sind die Entmischungsbedingungen gewiß öfter günstiger als beim Versuch; dann eben, wenn für die Wandlungen, menschlich gedacht, unbegrenzte Zeiträume zur Verfügung stehen. Aber auch dort könnten, im Falle schnellerer Abkühlung, metastabile Verhältnisse bei Meteoreisen gelegentlich bestehen geblieben sein, ähnlich, wie man es z. B. bei den glasigen Eruptivgesteinen voraussetzen muß.

Es erscheint also immerhin nicht ausgeschlossen, daß in der Natur aus Schmelzfluß als isomorphe Mischung gebildetes Nickeleisen sich bei sehr langsamer Abkühlung in sichtbarer Weise umgelagert hat. Verfolgt man diese Annahme, für welche also, außer durch die magnetischen Anzeichen, durch den Hinweis auf die Umstehungen im Kohlenstoffeisen ein Beweis gewisser Berechtigung geführt werden kann, und versucht man die in Betracht kommenden Vorgänge der Erstarrung und Entmischung durch ein Schema zu versinnbildlichen, so muß man zunächst bezüglich der Erstarrung auf die Typen zurückgehen, die BAKHUIS ROOZEBOOM<sup>1</sup> in scharf-

<sup>1</sup> BAKHUIS ROOZEBOOM, Erstarrungspunkte der Mischkristalle zweier Stoffe. Zeitschr. f. phys. Chemie. 30. 369. 1899.

sinnigster Weise für die Erstarrungspunkte der Mischkristalle zweier Stoffe entwickelt hat. Bestätigung vorbehalten, habe ich in dem oberen Teil der Fig. 9 einen wahrscheinlichen Fall dargestellt. Es bedeutet A den Schmelzpunkt des reinen Eisens, C den des Nickels, B den einer chemischen Verbindung  $Ni_2Fe$ , dem natürlichen Awaruit entsprechend. Über der Doppelkurve ist das Reich der homogenen Schmelze zwischen den beiden Linien des Breifeld (Kristalle in Schmelze), unter ihnen das Gebiet des Festen. Das Erstarrungsergebnis sind einheitliche Mischkristalle, ausgenommen bei der durch einen dystektischen Punkt (Punkt schwerer Schmelzbarkeit) gekennzeichneten Zusammensetzung, für welche, wie gesagt, als Beispiel  $Ni_2Fe$  gewählt ist.

Bezüglich der angenommenen Entmischungsvorgänge im festen Zustande des Nickeleisens kann zweierlei als Unterlage für das aufzustellende Schema dienen, einmal das magnetische Verhalten, dann aber auch das Ergebnis der mineralogischen Forschungen am Meteoreisen bezüglich seiner Bestandteile und seiner Struktur. Beides in Betracht gezogen, läßt sich eine graphische Darstellung gewinnen, wie sie im unteren Teile der Fig. 9 wiedergegeben ist. Sie stellt einen wohlbekannten ROOZEBOOM'schen Entmischungstypus dar<sup>1</sup>.

Auf Grund eines solchen ROOZEBOOM'schen Schemas haben zuerst F. OSMOND und CARTAUD<sup>2</sup> die physikalisch-chemische Natur der Meteoreisen klar durchdacht. Man erkennt in Fig. 9, daß beim Sinken der Temperatur jeder darstellende Punkt (der eine bestimmte Legierung bei bestimmter Temperatur wiedergibt) je nach seiner Abszissenlage, also je nach dem Ni-Gehalt der Legierung, früher oder später an die Kurve DEFG gelangt, welche, allgemein genommen, den Beginn einer Entmischung bedeutet. Bei einem Nickeleisen mit b % Ni würde das also bei b geschehen, entsprechend der von links gerechnet ersten gestrichelten Linie, bei der zweiten bei d, bei einer dritten bei g. Insbesondere ist bei dem einfachen ROOZEBOOM'schen Schema der Fig. 9 nun weiter

<sup>1</sup> BAKHUIS ROOZEBOOM, Umwandlungspunkte bei Mischkristallen. Zeitschr. f. phys. Chemie. 30. 413. 1899.

<sup>2</sup> F. OSMOND et G. CARTAUD, Sur les fers météoriques. Revue de métallurgie. Mémoires 1904. p. 69.

zu vermerken, daß bei der Temperatur der Horizontalen H E J Mischbarkeit von Fe und Ni besteht von 0—H % und J—100 %, letztere Strecke unterbrochen durch eine chemische Verbindung bei F. Nichtmischbarkeit herrscht von H—J %. Auf dieser Strecke Weg ist also eine Lacune vorhanden. Dadurch gliedert sich die Reihe von 100 % Fe zu 100 % Ni in drei bestimmte Abschnitte, für die ich in Rücksicht auf die Lage zur Lacune nachstehende physikalisch-chemische Bezeichnungen anzuwenden vorschlage:

- I. 0—H % Ni. Sublacunistische Gruppe. Völlige Mischbarkeit zwischen Fe und Ni.
- II. H—J % Ni. Lacunistische Gruppe. Nichtmischbarkeit zwischen Fe und Ni, also Zerfall in H und J.
- III. J—F und F—100 % Ni. Superlacunistische Gruppen. Völlige Mischbarkeit zwischen Fe und Ni.

Dazu kommt:

- IV. Prozentgehalt an Ni chemischen Verbindungen entsprechend, z. B. F %. Dystektische Gruppe.

I. Sublacunistische Gruppe.

Ni-Gehalt 0—H %. Völlige Mischbarkeit. Die isomorphe Mischung enthalte z. B. b % Ni. Bei b kommt sie in das Stadium des Entmischungsanfangs. Dicht unter b scheiden sich aus der festen Lösung Kristalle mit einem Ni-Gehalt aus, der durch einen horizontal entsprechenden Punkt auf DH, dicht unter a gelegen, gekennzeichnet wird. Beim Sinken der Temperatur ändert sich fortgesetzt die chemische Zusammensetzung der Ausscheidungen unter Umwandlung der früheren, und entsprechend wechselt die Zusammensetzung des festen Lösungsrestes. So harmonieren a und b, c und d usw. Die feste Lösung strebt entlang DE gewissermaßen dem eutropischen Punkte E zu, die sich aussondernden Kristalle nähern sich der durch H dargestellten Fe-Ni-Mischung. Die beiden Ziele können aber im vorliegenden Falle nicht erreicht werden. Die Entmischung hat ein Ende, wenn der darstellende Temperaturpunkt bei seinem Marsche auf der gestrichelten Linie in c zum Durchschnitt mit DH gekommen ist. Die Ausscheidungen haben dann die Zusammensetzung dieses Durchschnittspunktes selbst, d. h. die der ursprünglichen festen Lösung b. Letztere hat sich nach Überstehung des aus Aus-

scheidung und Umwandlung sich zusammensetzenden Entmischungsvorganges zu einheitlichen Mischkristallen wieder zusammengefunden.

Derselbe Vorgang spielt sich ab bei beliebigem Gehalt an Ni zwischen 0 und H %.

## II. Lacunistische Gruppe.

Ni-Gehalt H—J %. Keine Mischbarkeit, also Zerfall. Bei solcher Zusammensetzung der ursprünglich einheitlichen isomorphen Fe-Ni-Mischung kommt es nach einem Entmischungsstadium nicht wieder zu einheitlichen Mischkristallen. Die Mischfähigkeit zwischen Fe und Ni geht, von der Eisenseite her betrachtet, wie erwähnt, nur bis zu einem gewissen Ni-Gehalt (H %), von der Nickelseite her gesehen, nur bis zu einem bestimmten Eisengehalt (J % Ni). Daraus folgt, daß die in Rede stehenden Legierungen in bekannter Art in zweierlei Mischkristalle sich auseinanderteilen müssen, nämlich in nickelarme und in nickelreichere Nickelferrite H und J.

Innerhalb dieser lacunistischen Gruppe gibt es naturgemäß drei Abteilungen, eine hypentropische, eine eutropische und eine hyperentropische. In allen dreien kommt es zur Bildung derselben Bestandteile, nämlich von nickelarmem mit H % und Ni-reicherem Nickelferrit mit J % Ni. Das Unterscheidende sind die Mengenverhältnisse der beiden Bestandteile und die Ausscheidungsfolge.

Das wird in einfachster Weise bei Betrachtung des Schemas der Fig. 9 klar.

a) Hypentropische Lacunitgruppe. Ni-Gehalt H—E %. Verfolgt man die Entmischung einer hierher gehörigen Legierung z. B. an der Hand der durch d gehenden gestrichelten Vertikalen, so ist ersichtlich, daß es beim Antreffen der eutropischen Horizontalen zur Bildung von Mischkristallen der Zusammensetzung H kommt, während der Rest der festen Lösung die Zusammensetzung E besitzt und sich als Eutropikum zu einem mechanischen Gemisch der oben erwähnten nickelarmen und nickelreicheren Nickelferrite auseinander teilt.

b) Eutropische Lacunitgruppe. Ni-Gehalt E %. Eine Eisennickellegierung, welche die Zusammensetzung des eutropischen Gemenges hat, entmischt sich beim Erkalten erst im Punkte E und zerfällt dann in das eutropische Ge-

menge von nickelarmem und nickelreichem Nickelferrit H und J.

c) Hypereutropische Lacunitgruppe. Ni-Gehalt E—J %. Bei solcher Zusammensetzung ist ein Ni-Überschuß über das eutropische Gemisch mit E % Ni vorhanden. Beim Erkalten der Legierung wird dieser Überschuß also in Gestalt von nickelreichem Nickelferrit ausgeschieden; hat der Rest der festen Lösung die Zusammensetzung des eutropischen Gemisches erreicht, so teilt er sich ganz dem Fall a) oder b) entsprechend eutropitisch auseinander. Entgegengesetzt dem Fall a) besteht der abgeschiedene Überschuß aus nickelreicheren Mischkristallen, nicht aus den nickelarmen.

Charakteristisch für alle drei Abteilungen der Lacunitgruppe ist die Entstehung von Eutropit.

### III. Superlacunistische Gruppen.

Ni-Gehalt J—F bzw. F—G %. Völlige Mischbarkeit.

a) Erste oder Ni-ärmere superlacunistische Gruppe. Ni-Gehalt J—F %.

b) Zweite oder nickelreichere superlacunistische Gruppe. Ni-Gehalt F—G %.

Die Verhältnisse liegen entsprechend dem von Fall I, d. h. bei der Erreichung vollen Gleichgewichts kommt es zur Bildung einheitlicher Ferronickelitkristalle, von denen jeder die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials hat.

### IV. Dystektische Gruppe.

Ni-Gehalt dem chemischer Verbindungen entsprechend, z. B. F = 68 %. Die schon bei der Erstarrung in B gebildete Verbindung mag unverändert die ganze Skala der Temperaturabnahme durchlaufen, und auch in der Entmischungsreihe einem hochgelegenen (dystropischen) Punkte angehören.

Die obigen physikalisch-chemischen Überlegungen lassen sich leicht in Beziehung bringen zu den bekannten Erscheinungen beim Meteoreisen. Es tritt dabei die große Wichtigkeit der chemischen Zusammensetzung heraus, ohne deren umfassende Kenntnis eine natürliche Gruppierung der besagten Körper nicht zu erzielen sein wird. Es gilt dabei, die chemische Natur, und zwar zunächst die Bauschanalyse des Nickeleisens mit seinen Bestandteilen und deren Verband in

Einklang zu setzen. In E. COHEN'S Meteoritenkunde, die durch ihre klare Zusammenfassung und Würdigung zahlloser Einzelarbeiten das Studium der außerirdischen Petrographie so außerordentlich erleichtert hat, sowie in Abhandlungen von E. COHEN über bestimmte Meteoreisen ist dieser Standpunkt besonders betont.

Überblickt man vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus das in Rede stehende Gebiet, so kommt man zunächst zu folgender Gruppierung des Nickeleisens<sup>1</sup> in Abteilungen, die, den ihr Wesen beherrschenden Mischungsverhältnissen entsprechend, wie folgt benannt seien:

- I. Sublacunite<sup>2</sup>
- II. Lacunite.
- III. Superlacunite.
- IV. Dystektite.

Der größte Teil der untersuchten Meteoreisen gehört den Gruppen I und II an, Glieder der Gruppe III werden meist von vornherein nicht als meteorisch angesehen (wohl mit Unrecht). Gruppe IV ist nur in tellurischen Vertretern bekannt.

Bei der jetzt ins Auge zu fassenden petrographischen näheren Gruppierung der mannigfaltigen Erscheinungen am Meteoreisen wird man natürlich die althergebrachten Namen der Bestandmassen benutzen. Der nickelarme Nickelferrit ist von REICHENBACH bekanntermaßen Kamacit oder, wie er sich in seiner anschaulichen und flotten Beschreibung ausdrückt, „für den deutschen Hausgebrauch“ „Balkeneisen“ genannt, im Hinblick auf die balkige Erscheinung auf Schnitten oktaedrischer Eisen. Körperlich gedacht liegt hier zwar ein Platteneisen vor, und bei sogen. hexaedrischen und bei dichten Eisen ist auch von Balkenstruktur im Schnitt bei diesem Bestandteil nichts zu sehen. Trotzdem empfiehlt es sich aber natürlich nicht, den historisch gewordenen Namen in der Meteoritenkunde im Gebrauch beschränken zu wollen, vielmehr wird man auch fernerhin unter Kamacit ein nickelarmes Eisen verstehen, das eben oft im Schnitt Balkenstruktur zeigt.

---

<sup>1</sup> Bestandteile wie Schreibersit, Cohenit, Graphit, Troilit bleiben also hier zunächst außer Betracht.

<sup>2</sup> oder Sublacunit-Siderite etc.

Den nickelreicheren Nickelferrit, der in oktaedrischen Eisen eine ausgezeichnete Blätterentwicklung hat, nannte REICHENBACH bekanntermaßen Bandeisen oder Taenit. Wie beim Kamacit trifft der Name auch für die Schnitterscheidung nur im allgemeinen zu, ebenso ist es beim Gemenge von Kamacit und Taenit, dem REICHENBACH'schen Fülleisen oder Plessit, welche Bezeichnung auch angewandt wird, wenn es sich nicht um Ausfüllung von Lücken handelt. Man wird aber hier gleichfalls an den alten Namen in ihrer vollen Ausdehnung gern festhalten.

Man hat hiernach unter Kamacit nickelarmen, unter Taenit nickelreicheren Nickelferrit, unter Plessit ein Gemenge aus Kamacit und Taenit zu verstehen.

#### I. Sublacunite oder Kamacit-Siderite.

Ni-Gehalt 0—H %. Völlige Mischbarkeit von Fe und Ni. Beim Kamacit liegt die Sättigungsgrenze bei knapp 7% Ni. Etwa bis zu diesem Gehalte wird man nach dem Obigen nur eine Art von Bestandteilen, nämlich gleichmäßig zusammengesetzte Nickelferritkristalle vermuten. Als Struktur ist eine marmorartige zu erwarten, da ja die Kristalle gleichzeitig entstehen, sich somit bis zum Schluß ihrer Bildung, also auch bei der Entstehung ihrer sich berührenden Randteile gegenseitig hemmen, ähnlich wie man es bei künstlichem Ferrit wahrnimmt. Die chemische und physikalische Natur solcher Eisen ist etwa einem Spateisenstein vergleichbar, der  $MnCO_3$  isomorph beigemischt enthält und marmorartig aufgebaut ist.

Die Textur der Körner ist entweder bis auf dünne NEUMANN'sche Zwillinglamellen einheitlich, so daß eine Spaltbarkeit nach dem Würfel sich glatt durch die Individuen führen läßt, wobei, ähnlich wie bei rhomboedrischen Carbonaten, die dünnen Zwillinglamellen wenig stören; oder es mögen die Körner schalig nach dem Oktaeder aufgebaut sein, also in der LINCK'schen Auffassung, für die schon der Mangel durchgehender Spaltbarkeit spricht, lamellare Zwillingstöcke sein.

Bekanntermaßen kann die Korngröße beim Meteoreisen sehr bedeutend werden, ja nicht selten ist der Eisenmeteorit, wie man sagen könnte, unigran, also nur aus einem einzigen Korn aufgebaut. Die meisten groben sind nicht multi-



gran geblieben, d. h. sie sind bei oder seit der Loslösung vom Entstehungsort in die einzelnen Körner auseinander geteilt.

Die Oktaedrite dieser Gruppen würden, wie überhaupt kein Mitglied letzterer, Fülleisen nicht beherbergen können, ein im REICHENBACH'schen Sinne triadischer Aufbau aus Kamacit, Taenit und Plessit ist dem Wesen der Abteilung nicht angepaßt.

Danach wären innerhalb der Gruppe der Kamacit-Siderite die (bis auf NEUMANN'sche Lamellen) gleichmäßigen Kamacit-Hexaedrite von den Kamacit-Oktaedriten zu sondern, und jede dieser beiden Untergruppen könnte noch weiter in unigrane und multigrane gegliedert werden. Die Größe der Körner kann bei der Einteilung erst in dritter Linie in Betracht kommen; sie kann mikroskopisch werden, und schließlich mögen solche Kamacit-Siderite auch u. d. M. dicht erscheinen (dichte Kamacit-Siderite).

## II. Lacunite.

Ni-Gehalt  $H-J\%$ . Dieser Gehalt fällt in die Lücke der Mischbarkeit von Fe und Ni, mithin Zerfall in Kamacit und Taenit.

a) Hypeutrope Lacunite oder Kamacit-Plessit-Siderite. Ni-Gehalt  $H-E\%$ . Der Zerfall führt zur Bildung von selbständigem Kamacit und von Plessit, deren relative Mengen vom Verhältnis Fe : Ni abhängen; je mehr Ni, desto mehr Plessit.

Der Kamacit, der sich als Überschuß über die eutropische Mischung aussondert, spielt entweder die Rolle der Einsprenglinge in einem porphyrischen Gestein oder die der Feldspate bei diabatischer Struktur, der Plessit die Rolle der Grundmasse bezw. der intersertalen Zwickel. Im ersteren Fall sei der Name Kamacitophyr angewandt; er bezeichnet gewissermaßen einen Sideritporphyr mit Kamaciteinsprenglingen. Die Plessitgrundmasse mag verschiedenartig entwickelt sein (vergl. II b), was dann für die spezielle Namengebung, wie bei Gesteinen, zu verwenden wäre. Solcher Kamacitophyr ist unter den Meteoreisen nicht unbekannt.

Das hier mit einer Intersertalstruktur verglichene Gefüge ist bekanntermaßen eine gewöhnliche Erscheinung bei Okta-

edriten. Der Kamacit stellt einen Lamellenstock dar, dessen Lücken im wesentlichen<sup>1</sup> mit Plessit gefüllt sind.

Die in Rede stehende Gruppe würde in ihrer reinen Entwicklung im Sinne REICHENBACH's nicht triadisch sein, also nicht Kamacit, Taenit und Plessit führen, sondern dyadisch nur Kamacit und Plessit. Das Vorkommen von Taenit als Hülleisen (und Staubeisen) ist eine charakteristische Besonderheit, auf die weiter unten eingegangen werden soll. Für die Benennung der Gruppe IIa kommt dieser Taenit zunächst nicht in Betracht.

b) Eutrope Lacunite oder Plessit-Siderite. Ni-Gehalt E%. Der Zerfall führt nur zur Bildung von Plessit. Wenn diese Gruppe theoretisch auch auf Eisen einer weit bestimmteren Zusammensetzung als bei den Gruppen I, IIa, IIc und III beschränkt ist, so wird man praktisch doch einen Spielraum nach rechts und links lassen. Die Bestandteile sind Kamacit und Taenit, hauptsächlich in eutropischer Vergesellschaftung. Als Struktur kann man ein dichtes<sup>2</sup>, inniges Gemenge voraussetzen, dessen Teilchen verschiedenartig gruppiert sein können. Nach Analogie zum Perlit, dem eutropischen Gemenge von Ferrit und Cementit, wird man im Schnitt pseudo-podienartige, mäandrische, dendritische bzw. fein skelett-förmige und ähnliche, also körperlich gedacht, im allgemeinen lamellare Entwicklungen erwarten. Beschreibungen E. COHEN's in seiner Meteoritenkunde passen vortrefflich auf solche eutropischen Gemische. Andere Erscheinungsformen, etwa poikilitische, feinstkörnige, strahlige (ähnlich, wie man sie wohl beim eutektischen bzw. eutropischen Mikrofelsit findet), sind gleichfalls zu vermuten. Allgemein charakteristisch scheint recht große Oberflächenentfaltung der beiden Eutropitbestand-

<sup>1</sup> Es ist natürlich zu bedenken, daß der selbständige Kamacit feine Blätter, die von größeren auslaufen, eventuell mit Taenithülle, in die Lücken senden mag, die dann die Bauschanalyse der Zwickel von der des Eutropits entfernen werden.

<sup>2</sup> Die dichte Struktur eutektischer bzw. eutropischer Gemenge beruht im allgemeinen wohl darauf, daß die Entstehungstemperatur gerade dieser Bildungen verhältnismäßig sehr tief liegt, die Teilchen dabei nur geringe Beweglichkeit haben, daß also die Kristallisationshöfe klein, die Kristallisationszentren mithin sehr zahlreich sind, ähnlich wie bei der Grundmassenentwicklung von Eruptivgesteinen.

teile zu sein. Je nach der Plessitstruktur wäre die nähere Benennung zu machen. Als Haupttypen können körnige und lamellare Plessit-Siderite aufgestellt werden. Dichte Plessit-Siderite lassen auch u. d. M. keine Struktur mehr erkennen.

c) Hypereutropische Lacunite oder Taenit-Plessit-Siderite. Ni-Gehalt E—J ‰. Im Vergleich zu Gruppe IIa tauscht der selbständige Kamacit mit selbständigem Taenit. Es scheint kein Beispiel dieser Gruppe unter den bislang studierten Meteor Eisen gefunden zu sein.



Fig. 10. Hülleisen um Kamacit im Mesosiderit von Rittersgrün. Vergr. 1:12. Sehr schräge Beleuchtung durch Bogenlicht.

### III. Superlacunite oder Taenit-Siderite.

Nickelgehalt J—F bzw. F—G ‰. Völlige Mischbarkeit von Fe und Ni.

a) Nickelärmere. Ni-Gehalt J—68 ‰.

b) Nickelreiche. Ni-Gehalt 68—100 ‰.

Die Bestandteile sind gleichartige Mischkristalle. Dementsprechend wird man eine Ausbildung erwarten können, wie sie bei den Kamacit-Sideriten gefunden wird. Vertreter dieser Gruppe unter den Meteor Eisen ist vielleicht der Oktibbehit.

### IV. Dystektite.

Diese Gruppe umfaßt chemische Verbindungen von Eisen und Nickel. Der Nickelgehalt entspricht also einer chemischen Formel in atomistischem Verhältnis. Eine Art ist der Awa-

ruit  $\text{Ni}_2\text{Fe}$  mit 68 % Ni. Man wird bei ihm körnigen Verband einheitlicher Kristalle erwarten. Metallographische Untersuchungen stehen, soweit mir bekannt ist, noch aus.

Zum Beschluß der physikalisch-chemischen Betrachtung der Meteoreisengruppen ist es nötig, dem Taenit als Hüll-eisen um Kamacit, also dem Taenit im näheren Sinne des Wortes, noch eine kurze Beachtung zu widmen.

Dieser seltsame Bestandteil (Fig. 10) besonders bei oktaedrischen Eisen, körperlich gedacht, die Plattierung der Kamacitafeln, der im normalen einfachen Entmischungsschema keinen rechten Platz hat, also offenbar eine Besonderheit vorstellt, könnte auf zweierlei Weisen erklärt werden, einmal nämlich als Rückschlagbildung eines Überkühlungsvorganges oder als Ergebnis der Löslichkeitsveränderung der Nickeleisen noch unterhalb der eutropischen Horizontale HJ Fig. 9.

Überkühlungen sind, wie in wässrigen Lösungen, bei Schmelzflüssen und bei festen Lösungen keine seltene Erscheinung, insbesondere auch beim Eisen nicht, wie schon weiter oben bezüglich der Härtung des Stahls und von E. HEYN<sup>1</sup> hinsichtlich anderer technisch sehr wichtiger Eisensorten betont ist. Um noch einige Beispiele zu nennen, sei als sehr einfacher Fall die hübsche Erstarrungserscheinung angeführt, die beim Goldprobieren in der Kapelle sich regelmäßig ereignet: Das Gold kühlt sich unter seinen Schmelzpunkt ab und macht dann unter Erglühen den Rückschlag. Nach ROBERTS-AUSTEN<sup>2</sup> unterkühlt eine Bleizinnschmelze mit gegenüber dem eutektischen Gemisch überschüssigem Blei leicht hinsichtlich der Zinnausscheidung.

Das Schema Fig. 11 stellt einen allgemeinen Fall bei binären Schmelzflüssen dar. Jede beliebige Lösung der Körper A und B strebt beim Erkalten dem Normalgemisch E zu. Der Überschuß, sei er an A oder B, wird zunächst ausgeschieden, dann teilt sich das übrig bleibende Eutektikum bzw. Eutropikum in seine Bestandteile zu Eutektit bzw. Eutropit  $A + xB$  auseinander. Ist z. B. B

<sup>1</sup> E. HEYN, Labile und metastabile Gleichgewichte in Eisen-Kohlenstoff-Legierungen. Zeitschr. f. Elektrochemie. 1904. p. 491.

<sup>2</sup> W. C. ROBERTS-AUSTEN, On Surfusion in metals and alloys. Proceed. roy. soc. London 1898. p. 447.

im Überschuß, so scheidet sich zunächst B aus, was eine Anreicherung von A im Lösungsrest bewirkt; dessen Zusammensetzung verändert sich entlang der Linie CE. Bei E sollte A im Verein mit B zur Absonderung kommen. Das kann aber ausbleiben, nur B scheidet sich weiter ab, so daß die Lösung abnorm reich an A wird. Die Zusammensetzung des Lösungsrestes geht somit auf der punktierten Linie EF weiter. Kommt es zum Rückschlag, so kann das Unterlassene, die Ausscheidung von A, gewissermaßen mit einem Schlage nach-

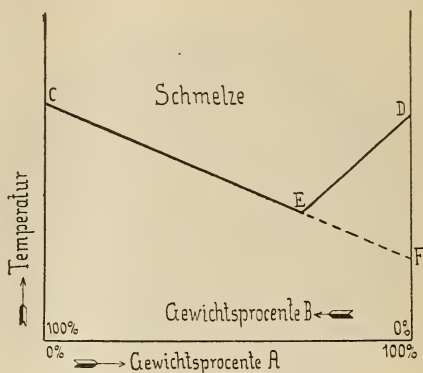
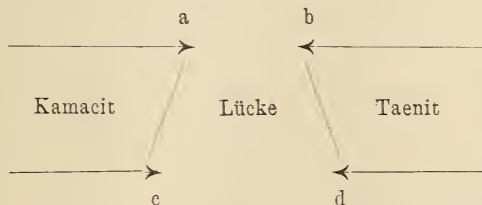


Fig. 11. Überkühlungsschema.

geholt werden. Ist das geschehen, so sind wieder normale Verhältnisse erreicht, und der Rest wird zum festen eutektischen bzw. eutropischen Gemenge. So könnte also durch Überkühlung auch die fällige Taenitabsonderung, so zu sagen, zunächst unterschlagen werden. Der Kamacit ist bereits über das Normalmaß hinaus vorhanden, beim Rückschlag kommt es zur verhältnismäßig kräftigen Taenitbildung, und dies rückschläglich abgeschiedene nickelreiche Eisen setzt sich als Plattierung auf den Kamacit. Der wieder normal zusammengesetzte Rest teilt sich als Fülleisen in Kamacit und Taenit auf. So wäre die vollständige Trias im REICHENBACH'schen Sinne da<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Es könnte sich selbst ereignen, daß die Plessitbildung ganz unterdrückt wird. Dann würden die überschüssig ausgeschiedene Außenzone des Kamacit und der rückschläglich darauf abgesetzte Taenit das Fülleisen ersetzen. Es läge also ein aus Kamacit und Taenit ohne Plessit gebildetes dyadisches Eisen vor.

Eine zweite Erklärung für das Vorhandensein der merkwürdigen nickelreichen Hüllen um Kamacit ließe sich vielleicht durch folgende Betrachtung geben, die auf der Löslichkeitsveränderung des Nickeleisens bei Temperaturerniedrigung unter die eutropische Horizontale fußt. Als Beispiel für solche Verhältnisse seien Mischungen von  $\text{KNO}_3$  und  $\text{TlNO}_3$  herangezogen<sup>1</sup>. Die Mischbarkeit dieser Stoffe hat wie die von Eisen und Nickel im Meteoreisen eine Lücke, und die Weite dieser Lacune vergrößert sich mit sinkender Temperatur. Daß Entsprechendes auch beim festen Nickeleisen vorkommt, dafür sprechen gewisse Erscheinungsarten von Taenit in Kamacit, nämlich feinste Teilchen, die wie Staub in Kamacit eingestreut beobachtet werden. Ich möchte sie Staubeisen (Pulvit), im besonderen Staubtaenit nennen. Dies Staubeisen läßt sich als eine Entmischung infolge sinkender Löslichkeit von Ni im Kamacit deuten, und in der Hinsicht sind solche Erscheinungen auch von OSMOND und CARTAUD verwertet. Die Vergrößerung der Mischungslücke stellt sich schematisch folgendermaßen dar (vergl. auch Fig. 9):



Hat sich z. B. Kamacit a gebildet und sinkt die Temperatur, so verliert a an Lösungsfähigkeit für Ni, der Überschuß scheidet sich als Taenit aus. Gestattet es die Erhaltungsgeschwindigkeit, so mag letzterer aus dem Kamacit gewissermaßen ganz herausfließen, ähnlich wie Kohlenstoff, auch im festen Zustande, und zwar in kurzer Zeit, aus festem Eisen beim Tempern abfließt bzw. beim Zementieren hineinwandert, oder wie in derselben Art unter dem Einfluß des osmotischen Druckes festes Gold in einem festen Bleibarren nachgewiesenermaßen emporwandert.

Bleibt der Taenit auf seinem Wege stecken, erlaubt also

<sup>1</sup> C. VAN EYK, Über die Bildung und Umwandlung der Mischkristalle von Kaliumnitrat und Thalliumnitrat. Zeitschr. f. phys. Chem. 30. 430. 1899.

die Starrheit des Materials kein Wandern mehr, so mag er aus dem Grunde als Pulvit, schließlich vielleicht in kaum sichtbarer oder ultramikroskopischer Form im Kamacit der Balken wie des Plessits liegen.

Eine Veränderung der Löslichkeitsverhältnisse im Taenit muß entsprechend zur Bildung von Staubkamacit führen. Natürlich kommt es auf den Grad der Löslichkeitsveränderung an, in welchem Maße das Staubeisen zur Geltung kommt; die bislang ihrem Grade nach unbekannte Löslichkeitsabnahme kann für Kamacit und Taenit auch recht verschieden sein. Sehr wohl mögen Überkühlungserscheinungen und Löslichkeitsveränderungen des Nickeleisens ineinander spielen.

Zusammenfassend sei nebenstehend die Übersicht über die Nickeleisengruppen, die im Obigen abgeleitet sind, gegeben.

Es ist ein eigenartiges Bild, welches sich im Verlaufe physikalisch-chemischer Erörterungen über das Meteoreisen entrollt. Die vielen Bestätigungen der in Betracht kommenden Grundvorstellungen bei anderen Legierungen, insbesondere der Nachweis all der merkwürdigen Vorgänge, die bei der Deutung der Meteoreisen in Anspruch genommen werden, im technischen Eisen geben den Betrachtungen einen Boden. Daher erschien mir vor allem der oben durchgeführte Vergleich des künstlichen mit dem natürlichen Eisen nicht ohne mineralogisches Interesse. Das technische Eisen ist in seinem Aufbau und seinen inneren Vorgängen förmlich einem Organismus vergleichbar, der gegen bestimmte äußere Einflüsse sehr empfindlich ist und sich ihnen durch mannigfache innere Umwandlungen, dem jeweils gültigen Gleichgewicht zustrebend, anpaßt. So ist es beim Erstarren der Schmelze, die sich beim Abkühlen allmählich ihres etwaigen Überschusses über das eutektische Gemisch entledigt, sei es, daß sie unter fortwährender Bildung neuer und Zerstörung alter Ausscheidungen von C-haltigem Eisen oder daß sie unter Absonderung von Graphit aus dem flüssigen durch den breiigen in den festen Zustand übergeht, wobei Überkühlungen noch modifizierend wirken können. Nach dem Erstarren ist die innere Beweglichkeit der Teilchen zwar verlangsamt, aber nicht vollends erloschen,

Physikalisch-chemischer sowie petrograph. Gruppenname	Ni-Gehalt	Bestandteile	Aufbau	Artenname
I. Sublacunite oder Kamacit-Siderite	0—H % d. h. bis zur unteren Lacunengrenze	Kamacit	Korn einheitlich Korn oktaedrisch dicht (mikroskopisch)	Kamacit-Hexaedrit, falls multigran körniger Kamacit-Hexaedrit Kamacit-Oktaedrit, falls multigran körniger Kamacit-Oktaedrit dichte Kamacit-Siderite
II. Lacunite a) Hypereutrope Lacunite oder Kamacit-Plessit-Siderite	H—E % d. h. von der unteren Lacunengrenze bis zum eutropischen Punkte	Kamacit Taenit	porphyrisch Einsprenglinge: Kamacit Grundmasse: Plessit oktaedrisch-intersertal Tafeln: Kamacit Fülle: Plessit	Kamacitophyre dyadische Oktaedrite (Tafeln: Kamacit) triadische Oktaedrite (Tafeln: Kamacit m. Taenitbelag)
b) Eutrope Lacunite oder Plessit-Siderite	E % d. h. Fe und Ni im eutropischen Gemisch	Kamacit Taenit	gewissermaßen nur Grundmasse Plessit < körnig lamellar dicht (mikroskopisch)	körnige Plessit-Siderite lamellare Plessit-Siderite dichte Plessit-Siderite
c) Hypereutrope Lacunite oder Taenit-Plessit-Siderite	E—J % d. h. v. entr. Punkte bis z. ob. Lacunengrenze	Taenit Kamacit	entsprechend II a unter Rollen- austausch zwischen Kamacit und Taenit	entsprechend II a (bislang gegenstandslos?)
III. Superlacunite oder Taenit-Siderite a) nickelärmere Taenit-Siderite	J—68 % d. h. v. d. ob. Lacunengrenze bis z. dystekt. awaruitischen Punkte	Taenit	entsprechend I	Taenit-Siderite
b) nickelreichere Taenit-Siderite	vom dystektischen awaruitischen Punkte bis 100 %	Awaruit	entsprechend I	Awaruit
IV. Dystektite	entsprechend chemischen Verbindungen, z. B. 68 % entsprechend Ni <sub>2</sub> Fe			



sie kristallisieren aus festen Lösungen aus und treten miteinander in chemische Wechselwirkung. Auch hier ist natürlich die Erklärung, allgemein gehalten, das Streben nach dem bei den herrschenden äußeren Verhältnissen gültigen Gleichgewicht, und all die wunderbar ineinander spielenden und aufeinander folgenden Vorgänge bei der Abkühlung und bei der Erwärmung werden sich als Ausdruck des einfachen Gesetzes betrachten lassen, daß bei Temperaturerniedrigung wärmegebende, bei Temperaturerhöhung wärmenehmende Vorgänge in Wirksamkeit treten, um die innere Harmonie herbeizuführen.

Ein besonderer Wert solch physikalisch-chemischer Betrachtungsweise liegt ohne Zweifel in der vielfachen Anregung zu neuen Forschungen. Das Studium des Schemas der Fig. 9 legt eine Fülle von Untersuchungen nahe.

Unbekannt ist noch die genauere Lage der meisten kennzeichnenden Erstarrungs- bzw. Entmischungslinien und -punkte als einfacher Ausdruck mannigfacher Überlegungen. Dabei kommt in Betracht, daß diese zunächst vom Eisen-Nickelverhältnis abhängigen Systeme durch den Eintritt anderer Elemente verschoben werden, so vor allem durch den sehr energisch wirkenden Kohlenstoff. Das Überlagern der Wirkungen verschiedener Stoffe macht es vorderhand schwierig, feste chemische Grenzen für die aufgestellten Abteilungen zu ziehen. Es ist eine Aufgabe für die Zukunft, diese vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus mit Sicherheit anzunehmenden Gruppen aus der Reihe klarer herauszuarbeiten.

E. COHEN hat in seiner Meteoritenkunde II. p. 209 bei Besprechung des spezifischen Gewichtes von Meteoriten auch eine Übersicht über den Ni + Co-Gehalt einer Reihe gut untersuchter Eisen gegeben, der wertvolle Fingerzeige zu entnehmen sind. Im Hinblick auf diese Zusammenstellung seien vorläufig als beobachtete runde Zahlen für den Ni + Co-Gehalt folgende erwähnt:

Sublacunitische Gruppe oder Kamacit-  
Siderite . . . . . im Maximum<sup>1</sup> 7 %.

<sup>1</sup> Bislang niedrigster beobachteter Gehalt 4 % (DE SOTOVILLE).

## Hypentrophe Lacunite oder Kamacit-Plessit-Siderite

beobachtet ist bei den hierhergehörigen, also

lacunitischen Oktaedriten mit groben La-

mellen (plessitarm) . . . . . ca. 7—8 %,

bei den lacunitischen Oktaedriten mit mitt-

leren Lamellen (mehr Plessit) . . . . ca. 8—11 %,

bei den lacunitischen Oktaedriten mit feinen

Lamellen . . . . . ca.  $9\frac{1}{2}$ — $13\frac{1}{2}$  %.

Bei Annäherung an die Gruppe der eutropen

Lacunite oder Plessit-Siderite kann

man rechnen auf . . . . . ca. 15—30 %

und beim Hinneigen zur Gruppe der hyper-

eutropen Lacunite oder Taenit-

Plessit-Siderite und schließlich bei

letzteren selbst auf . . . . . ca. 30—50 %.

Bei der superlacunitischen Gruppe oder

den Taenit-Sideriten wird man . . . 50—100 %

erwarten, da ja der bislang Ni-reichste

Taenit der Lacunite 49 % Ni + Co führt.

Die Dystektite entsprechen chemischen

Formeln, z. B.  $Ni_2Fe$  . . . . . 68 %.

Weitere Forschungen müssen dem Einfluß von Überkühlungen und etwaigem Bestehen metastabiler Verhältnisse unter den Meteoreisen und einem bei solchen dann vielleicht möglichen Ausreifenlassen bei künstlich erhöhter Temperatur gelten. Auch ist zu hoffen, daß der durch Fig. 9 angezeigte Weg hinsichtlich der Nachahmung charakteristischer Meteoreisenstrukturen bei künstlichen Eisennickelmischungen wenigstens im mikroskopischen Bilde zu weiteren Erfahrungen über Entmischungen im festen Zustande der in Rede stehenden Eisen führt. Bei einigen in dem Sinne angestellten Versuchen, über die später berichtet werden soll, ersah ich mit Interesse, wie schon im Laufe weniger Stunden große Veränderungen an umgeschmolzenen Meteoreisen durch Glühen zu erzielen sind.

Schließlich wird der Versuch gemacht werden müssen, ein Entstehungsschema aufzustellen, das auch die Bildung des Graphits, sowie der metall- und zugleich C-, P-

und S-haltigen Stoffe berücksichtigt. Dabei wird wiederum der Vergleich mit dem technischen Eisen sich nützlich erweisen, da bei letzterem bereits viele wichtige Erfahrungen bezüglich des eingeschlossenen Graphits, des Karbids  $\text{Fe}_3\text{C}$ , der Phosphide ( $\text{Fe}_3\text{P}$  auch  $\text{Fe}_2\text{P}$ ) und Sulfide ( $\text{FeS}$ ;  $\text{NiS}$ ;  $\text{MnS}$ ) vorliegen. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist dabei, daß die Erstarrungstemperaturen der Gemische gegenüber dem Schmelzpunkt des reinen Fe- bzw. Ni-Metalls sehr stark heruntergedrückt sein können, so daß eventuell auch an sich ziemlich leichtschmelzige Verbindungen, wie z. B.  $\text{FeS}$ , mit sehr schwer schmelzigem, also auch mit Eisen zu gleicher Zeit zu kristallisieren vermögen. Ein fester Körper vermag zwar oberhalb seines Schmelzpunktes nicht als solcher zu existieren, also auch nicht auszukristallisieren, aber sehr wohl vermag er in Gemischen sich unterhalb dieser Temperaturgrenze nach bestimmten Regeln auszuschcheiden, wie das ja z. B. das aus Salzwasser unter  $0^\circ$  sich bildende Eis oder die Verfestigung unzähliger Legierungen zeigt, insbesondere auch des Roheisens, bei dem z. B. Graphit wohl einige tausend Grad unter seinem Schmelzpunkt sich aus der Schmelze absondert.

Andererseits taucht wieder die Frage auf, welche Bestandteile des Meteoreisens aus dem Fluß abgeschieden sind und sich bei der Abkühlung bis auf die erdoberflächlichen Temperaturen unverändert erhalten haben, und andererseits, welche im Laufe der Abkühlung sich im festen Zustande durch Modifikationsumschläge umgebildet oder auch in chemischer Hinsicht umgewandelt haben, bzw. welche Gemengteile durch dieses „Umstehen“ erst entstanden sind. Im technischen Eisen bildet sich der Graphit sowohl unmittelbar aus dem Schmelzfluß, als auch nachher im festen Material durch Umstehen. Auch der Cohenit = Cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$  hat diese genetische Doppelnatur; er sondert sich aus der Schmelze ab, falls sie überkühlt ist, was besonders bei Mn-reichem Eisen leicht geschieht (vergl. E. HEYN, l. c.), und er bildet sich auch, wie geschildert, aus der festen Lösung des Martensits.

Ein ganz besonderes Interesse darf der Troilit beanspruchen. Seinem ganzen Wesen nach ist er, wie das Eisensulfid im künstlichen Eisen, als Schmelzflußausscheidung

zu betrachten. Wenn er auch Modifikationsänderungen erfahren haben mag, auf welche Möglichkeit Knicke in der Abkühlungskurve von Schwefeleisen hindeuten, so wird man seine chemische Substanz doch seit der Ausscheidung aus der Meteoritenschmelze als bewahrt ansehen. Wenn nun die in vorliegender Abhandlung gemachte Annahme richtig ist, daß die Struktur des meteorischen Nickeleisens (abgesehen von etwaigen metastabilen Verhältnissen), insbesondere die

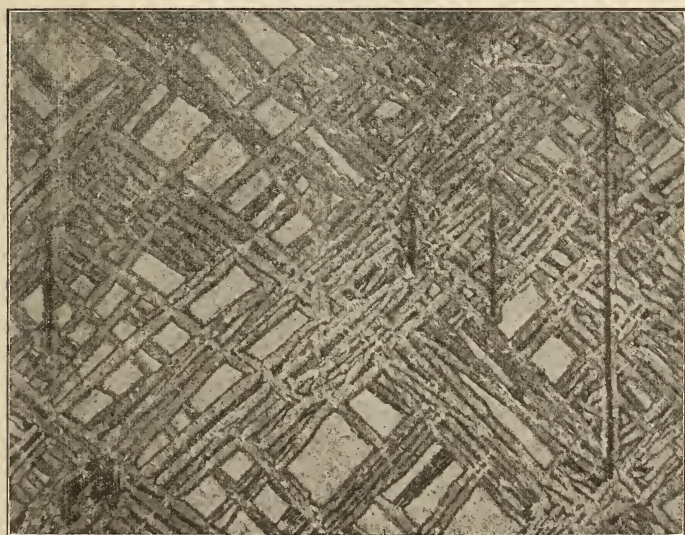


Fig. 12. REICHENBACH'sche Lamellen (Troilit) im Kamacit-Plessit-Siderit von Jewell Hill. Nach A. BREZINA und E. COHEN.

Zerteilung in Kamacit, Taenit und Plessit im festen Zustande des Eisens vor sich gegangen ist, so müßten sich die Kamacitbalken jedenfalls jünger als die Schmelzflüssigkeit Troilit erweisen: in der Tat stößt die Oktaederstruktur an den Troilitplatten (sogen. REICHENBACH'schen Lamellen) ab (Fig. 12). Die Troilitscheiben sind gewissermaßen ein mineralogisches Maximalthermometer bezüglich der Entstehungstemperatur der Oktaederlamellen. Da der Troilit natürlich oberhalb seines Schmelzpunktes als fester Körper nicht existieren kann und die Eisenlamellen jünger sind als der Troilit, so ist die WIDMANSTÄTTEN'sche Struktur erst unterhalb der

durch den Schmelzpunkt des Sulfids bezeichneten Temperatur zustande gekommen. Bei erdoberflächlichen Verhältnissen schmilzt (nach v. JÜPTNER, Siderologie. III. 1. 110) FeS bei  $950^{\circ}$ . Diese zwar ziemlich niedrige Temperatur ließe sich wohl auch noch mit der Ausscheidung der Eisenlamellen aus einem schon stark abgekühlten Schmelzfluß in Einklang setzen, besser harmonisiert aber diese Maximaltemperatur für die Bildung der oktaedrischen Schalen mit einer Entstehung letzterer durch Umstehen im festen Material. Danach möchte ich glauben, daß die bekanntermaßen nach Würfebenen des Nickeleisens eingelagerten Troilitplatten die Zeugen einer älteren, gleichmäßig hexaedrischen Struktur der jetzigen Oktaedrite sind. Der Troilit hat gewissermaßen den Umsturz des alten Gefüges miterlebt und repräsentiert es noch, unbeeinflußt von der neuen Ordnung der Dinge.

Eine Rückverwandlung oktaedrischer Meteoreisen zu einem Eisen mit gleichmäßiger Körnelung läßt sich durch Umschmelzen, wie auch ich mich beim Tolucaeisen überzeugte, leicht ausführen. Bereits REICHENBACH, BREZINA, COHEN und besonders auch BERWERTH haben gewisse Körnelungen beim Meteoreisen auf nachträgliche starke Erhitzung zurückgeführt. Eine solche wird sich eventuell in Sonnennähe, sicher öfter beim Eindringen der Eisen in das Luftpolster der Erde ereignet haben, wie das ja auch verschiedentlich betont ist. Systematische Versuche über Hitzewirkung auf Meteoreisen und Meteorsteine verschiedener Struktur müssen die Glutumänderungen der einzelnen Bestandteile noch weiter aufklären.

Mineral.-geol. Institut d. Techn. Hochschule zu Hannover.

---

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [1905](#)

Autor(en)/Author(s): Rinne Friedrich

Artikel/Article: [Physikalisch-chemische Bemerkungen über technisches und meteorisches Eisen. 122-158](#)